

Sachgebiet Holzbe- und -verarbeitung

## Beurteilung des Brand- und Explosionsrisikos an Breitbandschleifmaschinen zur Holzbearbeitung

Bei einer Breitbandschleifmaschine handelt es sich um eine gekapselte Bearbeitungsmaschine. Bei diesen Maschinen kann es innerhalb der Kapsel im Störfall zur Bildung von gefährlichen explosionsfähigen Holzstaub/Luft-Gemischen kommen, wenn die angeschlossene Absaugung keinen ausreichenden Luftvolumenstrom für die vollständige Erfassung und den Abtransport der anfallenden Holzstaub-Massen liefert. Das gilt auch für die angeschlossenen Absaugleitungen. Bei gekapselten Maschinen sind die bei der Zerspanung entstehenden Massen an Holzstaub von den aus den Kapselöffnungen austretenden Emissionsmengen entkoppelt.



Bild 1: Moderne Breitbandschleifmaschine für mehrstufige Bearbeitung in gekapselter Ausführung

### 1 Problemstellung

Um im Geltungsbereich der Maschinen-Richtlinie eine Maschine in Verkehr bringen zu dürfen, muss ein Hersteller unter anderem mit einer EG-Konformitätserklärung bestätigen, dass die Maschine den in den zutreffenden Richtlinien geforderten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen entspricht. Für den Hersteller von Maschinen ist dabei die EG-Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) [1] die wesentliche Beurteilungsgrundlage. Neben den üblichen mecha-

### Inhalt

1 Problemstellung .....	1
2 Gesichtspunkte für die Bewertung .....	2
3 Risikominimierung und Herstellerpflichten bei Explosionsgefahr .....	2
4 Nachweis der Einhaltung der Anforderungen zum Brand- und Explosionsschutz an der Schnittstelle .....	3
5 Brand- und Explosionsrisiken bei der Holzbearbeitung .....	6
6 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen .....	10
Anlage 1: Beispielsrechnung .....	12

nischen, elektrischen und steuerungstechnischen Gefahren verlangt diese Richtlinie unter anderem auch die Beurteilung von gesundheitsschädlichen Emissionen, aber auch von Brand- und Explosionsrisiken, die von der Maschine selbst, den bearbeiteten Produkten sowie deren auftretenden Abfallstoffen ausgehen können.

Im Fall der Maschinen zur Holzbearbeitung werden solche Emissionen sowie Brand- und Explosionsgefahren vor allem durch den bei der Bearbeitung zwangsläufig entstehenden Anteil an Holzstäuben unterschiedlicher Fraktionsgrößen determiniert.

Bei der Entwicklung neuer Holzbearbeitungsmaschinen liegt der Fokus häufig auf einer Maximierung der Zerspanungsleistung (höhere Vorschubgeschwindigkeiten, mehrstufige Bearbeitung, höhere Motorleistungen, etc.). Damit verstärkt sich die oben beschriebene Problematik, besonders, wenn als Zerspanungsprodukte weit-

gehend Stäube in explosionsfähiger Fraktionsgröße (< 500  $\mu\text{m}$ ) anfallen.

Die sich in diesem Zusammenhang für die Beurteilung der Risiken an Breitbandschleifmaschinen (siehe Bild 1) der Holzbearbeitung stellenden Fragen werden in dieser Informationsschrift dargestellt und diskutiert.

## 1.1 Anforderungen der MRL zu Brand und Explosion

Die EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG fordert in deren Anhang I in Abschnitt 1.5.6 Brand bzw. Abschnitt 1.5.7 Explosion, dass die Maschine so konstruiert und gebaut sein muss, dass jedes Brand- und berhitzungsrisiko bzw. Explosionsrisiko vermieden wird.

Wie diese Anforderungen verstanden werden sollen, ist dem Leitfaden für die Anwendung der EG-Maschinenrichtlinie [2] in § 227 Brand und zugehöriger Norm DIN EN ISO 19353 [3] bzw. § 228 Explosion zu entnehmen.

Maschinen, die für den Einsatz in oder im Zusammenhang mit explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind, unterliegen zusätzlich den Bestimmungen der ATEX-Richtlinie [4].

## 2 Gesichtspunkte für die Bewertung

Um das Brand- und Explosionsrisiko ausreichend zu mindern, wird in der Regel eine Absaugung vorgesehen, die so dimensioniert ist, dass an keiner Stelle und zu keinem Zeitpunkt 50 % der UEG überschritten werden. Für die UEG von Holzstaub-Luft-Gemischen wird nachfolgend ein Wert von  $60 \text{ g/m}^3$  angenommen, sodass als Grundlage für die Bewertung ein Wert von 50% von  $60 \text{ g/m}^3 = 30 \text{ g/m}^3$  dient (siehe Kapitel 5). Die Überschreitung dieser Grenze kann mit einer Kombination der beiden folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- Das Anschließen der Maschine an eine Absauganlage, die einen **ausreichenden Volumenstrom** liefert, stellt sicher, dass auch bei der höchsten (Staub-) Abtragleistung, die bestimmungsgemäß möglich ist, weder in der Maschine noch in den angeschlossenen Absaugrohren 50 % der UEG ( $30 \text{ g/m}^3$ ) zu keinem Zeitpunkt überschritten werden

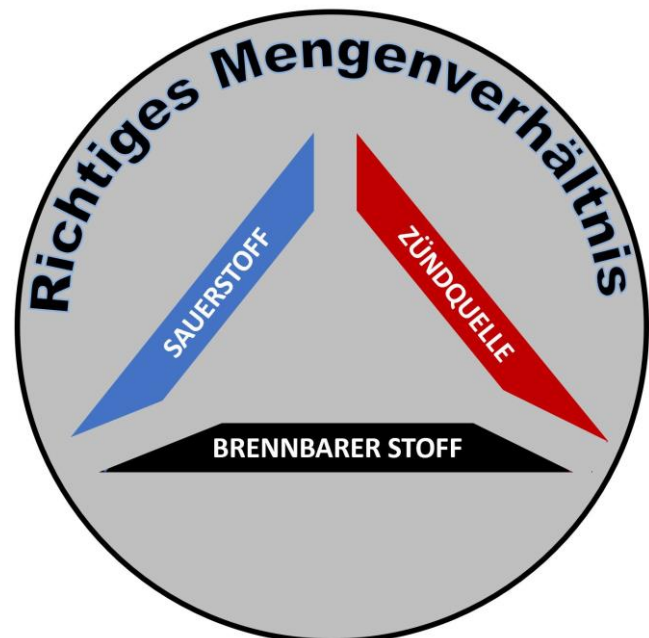
kann. Ein rechnerischer Nachweis kann nach Anhang 1 dieser Informationsschrift geführt werden.<sup>1</sup>

- Eine **sichere<sup>2</sup> Überwachung der Funktion** der angeschlossenen Absaugung durch die Steuerung der Breitbandschleifmaschine, kann zum Beispiel mit Hilfe einer Unterdruckmesseinrichtung oder einer Volumenstromberwachung am Absaugstutzen realisiert werden. Bei Unterschreitung der Mindestabsaugleistung muss die Maschine abschalten.

## 3 Risikominimierung und Herstellerpflichten bei Explosionsgefahr

Explosionsgefahr besteht, wenn ein brennbarer Stoff in einem kritischen Mengenverhältnis (zwischen der unteren und oberen Explosionsgrenze) in Sauerstoff (Luft) dispergiert ist. Durch gleichzeitiges Wirksamwerden einer geeigneten Zündquelle kommt es zur Explosion (siehe Bild 2).

Im Regelfall ist Sauerstoff in ausreichender Menge vorhanden. Die Vermeidung wirksamer Zündquellen ist zwar eine wesentliche Maßnahme, als alleinige Maßnahme allerdings nicht wirksam genug, da eine Vermeidung zu 100 % in der Praxis nicht zu realisieren ist.



**Bild 2:** Prinzip-Schema zur Bestimmung von Explosionsgefahr

<sup>1</sup> Die Einhaltung der vom Hersteller vorgegebenen Absaugparameter gewährleistet in der Regel auch die Erfüllung der Anforderungen nach MRL 2006/42/EG Anhang 1 Punkt 1.5.13 „Emissionen gefährlicher Werkstoffe und Substanzen“

<sup>2</sup> Im Rahmen der Risikobeurteilung ist für diese Sicherheitsfunktion ein Performance-Level nach DIN EN ISO 13849 – 1 [5] festzulegen.

Die Freisetzung (z. B. über Beschickungs- und Entnahmeöffnungen), und die Aufkonzentration von kritischen Stoffen innerhalb einer Maschine ist nur durch eine wirksame Absaugung – möglichst schon an der Entstehungsstelle – zu verhindern. In der Praxis ergibt sich damit eine Schnittstelle zwischen dem Hersteller der Bearbeitungsmaschine und dem Hersteller der Absauganlage. Beide müssen nach Maschinenrichtlinie dem Betreiber für ihren „Zuständigkeitsbereich“ die Konformität mit der Maschinenrichtlinie (und eventuell weiterer EU-Richtlinien) durch Abgabe einer verbindlichen Konformitätserklärung bestätigen. Das ist insoweit zwingend erforderlich, als dem Betreiber die Verantwortung obliegt, seinen Beschäftigten eine sichere Anlage zur Verfügung zu stellen, er die „Sicherheit“ dieser Maschine oder Anlage aber als „Laie“ nicht in letzter Konsequenz beurteilen kann.

Der Hersteller der Absauganlage unterschreibt in seiner Konformitätserklärung, dass er die jeweiligen Anforderungen an seiner Anlage einhält. Diese Anlage fängt bei den Ausgangsstutzen der Bearbeitungsmaschine an.

Der Hersteller der Bearbeitungsmaschine ist für seine Maschine verpflichtet, die Brand- und Explosionsgefahr sowie die Emissionen zu minimieren, sei es innerhalb der Maschine selbst oder ausgehend von den von der Maschine freigesetzten Stäuben. Er bestätigt mit seiner Konformitätserklärung, dass er zur Gefährdungsminimierung technische Maßnahmen nach dem Stand der Technik ergriffen hat.

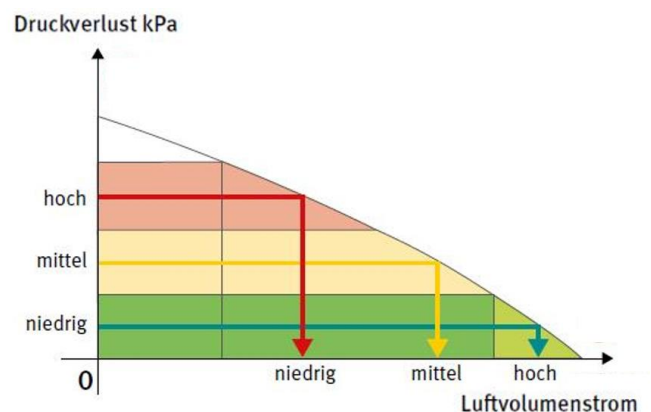
Der Hersteller der Bearbeitungsmaschine ist für die Konstruktion der Erfassungseinrichtungen und die Definition der erforderlichen Absaugleistung zuständig. Er muss den Betreiber und den Absauganlagen-Hersteller in seiner Betriebsanleitung darüber in Kenntnis setzen, welcher Volumenstrom (Luftgeschwindigkeit bezogen auf den/die Absaugstutzen) an seiner Maschine abzugsaugen ist und welcher Unterdruck zur Erreichung dieses Volumenstroms bei seiner Maschine erforderlich ist. Bei den angegebenen Werten muss sichergestellt sein, dass die Konzentration der von der jeweiligen Maschine freigesetzten Stäube bei bestimmungsgemäßer Nutzung der Maschine selbst im ungünstigsten Anwendungsfall unter 50 % der UEG (30 g/m<sup>3</sup>) liegt. In Abhängigkeit von der Risikoanalyse des Herstellers der Holzbearbeitungsmaschine muss die Absaugleistung überwacht werden. Bei zu geringer Absaugleistung darf die Maschine nicht starten oder muss den Bearbeitungsprozess stoppen.

Die Überwachung dient dazu, den Ausfall der Sicherheitsfunktion der Absauganlage rechtzeitig zu erkennen und den Prozess durch Einleitung wirksamer technischer Maßnahmen in den sicheren Zustand zurück zu führen. Die TRGS 725 [6] konkretisiert die Anforderungen an die Zuverlässigkeit von Mess-, Steuer- und Regelungseinrichtungen (MSR-Einrichtungen) und bildet insoweit eine wesentliche Grundlage für deren Beurteilung durch den Hersteller.

## 4 Nachweis der Einhaltung der Anforderungen zum Brand- und Explosionsschutz an der Schnittstelle

Auf konstruktive Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz an der Maschine kann nur dann verzichtet werden, wenn bei allen Betriebszuständen sichergestellt ist, dass beim Betrieb der Maschine eine Luftleistung vorhanden ist, die ausreicht, um die UEG sicher zu unterschreiten. Dies ist dann der Fall, wenn die Beladung der Absaugluft mit explosionsfähigen Staubanteilen ausreichend gering ist. Sichergestellt werden kann dies mit der Überwachung des zur sicheren Unterschreitung der UEG erforderlichen Volumenstroms (rechnerischer Nachweis siehe Abschnitt 4.1.).

Damit dieser Volumenstrom fließen kann, muss die Absaugung an der Schnittstelle (Absaugstutzen der Maschine) ausreichenden Unterdruck zur Überwindung der Druckverluste bei der Durchströmung der Maschine zur Verfügung stellen (siehe Bild 3). Dieser Unterdruck ist als erforderliche statische Druckdifferenz gegen Umgebung von der inneren Bauart der Maschine abhängig und insoweit vom Maschinenhersteller anzugeben. Die Bestimmung (oder Minimierung)



**Bild 3:** Qualitativer Zusammenhang zwischen Druckverlust innerhalb der Maschine und fließendem Volumenstrom

dieser Druckdifferenz muss im Labor des Herstellers messtechnisch (auf dem Versuchsweg) erfolgen. Nachfolgend sind in Abschnitt 4.2. die physikalischen Gesetzmäßigkeiten angeführt.

#### 4.1 Rechnerischer Nachweis des erforderlichen Volumenstromes

In der DGUV-Information 209-045 „Absauganlagen und Silos für Holzstaub und -späne – Brand- und Explosionsschutz“ [7] wurde für häufig vorkommende Holzbearbeitungsmaschinen ausgewiesen, mit welchen Beladungen der Absaugluft in den Maschinenanschlussleitungen für die Absaugung auch unter ungünstigen Zerspanungsbedingungen zu rechnen ist.

Die Beladungen für die jeweilige Beurteilung wurden dabei rechnerisch wie folgt ermittelt:

$$q = \frac{\dot{m}}{\dot{V}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] \quad (4-1)$$

mit  $\dot{m}$  = zerspante Masse je Stunde [g/h]  
 $\dot{V}$  = Absaug-Volumenstrom [m<sup>3</sup>/h]

Bei der Berechnung des Absaugvolumenstroms wurde, um auf der sicheren Seite zu sein, eine gegenüber den Anforderungen nach Anhang 1, DGUV-Information 209-044 „Holzstaub – Gesundheitsschutz“ [8] bzw. nach Anhang 2 TRGS 553 „Holzstaub“ [9] reduzierte Luftgeschwindigkeit von 18 m/s unterstellt.

Zur gegebenenfalls erforderlichen Ermittlung des explosionsfähigen Staubanteils wurde folgende Beziehung genutzt:

$$q_{ex} = q \cdot \mu \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] \quad (4-2)$$

mit:  $q$  = Gesamtbeladung in [g/m<sup>3</sup>]  
 $\mu$  = Staubanteil mit Korngröße < 500  $\mu\text{m}$  [%]

Es ist davon auszugehen, dass bei der Bearbeitung von Holz mit Breitbandschleifmaschinen 100 % des erzeugten Staubs im explosionsfähigen Korngrößenbereich liegen und damit ein Beladungsfaktor von  $\mu = 1$ , entsprechend 100 % Staubanteil, anzunehmen ist.

Nach prEN ISO 19085 Teil 8 „Breitbandschleifmaschinen zum Kalibrieren und Schleifen“ [10] sollten die Absaugvolumenströme für die Bearbeitungsaggregate einer Breitbandschleifmaschine mit folgenden Mindest-Volumenströmen je lfm Maschinenbereite abgesaugt werden:

- Messerwellenaggregate: 2.000 m<sup>3</sup>/h
- alle anderen Bearbeitungseinheiten: 1.600 m<sup>3</sup>/h

Ein rechnerischer Nachweis der sicheren Unterschreitung der UEG für Holzstaub/Luft-Gemische bei Breitbandschleifmaschinen kann nach Anlage 1 dieser Informationsschrift erfolgen. Dort ist auch eine Beispiel-Berechnung für den Nachweis der Unterschreitung der zulässigen Konzentration (UEG) zu finden.

Der Volumenstrom ergibt sich rechnerisch nach der sog. Kontinuitätsbeziehung zu:

$$\dot{V} = A \cdot w \cdot 3600 = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot w \cdot 3600 \quad (4-3)$$

mit:  $\dot{V}$  = Volumenstrom in [m<sup>3</sup>/h]

$A$  = Querschnittsfläche des Absaugstutzens [m<sup>2</sup>]

$w$  = Luftgeschwindigkeit in [m/s]

$D$  = Durchmesser des Absaugstutzens in [m]

Die vom Maschinenhersteller maximal geforderte Luftgeschwindigkeit am Absaugstutzen sollte nicht höher gewählt werden als:

max. 20 m/s: bei Maschinen für den Handwerksbedarf.

max. 28 m/s: bei Maschinen für den Industriebedarf.

Dabei handelt sich um die Luftgeschwindigkeiten, mit denen die Absauganlagen bei den betreffenden Betreibern üblicherweise ausgelegt sind. Höhere Forderungen führen dazu, dass der Betreiber erhebliche Folgekosten mit der Aufrüstung seiner Absauganlage und deutlich höhere Energiekosten zu erwarten hat. Andernfalls werden die vom Hersteller vorgegebenen Mindest-Volumenströme beim Betreiber nicht erreicht und es sind somit in der Folge deutlich erhöhte Brand- und Explosionsrisiken zu erwarten.

Der (Innen-)Durchmesser des jeweiligen Absaugstutzens für ein Bearbeitungsaggregat ergibt sich mit folgender Beziehung:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{V}}{3600 \cdot w}} \quad (4-4)$$

mit:  $D$  = Innen-Durchmesser des Absaugstutzens in [m]

$\dot{V}$  = geforderter Volumenstrom in [m<sup>3</sup>/h]

$w$  = geforderte Mindest-Luftgeschwindigkeit in [m/s]

Für die endgültige Wahl eines Durchmessers für den Absaugstutzen ist dabei zu berücksichtigen, dass die Durchmesser/Nennweiten von Rohren in Absauganlagen im Allgemeinen genormt sind.

Als Nennweite ist dabei der Innendurchmesser des Rohrs zu verstehen. Für die Nennweiten gibt

es eine Vorzugsreihe (VDMA 24179-2 [11]), die jedoch nicht von allen Absauganlagen-Herstellern vollständig beachtet wird. In eckigen Klammern sind deshalb die Nennweiten aufgeführt, die von vielen Herstellern außerhalb der Vorzugsreihe verwendet werden (siehe Tabelle 1).

Nennweiten [mm] von üblichen Rohren in Absauganlagen					
80	100	120	125	140	160
180	200	224	250	280	300
315	350	400	450	500	560
[630]	[710]	800	1000		

**Tabelle 1:** Vorzugsreihe Rohrnennweiten in Absauganlagen.

## 4.2 Bestimmung der erforderlichen statischen Druckdifferenz

Für den Anschluss an eine Absauganlage ist neben dem abzusaugenden Volumenstrom auch die zur Erzielung dieses Volumenstroms erforderliche statische Druckdifferenz gegen Umgebung von herausragender Bedeutung. Diese sollte für eine Gesamt-Anlage schon aus energetischen Gründen so gering wie möglich sein. Beeinflusst werden kann diese für die Absaugung erforderliche Druckdifferenz vom Maschinenhersteller durch eine möglichst strömungsgünstige Gestaltung der (internen) Erfassungselemente und der Einrichtungen zur Luftführung und Luftverteilung innerhalb der Maschine.

Rechnerisch ergibt sich die statische Druckdifferenz mit folgendem Zusammenhang:

$$\Delta p = \Delta p_{stat} = p_{e_{stat}} - p_{a_{stat}} \quad (4-5)$$

mit:  $\Delta p_{stat}$  = statische Druckdifferenz in [Pa]

$p_{e_{stat}}$  = statischer Druck an der Einströmung in das Erfassungselement in [Pa]

$p_{a_{stat}}$  = statischer Druck an der Ausströmung aus dem Erfassungselement in [Pa]

Da der statische Umgebungsdruck vor der Einströmung im Allgemeinen gleich „Null“ ist, ist die Druckdifferenz zwangsweise negativ. Deshalb ist der an der Ausströmung vorhandene statische Druck ein Unterdruck. Zu beachten ist dabei allerdings, dass innerhalb der Kapsel einer Maschine zusätzlich ein Unterdruck entstehen kann.

Der erforderliche statische Unterdruck gegen die Umgebung bestimmt wesentlich den Strömungswiderstand einer Erfassungseinrichtung oder

einer Maschine und ist damit ein wichtiges Auslegungskriterium für den Absauganlagen-Hersteller. Der erforderliche statische Unterdruck ist in Pascal anzugeben und gehört damit zur vollständigen Beschreibung der Schnittstelle zwischen Maschine und Absaugung. Dem Maschinen-Hersteller obliegt es, konkrete Angaben zum erforderlichen statischen Unterdruck oder zum Strömungswiderstandsbeiwert der Maschine an der Schnittstelle, also dem anzuschließenden Absaugstutzen der Maschine, zu machen.

Der Strömungswiderstandsbeiwert einer Maschine kann als konstant angenommen werden und wird errechnet über das Verhältnis zwischen statischer Druckdifferenz und dynamischem Druck. Beide Größen werden im Ausgangsstutzen einer Maschine gemessen. Die Konstanz des Strömungswiderstandsbeiwerts gilt allerdings nur für jeweils einen Betriebszustand. Werden interne Schieber vor dem Messpunkt auf- oder zugemacht, ändert sich der Strömungswiderstand und damit auch der Beiwert.

Der Strömungswiderstandsbeiwert kann mit folgender Beziehung ermittelt werden:

$$\xi = \frac{\Delta p_{stat}}{p_{dyn}} = \frac{2 \cdot \Delta p_{stat}}{\rho \cdot \bar{w}^2} \quad (4-6)$$

mit:  $\xi$  = Strömungswiderstandsbeiwert [-]

$\Delta p_{stat}$  = statische Druckdifferenz [Pa]

$p_{dyn}$  = dynamischer Druck in [Pa]

$\rho$  = Dichte von Luft = 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$\bar{w}$  = durchschnittliche Luftgeschwindigkeit im Absaugstutzen in [m/s]

Um den erforderlichen Nennvolumenstrom zu erreichen, sollte die von der Absaugung bereitzustellende Druckdifferenz möglichst zwischen 1.000-1.250 Pa liegen. Damit ergeben sich bei einer Luftgeschwindigkeit von 20 m/s Strömungswiderstandsbeiwerte von etwa 4 – 5. Bei zu geringem Strömungswiderstand senkt die Maschine bei kleinen Absauganlagen das gesamte Unterdruckniveau. Damit werden andere Maschinen mit höherem Strömungswiderstand nicht mehr ausreichend abgesaugt. Bei zu hohem Druckbedarf wird die betroffene Maschine eventuell selbst nicht mehr ausreichend abgesaugt. Die rechnerische Beziehung zeigt aber auch, dass die Wahl der Mindestluftgeschwindigkeit entscheidenden Einfluss auf die Höhe der zu überwindenden statischen Druckdifferenz und damit auf den Energiebedarf für die Absaugung hat.

Kombiniert man die beiden wesentlichen Größen „Volumenstrom“ und erforderliche „(Gesamt)-

Druckdifferenz“ kommt man zur für die Absaugung der Maschine erforderlichen Luftleistung:

$$P_{Luft} = \dot{V} \cdot \Delta p_{ges} \quad (4-7)$$

$$= \dot{V} \cdot (\Delta p_{stat} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 + \rho \cdot g \cdot h)$$

mit:  $P_{Luft}$  = Luftleistung in [Watt]

$\dot{V}$  = Volumenstrom in [m<sup>3</sup>/s]

$\Delta p_{ges}$  = Gesamtdruckdifferenz in [Pa]

$\Delta p_{stat}$  = statische Druckdifferenz in [Pa]

$\rho$  = Luftdichte 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$w$  = Luftgeschwindigkeit in [m/s]

$g$  = Erdbeschleunigung 9,81 [m/s<sup>2</sup>]

$h$  = Höhendifferenz zwischen Einströmung und Bezugsstelle [m]

## 5 Brand- und Explosionsrisiken bei der Holzbearbeitung

Sowohl Holzstaub als auch Holzspäne sind brennbar (Brennzahl 4 – 5 auf einer aufsteigenden 6-stufigen Skala). Holzstaub mit einer Korngröße < 500 µm (bzw. < 400 µm nach einigen Literaturstellen) ist im Gemisch mit dem umgebenden Luftsauerstoff explosionsfähig, wenn dabei eine Konzentration von Holzstaub im Gemisch – die untere Explosionsgrenze (UEG) - von 60 g/m<sup>3</sup> Luft überschritten wird. Sowohl für einen Brand wie auch für eine Explosion bedarf es der (gleichzeitigen) Anwesenheit einer (wirksamen) Zündquelle.

### 5.1 Wirksamkeit von möglichen Zündquellen

Nach DIN EN 1127-1 [12] sind bei der Risikobetrachtung 13 unterschiedliche Zündquellen in die Beurteilung einzubeziehen, von denen allerdings einige nicht die für die Entzündung von Holzstaub notwendige Zündenergie liefern oder unter üblichen Verarbeitungsbedingungen nicht relevant sind. Eine Zusammenstellung der im Falle eines Holzstaub/Luft-Gemisches zu berücksichtigenden Zündquellen können der DGUV-Information 209-045 oder der Norm DIN EN 12779 [13] entnommen werden.

#### 5.1.1 Zündquellen zur Entzündung eines Brandes

Als wirksam für die Entstehung eines Brandes ist eine Zündquelle dann anzunehmen, wenn für Holzstaub die sogenannte Glimmtemperatur von 300°C nicht um mindestens 75 K unterschritten

wird. Diese Temperatur ist für Holzstaub-Schichtdicken bis max. 5 mm unkritisch. Größere Schichtdicken führen aufgrund ihrer wärmeisolierenden Eigenschaften zu einer Absenkung der kritischen Temperatur und können so schon wesentlich vor Erreichen der Glimmtemperatur zündwirksam sein. Versuche haben ergeben, dass die Glimmtemperatur mit der Zunahme der Schichtdicke abnimmt. Die maximal zulässige Oberflächentemperatur elektrischer Betriebsmittel kann je nach thermischer Leitfähigkeit des Staubes höher angesetzt werden. Glimmnester können über längere Zeiträume unbemerkt in Staubschichten übermäßiger Dicke existieren und stellen bei Aufwirbelung eine hochwirksame Zündquelle dar.

#### 5.1.2 Zündquellen zur Entzündung eines explosionsfähigen Gemisches

Für die sichere Vermeidung einer Entzündung eines Staub/Luft-Gemisches darf die Temperatur einer möglicherweise vorhandenen Zündquelle maximal  $\frac{2}{3}$  der für Holzstaub kritischen Zündtemperatur von 400°C betragen. Die Entladeenergie z. B. einer Funkenentladung darf maximal 100 mJ (nach DIN EN 12779 nur maximal 60 mJ) betragen.

#### 5.1.3 Relevanz für die Konstruktion von Maschinen

Ergebnisse einer von der ehemaligen Holz-Berufsgenossenschaft (jetzt Berufsgenossenschaft Holz und Metall) angefertigten Studie zum Brand- und Explosionsgeschehen in holzbe- und -verarbeitenden Betrieben [14] zeigten, dass Funken aus Bearbeitungsmaschinen nicht immer die Maschine selbst in Brand stecken, dafür aber überproportional häufig ursächlich für Ereignisse in angeschlossenen Holzstaub-Absauganlagen sind. „Funkenreißen“ wurde dabei vor allem beim Kontakt der Bearbeitungswerkzeuge mit im Holz eingeschlossenen Metallteilen, bei der Entzündung von Werkstückteilen infolge Reibung schnelllaufender Werkzeuge am Werkstück bei hohen Zerspanungsleistungen sowie als Folge heiß gelaufener Antriebsteile beobachtet.

Bei der Auswertung von Protokollen von in die Absaugleitung von größeren Breitbandschleifmaschinen eingebauten Funkendetektions- und -löschanlagen stellen die Betreiber immer wieder ein überraschend hohes Ansprechverhalten der Melder mit anschließender Auslösung von Löschvorgängen fest. Ursache hierfür sind regelmäßige Funkenerscheinungen, die nicht selten auch als Funkenregen zu beobachten sind.

Beachtet werden muss allerdings, dass auch der – weitgehend vollständige – Ausschluss von Zündfunken für sich genommen noch nicht sicher genug ist, da Einzelereignisse nicht vollständig auszuschließen sind. Es müssen also Maßnahmen zur Vermeidung des Auftretens explosionsfähiger Holzstaub-Konzentrationen getroffen werden.

## 5.2 Explosionsfähige Holzstaub/Luft-Gemische

Holzstaub/Luft-Gemische bestehen aus in Luft aufgewirbeltem Holzstaub (Staubwolke). Kennzeichnende Größe ist die Staubkonzentration. Wenn sie über der unteren Explosionsgrenze liegt und gleichzeitig eine wirksame Zündquelle vorhanden ist, kommt es zu einer Staubexplosion.

Die Untere Explosionsgrenze (*UEG*) ist somit die untere Grenze des Konzentrationsbereichs, in dem ein Staub im Gemisch mit Luft zur Explosion gebracht werden kann. Die Obere Explosionsgrenze (*OEG*) ist umgekehrt die obere Grenze dieses Konzentrationsbereichs. Die obere Explosionsgrenze kennt man von Gasen und Dämpfen. Oberhalb dieses Konzentrationswerts ist das Gemisch zu „fett“ und eine Verbrennung oder Explosion findet nicht statt.

Über die obere Explosionsgrenze ist bei Holzstaub/Luft-Gemischen – wie auch bei den meisten anderen Staub/Luft-Gemischen – wenig bekannt, da sie – im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Umgang mit Dämpfen oder Gasen – im Regelfall für die meisten technischen Anwendungen nicht relevant ist und daher nur äußerst selten bestimmt wird. Die fehlende Relevanz ergibt sich aus der Tatsache, dass die sichere Einhaltung einer oberen Explosionsgrenze von Stäuben in der Regel technisch nicht zu gewährleisten ist. Die *OEG* von Stäuben wird daher als sicherheitstechnische Kenngröße nur äußerst selten im Labor bestimmt. Nach den vorliegenden Erkenntnissen dürfte sich die *OEG* für Holzstaub/Luft-Gemische im Konzentrations-Bereich von 2.000 bis 6.000 g/m<sup>3</sup> bewegen.

Das Problem bei der Bestimmung einer *OEG* für Staub/Luft-Gemische besteht auch darin, dass nur der Staubanteil < 500 µm explosionsfähig ist. Das bedeutet aber, dass auch bei Vorliegen einer extrem hohen Gesamt-Materialkonzentration der Staubanteil noch eine Explosion verursachen kann. Man kann – anders als bei Gas/Luft-Gemischen – nicht davon ausgehen, dass ein „fettes“ Gemisch nicht explosionsfähig ist, Dies gilt auch dann, wenn man die exakte Korngrößenverteilung

kennt. Da sich in der Praxis die Korngrößenverteilung häufig ändert, ist das unter praktischen Bedingungen kaum sicherzustellen.

Bei Gas-Luftgemischen ist die *OEG* tatsächlich eine Stoffkenngröße, die nur von den Umgebungsbedingungen und der chemischen Zusammensetzung des Stoffs abhängt. Bei Staub/Luft-Gemischen ist das nicht der Fall.

Bei Versuchen eines Herstellers von Absauganlagen bei der FSA [15] wurde die optimale Holzstaubkonzentration mit den Maximalwerten für den Explosionsdruck und die Druckanstiegsgeschwindigkeit mit einem Wert von 750 g/m<sup>3</sup> ermittelt.

Anders verhält es sich mit der unteren Explosionsgrenze (*UEG*): Ist die Oxidierbarkeit eines Staubs anzunehmen oder kann sie nicht ausgeschlossen werden, müssen die Kenngrößen experimentell bestimmt werden.

### 5.2.1 Experimentelle Bestimmung der Explosionskenngrößen

Beispielhaft wird nachfolgend die Vorgehensweise des Instituts für Arbeitsschutz (IFA) bei der Ermittlung der Brenn- und Explosions-Kenngrößen für die GESTIS-Staub-EX-Datenbank [15] erläutert:

Die Kenngrößen werden vom IFA zunächst an Feinstäuben ermittelt, um auch die kritischsten in der Praxis zu erwartenden Zustände zu erfassen. Das gilt in besonderem Maße, wenn es im Prozess zu einer Änderung des Feinheitsgrades oder zum Anreichern von Feinanteilen kommt (z. B. durch Mahlen, Abrieb, Absaugen oder Ablagern).

Abgelagerter Staub wird hierzu im Allgemeinen in der Fraktion < 250 µm und aufgewirbelter Staub in der Fraktion < 63 µm untersucht. Gegebenenfalls kann es erforderlich sein, die Testprobe durch entsprechendes Aufbereiten (Ausgießen der zu untersuchenden Fraktionsanteile, Trocknen der Proben) herzustellen. Je nach Fragestellung kann es darüber hinaus jedoch sinnvoll oder notwendig sein, den Staub in „betriebsmäßigem Zustand“ zu untersuchen, das heißt, ohne ihn besonders aufzubereiten.

Ausgehend von einer Staubkonzentration von 500 g/m<sup>3</sup> wird die Konzentration so lange in Schritten von 250 g/m<sup>3</sup> erhöht oder durch jeweiliges Halbieren verringert, bis die Höchstwerte für

den maximalen Explosionsdruck und den maximalen zeitlichen Druckanstieg eindeutig erfasst sind. Durch weiteres Verringern der Staubkonzentration nach gleichem Modus wird die Konzentration ermittelt, bei der dreimal hintereinander kein Entzünden des Staub/Luft-Gemisches mehr eintritt. Die entsprechende Staubkonzentration wird definitionsgemäß als untere Explosionsgrenze des untersuchten Staubs bezeichnet.

### 5.2.2 Einfluss der Korngrößen auf die Explosionskenngrößen

Das Explosionsverhalten von Stäuben hängt in starkem Maß von deren Feinheit ab. Mit den Explosionskenngrößen muss daher gleichzeitig die dazugehörige Korngrößenverteilung oder zumindest in erster Näherung der Medianwert angegeben werden. Es zeigt sich, dass mit abnehmender Korngröße die Neigung der Stäube zu Explosionen zunimmt. Feinere Stäube sind leichter entzündbar und reagieren heftiger als gröbere. Ein erhöhter Grobkornanteil (z. B. Späne) in der Staubprobe führt dabei allerdings lediglich zu einer Dämpfung des Explosionsablaufs und damit zu verringerten Werten des maximalen Explosionsdrucks  $P_{\max}$  und der maximalen Druckanstiegsgeschwindigkeit  $K_{st}$  beziehungsweise zu höheren Werten, zum Beispiel für die Mindestzündenergie oder die Sauerstoffgrenzkonzentration. Grund dafür ist unter anderem die Tatsache, dass gröbere Partikel der chemischen Reaktion Wärme entziehen.

Solange der Feinstaubanteil im Gemisch mit Luft oberhalb seiner unteren Explosionsgrenze liegt, ist im Allgemeinen eine Staubexplosion möglich. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in der Praxis aus den verschiedensten Gründen aus grobem Material durch Abrieb Feinstaub entstehen kann.

### 5.2.3 Einfluss des Wassergehalts auf die Explosionskenngrößen

Grundsätzlich nehmen mit steigendem Wassergehalt die Zündempfindlichkeit und die Reaktionsfreudigkeit der Stäube ab. Dieser Einfluss spielt bis zu einem Wassergehalt von etwa 10 Gew.-% nahezu keine Rolle [16]. Lediglich die Aufwirbelbarkeit der Stoffe kann gemindert werden. Deutlich reduzieren sich  $P_{\max}$ , und  $K_{st}$  erst oberhalb von 20 Gew.-% bis 30 Gew.-% Wassergehalt.

### 5.2.4 Verwendung von Explosionskenngrößen aus Datenbanken

Der Anwendbarkeit der in Tabellenwerken angegebenen brenn- und explosionstechnischen Kenngrößen sind immer Grenzen gesetzt. Diese Grenzen beruhen einerseits auf den großen Unterschieden in der Beschaffenheit der Stäube (z. B. Zusammensetzung, Korngrößenverteilung, Oberflächenstruktur, Feuchte) und andererseits auf der Abhängigkeit des Zahlenwerts der Kenngrößen von den Untersuchungsverfahren. Anwendern und Anwenderinnen muss daher stets bewusst sein, dass die Tabellenwerte beim Auslegen von Schutzmaßnahmen grundsätzlich nur als Anhalt dienen können.

In den Tabellen zeigt sich sehr häufig ein Problem, das bei brennbaren Stäuben auftritt: für scheinbar gleiche Stäube ergeben sich sehr unterschiedliche Werte. Die GESTIS-Staubdatenbank enthält derzeit circa 150 Proben mit Holzstaub, deren Kenngrößen jedoch teilweise deutliche Differenzen aufweisen. Das unterstreicht noch einmal die Notwendigkeit, immer dann, wenn nicht zweifelsfrei alle bedeutsamen Einflussgrößen, wie Zusammensetzung, Feinheit und Feuchte, mit den im zu beurteilenden Fall vorliegenden Verhältnissen übereinstimmen, den tatsächlich zu handhabenden Staub zu untersuchen. In einigen Fällen kann es aber auch durchaus gerechtfertigt sein, sich anhand einer Vielzahl von Daten eines Stoffes insofern auf die „sichere Seite“ zu begeben, als dass die jeweils schärferen Werte für eine Beurteilung zugrunde gelegt werden.

Für die in der GESTIS-Staubdatenbank untersuchten – durch Trocknung und Siebung aufbereiteten – Holzstaubproben wurden in einigen Fällen Werte für die UEG von  $30 \text{ g/m}^3$  ermittelt. Da bei der Ermittlung der jeweiligen UEG schrittweise die Konzentration halbiert wird, ist der Unterschied zwischen einer angenommenen UEG von  $30 \text{ g/m}^3$  und der zum Beispiel in der DGUV Information 209-045 angegebenen UEG von  $60 \text{ g/m}^3$  aber vergleichsweise gering.

### 5.2.5 Empfohlene Praxiswerte zur Auslegung von Konstruktionen für die Holzbearbeitung

Die Brand- und Explosions-Kenngrößen für Holzstaub in der DGUV-Information 209-045 wurden aus der GESTIS-Staubdatenbank zusammengetragen und ausgewertet. Von begründeten Ausnahmen (z. B. UEG) abgesehen, wurden – um auf der sicheren Seite zu sein – die jeweils



kritischeren Werte aus den verschiedenen Einzelproben übernommen. Diese Werte wurden im Nachgang bei der Überarbeitung in die „Absauganlagen-Norm“ DIN EN 12 779 übernommen. Im Rahmen der Erarbeitung der DGUV-Information 209-045 für Absauganlagen wurde bei der Untersuchung von Originalproben aus Filterkuchen von Absauganlagen eine untere Explosionsgrenze (UEG) von  $60 \text{ g/m}^3$  ermittelt. Aufgrund der praktischen Erfahrungen wurde für die UEG der Wert von  $60 \text{ g/m}^3$  berücksichtigt. Dieser Wert wird von der großen Expertenmehrheit international anerkannt. Der Wert von  $30 \text{ g/m}^3$  ist experimentell nachgewiesen, spielt allerdings für die Praxis in Absauganlagen für Holzstaub und -späne eine untergeordnete Rolle.

### 5.2.5.1 Durchschnittliche Holzstaubkonzentrationen in der an Holzbearbeitungsmaschinen abgesaugten Luft

Bei den Berechnungen und der Zusammenstellung der Tabelle zur Materialbeladung der Anschlussrohrleitungen infolge der Absaugung der bei der Bearbeitung an unterschiedlichen Holzbearbeitungsmaschinen anfallenden Zerspanungsmengen wurden die Zerspanungsanforderungen aus den Prüfnormen für die Erteilung des/r Prüfzeichen(s) „GS-Staubgeprüft“ bzw. DGUV-Test „holzstaubgeprüft“ zugrunde gelegt. Dabei wurde angenommen, dass diese Bedingungen den „Worst Case“ bei bestimmungsgemäßer Anwendung der jeweiligen Maschine darstellen. Für die untere Explosionsgrenze UEG wurde bei den Berechnungen grundsätzlich von der „sicheren“ Variante mit  $30 \text{ g/m}^3$  ausgegangen. Es handelt sich also hier nicht um eine spezielle Regelung für bestimmte Maschinengruppen.

### 5.2.5.2 Berücksichtigung lokaler Konzentrationsunterschiede

Zu berücksichtigen ist auch, dass man bei Berechnungen zwangsläufig nur auf Aussagen zu einer „durchschnittlich“ im betrachteten Raum vorhandenen Konzentration kommt. Tatsächlich entstehen bei der Bearbeitung aber Staubwolken, die eine inhomogene Konzentration innerhalb des Raums nach sich ziehen und damit örtlich über dem Durchschnitt liegende Konzentrationen bedingen. Besonders kritisch ist das bei „ruhenden“ Verhältnissen zu sehen, wenn die Konzentration nicht durch Luftdurchmischung „verdünnt“ wird. Deshalb ist es sinnvoll, für Berechnungen auf der Basis von Durchschnittskonzentrationen einen „Sicherheitspuffer“ vorzunehmen und die anvisierte Durchschnittskonzentration eher niedriger – also  $30 \text{ g/m}^3$  statt  $60 \text{ g/m}^3$  – zu wählen.

### 5.2.5.3 Praxiserfahrungen für (Holz-) Staubanteile in abgesaugter Luft

Zur Ermittlung der Staubanteile bei den einzelnen Bearbeitungsverfahren wurden in Mitgliedsbetriebenen Materialproben bei den unterschiedlichen Verfahren entnommen und einer Siebanalyse unterzogen. Für die häufig interessierenden Bearbeitungsverfahren ergaben sich dabei folgende Staubanteile mit einer Korngröße  $< 500 \mu\text{m}$ :

- Sägen, Fräsen: ca. 40 %
- Hobeln: ca. 20 %
- Schleifen: 100 %
- Zerhacken: ca. 10 %

Zunächst wurde bei den Ermittlungen für die Tabelle in der DGUV-Information 209-045 die zerspannte Gesamtmenge ermittelt und durch die abgesaugte Luftmenge (bei Norm-Nennweite nach DGUV-Information 209-044 und eine – auf der sicheren Seite liegenden – Luftgeschwindigkeit von  $18 \text{ m/s}$ ) dividiert. Dieser Wert stellte die Gesamt-Beladung dar. Lag diese Gesamtbeladung bereits unter  $30 \text{ g/m}^3$ , war das nicht weiter zu hinterfragen. Andernfalls wurde der Beladungswert mit dem durch die oben dargestellte Abschätzung ermittelten Staubanteil multipliziert.

Maschinen, bei denen die Verhältnisse mindestens nicht eindeutig oder aber eindeutig im Sinne einer Überschreitung der UEG unter den zugrundeliegenden Annahmen waren, wurden in der Tabelle in der DGUV-Information 209-045 mit dem Vermerk versehen: „Einzelbetrachtung erforderlich, die UEG kann überschritten werden“. Das traf auch auf die vorwiegend in Industriebetrieben verwendeten größeren „Breitbandschleifmaschinen für Kalibrierschliff, z. B. Treppenfertigung, Leimholzfertigung, Plattenfertigung“ zu. Die Hersteller sind damit aufgerufen in ihrer Risikobeurteilung die entsprechenden Untersuchungen und Beurteilungen vorzunehmen.

### 5.2.5.4 Unterschiede zwischen der Explosionsgefahr in Absauganlagen für Holzstaub und -späne und in Holzbearbeitungsmaschinen

Die Betrachtungen in der DGUV-Information 209-045 hatten ihren Fokus auf den Verhältnissen innerhalb von Absauganlagen für Holzstaub und -späne, bei denen mehr oder weniger deutlich fließende Staub/Luft-Gemische vorliegen. Will man diese Betrachtungen auf die ruhenden Verhältnisse im Bereich von Bearbeitungsmaschinen übertragen, sind aus explosionstechnischer Sicht

zusätzlich folgende Zusammenhänge zu berücksichtigen:

- Bei bewegten Staub/Luft-Gemischen ist die für eine Explosion notwendige Mindest-Zündenergie höher als bei ruhenden. Bei Letzteren bewegt sie sich für Holzstaub im Bereich von 10 mJ.
- Andererseits schaukelt sich die Explosion in einem bewegten Luftstrom auf und die erreichbaren Explosionsdrücke und Druckanstiegsgeschwindigkeiten werden höher.
- Mit abnehmender Feinheit der Partikelzusammensetzung des Holzstaubs reduziert sich die UEG des Gemischs deutlich.
- Staubablagerungen von 1 mm gelten als explosionsfähig, das heißt, beim Aufwirbeln besteht Explosionsgefahr. Das gilt auch für Staubablagerungen innerhalb eines Maschinengehäuses.
- Eine rechnerisch ermittelte Durchschnittskonzentration kann bei der Bewertung nicht einfach als repräsentativ für die tatsächliche Verteilung der Staubkonzentration innerhalb einer Staubwolke angenommen werden. Bei der Bewertung ist daher eine kurzzeitige lokale Aufkonzentration zu berücksichtigen.
- Die UEG darf an keiner Stelle überschritten werden, da sich auch eine lokal begrenzte Explosion in der Maschine durch Flammenausbreitung als Sekundärexplosion in der Absaugung fortsetzen kann. Solche Sekundärexplosionen haben erfahrungsgemäß noch deutlich massivere Auswirkungen als die vorlaufende Primärexplosion.

## 6 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese Informationsschrift beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Holzbe- und -verarbeitung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV zusammengeführten Erfahrungswissen beim Betrieb von Breitbandschleifmaschinen.

Sie soll besonders Konstrukteurinnen und Konstrukteuren und Herstellern sowie den Sicherheitsfachkräften und Betriebsingenieurinnen und -ingenieuren der Betreiber von Breitbandschleifmaschinen der Holzbearbeitung zur Orientierung darüber dienen, wie die konkretisierenden Anforderungen der Europäischen Normen zu den Vorgaben der Europäischen Maschinenrichtlinie in der Praxis umgesetzt werden.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese DGUV Informationsschrift unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt.

Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, alle infrage kommenden Vorschriften- und aktuellen Normen einzusehen.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Unfallversicherungsträger, staatlicher Stellen, Sozialpartner und Hersteller.

Diese Informationsschrift ersetzt die gleichnamige DGUV Kurzinformation FB HM-101, herausgegeben als Entwurf 05/2018.

Weitere Informationsschriften oder Informationsblätter vom Fachbereich Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [17].

Zu den Zielen der Informationsschriften siehe DGUV-Information FB HM-001 „Ziele der DGUV-Information herausgegeben vom Fachbereich Holz und Metall“.

**Literatur:**

- [1] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen (Maschinen-Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 157/24 vom 09.06.2006 mit Berichtigung im Amtsblatt L76/35 vom 16.03.2007.
- [2] Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, 2. Auflage Juni 2010, Gesamtedaktion Ian Fraser, Europäische Kommission, Generaldirektion Unternehmen und Industrie  
Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC [Ausgabe 2.1, Juli 2017, englisch, Hrsg.: EU-Kommission]
- [3] DIN EN ISO 19353 Sicherheit von Maschinen – Vorbeugender und abwehrender Brandschutz, Ausgabe 2016-07 als Ersatz für DIN EN 13478:2008-12, Beuth-Verlag
- [4] Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX-Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union, Nr. L 96/309 vom 29.03.2014.
- [5] DIN EN ISO 13849-1 „Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze“, Ausgabe 2016-06, Beuth-Verlag
- [6] TRGS 725: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen, Ausgabe 2016-01
- [7] DGUV-Information 209-045 (bisher: BGI 739-2): Absauganlagen und Silos für Holzstaub und -späne, Brand- und Explosionsschutz, Ausgabe 07/2012
- [8] DGUV-Information 209-044 (bisher: BGI 739-1): Holzstaub, Ausgabe 07/2009
- [9] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 553 „Holzstaub“, Ausgabe 08/2008, BAUA
- [10] DIN EN ISO 19085-8 Holzbearbeitungsmaschinen – Sicherheit – Teil 8: Breitbandschleifmaschinen zum Kalibrieren und Schleifen von geraden Werkstücken, Ausgabe 2018-05, Beuth-Verlag
- [11] VDMA 24179-2 „Absauganlagen für Holzstaub und -späne Anforderungen für Ausführung und Betrieb“, August 2003
- [12] DIN EN 1127-1 „Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik“, Ausgabe 2011-10, Beuth-Verlag
- [13] DIN EN 12779 „Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Ortsfeste Absauganlagen für Holzstaub und Späne – Sicherheitstechnische Anforderungen“, Ausgabe 2016-03, Beuth-Verlag
- [14] Ermittlung der Ursachen von Bränden und Explosionen in Mitgliedsbetrieben der Holz-Berufsgenossenschaft; Autoren: Kremers, F.; Becker, A.; Detering, B.; Rauch, G.; Wolf, J.; Gefahrstoff-Reinhaltung der Luft 09-2001, Seite 395, Springer VDI Verlag
- [15] Explosionstechnische Untersuchungen an Schlauchfilteranlagen unter praxisnahen Bedingungen; Schepp, Radandt, TÜ Band 49 (2008), Nr. 9
- [16] GESTIS – Staub-Ex-Datenbank, Brenn- und Explosions- Kenngrößen von Stäuben, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin
- [17] Internet: [www.dguv.de/fb-holzundmetall](http://www.dguv.de/fb-holzundmetall) Publikationen oder [www.bghm.de](http://www.bghm.de) Webcode: <626>

**Bildnachweis:**

Die in dieser DGUV Informationsschrift des FB HM gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

- Bild 1: Hans Weber Maschinenfabrik GmbH  
Bamberger Straße 20  
96317 Kronach
- Bild 2, 3: Graphik BGHM

**Tabellennachweis:**

**Tabelle 1:** Vorzugsreihe Rohrnennweiten in Absauganlagen

## Anlage 1:

### Rechnerischer Nachweis der sicheren Unterschreitung der UEG für Holzstaub/Luft-Gemische bei Breitbandschleifmaschinen

Der rechnerische Nachweis bezieht sich immer auf das Bearbeitungsaggregat, das den höchsten theoretisch möglichen Massenstrom hinsichtlich der explosionsfähigen Staubfraktion aufweist. Für jedes Bearbeitungsaggregat ist ein gesonderter Absaugstutzen mit Anschluss an die vorhandene Absauganlage vorzusehen. Gesonderte Berechnungen erfolgen lediglich für ein eventuell vorhandenes Messerwellenaggregat. Der Gesamt-Luftbedarf der Maschine errechnet sich als Summe der Volumenströme aus allen vorhandenen beziehungsweise maximal gleichzeitig zu betreibenden Bearbeitungsaggregaten. Die erforderliche Druckdifferenz zur Erzielung der jeweiligen Volumenströme ist für die unterschiedlichen Betriebszustände gesondert messtechnisch zu bestimmen. Der erforderliche statische Unterdruck an den einzelnen Absaugstutzen sollte 1.250 Pa nicht überschreiten.

#### Ermittlung der maximal zerspanten (Gesamt-) Masse

$$\dot{m} = d_{max} \cdot B \cdot v_{fmax} \cdot \rho_{Material} \quad (1)$$

- $\dot{m}$  = zerspante Masse je Stunde [kg/h]  
 $d_{max}$  = maximal möglicher Materialabtrag [m]  
 $B$  = Werkstückbreite bzw. Maschinenbreite in [m]  
 $v_{fmax}$  = maximal mögliche Vorschubgeschwindigkeit in [m/h]  
 $\rho_{Material}$  = Werkstück-Materialdichte in [kg/m<sup>3</sup>]

#### Ermittlung des maximalen Massenanteiles an explosionsfähigen Staubfraktionen

$$\dot{m}_{ex} = \dot{m} \cdot 1.000 \left[ \frac{g}{kg} \right] \cdot \mu \quad (2)$$

- $\dot{m}_{ex}$  = Massenanteile an explosionsfähigen Staubfraktionen je Stunde [g/h]  
 $\dot{m}$  = zerspante Masse je Stunde [kg/h]  
 $\mu$  = Anteil an explosionsfähigen Stäuben mit Korngröße < 500  $\mu\text{m}$  [%]<sup>3</sup>

#### Wahl der erforderlichen Mindestluftgeschwindigkeit

- max. 20 m/s: bei Maschinen für den Handwerksbedarf.  
 max. 28 m/s: bei Maschinen für den Industriebedarf.

#### Ermittlung des Absaugstutzen-Durchmesser beziehungsweise dessen Nennweite

Je nach vorgegebenem bzw. bekanntem Parameter können hier 2 Berechnungsziele unterschieden werden:

- a) Wahl des Durchmessers bei vorgegebenem Volumenstrom

Erforderliche Volumenströme je lfm Maschinenbreite nach prEN ISO 19085 Teil 8 „Breitbandschleifmaschinen zum Kalibrieren und Schleifen“:

- $\dot{V} = 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$  für Messerwellenaggregate  
 $\dot{V} = 1.600 \text{ m}^3/\text{h}$  für alle anderen Bearbeitungseinheiten

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{V} \cdot B}{3600 \cdot w}} \quad (3)$$

- $D$  = Innen-Durchmesser des Absaugstutzens in [m]  
 $\dot{V}$  = geforderter Volumenstrom je lfm Maschinenbreite in [m<sup>3</sup>/h]  
 $w$  = geforderte Mindest-Luftgeschwindigkeit in [m/s]  
 $B$  = Werkstückbreite bzw. Maschinenbreite in [m]

- b) Ermittlung des Volumenstromes bei bekanntem Durchmesser

$$\dot{V} = A \cdot w \cdot 3600 = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot w \cdot 3600 \quad (4)$$

- $\dot{V}$  = Gesamt-Volumenstrom in [m<sup>3</sup>/h]  
 $A$  = Querschnittsfläche des Absaugstutzens in [m<sup>2</sup>]  
 $w$  = geforderte Mindest-Luftgeschwindigkeit in [m/s]  
 $D$  = Durchmesser des Absaugstutzens in [m]

#### Nachweis der Ausnutzung der UEG für Holzstaub/Luft-Gemische als Anteil [%]

- a) Ermittlung der Beladung der Absaugluft mit explosionsfähigem Staub<sup>4</sup>

$$q_{ex} = \frac{\dot{m}_{ex}}{\dot{V}} \left[ \frac{g}{\text{m}^3} \right] \quad (5)$$

- $\dot{m}_{ex}$  = Massenanteile an explosionsfähigen Staubfraktionen je Stunde [g/h]  
 $\dot{V}$  = Absaugvolumenstrom [m<sup>3</sup>/h]

- b) Nachweis der Ausnutzung der UEG

$$A = \frac{q}{60 \frac{g}{\text{m}^3}} \leq 50\% ? \quad (6)$$

- $q$  = Beladung der Absaugluft mit explosionsfähigem Staub (g/m<sup>3</sup>)  
 $A$  = Anteil der Beladung an der UEG für Holzstaub/Luft-Gemische [%]

<sup>3</sup> Für Schleifmaschinen beträgt der Anteil an explosionsfähigen Korngrößen in der Regel 100 %.

<sup>4</sup> Bei der Ermittlung der Beladung wird angenommen, dass sämtliche Massenanteile an explosionsfähigen Korngrößen von

der Absaugung erfasst werden und keine Ablagerungen innerhalb der Maschine verbleiben oder als Emissionen nach außen austreten.

**Beispiel:** Berechnung für den Nachweis der Unterschreitung der zulässigen Konzentration (UEG).

Maximaler Abtrag (Beispielwerte)		Luftmenge (Beispielwerte)	
Max. Kalibriertiefe	0,2 mm	Volumenstrom nach pr EN ISO 19085	1.600 m <sup>3</sup> /(h*lfm)
Maschinenbreite	1.600 mm		
Max. Vorschubgeschwindigkeit:	5 m/min	Gewählte Mindest-Luftgeschwindigkeit:	20 m/s
Spanplatte – Dichte:	650 kg/m <sup>3</sup>		
Staubanteil an der zerspannten Masse:	100 %		

### 1. Massenanteile an explosionsfähigen Staubfraktionen je Stunde [g/h]

$$\dot{m}_{ex} = d_{max} \cdot B \cdot v f_{max} \cdot \rho_{Material} \cdot \mu$$

$$= 0,2/1.000 \text{ m} \cdot 1.600/1.000 \text{ m} \cdot (5 \cdot 60) \text{ m/h} \cdot 650 \text{ kg/m}^3 \cdot 1.000 \text{ g/kg} \cdot 100\% = 62.400 \text{ g/h}$$

### 2. Erforderliche Nennweite des Absaugstutzens

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V} \cdot B}{\pi \cdot 3600 \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{1.600 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.600/1.000}{3600 \text{ s/h} \cdot 20 \text{ m/s}}}{\pi}} = 0,213 \text{ m} = 213 \text{ mm}$$

Gewählte Nennweite nach Vorzugsreihe: **DN = 224 mm**

Nachweis der Mindestluftgeschwindigkeit:

$$w_{min} = \frac{\dot{V} \cdot 4}{DN^2 \cdot 3.600 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 1.600 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,6}{0,224^2 \cdot 3600 \cdot \pi \text{ m}^2} = 18,05 \text{ m/s}$$

Vorgabewert Luftgeschwindigkeit für Schnittstelle: **w<sub>min</sub> = 19 m/s**

### 3. Nachweis für UEG

Beladung:  $q = \frac{\dot{m}_{ex}}{\dot{V}} = \frac{62.400 \text{ g/h}}{1.600 \cdot 1,6 \text{ m}^3/\text{h}} = 24,38 \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right]$

Ausnutzung der UEG:  $A = \frac{q}{UEG} = \frac{24,38 \text{ g/m}^3}{60 \text{ g/m}^3} = 40,6\% \text{ UEG} < 50\% \text{ UEG}$

## Herausgeber

Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Tel.: 030 288763800  
Fax: 030 288763808  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet „Holzbe- und -verarbeitung“  
im Fachbereich „Holz und Metall“  
der DGUV > [www.dguv.de](http://www.dguv.de) Webcode: d544787

Stand: August 2018