

Technical Aspects of Auxiliary Ventilation at Dust-Intensive Workplaces

Many different technical relationships and parameters have to be taken into account for the professional cleaning of dust-laden air. Filtering the dust load from the air requires a fan system to set the air in motion so that it can pass through the filters. In mechanised drivages and conventional tunnelling operations the technical ventilation methods being deployed

have to be matched exactly to the dust extraction system. Air speeds, clearances, pressure surcharges, climate parameters and many other factors all have to be included in the auxiliary ventilation regime to create an efficient dust evacuation process and in this way to ensure that clean air is available at the workplace.

Zusammenhänge der Sonderbewetterung mit staubintensiven Arbeiten

Für eine professionelle Reinigung staubhaltiger Luft sind viele technische Zusammenhänge und Parameter zu beachten. Um die Staubfracht aus der Luft zu filtern, muss diese mit Ventilatoren in Bewegung gebracht sein, damit die Luft die Filter passieren kann. In Tunnelvortrieben oder mit konventionellen Auffahrmethoden

sind die technischen Vorgehensweisen der Bewetterung sehr genau mit der Entstaubung abzustimmen. Wettergeschwindigkeiten, Abstandsmaße, Druckaufschläge, Klimaparameter und vieles mehr müssen in der Sonderbewetterung für den Staubabtransport berücksichtigt sein, um eine saubere Luft zu gewährleisten.

Introduction

For many of those involved in underground dust control the installation of dust suppression and precipitation equipment often implies that no further action is required to reduce the dust threshold levels. However, for miners and tunnelling engineers this may just constitute the first step. For a start they now have a tool at their disposal that has to be properly set up and deployed. The technical process of dust control is a complex one and comprises much more than merely the cleaning function of the filter. For one thing the dust separator has to be operated within its performance parameters and this means that the entire system has to work properly. It is then possible to close the loop with those who are working at the roadhead, for only they can ensure that the dust control measures are always aligned with the operating conditions so that correct functionality is guaranteed. The following paper uses the example of a cutting head tunnel drivage to examine the dust control measures in place under a set of constraints in which the various aspects of the overall system have to be coordinated with the actual working conditions. Here a distinction is drawn between two functioning units: unit A consists of a dry-type deduster set up behind the roadhead, while unit B is the airflow being delivered to the heading face.

Einleitung

Mit dem Einsatz von Geräten zur Staubminimierung und zum Staubbiederschlag ist oftmals für viele Beteiligten der Arbeitsprozess zur Grenzwertminimierung abgeschlossen. Für die Tunnelmineure und Bergleute in der Praxis ist dies jedoch nur der erste Schritt. Sie haben erst einmal ein Werkzeug zur Verfügung bekommen, welches anschließend richtig einzusetzen ist. Der technische Prozess der Staubbekämpfung ist insgesamt komplex und besteht nicht nur aus der Abreinigungsfunktion des Filters. Der Entstauber muss innerhalb seiner Betriebsparameter betrieben werden. Dies bedingt ein funktionierendes Gesamtsystem. Hier wird der Kreis zu den vor Ort tätigen Bergleuten wieder geschlossen. Denn nur die Leute vor Ort können sicherstellen, dass die Staubbekämpfungsmaßnahmen ständig richtig an die Betriebsverhältnisse angepasst sind, damit die korrekte Funktionalität gewährleistet ist. Im Folgenden wird am Beispiel eines Fräskopfvortriebs die Staubbekämpfung unter solchen Randbedingungen betrachtet, indem die verschiedenen Punkte des Gesamtsystems mit den realen Bedingungen in Zusammenhang gebracht werden. Zwei Teile sind zu unterscheiden: Teil A besteht aus einer Trockenentstaubungseinheit hinter der Ortsbrust, Teil B ist die Zuluftbewetterung zur Ortsbrust.

System in focus – drivage with excavator cutting head

The ventilation set-up being examined here, which is designed for a tunnel drivage with roadhead dust extraction (Figure 1), comprises two basic systems. The first involves the forced supply of air to the heading face via a section of ducting. In addition, two aspiration lines are deployed at the tunnel face in order to capture the dust as it is produced and then to remove it via a dust extraction unit set up behind the intake-air ducting. This ensures that a clean flow of waste air is always directed backwards away from the roadhead (Figure 2).

A number of basic rules have to be followed in order to ensure proper functionality and to maintain the filtration process within the permissible parameters. The relationships between the individual ventilation units play a key role for the effectiveness of the overall system.

A moving cutter head (see Figure 1) travels over the entire profile of the heading face and in doing so generates various quantities of dust in different concentrations. Dust extractors operating in conjunction with the cutting head draw in the dust-laden air through conduits set up close to the roadhead. It is crucial that these extractor conduits are correctly aligned with the dust generation points, with ideally one conduit placed on each side of the cutter head and about one third of the way up between the tunnel floor and roof in order to achieve a uniform dust extraction result.

In order to collect the dust effectively over the entire tunnel cross section, and not to leave any residual dust in the zone behind the heading face, the ventilation system has to create a “stable” dust screen at the tunnel face. This boundary between the clean air and the dust dispersal zone around the dust extraction area is maintained by ensuring that the quantity of dust-laden air being extracted and the incoming fresh air flow are perfectly coordinated. The transition from positive to negative pressure, as defined by the physical conditions, forms the borderline between the dust-free and the dust-laden zones.

Using a purely exhaust-based ventilation system to draw air from the heading face cannot achieve the same symmetry of flow as a locally-installed extraction unit operating in combination with a fresh-air supply via a secondary ventilation set-up. This can clearly be seen by analysing the flow speeds of the respective intake ducts (Figure 3).

It is obvious from a physical viewpoint that the dust is drawn in by the vacuum or negative pressure. Positioning the extraction unit



Fig. 1. Drivage with excavator cutting head.
Bild 1. Vortrieb mit Baggerfräskopf. Photo/Foto: Korfmann

Betrachtetes System – Vortrieb mit Baggerfräskopf

Das hier betrachtete Bewetterungsprinzip eines Vortriebs mit Ortsbrustentstaubung (Bild 1) beruht auf zwei grundlegenden Maßnahmen. Zum einen besteht die Luftzufuhr zur Ortsbrust mittels Frischwetterlutte in blasender Ausführung. Gleichzeitig werden an der Ortsbrust zwei Absaugleitungen eingesetzt, um den Staub direkt zu erfassen und über einen Entstauber hinter der Frischwetterlutte wieder gereinigt abzugeben. Somit wird eine klare rückwärtsgerichtete Führung der Abwetter gewährleistet (Bild 2).

Dieses Prinzip bedarf einiger Durchführungsregeln, um die Funktionalität zu gewährleisten und die Filtrierung innerhalb der zulässigen Parameter zu halten. Die wettertechnischen Zusammenhänge in den einzelnen Anlagenteilen spielen für die Wirksamkeit des Gesamtsystems eine große Rolle.

Ein beweglicher Fräskopf (s. Bild 1) wandert an der Ortsbrust über den gesamten Querschnitt und erzeugt unterschiedlich konzentriert verschiedene Mengen Staub. Die verwendeten parallel gesetzten Entstaubungseinheiten saugen von der Ortsbrust über Leitungen die staubbelasteten Wetter an. Hierbei ist die Positionierung zur Staubeinstehung wichtig. Eine gleichmäßige Absaugung beidseitig sollte optimal auf etwa ein Drittel der Tunnelhöhe positioniert werden.

Um diesen Staub sauber über den Querschnitt zu erfassen und nicht in den rückwärtigen Bereich zu entlassen, muss die Wettertechnik eine „stabile“ Staubwand an der Ortsbrust erzeugen. Diese Grenze zwischen Frischluft und Staubaubreitung im Absaugbereich wird erhalten durch die optimale Abstimmung der Absaugmenge und eine gleichmäßige Frischwetterzufuhr. Der durch die physikalischen Bedingungen definierte Übergang zwischen Über- und Unterdruck liefert die deutliche Grenze für die staubfreien und staubbelasteten Bereiche.

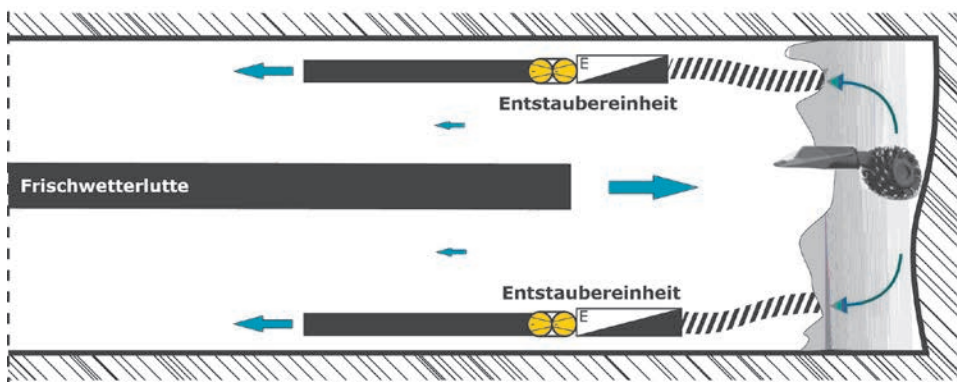


Fig. 2. Basic principle of the ventilation arrangement.
Bild 2. Grundprinzip der Bewetterung. Source/Quelle: Korfmann

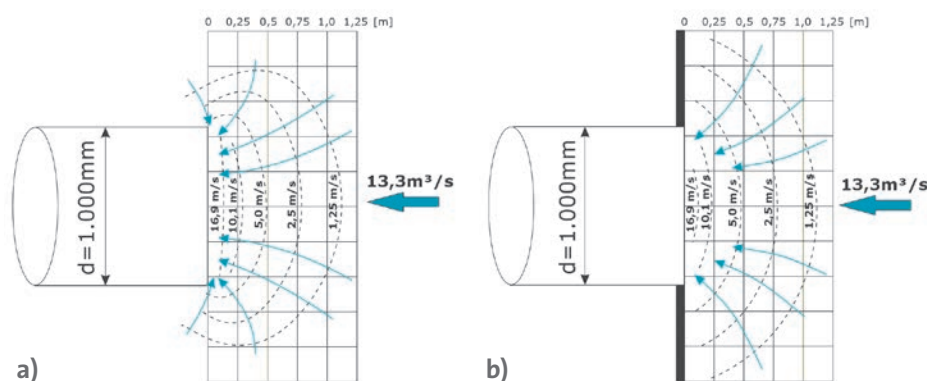


Fig. 3. a) Suction bellmouth with open pipe end section. b) Suction bellmouth with plate fitted to pipe end section. // Bild 3. a) Saugglocke freies Rohrende. b) Saugglocke mit Scheibe am Rohrende. Source/Quelle: Korfmann

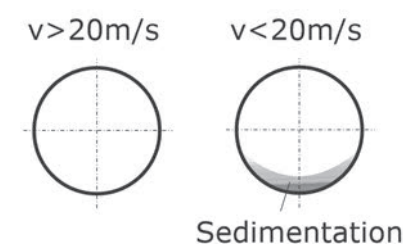


Fig. 4. Sedimentation at too low flow speeds. Bild 4. Sedimentation bei zu niedrigen Geschwindigkeiten. Source/Quelle: Korfmann

as consistently and as close as possible to the dust generating point results in greater efficiency. At the same time it is evident that partly enclosing the extractor unit, i.e. when a plate is fitted as shown in Figure 3b, brings significant benefits for the system. While the pressure equalisation and flow speeds are somewhat delayed, this modification really improves the impact and effectiveness of the system.

As the tunnel is continuously advancing the dust extraction plant has to be designed to allow some degree of mobility. Given that any type of equipment will interfere with operations when sited close up to the tunnel face a connecting duct has to be set up between the heading face and the filter unit. This suction duct has to be designed in such a way that the effective negative pressure does not compromise the stability of the system. At the same time it is important to ensure that the air velocity inside the duct is sufficient to carry the dust particles to the filter. This means achieving air velocity rates of around 20 m/s inside the suction passage. Any change in the cross section of the conduit will inevitably affect the air velocity inside the suction duct. Failure to achieve the minimum velocity needed for particle transport will result in sedimentation inside the passageways (Figure 4) and the larger-sized particles will be deposited.

This sedimentation process will eventually create a situation inside the duct where balancing will take place between the deposition and the air velocity. As a result, less air will be entrained for the ventilation process and energy consumption levels will increase. The volume of air at the tunnel face may potentially no longer be sufficient to maintain a stable system. If the speed of flow inside the suction duct is too high the result will be increased wear and greater abrasion. Furthermore, the spiral air ducts that are often used in such cases have a physical limit at which the internal pressure tends to fold up the spirals. This process greatly reduces the available cross section and the air volume and performance will be affected as a result.

Filter unit

Changes in air volume and speed also have an effect on the dust extraction system. While dry dust extractors with their compact filter elements (Figure 5) do benefit from being able to cope with deviations in nominal airflow, nevertheless even here there are limitations and if these are exceeded there will be aerodynamic consequences.

Ein rein saugendes Bewetterungssystem von der Ortsbrust kann nicht die gleiche Symmetrie der Strömung erreichen wie eine rein örtliche Absaugung mit Frischwetterzufuhr über eine Sekundärbewetterung. Dies wird deutlich, wenn die Strömungsgeschwindigkeiten der Ansaugleitungen betrachtet werden (Bild 3).

Physikalisch ist klar, dass die Stäube nicht durch die Geschwindigkeiten angesaugt werden, sondern durch den erzeugten Unterdruck. Eine möglichst gleichmäßige bzw. nah an der Staubentstehungsstelle positionierte Ansaugereinrichtung führt zu höherer Effizienz. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass eine Teileinhausung immense Vorteile für das System bringt, wie dies beispielsweise in Bild 3b mit Scheibe dargestellt ist. Der Druckausgleich und die Geschwindigkeiten werden verzögert, der Einfluss und die Effektivität werden gesteigert.

Durch den ständig voranschreitenden Vortrieb ist eine Teilmobilität der Entstaubungsanlagen erforderlich. Da im direkten Vortrieb jegliche Ausrüstung störend wirkt, ist eine Verbindungsleitung von der Ortsbrust bis zum Filter notwendig. Diese Saugleitung muss so ausgelegt sein, dass der wirkende Unterdruck die Stabilität nicht gefährdet. Gleichzeitig ist jedoch eine Luftgeschwindigkeit innerhalb der Leitung anzustreben, welche die Staubpartikel entsprechend zum Filter transportieren kann. Luftgeschwindigkeiten von etwa 20 m/s im Saugkanal sollten erzielt werden. Jegliche Querschnittsänderungen in der Leitungsführung verändern die Luftgeschwindigkeiten im Saugrohr. Bei Unterschreitung der Mindestgeschwindigkeiten zum Partikeltransport kommt es zur Sedimentation in den Kanälen (Bild 4). Grobe Partikel setzen sich ab.

Bei der Sedimentation wird ein Zustand erreicht, an dem im Rohr ein Ausgleich zwischen Ablagerung und Luftgeschwindigkeit stattfindet. Als Resultat wird weniger Luft bei gleichzeitig höherem Energiebedarf der Ventilation transportiert. Die Wettermenge an der Ortsbrust könnte nicht mehr ausreichen, um das System stabil zu halten. Ist die Geschwindigkeit im Saugrohr zu hoch, ist mit einem erhöhten Verschleiß und Abrasion zu rechnen. Weiterhin haben die oftmals im Einsatz befindlichen Spirallutten eine physikalische Grenze, an welcher der Innendruck die Spiralen zusammenlegt. In der Folge werden der Querschnitt stark verringert und die Luftmenge und Leistung in Abhängigkeit verändert.

Any increase in the air volume above the nominal filter capacity will cause a disproportionate rise in the pressure resistance and in the air velocities in the passages. The higher velocities will result in increased material wear as a function of the dust grain properties. Particles directly striking the filter material at an excessive velocity will gradually cause the latter to become damaged. While it is convenient to note that a high pressure difference can do practically no harm to the actual filter material, nevertheless the high resistance offered by the filter and filter cake will tend to diminish the cleaning function. Intermittently flushing through with compressed air will not overcome the surface pressure and will only serve to reduce the cleaning performance. This is often not obvious to the user, as the compressed air is delivered at an operating pressure of about 4,5 bar (Figure 6).

As the pressure is released and expands across the entire surface of the filter the pressure level will be reduced as a function of the surface area, with the result that thorough cleaning will not be possible at a total resistance of 5 to 6 kPa. This results in a reduction in air volume and in a disruption to the entire ventilation system.

Any kind of water infiltration is also to be avoided when dry filter elements are being used as moisture will cause the material to lose its filter and support structure. At the same time the filter cake can no longer be flushed clean, the cake thickens and the filter system exhibits less permeability.

Fan system

A fan unit that is the correct specification can run trouble-free as long as the system is operated carefully and the filter unit is regularly cleaned in line with the threshold values. When selecting the fan system it is essential to factor into the overall resistance rating not only the flow resistance of the individual filters but also the intake and exhaust air conduits. The overall system must therefore be properly coordinated with the operational processes right from the design stage. An extension of the intake line or a reduction in the pipe diameter at a later date will create different workplace conditions and will result in changes to the airflow rates, with all the consequences referred-to above. It is particu-

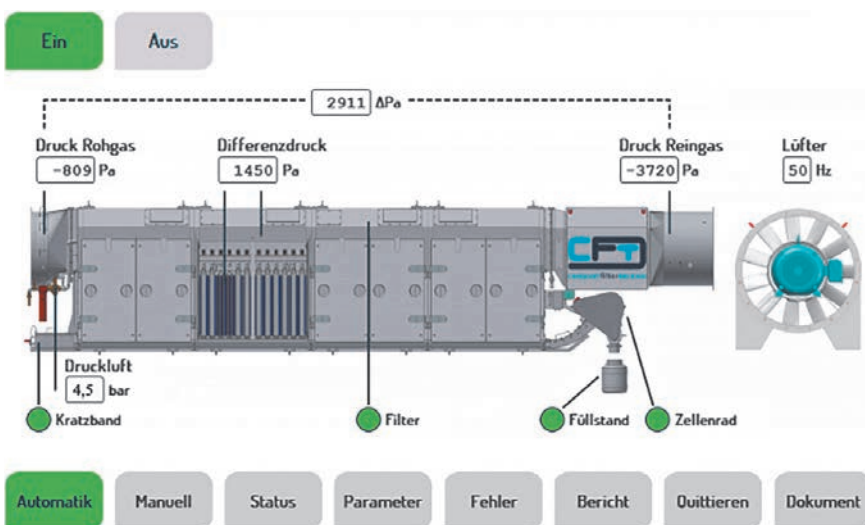


Fig. 6. Filter unit operating data. // Bild 6. Betriebsdaten der Filtereinheit. Source/Quelle: Korfmann

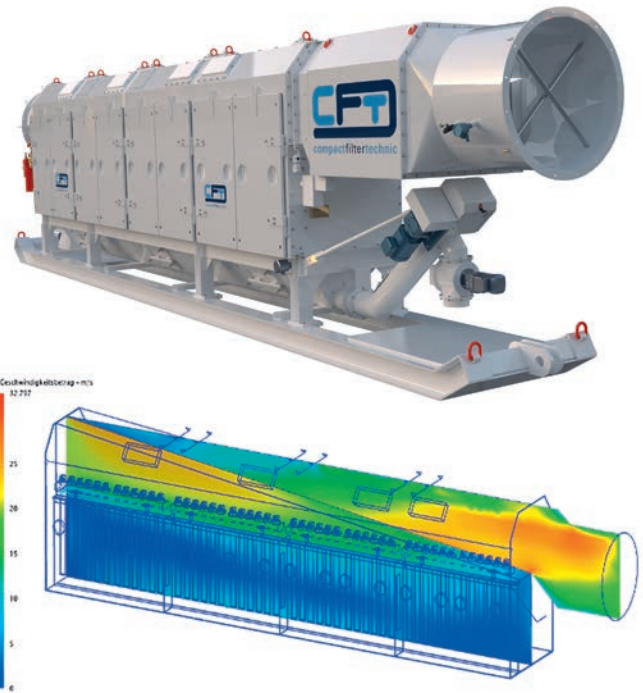


Fig. 5. Dry-type dust extractor with compact elements – newly patented system from CFT. // Bild 5. System Trockenentstauber mit Kompakt-elementen – patentiertes neues System CFT. Source/Quelle: CFT

Filtereinheit

Veränderte Luftmengen und Geschwindigkeiten haben ebenfalls Auswirkungen auf den Entstauber. Der Trockenentstauber mit Kompaktfilterelementen (Bild 5) verzeiht dem Anwender zwar einige Abweichungen des Nennvolumenstroms, trotzdem sind auch hier Grenzen gesetzt. Die Überschreitung dieser Grenzen hat lufttechnische Konsequenzen.

Mit einer Erhöhung des Luftvolumens oberhalb der Nominallmenge des Filters steigen überproportional der Druckwiderstand sowie die Luftgeschwindigkeiten in den Kanälen. Mit den höheren Geschwindigkeiten steigt der Materialverschleiß in Abhängigkeit der Staubkorneigenschaften. Treffen direkt Partikel mit übermäßiger Geschwindigkeit auf das Filtermaterial, wird dies nach und nach beschädigt. Günstigerweise kann eine hohe Druckdifferenz dem eigentlichen Filtermaterial fast nichts anhaben. Dennoch bedeutet ein hoher Widerstand durch Filter und Filterkuchen eine Reduktion der Abreinigungsfunktion. Die mittels Druckluft stoßweise durchgeführte Abreinigung könnte den Flächendruck nicht überwinden und die Reinigung reduzieren. Dies ist oftmals nicht offensichtlich für den Anwender, da die Druckluft mit einem Betriebsdruck von etwa 4,5 bar ansteht (Bild 6).

Durch Freigabe und Expansion über den gesamten Filter reduziert sich dieser Druckwert in der Fläche, sodass bei einem Gesamtwiderstand von 5 bis 6 kPa keine sorgfältige Abreinigung erfolgen kann. Infolgedessen ergibt sich eine Luftvolumenabnahme und der Zusammenbruch des gesamten Wettersystems.

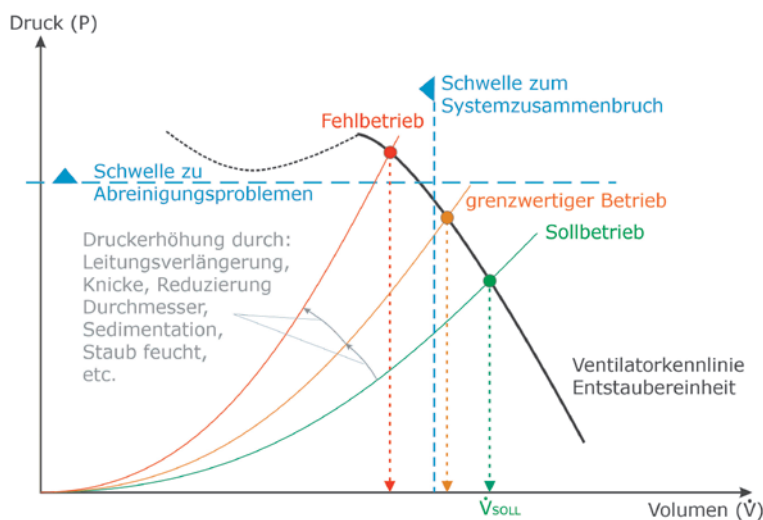


Fig. 7. Fan characteristics. // Bild 7. Ventilatorcharakteristik. Source/Quelle: Korfmann

larily important to avoid any crossing of the specified thresholds, which can result in a failure of the ventilation system and other individual problems, including velocity reductions in the overlap area. The diagram in Figure 7 summarises the various relationships that come into play.

Serious fan problems can occur if a fan is installed before the filter unit or is loaded with dust as a result of incorrect filtration. Dust particles can cause abrasive wear and this will especially affect those components that develop high rotational speeds, such as the tips of the fan blades. A change in the shape of the blade profile can lead to laminar separation and cause uneven flow patterns that affect fan performance (Figures 8 and 9). The service life of the blades is very much reduced as a result. Such an operating regime entails high maintenance and spares costs.

Moist and/or adhesive dust presents the additional risk of caking. This initially develops uniformly because of the rotational movement of the impeller. However, as the cake thickness increases there is a real possibility of material flaking off, and this can lead to imbalance at the impeller wheel. This in turn can result in bearing damage in the medium term. If the fan is not designed specifically for use below ground it is possible that other



Fig. 8. Impeller conveying dust. Bild 8. Flügelrad bei Staubbeförderung. Photo/Foto: Korfmann

Weiterhin ist bei Trockenfilterelementen jeglicher Wassereintrag zu vermeiden. Denn mit Feuchtigkeit verliert das Material seine Stütz- und Filterstruktur. Gleichzeitig kann der Filterkuchen nicht mehr sauber abgereinigt werden. Der Kuchen verdickt sich und das Filtersystem weist weniger Durchlässigkeit auf.

Ventilator

Bei einem sorgfältig betriebenen System und einer Filtereinheit, deren Abreinigung den Grenzwerten entspricht, ist der Betrieb der Ventilatoreinheit unproblematisch, sofern dieser korrekt spezifiziert wurde. Natürlich sind bei Auswahl des Ventilators nicht nur die Strömungswiderstände der einzelnen Filter, sondern auch die Zu- und Abluftleitungen im Gesamtwiderstand zu berücksichtigen. Entsprechend muss das Gesamtsystem bei der Auslegung bereits mit den betrieblichen Abläufen richtig abgestimmt sein. Eine Verlängerung der Saugleitung oder

eine Reduzierung der Rohrdurchmesser im Nachhinein führten zu einem anderen Betriebspunkt und zu Luftmengenveränderungen im System mit den zuvor beschriebenen Konsequenzen. Es sind insbesondere die Schwellenüberschreitungen zu verhindern, welche zum Bewitterungszusammenbruch bzw. zu einzelnen Problemen führen können. Als Beispiel ist die Geschwindigkeitsminimierung im Überlappungsbereich zu nennen. Bild 7 zeigt die Zusammenhänge zusammengefasst.

Sollte ein Ventilator vor der Filtereinheit eingesetzt bzw. durch falsche Filtration staubbelastet sein, kann dies zu erheblichen Problemen am Lüfter führen. Staubpartikel führen zum abrasiven Verschleiß, besonders an den Bauteilen mit hohen Umgebungsgeschwindigkeiten wie den Flügelspitzen. Eine Formänderung des Flügelprofils führt zu Ablösungen und zu inhomogenen Strömungen mit verminderter Leistung (Bilder 8, 9). Die Standzeit des Flügels reduziert sich extrem. Diese Betriebsart führt zu hohen Wartungs- und Ersatzteilkosten.

Bei feuchtem bzw. adhäsivem Staub besteht zusätzlich die Gefahr von Anbackungen. Diese sind durch die Rotationsbewegung des Flügelrads zuerst gleichmäßig. Mit zunehmender Dicke besteht die Gefahr von teilweisen Abplatzungen, welche zu einer



Fig. 9. Wear due to dust action. Bild 9. Verschleiß durch Staub. Photo/Foto: Korfmann

forms of damage can occur much sooner than anticipated as a result of dust entering the electrical system, inadequate material thicknesses and the frequent and irregular deposition of dust on the rotating surfaces. In some cases a fan blade may even suffer a complete fracture.

Air supply system

From an analysis of the dust extraction components it is clear that the dedusting process is completely dependent on the fresh air supply system. Given the case in point of the moving cutter head it is systematically relevant to have a stable dust screen in place. Experiences acquired from tunnel construction projects and mining industry investigations carried out under explosive gas conditions have led to positioning rules for components that have helped ensure optimum functionality.

As flow-related pressure losses are very dependent on the tunnel profile the clearances can be calculated accordingly using the root of the cross section (Figure 10). The dust screen is developed from the tunnel face with the volume of air extracted (as a function of the cut face and excavation method) being optimally quantified at less than about $\frac{1}{4}\sqrt{A}$. The subsequent distance to the fresh air supply duct is set at a minimum of $10\sqrt{A}$ so that the outflowing stream of air is able to expand and a more uniform airstream is diffused over the entire tunnel cross section. By positioning the duct close to the face or tunnel roof the speed at which the core jet of air leaves the duct can affect the outreach of the airstream. Siting close to the side-walls generally extends the reach of the airflow. However, an unfavourable surface composition can very quickly deflect the flow. It also has to be borne in mind that a high flow speed at ground level can swirl up any lying dust. The core jet speed itself must recede to such an extent before reaching the dust screen that the speed vectors are relatively uniform over the entire tunnel cross section. Any irregular distribution in this respect will partially disrupt and destabilise the dust screen and this

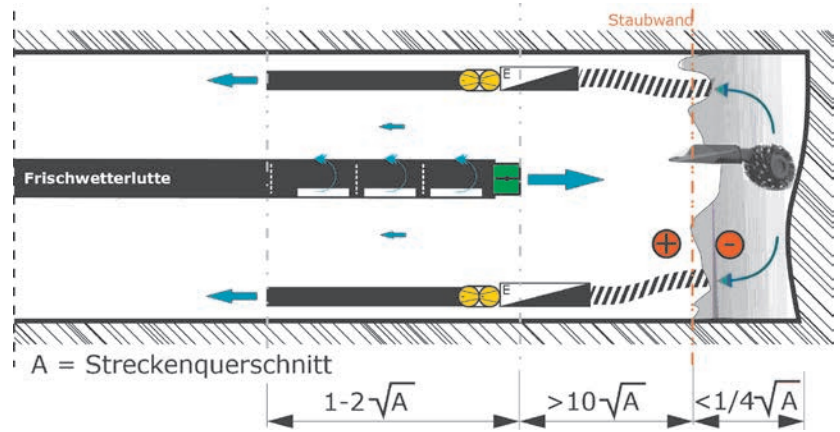


Fig. 10. System-specific distances.
Bild 10. Systembedingte Abstände. Source/Quelle: Korfmann

Unwucht des Rads führen. Mittelfristig kommt es dadurch zu Lagerschäden. Sollte der Ventilator nicht in bergbautauglicher Ausführung ausgebildet sein, sind weitere Schäden durch eintretenden Staub in die Elektrik, zu geringe Materialstärken und zu viele Möglichkeiten für unregelmäßige Absetzungen des Staubs auf Rotationsflächen wesentlich früher möglich. Auch ein kompletter Flügelbruch ist nicht auszuschließen.

Zuluftsistem

Nach der Betrachtung der Entstaubungskomponenten wird deutlich, dass die Entstaubung mit dem Gesamtsystem der Frischwetterzufuhr in absoluter Abhängigkeit steht. Für das Beispiel des beweglichen Fräskopfes ist die Sicherstellung der stabilen Staubwand systemrelevant. Aus den Erfahrungen im Tunnelbau und aus Untersuchungen unter explosiven Gasbedingungen im Bergbau haben sich Positionierungsregeln der Komponenten ergeben, welche die Funktionalität sicherstellen.

Da die strömungsbedingten Druckverluste stark vom Streckenprofil abhängig sind, errechnen sich die Abstandsmaße entsprechend aus der Wurzel des Querschnitts (Bild 10). Die Staubwand bildet sich vor der Ortsbrust bei optimaler Mengenauslegung des Absaugvolumens (abhängig von der Schnittfläche und Vortriebsart) bei etwa kleiner $\frac{1}{4}\sqrt{A}$. Der nachfolgende Abstand zur Ausblaslutte der Frischwetterzufuhr ist mit mindestens $10\sqrt{A}$ so gewählt, dass der austretende Luftstrahl expandiert und sich eine gleichmäßigere Strömung über den Gesamtquerschnitt ausbreitet. Die austretende Geschwindigkeit des Kernstrahls kann durch stoß- bzw. firstnahe Montage die Reichweite beeinflussen. Stoßnahe Montage vergrößert die Reichweite. Sie kann aber durch ungünstige Oberflächenbeschaffenheit frühzeitig abgelenkt werden. Hier ist zu beachten, dass eine hohe Strömungsgeschwindigkeit in Sohlennähe umliegende Stäube aufwirbeln kann. Die Kernstrahlgeschwindigkeit selbst muss vor der Staubwand bereits soweit abgeflaut sein, dass die Geschwindigkeitsvektoren im Gesamtquerschnitt relativ gleichmäßig sind. Eine ungleichmäßige Verteilung würde die

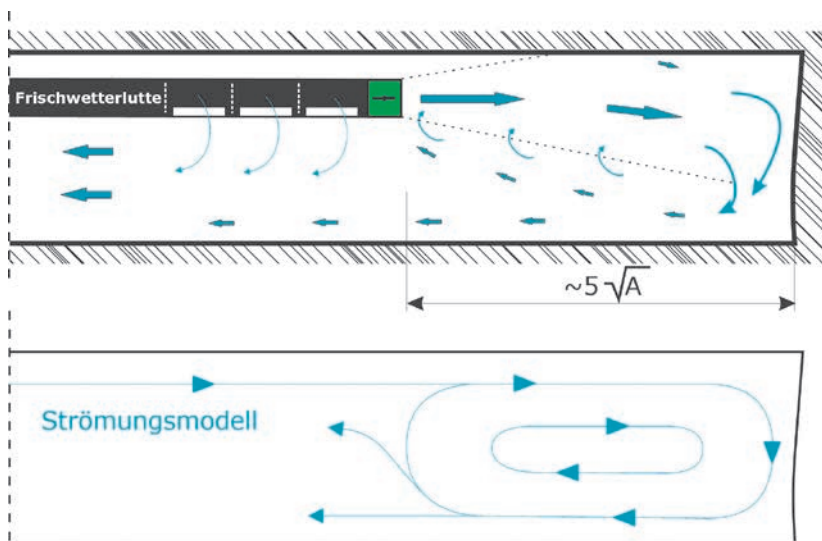


Fig. 11. Airflow model for discharge duct with open damper.
Bild 11. Strömungsmodell Ausblaslutte bei geöffneter Klappe. Source/Quelle: Korfmann

would make it impossible to achieve total dust capture. This problem can be resolved by fitting an axial shutter to the end of the duct and by providing radial vents in the last few duct end sections, e.g., using perforated ducting. In practice this often involves the use of a hybrid system comprising a shutoff damper and a series of perforated or spiral-wound ducts. This system offers considerable flexibility for any application. When the damper is opened axially the core jet can reach the heading face and the entire volume of air can be directed into the tunnel (Figure 11). This is especially useful at workplaces where no dust is being generated in that the heading can be ventilated without the need for deploying a dust extraction system. For dust-intensive operations the entire system can be activated, the damper on the air supply duct is closed and the airstream is able to pass through the radial vents and flow uniformly along the tunnel to reach the heading face. The dust screen is not compromised and remains stable.

It is practically impossible to achieve a uniformly profiled throughflow of air in the tunnel cross section between the discharge end of the ducting and the heading face. Operating conditions may create individual areas where an exchange of air cannot effectively take place. This includes the overlap zone between the discharge end of the ducting and the exhaust end of the dust extractor unit. This overlap area should be kept as small as possible, though must also be big enough to ensure that the ventilation regime can still be set up as required. The overlap zone should be short in length, as the air speed in this part of the tunnel profile is only based on the difference between the incoming fresh air and the air being extracted. Economic reasons and physical limits usually mean that no additional volumes of air are provided for this area. This minimal air quantity must only ever be allowed to fall below the specified minimum air speeds when it can be ensured that the tunnel cross section is fully flushed with air. Often this cannot be achieved using the conventional measures described here and breaches of the MAC (maximum allowable concentration) levels can occur. This becomes a particular problem when the tunnel heading is subject to gas emissions. Explosive pockets of gas are to be avoided at all costs.

The German coal industry developed a solution to this problem by replacing the discharge end of the perforated or radially vented fresh air ducting with a spiral-wound section of duct or a Coanda duct. This system exploits the physical

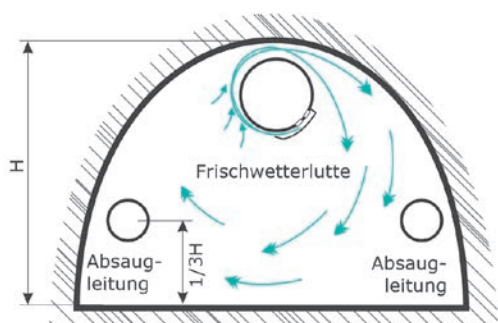


Fig. 12. Effect produced with spiral-wound ducting.
Bild 12. Wirkung mit Wirbellutte.
Source/Quelle: Korfmann

Staubwand partiell aufreißen, destabilisieren und eine vollständige Stauberfassung unmöglich machen. Dieses Problem kann durch einen axialen Verschluss am Luttenende bei gleichzeitig radialen Öffnungen in den letzten Luttenendstücken, z.B. durch eine Lochlutte, realisiert werden. In der Praxis wird hierbei oft ein Hybridsystem, bestehend aus einer Absperrklappe und nachfolgenden Loch- bzw. Wirbellutten eingesetzt. Dieses System bietet hohe Flexibilität in der Anwendung. Mit einer geöffneten Klappe axial kann der Kernstrahl bis zur Ortsbrust gelangen und die volle Luftvolumenmenge in die Strecke geführt werden (Bild 11). Insbesondere bei nicht Staub freisetzenden Arbeiten kann so der Vortrieb ohne den Einsatz der saugenden Entstaubung bewettert werden. Für staubintensive Arbeiten wird das Gesamtsystem in Betrieb genommen, die Klappe der Ausblaslutte geschlossen, und die Wetter strömen über die radialen Öffnungen gleichmäßig über die Strecke zur Ortsbrust. Die Staubwand wird nicht irritiert und bleibt stabil.

Praktisch ist es fast unmöglich, zwischen Ausblasende der Lutte und Ortsbrust eine gleichmäßig profilierte Durchströmung des Tunnelquerschnitts zu erreichen. Betriebsbedingt kann es Örtlichkeiten geben, die nicht ausreichend lufttechnisch ausgetauscht werden. Dazu gehört auch der Überlappungsbereich zwischen Ausblasende der Lutte und Ausblasende der Entstaubungseinheit. Diese Überlappung sollte möglichst klein sein, aber dennoch ausreichend groß, damit die Wetterführung sich überhaupt wie gewünscht einstellt. Eine möglichst kurze Überlappung sollte realisiert werden, da die Wettergeschwindigkeit in diesem Teil des Tunnelquerschnitts nur aus der Differenz der ankommenden und der abgesaugten Wetter besteht. Aufgrund wirtschaftlicher Interessen und physikalischer Grenzen werden die Wettermengen für diesen Bereich meist nicht zusätzlich gesteigert. Diese minimale Wettermenge darf teilweise vorgegebene Mindestluftgeschwindigkeiten nur dann unterschreiten, wenn sichergestellt ist, dass der Querschnitt vollumfänglich gespült wird. Das ist mit den konventionellen Maßnahmen, wie oben beschrieben, oft nicht erreichbar. MAK-Überschreitungen sind möglich. Dies ist insbesondere problematisch, wenn der Vor-

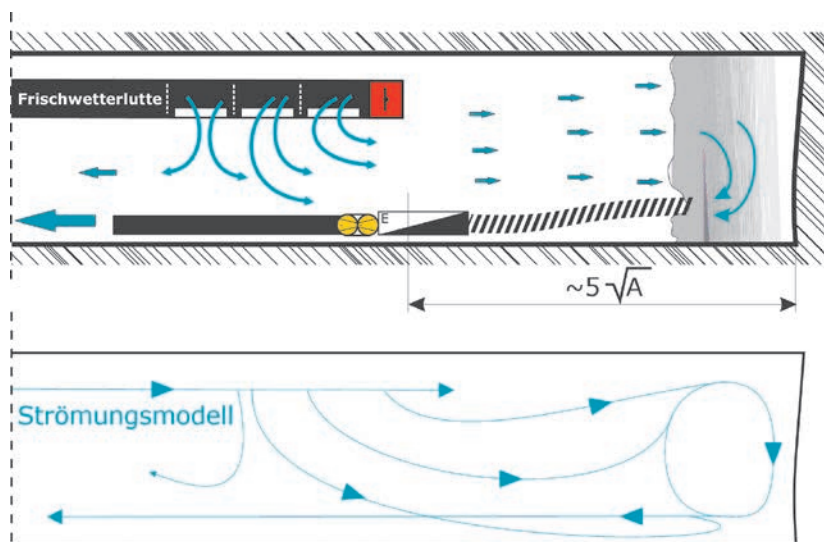


Fig. 13. Flow model with spiral-wound ducting.
Bild 13. Strömungsmodell mit Wirbellutte. Source/Quelle: Korfmann

Coanda effect whereby a radial rotational flow is produced at the outer wall of the ducting. Providing the duct with a perfectly tailored longitudinal slit that acts in combination with an axial shutter means that the air can flow out in a tangential direction (Figure 12). The resulting vortex flow flushes the entire tunnel cross section better than a perforated ducting can and prevents the local formation of emission pockets and gas accumulations (Figure 13). Air exchange is effectively ensured and at the same time the fresh air is delivered in a relatively uniform manner to the heading face and extraction system. The dust screen is not disrupted by high dynamic airstreams and so remains stable over long periods.

Overall assessment and conclusions

If it is to function fully and efficiently a dust extraction system must be based around compatible components that are to be deployed according to specification and in line with the operating procedure. The user not only has to make provisions for the various problems referred to above but must also keep a check on many other technical issues. These responsibilities may include the following:

- The fresh air supply is to be kept free from contaminants.
- Air ducts and supply lines are to be kept leak-free and regularly checked for damage.
- The filtered dust is to be removed from site in accordance with safety regulations and properly disposed of.
- All equipment components are to be maintained as prescribed by the manufacturer and adapted where necessary to the specific operating environment.
- Additional safeguards are to be put in place at other vulnerable workplaces, for example by installing filtered cabins for the machine operator.
- Vehicle exhaust pipes should not be directed to ground level.
- Other machines operating in the tunnel heading zone can have a local impact on the air exchange process. It may prove necessary to extend the ventilation measures, e.g., by installing air jets.
- Air coolers, when required, need even more precise coordination as the climate calculations have to correspond exactly to the airflow quantities and temperatures.
- Tunnels that are being driven in a potentially explosive environment require additional ventilation measures, such as air reversal or air flushing following gas ingress. This may entail further changes to the air conduits to ensure that the components can perform to maximum reliability.

Current dust regulations and threshold limits stipulate that ventilation systems have to be properly planned and designed to ensure that health protection requirements are complied with as the tunnelling operation proceeds efficiently. This not only requires dust extraction components designed to a high technical standard but also calls for fully qualified and trained personnel who understand the technical correlations and can both act in response to a risk analysis and assess the ongoing effectiveness of the actions taken.

Author / Autor

Dipl.-Ing. Jens Kegenhoff,
Korfmann Lufttechnik GmbH, Witten

trieb unter Gaseintritt steht. Explosive Gasnester müssen vermieden werden.

Eine Lösung dazu wurde im deutschen Steinkohlenbergbau entwickelt. Hierbei wurde die gelochte bzw. radial geöffnete Frischwetterlutte am Ausblasende durch eine sogenannte Wirbel- oder auch Coandalutte getauscht. Der bei diesem System ausgenutzte physikalische Coanda-Effekt erzeugt eine radiale Drehströmung an der äußeren Luttenwand. Durch einen genau abgestimmten Längsschlitz in der Lutte und gleichzeitig axialem Luttenverschluss durch eine Klappe strömen die Wetter tangential aus (Bild 12). Die erzeugte Drallströmung spült den gesamten Querschnitt besser als eine gelochte Lutte und verhindert die örtliche Bildung von Schadstoffnestern bzw. Gasansammlungen (Bild 13). Der Luftaustausch wird gewährleistet. Gleichzeitig werden die Frischwetter relativ gleichmäßig zur Ortsbrust und Absaugung geführt. Die Staubwand wird nicht durch hohe dynamische Stromfäden aufgebrochen und bleibt nachhaltig stabil.

Gesamtbetrachtung/Fazit

Ein wirksames Entstäubungskonzept beruht auf abgestimmten Komponenten, die gemäß Spezifikation und Betriebsablauf betrieben werden müssen, um die Funktionalität zu gewährleisten. Neben den zuvor beschriebenen möglichen Problematiken sind viele weitere technische Aspekte vom Anwender zu berücksichtigen bzw. zu kontrollieren. Beispielsweise sind zu nennen:

- Gewährleistung von schadstofffreier Frischwetterzufuhr.
- Lutten und Wetterleitungen sind leakagefrei zu halten und auf Beschädigung zu prüfen.
- Abgefilterter Staub muss gefähderungsgerecht abtransportiert und entsorgt werden.
- Anlagenteile entsprechend den Herstellervorschriften warten, ggf. sogar den eigenen Betriebsabläufen anpassen.
- Weitere gefährdete Arbeitsstellen zusätzlich schützen, z. B. durch gefilterte Kabinen des Maschinenführers.
- Auspuffrohre des Fuhrparks nicht zum Boden hinführen.
- Weitere Maschinen im Vortriebsbereich können den Luftaustausch örtlich beeinflussen. Eine Erweiterung der Bewetterungsmaßnahmen, z. B. durch Luftstrahldüsen, kann erforderlich werden.
- Notwendige Wetterkühlmaschinen benötigen eine noch genauere Abstimmung des Konzepts, da die Klimaberechnung genau mit den Wettermengen und Temperaturen korrespondieren muss.
- Vortriebe in explosionsgefährdeter Umgebung benötigen zusätzliche Wetter Szenarien wie Wetterumkehr oder Spülung nach Gaseintritt. Dies erfordert weitere Maßnahmen innerhalb der Wetterleitungen mit einer noch höheren Betriebssicherheit der Komponenten.

Nach den heute geltenden Staubvorschriften und Grenzwerten ist eine ordentliche Konzeptplanung absolut erforderlich, um den Gesundheitsschutz einzuhalten bei gleichzeitig wirtschaftlichem Vortrieb. Hierzu sind nicht nur Entstäubungskomponenten erforderlich, die einem hohen technischen Standard entsprechen, sondern auch geschultes Personal. Dieses kennt die Zusammenhänge und kann nach Gefährdungsbeurteilung handeln sowie die ständige Wirksamkeit überprüfen.