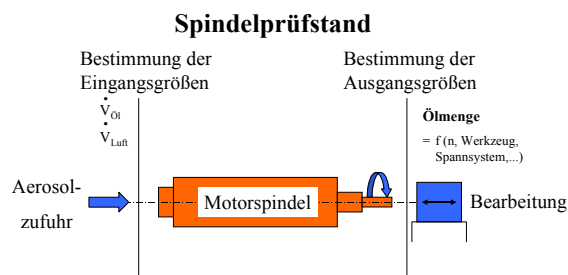


Das vorliegende Fachausschuss-Informationenblatt gibt einen Überblick über die Untersuchung des Fachausschusses Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau bezüglich auftretender Emissionen bei der Metallbearbeitung mit Minimalmengenschmierung. Weiterhin werden Maßnahmen zur emissionsarmen Metallbearbeitung sowie Hilfestellungen zur Bewertung der Gefährdungen am Arbeitsplatz beim Einsatz der MMS beschrieben.

Im Bereich der spanenden Metallbearbeitung hält die Minimalmengenschmierung (MMS) zunehmend Einzug und hat sich inzwischen als Alternative zur konventionellen Nassbearbeitung etabliert. Der Anwender findet auf dem Markt ein breites Angebot an notwendigem Equipment und Informationen zur Einführung dieser neuen Technologie. Durch die Einführung der Minimalmengenschmierung lassen sich erhebliche Kosten einsparen. Aufgrund der drastischen Reduzierung der Kühlschmierstoff-Menge in den Bereichen "Pflege" und "Entsorgung", den Hauptverursachern der Kühlschmierstoffkosten, besteht großes Einsparpotential.

In Bezug auf den Arbeitsschutz wird gegenüber der Nassbearbeitung eine erhebliche Verringerung der Kühlschmierstoff Exposition in der Atemluft, auf der Haut der Mitarbeiter und an den Arbeitsplätzen generell erreicht.

Bislang weitgehend ungeklärt blieb die Frage nach den freiwerdenden Emissionen am Arbeitsplatz bei der Metallbearbeitung mit Minimalmengenschmierung. Insbesondere die Entstehung von Spalt- und Pyrolyseprodukten aufgrund der geringen Mengen an Schmierstoff verbunden mit der vermuteten hohen thermischen Belastung [1],[2] ist weitgehend unerforscht.



## Inhaltsverzeichnis:

- 1 Emissionen beim Einsatz der Minimalmengenschmierung
- 2 Hinweise zur emissionsarmen Metallbearbeitung

### 1 Emissionen beim Einsatz der Minimalmengenschmierung

In einem gemeinsamen Projekt unter Leitung der Süddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft in Zusammenarbeit mit Schmierstoffhersteller und Industrieunternehmen sowie Unterstützung vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BIA) wurden die Emissionen bei der Metallbearbeitung mit MMS untersucht [3]. Weiterhin wurden Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen bei der Minimalmengenschmierung als Hilfe zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung erarbeitet und sind im Folgenden beschrieben.

#### 1.1 Laboruntersuchungen

In der ersten Projektphase wurden die ausgewählten Schmierstoffe für die Minimalmengenschmierung im Labor (BIA) in synthetischer Luft auf 400°C bzw. auf 800°C erhitzt (pyrolysiert) und die flüchtigen Komponenten analysiert [4]. Die Pyrolyseversuche dienen zur qualitativen Bestimmung von eventuell auftretenden Gefahrstoffen bei thermischer Belastung der Schmierstoffe während der Bearbeitung im Bereich Werkzeug/Spindel.

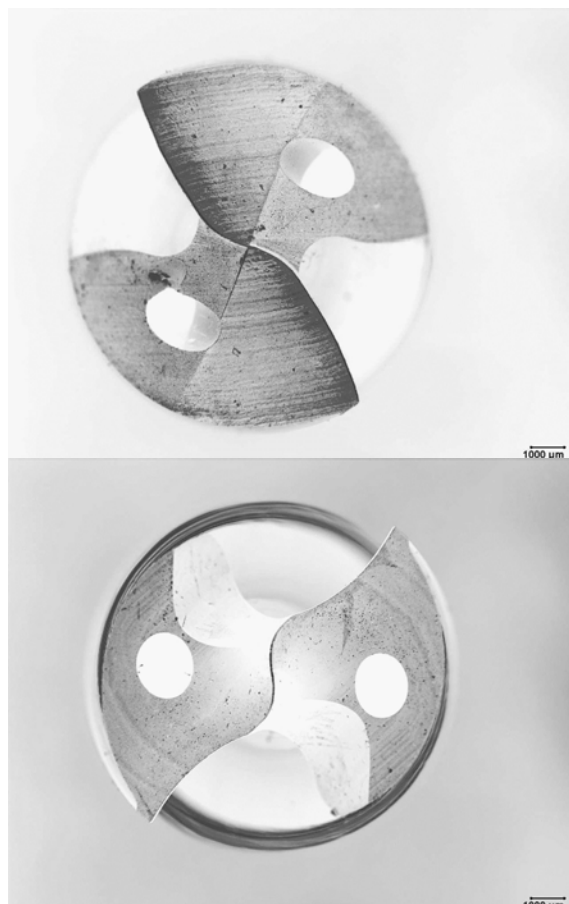


**Bild 1: Spindelprüfstand mit HSC-Motorspindel für die innere Aerosolzufuhr**

Bei den Pyrolyse-Untersuchungen der eingesetzten Schmierstoffe im Labor wurden qualitativ Spuren von gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoffen, Aldehyden und Ketonen, gesättigten und ungesättigten Estern (C 16 – C 25) sowie höherwertigen Alkoholen (> C 15) nachgewiesen. Die Konzentration der nachgewiesenen Pyrolyseprodukte konnte jedoch bei allen Versuchen als sehr gering eingestuft werden.

## 1.2 Zerspanversuche am Spindelprüfstand

An einem Prüfstand des Fraunhofer Institut für chemische Technologie wurden Zerspanversuche unter Einsatz der Minimalmengenschmierung mit innerer Zufuhr durchgeführt. Herzstück des Prüfstandes ist eine High-Speed-Cutting (HSC) Motorspindel mit internem Aerosolkanal, einem einachsigen Verfahrtschicht zur Durchführung von Zerspanversuchen und einer Kraftmessplattform zur Erfassung der Schnittkräfte (Bild 1).



**Bild 2: Eingesetzte Spiralbohrer für die Trockenbearbeitung in der Stirnansicht**

Für die Zerspanversuche wurde das Verfahren Bohren ausgewählt. Die Versuche wurden praxisnah unter Variation der Schnittparameter sowie der Werkstoffe (Stahl- Alu- und Gusswerkstoffe) durchgeführt. Hierbei kamen

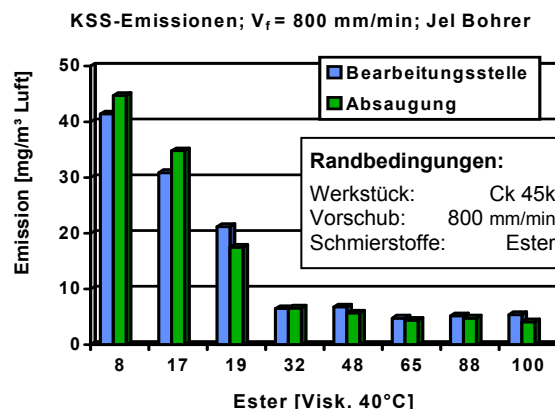
spezielle Spiralbohrer für die Trockenbearbeitung mit zwei inneren Kühlkanälen zum Einsatz. (Bild 2).

Es wurden zwei Schmierstoffgruppen getestet. Die erste Gruppe setzte sich reinen synthetischen Esterölen unterschiedlicher Viskositäten mit günstigen tribologischen Eigenschaften und hoher thermischer Belastbarkeit zusammen. Die zweite Gruppe umfasst verschiedene Schmierstoff-Fertigprodukte, welche bereits in der Praxis im Einsatz sind.

Die Emissionsneigung verschiedener Schmierstoffe konnte während der Zerspanung im Innern der Prüfstandsumhausung unmittelbar am Entstehungsort reproduzierbaren Bedingungen ermittelt und verglichen werden.

### 1.2.1 Emissionen beim Bohren

Nachfolgend sind die über einen Zeitraum von 15 Minuten gemessenen Ölaerosol- und für die Esteröle unter praxisnahen Bedingungen (Vorschubgeschwindigkeit:  $V_f = 800 \text{ mm/min}$ ) aufgeführt (Bild 3).



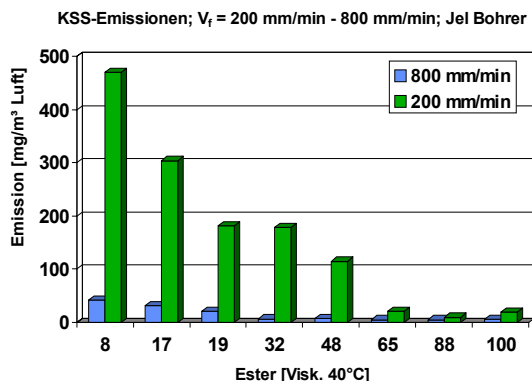
**Bild 3: Ölaerosol- und Öldampfmmissionen am Zerspanort**

Während der Zerspanversuche wurde insbesondere bei den dünnflüssigen niedrigviskosen Schmierstoffen ( $< 10 \text{ mm}^2/\text{s}$  bei  $40^\circ\text{C}$ ) eine starke Nebelbildung festgestellt. Die hochviskosen Ester mit einer Viskosität größer als  $20 \text{ mm}^2/\text{s}$  bei  $40^\circ\text{C}$  hingegen zeigen deutlich geringere Emissionswerte.

Der Einfluss der Zerspanparameter auf das Emissionsverhalten der Schmierstoffe ist in Bild 4 exemplarisch für zwei ausgewählte Vorschubgeschwindigkeiten dargestellt. Die Vorschubgeschwindigkeit wurde hierzu von  $800 \text{ mm/min}$  (Standard) auf  $200 \text{ mm/min}$  (extrem ungünstig) bei gleich bleibender Schnittgeschwindigkeit reduziert.

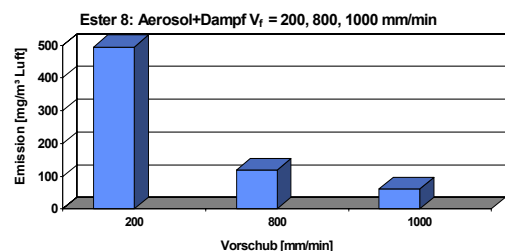
Bei der Bearbeitung mit sehr ungünstigen Zerspanparametern steigen die Öldampf- und Ölaerosolemissionen sprunghaft an. Ursache hierfür ist die hohe Verweilzeit des Bohrers bei

niedriger Vorschubgeschwindigkeit verbunden mit erhöhter thermischer Belastung des Schmierstoffes.



**Bild 4: Emissionswerte von Ölaerosol und Öldampf bei Verringerung der Vorschubgeschwindigkeit**

Wie entscheidend die Auswahl der geeigneten Schmierstoffe und der optimalen Bearbeitungsparameter für eine emissionsarme MMS-Bearbeitung ist, wird anhand von Bild 5 ersichtlich.

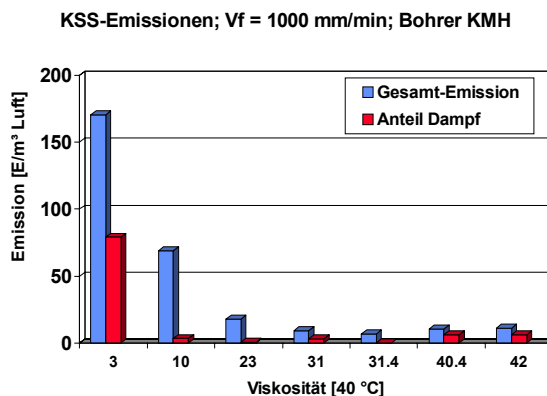


**Bild 5: Variation der Vorschubgeschwindigkeit bei Einsatz des Schmierstoffes Ester 8 mit entstehender Spanform**

Die Bearbeitung anhand optimaler Arbeitsbedingungen infolge hoher Vorschubgeschwindigkeiten bewirkt neben kurzen Bröckelspänen, hoher Schnittleistung und langen Werkzeugstandzeiten gleichzeitig die geringsten Emissionen. Ungünstige Schnittbedingungen hingegen (durch Versuche mit extrem reduziertem Vorschub) führen zu hohen Emissionen bei gleichzeitig ungünstigen Bearbeitungsbedingungen (hier durch lange Späne und hohen Werkzeugverschleiß).

In jüngster Zeit ist zunehmend eine Tendenz festzustellen, sehr dünnflüssige Medien mit niedrigem Flammpunkt (< 100°C) einzusetzen, die nach der Bearbeitung möglichst rückstandsfrei verdampfen sollen. Um das Emissionsverhalten dieser Schmierstoffe zu beurteilen wurde eine Probe mit sehr geringer Viskosität (3 mm²/s bei 40°C) im Vergleich getestet. Das

Ergebnis dieser Untersuchungen ist in Bild 6 dargestellt.



**Bild 6: KSS-Emissionen Fertigprodukte; Vorschub: 1000 mm/min**

Die gemessenen Emissionen bei dem niedrigviskosen Öl übersteigen die Werte der herkömmlichen Produkte um ein Vielfaches. Hier wird deutlich, wie negativ sich niedrigviskose Produkte aufgrund ihrer sehr hohen Emissionen insbesondere wegen der hohen Dampfanteile auf die Gesamtsituation am Arbeitsplatz auswirken können. Hochviskose Produkte sollten daher bevorzugt eingesetzt werden.

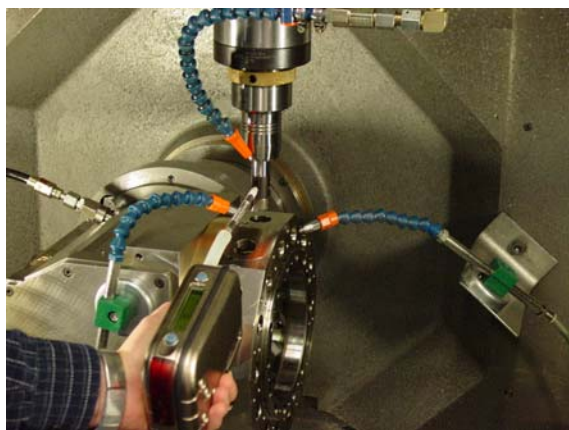
### 1.2.2 Pyrolyseprodukte beim Bohren

Unter praxisnahen Schnittbedingungen wurden nur geringste Konzentrationen von Pyrolyseprodukten festgestellt. Bei starker thermischer Belastung des Schmierstoffes („Worst Case“ Fall durch Fehlbedienung, Störung) wurden etwas höhere Werte gemessen. Auch hier zeigten die hochviskosen Medien eine deutlich geringere Neigung zur Pyrolyse gegenüber den dünnflüssigen, niedrigviskosen Schmierstoffen. Die gemessenen Konzentrationen liegen jedoch selbst in unmittelbarer Nähe des Entstehungsortes in einer Größenordnung von max. 0,1 mg/m³ und sind somit als unkritisch zu betrachten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei allen getesteten Schmierstoffen auch unter extremen Bedingungen bei starker thermischer Belastung im Prüfstand sehr niedrige Konzentrationen der Pyrolyseprodukte gemessen wurden. Die Bildungstendenz von Pyrolyseprodukten bei der Minimalmengenschmierung kann daher als sehr gering eingestuft werden.

### 1.3 Expositionsmessungen in der Praxis

Im Rahmen eines Sondermessprogrammes wurden Expositionsmessungen an Arbeitsplätzen mit MMS-Bearbeitung an Werkzeugmaschinen in der Produktion durchgeführt. Bei diesen Erhebungen wurden jeweils Messungen personengetragen, stationär am Bedienpult der Maschine sowie im Arbeitsinnenraum der Maschine (Bild 7,8) vorgenommen [3].



**Bild 7: Bestimmung der CO-Konzentration mit direktanzeigendem Messgerät**

Beim Zerspanen von Werkstoffen mit Minimalmengenschmierung an Werkzeugmaschinen in der Produktion haben sich Kühlschmierstoffdampf und -aerosole als expositionsbestimmende Komponente herauskristallisiert. Aldehyde (Formaldehyd) wurden lediglich in Spuren ( $\ll 1\%$  des Luftgrenzwertes) in Einzelfällen nachgewiesen.



**Bild 8: Expositionsmessungen personengetragen und am Bedienpult**

Es wurden insgesamt 16 umfangreiche Messserien in Arbeitsbereichen in der Praxis durchgeführt. In keinem der vorliegenden Fälle wurde eine Überschreitung der Luftgrenzwerte festgestellt. Die gemessenen Konzentrationen im Arbeitsbereich waren derart gering, dass insgesamt in 11 Fällen der Befund „Dauerhaft sichere Einhaltung des Luftgrenzwertes“ und in

fünf Fällen der Befund „Einhaltung des Luftgrenzwertes“ vergeben werden konnte [5].

Die Hälfte der ermittelten Messwerte lagen mit  $1,4 \text{ mg/m}^3$  deutlich unter  $15\%$  des Luftgrenzwertes für Kühlschmierstoffe. In  $95\%$  der Fälle wurde die Hälfte des Grenzwertes von  $5 \text{ mg/m}^3$  nicht überschritten.

### 1.4 Zusammenfassung

All diese Untersuchungen und Erkenntnisse haben gezeigt, dass durch den sinnvollen Einsatz der Minimalmengenschmierung eine emissionsarme Metallbearbeitung mit Verringerung des hautschädigenden Potenziales möglich ist.

Allerdings ist hierzu eine Gesamtbetrachtung des Systems notwendig. Eine prozesssichere Bearbeitung wird dann erreicht, wenn die Elemente Schmierstoff, Werkzeug, Dosiergerät und Maschine für die Minimalmengenschmierung geeignet und optimal aufeinander abgestimmt sind.

Eine ausführliche Beschreibung weiterer Ergebnisse sowie Hinweise zur MMS-Bearbeitung finden sich in dem Projektbericht „Gefährdungsbeurteilung bei der Trockenbearbeitung metallischer Werkstoffe“. Der Projektbericht und die BG/BIA Empfehlung zum Thema „Minimalmengenschmierung“ stehen im Internet unter [www.smbg.de](http://www.smbg.de) als Download zur Verfügung.

## 2 Hinweise zur emissionsarmen Metallbearbeitung mit MMS

Der Messtechnische Dienst hat eine BG/BIA Empfehlung zur emissionsarmen Metallbearbeitung erarbeitet. In der BG/BIA-Empfehlung sind die Kriterien für eine Einhaltung der Luftgrenzwerte im Arbeitsbereich festgelegt. Auf Kontrollmessungen nach TRGS 402 [8] kann bei Einhaltung der folgenden Bedingungen verzichtet werden:

### 2.1 Auswahl der Schmierstoffe

Für die emissionsarme Metallbearbeitung mit MMS ist die richtige **Auswahl des Schmierstoffes** von entscheidender Bedeutung. Zur Minimierung von Emissionen sollen Schmierstoffe mit toxikologischer und dermatologischer Unbedenklichkeit, mit möglichst gutem Schmiervermögen und hoher thermischer Belastbarkeit eingesetzt werden. Synthetische Esteröle und Fettalkohole mit niedrigem Verdampfungsverhalten, toxikologischer Unbedenklichkeit und einem hohen Flammpunkt haben sich in der Praxis besonders bewährt [6], [8].

Als Richtwerte zur Auswahl eines emissionsarmen Schmierstoffes haben sich insbesondere **Flammpunkt** (DIN EN ISO 2592) sowie **Verdampfungsverlust Noack bei 250°C** (DIN 51581 T 01) bewährt. Der Schmierstoff sollte einen Flammpunkt von mindestens 150°C, einen Verdampfungsverlust bei 250°C von maximal 65 %, sowie eine Viskosität bei 40°C (DIN 51562) von > 10 mm<sup>2</sup>/s aufweisen.

Viskosität bei 40°C	Flammpunkt offener Tiegel	Verdampfungsverlust Noack 250° C
DIN 51562 [mm <sup>2</sup> /s]	DIN EN ISO 2592 [°C]	DIN 51581 T 01 [%]
> 10	> 150	< 65

**Tabelle 1: Richtwerte zur Auswahl eines emissionsarmen Schmierstoffes**

Für die Minimalmengenschmierung nicht einzusetzen sind:

- Wassergemischte Kühlschmierstoffe und deren Konzentrate
- Schmierstoffe mit organischen chlor- oder zinkhaltigen Additiven
- Schmierstoffe, welche nach Gefahrstoffverordnung kennzeichnungspflichtig sind.
- Produkte auf Basis mineralischer Grundöle im KSS > 3 ppm Benzo[a]pyren

- Native Ester (Rapsöl, Rüböl) mit Neigung zur Verharzung an Aggregaten, Führungen sowie Alterung/Verharzung wegen geringer Oxidations- und Hydrolysestabilität.

### 2.2 Anforderungen an Dosiersysteme

Von besonderer Bedeutung für die Prozesssicherheit und Emission ist die Gewährleistung der kontinuierlichen Zufuhr des Schmiermittels an die Wirkstelle, ohne Unterbrechung. Für die Zuführung und Dosierung des Schmiermittels sind daher nur sichere Systeme, welche folgende Anforderungen erfüllen, zu verwenden:

- Einstellung der Parameter (z. B. Menge und Druck) nach Vorgabewerten in Abhängigkeit von Verfahren, Werkstoff und der Bearbeitungsparameter möglich.
- Exakte und vibrationsunempfindliche Ausrichtungsmöglichkeit der Düse(n) relativ zur Wirkstelle möglich
- Überwachung der MMS-Funktion (z. B. Füllstand, Medientransport und Druckluft) möglich.
- Sprühbild der Düse:
  - \* Angabe günstiger Systemeinstellgrößen zur Minimierung der Nebelbildung.
  - \* Zielgerichtete Benetzung (Angabe der Wirkbereiche der Düse)
- Angabe des im System verwendbaren Viskositätsbereiches bei 40° C
- Verlustfreier Medientransport bis zur Übergabestelle Düse oder Werkzeug gewährleistet (keine Leckagen)
- Komponenten und Dichtungen resistent gegenüber den eingesetzten Medien in Abstimmung auf den Einsatzfall
- Kleinste Einstellung zur Realisierung trockener Werkstücke und Späne (Skalierung < 10 ml/h) möglich.
- Kontinuierliche Zufuhr des Schmierstoff-Mediums gewährleistet (keine Aussetzer, Unterbrechungen)
- Schnelles Ansprechverhalten und Medienverfügbarkeit an der Zerspanstelle auch bei längeren Stillstandszeiten.
- Geringe Lärmentwicklung im Betrieb (< 75 dB [A])

## 2.3 Anforderungen an die Werkzeuge

Als Basis zur störungsfreien prozesssicheren Metallbearbeitung ist die Auswahl des passenden Werkzeuges von entscheidender Bedeutung [7]. Deshalb sollten für die Minimalmengenschmierung geeignete und vom Hersteller freigegebene Werkzeuge verwendet werden. Hierbei sind die vom Werkzeughersteller vorgegebenen Schnittparameter (Drehzahl, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub) einzuhalten.

## 2.4 Hautschutz

Durch den Einsatz der Minimalmengenschmierung lässt sich gegenüber der konventionellen Nassbearbeitung eine Verringerung des hautschädigenden Potenziales erreichen.

Lässt sich der unmittelbare Hautkontakt zu Kühlschmierstoffen nicht vermeiden, sind entsprechende Hautschutzmaßnahmen durchzuführen.

- Erstellen eines Hautschutzplans (Hautschutzplan B für nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe gemäß BGI 658).
- Hautkontakt durch Einsatz von Hilfswerkzeugen vermeiden.
- Gefährdete Hautpartien durch Schutzkleidung schützen (BGR 189).
- Soweit nicht an rotierenden Maschinen gearbeitet wird, Einsatz von beständigen Schutzhandschuhen (BGR 195).
- Bereitstellen von Hautschutz-, Hautreinigungs- und Hautpflegemitteln (BGR 197).
- Schulung der Mitarbeiter zum Benutzen der Hautschutzmittel.

## Literaturverzeichnis

- [1] **Blazkewicz, Kleber, Föllmann, Lucas:** Methoden zur Erfassung der Expositionssituation von Menschen beim Umgang mit verschiedenen Kühlschmierstoffen; VDI Berichte Nr. 1458, 1999.
- [2] **D. Hörner:** Kühlschmierstoffe für die Minimalmengenschmierung. VDI-Tagung, März 1997, S 203 ff II
- [3] **D. Stäbler, M. Schönwald, H. Sefrin, M. Wolf:** Gefährdungsbeurteilung bei der Trockenbearbeitung metallischer Werkstoffe; Projekt-Abschlussbericht der Süddeutschen Metall Berufsgenossenschaft, März 2003
- [4] **N. Lichtenstein, K. Quellmalz:** Gasförmige Schadstoffe bei der thermischen Verarbeitung von Kunststoffen. Staub-Reinhaltung der Luft 43 (1983)
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen (TRGS 402). BArbBI (1997) Nr. 11, S. 27-33 (in der aktuellen Fassung)
- [6] **H. Sefrin:** Minimalmengenschmierung. Einsatz-erfahrung in der Praxis. Tribologie und Schmierungstechnik, Ausgabe 3/1999 Nr 46
- [7] **H. Sefrin:** Minimalmengenschmierung: Tipps und Information für den Anwender, SMBG Mitteilungsblatt Nr. 1/2000
- [8] **C. Freiler:** Erfahrungen mit Produkten auf Basis nativer Ester. Deutsches Kühlschmierstoff-Forum „K Kühlschmierstoffe im Umbruch“ 20.11.1997 Bad Nauheim