

Assessing the Corrosion Risk to Coal-Face Chains

Coal winning is now generally associated with the mechanised longwall face system. Data on the actual number of such production units is currently only available for a few countries, though recent estimates have suggested that there are about 2,000

longwall faces in operation at collieries around the world, with about three quarters of these to be found in the Peoples Republic of China (1). This paper will seek to focus on longwall operations of this kind.

Abschätzung der Korrosionsgefährdung von Bergbauketten in Strebbetrieben

Der Abbau von Stein- und Braunkohle im Tiefbau erfolgt häufig im Langfrontbau. Die genaue Anzahl der Streben ist nur für einige Länder im öffentlichen Datenzugriff. Ihre Zahl weltweit dürfte zumindest im Steinkohlentiefbau - und darauf soll im Folgenden

der Fokus gelegt werden - nach jüngeren Schätzungen bei etwa 2000 liegen. Davon sind etwa drei Viertel in der Volksrepublik China zu finden (1).

Introduction

Underground coal faces typically have to function in environments that present varying levels of corrosivity (Figure 1). Mining chains have to operate in moisture-laden air and, in addition, are not only in direct contact with inflowing water and, more crucially, with jet spray water but are also in indirect contact with the wet mineral itself. They are therefore continuously subjected to the damaging effect of corrosion. If this results in frequent chain breakages (chain failure) such that the operators are compelled to replace the chain assembly during the production phase, the financial cost incurred by this forced replacement work could well be several times greater than the cost of a new chain. Having access to a reliable assessment of the corrosion risk affecting mining chains operating in a given colliery situation will enable the mine operator to install galvanised chains as an effective corrosion protection measure. When the installation is still in service a more accurate prediction can be made of the remaining lifetime of the chain and this at least allows the operator to prepare for a scheduled, and hence cost-effective changeover of the chain assembly.

Degradation processes and causes of failure

Mining chains are subject to regular stress as well as unplanned, irregular dynamic loading. The latter includes chain blockages that critically occur close to the drive unit, a problem that has already been discussed in a number of technical publications (2,3,4) and so does not require detailed examination here. The type of stress regularly occurring essentially involves the trans-

Einleitung

Grundsätzlich sind die Strebbetriebe des Kohlentiefbaus (Bild 1) durch korrosive Umgebungsbedingungen gekennzeichnet, die jedoch mehr oder weniger stark ausgeprägt sein können. Neben feuchtigkeitsbefrachteten Wettern kommen Ketten mit Zufluss- und vordringlich mit Bedüsungswässern direkt oder indirekt durch feuchtes Haufwerk in Kontakt. Ketten unterliegen damit immer einer schädigenden Beeinflussung durch Korrosion. Führt die Korrosion zu Schäden (Kettenbrüchen), die wegen ihrer Häufigkeit zu einem Kettenwechsel im laufenden Betrieb zwingen, können die Wechselkosten die Kosten für eine neue Kette um ein Vielfaches übersteigen. Eine zuverlässige Abschätzung der Korrosionsgefährdung von Bergbauketten während der Planung eines Betriebs versetzt den Betreiber in die Lage, Ketten in feuerverzinkter Ausführung als wirkungsvollen Korrosionsschutz einzusetzen. In laufenden Betrieben ist zumindest eine genauere Vorhersage der Reststandzeit möglich. Dadurch wird es dem Betreiber ermöglicht, planmäßige und damit kostenminimale Kettenwechsel vorzubereiten.

Schädigungsprozesse und Ausfallursachen

Bergbauketten unterliegen sowohl regulären als auch unplanbar-irregulären Beanspruchungen. Zur letzteren gehören vordringlich antriebsnahe Blockierungen, worüber bereits mehrfach in der beispielhaft angegebenen Literatur berichtet wurde (2,3,4), weshalb eine vertiefte Betrachtung an dieser Stelle unterbleibt. Zu den regulären Beanspruchungen gehören im Wesentlichen die Über-



Fig. 1. Twin-strand inboard chain conveyor on a longwall face.
Bild 1. Doppelmittelkettenförderer im Strebbau.
Photo/Foto: Mediajif for PG Silesia

mission of the required drive power in the form of chain movement and chain tension, along with the spatial deflection of the chain links one against the other as a function of the position of the conveyor (degree of kink) and the change of direction around the drive end. Other factors included in this are the build-up and reduction of loading stresses in the chain links as a function of the load status of the conveyor and the position of the chain link within the chain assembly or conveyor (Figure 2) and the number of conveyor start-ups – even when soft starting is used. The underground operating conditions therefore initiate a continuous process of damage and deterioration that leads to a decline in the static and dynamic resilience of the chain.

The essential aim is to replace the chain before it exceeds its breaking point and before failure occurs at the first and most highly stressed (or weakest) link. After this initial damage has taken place – violent ruptures excepted – experience shows that individual or occasionally several chain links will break at ever shorter intervals. The number of chain failures will increase exponentially and this will in turn do ever greater commercial damage to the mine by way of expensive repairs and lost production.

But what exactly is causing damage to the chain as it operates along the coal face? There are basically three factors that contribute to the degradation process:

- corrosion;
- wear;
- fatigue.

Depending on the particular operating conditions these factors will generate damage to different degrees of intensity (Figure 3). Chains operating on short conveyors are primarily damaged as a result of progressive joint wear and the associated lengthening of the chain pitch resulting from the frequent changes of direction as the assembly passes over the drive and return end. This means that either the thinner crown profiles will not be able to transmit the traction forces and will fail, or the driven links, now longer in pitch, will no longer be able to fit properly into the pockets of the sprocket ring. Plough chains are also affected by joint wear. This applies especially to the sections of chain connected directly at

tragung der jeweils erforderlichen Antriebsleistung in Kettenbewegung und Kettenzugkraft sowie die räumliche Abwinkelung der Glieder untereinander, vorgegeben durch Fördererlage (Schleife) und Antriebsumlenkung. Dazu zählen aber auch der Auf- und Abbau von Lastspannungen in den Kettengliedern in Abhängigkeit vom Beladungszustand des Förderers und der jeweiligen Lage des Kettenglieds innerhalb des Kettenstrangs bzw. Förderers (Bild 2) sowie die Anzahl der Anfahrvorgänge – auch bei Sanftanlauf. Unter den Bedingungen des Untertagebetriebs wird somit ein fortschreitender Schädigungsprozess mit abnehmender statischer und dynamischer Belastbarkeit der Kette eingeleitet.

Anzustreben wäre grundsätzlich, einen Kettenwechsel vor Überschreitung der Belastungsgrenze und Versagens des ersten, am höchsten beanspruchten (oder schwächsten) Kettenglieds durchzuführen. Nach diesem Initialschaden - Gewaltbrüche ausgenommen - werden erfahrungsgemäß einzelne oder gleichzeitig mehrere Kettenglieder in immer kürzeren Zeitabständen reißen. Die Zahl der Kettenbrüche wird exponentiell wachsen und mit ihnen nimmt der betriebswirtschaftliche Schaden durch Reparaturaufwand und Förderausfall zu.

Doch was genau schädigt die Kette im Strebbetrieb? Grundsätzlich wirken drei Schädigungsfaktoren auf die Kette ein, die zu ihrer Alterung beitragen:

- Korrosion,
- Verschleiß,
- Ermüdung.

Unter den jeweiligen Betriebsumständen wirken die einzelnen Faktoren jedoch mit unterschiedlicher Schädigungsintensität (Bild 3). Ketten in kurzen Streckenförderern werden vordringlich infolge fortschreitenden Gelenkverschleißes und damit verbundener Teilungsverlängerung durch häufige Umlenkung an Antrieb und Umkehre geschädigt. Die verminderten Rundungsquerschnitte übertragen entweder zu geringe Zugkräfte und brechen oder das Eintauchen der angetriebenen, teilungsverlängerten Kettenglieder in das Taschenrad ist nicht mehr möglich. Hobelketten sind ebenfalls von Gelenkverschleiß betroffen. Dies gilt insbesondere für die Anschlussstränge in unmittelbarer Nachbarschaft beiderseits des Hobels und das Kettenmittenstück der endlos geschlossenen Hobelkette (Gegenläufer). Da Hobelketten aber auch zyklisch hoch beansprucht werden und durch unvermeidliche Reibrisse Ermüdungsbruchansätze gebildet werden,

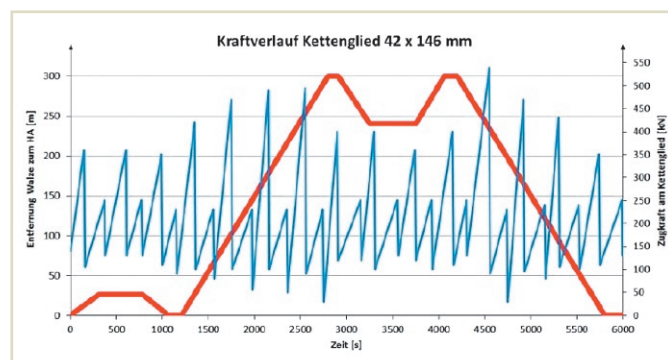


Fig. 2. Chain forces during one winning cycle of the coal shearer.
Bild 2. Kettenkräfte während eines Gewinnungszyklus Walzenlader.

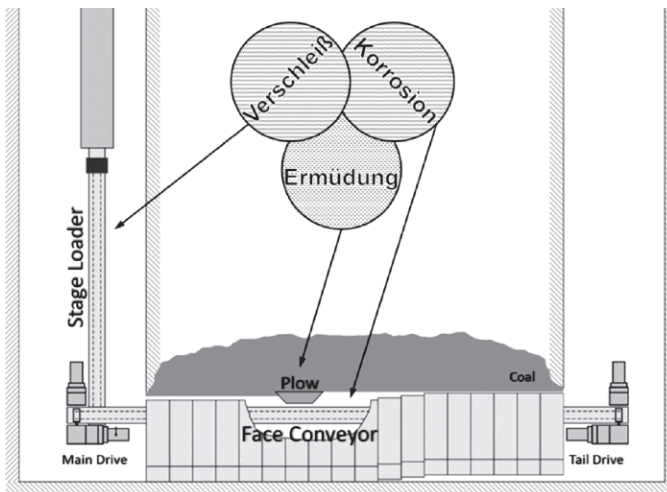


Fig. 3. Damage factors and the intensity of their impact on different mining chains.

Bild 3. Schädigungsfaktoren und ihre unterschiedliche Wirkungsintensität an verschiedenen Bergbauketten.

each side of the plough and to the mid-section of the endless, closed-loop plough chain (two-way). However, as plough chains are also subject to high cyclic loading, and as fatigue fracture points gradually develop as a result of the unavoidable friction cracks, ultimately leading to fatigue fracture, plough chain failure can often be attributed fully or to a large extent to fatigue (4).

The process of degradation as it affects face conveyor chains, on the other hand, is somewhat different. Provided the chain assembly is carefully designed and the face geology remains fairly consistent, with no unplanned events, the degradation of the chain in terms of its static and dynamic loading capacity will be proportional to the chain running time and the amount of material conveyed. However, in many cases corrosive attack will be the predominant factor and this will lead to premature aging of the chain (Figure 4). Corrosion damage in this case will occur at different rates and levels of intensity, according to the particular operating conditions. This paper seeks to assess and explain this phenomenon more accurately than was previously possible.

Corrosion failure and its consequences

While chain wear results in measurable and generally steady rates of chain elongation, corrosion attack is difficult to recognise from the outside and this makes its severity very hard to assess. As the threatened areas are located on the inner crowns of the links and are obscured by the adjoining link, any cracks present can only be discovered by fully slackening off the chain assembly and twisting the links. This would be completely impracticable on an operational coal face and would entail considerable cost and effort even above ground. Figure 5 shows a dye penetration test being carried out above ground in Australia to identify possible corrosion damage on a heavy mining chain.

The onset of corrosion damage on mining chains is usually discovered with the first chain fracture, provided that the broken links are identified and examined. The location of the fracture in the crown area – frequently in the crown centre zone – and the widespread evidence of pitting and crevice corrosion are already clear visual signs of corrosion damage. Decisive action is

die schließlich zu Dauerbrüchen führen, sind Hobelkettenausfälle oftmals ganz oder zu wesentlichen Teilen der Ermüdung zuzuschreiben (4).

Die Alterungssituation von Strebfördererketten hingegen stellt sich anders dar. Bei sorgfältiger Dimensionierung sowie einem Betrieb mit unveränderter Geologie und ohne unplanmäßige Ereignisse würde die Alterung statischer und dynamischer Belastbarkeit proportional zur Laufzeit/Fördermenge verlaufen. Allerdings überwiegen in vielen Betrieben korrosive Beanspruchungen, die zu einem progressiven Alterungsprozess führen (Bild 4). Die Schädigung der Kette durch Korrosion verläuft abhängig von den jeweiligen Betriebsumständen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Intensität. Diese Veröffentlichung will dazu beitragen, dies zutreffender als bisher möglich abzuschätzen bzw. zu erklären.

Korrosionsausfälle und ihre Folgen

Während Verschleiß an Ketten zu messbaren und in der Regel stetig verlaufenden Kettenverlängerungen führt, ist Korrosionsbefall von außen schwer erkennbar und somit seine Intensität kaum abschätzbar. Da die gefährdeten Bereiche sich an der Innenrundung der Kettenglieder befinden und diese durch das jeweilige Nachbarglied verdeckt werden, können Anrisse nur durch ein vollständiges Entspannen der Kette und Verdrehen der Kettenglieder entdeckt werden. Dies ist in einem laufenden Betrieb völlig undenkbar und auch über Tage nur mit erheblichem Aufwand darstellbar. Das Bild 5 zeigt die Untersuchung einer schweren Bergbaukette in Australien auf mögliche Korrosionsschäden über Tage mittels Farbeindringprüfung.

In der Regel wird beginnende Korrosionsschädigung an Bergbauketten mit den ersten Kettenbrüchen entdeckt, sofern die gebrochenen Kettenglieder gefunden und untersucht werden. Sowohl Bruchlage in der Rundung – häufig in der Rundungsmittelpunkt – als auch die großflächige Überdeckung des Glieds mit Loch- und Muldenfraß geben optisch bereits einen deutlichen Hinweis auf einen Korrosionsschaden. Dann ist entschlossenes Handeln gefragt, da weitere Brüche in immer kürzeren Zeitintervallen zu erwarten sind. Ein Wechsel des Kettenbands zum betriebsorganisatorisch nächstmöglichen Zeitpunkt ist dringend angezeigt.

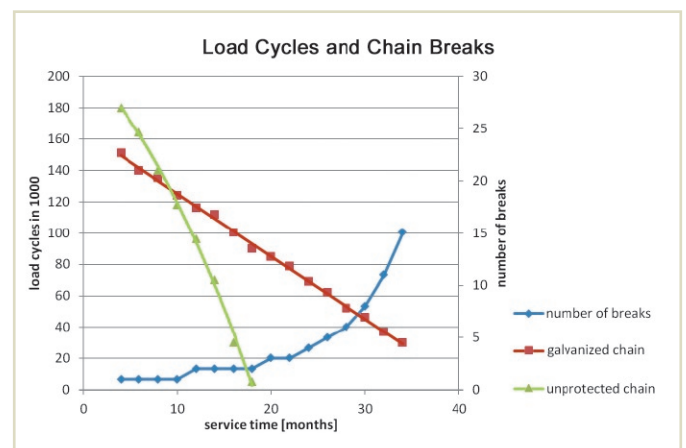


Fig. 4. Comparative test on galvanised and non-galvanised chains. Bild 4. Vergleichender Betriebsversuch verzinkte und nicht verzinkte Ketten. Source/Quelle: Eigene Darstellung nach Kleer



Fig. 5. Chain assembly undergoing examination for corrosion damage above ground.

Bild 5. Übertägige Untersuchung eines Kettenbandes auf Korrosionsschäden. Photo/Foto: THIELE

then required, as further fractures are likely to occur at increasingly shorter intervals. In such a case it is urgently recommended that the chain assembly be replaced at the earliest opportunity afforded within the organisational framework.

The length of time needed to repair a chain fracture and re-make the chain assembly will depend on the degree of difficulty involved (single-sided or double-sided fracture), the position of the fracture and the specific operational and geological conditions. On the basis of information obtained from technical literature and from individual case evaluations it can generally be estimated that an average of about 100 minutes will be required to repair a defective chain (5, 6). Based on estimated production downtime costs of 500 €/min the opportunity costs (lost benefit) of a single chain breakage can be put at some 50,000 € (5). Against this, and depending on the size of the chain and the length of the coal face, the cost of a new chain will be in the region of 200,000 to 300,000 €. These figures show that when faced with corrosion fractures with a predictable exponential increase in the fracture process the only way to minimise the damage is to proceed rapidly to replacing the chain.

Damage sequence due to corrosion attack

Corrosion (lat. *corrodere* – to eat away) is generally defined as a chemical attack that commences on the surface of the material and can lead to local or extensive erosion or even to the complete dissolution of the material. With metals this mainly occurs as an electrochemical process in an electrolytically conductive fluid. Here 'fluid' can also be taken to mean condensation on the surface of the material or even locally falling droplets.

It has been found that unprotected chains stored below ground for a period of about one year – and without suffering any mechanical stress whatsoever – will lose about 40% of their fatigue strength (6). This can be attributed solely to corrosion-related damage inflicted as a result of the continuous wetting effect of condensation produced by the damp atmosphere. Far more damaging is the corrosion attack on an active chain when the surface of the chain links is additionally subjected to spray water and inflowing water and, as will be shown, is also in con-

Die Reparatur von Kettenbrüchen und das Schließen des Kettenbands erfordern je nach Schwere (einseitiger, beidseitiger Bruch), Ort des Kettenbruchs und betrieblichen sowie geologischen Bedingungen unterschiedlich lange Zeiträume. Legt man Angaben aus der Literatur sowohl von betrieblichen Störungsbewertungen als allgemeine Schätzwerte zugrunde, so scheint eine Annahme von etwa 100 Minuten als mittlerer Zeitbedarf für eine Kettenstörungsbeseitigung zulässig (5, 6). Bei ebenfalls geschätzten Produktionsausfallkosten von 500 €/min belaufen sich die Opportunitätskosten (entgangener Nutzen) eines einzigen Kettenbruchs auf etwa 50.000 € (5). Je nach Kettengröße und Streblänge betragen dagegen die Kosten einer neuen Kette etwa 200.000 bis 300.000 €. Die Zahlen zeigen, dass bei Korrosionsbrüchen mit vorherzusehender exponentieller Zunahme des Bruchgeschehens nur ein rascher Kettenwechsel schadensminimierend sein kann.

Schadensablauf bei Korrosion

Nach allgemein gültiger Definition ist Korrosion (lat. *corrodere* – zernagen) ein an der Oberfläche beginnender chemischer Angriff, der zu flächiger oder lokaler Abtragung bis hin zur vollständigen Auflösung eines Werkstoffs führen kann. Bei Metallen handelt es sich vorwiegend um einen elektrochemischen Vorgang in einer elektrolytisch leitenden Flüssigkeit. Dabei ist unter Flüssigkeit auch ein Kondensat auf der Oberfläche oder eine lokale Tröpfchenbenetzung zu verstehen.

Bereits bei der Lagerung unter Tage von ungeschützten Ketten – ohne jedwede mechanische Beanspruchung – war nach Ablauf eines Jahres ein Abfall der Zeitschwingfestigkeit um etwa 40% zu verzeichnen (6). Dies ist allein auf eine korrosionsbedingte Vorschädigung infolge einer ständigen Kondensatbenetzung durch feuchte Wetter zurückzuführen. Ungleich schädigender wirkt die Korrosion, wenn die Kettengliedoberflächen im Betrieb zusätzlich mit Bedüsung- und Zuflusswässer und – wie noch zu zeigen ist – mit Kohle in Berührung kommt – überlagert von weiteren mechanischen Beanspruchungen und Verschleiß.

Der Korrosionsangriff auf Bergbauketten verläuft im Allgemeinen zweistufig. Zunächst bilden sich an den unvermeidlichen Oberflächenrauigkeiten und Oberflächenunregelmäßigkeiten elektrochemische Lokalelemente, die zu Loch- und Muldenfraß führen (Bild 6).



Fig. 6. Pitting and crevice corrosion on a chain link.

Bild 6. Mulden- und Lochfraßkorrosion an einem Kettenglied.

Source/Quelle: THIELE

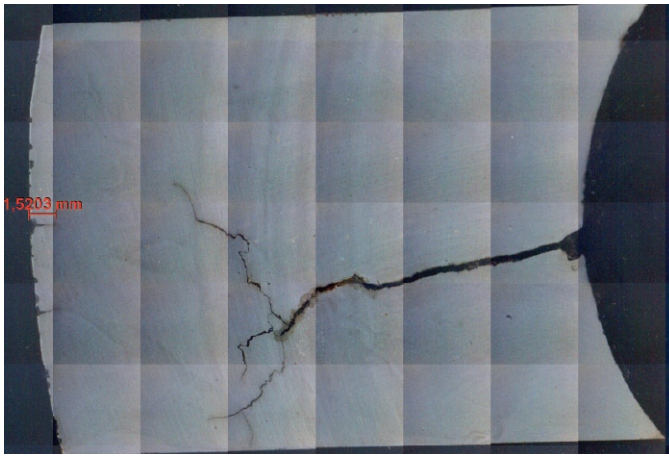


Fig. 7. Corrosion failure at a chain link.

Bild 7. Korrosionsversagen an einem Kettenglied. Source/Quelle: THIELE

tact with the wet coal itself, all this overlaid by further mechanical stress and wear.

Generally speaking the corrosion attack on mining chains is a two-stage affair. Stage one sees the formation of localised electrochemical elements on the unavoidable roughed surfaces and surface flaws and this in turn leads to pitting and crevice corrosion (Figure 6). Surface areas that are subjected to abrasive wear are relatively quickly 'de-rusted' by this erosion process, while at other points the covering deposits of coal are scarcely touched. The mined product frequently clings to the outer surfaces of the centre crown and to inner junction between the crown and the leg. The coal is wetted and dried in a continuously alternating cycle, this ultimately leading to an increase in the aggressivity of the electrolyte. The most firmly adhering of these deposits are to be found in the gaps in the inside of the links that are formed on each side of the crown by the adjacent link.

Corrosion pitting and corrosion crevices not only weaken the stress-bearing cross section but also frequently act as a starting point for stress cracks and fatigue fractures. Their growth progress is promoted by the load stress situation, whereby the highest tensile stress will be present in the middle of the outer crown (Figure 7). The question of whether blame can be attributed to stress crack corrosion, caused simply by tension, or fatigue crack corrosion, resulting from alternating stress, is rather an academic one. In the final analysis the result will be the same, namely chain failure and lost production.

Corrosion-promoting factors below ground

Deep mining operations can only be carried out when adequate ventilation is available to protect the workforce and to control gas emissions, supported if necessary by air conditioning, if this is needed to counteract the strata temperatures and working temperatures inbye. Health protection requirements and the need to prevent the formation of explosive dust-air mixtures also mean that dust consolidation has to be practised at the origination point, whether at the roadhead or at the coal face. Water spray systems have proved to be the most effective measure for dust suppression. Clean water is always used in these systems in order to protect the spray equipment, feed pumps and supply lines. Inflowing mine water must never be employed for this purpose.

Oberflächenbereiche, die dem Abrasivverschleiß unterliegen, werden durch diesen Abtrag relativ schnell „entrostet“, während an anderen Stellen die Überdeckung und Anbackungen von feuchtem Fördergut kaum entfernt werden. Insbesondere an den äußeren Rundungsmitten und an den inneren Übergängen Schenkel/Rundung klebt häufig Fördergut, das im ständigen Wechsel durchfeuchtet und getrocknet wird, wodurch letztendlich die Aggressivität des Elektrolyten erhöht wird. Besonders festhaftend sind die Fördergutanbackungen in den durch das Nachbarglied beidseitig gebildeten Spalten in der inneren Kettengliedrundung.

Korrosionsmulden und Korrosionslöcher schwächen nicht nur den tragenden Querschnitt, sondern bilden häufig den einen Ansatzpunkt für Spannungs- oder Schwingungsrisse. Begünstigt wird deren Wachstumsfortschritt durch die jeweilige Lastspannungssituation. So liegt in der Mitte der Außenrundung die höchste Zugspannung vor (Bild 7). Dabei ist die Frage, ob eine Spannungsrissskorrosion, gekennzeichnet durch eine reine Zugspannung, oder eine Schwingungsrissskorrosion, gekennzeichnet durch Wechsellastspannungen, eher akademisch. Im Ergebnis ist ein Kettenbruch mit Förderausfall zu beklagen.

Korrosionsbegünstigende Faktoren unter Tage

Der Betrieb von Tiefbaugruben ist nur mit ausreichender Bewetterung zum Schutz der Belegschaft sowie zur Beherrschung der Ausgasung und gegebenenfalls – je nach Gebirgstemperatur beziehungsweise Ortstemperatur – ergänzt durch Klimatisierung möglich. Der Gesundheitsschutz der Belegschaft und die Verhinderung der Bildung von explosiven Staub-Luft-Gemischen erfordern eine Staubbindung am Ort der Entstehung – an der Ortsbrust oder an der Gewinnungsfront. Als effektivste Maßnahme hat sich die Staubbindung mittels Bedüsung erwiesen. Zum Schutz der Bedüsungseinrichtungen und der sie speisenden Pumpen und Zuleitungen wird grundsätzlich Frischwasser verwendet und keinesfalls zufließendes Grubenwasser benutzt.

Grubenwetter

Zur Bewetterung untertägiger Bergwerke wird übertägige Luft in das Grubengebäude eingesogen. Diese Luft ist feuchtigkeitsbefrachtet und wird – sofern vorhanden – in Kühlungsaggregaten weiter befeuchtet. Typische Werte der gekühlten Luft aus Wetterkühlern liegen bei 95% Luftfeuchte und höher bei einer Mindesteintrittsfeuchte von 75%. Dieses grundsätzlich feuchte Umgebungsklima hat – wie bereits weiter oben gezeigt – Einfluss auf die Korrosion von Ketten (Abfall der Zeitfestigkeit durch untertägige Lagerung).

Grubenwässer

Grubenwasserproben sind aus der Wasserhaltung eines jeden Bergwerks relativ problemlos zu entnehmen. Als Grubenwasser ist jedoch die Gesamtheit des anfallenden Wassers, das zu Tage gefördert werden muss, zu verstehen. Da sich die gehobenen Grubenwässer sowohl aus zufließenden Wässern aus dem Deckgebirge, sonstigen Brauchwässern, gesammelter Kondensatfeuchte und darüber hinaus aus Bedüsungswässern in unbekanntem Mischungsverhältnis zusammensetzen, kann deren Untersuchung nicht zielführend im Sinne einer Aussage über die

Mine air

Air is drawn into the mine from above ground in order to ventilate the workings. This air is laden with moisture and will be further humidified in air cooling units, if such are installed. The chilled air produced by these cooling systems will typically have a humidity level of 95%, and even higher if the minimum intake moisture content is 75%. As indicated above, this constantly humid ambient atmosphere will have an impact on the chain corrosion process (decline in fatigue strength as a result of being stored below ground).

Mine water

Mine water samples can be taken relatively easily from a colliery's pumping system. However, mine water is made up of all the water collecting in a mine that has to be pumped to the surface. As this body of water is composed not only of water inflowing from the overlying strata but also of service water, collected water of condensation and water from the dust suppression system, all mixed together in unquantifiable proportions, its analysis cannot expediently be used to provide data on the likelihood of corrosion damage to mining chains. It would in fact be far more logical to focus on the inflowing water that in its original composition comes into contact with the chains as water droplets falling from the roof of the coal face.

Inflow water

Depending on origin, a basic distinction can be drawn between near-surface inflow water with a low mineral content and geogenic inflow water with a higher mineral content. Deep-lying workings are shielded from percolating surface water by the presence of impervious beds. In the deeper areas the overburden rock can be kept sealed by well-planned mining operations. However, cracks and fissures in the rock will inevitably allow fossil water to penetrate the mine workings. Having been contained in the ground for many years this water has had plenty of time to become enriched with minerals from the surrounding rock.

Measuring the pH content of the water samples is a quick and easy way to assess their aggressivity and intensity (speed of corrosion attack). Ferrous metals of the type that are used for making chains exhibit a relatively broad tolerance threshold around the neutral pH value 7 when it comes to their rate of corrosion in aqueous solutions. Below pH value 4 the rate of corrosion increases exponentially, while above the value 10 it tends to adopt a passive behaviour (7). However, extensive measurements of the pH levels in the Ruhr and Aachen coalfields have practically never found values below 4 or above 9. There is no discernible connection between the depth at which the samples were taken and their pH value (Figure 8). The blue area in Figure 8 signifies sea water (pH value up to 8.4) and the red area rain water (pH value to 5.6).

Another easy way to assess the corrosion potential of water is to measure its conductivity, as the latter increases in line with ion concentration (mineral content). Drinking water has an electrical conductivity – measured in microsieverts per centimetre – of about 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, while sea water has 50,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The figure for mine inflow water, on the other hand, is often measured at more than 200,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Randomly collected measurements of the electrical conductivity of mine water from the Ruhr and Aachen coalfields, sup-

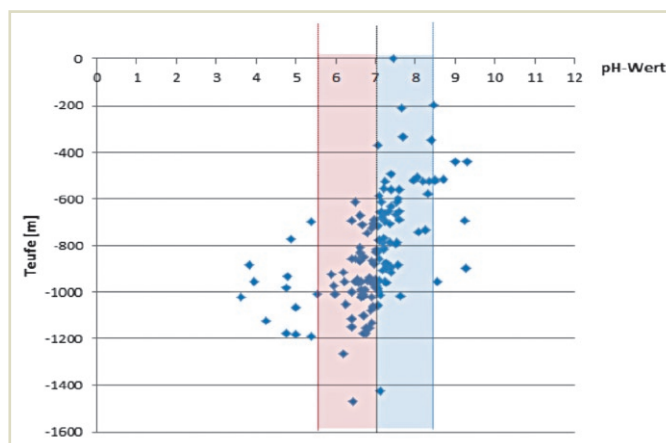


Fig. 8. Measurements of the pH value of inflow water. (9)
Bild 8. Messungen des pH-Werts von Zuflusswässern. (9)

Wahrscheinlichkeit von Korrosionsschädigungen an Bergbauketten sein. Sinnvoller erscheint zunächst die Beschäftigung mit den Zuflusswässern, die in ihrer originären Zusammensetzung als Tropfwasser aus dem Hangenden mit Ketten in Berührung kommen können.

Zuflusswässer

Nach ihrer Entstehungsgenese können grundsätzlich oberflächennahe Zuflusswässer mit geringer Mineralbefruchtung und geogene Zuflusswässer mit höherer Mineralbefruchtung unterschieden werden. Grubenbaue in größeren Teufen werden durch wasserundurchlässige Schichten von durchsinkenden Oberflächenwässern abgeschirmt. In größeren Teufen können die Deckschichten durch planvolle Abbauführung dichtgehalten werden. Hingegen dringt durch die Durchritzung des Gebirges fossiles Wasser in das Grubengebäude ein. Durch die langen Einschusszeiten dieses Wasser hatte es reichlich Gelegenheit, sich aus dem umgebenden Gebirge aufzumineralisieren.

Für eine erste schnelle Beurteilung der Aggressivität und Intensität (Geschwindigkeit der Korrosionsbeanspruchung) verschiedener Wässer bietet sich die Ermittlung ihres pH-Werts an. Eisenwerkstoffe allerdings, wie auch bei Ketten verwendet, weisen eine relativ breite Toleranzschwelle um den neutralen pH-Wert 7 hinsichtlich ihrer Korrosionsgeschwindigkeit in wässrigen Medien auf. Unterhalb des pH-Werts 4 nimmt die Korrosionsgeschwindigkeit exponentiell zu, oberhalb von 10 strebt sie passivem Verhalten zu (7). Umfangreiche Messungen der pH-Werte im Ruhrgebiet und im Aachener Revier zeigen jedoch, dass kaum Werte unterhalb von vier und keine Werte oberhalb von neun gemessen wurden. Eine Abhängigkeit von der Teufe ist nicht erkennbar (Bild 8). Der blaue Bereich in Bild 8 kennzeichnet Meerwasser (pH-Wert bis 8,4), der rote Bereich Regenwasser (pH-Wert bis 5,6).

Eine ebenfalls einfache Messmethode zur Beurteilung des Korrosionspotentials von Wässern ist die Ermittlung ihrer Leitfähigkeit. Mit zunehmender Ionenkonzentration (Mineralbefruchtung) steigt die Leitfähigkeit des Wassers. Trinkwasser weist eine elektrische Leitfähigkeit – gemessen in Mikro-Sievert pro Zentimeter – von etwa 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Meerwasser eine von 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf, hingegen werden in Zuflusswässern nicht selten Werte über 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen.

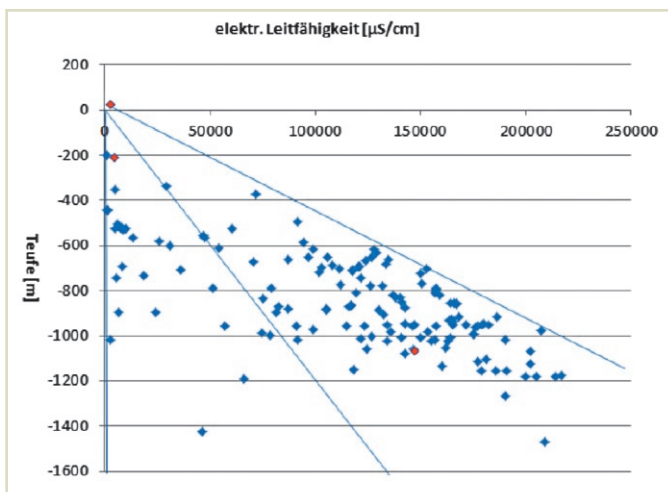


Fig. 9. Electrical conductivity of inflow water as a function of depth. (9)
Bild 9. Elektrische Leitfähigkeit von Zuflusswässern in Abhängigkeit der Teufe. (9)

plemented by a number of measurements from mine workings in other countries, fail to show any relationship between the sample collection depth and the electrical conductivity of the sample (increase in mineral content) (Figure 9). However, there is a trend towards higher values being recorded at increasing depth. This can be illustrated by the example of three measurements (marked in red) that were taken at the mouth of Kurl shaft at Haus Aden colliery and then in the shaft itself at various depths. Here the electrical conductivity measured at the deepest point is more than fifty times that of the surface water. This is probably attributable first and foremost to the anions in the inflow water, especially the chloride and sulphate compounds. The deeper the deposits and the higher the overall level of mineralisation, the greater will be the amount of chloride present. In the Ruhr coalfield the proportion of chlorides in the overall anion count is frequently in excess of 90 %.

Need for better forecasting methods

These findings are hardly surprising and indeed correspond with general operating experience to the effect that with increasing depth the mine air and water inflowing from the surrounding strata will increase the risk of corrosion attack and hence the likelihood of corrosion damage occurring. About 20 years ago RAG Deutsche Steinkohle took the decision to use a galvanised finish on its heavy-duty mining chains in order to provide better corrosion protection.

Other coal mining industries tend to be more critical of galvanised chains. For one thing there is a certain unwillingness to incur the additional expense associated with hot-dip galvanisation and, for another, it is argued that the use of galvanised chains presents a risk of hydrogen embrittlement due to the cleansing carried out ahead of the galvanising process. However this problem has been effectively resolved by chain manufacturers like THIELE GmbH & Co KG, Iserlohn/Germany, who have mastered this technology. There have unfortunately been a number of cases of premature chain failure at collieries outside Germany, incidents that could have been prevented by the use of galvanised chains. The fact that corrosion damage does not occur in every

Gesammelte zufällige Messungen der elektrischen Leitfähigkeit von Grubenwässern aus dem Ruhrgebiet und dem Aachener Revier, ergänzt um eigene Messwerte ausländischer Bergwerke, lassen keine direkte Abhängigkeit zwischen Teufe und elektrischer Leitfähigkeit (Erhöhung der Mineralbefruchtung) erkennen (Bild 9). Gleichwohl ist ein Trend zu höheren Werten mit zunehmender Teufe erkennbar. Exemplarisch lässt sich das an Hand von drei Messpunkten (rot gekennzeichnet), die am Schachtmundloch des Schachts Kurl des inzwischen stillgelegten Bergwerks Haus Aden und im Schacht selbst in verschiedenen Teufen genommen wurden. Die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit weist am tiefsten Messpunkt mehr als den fünfzigfachen Wert des Oberflächenwassers auf. Ursächlich hierfür dürften vor allem die Anionen in den Zuflusswässern, insbesondere Chlorid- und Sulfatverbindungen, sein. Je tiefer die Lagerstätten liegen und je höher die Gesamtmineralisierung der Zuflusswässer, desto größer ist der Anteil an Chloriden. Im Ruhrrevier beträgt der Anteil der Chloride an den Gesamtanionen häufig über 90 %.

Notwendigkeit für bessere Prognoseverfahren

Überraschend sind diese Erkenntnisse nicht, und es dürfte allgemeiner Betriebserfahrung entsprechen, dass Grubenwetter und Wasserzuflüsse aus dem Gebirge mit zunehmender Teufe die Korrosionsbeanspruchung und somit die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Korrosionsschäden erhöhen. Die RAG Deutsche Steinkohle ist bereits vor etwa 20 Jahren dazu übergegangen, schwere, langlebige Ketten grundsätzlich in feuerverzinkter Ausführung einzusetzen, um sie zuverlässig vor Korrosion zu schützen.

Im ausländischen Steinkohlenbergbau steht man dem Einsatz von feuerverzinkten Ketten kritischer gegenüber. Dabei scheut man zum einen die Mehrkosten einer Feuerverzinkung. Zum anderen wird gegen den Einsatz von feuerverzinkten Ketten mit der Gefahr einer Wasserstoffversprödung – hervorgerufen durch den dem Verzinken vorgeschalteten Reinigungsprozess – argumentiert. Diese kann jedoch bei Herstellern wie der THIELE GmbH & Co KG, Iserlohn, die das Verfahren beherrschen, sicher ausgeschlossen werden. Im Ergebnis ist eine Reihe von vorzeitigen Kettenausfällen im ausländischen Steinkohlenbergbau zu beklagen, die durch Feuerverzinkung zu verhindern gewesen wären. Da es nicht grundsätzlich zu Korrosionsschäden kommt, gewinnt die Frage einer Risikoabschätzung im Vorfeld zunehmend an Bedeutung.

Bedüsungswässer

Um zu besseren Beurteilungskriterien zur Einschätzung der Korrosionsgefährdung von Ketten unter Tage zu gelangen, hat THIELE ein kleines Forschungsvorhaben im Rahmen von Diplomarbeiten sowie eine Masterarbeit anfertigen lassen. An der Berg- und Hüttenakademie (AGH) in Krakau haben mehrere Studenten in ihrer Abschlussarbeit Betriebe in Polen untersucht. Schwerpunktmäßig wurden darin die verschiedenen geologischen und bergmännischen Gegebenheiten sowie Wasserproben von Zuflusswässern verglichen. Der Versuch, die Ergebnisse und die gewonnenen Wasseranalysen der Betriebe mit bekannt hohem oder niedrigem Korrosionspotential zuzuordnen, ist nur zum Teil gelungen (10).



Fig. 10. Coal fines adhering to the chain links. (10)
Bild 10. Kohleanbackungen an Kettengliedern. (10)

case makes it even more important for operators to carry out a risk assessment at an early stage.

Spray water

THIELE has sponsored a master's thesis and a small-scale research project linked to a degree dissertation in order to produce better assessment criteria for evaluating the corrosion risk to mining chains. As part of their degree thesis a number of students at the AGH University of Science and Technology in Cracow have been carrying out tests at a number of Polish collieries, whereby comparisons were made between the different geological and mining engineering factors and the samples taken of the inflowing mine water. This attempt at assigning the findings and mine water analyses to collieries with a known high or low corrosion potential was only partly successful (10).

A master's thesis prepared at RWTH Aachen University subsequently focused on the dust suppression water (8). These deliberations started out from the conclusions drawn by DMT GmbH & Co. KG, Essen, that corrosion occurring at coal preparation plants was affected by the wash water (11). In this case the clean intake water comes into contact with the coal and tailings in just the same way as the clean water employed for dust suppression. The coal is leached out and as a result the water is charged with additional ions, chiefly sodium and chloride. As stated above, this moisture adheres to the surface of the chain links along with the ion supplying medium, coal (Figure 10).

Dust suppression versus chain corrosion

Most of the coal and rock dust, if present, is produced as the mineral is detached from the face. As the dust must be controlled for reasons of health protection and explosion prevention it is immediately suppressed by the action of water sprays before it can enter the mine airflow. On shearer loaders the water is ejected from jets fitted into the picks laced around the machine's cutting head (Figure 11), while on coal ploughs the sprays are activated from the shield canopies operating in the particular section of face that the plough is currently working.

This 'water attack' is targeted at airborne dust particles smaller than 500 µm (13). As this cannot be done selectively, the rest of the extracted material, along with surrounding areas, are also unnecessarily sprayed with water. The suspended particles that are wetted

Im Rahmen einer Masterarbeit an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen wurde dann der Fokus auf das Bedüsungswasser gelegt (8). Ausgangspunkt der Überlegung war, dass nach Untersuchungen der DMT GmbH & Co. KG, Essen, die Korrosion von Kohlenaufbereitungsanlagen durch das Waschwasser beeinflusst wird (11). Das dort zunächst eingesetzte Frischwasser kommt ebenso mit Kohle und Bergematerial in Berührung wie das ebenfalls als Frischwasser vorliegende Bedüsungswasser. Die Kohle wird ausgelaut und damit das Wasser mit zusätzlichen Ionen – vornehmlich Natrium und Chlorid – befrachtet. Dass diese Feuchtigkeit mit dem Ionenlieferant Kohle an der Oberfläche der Kettenglieder anbackt, wurde bereits erwähnt (Bild 10).

Staubbindung versus Kettenkorrosion

Die größte Menge des Kohle- und gegebenenfalls Gesteinstaubes entsteht während des Lösens an der Gewinnungsfront. Da er aus Gründen des Gesundheitsschutzes und der Explosionsverhütung unbedingt bekämpft werden muss, wird der Staub auch dort direkt mittels des Bedüsungswassers vor seiner Verteilung im Wetterstrom niedergeschlagen. Bei Walzenladern tritt das Wasser aus den Meißeln des Schneidkopfs (Bild 11) aus, bei Hobeln wird die Bedüsung in den Schildkappen des jeweiligen Abschnitts, den der Hobel aktuell passiert, aktiviert.

Als schwebefähig gelten Partikel, die kleiner als 500 µm (13) sind. Denen gilt dieser „Wasserangriff“. Da das selektiv nicht gelingen kann, werden auch unnötigerweise das übrige Fördergut sowie Teile der Umgebung befeuchtet. Diejenigen Schwebepartikel, die benetzt werden, weisen entsprechend große Ober- bzw. Angriffsflächen auf. Damit bietet der schwebefähige Staub die besten Voraussetzungen, Kohle auszulaugen. Die Untersuchung der Wechselwirkung Kohle/Wasser in Laborversuchen – genauer in Extraktionsversuchen – an möglichst feinen Kohlepartikeln vorzunehmen, ist daher pragmatisch und logisch. Bergematerial, dessen lungengängige Kleinpartikel besonders gesundheitsgefährdend sind, interessieren in diesem Zusammenhang nicht.

Extraktionsversuche

Das Bergwerk Prosper-Haniel der RAG Deutsche Steinkohle AG hat für die Laborversuche Kohleproben zur Verfügung gestellt. Sie stammten aus dem Flöz G, das etwa 4 km nordöstlich des Schachts 10 in etwa 1.100 m Teufe abgebaut wird. Es handelt sich um Fettkohle mit den für Fettkohle üblichen flüchtigen Bestandteilen von 19 bis 25% und einem Schwefelgehalt von etwa 1%. Ihre genaue Zusammensetzung ist nicht bekannt.

Die Kohleprobe wurde zunächst heruntergebrochen auf eine Korngröße < 500 µm. Der so hergestellte Kohlenstaub wurde im Verhältnis 1:1 mit drei verschiedenen, analytisch bestimmten Extraktionswässern vermischt:

- ein entmineralisiertes Wasser nach VDE 0510/DIN 57510 (destilliertes Wasser),
- Leitungswasser,
- Salzlösung nach DIN EN ISO 9227 (Meerwasser).

Die Kohle-/Wasserproben wurden regelmäßig geschüttelt, um ein Absetzen der Kohlepartikel zu verhindern. Anschließend wur-



Fig. 11. Spray system operating on a shearer loader.
Bild 11. Bedüsungssystem Walzenlader.
Photo/Foto: BW Schlägel und Eisen (12)

in this way exhibit a correspondingly large surface area and hence provide the floating dust particles with ideal conditions for leaching out coal. It is therefore pragmatic and logical to examine the interaction between the coal and the water by means of laboratory tests – or more precisely extraction tests – using fine-grained coal particles. Dirt material, whose respirable particles pose a particular health hazard, is irrelevant to such investigations.

Extraction tests

Prosper-Haniel colliery, which is operated by RAG Deutsche Steinkohle AG, has provided coal samples for the laboratory tests. These were obtained from G seam, which was being worked some 4 km to the north of number 10 shaft at a depth of about 1,100 m. This bituminous coal has a typical volatiles content of 19 to 25% and a sulphur content of about 1%. Its exact composition is not known.

The coal sample was first crushed to a particle size of < 500 µm. The resulting coal dust was mixed in a ratio of 1:1 with three different, analytically determined extraction fluids:

- a demineralised water according to VDE 0510/DIN°57510 (distilled water)
- mains water
- a saline solution according to DIN°EN°ISO°9227 (sea water).

The coal-water samples were regularly shaken so as to prevent the coal particles settling. The liquid was then extracted on paper filters and examined again. In order to determine any possible time influence the samples were left in a mixed state for a period of 20 minutes and 120 minutes (8).

A rise in mineralisation was observed in every test, this being recognisable by the increase in electrical conductivity. There was scarcely any change in the pH value. The sulphate values of all the samples showed a slight increase. The chloride values also increased, apart from in the (saturated) saline solution. The time factor played a limited role (Table 1).

The chemical compositions determined in this way allow conclusions to be drawn as to the likelihood of corrosion attack. The resulting values, when inserted in empirical formulae for as-

de die Flüssigkeit über Papierfilter extrahiert und erneut untersucht. Um einen möglichen zeitlichen Einfluss festzustellen, wurden die Proben mit einer Verweildauer von 20 Minuten und 120 Minuten im Mischungszustand belassen (8).

Es zeigte sich in allen Versuchen ein Anstieg der Mineralisierung, erkennbar an der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit. Der pH-Wert änderte sich nur unwesentlich. Die Werte für Sulfate stiegen in allen Proben leicht an. Die Werte für die Chloride stiegen außer bei der (gesättigten) Salzlösung an. Die Zeit spielt eine untergeordnete Rolle (Tabelle 1).

Aus den ermittelten chemischen Zusammensetzungen lassen sich bereits Rückschlüsse auf die Korrosionswahrscheinlichkeiten herleiten. Die ermittelten Werte eingesetzt in die empirische Formel zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit nach EN 12502-T3 (2004) zeigt eine deutliche Korrosionsgefährdung. Werte bis drei sind akzeptabel. Das Leitungswasser erreicht nach Extraktion etwa neun, die Salzlösung bleibt konstant um etwa 250.

Schwingversuche unter Korrosionsbedingungen

Zur weiteren Absicherung der bisher gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse wurden Schwingversuche an Gewindeprobestäben aus Kettenstahl unter korrosiven Bedingungen untersucht. Die Proben wurden aus fertigen Ketten herausgearbeitet. Sie wiesen eine Zugfestigkeit von etwa 1.200 MPa bei einer Streckgrenze um 1.100 MPa auf. Die Versuche wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Maschinentechnik in der Rohstoffindustrie (IMR) der RWTH Aachen durchgeführt.

Zunächst mussten der Prüfquerschnitt und die entsprechenden Ober- und Unterspannungen festgelegt werden, um die untere technische Dauerfestigkeitsgrenze zu bestimmen. Der bekannte Schwingversuch nach DIN 22 252 war aufgrund der komplexen Spannungsverteilung in Kettengliedern nicht übertragbar. Dazu waren acht Vorversuche nötig. Als akzeptabel erwies sich ein Stab mit 4 mm Durchmesser (Querschnittsfläche 12,57 mm²). Die Unterspannung wurde mit 820 N/mm², die Oberspannung mit 990 N/mm² festgelegt. Die gewählten Spannungen sind nahe an der Streckgrenze des Materials, was letztendlich für eine hohe Eignung des Kettenstahls bei dynamischen Einsatzbedingungen

	Wasser dest.		Leitungswasser			Salzlösung		
	Vorher	2 Std. Extr.	Vorher	20 Min. Extr.	2 Std. Extr.	Vorher	20 Min. Extr.	2 Std. Extr.
pH-Wert	7,1	7,28	8,05	7,99	7,95	6,25	6,93	7,18
Elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	< 10	2670	489	2770	2340	75700	76900	77100
Cl ⁻ [mg/l]	< 5	1301	840	1000	1000	30986	30986	29993
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	< 5	42	37	77	53	35	63	58

Table 1. Synopsis of analysis results from extraction tests on coal samples with different water solutions (8).
Tabelle 1. Zusammenfassung Analyseergebnisse Extraktionsversuche von Kohleproben mit verschiedenen Wässern (8).

sessing the likelihood of corrosive attack according to EN 12502-T3 (2004), show that there is a significant risk of corrosion occurring. Values of up to three are acceptable. After extraction the mains water reached a value of about nine while the saline solution remained constant at around 250.

Fatigue tests under corrosive conditions

In order to confirm these findings a number of fatigue tests were carried out under corrosive conditions on threaded test bars made from chain steel. The test bars, which had been machined from actual mining chains, had a tensile strength of 1200 MPa and a yield strength of 1100 MPa. The tests were carried out in collaboration with the Department of Mining and Metallurgy Machinery at the RWTH Aachen University.

The test cross section and the relevant upper and lower stress levels first had to be established in order to determine the lower technical fatigue limit. The standard fatigue test as referred to in DIN 22 252 could not be applied because of the complex stress distribution present within the chain links. This meant that eight pre-tests first had to be carried out. A test bar of 4 mm diameter was finally found to be acceptable (cross-section area 12.57 mm²). The lower stress level was set at 820 N/mm² and the upper level at 990 N/mm². The stress levels chosen for the test were close to the yield point of the material, thereby justifying the choice of chain steel for dynamic operating conditions of this kind. Carrying out these tests under similar conditions with chain links would have been much more elaborate and costly.

As the samples were to be constantly and evenly sprinkled with coal water it was decided that a 'thinner' mixing ratio of 1.3:1 water to coal particles should be used in order to maintain fluidity and pumpability (Figure 12). The coal used for the tests came from the Australian mines of Ulan and Metropolitan.

The number of load cycles completed in the coal-water environment was very much lower than in the dynamic fatigue tests carried out in air and in distilled water (Table 2). This is also a clear indication of the additional corrosion attack being made on the chains by the mine water and, more particularly, by the spray water, whose extra mineral content – and hence increased corrosion potential resulting from the wet coal – are unavoidable factors.

Summary and outlook

The mining, geological, technical and organisational challenges arising from longwall face operations are further exacerbated by the fact that all this is happening in a corrosive environment. As working depths increase so too does the risk of corrosion attack on machinery and equipment, most of which is manufactured from metallic material. Damage caused by corrosion often results in production downtime, with the chains that are so vital to the coal production process frequently being the target of such attacks.

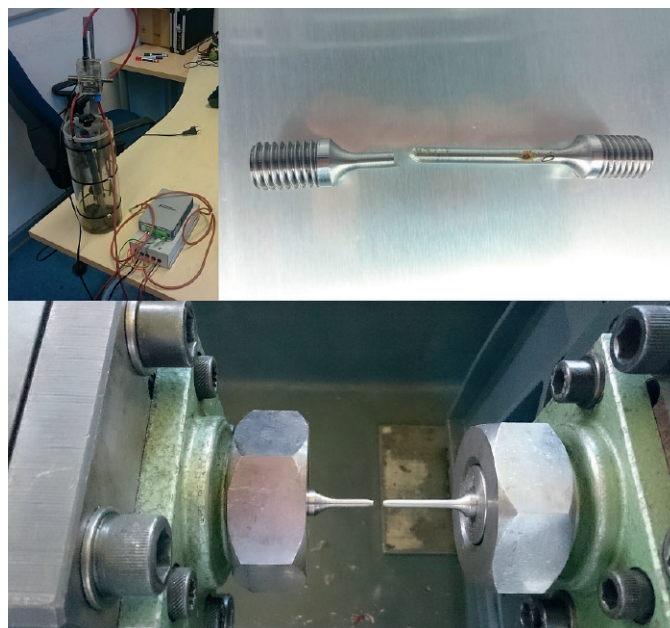


Fig. 12. Test set-up at Aachen University (top left: capsule for sprinkling, top right: broken test bar, bottom: fixed test bar).

Bild 12. Versuchsaufbau RWTH Aachen (o.l.: Kapselung für Beträufelung, o.r.: gebrochener Probenstab, unten: eingespannter Stab).
Photos/Fotos: THIELE

spricht. Untersuchungen von Kettengliedern unter ähnlichen Bedingungen wären weit aufwändiger gewesen.

Da die Proben ständig und gleichmäßig mit Kohlewasser beträufelt werden sollten, war zur Aufrechterhaltung der Pump- und Fließfähigkeit ein „dünnere“ Mischungsverhältnis (1,3:1 – Wasser: Kohlepartikel) zu wählen (Bild 12). Die Kohle für diese Versuche stammte aus den australischen Bergwerken Ulan und Metropolitan.

Im Vergleich zu Dauerschwingversuchen an Luft und mit destilliertem Wasser nahm die Schwingspielzahl deutlich ab (Tabelle 2). Auch dies ist ein deutlicher Hinweis für die zusätzliche Korrosionsbeanspruchung der Ketten durch Grubenwässer sowie insbesondere Bedüsungswässer, deren zusätzliche mineralische Befruchtung und damit die Erhöhung ihres Korrosionspotentials herrührend aus der befeuchteten Kohle unvermeidbar sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Erschwerend zu den bergmännischen, geologischen, technischen und organisatorischen Herausforderungen des Strebbaus bewegt er sich zudem in einem korrosiven Umfeld. Mit zunehmender Teufe wächst auch die Korrosionsgefährdung von Maschinen und Anlagen, die zum Großteil aus metallischen Werkstoffen gefertigt sind. Schäden durch Korrosion ziehen häufig Förderausfälle nach sich. Insbesondere Ketten als Zentralelement der Strebförderung sind häufig betroffen.

Versuch	Medium	Schwingspielzahl	Bemerkung
1	Trocken	> 1.000.000	Durchläufer
2	Destilliertes Wasser	421383	
3	Kohlewasser ULAN	289933	
4	Kohlewasser ULAN	238820	
5	Kohlewasser METROPOLITAN	246069	
6	Kohlewasser METROPOLITAN	207586	

Table 2. Fatigue tests on chain steel under corrosive conditions.

Tabella 2. Schwingversuche Kettenstahl unter Korrosionsbedingungen.

Corrosion is triggered not only by the corrosive atmosphere, which is created by moisture-laden air and unavoidable inflows of mine water, but also by the dust-suppression sprays. The latter are an essential requirement for protecting the health of the face workers and for preventing explosions. However, contact with the newly mined coal means that this water, which is initially corrosion-neutral in order to protect the pumps, feed lines and jet sprays, eventually becomes ion-charged and corrosive. When mixed with coal fines this solution then adheres to the chains, chain connectors and scraper bars. The corrosively charged, damp coal fines then begin their destructive attack, which focuses on the chain links and especially on those parts that are subjected to the greatest stress. The chain links ultimately fail at an increasing rate as a result of fatigue or stress corrosion and the chain has to be replaced at considerable cost.

Galvanisation has proved to be the only effective way to protect the chains from corrosion attack. However this type of protection is not normally applied to longwall face equipment in other countries. It should also be stated that on some production faces unprotected chain assemblies have achieved a long service life without suffering from corrosion-related failure. It has not yet been possible to establish a simple relationship or perform a risk assessment on the basis of individual parameters. The aforementioned investigations, however, have given strong indications that by carrying out a relatively simple test on the coal destined for extraction it is possible to acquire a better understanding of this key risk factor so that the latter can ultimately be properly evaluated. The chain making company THIELE intends to continue its programme of fatigue tests on chain steel samples using a range of coals obtained from all over the world. They are confident that these investigations will ultimately enable a much more accurate risk assessment to be made of the potential corrosion threat to mining chains based on data from individual production faces. These considerations will also be based on previously accumulated knowledge and on the data records for all the many coal faces that the firm has provided support for over the years. And last but not least – as traditional mining wisdom has taught us – this exercise will also make use of the personal expertise that every coal face worker has to draw on.

References / Quellenverzeichnis

- (1) O’Dea, Joe und R. Wertheimer: Underground Mining Focus: Longwalls, Continuous Miners. Vertical Research Partners, (November 2013). <http://www.verticalresearchpartners.com/research-note.cfm/underground-mining> (zuletzt eingesehen 17.Februar 2016).
- (2) Henkel ,E. und Dembeck, R.: Untersuchungen der Blockiervorgänge von Kettenkratzerförderer und Hobelanlagen. Glückauf-Forschungshefte 39 (1978), S. 225-233.
- (3) Philipp, G. und F. Calik: Das zukünftige Entwicklungspotenzial der Kettenfördertechnik im Strebbaubetrieb und eine Abschätzung ihrer Einsatzgrenzen. (Mining Report 150 (2014) D/E).
- (4) Philipp, G.: Hart oder weich? Die Hobelketten 42 x 137 mm und das Ei des Kolumbus, Mining + Geo Nr. 5 (2012).
- (5) Merten, M. und H. Michaely: Kettenförderer. Wer den Standard setzt, hat den Vorteil im globalen Markt. DIN-Mitteilungen (1/2008), S. 24-31.
- (6) Kleer, J.: Standzeit und bestimmbarer Alterungsverlauf verzinkter Doppelmittelketten. Glückauf 122 (1986), S. 736 – 742.
- (7) Peter, G., R. Muntwyler und M. Ladner: Baustofflehre, S. 42. Stuttgart (1995).
- (8) Gerth, A.: Korrosionsauswirkungen des Grubenwassers auf Bergbauketten. RWTH Aachen (2015).

Auslösende Faktoren für die Korrosion sind neben der korrosiven Atmosphäre durch feuchtigkeitsbefruchtete Wetter und die unvermeidlichen Zuflusswässer auch Bedüsungswässer. Letztere sind aus Gründen des Gesundheits- und Explosionsschutzes unvermeidbar. Durch Kontakt mit der hereingewonnenen Kohle jedoch werden aus Wässern, die zum Schutz von Pumpen, Zuleitungen und Düsen zunächst korrosionsneutral sind, ionenbefruchtete, korrosive Flüssigkeiten. Diese haften vermischt mit Kohleklein an Ketten, Schließern und Kratzern. Insbesondere an Kettengliedern und dort an den Stellen der Kettenglieder mit den höchsten Spannungen beginnt das korrosiv aufgeladene, feuchte Kohleklein seinen zerstörerischen Angriff. Schließlich versagen Kettenglieder durch Schwingungs- oder Spannungskorrosion in immer schnellerer Folge und ein teurer Kettenwechsel wird erforderlich.

Als einzige wirksame Vorbeugemaßnahme hat sich das Feuerverzinken von Ketten erwiesen. Es ist allerdings in vielen ausländischen Strebbaubetrieben nicht gebräuchlich. Festzuhalten ist auch, dass in einigen Betrieben mit ungeschützten Ketten hohe Standzeiten ohne vorherigen Korrosionsausfall erzielt werden. Einen einfachen Zusammenhang oder eine Risikoabschätzung anhand einzelner Parameter gelingt noch nicht. Durch die vorliegenden Untersuchungen sind aber deutliche Hinweise gegeben, dass die Überprüfung der zu gewinnenden Kohle anhand eines relativ einfachen Versuchs einen wesentlichen Risikofaktor besser verständlich und schließlich bewertbar macht. Die Firma THIELE wird die Schwingversuche an Kettenstahlproben mit den unterschiedlichen Kohlen aus aller Welt fortsetzen. Man ist sich sicher, dadurch zu einer erheblich genaueren Risikoabschätzung hinsichtlich einer potenziellen Korrosionsgefährdung für Ketten bezogen auf einen einzelnen Betriebspunkt zu kommen. Einzu beziehen in eine solche Betrachtung sind zusätzlich das gesammelte Wissen und die Aufzeichnungen über viele Betriebe, die das Unternehmen in der Vergangenheit begleitet hat. Nicht zuletzt – wie uns die bergmännische Tradition gelehrt hat – auch das persönliche Erfahrungswissen, das man bei der Befahrung eines Strebs abrufen kann.

- (9) Wedewardt, M.: Hydrochemie und Genese der Tiefenwässer im Ruhr-Revier. Bochum : DMT, (1995).
- (10) Kotwica, K et. al.: Untersuchung des Einflusses der Einsatzbedingungen auf die Laufzeit und den Verschleiß von Strebfördererketten in ausgewählten Bergwerken der Gesellschaften KW S.A., PKW S.A und JSW S.A. (2011).
- (11) Hageböling, V.: Untersuchungen des Korrosionsverhaltens von Werkstoffpaarungen in Kohlewäschen zur Verbesserung des Korrosionsschutzes. Bochum: DMT Essen (2002).
- (12) <http://td-koenig.de/bergbau/bergbau.htm> (zuletzt eingesehen am 03.03.2016).
- (13) iMa Richter & Röckle GmbH & Co.KG, IUTA e.V.: Ermittlung von Emissionsfaktoren für die Lagerung und den Umschlag von Kohle: Steinkohle, Essen, VGA PowerTech e.V. (2012).

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Günther Philipp, Geschäftsführer, und Alexander Gerth, M.Sc., THIELE GmbH & Co. KG, Iserlohn