

Mögliche Auswirkungen von Stäuben und schädlichen Gasen auf Ventilatoren beim Einsatz unter Tage

Quelle des Beitrags

Kegenhoff, J. (2021): Mögliche Auswirkungen von Stäuben und schädlichen Gasen auf Ventilatoren beim Einsatz unter Tage. GeoResources Zeitschrift (2-2021), S. 45–50. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-2-2021.pdf>

Mögliche Auswirkungen von Stäuben und schädlichen Gasen auf Ventilatoren beim Einsatz unter Tage

Dipl.-Ing. (FH) Jens Kegenhoff, Korfmann Lufttechnik GmbH, Witten, Deutschland

1 Einleitung

Ventilatoren sorgen für die künstliche Wetterbewegung in Bergwerken und sind dazu unterschiedlichen Einsatzzwecken zugeordnet. Hauptventilatoren bringen die gesamten Wetter in die Hauptfahrstrecken (**Bild 1**). Zusatzventilatoren sorgen für Druckerhöhung bzw. -entlastung und stützen das Gesamtwettersystem. Im Bereich des eigentlichen Förderbetriebs bringen Sonderventilatoren Frischwetter an die Arbeitsstellen und Ortsbrust. Dabei fördern sie frische und saubere Luft. Doch oftmals ist der Einsatz nicht so trivial darstellbar und erfordert weitaus höhere Anforderungsbedingungen als eine „saubere“ und „frische“ Umgebung. Ventilatoren im Unterdruckbetrieb saugen bereits vorbelastete Wetter an. Sonderventilatoren stehen an Orten, um Emissionen zu verdünnen oder weiter zu transportieren. Weitere Ventilatoren stehen an Orten unter Sprengvortrieb oder Schnittbetrieb und werden starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. Diese Einsatzbedingungen erfordern Geräte, die für solche Anforderungen konzipiert sind.

Ein Ventilator für den Bergbau ähnelt optisch einem Industrielüfter, die Einzelkomponenten eines Bergwerkslüfters müssen jedoch anderen Bedingungen standhalten. Er benötigt wie der Kumpel unter Tage, eine „Bergbautauglichkeit“. Diese Bergbautauglichkeit erlangt das Gerät, wenn es die jeweils relevanten Anforderungen an die Mechanik, die Elektrik und die chemische Beständigkeit erfüllt. Die Ventilatoren müssen oftmals an die variierenden Anforderungen in den Bergwerken angepasst werden.

Dieser Artikel macht anhand von Praxisbeispielen anschaulich deutlich, ob Ventilatoren im Betrieb unter Tage bergbautauglich waren oder nicht.

2 Mechanische Belastung

Ventilatoren werden auf viele verschiedene Arten mechanisch belastet. Natürlich sind die inneren maschinellen Kräfte, die auf Flügelrad, Welle, Lager, Motor und Gehäuse wirken, in der internen Konstruktion zu berücksichtigen. Nicht beachtet werden teilweise Belastungen, die durch andere externe Beanspruchungen, wie Transport (**Bild 2**) oder Montage, auftreten und nicht standardmäßig beim Konstruieren der Ventilatoren berücksichtigt werden. Dazu gehören beispielsweise See- und Landtransporte in Gegenden mit unzureichender

Ventilatoren für den Einsatz unter Tage müssen „bergbautauglich“ sein. Für ihre Auslegung müssen die jeweils relevanten Betriebsbedingungen berücksichtigt werden. Anhand praktischer Erfahrungen werden negative Beanspruchungen durch Stäube und Gase aufgezeigt, die oft bei der Planung und Bewertung übersehen werden.

Bergbau • Tunnelbau • Ventilation • Nachhaltigkeit • Effizienz

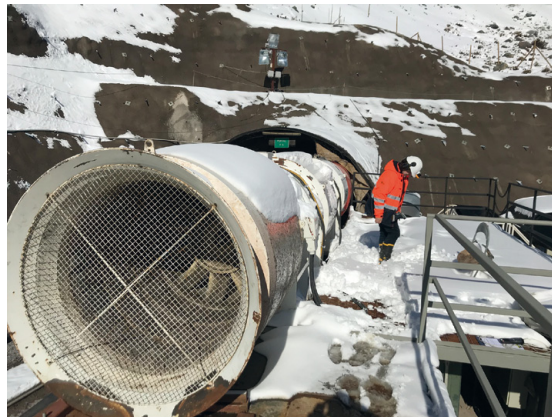


Bild 1: Hauptventilator

Quelle der Bilder: Korfmann Lufttechnik GmbH



Bild 2: Transportschaden

Infrastruktur. Durch widrige topografische Bedingungen können erheblich höhere Kräfte als infolge einer Beschleunigung von lediglich $1g$ ($1g = \text{Erdschwerebeschleunigung}$, die auch als Maß für andere Beschleunigungen verwendet wird) auf die Gesamtkonstruktion wirken.



Bild 3: Handling unter Tage



Bild 4: Eingestürzte Wetterwand



Bild 5: Rot-Weiß-Prüfung



Bild 6: Flügelradschaden

Werden diese Kräfte nicht berücksichtigt, können Teile vorgeschädigt und die Lebensdauer im Betrieb erheblich verkürzt werden. Transporte nach unter Tage und unter Tage selbst erfordern oft eine Teilung der Komponenten und eine nicht herkömmliche Platzierung der Anschlagaufnahmen, um die Gerätschaften mit den vorhandenen Hilfsmitteln sicher zu ihrem Einsatzort zu bringen.

Das Handling und Betreiben von Sonderbewetterungsventilatoren unter Tage entspricht oftmals nicht annähernd den Vorgaben aus der Bedienungsanleitung (**Bilder 3 und 4**). Bergbauübliche mechanische Kräfte, die auf das Gehäuse wirken, sollen nicht sofort zu einer Schädigung führen, die das Betreiben unmöglich macht. Daher benötigt ein Bergbaulüfter ein stabiles Gehäuse und mechanische Integrität. Dazu gehören Schutzmaßnahmen für den Elektroanschluss und den Motor sowie eine konstruktive Berücksichtigung der mechanischen Einflüsse auf Lager, Welle, Motor und Flügelrad. Größere Partikel aus der Umgebung oder gelockerte Muttern von Anbauteilen, die zum drehenden Flügelrad gelangen, können das gesamte Flügelrad schlagartig zur Zerstörung bringen.

Teilweise sind die Flügel aber auch nur beschädigt und werden weiter betrieben – sei es aus Unwissenheit oder aus Vorsatz. Diese Vorschädigung führt früher oder später zum kompletten Versagen des Flügels und somit zum Totalschaden. Um dem vorzubeugen, sind Wartungen unablässig. Selbst durch einfache Sichtprüfungen können weitaus größere Schäden frühzeitig vermieden werden. Auch Kleinstteile können eine Vorschädigung

am Flügelrad verursachen. Der Schaden zeigt sich dann erst nach einer zeitlich unbestimmten Wechselbelastung. Bei Großventilatoren wird deshalb eine regelmäßige Oberflächenkontrolle der Schaufeln empfohlen. Diese kann je nach Schaufelmaterial und Zugänglichkeit auch im eingebauten Zustand erfolgen. Ein Beispiel dafür ist die sogenannte „Rot-Weiß Prüfung“ (Farbeindringverfahren) (**Bild 5**), eine Möglichkeit der Oberflächenrisprüfung. Dabei können durch Aufbringen eines feinen Farbindikators und anschließend eines Kontrastmittels Haarrisse entdeckt und das Bauteil frühzeitig ausgetauscht werden. Ein weiteres zerstörungsfreies Oberflächenverfahren ist die Magnetpulverprüfung. Für beide Verfahren ist die Materialverträglichkeit des Bauteils mit dem Prüfmittel Voraussetzung.

Flügelbeschädigungen können nicht nur durch Gegenstände entstehen, sondern auch durch extreme Wechselbelastungen aus dem Betrieb, für die das Flügelrad ursprünglich nicht ausgelegt wurde (**Bilder 6, 7, 8 und 9**). Dazu gehören insbesondere Druckspitzen, die der Druckerhöhung des Ventilators entgegenwirken. Schnell schließende Wetterbauwerke ohne Druckentlastung in der Nähe von Haupt- oder Zusatzventilatoren, Klappen, Türen oder Tore, welche sich im direkten Wetterweg befinden und aus verschiedensten Gründen geschlossen werden, erzeugen schnelle Druckwechsel. Dazu gehören beispielsweise automatisierte Tore mit Fehlprogrammierung oder unbewusstes Fehlverhalten einzelner Mineure. Möglichkeiten gibt es dafür mehr als auf den ersten Blick erkennbar. Solche rapiden Druckerhöhungen können

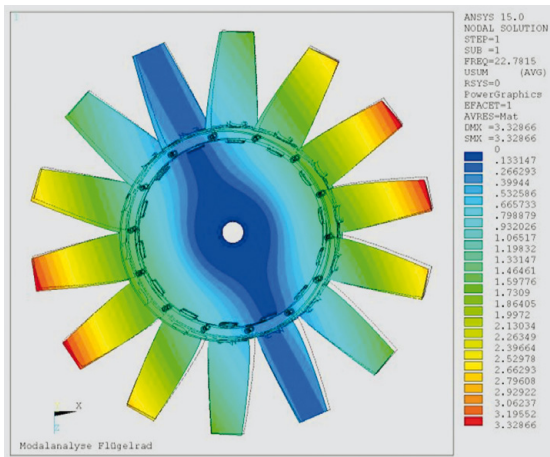


Bild 7: Flügelradverformung in zweidimensionaler Darstellung

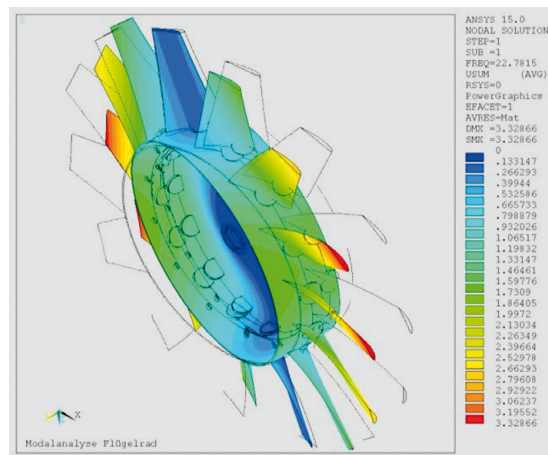


Bild 8: Flügelradverformung in 3D-Darstellung

Ventilatoren auch in den instabilen Betrieb bringen. In diesem instabilen Bereich wird der Lüfter strömungstechnisch stark belastet und möglicherweise sogar in einem sprunghaften „Pumpbetrieb“ gefahren. Dieser Abrissbetrieb kann in kürzester Zeit den Flügel komplett zerstören, da die auftretenden Kräfte die Auslegeparameter um ein Vielfaches überschreiten.

Sonderventilatoren werden oft im Sprengvortrieb einer solchen Belastung durch die Druckwelle verstärkt ausgesetzt, sodass die Lebenserwartung eines solchen Flügelrads stark verringert wird. Nur selten wird das Lüfterinnenleben vor der Druckwelle geschützt, oder abgedeckt. Insbesondere hier ist auf die mögliche Vorschädigung hinzuweisen, die der Flügel aufgrund kleinerer Steine erhalten kann.

3 Stäube

3.1 Mechanische Belastungen der Ventilatoren

Eine weitere mechanische Belastung für einen Ventilator sind stark partikelhaltige Wetter (**Bild 10**). Sie tragen zum verstärkten Verschleiß der Bauteile bei. Insbesondere das Flügelrad wird stark in Anspruch genommen.



Bild 10: Durch Salzpartikel aus den Wetter beanspruchter Lüfter

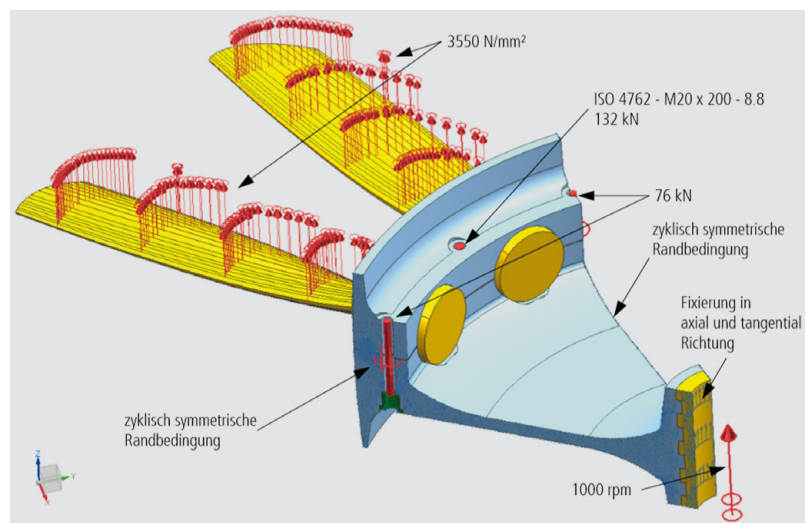


Bild 9: Schaufelkräfte

Die physikalisch bedingten hohen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten im Ventilatorbetrieb machen aus dem kleinsten Partikel im Bereich des Flügelprofils ein Geschoss, das die Oberfläche der Flügel angreift. Die Flügelspitzen sind besonders betroffen, da sie voll in den saugseitig geraden Luftstrom eingreifen (**Bild 11**). Die



Bild 11: Starker Abrieb an den Flügelspitzen

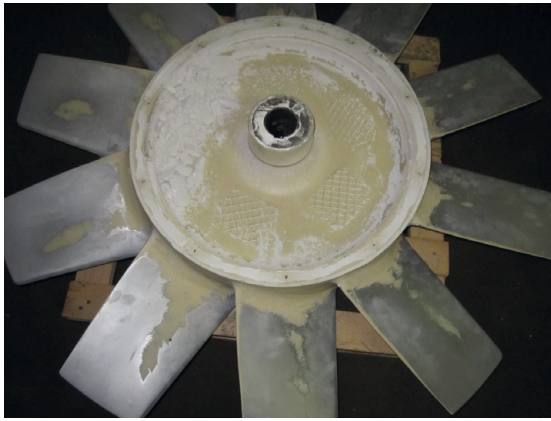


Bild 12: Staubablagerungen

Folgen eines dauerhaft mit Partikeln belasteten Flügels sind ein nicht mehr strömungskonformes Erscheinungsbild der Spitzen und die damit verbundenen schlechten Strömungsfäden. Die inneren Kräfte steigen, der Wirkungsgrad verringert sich, die Leistung steigt und die geforderten Werte für Volumenstrom und Druckerhöhung werden nicht mehr erreicht. Die Lebensdauer des Geräts wird erheblich verkürzt, und Verschleißkomponenten müssen wesentlich früher ausgetauscht werden.

Handelt es sich bei den im Wetterstrom vorhandenen Partikeln um Festpartikel wie Stäube, steigt die Verschleißrate der Blätterspitzen abhängig vom Staubinhalt immens. Insbesondere quarzhaltige Stäube zerkleinern die meist aus Aluminiumlegierungen bestehenden Flügel innerhalb kurzer Zeit (**Bild 12**).

Feine, weiche oder feuchte Stäube können außer Materialverschleiß auch weitere Schäden verursachen. Weicher Staub setzt sich beispielsweise zwischen den Kühlrippen von Motoren ab und vermindert deren Wirkung. Durch Adhäsion legen sich Partikel in Ecken, an Kanten, an Schraubköpfen und an mit Schmiermittel oder Feuchtigkeit behafteten Stellen ab. Für einen gleichmäßig ausgeführten und rotierenden Körper wie das Flügelrad ist dies zuerst einmal unkritisch, da sich die Partikel durch die Bewegung des Bauteils und die über den Querschnitt annähernd gleiche Zuführung der Partikel gleichmäßig ablegen. Die Balance der Rotation wird zunächst nicht gestört. Sobald sich die Partikel jedoch ungleichmäßig absetzen oder sich ein ange-



Bild 13: Anhydritgrube – Lüfterstandort

häuft Partikelkuchen partiell löst, wird die Unwucht des Flügelrads schlagartig größer. Erhöhte Schwingungen sind die Folge, die kritische Werte erreichen und Schäden verursachen können. Um solche Schäden zu verhindern, sollen die angesaugten Wetter erst gar nicht mit Staubpartikeln belastet sein. Dafür gibt es professionelle Vorabscheider und Entstaubungseinheiten. Für die Funktionsfähigkeit und Nutzungsdauer der Maschinen ist dies absolut förderlich und insbesondere für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz des Personals ohnehin in den meisten Ländern Pflicht, da sonst die gültigen Staubgrenzwerte nicht eingehalten werden können. Wenn gewisse Partikeltransporte über den Luftstrom nicht zu vermeiden sind, ist es ratsam, die Ventilatoren, abgestimmt auf den jeweiligen Betrieb, in sinnvollen regelmäßigen Abständen mit Sichtkontrollen zu überprüfen und nötigenfalls zu säubern.

Außerdem sind Ventilatoren auch mittels moderner Sensoren automatisch überwachbar. Unwuchten können durch Schwingungsüberwachung detektiert werden. Ein strömungstechnisch instabiler Betrieb kann durch eine Abrissüberwachung beispielsweise mit einer Petermannsonde detektiert werden. Doch auch solche Sensoren können, je nach Umgebungsbedingungen, Fehler aufweisen und benötigen weitere Technik und Abstimmung. Welche Art der Überwachung für den jeweiligen kontinuierlichen Betrieb förderlich ist, muss daher im Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen Bedingungen entschieden werden.

3.2 Weitere Beanspruchungen elektrischer und sonstiger Ventilatorbestandteile

Manche Stäube bzw. Partikel verursachen nicht unbedingt mechanische Probleme. Während bestimmte stark kristalline Feinkörner Dichtungen und Schmiermittel erheblich belasten, sind spezielle chemische Zusammensetzungen der Stäube problematischer für andere Bauteile. Insbesondere die elektrischen Komponenten können verschmutzen, wodurch unterschiedliche Fehler auftreten. Einige Stäube sind so fein, dass sie selbst bei höheren Schutzklassen und immensem Wartungsaufwand nicht vollständig aus elektrischen Gehäusen ferngehalten werden können. Die Lüftersteuerung einer Anhydritgrube zeigt einen solchen Fall (**Bilder 13 und 14**). Hier wurde der Lüfter direkt neben die Hauptfahrstrecke platziert. Die frequenzgeregelte Lüftersteuerung stand in einer angrenzenden, nicht direkt belüfteten Nische. Diese Steuerung fiel mehrmals aufgrund elektrischer Fehler in den Platinen aus (**Bild 15**). Genauere Untersuchungen ergaben abgesetzte Rußstäube auf lackierten Leiterplatten. Der Schutz durch die lackierten Leiterbahnen reichte nicht aus. Selbst bei geringer Schichtdicke war der Staub so leitfähig, dass bei angrenzenden Bauteilen ein Kurzschluss entstand. Dies konnte durch einen Test mit einer wenige Tage alten Filtermatte nachgewiesen werden. Die Ursache hatte sich schnell gefunden: Neben dem Lüfter war der Hauptweg mit einem Wettertor verschlossen. Dieses Tor wurde mehrfach in der Stunde durch ein Fahr-

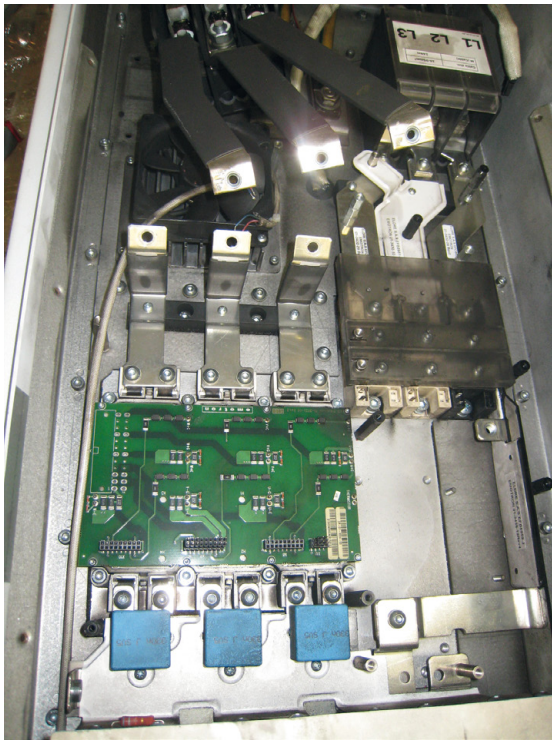


Bild 14: Anhydritgrube – Lüftersteuerung

zeug passiert. Dabei musste dieses Fahrzeug einige Minuten vor dem Tor verweilen. Das Fahrzeug war eine alte Zugmaschine ohne Rußfiltersystem (**Bild 16**). Die Auspuffschwaden verteilten sich, blieben nach Durchfahrt des Tores in der Nische mit der Lüftersteuerung hängen und setzten sich dort nach und nach ab. Es handelte sich also um eine denkbar ungünstige Konstellation. Wäre das Tor nur ein wenig versetzt worden und die Steuernische gering bewettert oder der Schrank entsprechend abgedichtet worden, hätte es keinen Schaden und somit keinen Ausfall gegeben. Kundenseitig gab es im Vorfeld keine besonderen Anforderungen an die Lüftersteuerung, und über den Betriebsfall hatte vorher keiner nachgedacht.

Es gibt technische Lösungen zur Vermeidung solcher Schäden. Hierzu gehören passende Filter- und Überdrucksysteme. Leider möchten die meisten Betreiber – zumindest bei nicht-systemrelevanten Anlagen – auf entsprechende Investitionen solcher Zusätze verzichten. Eine Kostennachanalyse fand im Fall der Anhydritgrube nicht statt. Ein Controlling gab es nur während der Investition. Es fiel daher nicht auf, dass die Elektriker bereits dreimal den Schaltschrank gesäubert und überbrückt hatten. Die Investitionen in ein erweitertes System hätten die Aufwandskosten verringert. Der kurzfristige Erfolg während der Anschaffung war schnell aufgebraucht. Dieses Vorgehen entspricht leider nicht der oftmals verkündeten Philosophie von Nachhaltigkeit mit geringem CO₂-Fußabdruck.

4 Chemische Beanspruchung

Geräte sind chemischen Angriffen ausgesetzt, die je nach Einsatz, Betrieb und örtlichen Verhältnissen un-

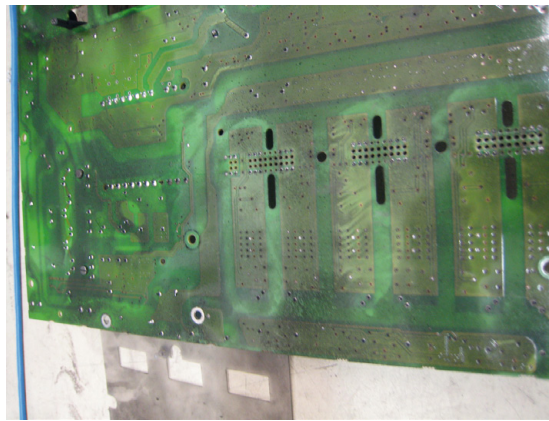


Bild 15: Anhydritgrube – Platine der Lüftersteuerung



Bild 16: Anhydritgrube – Fahrzeug mit Rußabgasen

terschiedlich sind. So sind beispielsweise Ventilatoren, die auf Schiffen genutzt werden, immer entsprechenden Off-Shore-Verhältnissen anzupassen. Ihre Beständigkeit gegen salzige und feuchte Wetter ist essenziell. Ähnliche Anforderungen bestehen bei Hauptventilatoren in Salzbergwerken bei schachtnaher Aufstellung. Je nach Druckwetterlage kann eindringende Feuchtigkeit zusammen mit der salzigen Luft für entsprechende Korrosion sorgen (**Bild 17**). Hier genügt es nicht, eine passende Lackierung der Stahlbauteile vorzunehmen. Weitere Bauteile aus Kunststoff, wie Schwingungsdämpfer und Kompensatorbauteile, müssen materialtechnischen An-



Bild 17: Oberflächenkorrosion durch Feuchtigkeit und salzige Luft



Bild 18: Chemische Korrosion im Inneren eines Ventilators

forderungen entsprechen und dürfen nicht vorzeitig altern. Eine sorgfältige, auf die Beanspruchungen abgestimmte Materialauswahl bei der Konstruktion der Geräte ist maßgebend. Nicht alle Edelstähle sind im Salz einsetzbar, ebenso nicht bei Abwettern, die angereicherte Schwefelgase enthalten. Wird hierbei nicht im Vorfeld die Zusammensetzung geklärt, droht eine sehr schnelle Korrosion verschiedener Materialien. Nicht dauerhaft betriebene Anlagenteile, wie beispielsweise Absperr- und Revisionsklappen oder Bremsen, werden vorgeschädigt und funktionieren nicht mehr einwandfrei.

In wenigen Fällen ist eine chemische Reaktion verschiedener verwendeter Stoffe und Materialien zu erwarten. Kein Maschinenbauer oder Schmierstoffhersteller kann alle chemischen Zusammensetzungen prüfen. Reaktionen von neuen Trenn- oder Schmiermitteln mit bestimmten örtlichen Luftbestandteilen sind nicht vorhersehbar. Speziell im Bergbau ist zu erkennen, dass Lagerstätten unterschiedliche chemische Zusammensetzungen der Wetter aufweisen, ohne dabei gegen einzelne Grenzwerte bestimmter Schadstoffe zu verstoßen. Dennoch ist nicht zu vermeiden, dass Bauteile chemisch geschädigt werden. Die Anzahl der chemischen Partikel ist besonders im Inneren des Ventilators aufgrund der hohen Luftmenge, die bewegt wird, sehr groß (**Bild 18**). Durch diese Begebenheit erfahren die Bauteile eine wesentlich konzentriertere Exposition als auf den ersten Blick angenommen. Die chemische Beständigkeit mag genauso hoch sein wie bei anderen Bauteilen, zeitlich gesehen allerdings potenziert niedriger.

Leider werden Ventilatoren genau für einen wesentlich die Korrosion antreibenden Parameter gebaut: Sauerstoff. Oft reichen daher wenige weitere Komponenten für ein kritisches Korrosionspotenzial aus.

5 Explosionsfähige Gase

Für den Umgang mit explosionsfähigen Gemischen im Förderstrom gibt es viele Regelwerke. In Normen und Richtlinien werden die genauen konstruktiven Voraussetzungen für elektrische und nicht-elektrische Betriebsmittel vorgegeben, sodass hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

Der Maschinenhersteller lässt die explosionsgeschützte Bauform durch eine dritte, zertifizierte Stelle bestätigen und garantiert so die Minderung des Risikos. Die Erfüllung der damit verbundenen Anforderungen kommt zu den bereits beschriebenen hinzu. Das betrifft auch Prüfungen in Bezug auf Materialpaarungen und Materialeigenschaften. Der hauptsächliche Explosionsschutz, nämlich das Verhindern eines offenen zündfähigen Funkens, muss dem notwendigen Ex-Schutz und der Einhaltung einer maximal zulässigen Zündtemperatur entsprechend gewährleistet werden. Im Vordergrund steht insbesondere der notwendige Potenzialausgleich, der nicht nur die einzelne Maschine betreffen kann. Großflächige Bauteile mit falscher Lackierung oder nicht geerdeten Komponenten stellen ein ebenso großes Gefährdungspotenzial dar, das der Betreiber in seiner Gesamtrisikoaanalyse reflektieren muss.

6 Fazit

Die genannten Beispiele aus der Bergbaupraxis zeigen, dass der Betreiber das Gesamtsystem immer aus ganz unterschiedlichen Blickwinkeln durchdenken muss. Teilweise entstehen neuartige Fehlerursachen, die weder Maschinenhersteller noch Maschinenbetreiber im normalen Rahmen eines State of the Art Engineering im Vorfeld erkennen können.

Bergbautauglichkeit gilt aber generell sowohl für die Menschen als auch die Maschinen beim Einsatz unter Tage – im Hinblick auf Ventilation insbesondere im Kontext ihrer jeweiligen Betriebsbedingungen. Für den Einsatz von Ventilatoren in Tunnelbau und -betrieb können die beschriebenen Erfahrungen natürlich auch nützlich sein.

Dipl.-Ing. (FH) Jens Kegenhoff

ist Geschäftsführer bei der Korfmann Lufttechnik GmbH in Witten, Deutschland.

Kontakt: info@korfmann.com