



## 6 Messungen im Werkzeugmaschinenlabor – Konsequenzen für die Abscheider

Olaf Bernstorff,  
Fa. GEA Delbag Lufttechnik, Herne

Ausgehend von dem Ziel, Kühlschmierstoff-(KSS)-Abscheider zu klassifizieren, wurden im Rahmen der Versuche im Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen die Emissionsraten aus Werkzeugmaschinen ermittelt und erste Erkenntnisse zu Abscheidern gewonnen.

Es gibt vier klassische Filtersysteme, die auf sehr unterschiedlichen Abscheidemechanismen beruhen: Elektrofilter und speichernde Filter (z. B. Abbildungen 1 und 2) sowie Demisterfilter und Zentrifugalabscheider. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden zurzeit die Filternormen DIN EN 779 [1] und DIN EN 1822-5 [2] herangezogen. Beide Normen gelten aber nur behelfsmäßig, da sie grundlegende Faktoren für die KSS-Abscheidung vernachlässigen.



Abbildung 1:  
Elektrofilter

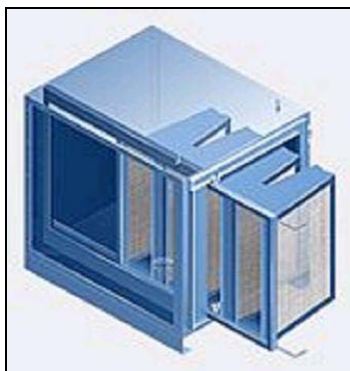


Abbildung 2:  
Speichernder Filter



Die Messungen am WZL dienten dazu, die Rahmenbedingungen zu bestimmen und eine Klassifizierung der Abscheider vorzubereiten. Folgende Fakten, die in den Normen DIN EN 779 und DIN EN 1822 nicht berücksichtigt wurden, lassen sich festhalten:

- 50 Massen-% der an den Werkzeugmaschinen entstehenden Aerosole sind kleiner als  $1,5 \mu\text{m}$ .
- Zwischen 15 und 50 % (in der Regel um 20 %) der Emissionen emittieren als Dampfphase.
- Die Abscheidecharakteristik verändert sich im Laufe eines Wartungszyklus.
- Die Druckdifferenzen der Abscheider sind extrem unterschiedlich.

Darüber hinaus besteht das Problem, dass die KSS-Aerosole zum größten Teil aus Flüssigkeitspartikeln bestehen. Dies trifft zwar auch auf die Prüfung nach DIN EN 779 zu, in deren Rahmen der Wirkungsgrad mit Diethylhexylsebacat-Prüfaerosol (DEHS) geprüft wird. Jedoch sind zum einen die Konzentrationen bei der Prüfung mit DEHS um den Faktor 10 geringer und zum anderen liegt der Siedebereich des Prüfaerosols deutlich über dem der verwendeten KSS.

Für eine Klassifizierung der Abscheider müssen alle diese Faktoren berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind Zusatzinformationen wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Durchströmgeschwindigkeit (speziell bei Elektrofiltern und Demistern) zu erheben.

Zur Durchführung vergleichender Messungen wird zurzeit ein Prüfstand im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGIA in Sankt Augustin eingerichtet (Abbildung 3, Seite 109). Erste Messungen sollen die Reproduzierbarkeit der Praxisbedingungen im WZL überprüfen. Im nächsten Schritt soll ein Prüfgrundsatz für Abscheider erstellt werden, der durch Beratung in verschiedenen Ausschüssen abschließend optimiert werden soll.



Abbildung 3:  
Prüfstand im BGIA



Für die Messungen wurden im Vorfeld folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Es wird nicht nur der Gesamtabscheidegrad gemessen. Angelehnt an die Norm DIN EN 779 soll der Abscheidegrad in Abhängigkeit von der Partikelgrößenfraktion erfasst werden. Insbesondere wird der Abscheidegrad für Partikelgrößen  $< 1 \mu\text{m}$  bestimmt.
- Es werden nicht nur die Aerosole erfasst. Der Abscheidegrad muss immer im direkten Zusammenhang mit der Gasphase gesehen werden.
- Der Abscheidegrad kann sich immer nur auf einen Referenz-KSS beziehen. In der Praxis kann der Abscheidegrad daher vom Laborwert sowohl nach oben als auch nach unten abweichen.
- Da sich das Abscheideverhalten im Laufe eines Wartungszyklus stark verändert, muss der Prüfling künstlich vorgealtert werden.



- Der Abscheidegrad muss immer im Zusammenhang mit der Durchströmgeschwindigkeit bzw. dem Volumenstrom, der Temperatur und der Luftfeuchte gesehen werden.
- Eine Klassifizierung erfolgt nur im Zusammenhang mit einem definierten Filtergerät.

Vor den Messungen müssen noch folgende Fragen geklärt werden:

- Wie kann man die Filtersysteme künstlich voraltern?
- Wie fein soll die Abstufung der Filterklassen sein?
- Sollen Aerosolabscheidegrad und Gasphasenabscheidung zusammen angegeben werden oder getrennt?

Insgesamt zeichnet sich durch die Klassifizierung erstmals eine Möglichkeit für den Kunden ab, unabhängig von Herstelleraussagen ein für ihn optimales Filtersystem auszuwählen.

### **Literatur**

- [1] DIN EN 779: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung (05.03). Beuth, Berlin 2003
- [2] DIN EN 1822-5: Schwebstofffilter (HEPA und ULPA) – Teil 5: Abscheidegradprüfung des Filterelementes (02.01). Beuth, Berlin 2001



## 7 Entwicklung eines Filterprüfstandes zum standardisierten Testen von Kühlschmierstoffabscheidern

Wilhelm Höflinger, Peter Wlaschitz,  
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften  
der Technischen Universität Wien

### 7.1 Einleitung

Filterprüfstände dienen dazu, für das jeweilige disperse Emissionsauftreten unterschiedliche Abscheider bzw. Filtermaterialien im Vergleich zueinander in ihrer Effizienz zu bewerten. Eine möglichst gleichbleibende standardisierte Apparatekonzeption und Versuchsdurchführung zielen darauf ab, die in ihrer Vielfalt möglichen Untersuchungsbedingungen auf die Mehrzahl der in der Praxis vorhandenen Betriebs- und Apparatebedingungen zu vereinheitlichen. Eine Filteruntersuchung stets nach dieser gleichen genormten Vorgehensweise sichert ein reproduzierbares und generell vergleichbares Testergebnis.

Beispiele solcher Filterprüfstände sind

- Prüfstände entsprechend VDI 3926 [1] nach Typ I und Typ II für abreinigbare Oberflächenstaubfilter sowie
- Tiefenfilterprüfstände nach DIN EN 779 [2] und DIN EN 1822 [3].

Allen diesen Prüfständen ist gemein, dass ein geeigneter Generator zur Erzeugung eines realitätsnahen Testaerosols oder Teststaubes vorhanden ist. Der Generator muss gewährleisten, dass sowohl eine über den Testzeitraum konstante als auch eine für Wiederholungsmessungen reproduzierbare Partikelkonzentration und -größenverteilung vorliegt. Eine Beaufschlagung der Filtereinheiten mit Aerosolen unterschiedlicher Eigenschaften würde keinen exakten Filtervergleich zulassen. Beispiele für geeignete Generatoren sind der Bürstendosierer und die Zweistoffdüse (Abbildungen 1 und 2, siehe Seite 112).



Abbildung 1:  
Bürstendosierer (www.palاس.de)

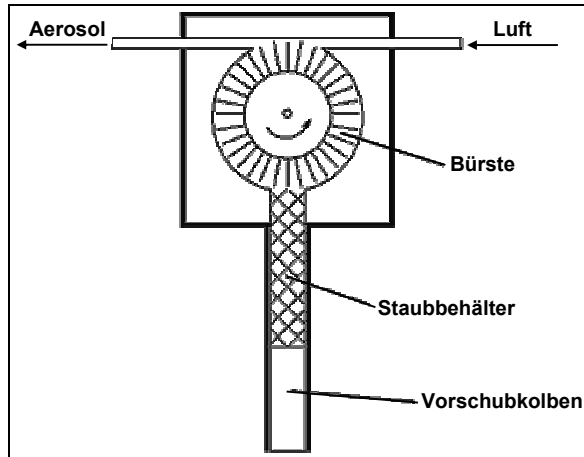
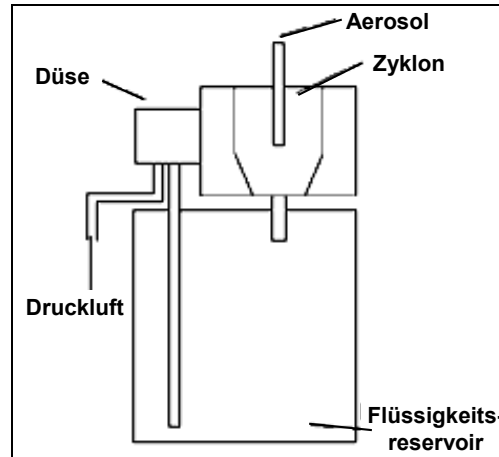
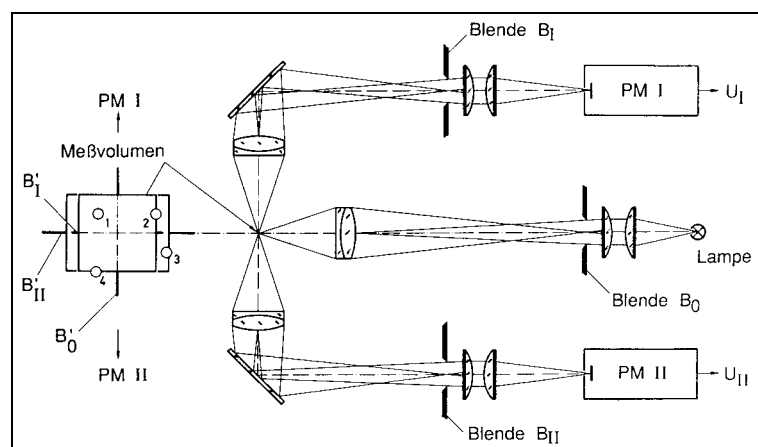


Abbildung 2:  
Zweistoffdüse (www.palاس.de)



Darüber hinaus verfügen die Prüfstände über Aerosolmesssysteme, mit denen das Aerosol- oder Staubkorngrößenspektrum im relevanten Partikelgrößenbereich vor und nach der Filtereinheit kontinuierlich gemessen werden kann (Abbildungen 3 und 4, Seite 113).

Abbildung 3:  
Streulicht-Partikelgrößenanalysator PCS 2010 und sein Funktionsprinzip (www.palاس.de)



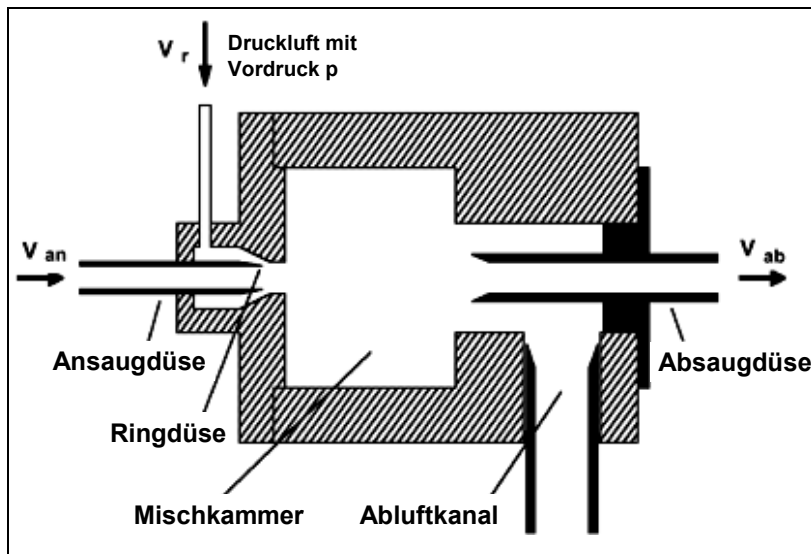


Abbildung 4:  
Funktionsprinzip einer  
Verdünnungsstrecke  
(www.palas.de)

Als Prüfmaterialien stehen Teststäube, z. B. Quarzstaub und Titandioxid, und Testaerosole, z. B. Diethylhexylsebacat – DEHS, zur Verfügung.

Für einen Prüfstand zur Prüfung von Abscheidern für Kühlschmierstoffemissionen, wie sie bei der Bearbeitung von Werkstücken in der Metall verarbeiteten Industrie entstehen, gelten dieselben Anforderungen. Erschwerend kommt in diesem Fall hinzu, dass die Emissionen nicht nur aus einer partikulären, sondern auch aus einer dampfförmigen Komponente bestehen, die ebenfalls abgeschieden werden muss.

Im Rahmen von Forschungsaktivitäten an der Technischen Universität Wien, finanziert durch die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Österreich, konnte ein entsprechender Nebelgenerator für KSS [4] und ein Messsystem für KSS-Emissionen [5] entwickelt werden, mit denen die partikulären und dampfförmigen Emissionen kontinuierlich messbar sind. Im Folgenden wird der derzeitige Entwicklungsstand beschrieben.

## 7.2 Nebelgenerator für Kühlschmierstoffe

Die allgemeinen Anforderungen an einen Nebelgenerator, nämlich

- eine über den Testzeitraum konstante Aerosol- und Dampfkonzentration,
- eine über den Testzeitraum konstante Aerosoltropfengrößenverteilung sowie
- ausreichend der Realität entsprechende Konzentrationsbereiche



werden durch das Generatorkonzept in Abbildung 5 verwirklicht.

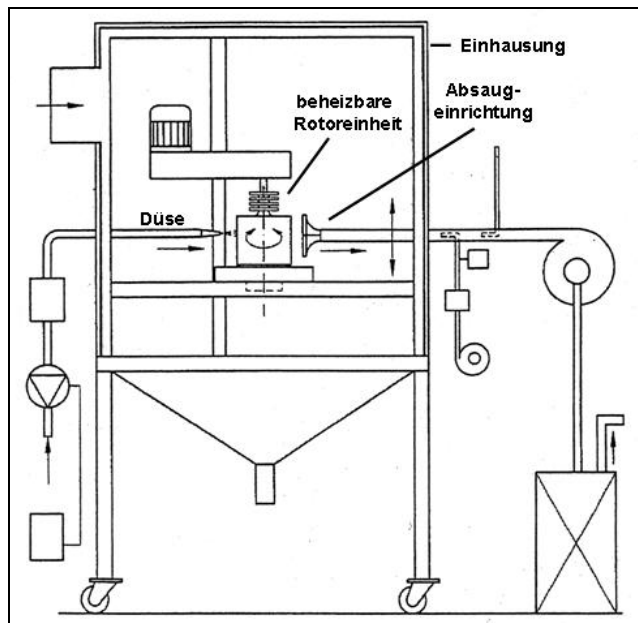


Abbildung 5:  
Anlagenschema des  
Aerosolgenerators

Kernstück des Aerosolgenerators ist eine beheizbare Rotoreinheit, die den KSS an austauschbaren Rotoren unterschiedlicher Form zerstäubt und so den Span abhebenden Bearbeitungsvorgang simuliert. Der Rotor wird über eine oder mehrere Düsen beliebiger Größe mit KSS beaufschlagt. Die gesamte Rotoreinheit befindet sich in einer Einhausung, die den im Betrieb gebildeten Nebel einschließt. Von dort wird er, analog zu einem Metallbearbeitungszentrum, abgesaugt.

Die Rotoreinheit (Abbildung 6, siehe Seite 115) besteht aus einem zylindrischen Stator, der mit dem Trägergestell fest verbunden ist. Der Stator ist mit Heizpatronen ausgestattet, die über Leitungen versorgt werden. Zudem sind im Rotor mehrere Temperaturfühler angeordnet, die über Leitungen an das Auswertegerät angeschlossen sind. Der Stator ist von einem hohlzylindrischen Probekörper umgeben, der mittels eines Stutzens und eines Konus mit Gewindekopf mit dem Getriebe gekuppelt ist. An seiner Mantelfläche ist er mit Zähnen zur Simulation der Schneidwerkzeuge ausgestattet. Am Stutzen befinden sich Kühlrippen.

An der Rotoreinheit können Probekörper beliebiger Form montiert werden. Der derzeit verwendete gezahnte Probekörper (Abbildung 7, siehe Seite 115) entspricht in Größe und Form etwa einem Walzenstirnfräser (Abbildung 8, Seite 115).





Abbildung 6:  
Schema der beheizbaren Rotoreinheit [6]

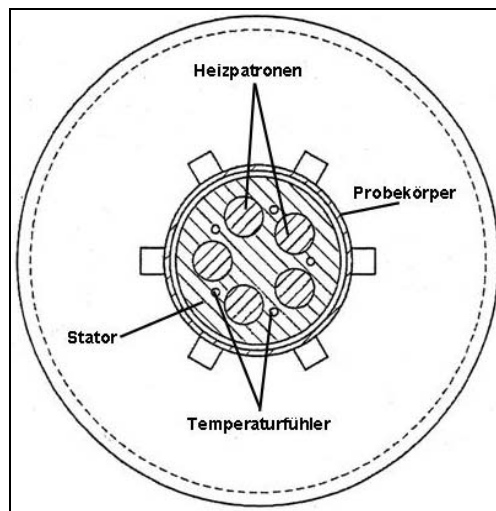
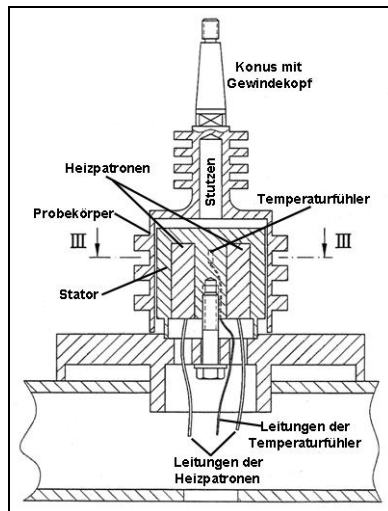


Abbildung 7:  
Gezahnter Probekörper



Abbildung 8:  
Walzenstirnfräser



Die maximale Rotordrehzahl von 15 000 U/min deckt alle bei verschiedenen Bearbeitungsvorgängen auftretenden Schnittgeschwindigkeiten ab (Tabelle 1).

Tabelle 1:  
Schnittgeschwindigkeiten und Drehzahlen bei  
der Span abhebenden Metallbearbeitung

Bearbeitungsvorgang		Ungefähre Schnittgeschwindigkeit in der Praxis in m/min	Drehzahl des Rotors (Durchmesser: 80 mm) in U/min
Drehen/Fräsen von	Stahl	120 bis 200	477 bis 795
	Gusswerkstoffen	150	596
	Aluminium	500	1 989
Schleifen		3 000	11 936



Das Generatorkonzept bringt folgende Vorteile:

- realitätsnahe Tropfen- und Dampferzeugung,
- über die Testzeit konstante Erzeugungsbedingungen,
- keine Verfälschung durch unterschiedliche Spanbildung (Verdampfung an heißen Spänen),
- kein Material- und Werkzeugverbrauch,
- Untersuchung des Temperatureinflusses möglich und
- prinzipiell für jede Art von KSS einsetzbar (Emulsionen und reine Öle).

### 7.3 Tropfengrößenverteilung und -konzentration des erzeugten Aerosols

Beispielhaft für das vom Nebelgenerator erzeugte KSS-Aerosol wurden im Absaugrohr des Generators isokinetisch mit dem Partikelstreulichtmessgerät, Typ PCS 2010 (PCS, particle counter sizer), der Fa. Palas die Tropfengrößenverteilungen für wassergemischte KSS sowohl auf Esteröl- als auch auf Mineralölbasis gemessen (Abbildungen 9 und 10).

Abbildung 9:  
Tropfengrößenverteilung für einen wassergemischten Kühlschmierstoff auf Esterölbasis (Emulsion 5 %)

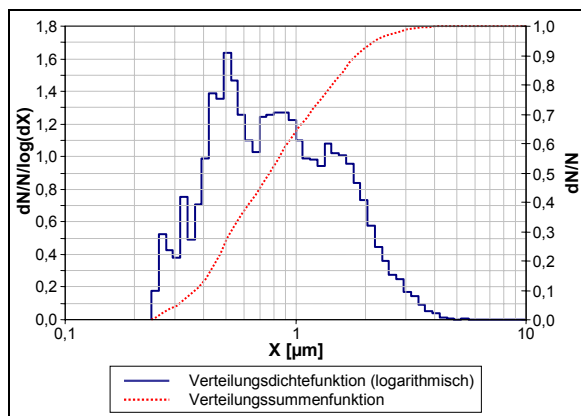
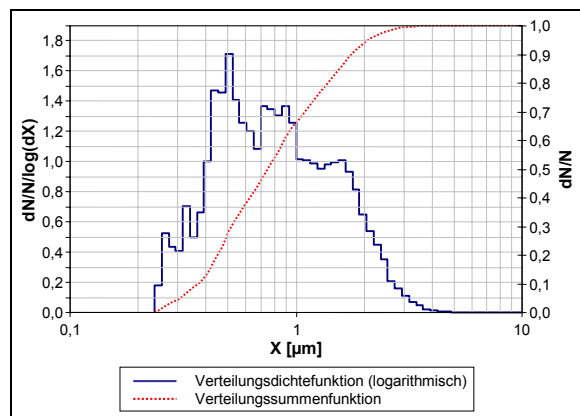


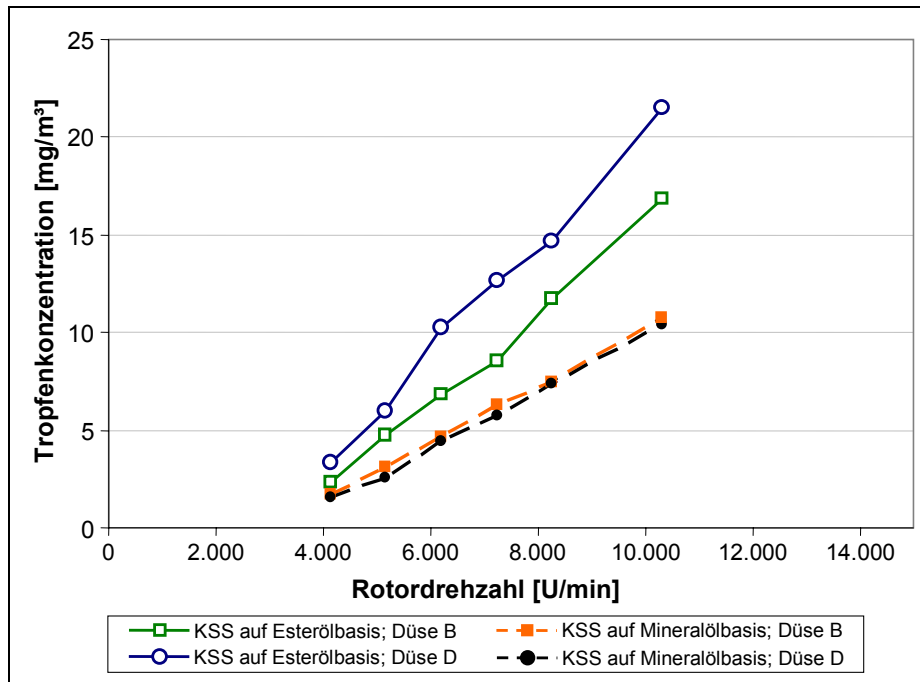
Abbildung 10:  
Tropfengrößenverteilung für einen wassergemischten Kühlschmierstoff auf Mineralölbasis (Emulsion 5 %)





In Abbildung 11 ist die Tropfenkonzentration in Abhängigkeit von unterschiedlichen Rotordrehzahlen und Aufbringungsdüsen dargestellt.

Abbildung 11:  
Tropfenkonzentrationen für verschiedene KSS-Aufbringungsdüsen in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl



#### 7.4 Entwicklung eines Messsystems für Kühlschmierstoffemissionen

Generell kann die Tropfengrößenverteilung eines Aerosols mithilfe eines Streulichtpartikelsensors gemessen werden. Durch die untere Messgrenze des Messgerätes besteht jedoch die Einschränkung, dass der Dampfbereich nicht mit erfasst werden kann. Eine weitere Schwierigkeit besteht bei der Erfassung von Emulsionstropfen, die zu 90 % oder mehr aus Wasser bestehen. Der in Österreich geltende Grenzwert ist jedoch auf die reine Ölkomponente bezogen und die Ölkonzentration in den einzelnen Öltropfen ist nicht bekannt.

Als kumulative Methode kann das Messverfahren des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA [6] angesehen werden. Dabei wird die Summe aus der im Filter abgeschiedenen Tropfenfraktion und dem im Adsorberharz adsorbierten



Dampfanteil über einen längeren Zeitraum als Mittelwert erfasst. Soll aber exakt zwischen Tropfen- und Dampfanteil unterschieden werden, beginnen die Schwierigkeiten. Einerseits ist nicht klar, unterhalb welcher Partikelgröße man von Dampf sprechen kann. Andererseits ist die Grenze durch die willkürlich festgelegte Trennkorngröße des Filtermaterials bestimmt, die sich mit fortschreitender Verstopfung weiter nach unten verschiebt. Somit entspricht das gemessene Verhältnis von Dampf zu Tropfenmenge nicht den üblichen Anforderungen an einen Messwert.

Zur Lösung der Problematik und um in Zukunft ein „Online“-Messgerät für Filtertests zur Bestimmung der charakteristischen Trennfunktion zur Verfügung zu haben, wurde folgendes Messkonzept entwickelt: Die Messphilosophie beruht darauf, dass nicht zwischen Dampf und Tropfen unterschieden wird. Durch Vorklassierung wird die Emissionsmenge in unterschiedliche Tropfenfraktionen zerlegt, wobei nur die kleinste Fraktion als Summe aus Tropfen und Dampf angesehen wird. Die Fraktionierung erfolgt mithilfe von Impaktoren, deren Trenngrenze in der kleinsten Stufe weit unter den bisher üblichen Filtertrenngrenzen liegen kann. Somit wird eine exakte und reproduzierbare Analyse der KSS-Emission möglich.

Durch anschließendes Verdampfen der fraktionierten Teilmengen bei einer ausreichend hohen Temperatur und Zuführung zu einem Flammenionisationsdetektor (FID) kann der zugehörige Ölanteil über die Messung der Konzentration von Kohlenstoffatomen bestimmt werden. In Abbildung 12 (siehe Seite 119) ist dieses Messkonzept dargestellt.

Die Auswertung der Ergebnisse aus fünf verschiedenen Impaktoren ist in den Abbildungen 13 und 14 (siehe Seite 119) ersichtlich. Durch Subtraktion der verschiedenen FID-Messergebnisse können die einzelnen Tropfenfraktionen bestimmt werden. In diesem Fall könnte als „Dampf“ alles das bezeichnet werden, das kleiner ist als  $0,25 \mu\text{m}$ .

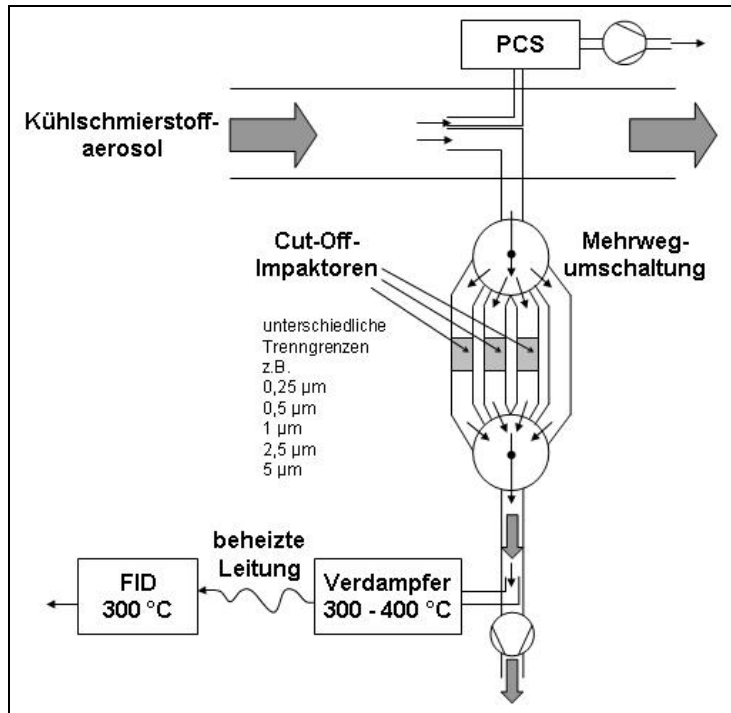


Abbildung 12: Messkonzept

Abbildung 13: Ergebnisse für fünf unterschiedliche Impaktoren

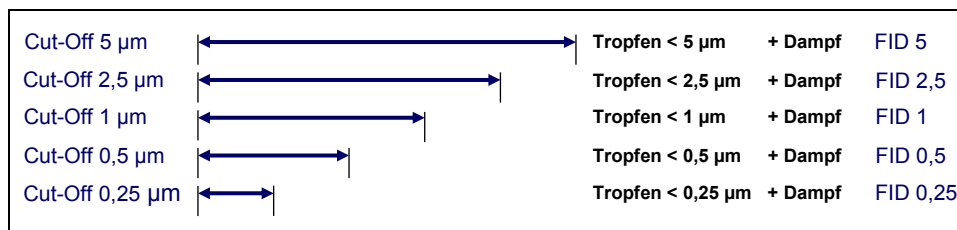
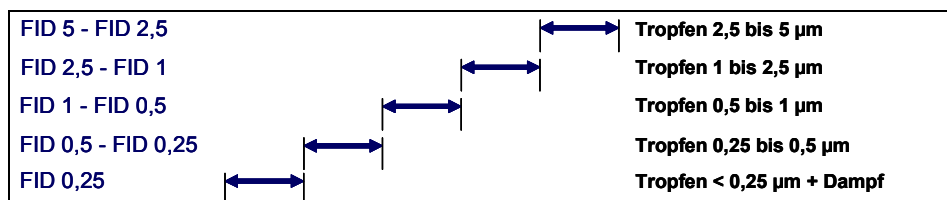


Abbildung 14: Subtraktion der FID-Messungen



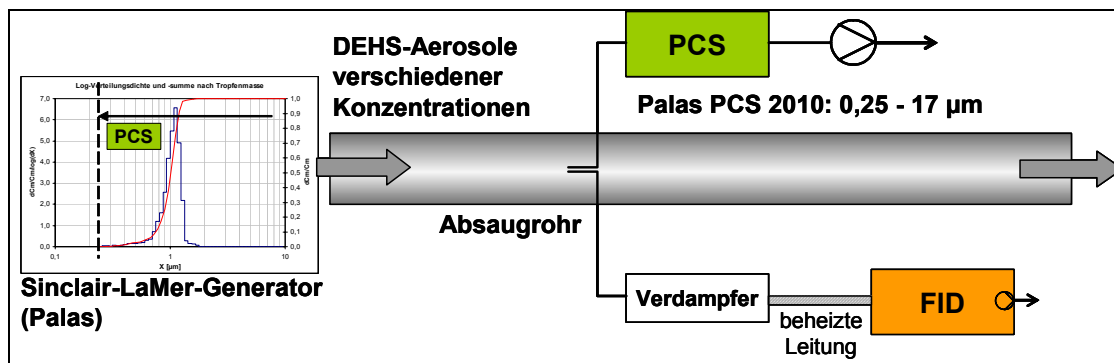


## 7.5 Kalibrierung des Messsignals

Da der FID nur die Konzentration der Kohlenstoffatome als Summenwert angibt, muss ein Zusammenhang zu der zugehörigen Ölmenge hergestellt werden. Dies wird durch gleichzeitige Messung der Partikelgrößenverteilung des Tropfenspektrums mit einem Streulichtpartikelsensor erreicht.

Um aufwändige Kalibrierarbeiten zu vermeiden (für jeden KSS in den verschiedensten Zusammensetzungen müsste eine eigene Kalibrierung durchgeführt werden), wird ein Kalibrierbezugswert bzw. eine Äquivalenzsubstanz als Testmaterial eingeführt, deren Emissionswerte für alle KSS gültig sind. Als Äquivalenzsubstanz wird Diethylhexylsebacat (DEHS) verwendet, das einen niedrigen Dampfdruck aufweist. Dieses wird mit einem Sinclair LaMer Tropfengenerator in einem engen Partikelbereich dispergiert und kann so vollständig mit einem Streulichtpartikelzähler erfasst werden (Abbildung 15).

Abbildung 15:  
Schema des Aufbaus zur Kalibrierung mit Diethylhexylsebacat



Aus der mithilfe des Streulichtensors ermittelten Anzahlkonzentration kann die DEHS-Gesamtmasse berechnet werden. Aus einer parallelen Messung mit dem FID lässt sich dann ein Kalibrierfaktor PCS/FID [ $\text{mg}/\text{m}^3$  DEHS/ppm Propan] ermitteln. In Abbildung 16 (siehe Seite 121) sind die Ergebnisse für verschiedene Aerosolkonzentrationen dargestellt.

Nach Abbildung 17 (siehe Seite 121) ergibt sich daraus für verschiedene Konzentrationen ein annähernd identischer Kalibrierfaktor.

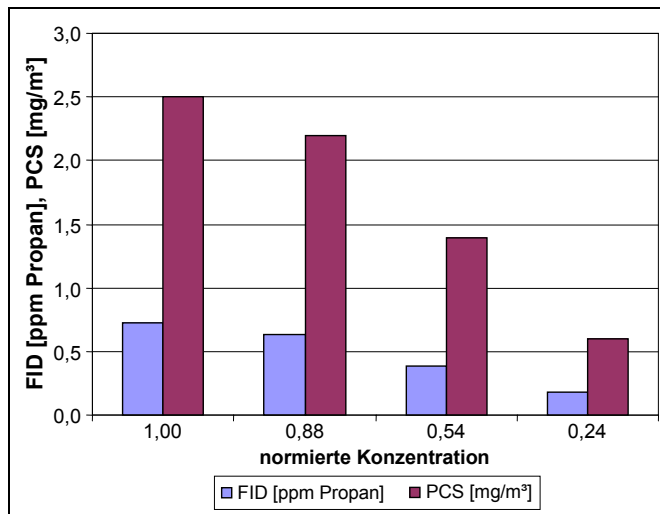


Abbildung 16:  
Messwerte von FID und  
PCS für verschiedene  
DEHS-Aerosolkonzentrationen

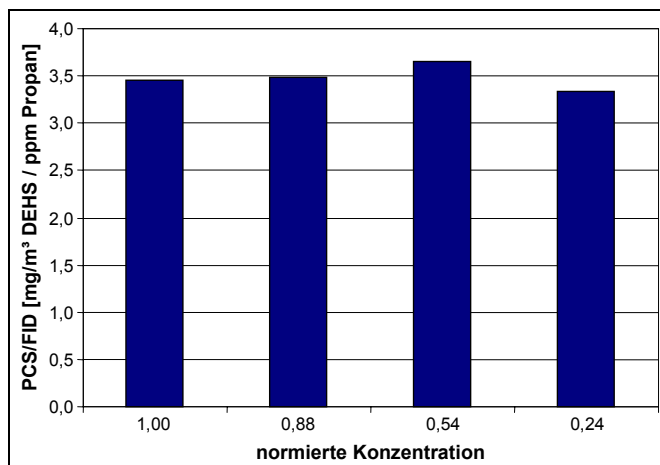


Abbildung 17:  
Kalibrierfaktor PCD/FID  
in Abhängigkeit von der  
DEHS-Aerosolkonzentration

Wenn nun von einem beliebigen KSS-Öl oder einer KSS-Emulsion mittels FID die Konzentration der Kohlenstoffatome ermittelt wird, so kann festgestellt werden, welche Ölmenge DEHS der getesteten Ölmenge äquivalent ist. Wird bei Emulsionen gleichzeitig auch die Tropfengrößenverteilung mit dem PCS gemessen, kann daraus auf eine äquivalente Ölkonzentration in den Tropfen geschlossen werden.

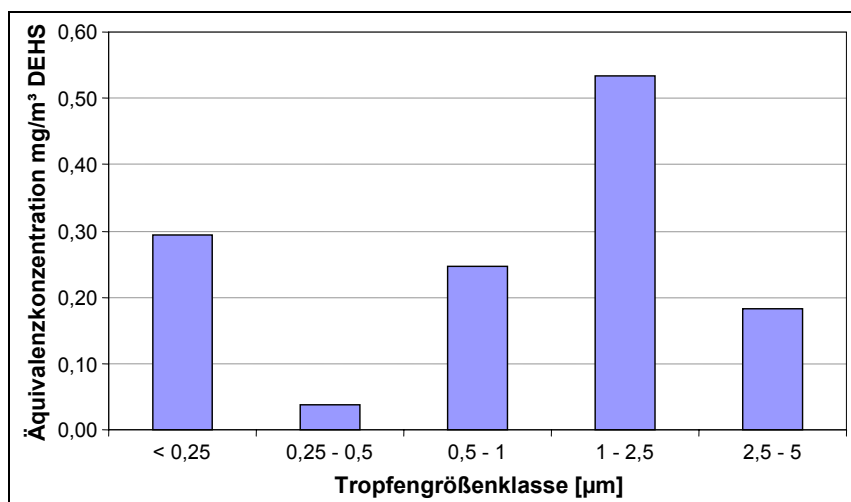
Als Beispiel für einen wassergemischten KSS auf der Basis eines synthetischen Öls (Emulsion 5 %, zerstäubt mit dem in den Abbildungen 5 und 18, Seite 122, dargestellten KSS-Generator) zeigt sich das Ergebnis in Abbildung 19 (siehe Seite 122). Es wird ersichtlich, dass eine beträchtliche Ölmenge mit einer Tropfengröße kleiner als  $0,25 \mu\text{m}$  existiert.



Abbildung 18:  
Aerosolgenerator



Abbildung 19:  
Verteilung der Ölkonzentration in Tropfengrößenklassen



## 7.6 Literatur

- [1] VDI 3926 Blatt 1: Prüfung von Filtermedien für Abreinigungsfilter – Standardprüfung zur vergleichenden Bewertung von abreinigbaren Filtermedien (10.04). Beuth, Berlin 2004





- [2] DIN EN 779: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung (05.03). Beuth, Berlin 2003
- [3] DIN EN 1822-1: Schwebstofffilter (HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung (07.98). Beuth, Berlin 1998
- [4] *Höflinger, W.; Neumann, B.*: Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Eigenschaften von Kühlschmierstoffen. Patent: Österreich, Nr. A 1658/2003; eingereicht: 20.10.2003
- [5] *Höflinger, W.; Waschitz, P.*: Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der bei Kühlschmiervorgängen in die Atmosphäre emittierten Anteile an Schmierstoffen. Patent: Österreich, Nr. A 1390/2005; eingereicht: 22.08.2005
- [6] Isokinetisches Probenahmesystem (IPS) (Kennzahl 3110). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 12.Lfg. IV/94. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg. 1989. [www.bgia-arbeitsmappedital.de/3110](http://www.bgia-arbeitsmappedital.de/3110)

### Weiterführende Literatur

*Neumann, B.; Mauschitz, G.; Höflinger, W.*: Measurement for the determination of the emissivity of cutting fluids as a primary measure to the risk avoidance in metal processing companies. In: Proceeding of the 9th World Filtration Congress, New Orleans-Louisiana USA April 2004 (CD-ROM)

*Neumann, B.; Mauschitz, B.; Höflinger, W.*: Investigations of aerosol emissions of different cutting fluids (CF) appearing in metal working companies at different working parameters. In: PARTEC 2004. International Congress for Particle Technology, Nürnberg, März 2004

*Waschitz, P.; Höflinger, W.*: Anforderungen an einen Aerosolgenerator zur Erzeugung eines praxisnahen KSS-Aerosols. In: Prüfung von Filtern und Abscheidern. 19. Palas ATS-Seminar, Karlsruhe 2005, S. 83-93



*Wlaschitz, P.; Höflinger, W.:* A new measuring method to detect the emissions of metal working fluid mist. In: Chemical industry and environment V. 5<sup>th</sup> European Meeting on Chemical Industry and Environment, Wien Mai 2006



## 8 Lufttechnische Maßnahmen in Maschinenhallen

Rüdiger Detzer,  
Fa. Imtech Deutschland, Hamburg

### 8.1 Einleitung

Um die bei Produktionsprozessen in Fertigungsstätten entstehenden Gefahrstoffe aus dem Aufenthaltsbereich der Beschäftigten fernzuhalten, sind raumlufttechnische Maßnahmen erforderlich. Diese Maßnahmen haben in der jüngsten Vergangenheit stark an Bedeutung gewonnen, da bei Fertigungsprozessen frei werdende luftfremde Stoffe durchaus kanzerogene oder mutagene Eigenschaften aufweisen können. Der Druck zur Verbesserung der Luftverhältnisse in Fertigungsstätten ging nicht zuletzt auch von den Berufsgenossenschaften aus, um eine Reduzierung der Berufskrankheitsfälle zu erreichen.

Bei der Schadstofffreisetzung muss in verschiedenen Bereichen der Produktion sowohl mit gas- als auch mit partikelförmigen Stoffen gerechnet werden. Bei den gasförmigen Komponenten handelt es sich hauptsächlich um kurzkettenige Aldehyde, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Nitrosamine u. Ä., die eine gesundheitsschädigende Wirkung aufweisen. Aber auch staubförmige Verunreinigungen können Atemwegserkrankungen bewirken, insbesondere, wenn die Partikel alveolengängig sind.

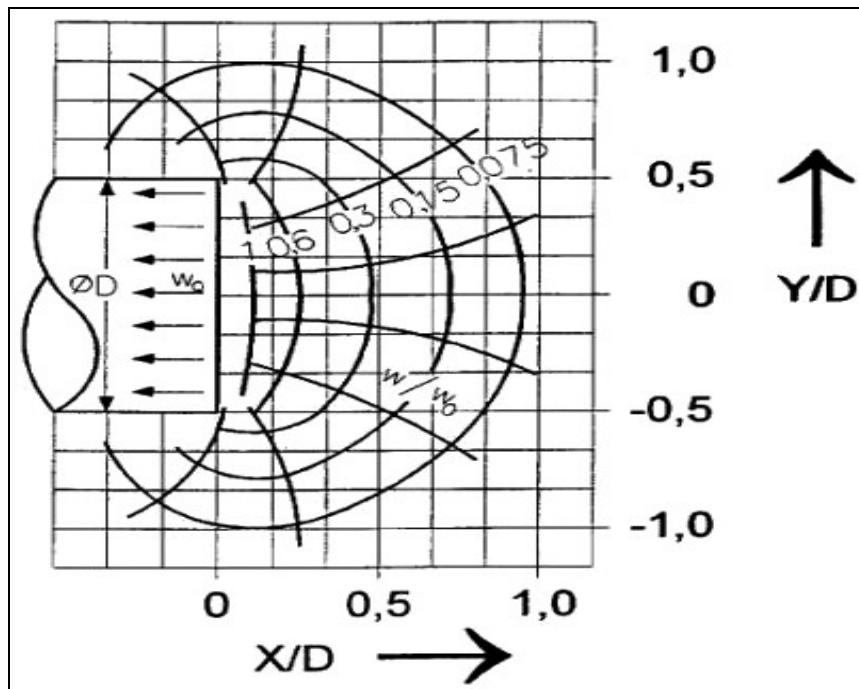
### 8.2 Direkterfassung luftfremder Stoffe

Die günstigste Maßnahme, um luftfremde Stoffe aus dem Arbeitsbereich zu entfernen, ist die Direkterfassung am Ort der Emission. Dies scheitert jedoch häufig daran, dass Erfassungseinrichtungen nicht oder nur schwer in den Produktionsprozess integrierbar sind. Hinzu kommt, dass Erfassungsströmungen (Senkenströmungen) nur eine sehr geringe Tiefenwirkung aufweisen, da die Geschwindigkeit im Gegensatz zum Blasstrahl mit wachsendem Abstand von der Absaugstelle sehr rasch abnimmt. Verdeutlicht wird dies in Abbildung 1 (siehe Seite 126), in der die Isotachen vor einer Absaug-



stelle dargestellt sind. Die Erfassungsgeschwindigkeit sinkt demnach schon in einem Abstand vor der Absaugung, der dem Durchmesser der Absaugeinrichtung entspricht, auf ungefähr 5 % der Geschwindigkeit in der Absaugöffnung ab.

Abbildung 1:  
Geschwindigkeitsfeld vor einer Rohröffnung

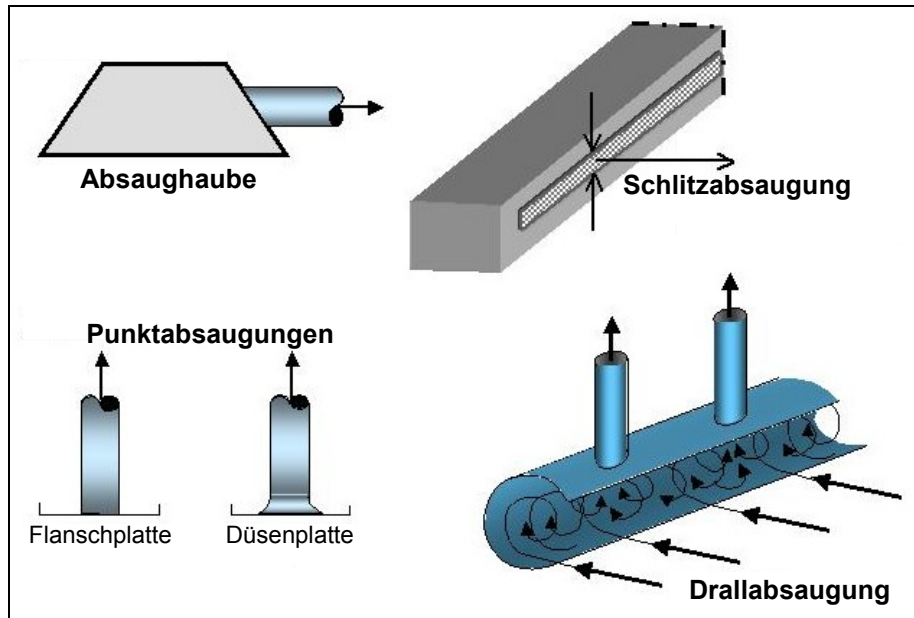


Luftfremde Stoffe, die luftgetragen emittiert werden, sind nur dann erfassbar, wenn die Erfassungsgeschwindigkeit größer ist als die durch die Raumluftströmung verursachte Geschwindigkeitskomponente am Bezugsort. Aus diesem Grund sind „freie Erfassungseinrichtungen“ im Allgemeinen am schwierigsten zu beherrschen und bedürfen einer aufwändigen Dimensionierungsanalyse. Vollständig gekapselte Arbeitsmaschinen oder Teileinkleidungen im Wirkungsbereich der Gefahrstofffreisetzung sind – bezogen auf die Arbeitsplatzbelastung – im Allgemeinen leichter beherrschbar.

Bei offenen Erfassungseinrichtungen unterscheidet man zwischen solchen für punktförmige Quellen und solchen für linienförmige Quellen. Einen Überblick über derartige Einrichtungen zeigt Abbildung 2 (siehe Seite 127).



Abbildung 2:  
Beispiele für offene Erfassungseinrichtungen



Durch die geringe Tiefenwirkung sind Absaughauben am wenigsten geeignet, weil die Erfassungsgeschwindigkeiten unterhalb des Haubenkörpers sehr gering sind. Absaughauben lassen sich nur dann einsetzen, wenn nahezu keine Störströmungen im Raum auftreten oder die Haube unmittelbar über der Emissionsquelle angeordnet werden kann.

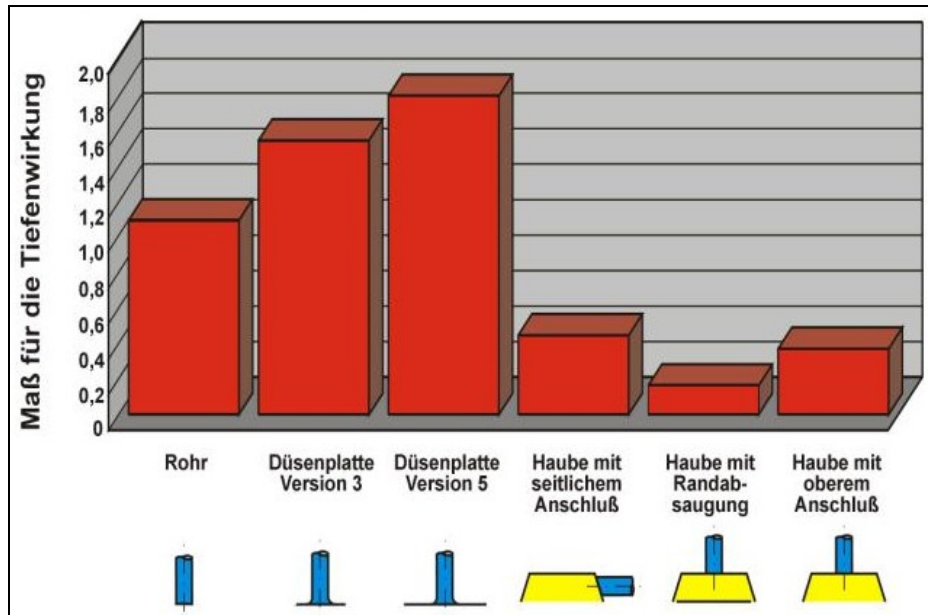
Sehr viel günstigere Werte liefern Düsenplatten, die gegenüber herkömmlichen Hauben eine mehrfach höhere Erfassungstiefe erreichen. Abbildung 3 (siehe Seite 128) zeigt die Gütegrade von Düsenplatten und Absaughauben, wobei dieser Grad ein Maß für die Erfassungstiefe von Emissionen darstellt.

Von geringerem Einfluss auf den Gütegrad der Erfassungseinrichtung sind

- die Art der Anbindung der Haube an das Kanalnetz,
- die Ausführung der Haube und
- bei Düsenplatten die Ausbildung des Übergangs zwischen Platte und Rohranschluss.



Abbildung 3:  
Gütegrade verschiedener Erfassungseinrichtungen



Als sehr wirksam für die Erfassung luftgetragener Emissionen zeigen sich Drall- oder Wirbelhauben<sup>1</sup>. Deren große Effizienz beruht auf einem sehr hohen Unterdruck, der sich im Zentrum einer Drallströmung einstellt. Solche Strömungsformen sind in der Natur in Taifun- oder Tornadoströmungen zu beobachten. Abbildung 4 (siehe Seite 129) zeigt eine Tornadoströmung in der Natur, und in Abbildung 5 (Seite 129) ist die Drallströmung im Schnittmodell einer Drallabsaugung gezeigt.

In einem solchen Strömungsfeld verlaufen die Stromlinien auf logarithmischen Spiralen zu einem Wirbelzentrum, um das herum sehr hohe Umfangsgeschwindigkeiten auftreten, aus denen der hohe Unterdruck im „Auge des Tornados“ resultiert.

Bei Erfassungseinrichtungen bilden sich diese Drallströmungen in einem teilummantelten Mantelgehäuse durch eine Überlagerung von Unterdruckfeldern aus, die an in regelmäßigen Abständen nebeneinander angeordneten Senken entstehen. Die Anwendung derartiger Einrichtungen ist sehr vielfältig und reicht von der Erfassungs-

<sup>1</sup> patentrechtlich geschützt



haube mit Randabsaugung (Abbildung 6) bis zur Maschinenabsaugung an großen Werkzeugmaschinen (Abbildung 7).

Abbildung 4:  
Tornadoströmung

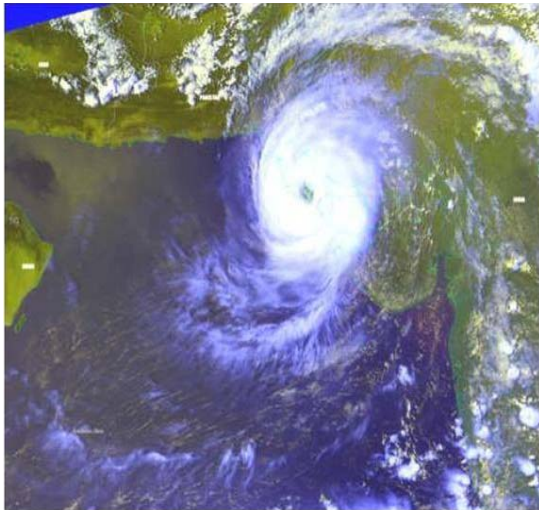


Abbildung 5:  
Drallströmung

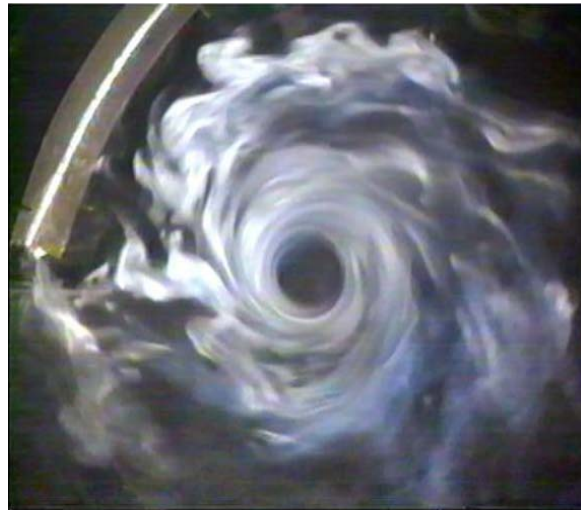


Abbildung 6:  
Erfassungshaube mit Randabsaugung



Abbildung 7:  
Maschinenabsaugung



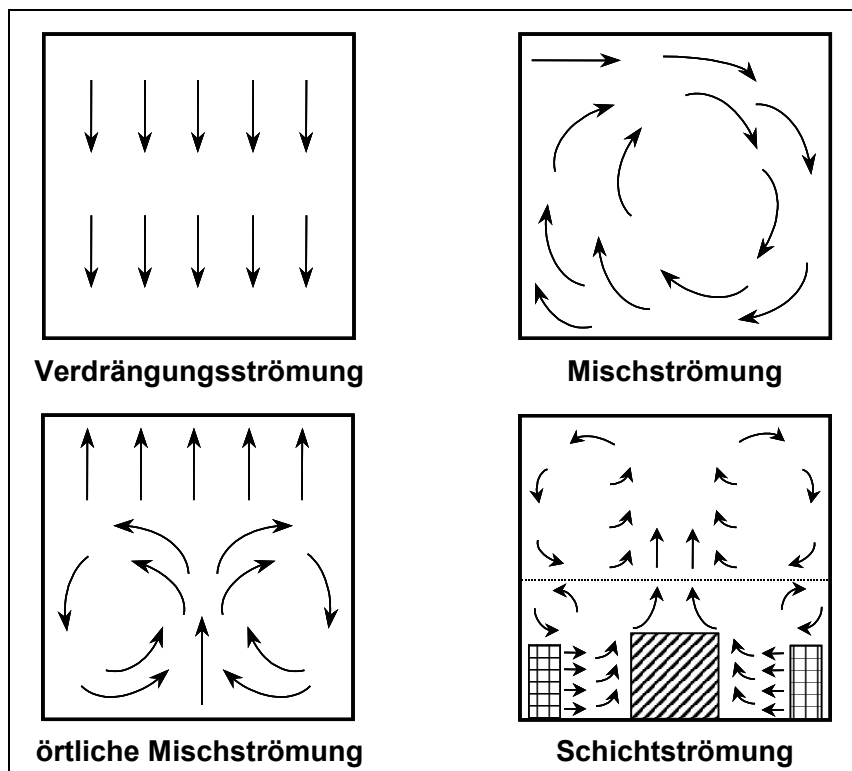
### 8.3 Raumluftrömung

Für die Luftführung in Räumen sind grundsätzlich vier verschiedene Strömungsmuster bekannt, die in Abbildung 8 (siehe Seite 130) dargestellt sind:



- Mischströmung,
- Verdrängungsströmung,
- örtliche Mischströmung und
- Schichtenströmung.

Abbildung 8:  
Schematische Darstellungen der unterschiedlichen Strömungsmuster im Raum



### 8.3.1 Verdrängungsströmung

Die Verdrängungsströmung ist gekennzeichnet durch eine großflächige Luftzufuhr. Zur Strömungsstabilisierung benötigt diese Strömungsform sehr große Luftströme bei geringen Temperaturunterschieden zwischen Raum- und Zuluft. Daher findet sie nur in Sonderfällen, zum Beispiel in der Reinraumtechnik, Anwendung.





### 8.3.2 Mischströmung

Bei der Mischströmung wird die Zuluft mit hohem Impuls über Luftdurchlässe in den Raum eingebracht. Abbildung 9 zeigt schematisch das sich einstellende Raumströmungsbild bei der Zuluft einbringung über Drallluftdurchlässe im Deckenbereich des Raumes.

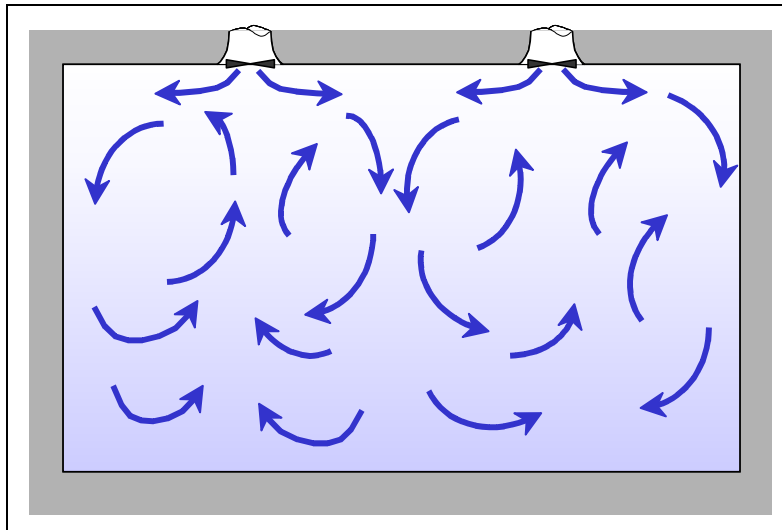


Abbildung 9:  
Raumströmungsbild einer  
Mischströmung

Die Strömungsgeschwindigkeit im (Zuluft-)Strahl baut sich dadurch ab, dass Umgebungsluft aus dem Raum angesaugt und dem Luftstrahl beigemischt wird. Dadurch nimmt der Luftstrahl auf seinem Weg durch den Raum an transportiertem Luftvolumen zu. Basis hierfür ist der Impulsaustausch am Strahlrand, der durch überlagerte turbulente Bewegungen eine intensive Vermischung von Zuluft und Raumluft bewirkt.

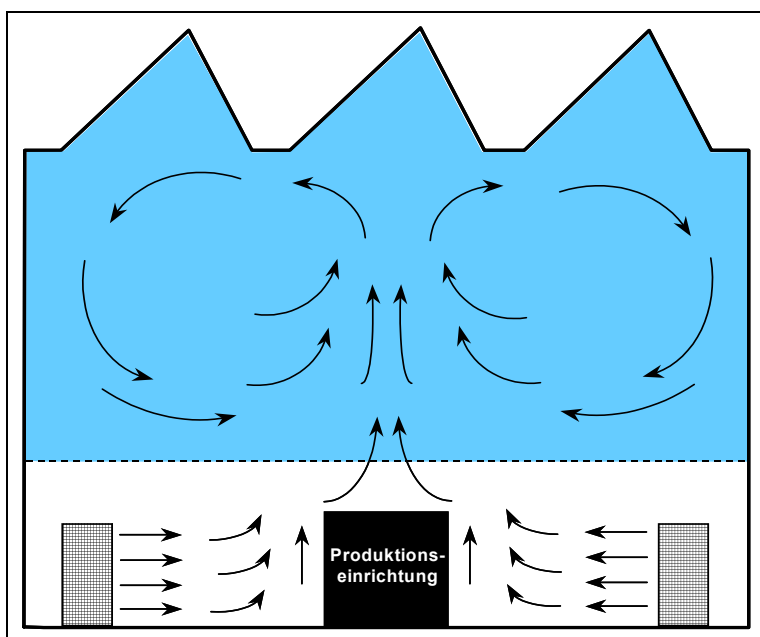
Der Induktionsanteil als sekundär bewegter Luftanteil ist dabei um ein Vielfaches größer als der am Durchlass eingebrachte Primärluftstrom und strömt aus anderen Raumbereichen nach. Hierdurch wird eine gleichförmige Verteilung aller im Raum entstehenden luftfremden Stoffe erreicht, sodass über die mittlere Konzentration hinausgehende Werte nur im unmittelbaren Umfeld der Emissionsquelle auftreten.

Da Raumlufttemperaturen beim Einsatz eines Mischlüftungssystems in gleicher Weise wie Schadstoffkonzentrationen homogen im Raum verteilt vorliegen, bietet dieses System Vorteile bei Räumen, in denen keine Temperaturgradienten erwünscht sind und bei Räumen oder Raumgruppen mit hohen Heizlastanteilen.

### 8.3.3 Schichtenströmung

In Industriebereichen mit stofflichen und thermischen Belastungen werden heute zunehmend Schichtenströmungen eingesetzt, um die Luftverhältnisse zu verbessern, insbesondere dann, wenn in den Räumen größere thermische Freisetzungen zu erwarten sind. Abbildung 10 verdeutlicht das Strömungsprinzip.

Abbildung 10:  
Schematische Darstellung einer Schichtströmung



Schichtenströmungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Raumluftrömung nicht durch die Zuluffführung, sondern durch einzelne freie Konvektionsbewegungen bestimmt wird. Jeder Körper, der eine höhere Oberflächentemperatur als die Umgebungsluft aufweist, bewirkt eine vertikal nach oben gerichtete Luftströmung. Diese führt oberhalb des Wärme abgebenden Körpers zu einem Thermikstrahl, der die Eigenschaften eines freien Luftstrahles besitzt; das heißt, die im Thermikstrahl enthaltene Strömungsenergie wird durch Induktion von Umgebungsluft abgebaut.

Wird nun die durch direkte Konvektion nach oben transportierte Luft und die Induktionsluft bis zu einer entsprechenden Höhe im unteren Raumbereich nachgespeist, bilden sich zwei deutlich unterschiedliche Luftschichten aus: Während im unteren



Raubereich die Luft nahezu Zuluftqualität besitzt, ergeben sich in der oberen Schicht deutlich höhere Kontaminationen an luftfremden Stoffen, die gas- oder partikelförmig sein können.

Um dies zu erreichen, sind gewisse Voraussetzungen zu schaffen:

- Der Konvektionsstrom ist bis zu einer Schichthöhe H vollständig durch Zuluft im unteren Raumbereich zu ersetzen, um Rückströmungen von oben zu verhindern; die Schichtgrenze muss oberhalb des Arbeitsbereiches liegen.
- Die Nachführung von Zuluft muss impulsarm erfolgen. Wesentlich dabei ist, dass durch die nachgeführte Zuluft die an den Wärmequellen entstehenden Thermikströme nicht gestört werden, damit es nicht zu Ausspüleffekten kommen kann.
- Die Zuluft sollte vorzugsweise unterhalb der Schichtgrenze zugeführt werden; die Zuluft einbringung oberhalb der Schichtgrenze bewirkt einen Rücktransport luftfremder Stoffe aus dem oberen Raumbereich in den Aufenthaltsbereich und führt zur verstärkten Gefahr von Ausspülungen.
- Thermikströmungen, insbesondere an kalten Wandflächen, sind weitestgehend zu vermeiden, da Kaltluftströmungen an kalten Flächen Einmischprozesse höher kontaminierter Luft in den unteren Raumbereich bewirken.

Abbildung 11 (siehe Seite 134) verdeutlicht einige der Einflussgrößen.

Eine maßgebliche Bewertungsgröße für die Qualität der Luftführung stellt in diesem Zusammenhang der Belastungsgrad

$$\mu_s = \frac{\text{im Arbeitsbereich wirksamer Stoffstrom}}{\text{in den Raum freigesetzter Stoffstrom}}$$

dar, der den Anteil der insgesamt in den Raum emittierten Stoffgrößen beschreibt. Die Auswirkung unterschiedlicher Luftführungssysteme auf den Belastungsgrad zeigt Abbildung 12 (Seite 134).



Abbildung 11:  
Einflussgrößen auf die Schichtenbildung

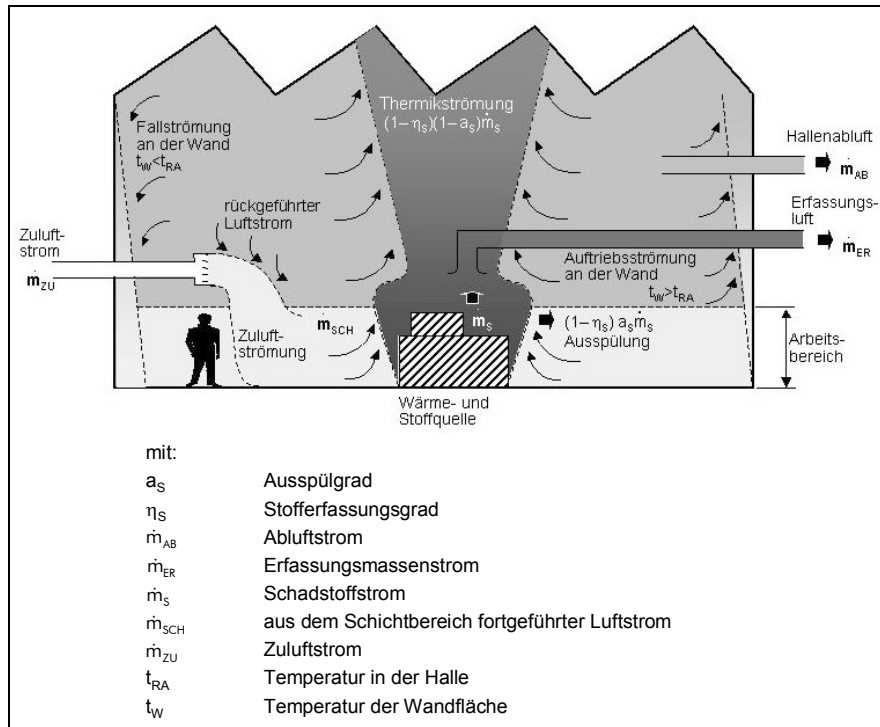
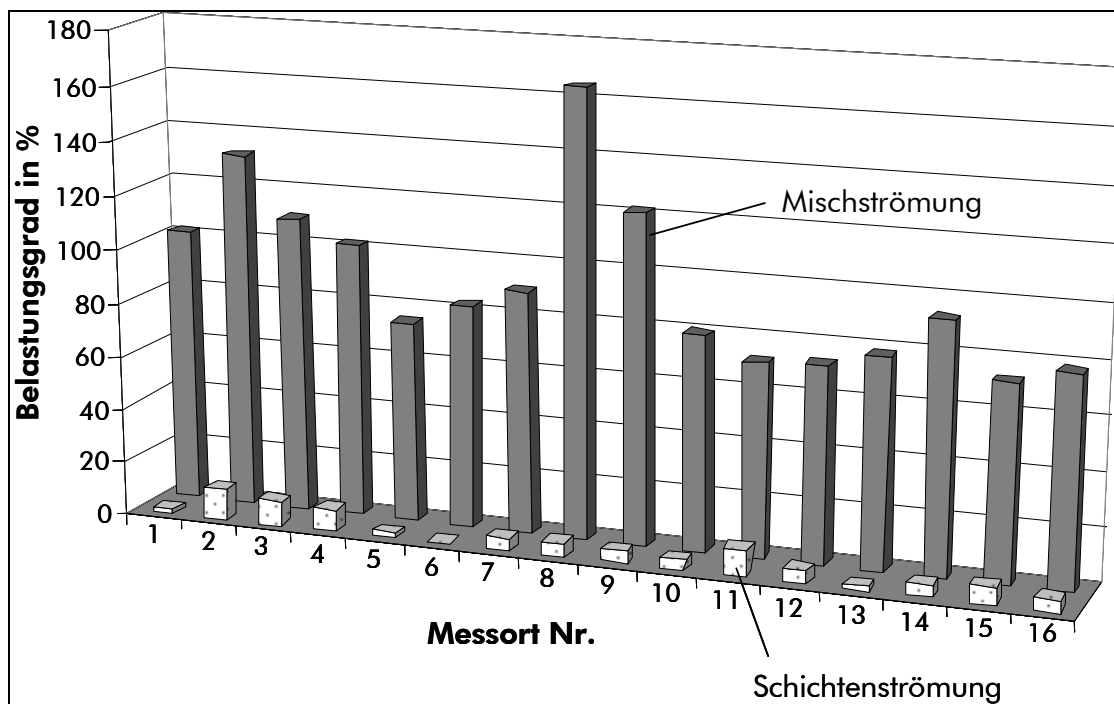


Abbildung 12:  
Örtliche Gefahrstoffbelastung an Arbeitsplätzen bei unterschiedlicher Luftführung





Die Ergebnisse resultieren aus Untersuchungen in einem Bereich einer Aluminiumgießerei, in der Motorteile für die Automobilindustrie gegossen werden. Durch Einsatz einer Schichtenströmung gegenüber einer Mischströmung verbessert sich der Belastungsgrad im Aufenthaltsbereich bei gleichem Luftstrom nahezu um den Faktor 10 (Abbildung 12).

Schichtenströmungen führen auch zu einer Reduzierung der thermischen Belastung innerhalb des Aufenthaltsbereiches. Allerdings ist der Belastungsgrad durch Wärmeabgabe höher als der stoffliche Belastungsgrad. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die Wärme von den Wärme abgebenden Produktionseinrichtungen zu ca. 50 % durch Strahlung und nur zu ca. 50 % durch Konvektion abgeführt wird. Die durch Strahlung abgegebene Wärme wird zu wesentlichen Teilen innerhalb des Aufenthaltsbereiches wirksam, sodass der thermische Belastungsgrad in der Größenordnung von  $\mu_{\text{therm}}$  im Allgemeinen mit  $\mu = 0,5$  zu erwarten ist.





## 9 Brand- und Explosionsschutz beim Einsatz von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen <sup>1</sup>

Axel van Ryn,  
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln

### 9.1 Einleitung

In der Metall verarbeitenden Industrie werden nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe (nwm KSS) eingesetzt – technisch bedingt dort, wo eine hohe Schmierwirkung und eine Reibungsverminderung gefordert werden. Aufgrund immer kürzerer Prozesszeiten werden zunehmend KSS mit niedriger Viskosität eingesetzt, wodurch das Risiko von Brand- und Explosionsgefahren steigt. Hier sind präventive Maßnahmen erforderlich, um Unfälle mit Verletzungen von Beschäftigten zukünftig vermeiden zu können. Daneben sind auch die gesundheitsschädigenden Wirkungen bei Hautkontakt und Einatmen der je nach Anwendung mehr oder weniger stark entstehenden KSS-Dämpfe und -Aerosole nach wie vor von großer Bedeutung.

Brände und Explosionen sind zwar nicht die häufigsten Ursachen von Arbeitsunfällen, ihre Folgen können aber tödlich sein und sind häufig mit großen wirtschaftlichen Schäden verbunden. Primäres Ziel ist es, durch geeignete Maßnahmen die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre bzw., wenn dies nicht möglich ist, wirksame Zündquellen zu vermeiden. Da dies beim aktuellen Stand der Technik nicht immer gelingt, sind konstruktive Maßnahmen erforderlich, um die Auswirkungen von Explosionen einschränken.

Im Folgenden werden Maschinen zur spanenden Metallbearbeitung betrachtet, bei denen nwm KSS zum Einsatz kommen. Schutzmaßnahmen beim Umgang mit wassergemischten KSS (wg KSS), die ebenso weit verbreitet sind, werden nicht behandelt. Bei

---

<sup>1</sup> Die im Folgenden gezeigten Darstellungen enthalten Gedankenmodelle, die nicht alle wissenschaftlich hinterlegt sind. Der Begriff Explosion ist im weiteren Sinne zu verstehen. Oftmals handelt es sich um eine Verpuffung (druckschwache Explosion).



den meist anzutreffenden Gebrauchskonzentrationen von fünf bis acht Prozent in Wasser bestehen beim Einsatz von wg KSS keine Brand- und Explosionsgefahren.

## 9.2 Unfallgeschehen und Ursachen

Immer wieder kommt es beim Einsatz von nwm KSS zu Unfällen mit unterschiedlichen Ursachen. Oft sind dies Unregelmäßigkeiten während des Bearbeitungsverfahrens. Eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebes ist jede sicherheitstechnisch bedeutende Abweichung nach unten vom bestimmungsgemäßen Betrieb. Hierzu zählen u. a. Ereignisse, die Brände oder Explosionen zur Folge haben.

1993 ereignete sich in einem Metall bearbeitenden Betrieb bei einer Verpuffung an einer automatischen Bohr- und Fräsmaschine ein tödlicher Unfall. Der eingesetzte nwm KSS mit einem Flammpunkt von ungefähr 140 °C verspritzte und vernebelte aufgrund hoher Drehzahlen sehr stark. Durch eine Verpuffung im Maschineninneren ohne größere unmittelbare Auswirkungen wurde unverbranntes Aerosol-Luft-Gemisch nach außen getragen. Eine nachfolgende Flammenfront löste eine Sekundärexplosion bzw. Stichflamme aus, die den Maschinenbediener erfasste. Dessen durch das Abblasen von Werkstücken mit KSS benetzte Kleidung sowie die Kunststoffanteile seines Hemdes verschlimmerten die Flammenwirkung [1].

In einem anderen Fall war das kurzzeitige Aussetzen (weniger als eine Sekunde) des Hochdruckspülstrahls Ursache von Bränden an mehreren Drehmaschinen. Die nicht mehr gekühlten Späne zündeten die noch im Maschinenraum vorhandene Sekundärzerstäubung des nwm KSS [2].

Ein Unfall mit ähnlicher Ursache ereignete sich an der in Abbildung 1 (siehe Seite 139) dargestellten Drehmaschine. Mithilfe von mehreren Gliedergelenkschläuchen wurde der nwm KSS auf die Bearbeitungsstelle geleitet. Durch eine Anhäufung von Spänen am Werkstück wurden die Gliedergelenkschläuche mechanisch verstellt mit der Folge einer unzureichenden Kühlung an der Bearbeitungsstelle. Durch die folgende Überhitzung in der Kontaktzone von Werkzeug und Werkstück entzündete sich der nwm KSS. Die Gliedergelenkschläuche sowie Teile des Gehäuses zerschmolzen beim





anschließenden Brand. Aufgrund der hohen Wärmeentwicklung haben sich statische Bauteile der Maschine verformt, so dass ein hoher Sachschaden entstand.



Abbildung 1:  
Brand an einer Drehmaschine aufgrund mangelnder KSS-Zufuhr

An einer Schleifmaschine ereigneten sich immer wieder Brände. Nach langer Suche wurde ein defekter Messtaster gefunden. Das Umschalten vom Eilgang in den Bearbeitungsvorschub mit diesem Taster versagte, da dieser aufgrund von eingedrungenem KSS nur zeitverzögert reagierte und die Schleifscheibe somit im Eilgang auf das Werkstück fuhr. Die dabei entstehende heiße Oberfläche konnte das Gemisch im Maschinengehäuse entzünden [2]. Heiße Oberflächen sind die wesentlichsten Zündquellen für Brände von nwm KSS in Werkzeugmaschinen [3].

Bei einem internationalen Automobilhersteller entstand 2004 bei einer Explosion ein Sachschaden in sechsstelliger Höhe, verbunden mit einem 24-stündigen Produktionsausfall. Während der Aluminiumbearbeitung fuhr ein Fräswerkzeug auf eine Spannpratze aus Stahl und erzeugte aufgrund der hohen Schnittparameter mechanische Funken. Die dabei entstandene Flammenfront breitete sich über die Abluftleitungen aus und entzündete die im Abscheider angesammelten nwm KSS.

### 9.3 Schutzmaßnahmen vor Brand- und Explosionsgefahren

Das Flussdiagramm in Abbildung 2 (siehe Seite 140) gibt eine Übersicht über die im folgenden Abschnitt erläuterten Schutzmaßnahmen. Die Rangfolge der Maßnahmen findet sich auch in der BGR 104 [4] sowie in der Norm DIN EN 1127-1 [5] wieder.

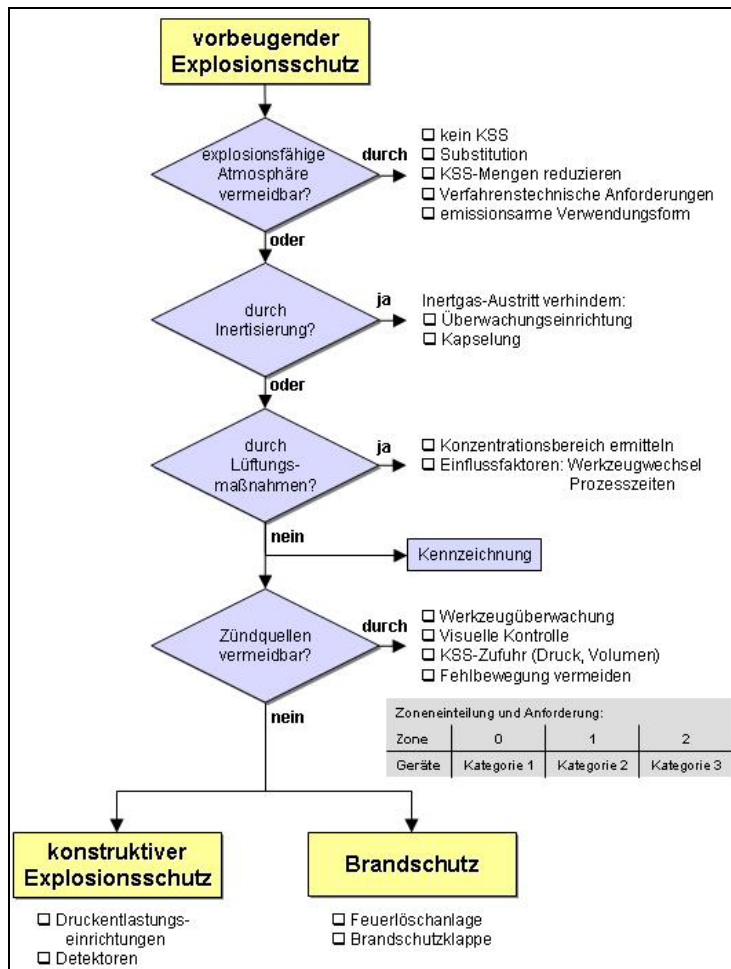


Abbildung 2: Übersicht über die Rangfolge der Schutzmaßnahmen bei Brand- und Explosionsgefahren

### 9.3.1 Vorbeugender Explosionsschutz

#### 9.3.3.1 Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre

Eine explosionsfähige Atmosphäre kann während der spanenden Metallbearbeitung durch das Zerstäuben von KSS entstehen. So werden z. B. bei schnell rotierenden Teilen, wie Werkstücke in einem Drehautomaten oder Schleifscheiben, die mit einem KSS-Film behaftet sind, aufgrund der Zentrifugalkräfte Flüssigkeitsteilchen zerstäubt und in die Umgebungsluft geschleudert [6]. Die Übersicht in Tabelle 1 (siehe Seite 141) gibt die Rangfolge von Maßnahmen zur Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre wieder.



Tabelle 1:  
Übersicht über Maßnahmen zur Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre  
beim Einsatz von nwm KSS

Maßnahme		Umsetzung
1	kein KSS	z. B. Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC – High Speed Cutting)
2	Gefahrstoffsubstitution	durch wg KSS (TRGS 611 [7] beachten)
3	Mengen reduzieren	durch Minimalmengenschmierung <input type="checkbox"/> Esteröle besser als Mineralölprodukte <input type="checkbox"/> hohe Viskosität (32 mm <sup>2</sup> /s) <input type="checkbox"/> richtige Zerspanungsparameter wählen
4	verfahrenstechnische Anforderungen	nach VDI 3035 [8]: <input type="checkbox"/> Volumenstrom <input type="checkbox"/> Druck <input type="checkbox"/> Temperatur <input type="checkbox"/> Behälterdimensionierung
5	emissionsarme Verwendungsform	<input type="checkbox"/> Reduzierung von Aerosolen durch Additive <input type="checkbox"/> Reduzierung von Dämpfen durch emissionsarme Grundöle mit hoher Viskosität und hohem Flammpunkt

Zunächst ist zu prüfen, ob ein Fertigungsverfahren gewählt werden kann, bei dem der Einsatz von KSS, wie u. a. beim High Speed Cutting (HSC), entfällt. Die Einsatzmöglichkeiten des HSC sind jedoch beschränkt (z. B. Bearbeitung von Aluminium).

Als nächste Maßnahme ist eine Gefahrstoffsubstitution in Betracht zu ziehen: Kann der nwm KSS durch Stoffe ersetzt werden, die nicht zu einer Explosionsgefahr führen? Hier bietet sich ein Austausch durch wg KSS an. Bei deren Einsatz sind allerdings die Verwendungsbeschränkungen bzw. Pflegehinweise gemäß TRGS 611 [7] zu beachten. Ist eine Substitution nicht möglich, sollte versucht werden, die Menge des eingesetzten nwm KSS zu reduzieren. Dies kann z. B. durch eine Umstellung auf Minimalmengenschmierung (MMS) erfolgen.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts [9] wurden die Konzentrationen entstehender Dämpfe und Aerosole beim Einsatz von Esterölen und Schmierstofffertigprodukten



u. a. bei der MMS untersucht. Die untersuchten Esteröle (ohne Zusatz von Additiven) zeichneten sich durch sehr gute Schmiereigenschaften, einen hohen Flammpunkt von 176 bis über 300 °C und eine geringe Verdampfungsneigung aus. Darüber hinaus gelten sie als dermatologisch unbedenklich. Die Fertigprodukte basierten auf unterschiedlichen Grundölen, denen verschiedene Additive zugesetzt waren.

Die Messstelle lag nahe am Zerspanwerkzeug, also in unmittelbarer Umgebung einer möglichen Zündquelle (z. B. bei Werkzeugbruch), womit eine Beurteilung der Explosionsgefahr in Abhängigkeit vom eingesetzten KSS möglich wurde. Bei den Esterprodukten lagen die Emissionswerte bei 5 mg/m<sup>3</sup>. Eine Ausnahme bildeten niedrig viskose Ester mit einer Viskosität kleiner 32 mm<sup>2</sup>/s, diese zeigten mit bis zu 40 mg/m<sup>3</sup> deutlich höhere Emissionswerte. Bei der Wahl ungünstiger Zerspanungsparameter stiegen die Dampf- und Aerosolemissionen um den Faktor 10 an, wobei die Aerosolfraction mit ungefähr 90 % einen deutlich höheren Anteil aufwies. Bei den Fertigprodukten lagen die Emissionen in der Regel zwischen 10 und 30 mg/m<sup>3</sup>.

Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass Esteröle aufgrund geringerer Emissionen grundsätzlich vorteilhafter sind als Mineralölprodukte. Bei der MMS begünstigen nwm KSS mit hoher Viskosität die Vermeidung einer explosionsfähigen Atmosphäre und sind daher bevorzugt einzusetzen [9].

Im Hinblick auf Maßnahmen zur Vermeidung einer explosionsfähigen Atmosphäre sind auch verfahrenstechnische Anforderungen, z. B. Art und Weise des Eintrags von nwm KSS (Düsengeometrie), zu berücksichtigen. So sollten der zugeführte KSS-Volumenstrom und der Druck optimal aufeinander abgestimmt sein. Ebenso darf die Temperatur des umlaufenden nwm KSS nicht zu hoch sein, da sonst zum einen die Kühlwirkung abnimmt und zum anderen der Verdampfungsanteil und damit die Explosionsgefahr ansteigen. Weiterhin wird in der VDI 3035 [8] gefordert, eine ausreichende Auslegung des KSS-Behälters und ggf. eine Temperierung des nwm KSS zu berücksichtigen.

Ist der Einsatz von nwm KSS unumgänglich, lässt sich die Aerosolbildung durch Antinebeladditive reduzieren. Diese Zusätze sind besonders bei niedrig viskosen KSS



wirksam. Die Bildung von KSS-Dämpfen kann durch die Auswahl von emissionsarmen Grundölen, wie z. B. Hydrocracksolvate, Solventraffinate oder synthetische Esteröle, reduziert werden. Auch durch den Einsatz von Multifunktionsölen können die Emissionen verringert werden [8]. Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundesministeriums für Forschung und Technologie [10] konnte die emissionsreduzierende Wirkung nachgewiesen werden.

Als Richtwert zur Auswahl eines emissionsarmen nwm KSS haben sich in Abhängigkeit von der Viskosität insbesondere der Flammpunkt sowie der Verdampfungsverlust nach *Noack* bei 250 °C gemäß DIN 51581-1 [11] bewährt [12].

Als Schutzmaßnahme zur Vermeidung einer explosionsfähigen Atmosphäre ergibt sich somit für die Praxis, dass möglichst nwm KSS mit einer hohen Viskosität und einem niedrigen Verdampfungsverlust nach *Noack* eingesetzt werden sollten. Technische Maßnahmen wie Düsengeometrie und Kühlung des KSS sind ebenso zu betrachten wie der Einsatz von Additiven (Antinebelzusätze).

### 9.3.2.1 Inertisierung

Ist die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre durch entsprechende Maßnahmen nicht vermeidbar, ist zu prüfen, ob vorbeugender Explosionsschutz durch verfahrenstechnische Maßnahmen zu erreichen ist. Eine Möglichkeit bildet z. B. eine Inertisierung des Anlageninneren, da die Explosionsgrenzen nicht nur von der Ölkonzentration, sondern auch von der Sauerstoffkonzentration abhängen. Durch kontinuierliche Zufuhr von Inertgasen, wie z. B. Stickstoff, in das Anlageninnere wird die Sauerstoffkonzentration herabgesetzt. Dabei muss ein Austritt von Inertgas in den Arbeitsbereich sicher ausgeschlossen werden. Hierzu ist eine entsprechende Überwachungseinrichtung erforderlich. Um den Gasverbrauch zu minimieren, ist die Maschinenkapselung entsprechend auszulegen.

Forderungen des Arbeitsschutzes sowie wirtschaftliche Aspekte zeigen, dass diese Schutzmaßnahme zwar theoretisch denkbar, jedoch für die spanende Metallbearbeitung in der Regel nicht praktikabel ist.



### 9.3.1.3 Lüftungsmaßnahmen

Absauganlagen beeinflussen die Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre und damit die Zoneneinteilung (siehe hierzu [4] und [13]). Sie haben folgende Aufgaben:

- Einhaltung des für KSS bisher gültigen Luftgrenzwertes von  $10 \text{ mg/m}^3$ ,
- Minimierung von Emissionen am Arbeitsplatz,
- Verringerung von KSS-Ablagerungen in Rohrleitungen und
- möglichst geringe Frischluftzufuhr in die Einhausung.

Daraus ergeben sich gegensätzliche Anforderungen an Absauganlagen. Einerseits sollen Dämpfe und Aerosole aus dem Bearbeitungsbereich abgesaugt werden, andererseits ist damit – aufgrund der Massenkonstanz – zwangsläufig eine Ansaugung von Frischluft aus der Umgebung in die Einhausung der Maschine verbunden. Die Frischluftzuführung wirkt sich jedoch negativ auf den Brand- und Explosionsschutz aus, da sie die Konzentration der Atmosphäre beeinflusst (Abbildung 3).

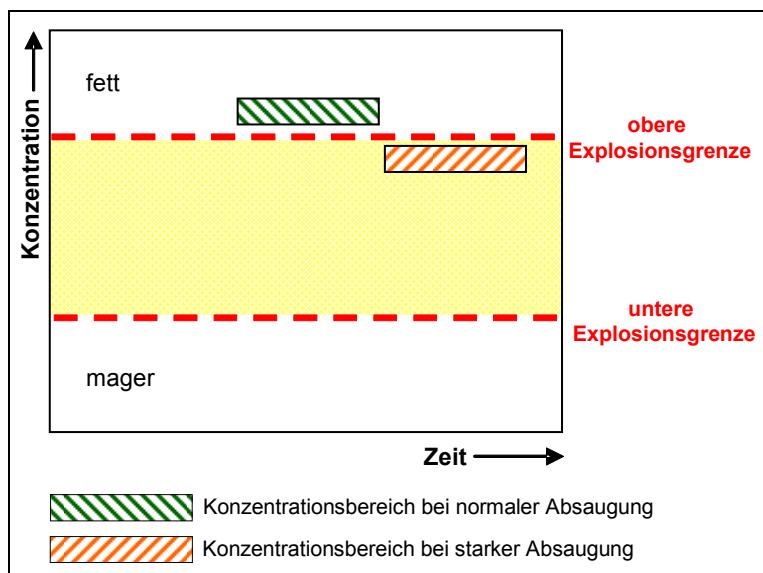


Abbildung 3:  
Auswirkung der Absaugleistung auf die Konzentration der Atmosphäre im Bereich der Oberen Explosionsgrenze

Unter der Annahme, dass im Anlageninneren ein zu fettes Gemisch vorliegt, kann sich aufgrund der mit der Absaugung verbundenen Frischluftzufuhr temporär eine Konzentration unterhalb der oberen Explosionsgrenze einstellen. Somit wird ein explosionsfähiger Bereich bei Normalbetrieb geschaffen. Dieser Zustand wird entweder



annähernd gehalten oder die Konzentration senkt sich weiter bis unterhalb der unteren Explosionsgrenze ab.

Ausschlaggebend ist der Lüftungsgrad, wie in [14] erläutert. Dies hat zur Folge, dass für den ersten Fall die Zone 1 festgesetzt werden muss und für den zweiten Fall Zone 2 (siehe auch Seite 148). In beiden Fällen liegt über eine gewisse Zeitspanne ein gefährlicher Konzentrationsbereich vor.

Aufgrund weiterer Einflussgrößen wie z. B. unterschiedlicher Stellungen des Werkzeugs, besonders beim Einsatz von mehreren Werkzeugen, kann es zu sich ständig ändernden Strömungsverhältnissen innerhalb des Maschinengehäuses kommen. Liegen kleine Prozesszykluszeiten, verbunden mit einem automatischen oder auch manuellen Werkstückwechsel vor, werden die Konzentrationsbereiche ständig durchlaufen. Es muss also mit sich ständig ändernden Mischungsverhältnissen gerechnet werden. Dies hat zur Folge, dass eine explosionsfähige Atmosphäre nicht nur kurzzeitig auftreten kann (Zone 2) sondern gelegentlich (Zone 1). Damit sind Geräte und Schutzsysteme gemäß ATEX 95 [15] auszuwählen, d. h. für Zone 1 mindestens Kategorie 2G. Bei elektrischen Betriebsmitteln sind ferner die Bestimmungen nach DIN VDE 0165, Teil 1 [14] und DIN VDE 0170/0171 [16] einzuhalten.

Betrachtet man dies im Bereich der unteren Explosionsgrenze (Abbildung 4, Seite 146), so ergibt sich hier durchaus die Notwendigkeit einer Absauganlage mit hoher Leistung. Damit kann die untere Explosionsgrenze unterschritten und somit Zone 2 erreicht werden. Geräte und Schutzsysteme müssen dann der Kategorie 3G entsprechen [15].

Die Absaugleistung ist letztendlich dem jeweiligen Konzentrationsbereich, in dem der Bearbeitungsvorgang abläuft, anzupassen. Es ist also notwendig, den Konzentrationsbereich zu kennen. In der Praxis wird in der Regel zu viel abgesaugt. Dies wird häufig deutlich durch hohe KSS-Rückstände im Rohrsystem. Vermutlich wird eher in einem Konzentrationsbereich oberhalb der oberen Explosionsgrenze als unterhalb der unteren gearbeitet. Durch eine zu hohe Absaugleistung besteht dann die Gefahr, in einen explosionsfähigen Bereich zu gelangen.

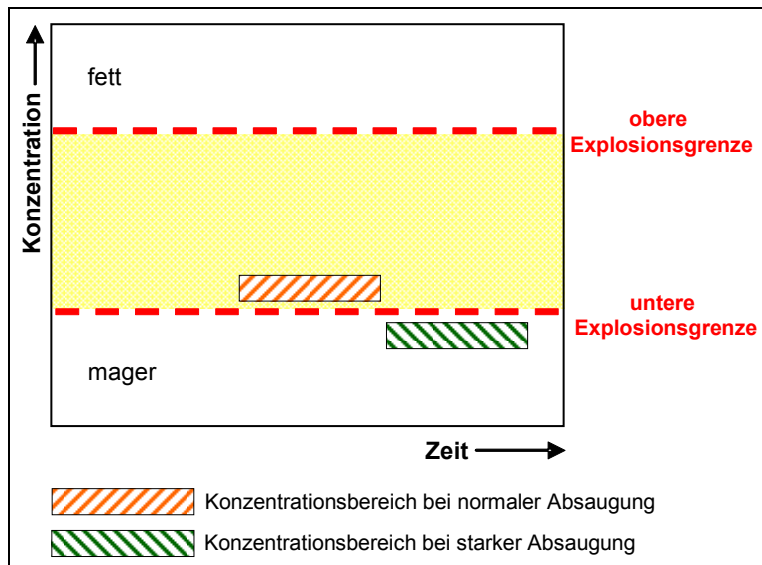


Abbildung 4:  
Auswirkung der Absaugleistung auf die Konzentration der Atmosphäre im Bereich der unteren Explosionsgrenze

Zusammenfassend lässt sich gemäß diesem Gedankenmodell feststellen, dass bei Lüftungsmaßnahmen als Brand- und Explosionsschutz eine Absaugung nur unter Berücksichtigung der vorliegenden Konzentration sinnvoll ist. Bei fetten Gemischen oberhalb der oberen Explosionsgrenze entstehen explosionsschutztechnische Vorteile durch geringere Absaugleistung. Erfahrungsgemäß können die bisher gültigen Luftgrenzwerte auch mit geringer Absaugleistung eingehalten werden. Bei mageren Gemischen ist jedoch eine höhere Absaugleistung zum sicheren Unterschreiten der unteren Explosionsgrenze erforderlich. Dieses Ergebnis erscheint vorerst paradox, ergibt sich aber bei näherer Betrachtung des Sachverhaltes. Wichtig ist somit die Kenntnis des Konzentrationsbereiches, in dem der Fertigungsprozess abläuft.

#### 9.3.1.4 Kennzeichnung

Liegt eine explosionsfähige Atmosphäre vor, ist der Bereich mit dem Warnzeichen W21 zu kennzeichnen (Abbildung 5).



Abbildung 5:  
Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre





Explosionsgefährdete Bereiche liegen vor, wenn die

- Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre grundsätzlich möglich und zu erwarten ist und
- Schutzmaßnahmen lediglich zu einer Einschränkung, nicht aber zu einer sicheren Verhinderung des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre führen.

### 9.3.1.5 Vermeiden wirksamer Zündquellen

Zündquellen können sich zum einen aus dem Bearbeitungsprozess selbst ergeben, zum anderen auch aus den mit dem Verarbeitungsprozess in Zusammenhang stehenden Geräten, Schutzsystemen bzw. Komponenten. Die Wirksamkeit einer Zündquelle hängt von der Entzündbarkeit des brennbaren Stoffes ab. Kann die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer wirksamen Zündquelle nicht abgeschätzt werden, ist davon auszugehen, dass die Zündquelle stets vorhanden ist [5]. Wesentliche Zündquellen bei der spanenden Metallbearbeitung, die einen Brand oder eine Explosion auslösen können, sind

- heiße Oberflächen: Werkzeug, Werkstück, Lampen, Spulen
- mechanisch erzeugte Funken: Funkenregen (Schleifen), einzelne Funken (z. B. Schlagvorgänge), Fremdmaterialeinschlüsse im Werkstück, Brüche an rotierenden Teilen (z. B. Werkzeugbruch)
- elektrische Funken: Lichtbogen durch Schaltvorgänge (z. B. Türkontakte), Ausgleichsströme, statische Entladung, Wackelkontakte

Diese Zündquellen können vermieden werden durch [3]

- Werkzeugüberwachung, z. B. Überwachung der elektrischen Leistungsaufnahme der Antriebseinheit,
- regelmäßige visuelle Kontrolle der Werkzeuge,



☐ Kontrolle der richtigen KSS-Zufuhr durch Überwachung von Druck und Volumenstrom (siehe auch VDI 3035 [8]) und automatische Unterbrechung im Störfall sowie

☐ Überwachung von Fehlbewegungen.

Es muss sichergestellt werden, dass eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre und eine wirksame Zündquelle nie gemeinsam, d. h. zur gleichen Zeit am gleichen Ort, auftreten. Dazu muss abgeschätzt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit mit der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen ist. Nach dieser Wahrscheinlichkeit werden die betroffenen Bereiche in Zonen (Tabelle 2) [4; 13] eingeteilt. Die Anforderungen zur Vermeidung von Zündquellen richten sich nach den Gegebenheiten der jeweiligen Zone.

Tabelle 2:  
Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche

Ursache	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ist vorhanden		
	ständig, über lange Zeiträume oder häufig	gelegentlich bei Normalbetrieb	normalerweise nicht oder kurzzeitig bei Normalbetrieb
Gase, Dämpfe, Nebel	Zone 0	Zone 1	Zone 2
Stäube	Zone 20	Zone 21	Zone 22

In Versuchen bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) [3] wurde festgestellt, dass beim Versprühen von nwm KSS in Werkzeugmaschinen immer mit dem Auftreten von Bereichen gerechnet werden muss, in denen der KSS-Sprühnebel zündbar ist. Dies gilt unabhängig von der Tröpfchengröße für nebelarme KSS und für KSS mit hoher Viskosität. Weiterhin ist dies unabhängig von der chemischen Beschaffenheit, vom Flammpunkt und von der Zündtemperatur des eingesetzten KSS. Somit ist nicht auszuschließen, dass Zone 2 innerhalb von Werkzeugmaschinen zumindest in Teilbereichen vorhanden ist.



### 9.3.2 Konstruktiver Explosionsschutz

Wenn Maßnahmen des vorbeugenden Explosionsschutzes keine ausreichende Sicherheit vor Explosionen gewährleisten, müssen nach DIN EN 1127-1 [5] und BGR 104 [4] konstruktive Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Dadurch sollen die Auswirkungen einer möglichen Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränkt werden. In der spanenden Metallbearbeitung unter Einsatz von nwm KSS werden dazu überwiegend Druckentlastungseinrichtungen eingesetzt.

#### 9.3.2.1 Druckentlastungseinrichtungen

Aufgabe einer Druckentlastungseinrichtung ist es, beim Entstehen einer Explosion bzw. Verpuffung das ursprünglich abgeschlossene Maschinengehäuse an einer definierten Stelle kurzfristig bzw. bleibend zu öffnen, um den Aufbau eines unzulässig hohen Drucks im Maschinengehäuse zu verhindern. Das Öffnen geschieht bei Erreichen eines Ansprechdrucks [4].

Da Maschinengehäuse eine geringe Druckfestigkeit ( $< 0,1$  bar) haben [17], liegt der Ansprechdruck unterhalb von  $0,1$  bar. Durch die Freigabe der definierten Öffnungen wird dafür gesorgt, dass im Gehäuseinneren ein Druckabbau erfolgen kann. Dadurch wird das Maschinengehäuse nicht mit einem über seine Festigkeit hinausgehenden Explosionsdruck beaufschlagt, sodass keine Flammen herausschlagen und Personen gefährden können. Eine Druckentlastungseinrichtung in der Ausführung als Explosionsklappe öffnet sich nur kurzzeitig und verschließt sich wieder. Sie darf nur verwendet werden, wenn ihre Funktionsfähigkeit durch Explosionsversuche nachgewiesen wurde [4; 17].

Druckentlastungseinrichtungen müssen konstruktiv so ausgelegt sein, dass bei einer Explosion deren Wegfliegen z. B. durch eine Befestigung mit einem Stahlseil sicher verhindert wird. Ihre Wirkungsweise ist grundsätzlich durch eine Baumusterprüfung nachzuweisen. Die Dimensionierung wird unter [17] beschrieben. Die Mindestdruckentlastungsfläche soll  $0,1 \text{ m}^2$  pro  $\text{m}^3$  Maschinenarbeitsvolumen betragen [18].



In Abbildung 6 ist die Anordnung einer Druckentlastungseinrichtung an einem Maschinengehäuse zu erkennen. Die Anordnung ist wichtig, da neben dem Druckabbau auch unverbranntes Gemisch und Verbrennungsgase durch die Öffnung ins Freie gelangen können. Die Druckentlastung soll möglichst auf kurzem geradem Weg erfolgen.



Abbildung 6:  
Beispiele einer Anordnung einer Druckentlastungseinrichtung

Beim Ansprechen einer Druckentlastungseinrichtung muss mit erheblichem Flammenaustritt und entsprechender Nachverbrennung im Freien gerechnet werden. Daher muss die Anordnung der Druckentlastungseinrichtungen die Entlastung und einen eventuellen Flammenaustritt in Bereiche ableiten, in denen für Personen keine Gefährdungen durch wegschleudernde Teile bzw. Druck- oder Flammenwirkung auftreten können [4; 17]. So ist darauf zu achten, dass die Maschine in Abbildung 6 nicht unterhalb eines höher gelegenen Arbeitsplatzes oder eines Verkehrsweges (z. B. ein Treppenaufgang) aufgestellt wird, da dort Personen gefährdet werden könnten.

Durch Druckentlastungseinrichtungen, die mit Flammensperren z. B. aus feinmaschigem Gewebe ausgestattet sind, können Gefährdungen durch austretende Flammen vermindert werden. Dieses Rückhaltesystem behindert jedoch den Druckentlastungsvorgang, was bei der Dimensionierung der Mindestdruckentlastungsfläche zu berücksichtigen ist. Weiterhin ist zu beachten, dass zwar weniger Flammen, aber dennoch heiße Verbrennungsprodukte austreten.

### 9.3.2.2 Detektoren

Detektoren erkennen einen Brand oder eine Explosion und leiten entsprechende Schutzmaßnahmen ein:



- ❑ Wärmemelder reagieren auf Temperaturänderungen.
- ❑ Flammenmelder erkennen die markanten Lichtreflexe, die Flammen beim Flackern abgeben und lösen ab einer gewissen Intensität Schutzmaßnahmen aus.
- ❑ Differentialmelder sprechen an, wenn die Änderungsgeschwindigkeit, z. B. der Temperatur, einen bestimmten Wert überschreitet [19].
- ❑ Druckdetektoren messen ständig den Prozessdruck und dessen Änderungen. Ein Explosionsdruckanstieg unterscheidet sich von normalen Prozessdruckschwankungen aufgrund der Geschwindigkeit des Druckaufbaus. Dadurch kann ein Druckdetektor eine Explosion erkennen.

Beim Einsatz von nwm KSS in der spanenden Metallbearbeitung steht die Branderkennung im Vordergrund. Der Druck wird über Druckentlastungskappen abgeleitet. Somit werden überwiegend Flammenmelder oder Wärmemelder eingesetzt.

### **9.3.3 Beschaffenheitsanforderungen an Geräte, Schutzsysteme und Komponenten**

Geräte, Schutzsysteme und Komponenten stellen im Zusammenhang mit dem Verarbeitungsprozess eine mögliche Zündquelle dar. Mit den Beschaffenheitsanforderungen sollen diese Zündquellen unschädlich gemacht oder die Wahrscheinlichkeit des Auftretens wirksamer Zündquellen verringert werden [5]. Aus diesem Grunde wird eine Kennzeichnung nach ATEX 95 [15] erforderlich.

Die Kennzeichnung dient zur Auswahl von geeigneten Geräten, Schutzsystemen und Komponenten und lässt sich der Zoneneinteilung zuordnen. Angegeben werden die Gerätegruppe, Gerätekategorie, Zündschutzart, Explosionsgruppe, Temperaturklasse sowie die Gehäuseschutzart für elektrische Betriebsmittel.

Wie im Abschnitt über Lüftungsmaßnahmen (siehe Seite 144 ff.) beschrieben, ist bei fetten Gemischen mit Zone 1 zu rechnen. Elektrische Betriebsmittel müssen bau-mustergeprüft sein und mit dem Ex-Zeichen gekennzeichnet sein.



### 9.3.4 Feuerlöschanlagen

Feuerlöschanlagen gehören zum „Technischen Brandschutz“ für Maschinen und sind Bestandteil des „Vorbeugenden Brandschutzes“ [20]. Zu Feuerlöschanlagen gehören im Wesentlichen folgende Komponenten:

- Löschmittelbehälter,
- Auslösevorrichtung,
- Schlauchleitungen,
- Löschdüsen,
- Steuergerät,
- akustische und optische Alarmierung.

Es können unterschiedliche Löschmittel verwendet werden, deren Löscheffekte entweder auf Sauerstoffverdrängung ( $\text{CO}_2$ , Inertgase) oder auf Wärmeentzug beruhen. Pulver als Löschmittel ist aufgrund des durch den Einsatz folgenden Maschinenschadens nicht zu empfehlen.

#### 9.3.4.1 $\text{CO}_2$ -Feuerlöschanlagen

Bei diesen Feuerlöschanlagen wird als Löschmittel Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) eingesetzt. Im Brandfall gibt der Brandmelder (Abbildung 7) ein Signal an das Steuergerät, das die  $\text{CO}_2$ -Löschanlage auslöst. Das  $\text{CO}_2$ -Löschmittel strömt durch Löschdüsen aus und verdrängt den zur Brandreaktion erforderlichen Luftsauerstoff; das Feuer wird erstickt.



Abbildung 7:  
Brandmelder



Die Auslösung muss auch manuell z. B. durch Betätigung eines genormten Druckknopfes erfolgen können (Abbildung 8) [21].

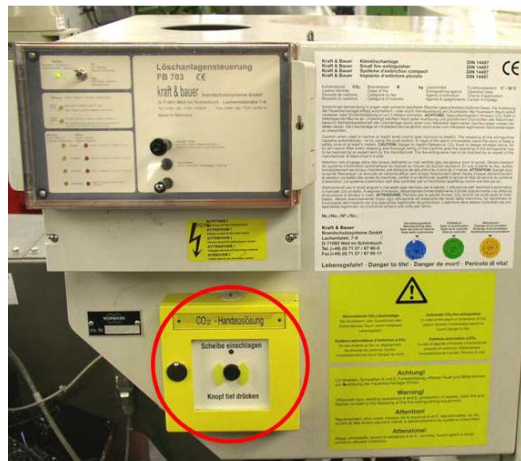


Abbildung 8:  
Steuereinheit und manueller Druckknopf

Kann die Einsatzmenge von Löschgas Personen gefährden, muss eine Vorwarnzeit wirksam werden. Dies ist bei CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von mehr als 5 Vol.-% im Löschbereich der Fall. Weiterhin sind eine akustische und ggf. zusätzlich eine optische Alarmeinrichtung erforderlich.

Ebenso ist an allen Zugängen zu den gefährdeten Bereichen eine Kennzeichnung mit dem Warnzeichen W00 „Warnung vor einer Gefahrenstelle“ gemäß Unfallverhütungsvorschrift BGV A8 [22] notwendig. Weiterhin müssen Zusatzzeichen mit der Aufschrift „CO<sub>2</sub>-Löschanlage“ und „Bei Feualarm oder Ausströmen von CO<sub>2</sub> gefährdeten Bereich sofort verlassen, Gesundheitsgefahr!“ angebracht werden [21].

### 9.3.4.2 Brandschutzklappen

Oftmals sind an Bearbeitungsmaschinen Absauganlagen angeschlossen. Gefahrstoffe werden dabei an der Entstehungsstelle erfasst und über Rohrleitungen einem Abscheider (Filter) zugeführt. Dazu wird ein Luftstrom erzeugt, der die Gefahrstoffe mitführt. Dies hat zur Folge, dass dem Maschinenraum kontinuierlich Frischluft und damit auch Sauerstoff von außen zugeführt wird. Im Falle eines Brandes wird dadurch das Feuer angefacht. Um dies zu verhindern, werden Brandschutzklappen (Abbildung 9, Seite 154) eingesetzt.



Abbildung 9:  
Brandschutzklappe

Aufgabe einer Brandschutzklappe ist es, die Absaugöffnung zu verschließen. Damit wird verhindert, dass weiter abgesaugt wird und Sauerstoff von außen in die Maschine nachströmt. Auch wird die Lüftungsanlage geschützt. Dies ist besonders bei vernetzten Anlagen von Bedeutung, um ein Übergreifen von Bränden/Flammen auf benachbarte Maschinen zu verhindern.

Brandschutzklappen bestehen aus einem Gehäuse aus nicht brennbarem Baustoff, einer beweglichen Klappe, einem Auslöseelement und einer Rückstellvorrichtung. Das Öffnen und Schließen der Klappe kann motorisch, manuell in Kombination mit einer Feder oder auch mithilfe einer Fernbedienung geschehen. Brandschutzklappen benötigen eine Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DiBt).

### 9.3.5 Wirkungsweise von Schutzmaßnahmen

Ein wirksamer Brand- und Explosionsschutz entsteht erst durch die Kombination der Komponenten

- Brandschutzklappe,
- Druckentlastungsklappe und
- Löschanlage.

Eine Ölnebelwolke entzündet sich, der Druck in der Maschine steigt, die Druckwelle bewegt sich vom Zündort fort und breitet sich aus. Sie erreicht die Druckentlastungsklappe und öffnet diese (Öffnungsdruck z. B. 20 mbar). Im Maschinenraum





erscheinen erste Flammen, die als Flammenfront der Druckwelle folgen. Die Brandschutzklappe wird geschlossen, sodass der Ölnebel nicht mehr abgesaugt und die Absauganlage vor einem andauernden Brand innerhalb des Maschinengehäuses geschützt wird. Gleichzeitig wird das Ansaugen von Frischluft unterbunden.

Nach dem Entweichen des Überdrucks schließt die Druckentlastungsklappe wieder selbständig, sodass auch hier keine weitere Sauerstoffzufuhr von außen möglich ist. Über die Steuereinheit wird die CO<sub>2</sub>-Löschanlage aktiviert und das Löschmittel über die Löschköpfe zum Brandherd geleitet; der Brand wird gelöscht.

#### **9.4 Zusammenfassung**

Beim Einsatz von nicht wassermischbaren KSS in der spanenden Metallbearbeitung ereigneten sich in der Vergangenheit immer wieder Brände und Explosionen bzw. Verpuffungen. Dabei sind Verletzungen von Beschäftigten – auch mit Todesfolge – verbunden mit hohen Sachschäden und Produktionsausfällen zu beklagen.

Diese Gefährdungen erfordern Schutzmaßnahmen, wobei das Vermeiden von explosionsfähiger Atmosphäre primäres Schutzziel ist. Dies lässt sich z. B. durch den Einsatz von KSS mit hoher Viskosität und hohem Flammpunkt bei gleichzeitig niedrigem Verdampfungsverlust erreichen.

Weiter wird aufgezeigt, dass innerhalb von Werkzeugmaschinen eine Einteilung in die Zone 1 in Abhängigkeit von Absaugung und Prozesszeit durchaus zu erwarten ist. Daher sind Zündquellen durch den Bearbeitungsprozess selbst und durch Betriebsmittel, z. B. durch Ausführung elektrischer Betriebsmittel entsprechend den Beschaffenheitsanforderungen nach Gerätekategorie 2G, zu vermeiden.

Zum konstruktiven Explosionsschutz gehören neben Feuerlöschanlagen zur Brandbekämpfung Druckentlastungsklappen mit integrierter Flammensperre als ganzheitlicher Brand- und Explosionsschutz.

Mit den dargestellten Informationen und Gedankenmodellen kann dem Leser eine Hilfestellung gegeben werden, wie Unfälle durch Brand und Explosion bzw.



Verpuffung zukünftig vermieden oder deren Auswirkungen zumindest begrenzt werden können.

## 9.5 Literatur

- [1] Explosionsschutz an Maschinen zur spanabhebenden Bearbeitung von Metallen. Vermerk des Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Gesundheit, Nr. II3/3112/2/94, München 1994
- [2] *Kähler, B.*: Brände an ölgekühlten Werkzeugmaschinen. Vortrag BIA-Seminar „Minderung der Gefahrstoffexposition“, Sankt Augustin, 30. September 1997
- [3] *Hirsch, W.; Hempel, D.; Förster, H.*: Untersuchung zum Explosionsschutz beim Einsatz von Kühlschmierstoffen in Werkzeugmaschinen. PTB-ThEx-2. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1997
- [4] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Explosionsschutz-Regeln (BGR 104). Carl Heymanns, Köln 2005
- [5] DIN EN 1127-1: Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz, Teil1: Grundlagen und Methodik (10.97). Beuth, Berlin 1997
- [6] Kühlschmierstoffe. BIA-Report 7/96. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1995
- [7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verwendungsbeschränkungen für wassermischbare bzw. wassergemischte Kühlschmierstoffe, bei deren Einsatz N-Nitrosamine auftreten können (TRGS 611). Ausg. 10/2002. BArbBl. (2002) Nr. 10, S. 67-72
- [8] VDI 3035: Anforderungen an Werkzeugmaschinen, Fertigungsanlagen und periphere Einrichtungen beim Einsatz von Kühlschmierstoffen (09/97). Beuth, Berlin 1997



- [9] *Stäbler, D.; Schönwald, M.; Sefrin, H.; Wolf, M.*: Gefährdungsbeurteilung bei der Trockenbearbeitung metallischer Werkstoffe sowie Abschlussbericht. Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, April 2003
- [10] *Kiechle, Hobelsberger, Darafsch, Freiler, Luther, Buß*: Entwicklung und technische Erprobung emissionsarmer Schmierstoffe unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe zur Verminderung der schadstoffbedingten Belastung der Umwelt durch organische Stoffe; BMFT Projekt 01 ZH 8821/5
- [11] DIN 51581-1. Prüfung von Mineralölerzeugnissen – Bestimmung des Verdampfungsverlustes – Teil 1: Verfahren nach Noack (3/2003). Beuth, Berlin 2003
- [12] Einsatz von Kühlschmierstoffen bei der spanenden Metallbearbeitung. BIA-Report 4/04. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004. [www.hvbg.de/bgja](http://www.hvbg.de/bgja), Webcode: 941742
- [13] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes vom 27. September 2002 (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV). BGBl. I (2002), S. 3777
- [14] DIN EN 60079-10 (DIN VDE 0165, Teil 101): Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche, Teil 10: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche (9/1996). Beuth, Berlin 1996
- [15] Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX-Produkt-Richtlinie). ABl. EG (1994) Nr. L 100, S. 1, zul. geänd. ABl. EG (2003) Nr. L 284, S. 1



- [16] DIN EN 50014 (DIN VDE 0170/0171 Teil 1): Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Allgemeine Bestimmungen (2/2000). Beuth, Berlin 2000
- [17] *Zimmermann, K.*: Explosionsdruckentlastung von spanabhebenden Werkzeugmaschinen; Forschungsbericht VDW 3002. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V., 1996
- [18] MRL-News – 13/12/01, Brand- und Explosionsschutz an Werkzeugmaschinen – Anforderungen, Schutzkonzepte und Diskussionen. Hrsg.: Elan Schaltelemente, Wettenberg 2001. [www.elan.de/tweb/ger/news/data/mrlnews.htm](http://www.elan.de/tweb/ger/news/data/mrlnews.htm)
- [19] DIN EN 54-1: Brandmeldeanlagen, Teil 1: Einleitung (10/1996). Beuth, Berlin 1996
- [20] DIN EN 13478: Sicherheit von Maschinen – Brandschutz (4/2002). Beuth, Berlin 2002
- [21] DIN EN 14497: Kleinlöschanlagen – Anforderungen, Prüfung (02/1990). Beuth, Berlin 1990
- [22] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften: Sicherheits- und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (BGV A8). Carl Heymanns, Köln 2002



## 10 Brand- und Explosionsschutz an Werkzeugmaschinen

Harald Sefrin,  
Berufsgenossenschaft Metall Süd, Mainz

In der europäischen Norm DIN EN 13478 [1] wird beschrieben, wie Hersteller und Konstrukteure ihren Verpflichtungen für die Festlegung des bestimmungsgemäßen Betriebs, zur Risikoanalyse und -bewertung, zu Schutzmaßnahmen sowie der Erstellung von Benutzerinformationen zum Restrisiko nachkommen können. Der Betreiber erhält anhand der Betriebsanleitung Informationen zur bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine, die er dann an seinen Prozess anpassen sollte und je nach Randbedingungen der Gesamtanlage eventuell durch zusätzliche Maßnahmen ergänzen muss.

Zur Umsetzung eines effektiven Brand- und Explosionsschutzes an Werkzeugmaschinen kann man beim Einsatz brennbarer nicht wassermischbarer Kühlschmierstoffe (KSS) auch eine Beispiel-Checkliste nach dem neuen Normentwurf E DIN 31007 [2] heranziehen. Darin werden das beispielhafte Vorgehen für eine Risikobeurteilung und entsprechende Maßnahmen zum Schutz vor Maschinenbränden und -explosionen geschildert.

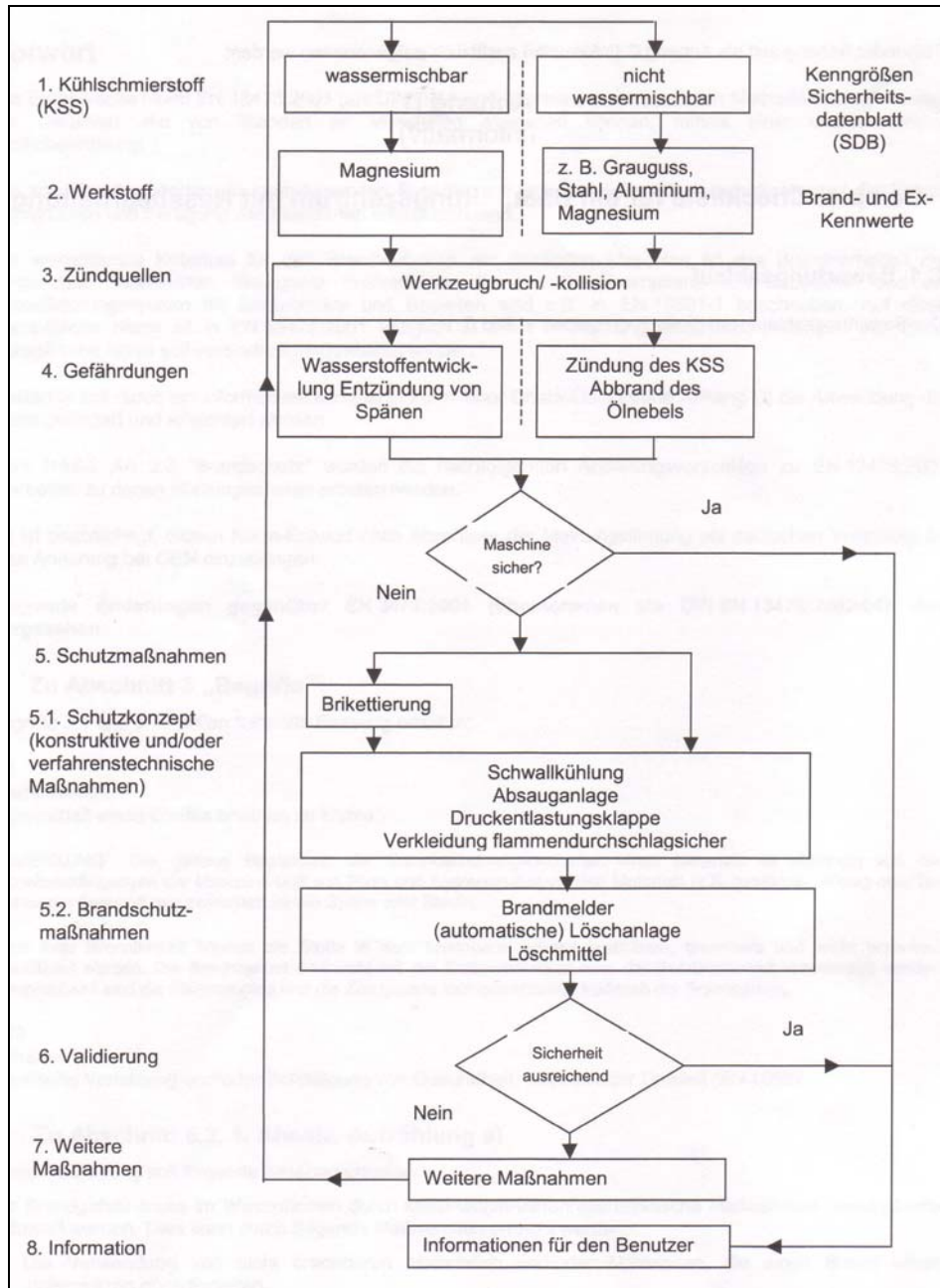
Anhand eines Flussdiagramms (Abbildung 1, Seite 160) führt E DIN 31007 den Anwender durch die Brandschutz-Checkliste für Bearbeitungszentren und handelt die wesentlichen Punkte

- Kühlschmierstoffe,
- Werkstoffe,
- Zündquellen,
- Gefährdungen und Schutzmaßnahmen

ab.



Abbildung 1:  
Flussdiagramm zur Gefährdungsermittlung nach E DIN 31007 [2]



Nach der Checkliste werden Bearbeitungsprozesse, bei denen wassergemischte KSS mit einem Öl- bzw. Konzentratanteil von weniger als 15 % zum Einsatz kommen, als unkritisch angesehen. In diesem Fall kann eine Explosionsgefahr aufgrund Verdampfung und Vernebelung der Emulsion sicher ausgeschlossen werden. In der Praxis



liegen die meisten Anwendungen mit Emulsionen – bis auf wenige Ausnahmefälle – weit unterhalb dieser Konzentrationsgrenze.

Aufwändiger ist die Bewertung der Gefährdungen beim Einsatz brennbarer nicht wassermischbarer KSS. Hinsichtlich der Brand- und Explosionsgefahr spielt deren „Qualität“ eine entscheidende Rolle, sie wird im Wesentlichen durch die verwendeten Basisöle bestimmt. Zur Beurteilung nicht wassermischbarer KSS können Kennwerte, wie z. B. Flammpunkt, Ölnebelindex oder Verdampfungsverlust, herangezogen werden.

Bei den zu bearbeitenden Werkstoffen – vor allem bei den Leichtmetallen Magnesium und Aluminium, aber auch bei Stahl oder Guss – sind neben den Brandkenngrößen (Brennzahl oder Brennbarkeit) die Korngrößen der Metallstäube entscheidend für das Ausmaß der Gefährdung.

Als vorrangige Zündquelle geht aus Untersuchungen von Bränden an Werkzeugmaschinen [3] in erster Linie der Werkzeugbruch aufgrund von Fehlbedienung, „stumpfen“ Werkzeug oder „Trockenlaufen“ (mangelnde KSS-Zufuhr) hervor. Weitere Gefährdungen sind

- verklemmte Werkstücke oder eine defekte Werkstückaufnahme,
- defekte Kabel bzw. Kurzschlüsse,
- Funken aus elektrostatischen Ölabscheidern,
- eine mögliche Wasserstoffentwicklung bei der Magnesiumbearbeitung mit Emulsion sowie
- eine mögliche Entzündung von Leichtmetallspänen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Madica“ wurde am Institut für Feuerungstechnik der Universität Karlsruhe die untere Explosionsgrenze (UEG) eines KSS-Aerosol-/Dampfgemisches zu etwa 30 g/m<sup>3</sup> Luft bestimmt [4]. Bei gekapselten Werkzeug-



maschinen geht man von einer ähnlichen Konzentration im Maschinenraum bei solchen Reaktionen aus.

Bei der Auswahl eines emissionsarmen nicht wassermischbaren KSS ist neben dem Flammpunkt und der Viskosität vor allem der Verdampfungsverlust nach *Noack* bei 250 °C ausschlaggebend. Darüber hinaus können durch den Einsatz von Antinebelzusätzen oder Multifunktionsölen die Emissionen beim Prozess reduziert werden. Ebenso wichtig ist es, den KSS möglichst sauber zu halten und den Eintrag bzw. Leckagen von Reinigungs- oder Lösungsmitteln zu verhindern.

Als Schutzmaßnahmen für Bearbeitungszentren, die mit nicht wassermischbaren KSS betrieben werden, empfiehlt E DIN 31007

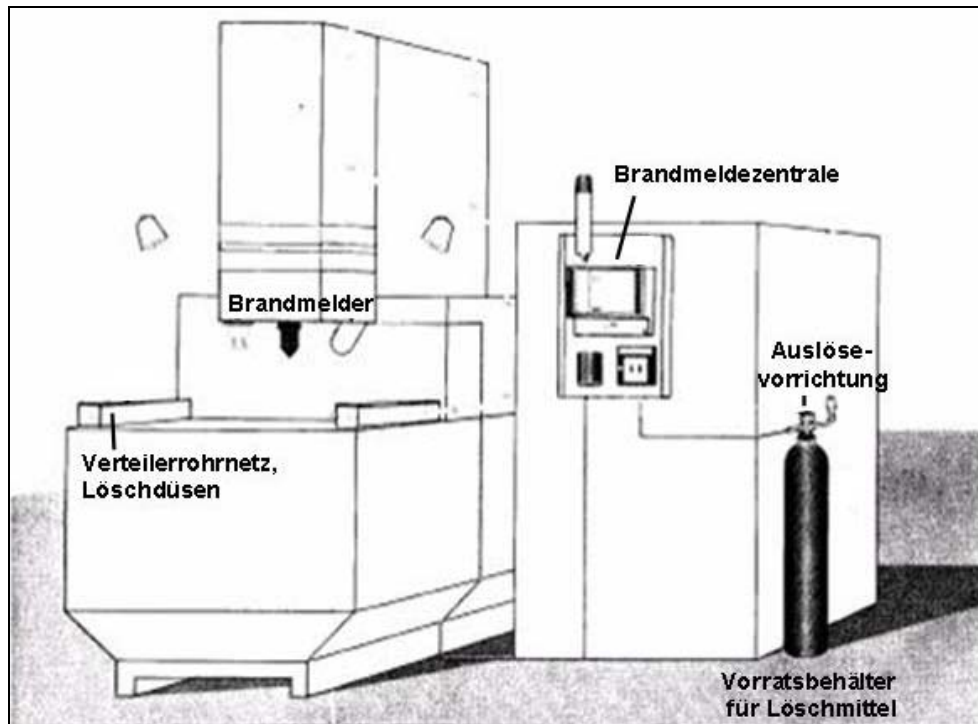
- den Einsatz von Umhausungen mit einer Druckbelastbarkeit bis 0,1 bar,
- ausreichend dimensionierte Druckentlastungsklappen möglichst im Dachbereich,
- eine flammendurchschlagsichere Verkleidung an Öffnungen und Türspalten (Labyrinth-Dichtungen),
- außerhalb des Arbeitsraumes gelegene Versorgungsleitungen sowie
- eine Steuerung zur Überwachung der KSS-Zufuhr und des Absaugvolumenstroms bei natürlich geschlossenem Arbeitsraum.

Bei einer Ausstattung mit Löschanlage sollte deren Steuerung über Brandsensoren verfügen, die den Brand im Ernstfall schnell und zuverlässig detektieren und den Löschvorgang über die Steuerung auslösen. Ebenfalls sollte die Energie- und KSS-Zufuhr sowie der Luftvolumenstrom der Absauganlage durch die Steuerung abgeschaltet werden (Abbildung 2, siehe Seite 163).





Abbildung 2:  
Beispiel für eine integrierte Löschanlage



Druck und Volumenstrom der Absauganlage sollten überwacht werden. Beim Einsatz von elektrostatischen oder mechanischen Filtersystemen sind diese nach den Angaben aus der Betriebsanleitung auf ihre Eignung zum Brand- und Explosionsschutz zu überprüfen.

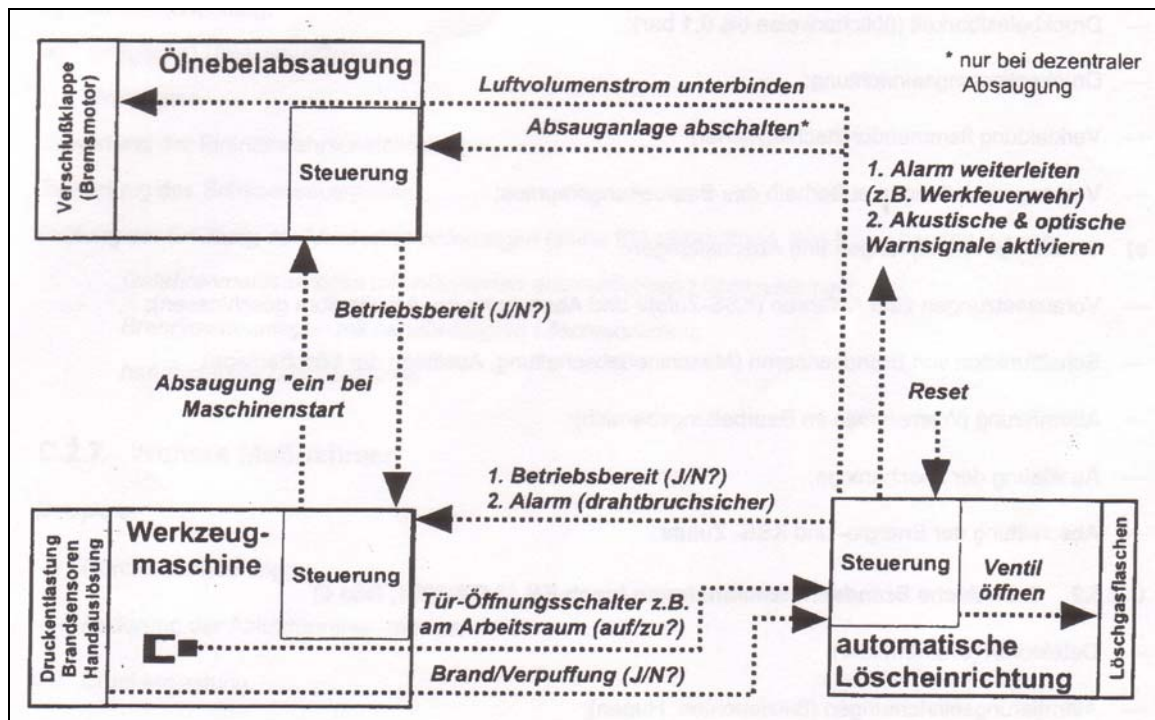
Für die Späneabfuhr eignen sich besonders:

- Schwallspülung im Innenraum,
- Späneförderer im Bodenbereich und
- ggf. Brikettierung von Magnesiumspänen am Austragsbereich der Maschine.

Die logischen sowie technischen Zusammenhänge und Verknüpfungen zwischen Steuerung der Werkzeugmaschine sowie Absaug- und Löschanlage sind in Abbildung 3 (siehe Seite 164) erklärt.



Abbildung 3:  
Beispiel eines Schutzkonzeptes für ein Bearbeitungszentrum  
mit nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen [1]



Ziel der Maßnahmen nach E DIN 31007 ist die Verhinderung von möglichen Personen- und Sachschäden sowie die Bewertung der Brandeintrittswahrscheinlichkeit und deren Ausmaß. Bei einer ungünstigen Bewertung sollten die Betreiber über geeignete Maßnahmen nachdenken. Dies können u. a.

- eine Änderung der Ablufführung,
- der Einbau von Druckentlastungskappen,
- die Wahl eines geeigneten KSS hinsichtlich Verdampfung und Vernebelung sowie
- eine Verbesserung der KSS-Zufuhr

sein.



## Literatur

- [1] DIN EN 13478: Sicherheit von Maschinen – Brandschutz (4/2002). Berlin, Beuth 2002
  
- [2] E DIN 31007: Sicherheit von Maschinen – Brandschutz; Vorschlag für eine Änderung und Ergänzung der Europäischen Norm DIN EN 13478. Ausgabe: 10/2003
  
- [3] *Brand, C.*: Verpuffungen und Brände in Werkzeugmaschinen. Hrsg.: Fachgemeinschaft Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme im VDMA, Frankfurt am Main 1995
  
- [4] Sichere Produktionsprozesse für die Magnesiumver- und Bearbeitung. Projekt-konsortium MADICA, Steinbeiss Transferzentrum, Aalen 1999





## Anschriften der Autoren

Dipl.-Ing. Olaf Bernstorff	Fa. GEA Delbag Lufttechnik Südstraße 48 44625 Herne
Prof. Dr. Rüdiger Detzer	Fa. Imtech Deutschland Tilsiter Straße 162 22047 Hamburg
Dr.-Ing. Klaus Gerschwiler	Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Steinbachstraße 53 B 52074 Aachen
Dipl.-Ing. Bing Gu	Institut für Gebäudeenergetik Universität Stuttgart Pfaffenwaldring 35 70569 Stuttgart
Prof. Dr. Wilhelm Höflinger	Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften der Technischen Universität Wien Getreidemarkt 9 / 166 1060 Wien
Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke	Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Steinbachstraße 53 B 52074 Aachen
Dipl.-Ing. Bastian Maier	Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Steinbachstraße 53 B 52074 Aachen



Dipl.-Ing. Dominik Nagel	Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik Universität Karlsruhe Engler-Bunte-Ring 21 76131 Karlsruhe
Dipl.-Ing. Wolfgang Pfeiffer	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA Alte Heerstraße 111 53754 Sankt Augustin
Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Schaber	Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik Universität Karlsruhe Engler-Bunte-Ring 21 76131 Karlsruhe
Dipl.-Ing. Jörg Schmid	Fa. HLK Stuttgart Pfaffenwaldring 6A 70569 Stuttgart
Dipl.-Ing. Harald Sefrin	Berufsgenossenschaft Metall Süd Wilhelm-Theodor-Römheld-Straße 15 55130 Mainz
Dipl.-Ing. Reinhard Stockmann	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA Alte Heerstraße 111 53754 Sankt Augustin
Dipl.-Ing. Axel van Ryn	Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik Gustav-Heinemann-Ufer 130 50968 Köln
Dipl.-Ing. Peter Wlaschitz	Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften der Technischen Universität Wien Getreidemarkt 9 / 166 1060 Wien