

Fire Prevention in Underground Mining – Requirements for Equipment in Germany and Europe

Fires have been one of the major hazards for miners. In order to minimize fire risks in underground mines, preventive measures need to be taken. Such means are for example using materials which are hard to ignite and hardly spread fire or hydraulic fluids with low flammability. Testing and assessing those properties is

standardized in Germany and Europe. In addition, there are international regulations which define such test methods. The following article describes different classification and testing standards for hydraulic fluids as well as plastic components such as conveyor belts, foams and others.

Brandschutz im Bergbau unter Tage – Anforderungen an Produkte in Deutschland und Europa

Grubenbrände haben sich seit jeher als eine der größten Bedrohungen für Bergleute dargestellt. Um das Risiko von Bränden in Untertagebetrieben zu minimieren, müssen zum Beispiel vorbeugende Brandschutzmaßnahmen ergriffen werden. Diese können beispielsweise dadurch erreicht werden, dass nur solche Materialien eingesetzt werden, die schwer entflammbar sind oder einen Brand nicht selbstständig weiterleiten. Auch die Verwendung von schwer entflammbaren Hydraulikflüssigkeiten fällt hierunter.

Die Prüfung und Beurteilung dieser Materialeigenschaften ist in Deutschland und Europa normiert. Weiterhin gibt es internationale Regelwerke, die entsprechende Prüfverfahren und die Bewertung der Ergebnisse beschreiben. Im nachfolgenden Beitrag werden verschiedene Klassifizierungs- und Prüfnormen sowohl für Hydraulikflüssigkeiten als auch für Kunststoffe, wie beispielsweise Fördergurte, Schäume und andere, beschrieben und erläutert.

1 Introduction

Fires in mines cause not only large damage on equipment and installations, they also jeopardize the safety of personnel, especially when occurring in confined spaces. Major losses have been caused in Germany and Europe by pit fires until in the mid of the 20th century. One example is the fire at Belgian Bois du Cazier mine near Marcinell in 1956: the cage was activated before the last trolley was inside. That led to the demolition of supply lines – compressed air, hydraulic fluids and power. The occurring electric arc caused the fluid to ignite. As the source of fire was close to the entry shaft, it spread quickly throughout the mine leaving 262 miners from twelve nationalities dead (1). Another fire happened 21 years later at Schlägel & Eisen coal mine in Herten/Germany when a fire on a belt conveyor caused a so called open pit fire resulting in seven casualties (2).

Very often such fires started slow and spread because of combustible materials used in those underground mines, for example conveyor belts, fluids or basically any kind of plastic. Especially conveyor belts – containing high amounts of rubber – created a big hazard. Once set on fire, they produced large volumes of toxic smoke and worked as a fuse spreading the fire over the entire conveying distance.

1 Einleitung

Grubenbrände führen nicht nur zu hohen Sachschäden an Ausrüstung und Infrastruktur, sie können auch in hohem Maß das Personal gefährden – insbesondere in engen Grubenbauen. So sind in Deutschland und Europa bis annähernd in die Mitte des 20. Jahrhunderts zahlreiche Todesfälle durch Grubenbrände hervorgerufen worden. Ein Beispiel ist der Brand im belgischen Bergwerk Bois du Cazier bei Marcinell im Jahr 1956: Der Förderkorb wurde betätigt, während ein Wagen noch nicht vollständig aufgeschoben war. Dadurch wurden mehrere Versorgungsleitungen – Druckluft, Öl und Strom – abgerissen. Durch den entstehenden Lichtbogen wurde das austretende Hydrauliköl entzündet. Aufgrund des Brandorts am Einziehschacht breiteten sich Feuer und Rauch schnell in der Grube aus. Diese Brandkatastrophe forderte insgesamt 262 Opfer aus zwölf Nationen (1). Ein weiterer Grubenbrand führte 21 Jahre später auf dem deutschen Bergwerk Schlägel und Eisen in Herten zu sieben Toten. Dort kam es am Förderberg zu einem Glimmbrand, der im weiteren Verlauf einen Fördergurt entzündete. Dieses Initialfeuer breitete sich im weiteren Verlauf zu einem sogenannten offenen Grubenbrand aus (2).

Es ist also zu erkennen, dass Brände zwar oftmals nur sehr klein begannen, sich dann aber aufgrund der brennbaren Werkstoffe in

To improve fire safety in mines – especially underground – several institutions such as the Versuchsgrubengesellschaft mbH (“Test Mine Ltd.”) which later became DMT GmbH & Co. KG were founded. Since 1942, the test mine’s personnel researched, developed and adopted methods, products and procedures to reduce fire hazards at Tremonia site in Dortmund.

Examples for such improvements are water trough barriers for stopping the spread of an underground explosion. During their development artificial explosions were caused almost on daily basis. Furthermore, the reaction to fire of the so-called v-belts – conveyer belts with self-extinguishing properties – were researched and test methods created to prove such characteristics. The works were usually funded by the European Union (EU) or they were directly ordered by the German hard coal mining sector.

Those methods for testing the fire resistant or fire retardant properties of the mentioned materials were usually set down in national test standards and federal regulations, i. e. DIN standards. Some of those German regulations were later harmonized becoming European standards. As of today standards exist for testing and classifying fire resistant properties of conveyor belts, hydraulic fluids, foams and several other plastic components such as pipes, hoses, break disks or belt scrapers. Current standards that contain testing methods for checking the fire technical properties mentioned above are described in the following paragraphs.

Standardization usually differs between international guidelines (International Organization for Standardization – ISO), European standards (EN) or regulations from the national DIN (German Institute for Standardization) committee. Furthermore there are some directives that only apply to the special characteristics of German underground mining and are published by the regional mining inspectorates. Generally standards are distinguished into testing and classification. On the one hand testing standards describe one or more methods to assess the product’s properties, e.g. low flammability, spread of flame, afterburn time, and report the results in a certain evaluation criteria, e.g. undamaged rest length in millimetres. On the other hand the assessment of those results is described in classification standards. At this point it is specified when a product passes or fails a test.

2 Testing and classification regulations

Both testing and classification regulations for assessing fire technical properties are listed hereinafter. First, international standards are taken into account, then the European and finally national guidelines.

2.1 Testing of hydraulic fluids

On international level, different types of hydraulic fluids are described in DIN EN ISO 12922. They are distinguished depending on the amount of water in HFAC, HFAS and HFB or their synthetic components in HFC, HFDR, HFDU. Each category requires – besides a lot of mechanical properties – a certain degree of fire safety (3). This is assessed using four different test methods.

The fluids tendency to self-ignite on a hot surface is tested according to DIN EN ISO 20823. During that test, a small amount of liquid is dropped on a preheated surface. The temperature

der Grube ausbreiteten und insgesamt zu sehr großen Schäden führten. Als Beispiele für solche Materialien können Fördergurte oder Hydraulikflüssigkeiten, aber auch jegliche anderen Kunststoffe angeführt werden. Insbesondere Fördergurte, die zu großen Teilen aus Gummi bestehen, zeigten ein hohes Gefahrenpotential. Sobald sie sich entzündet hatten, wurden große Rauchmengen erzeugt und der Gurt wirkte wie eine Lunte, die den Brand über die gesamte Förderlänge ausbreitete.

Um den Brandschutz in den Bergwerken insbesondere unter Tage zu verbessern, wurden daher verschiedene Institutionen geschaffen, z. B. die Versuchsgrubengesellschaft mbH, die später zur DMT GmbH & Co. KG umfirmierte. Auf dem Gelände des ehemaligen Bergwerks Tremonia in Dortmund forschten, entwickelten und verbesserten die Mitarbeiter der Versuchsgrube seit dem Jahr 1942 Methoden, Produkte und Verfahren, um die Brandgefahren unter Tage maßgeblich zu reduzieren.

Ein Beispiel für solche Entwicklungen sind die bekannten Wassertrogsperrungen zur untertägigen Bekämpfung von Explosionen. In der Entwicklungszeit wurden in der Versuchsgrube zu Testzwecken fast täglich Explosionen geplant herbeigeführt und somit die Funktionsweise der Sperren in allen denkbaren Ausführungen überprüft. Des Weiteren wurde das Brandverhalten der sogenannten V-Gurte – Fördergurte, die selbstverlöschende Eigenschaften haben – erforscht und Prüfmethode entwickelt, um diese Merkmale nachzuweisen. Dies geschah oftmals im Rahmen von EU-finanzierten Forschungsvorhaben, aber teilweise auch durch direkte Beauftragung des deutschen Steinkohlenbergbaus.

Die Verfahren zum Nachweis der Feuerbeständigkeit bzw. der brandhemmenden Charakteristika wurden nach ihrer Entwicklung normalerweise in nationale Normen (DIN) oder andere Regularien eingebracht. Einige der deutschen Standards wurden später harmonisiert, d.h. in europäische Regelwerke überführt. Daher steht heute eine ganze Bandbreite an Normen zur Verfügung, die die Prüfung und Klassifizierung brandtechnischer Eigenschaften von Fördergurten, Hydraulikflüssigkeiten, Schäumen und vielen anderen Kunststoffbetriebsmitteln, z. B. Rohre, Schläuche, Bremsbeläge oder Gurtabstreifer, beschreiben. Im Folgenden wird näher auf die zurzeit gültigen Regelwerke eingegangen, die sich mit der Überprüfung der zuvor genannten brandtechnischen Eigenschaften beschäftigen.

In der Regel wird in der Normung zwischen Richtlinien der Internationalen Organisation für Normung (International Organization for Standardization – ISO), Europäischen Normen (EN) sowie den Regelwerken des Deutschen Instituts für Normung (DIN) unterschieden. Außerdem gibt es für spezielle Anwendungsbereiche im deutschen Bergbau noch weitere Richtlinien, die beispielsweise durch die Bergbehörden der Bundesländer veröffentlicht werden. Üblicherweise wird zwischen Prüf- und Klassifizierungsnormen unterschieden. Erste beschreiben ein oder mehrere Prüfverfahren, um bestimmte Produkteigenschaften – in diesem Fall Schwerentflammbarkeit, Brandweiterleitung, Nachbrennzeit, usw. – zu überprüfen. Hierbei werden lediglich Ergebnisse in einer oder mehreren definierten Beurteilungsgrößen ermittelt, z. B. unverbrannte Restlänge in Millimetern. Die Bewertung dieser Ergebnisse erfolgt in sogenannten Klassifizierungsnormen. Hierin wird letztendlich festgelegt, welchen Grenzwert das Produkt in der vorgeschriebenen Beurteilungsgröße maximal oder minimal erreichen darf bzw. muss.

depends on above mentioned categories, e.g. for HFDU fluids 400 °C. The liquid's reaction is assessed: no burning, burning on surface, burning on surface and in the tray below (4).

During the test according to DIN EN ISO 14935 a small rectangular piece of aluminum silicate is immersed in the liquid and then used as a wick. A small flame – similar to a regular lighter – is held on the wick for a certain time and burning behavior on the wick is assessed (Figure 1): Does the wick continue to burn by itself and if so for how long? Pre-flaming times are gradually raised from 2 s to 30 s (5).

Another way of verifying the fluid's low flammability are the spray ignition tests according to DIN EN ISO 15029 parts 1 and 2 during which the liquid is dispensed under high pressure and then impinged with a welding torch for part 1 (Figure 2) or a stabilized propane flame for part 2. The evaluation criteria for part 1 is the afterflame time, whereas for part 2 flammability and flame length index as well as smoke density are determined. The flammability index describes a defined ratio between the temperature of the supply and the exhaust air with and without the fluid's spray. The flame length index is also a ratio which includes the length of flame observed during the test. Last, the smoke density characterizes the intensity of the produced smoke (6, 7).

2.2 Testing of conveyor belts

While hydraulic fluids are uniformly tested and classified according to ISO standards, the requirements for conveyor belts are listed in European regulations but test methods in international and European standards.

Fire resistance requirements for conveyor belts intended for underground use are summarized in DIN EN 14973 while belts for general purpose use are described in DIN EN 12882. Belts are dis-

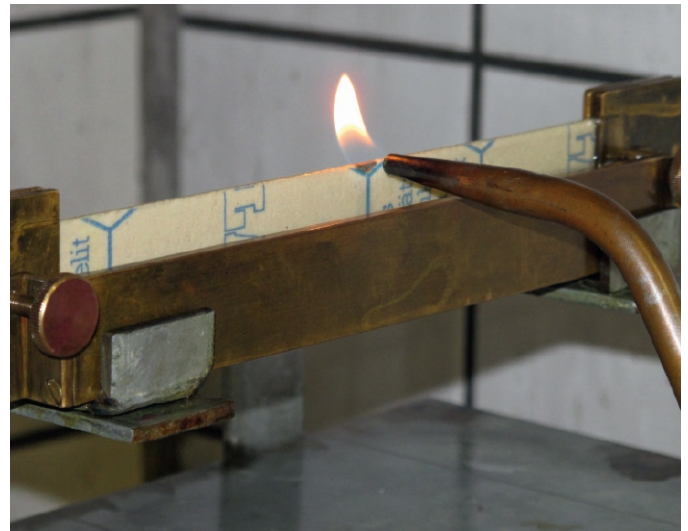


Fig. 1. Wick flame test according to DIN EN ISO 14935.
Bild 1. Der sogenannte Dochttest gemäß DIN EN ISO 14935.

2 Prüf- und Klassifizierungsnormen

Nachfolgend werden Prüf- und Klassifizierungsnormen zur Ermittlung brandtechnischer Eigenschaften aufgeführt und erläutert. Es wird zuerst auf die internationalen Normen eingegangen, anschließend auf die europäischen und zum Abschluss werden noch nationale Vorschriften betrachtet.

2.1 Prüfung von Hydraulikflüssigkeiten

Im internationalen Bereich werden in der DIN EN ISO 12922 („Anforderungen an Druckflüssigkeiten“) verschiedene Arten von Hydraulikflüssigkeiten beschrieben. Diese werden entweder aufgrund ihres Wasseranteils in den Kategorien HFAE, HFAS und HFB bzw. aufgrund ihrer synthetischen Zusammensetzung in HFC, HFDR oder HFDU unterschieden. Für jede der genannten Flüssigkeitstypen wird – nebst mechanischen Eigenschaften – ein bestimmter Grad an Schwerentflammbarkeit vorgeschrieben (3). Dieses Maß wird durch vier verschiedene Prüfmethode bestimmt.

Die Neigung einer Flüssigkeit, sich selbst auf einer heißen Oberfläche zu entzünden, wird nach DIN EN ISO 20823 ermittelt. Hierbei wird eine kleine Menge des Hydrauliköls auf eine vorgeheizte Oberfläche getropft. Die Temperatur wird je nach o. g. Typ voreingestellt, z.B. 400 °C für HFDU Flüssigkeiten, und anschließend der Effekt beurteilt. Entweder entflammt die Flüssigkeit gar nicht, brennt nur auf der heißen Oberfläche oder brennt und tropft brennend in die Auffangschale ab. Ein Nichtbrennen kann gemäß der Normvorgaben als „bestanden“ gewertet werden (4).

Bei der Prüfung nach DIN EN ISO 14935 wird eine kleine, rechteckige Aluminiumsilikatplatte in die Flüssigkeit eingetaucht und als Docht verwendet. Eine Flamme, die nicht größer ist als die eines Feuerzeugs, wird für eine vorgegebene Zeit an den „Docht“ gehalten und das Brandverhalten bewertet (Bild 1): Brennt der Docht eigenständig weiter und wenn ja, wie lange? Die Beflammungszeiten werden von 2 s sukzessive auf 30 s gesteigert (5).

Ein weiteres Verfahren, um die Schwerentflammbarkeit von Hydraulikflüssigkeiten nachzuweisen, sind die Sprühstrahlzündprüfungen nach DIN EN ISO 15029, Teile 1 und 2. Hier wird die Flüssigkeit unter hohem Druck aus einer Düse versprüht und für Teil 1 einer



Fig. 2. Spray ignition test according to DIN EN ISO 15029-1. Liquid dispensed under high pressure is ignited with a welding torch.
Bild 2. Sprühstrahlzündprüfung nach DIN EN ISO 15029-1. Mit einer Schweißbrennerflamme wird versucht die unter Druck ausströmende Hydraulikflüssigkeit zu entzünden. Photo/Foto: DMT



Fig. 3. DIN EN 12881-1, method A shows the test of a conveyor belt which does not fulfill fire safety requirements. Spreading of flames to the belt and smoke must be noted.

Bild 3. DIN EN 12881-1, Verfahren A zeigt die Prüfung an einem Fördergurt, der nicht brandschutztechnisch ertüchtigt ist. Das Übergreifen der Flammen auf den Gurt und die starke Rauchentwicklung sind zu beachten. Photo/Foto: DMT

tinguished according to their intended application area into five classes for DIN EN 14973 (A to C2) or ten categories (1 to 5C) for DIN EN 12882 (8, 9). Class B1 e.g. is explained as „general use, only hazard being limited access and means of escape, plus a potentially flammable atmosphere. No secondary devices necessary“ (8). The actual class or category is chosen on basis of a hazard assessment done by the end user – test specifics and test requirements then depend on the intended class (8). Up to four different tests need to be passed to fulfill fire safety requirements.

First, a small scale test is performed during which the test sample (200 mm x 25 mm x thickness) is impinged by a laboratory burner in a 45° angle (DIN EN ISO 340). Afterburn and afterglow are assessed. The belt is tested with and without covers (10). This is followed by a mid-scale fire propagation tests. Depending on the pursued classification or the test results respectively one of the following methods may be applied. According to DIN EN 12881-1 method A, a 2 m test sample in full width is put on a frame and is then impinged with an 80 kW propane burner from beneath (Figure 3). If tested according to method B, a 2.5 m sample also in full width is impinged parallel from top and bottom. The reason for this being that DIN EN 12881-1 evaluates the fire spread. This means that a belt has to fully ignite on the one hand and on the other hand flames have to decrease by itself until they are eventually self-extinguished. That is why method B has to be conducted if a full ignition could not be achieved with method A.

An alternative to method B is method C. A sample (1,500 mm x 230 mm x thickness) is put in a laboratory scale fire testing tunnel (1,676 mm x 460 mm x 460 mm) and is impinged with a six parts gas burner over 50 min. The undamaged remaining length serves as evaluation criteria (Figure 4).

Finally, method D is very similar to method C the differences being other dimensions of the test rig – 2,100 mm x 350 mm x

Schweißbrennerflamme (Bild 2) bzw. für Teil 2 einer stabilisierten Propanflamme ausgesetzt. Zu bewertende Faktoren sind für den Teil 1 die Nachbrennzeit der Flamme, für Teil 2 werden Entflammbarkeits- und Flammenlängenindex sowie die Rauchdichte bestimmt. Unter Entflammbarkeitsindex ist ein definiertes Verhältnis der Zu- bzw. Ablufttemperaturen mit und ohne Sprühstrahl zu verstehen. Der Flammenlängenindex ist ebenfalls eine Verhältnisangabe, in welche die Länge der Flamme einfließt. Die Rauchdichte beschreibt die Intensität des durch die Beflammung entstehenden Brandrauchs (6, 7).

2.2 Prüfung von Fördergurten

Während die schwer entflammaren Hydraulikflüssigkeiten auf Grundlage bestehender ISO-Normung sowohl klassifiziert als auch geprüft werden, verhält es sich bei den Fördergurten nicht so einheitlich. Die Klassifizierungen liegen als europäische Normen vor, verweisen jedoch gleichermaßen auf internationale und europäische Regelwerke bezüglich der Prüfmethodik.

Die brandtechnischen Eigenschaften von Fördergurten für den Einsatz unter Tage werden in der DIN EN 14973 beschrieben, während sie für die allgemeine Anwendung – übertägiger Bergbau, Kraftwerke, etc. – in der DIN EN 12882 zusammengefasst sind. Die Gurte werden auf Grundlage ihres späteren Anwendungsbereichs gemäß DIN EN 14973 in fünf Klassen (A bis C2) bzw. nach DIN EN 12882 in zehn Kategorien (1 bis 5 C) eingeteilt (8, 9). So wird beispielsweise die Klasse „B1“ folgendermaßen beschrieben: „Allgemeiner Einsatz, nur gefährlich bei eingeschränktem Zugang und Fluchtweg. Zusätzlich herrscht eine potentiell entflammbare Atmosphäre vor. Es werden keine zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen vorgehalten“ (8). Die Festlegung der zu verwendenden Kategorie bzw. Klasse erfolgt auf Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung durch den Endnutzer, z.B. das Bergwerk. Je nach angestrebter Klassifizierung sind die Prüfverfahren und -anforderungen in den zuvor genannten Normen festgeschrieben (8). Es sind bis zu vier verschiedene Prüfungen notwendig, um die Anforderungen an die Brandschutzeigenschaften zu erfüllen.

Zuerst wird eine Laborprüfung durchgeführt, bei welcher der Probekörper (200 mm x 25 mm x Dicke) unter einem Winkel von 45° mit einem Laborbrenner beflammt wird (DIN EN ISO 340). Hierbei wird die Nachbrennzeit bzw. Nachglimmzeit dokumentiert und bewertet. Der Fördergurt wird sowohl mit als auch ohne Deckplatten geprüft (10). Diesem Test folgen Prüfungen im mittleren Maßstab. Je nach angestrebter Klassifizierung bzw. Prüfergebnis können die nachfolgenden Verfahren ausgewählt werden oder folgen aufeinander. Verfahren A der DIN EN 12881-1 legt in diesem Fall fest, dass ein 2 m langes Fördergurtstück in kompletter Breite auf einem Gestell zu positionieren und von unten mit einem 80 kW-Gasbrenner zu beflammen ist (Bild 3). Bei einer Prüfung nach Verfahren B wird ein 2,50 m langer Probekörper ebenfalls bei kompletter Breite sowohl von oben als auch von unten parallel beflammt. Der Hintergrund ist der, dass die DIN EN 12881-1 die Brandweiterleitung beurteilt, d.h. wie weit brennt ein Fördergurt eigenständig weiter, wenn er sich entzündet hat. Dies kann nur beurteilt werden, wenn sich der Gurt auch tatsächlich vollständig entzündet. Daher wird beispielsweise bei unvollständiger Entzündung während einer Prüfung nach Verfahren A eine Prüfung nach Verfahren B notwendig.

Alternativ hierzu kann Verfahren C angewendet werden. Dabei wird ein Probekörper (1,500 mm x 230 mm x Dicke) im sogenannten



Fig. 4. Testing of a conveyor belt according to DIN EN 12881-1, method C in a laboratory scale fire testing tunnel with a six parts burner.
Bild 4. Prüfung eines Fördergurts gemäß DIN EN 12881-1, Verfahren C im sogenannten Laborbrandstollen mit einem sechsteiligen Brenner.



Fig. 5. The so called drum friction test: A conveyor belt is firmly fixed while the drum is rotating with $(200\pm 5)\text{min}^{-1}$.
Bild 5. Der so genannte Reibtrommeltest: Ein Fördergurt wird fest eingespannt während sich die Trommel mit $(200\pm 5)\text{min}^{-1}$ dreht.

350 mm – and the sample – 1,200 mm x 90/120 mm x thickness – as well as using another burner for 15 min only (11).

Furthermore, a so-called drum friction test must be fulfilled (Figure 5). This method according to DIN EN 1554 represents a stuck conveyor belt with a continuing pulley. During the course of test no flames are allowed to appear and depending on class or category glowing and reaching a certain temperature limit on the drum surface are prohibited, too (12).

The belt's electrical conductivity is assessed according to DIN EN ISO 284. Although this does not directly have anything to do with fire, static charges need to be avoided so that there is no threat of sparks. With two circular electrodes the conductivity is measured and it needs to be below 300 M Ω (8, 9, 13).

In addition, to achieve class C2 according to DIN EN 14973 a large scale fire test with an 18 m specimen and full width is mandatory. The belt is exposed to a 300 kg wood fire with a power output of approximately 3.3 MW, so that it will eventually ignite. The requirement is for the flames to not spread more than 15 m leaving at least 3 m of belt undamaged. Class C2 is only required by German coal mines in order to keep the safety level of a former German DIN standard (14).

2.3 Test of injection resins or foams for filling cavities

The "Gesundheitsschutz-Bergverordnung" (GesBergV – health protection mining resolution) describes as its main issue the hygienic compatibility of products as well as its components. However, § 4 of this resolution defines fire tests for foams which are intended for injections or filling cavities.

If a product is intended for use as an injection resin, the exothermic temperature during curing has to be assessed. It has to be less than 150 °C and less than the flash point of each individual component. The foam consistency of the product has to be checked as well meaning that the cured resin does not contain any cavities during which gas could possibly leak. A cured 90 l block is cut into slices and examined for such cavities (15).

If the product is intended for filling cavities, meaning an open surface application, two other tests have to be conducted besides

„Laborbrandstollen“ – Abmaße 460 mm x 460 mm x 1.676 mm – mit einem sechsteiligen Brenner für die Dauer von 50 min beflammt und auch hier die Brandweiterleitung, d. h. die unbeschädigte Restlänge des Gurts beurteilt (Bild 4).

Abschließend ist noch Verfahren D aufzuführen, das sich nur in wenigen Punkten von Verfahren C unterscheidet. Dies betrifft die Abmaße des „Laborbrandstollens“ – 2.100 mm x 350 mm x 350 mm – und des Probemusters – 1.200 mm x 90/120 mm x Dicke – sowie den Brenner, der in diesem Fall nur 15 min auf die Probe einwirkt (11).

Eine weitere Prüfnorm beschreibt den sogenannten „Reibtrommeltest“ (Bild 5). Das Verfahren nach DIN EN 1554 simuliert einen festsitzenden Fördergurt bei sich weiter drehender Antriebstrommel. Während der Prüfung darf es zu keiner offenen Flammenbildung kommen sowie – je nach Anforderung der angestrebten Kategorie bzw. Klasse – auch nicht zum Glühen oder zur Überschreitung definierter Grenztemperaturwerte auf der Trommeloberfläche (12).

Um eine statische Aufladung und die damit einhergehende Gefahr eines Zündfunkens zu vermeiden, müssen Fördergurte elektrisch leitend sein. Die Überprüfung dieser Charakteristik wird in der DIN EN ISO 284 beschrieben. Hierbei wird die Leitfähigkeit mittels zweier Rundelektroden bestimmt, die auf den Probekörper (300 mm x 300 mm) aufgesetzt werden. Der Widerstand als Maß für die Fähigkeit statische Ladung abzuleiten, muss unter dem Grenzwert von 300 M Ω bleiben (8, 9, 13).

Um die Klasse C2 nach DIN EN 14973 zu erreichen, ist eine Brandprüfung im Realmaßstab notwendig. Eine Fördergurtprobe von 18 m Länge und kompletter Breite wird hierbei einem initialen 300 kg Holzfeuer mit einer Wärmeleistung von ca. 3,3 MW ausgesetzt, sodass sich der Gurt letztendlich selbst entzündet (14). Die Anforderung besagt, dass sich der Brand an dem Fördergurt nicht weiter als 15 m ausbreiten darf, d. h. 3 m des Probestücks am Ende unbeschädigt bleiben (8). Die Klasse C2 wird in der Regel nur in deutschen Steinkohlenbergwerken gefordert, um den etablierten Sicherheitsanforderungen vorangegangener DIN-Normen weiterhin gerecht zu werden.



Fig. 6. Real scale test for cavity filling foams with a 460 kg wood fire object shortly after ignition.

Bild 6. 460 kg Holzbrandobjekt der Prüfung im Realmaßstab für Schäume, die zur Hohlraumverfüllung unter Tage eingesetzt werden kurz nach der Entzündung. Photo/Foto: DMT

the assessment of the curing temperature. Again, a 90 l block is cured but this time coal dust with an auto-ignition temperature between 110 °C and 12 °C (according to VDI 2263) is put on top of the material while the specimen is in a chamber heated to 60 °C. The temperature development within the coal dust and the sample is monitored and possible smoke emission is looked out for. The coal dust is not supposed to ignite or to glow. It may also not reach 400 °C at any measuring point.

Furthermore, a large scale test has to be conducted during which a 13 m long section of the test tunnel is foamed on both sides and in the roof. Then a 460 kg wood fire is ignited impinging the foam (Figure 6). At least 3 m of material have to be unharmed at the end for positive assessment (15).

2.4 Test methods for other plastic materials

Finally, another German standard, DIN 22100-7, contains requirements and test methods for almost any other plastic material which is used underground. The standard contains not only fire but also health safety and electrostatic demands. This regulation covers materials such as ducting, hoses, v- and drive belts, brake lining and many more (16). In some instances part 7 refers to other parts of the DIN 22100 as tests are described in their own standard.

To evaluate the fire safety of plastic pipes, e.g. pipe insulations or hoses, following test according to DIN 22100-5 has to be passed: A 15 m sample is impinged by a wood fire with an approximate power output of 3,3 MW (Figure 7). The fire propagation is then assessed and is limited to 9 m (17).

A similar set up is used for foils and fabrics as listed in DIN 22100-6. While the test rig and the wood fire are the same, the sample material needs to be attached not only at the roof but

2.3 Prüfung von Injektionsharzen und Schäumen zur Hohlraumverfüllung

Auf nationaler Ebene gibt es die sogenannte Gesundheitsschutz-Bergverordnung (GesBergV), die für Gefahrstoffe besondere Vorschriften festlegt. Die hierfür notwendigen Prüfungen sind in den „gemeinsamen Prüfbestimmungen der Länderbergbehörden“ beschrieben (15). Die Prüfbestimmungen für Stoffe nach § 4 GesBergV definieren zum einen die Überprüfung der bergbauhygienischen Belange von Produkten sowie deren Einzelkomponenten. Zum anderen werden verschiedene Brandprüfungen für Schäume beschrieben, die als Injektionsharz oder Hohlraumverfüller eingesetzt werden sollen.

Soll ein Produkt als Injektionsharz eingesetzt werden, muss die Aushärtetemperatur bestimmt werden. Diese muss unter 150 °C bleiben bzw. gleichermaßen unterhalb des Flammpunkts jeder einzelnen Komponente. Weiterhin muss die Schaumkonsistenz bewertet werden. Dies bedeutet, dass das ausgehärtete Material keine Hohlräume im Schaum bilden darf, durch die möglicherweise Gas durchdringen kann. Hierzu wird ein 90 l-Block des Schaums ausgehärtet, in Scheiben geschnitten und auf solche Hohlräume hin untersucht (15).

Soll das Produkt allerdings zur Hohlraumverfüllung eingesetzt werden, d.h. eine großflächige Anwendung in einer Strecke erfahren, dann müssen zwei andere Prüfungen zusätzlich zur Bestimmung der Aushärtetemperatur durchgeführt werden. Es wird erneut ein 90 l-Block des Materials ausgehärtet, jedoch werden dieses Mal 100 g Standardkohlenstaub (Selbstentzündungstemperatur nach VDI 2263 zwischen 110 °C und 120 °C) in einen Hohlraum auf der Oberfläche gegeben. Der Probekörper befindet sich in einem Isolierraum bei 60 °C. Die Temperaturentwicklung im Kohlestaub bzw. im Probekörper selbst sowie die Rauchentwicklung werden beobachtet. Der Standardkohlestaub darf sich beim Aushärten nicht selbst entzünden und nicht glühen bzw. an keiner Messstelle über 400 °C erreichen.

Weiterhin wird ein Versuch im Realmaßstab durchgeführt. Auf einem 13 m langen Abschnitt eines Brandtunnels wird sowohl rechts und links an den Seiten sowie an der Firste durchgehend das Material appliziert. In Wetterrichtung vor dem ausgeschäumten Bereich wird anschließend ein Feuer an 460 kg Holz entzündet, das nun das Material mit Wärme und Flammen beaufschlagt (Bild 6). Um ein positives Versuchsergebnis zu erlangen, müssen am Ende der Prüfung mindestens 3 m des ausgeschäumten Materials unbeschädigt bleiben (15).

2.4 Prüfung sonstiger Kunststoffprodukte

Abschließend gibt es noch die deutsche Norm DIN 22100-7, die Anforderungen und Prüfverfahren für fast alle Kunststoffprodukte festlegt, die bisher noch nicht beschrieben wurden und unter Tage eingesetzt werden sollen. Hierbei werden neben den brandtechnischen Eigenschaften auch Anforderungen an den Gesundheitsschutz sowie an die elektrostatischen Funktionalitäten gestellt (16). Dies sei aber nur der Vollständigkeit halber genannt und wird im Folgenden nicht näher betrachtet. Inhalt der DIN 22100-7 sind z.B. Rohre, Schläuche, Keil- und Zahnriemen, Bremsbeläge und vieles mehr. Teilweise verweist der Teil 7 auch auf andere Teile der DIN 22100-Reihe, da manche Prüfungen in eigenständigen Normen beschrieben sind.



Fig. 7. Testing of plastic pipes mounted under the roof according to DIN 22100-5. The fire's approximate fire output is 3,3 MW.
Bild 7. Prüfung von an der Firste befestigten Kunststoffrohren nach DIN 22100-5. Die Wärmeleistung des Feuers beträgt ca. 3,3 MW.

on both sides as well. In order to pass the test the fire may not spread more than 10 m behind the wood fire (18).

Mentioned in DIN 22100-7 itself is a method for testing brake linings for underground vehicles. The necessary samples (20 mm x 20 mm x 50 mm) need to be dried and dehydrated. They are then pressed hydraulically against a rotating brake disk. The pressure and the peripheral speed are set in the standard. A cloth impregnated with potassium chlorate is placed under the lining. The cloth may not ignite due to possible abrasion debris in order to achieve a positive result (16).

DIN 22117 is another national standard that defines the determination of the oxygen index. This index is used to quickly find out the quantitative and qualitative composition of the product. It is more or less the "finger print" of a conveyor belt. For this purpose the oxygen level (Vol. %) for keeping the sample enflamed for 180 s needs to be determined. This is achieved by testing at least five samples (150 mm x 50 mm x thickness) at different oxygen levels. The specimens are mounted vertically within a glass cylinder and exposed to an oxygen-nitrogen-mixture from beneath so that the corresponding concentration is achieved. The samples are ignited from above with a special burner. The determined oxygen concentrations are then entered in a coordinate system according to their afterburn times. A balance line is applied and the oxygen index for 180 s is graphically identified. In the past this oxygen index was the identification feature for every conveyor belt that was used in German hard coal mining. However, this declined due to increasing European and international standardization (19).

3 Conclusion

The previously outlined standards for classification and testing give a brief overview of regulations that apply within Germany and Europe for plastic components used in mines. The list is certainly not embracing everything, but emphasizes on the determination of fire technical properties.

Um beispielsweise Kunststoffrohre, Rohrisolierungen oder Schläuche unter Tage einsetzen zu dürfen, muss folgende Prüfung nach DIN 22100-5 bestanden werden: Ein 15 m langer Probekörper wird unter der Firste eines definierten Versuchsraums aufgehängt und im vorderen Bereich einem 3,3 MW-Brand ausgesetzt (Bild 7). Erneut wird hier die Brandweiterleitung als maßgebendes Kriterium herangezogen und darf nicht mehr als 9 m betragen (17).

Ein ähnlicher Versuchsaufbau ist für die Prüfung von Folien, Geweben, Verschlagsmaterialien oder Verzugsplatten beschrieben. Geregelt ist dies in der DIN 22100-6. Während das Holzbrandobjekt sowie der Versuchsraum analog zu der zuvor beschriebenen Prüfung sind, wird das Folien- oder Gewebematerial nicht nur an der Firste befestigt, sondern der Brandraum auf einer Länge von 13 m vollflächig damit ausgekleidet (min. 80 m²). Zum Bestehen der Prüfung darf sich der Brand am Gewebe nicht weiter als 10 m hinter dem Brandobjekt ausbreiten (18).

In der DIN 22100-7 ist u.a. das Verfahren zur Prüfung von Bremsbelägen beschrieben, die an Fahrzeugen unter Tage zur Anwendung kommen können. Die hierzu notwendigen Probekörper (20 mm x 20 mm x 50 mm) werden vor der Prüfung getrocknet und somit entfeuchtet. Anschließend wird das Prüfstück mit einer hydraulischen Vorrichtung gegen eine rotierende Bremscheibe gedrückt. Der Anpressdruck des Reibbelags sowie die Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe sind normativ vorgeschrieben. Unterhalb des Probekörpers befindet sich ein mit Kaliumchlorat getränkter Baumwollappen. Um zu einem positiven Prüfergebnis zu gelangen, darf sich der Lappen durch den ggf. heißen Abrieb des Bremsbelags nicht entzünden (16).

Eine weitere nationale Norm ist die DIN 22117, welche die Ermittlung des Sauerstoffkennwerts für Fördergurte definiert. Dieser dient zur schnellen Feststellung bzw. Identitätskontrolle sowohl der quantitativen als auch der qualitativen Zusammensetzung des Produkts. Der Test bestimmt also den „Fingerabdruck“ eines Fördergurtes. Hierzu wird der Sauerstoffgehalt in Volumenprozenten ermittelt, die notwendig sind, um die Probe für die Dauer von 180 s mit Flamme brennen zu lassen. Die Prüfung erfolgt mit mindestens fünf Proben (150 mm x 50 mm x Dicke) bei verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen. Die Proben werden vertikal in einem Glaszylinder befestigt und mit einem Sauerstoff-Stickstoffgemisch von unten umströmt, sodass sich im Zylinder die entsprechende Konzentration einstellt. Die Entzündung erfolgt mit einem Brenner von oben. Die Werte des Sauerstoffgehalts werden nach Ende der Prüfung in einem Koordinatensystem der dazugehörigen Nachbrennzeit gegenübergestellt. Es wird eine Ausgleichsgerade gezogen und der Sauerstoffkennwert für die Nachbrennzeit von 180 s grafisch bestimmt. In der Vergangenheit war der Sauerstoffkennwert das Identitätsmerkmal eines jeden Fördergurtes, der im deutschen Steinkohlenbergbau eingesetzt wurde. Dies ist allerdings mit zunehmender europäischer bzw. internationaler Normung im Lauf der Zeit immer weiter zurückgegangen (19).

3 Zusammenfassung

Die zuvor beschriebenen Klassifizierungs- und Prüfnormen geben einen Überblick über die Regularien, die in Deutschland und Europa für die Verwendung von Kunststoffbetriebsmitteln im Bergbau zum Tragen kommen. Die Auflistung ist sicherlich nicht allumfassend, sondern legt lediglich einen Schwerpunkt auf die Ermittlung der brandtechnischen Eigenschaften. Zusammenfassend lässt sich jedoch sagen, dass der Brandschutz in Bergwerken unter Tage bzw.

To sum up, fire safety is a very important issue for underground mines or actually any mines in general. The sheer number of guidelines serve as a good indicator for that, the background of these regulations being especially protecting all the personnel. This means that constantly improving combustion characteristics of hydraulic fluids, conveyor belts, foams and plastics in general are of great help for taking preventive measures against fire emergence and spread of any fires.

Therefore, standards for testing those characteristics have been introduced and have created a high level of safety for mining personnel and equipment ever since. The fact that a lot of those test methods are similar or even the same all over the world suggests the reliability and acceptance of those tests. Similar test standards for drum friction testing of conveyor belts exist in Canada, China, South Africa and Australia – one of the reasons that most recently a work item has been started by ISO to create an international standard for this method and thereby further pushing harmonization of test standards. This could ultimately lead to an implementation of certain safety levels making mining safer all over the world.

im Bergbau ganz allgemein einen hohen Stellenwert einnimmt. Allein die Anzahl der Regelwerke ist dafür ein Indikator. Die Regulierungen erfolgen insbesondere vor dem Hintergrund des Schutzes der Belegschaft. Das bedeutet ebenfalls, dass das konstante Verbessern der Brandeigenschaften von Hydraulikflüssigkeiten, Fördergurten, Schäumen usw. maßgeblich dazu beiträgt, dem Ausbruch und der Weiterleitung von Bränden vorzubeugen.

Daher wurden und werden Normen geschaffen, um diese Eigenschaften zu überprüfen und somit ein hohes Maß an Sicherheit für das Personal und die Ausrüstung zu gewährleisten. Die Tatsache, dass ein großer Teil der beschriebenen Prüfmethoden auch in außereuropäischen Ländern ähnlich oder gleich ist, suggeriert die Zuverlässigkeit und die Akzeptanz dieser Verfahren. Dies sei am Beispiel der Reibtrommelprüfung kurz aufgezeigt. Sowohl in Kanada, China, Südafrika als auch Australien existieren ähnliche Normen. Dies mag einer der Gründe dafür sein, dass kürzlich ein Normungsvorhaben der ISO gestartet wurde, um für diese Testmethode einen einheitlichen, internationalen Standard zu realisieren. Letztendlich kann es zu einer weiteren Harmonisierung der Normen und somit auch zu einer Etablierung gewisser Sicherheitsstandards führen, die den Bergbau weltweit noch sicherer machen.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Die Folgen von Marcinelle. 1956, Der Spiegel, S. 32-34.
- (2) Kommission der Europäischen Gemeinschaften – Ständiger Ausschuss für die Betriebssicherheit und den Gesundheitsschutz im Steinkohlenbergbau und in den anderen mineralgewinnenden Industriezweigen. Untersuchungen und Schlussfolgerungen aus Anlass der Grubenunglücke auf den Zechen Merlebach am 30. September 1976 und Schlägel und Eisen am 27. Oktober 1977. Luxemburg : s.n., 1980. Doc. 5983/8/78 D.
- (3) DIN EN ISO 12922. Schmierstoffe, Industrieöle und verwandte Produkte (Klasse L) – Familie H (Hydraulische Systeme) – Anforderungen an Druckflüssigkeiten in den Kategorien HFAG, HFAS, HFB, HFC, HFDR und HFDU. April 2013.
- (4) DIN EN ISO 20823. Bestimmung der Entflammbarkeits-Charakteristik von Flüssigkeiten bei Kontakt mit heißen Oberflächen. August 2003.
- (5) DIN EN ISO 14935. Bestimmung der Nachbrennzeit schwer entflammbarer Flüssigkeiten an einem Docht. 1998.
- (6) DIN EN ISO 15029-1. Bestimmung der Zündeigenschaften von Sprühstrahlen schwer entflammbarer Flüssigkeiten Teil 1: Nachbrennzeit des Sprühstrahls mit Flamme – Verfahren mit Hohlkegelstrahl. 2002.
- (7) ISO/TS 15029-2. Mineralölerzeugnisse und verwandte Produkte – Bestimmung der Zündeigenschaften von Sprühstrahlen schwer entflammbarer Flüssigkeiten – Teil 2: Sprühstrahl-Zündprüfung – Wärmeabgabe einer stabilisierten Flamme. 2012.
- (8) DIN EN 14973. Fördergurte für die Verwendung unter Tage – Elektrische und brandtechnische Sicherheitsanforderungen. 2016.
- (9) DIN EN 12822. Fördergurte für die allgemeine Anwendung – Elektrische und brandtechnische Anforderungen. 2015.
- (10) DIN EN ISO 340. Fördergurte – Brandverhalten unter Laborbedingungen – Anforderungen und Prüfung. 2013.
- (11) DIN EN 12881-1. Fördergurte – Brandtechnische Prüfungen – Teil 1: Prüfungen mit dem Propanbrenner. 2015.
- (12) DIN EN 1554. Fördergurte – Prüfung der Trommelreibung. 2012.
- (13) DIN EN ISO 284. Fördergurte – Elektrische Leitfähigkeit – Spezifikation und Prüfverfahren. 2013.
- (14) DIN EN 12881-2. Fördergurte – Brandtechnische Prüfungen – Teil 2: Brandstreckenprüfung. 2009.
- (15) Gemeinsame Prüfbestimmungen der Länderbergbehörden für allgemeine Zulassungen nach § 4 in Verbindung mit Anlage 5 der Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung – GesBergV) vom 31.07.1991. (BGBl. I S. 1751), zuletzt geändert durch Verordnung vom 10.08.2005. (BGBl. I S. 2452). 2005.
- (16) DIN 22100-7. Betriebsmittel und Betriebsstoffe aus Kunststoffen zur Verwendung in Bergwerken unter Tage – Teil 7: Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen, Kennzeichnung. 2011.
- (17) DIN 22100-5. Betriebsmittel und Betriebsstoffe aus Kunststoffen zur Verwendung in Bergwerken unter Tage – Teil 5: Rohre, Rohrisolierungen und Schläuche – Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen, Kennzeichnung. 2010.
- (18) DIN 22100-6. Betriebsmittel und Betriebsstoffe aus Kunststoffen zur Verwendung in Bergwerken unter Tage – Teil 6: Folien, beschichtete/unbeschichtete Gewebe, Verschlagmaterialien und Verzugsmatten – Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen, Kennzeichnung. 2010.
- (19) DIN 22117. Fördergurte für den Steinkohlenbergbau; Ermittlung des Sauerstoff-Kennwertes. 1988.

Author / Autor

Christoph Möller, M. Sc., Project Manager Mining/Special Fire Testing and Head of Fire Training at DMT GmbH & Co. KG, Dortmund/Germany