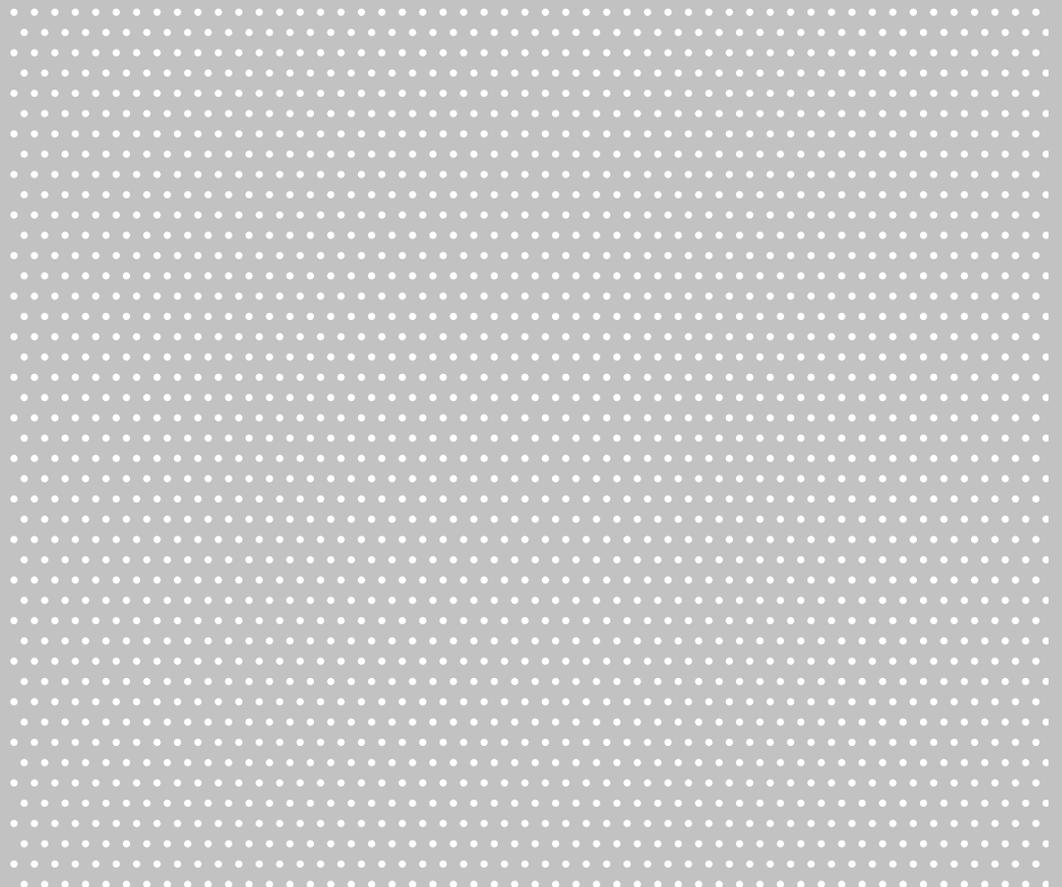


6/2015

IFA Report

Einsatz von Kühlschmierstoffen bei der spanenden Metallbearbeitung

— Vorschlag für die geplanten Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung —



Verfasst von: Reinhard Stockmann, Nadja von Hahn
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Peter Bannert, Susanne Causemann, Peter Michels
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln

Adolf Tigler, Michael Wolf
Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)
Glinkastr. 40
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Telefax: 030 288763808
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de

– Februar 2022 (aktualisierte Ausgabe mit neuer Messdatenauswertung, Kapitel 5) –

ISBN: 978-3-86423-161-2

ISSN: 2190-7994

Kurzfassung

Einsatz von Kühlschmierstoffen bei der spanenden Metallbearbeitung

– Vorschlag für die geplanten Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung –

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind in der spanenden Metallbearbeitung bei Tätigkeiten mit nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen mit einem Flammpunkt $> 100\text{ °C}$ und/oder Tätigkeiten mit wassergemischten Kühlschmierstoffen alle in einer Werkhalle befindlichen Emissionsquellen zu berücksichtigen. Die Lüftungstechnik hat entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Kühlschmierstoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz. Der vorliegende Report gibt eine Hilfe zur Gefährdungsermittlung in der betrieblichen Praxis, u. a. ist in einem Ablaufschema ein Emissionskataster zur Datenerhebung integriert. Auf der Basis der beschriebenen Informationen werden wirksame technische und organisatorische Maßnahmen zur

Reduzierung der Kühlschmierstoffkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz beschrieben. Nur bei Umsetzung aller beschriebenen Maßnahmen kann vom Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ ausgegangen werden. Einzelne Maßnahmen sind hingegen in der Regel nicht ausreichend. Da aber nicht in jedem Fall alle Maßnahmen notwendig sind, wird ein abgestuftes Konzept angeboten, das die erforderlichen Maßnahmen zur Reduzierung der Kühlschmierstoffkonzentration in der Luft an Arbeitsplätzen aufzeigt. Werden nicht alle Maßnahmen umgesetzt, ist eine messtechnische Ermittlung der Kühlschmierstoffkonzentration erforderlich. Aus den Messwerten und dem Emissionskataster können dann weitere Maßnahmen abgeleitet werden.

Abstract

Use of cooling lubricants in metal machining

– Proposal for planned Recommendations for Hazard Identification of the Accident Insurers (EGUs) based upon the German Hazardous Substances Ordinance –

During metal-machining work involving non-water-based cooling lubricants with a flash point > 100 °C and/or involving water-based cooling lubricants, the risk assessment must consider all emission sources in a shop. The ventilation system has a decisive influence upon the concentration of cooling lubricant in the workplace atmosphere. This report provides assistance for risk assessment in the field. It includes a flow chart with an integral emissions map for the recording of data. Based upon the information described, effective technical and organizational measures are set out for reducing the concentration of cooling lubricants in the workplace atmosphere.

Only when all measures described are implemented can it be assumed that the protective measures are adequate. By contrast, measures taken in isolation are not generally adequate. However, since not all measures are required in all cases, a graded concept is available that describes the measures required for reducing the cooling lubricant concentration in workplace atmospheres. Should not all measures be implemented, the cooling lubricant concentration must be measured. Further measures can then be determined based upon the measured values and the emissions map.

Résumé

Usage de réfrigérants-lubrifiants pour l'usinage des métaux

– Proposition pour le projet de Recommandations pour l'évaluation des risques des organismes d'assurance accidents (EGU) selon l'ordonnance allemande sur les substances dangereuses –

Lors de l'évaluation des risques liés à l'usinage de métaux par enlèvement de matière, il faut prendre en compte, pour les opérations effectuées avec des réfrigérants-lubrifiants non miscibles dans l'eau avec un point d'inflammation > 100 °C et/ou les opérations effectuées avec des réfrigérants-lubrifiants miscibles dans l'eau, de toutes les sources d'émission se trouvant dans un atelier de production. Le niveau de concentration de réfrigérants-lubrifiants dans l'air sur le lieu de travail dépend essentiellement de la technique de ventilation. L'objet du présent rapport est de fournir une aide pour l'évaluation des risques dans la pratique de l'entreprise. Il contient notamment un cadastre des émissions intégré dans un schéma du processus, à utiliser pour la collecte des données. Sur la base des informations décrites,

le rapport décrit des mesures efficaces, techniques et organisationnelles, visant à réduire la concentration de réfrigérants-lubrifiants dans l'air sur le lieu de travail. Ce n'est que si toutes les mesures décrites sont mises en œuvre que l'on peut parler de « mesures de protection suffisantes ». Les mesures individuelles, en revanche, ne sont généralement pas suffisantes. Or, étant donné qu'il n'est pas nécessaire dans tous les cas de mettre en œuvre la totalité des mesures, il est proposé un concept échelonné qui précise quelles sont les mesures nécessaires pour réduire la concentration de réfrigérants-lubrifiants dans l'air sur le lieu de travail. Si les mesures ne sont pas toutes mises en œuvre, il faut recourir à des techniques de mesurage pour déterminer cette concentration. Des mesures plus avancées pourront alors être mises en place sur la base des valeurs relevées et du cadastre des émissions.

Resumen

Empleo de refrigerantes lubricantes en el procesamiento del metal por arranque de virutas

– Propuesta para las recomendaciones previstas para una evaluación de riesgos por parte de las entidades de seguros de accidentes según la ordenanza sobre sustancias peligrosas –

En el marco de la evaluación de riesgos, respecto al procesamiento del metal por arranque de virutas en actividades con refrigerantes lubricantes no mezclables con agua con un punto de inflamabilidad de $> 100\text{ °C}$ y/o actividades con refrigerantes lubricantes mezclados con agua, deberán tenerse en cuenta todas las fuentes de emisiones que se encuentren en la nave de producción. La técnica de ventilación tiene una influencia decisiva sobre el nivel de la concentración en el aire de dichos refrigerantes lubricantes en el lugar de trabajo. El presente informe ofrece una ayuda para evaluar los riesgos en la práctica operativa. Entre otros elementos, integra en un esquema de los procesos un catastro de emisiones para la recogida de datos. En función de las informaciones descritas, se describen medidas

técnicas y organizativas efectivas para reducir la concentración en el aire de refrigerantes lubricantes en el lugar de trabajo. Solo se podrá obtener el resultado «medidas de protección suficientes» si se implementan todas las medidas descritas. Las medidas aisladas, en cambio, por lo general no son suficientes. Aunque, como no en todos los casos son necesarias todas las medidas, se ofrece un concepto escalonado que muestra las medidas necesarias para reducir la concentración en el aire de refrigerantes lubricantes en los lugares de trabajo. Si no se implementan todas las medidas, será necesario realizar una valoración metrológica de la concentración de los refrigerantes lubricantes. Con los valores medidos y el catastro de emisiones se podrán derivar después las siguientes medidas a tomar.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	9
1 Allgemeines	10
2 Anwendungsbereich	11
3 Begriffsbestimmungen	12
4 Verfahren und Tätigkeiten	13
5 Gefährdungsermittlung und -beurteilung	14
5.1 Gefährdungsermittlung	14
5.2 Gefährdungsbeurteilung.....	17
6 Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsprüfung	18
6.1 Zusammenfassung der grundsätzlich durchzuführenden Maßnahmen (Basismaßnahmen)	18
6.2 Emissionsarme KSS	19
6.2.1 Reduzierung der Emissionen von KSS-Dampf.....	19
6.2.2 Reduzierung der Emissionen von KSS-Aerosol.....	20
6.3 Lufttechnische Maßnahmen	20
6.3.1 Erfassung von KSS-Emissionen	20
6.3.2 Abscheidung von KSS-Emissionen	21
6.3.3 Luftrückführung.....	21
6.3.4 Raumlüftung	21
6.3.5 Prüfungen und Dokumentation	22
6.4 Brand- und Explosionsschutz	22
6.5 Organisatorische Maßnahmen.....	22
6.6 Wirksamkeitsprüfung	23
7 Literatur	24
Anhang 1: Informationsermittlung	26
Anhang 2: Skizze einer Werkhalle mit optimierten Bedingungen	28
Anhang 3: Übersicht über Normen, Richtlinien und Regeln der Unfallversicherungsträger für lufttechnische Anlagen	29

Vorbemerkung

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung [1] werden von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung und dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in Abstimmung mit den Ländern und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) herausgegeben. Sie haben das Ziel, den Unternehmen eine Hilfe für den auf Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bezogenen Teil der Gefährdungsbeurteilung zu geben und werden als DGUV Information in das Vorschriften- und Regelwerk der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) in die Reihe 213-701 ff. aufgenommen.

Dieser Vorschlag für geplante Empfehlungen wurde erarbeitet in Zusammenarbeit von

- Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln,
- Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz, und
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

1 Allgemeines

Die Gefahrstoffverordnung [1] fordert Unternehmen in § 6 auf, Art und Ausmaß der Exposition der Beschäftigten zu ermitteln und zu beurteilen. Dies kann durch Arbeitsplatzmessungen oder andere gleichwertige Ermittlungsverfahren erfolgen. Falls keine Arbeitsplatzgrenzwerte vorliegen, ist die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen durch geeignete Beurteilungsmethoden nachzuweisen.

Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) [2] können entsprechend der Gefahrstoffverordnung bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung sowie bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen verwendet werden. Darüber hinaus können bei der Gefährdungsbeurteilung gemäß § 5 Arbeitsschutzgesetz [3] und § 3 Betriebssicherheitsverordnung [4] diese Empfehlungen mit herangezogen werden. Die Verpflichtungen zum Einsatz von Stoffen und/oder Verfahren mit geringerem Risiko, zur Beachtung der Rangfolge der Schutzmaßnahmen sowie zur Unterrichtung und Unterweisung der Beschäftigten bleiben bestehen.

Der vorliegende Report „Einsatz von Kühlschmierstoffen bei der spanenden Metallbearbeitung“ dient als Vorschlag für geplante EGU. Er basiert auf Messungen der Konzentrationen nichtwässriger Kühlschmierstoffe (KSS) mit einem Flammpunkt > 100 °C und wassergemischter KSS in der Luft an entsprechenden Arbeitsplätzen.

2 Anwendungsbereich

Dieser Report richtet sich an Metall bearbeitende Betriebe, in denen Tätigkeiten mit nichtwassermischbaren KSS mit einem Flammpunkt $> 100\text{ °C}$ und/oder Tätigkeiten mit wassergemischten KSS durchgeführt werden. Er behandelt ausschließlich die inhalativen Gefährdungen. Bei der Gefährdungsbeurteilung sind darüber hinaus dermale und physikalisch-chemische Gefährdungen (Brand- und Explosionsschutz) zu betrachten; siehe hierzu die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 401 [5] und DGUV Information 209-026 [6].

Dieser Report gilt nicht für Tätigkeiten mit KSS bei der spanenden Bearbeitung von metallischen Werkstoffen unter Einsatz von Minimalmengenschmierung (DGUV Information 213-723 [7]). Er gilt auch nicht für Stoffe und Stoffgemische, die unter die DGUV Information 213-726 [8] fallen.

3 Begriffsbestimmungen

Befähigte Person

Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Kenntnisse zur Prüfung von Arbeitsmitteln verfügt

Emissionskataster

Sammlung aller für die Expositionsermittlung bei Tätigkeiten mit nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen mit einem Flammpunkt $> 100\text{ °C}$ und/oder Tätigkeiten mit wassergemischten Kühlschmierstoffen relevanter Daten

Kühlschmierstoffe (KSS)

Unter KSS werden im Rahmen dieses Reports nichtwassermischbare KSS mit einem Flammpunkt $> 100\text{ °C}$ und wassergemischte KSS subsumiert.

Kühlschmierstoff-Aerosol (KSS-Aerosol)

Flüssigkeitsteilchen, die während der spanenden Bearbeitung u. a. aufgrund der Zentrifugalkräfte durch schnell rotierende Teile in die Umgebungsluft gelangen; das Teilchengrößenspektrum ist dabei abhängig von den jeweiligen Bearbeitungsverfahren

Kühlschmierstoff-Dampf (KSS-Dampf)

Leichtflüchtige Anteile eines KSS, die sowohl durch Erwärmung während der spanenden Bearbeitung als auch durch Kontakt mit heißen Oberflächen (z. B. Werkstücke, Werkzeuge, Späne) in die Umgebungsluft gelangen

Kühlschmierstoff-Emissionen (KSS-Emissionen)

Summe aus KSS-Dampf und KSS-Aerosol

4 Verfahren und Tätigkeiten

Bei der spanenden Bearbeitung metallischer Werkstoffe verringern KSS die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück und führen damit zu einer Begrenzung des Werkzeugverschleißes und einer Minimierung der Zerspanungsenergie. Gleichzeitig werden die Oberflächengüte und die möglichen Bearbeitungsgeschwindigkeiten erhöht. Des Weiteren werden mit dem KSS die Späne abtransportiert und die Korrosion an Werkstücken

und Werkzeugen verhindert. Die Kühlwirkung wird bei wassergemischtem KSS praktisch ausschließlich vom Wasser bestimmt, bei nicht wassergemischtem KSS ist sie von deren Viskosität abhängig. Dagegen wird die Schmierwirkung sehr stark von der Art und der Zusammensetzung (Additive) des KSS bestimmt. Verfahren, bei denen KSS eingesetzt werden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1:
Übersicht über spanende Metallbearbeitungsverfahren

Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide
<ul style="list-style-type: none">• Drehen• Bohren• Fräsen• Hobeln• Räumen• Sägen	<ul style="list-style-type: none">• Schleifen• Honen¹⁾• Läppen¹⁾

¹⁾ Für das Honen und Läppen werden in der Regel KSS mit einem Flammpunkt < 100 °C eingesetzt. In diesen Fällen sind diese Empfehlungen nicht anwendbar. In Einzelfällen können zum Honen und Läppen KSS mit einem Flammpunkt > 100 °C zur Anwendung kommen.

5 Gefährdungsermittlung und -beurteilung

5.1 Gefährdungsermittlung

Im Rahmen der Gefährdungsermittlung sind bei Tätigkeiten mit nichtwassermischbaren KSS mit einem Flammpunkt $> 100\text{ °C}$ und/oder Tätigkeiten mit wassergemischten KSS sowohl die Exposition durch KSS-Dampf als auch durch KSS-Aerosol zu berücksichtigen.

Durch Erwärmung während der Bearbeitung und durch Kontakt mit heißen Oberflächen, z. B. Werkstücke, Werkzeuge und Späne, verdampfen leicht flüchtige Anteile des KSS und gelangen in die Umgebungsluft. Dabei ist es schwierig abzuschätzen, welche Bestandteile aus den KSS in die Dampfphase überführt werden. Neben den Kohlenwasserstoffverbindungen, die hauptsächlich aus den Basisstoffen stammen, können dies auch Additivbestandteile sein.

Zudem können aufgrund der Zentrifugalkräfte Flüssigkeitsteilchen durch schnell rotierende Teile zerstäubt werden: beispielsweise durch Werkstücke in einem Drehautomaten oder Schleifscheiben, die mit KSS behaftet sind. Diese Teilchen gelangen als Aerosol in die Umgebungsluft. Das Teilchengrößenspektrum ist dabei abhängig von den jeweiligen Bearbeitungsverfahren.

Im Zeitraum von 2011 bis 2018 führten die Unfallversicherungsträger zahlreiche Messungen zur KSS-Exposition in Anlehnung an die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 402 [9] nach den in der IFA-Arbeitsmappe [10] beschriebenen Methoden durch. Die Messwerte sind in der IFA-Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ (MEGA) [11] dokumentiert.

In den Abbildungen 1 bis 4 sind verschiedene Summenhäufigkeitsverteilungen dargestellt (Darstellung des prozentualen Anteils, der kleiner oder gleich einem Wert (y) für die KSS-Konzentration ist).

Abbildung 1:
Schichtvergleichbare personengetragene und -bezogene Messungen bei üblichen betrieblichen Situationen zu KSS-Aerosol- und KSS-Dampf-Konzentrationen nichtwassermischbarer KSS mit einem Flammpunkt von $> 100\text{ °C}$

Abbildung 2:
Schichtvergleichbare personengetragene und -bezogene Messungen bei üblichen betrieblichen Situationen zu KSS-Aerosol- und KSS-Dampf-Konzentrationen wassermischbarer bzw. wassergemischter KSS mit einem Flammpunkt von $> 100\text{ °C}$

Abbildung 3:
Schichtvergleichbare personengetragene und -bezogene Messungen im Zeitraum von 2015 bis 2018 bei üblichen betrieblichen Situationen zu KSS-Aerosol- und KSS-Dampf-Konzentrationen nichtwassermischbarer KSS mit einem Flammpunkt von $> 100\text{ °C}$, differenziert nach KSS-Aerosol und der Summe aus KSS-Aerosol und -Dampf

Abbildung 4:
Schichtvergleichbare personengetragene und -bezogene Messungen im Zeitraum von 2015 bis 2018 bei üblichen betrieblichen Situationen zu KSS-Aerosol- und KSS-Dampf-Konzentrationen wassermischbarer bzw. wassergemischter KSS mit einem Flammpunkt von $> 100\text{ °C}$, differenziert nach KSS-Aerosol und der Summe aus KSS-Aerosol und -Dampf

Abbildung 1:

Summenhäufigkeitsverteilung (Summe aus KSS-Dampf und KSS-Aerosol) differenziert nach Probenahmezeitraum für nichtwassermischbare KSS mit einem Flammpunkt > 100 °C

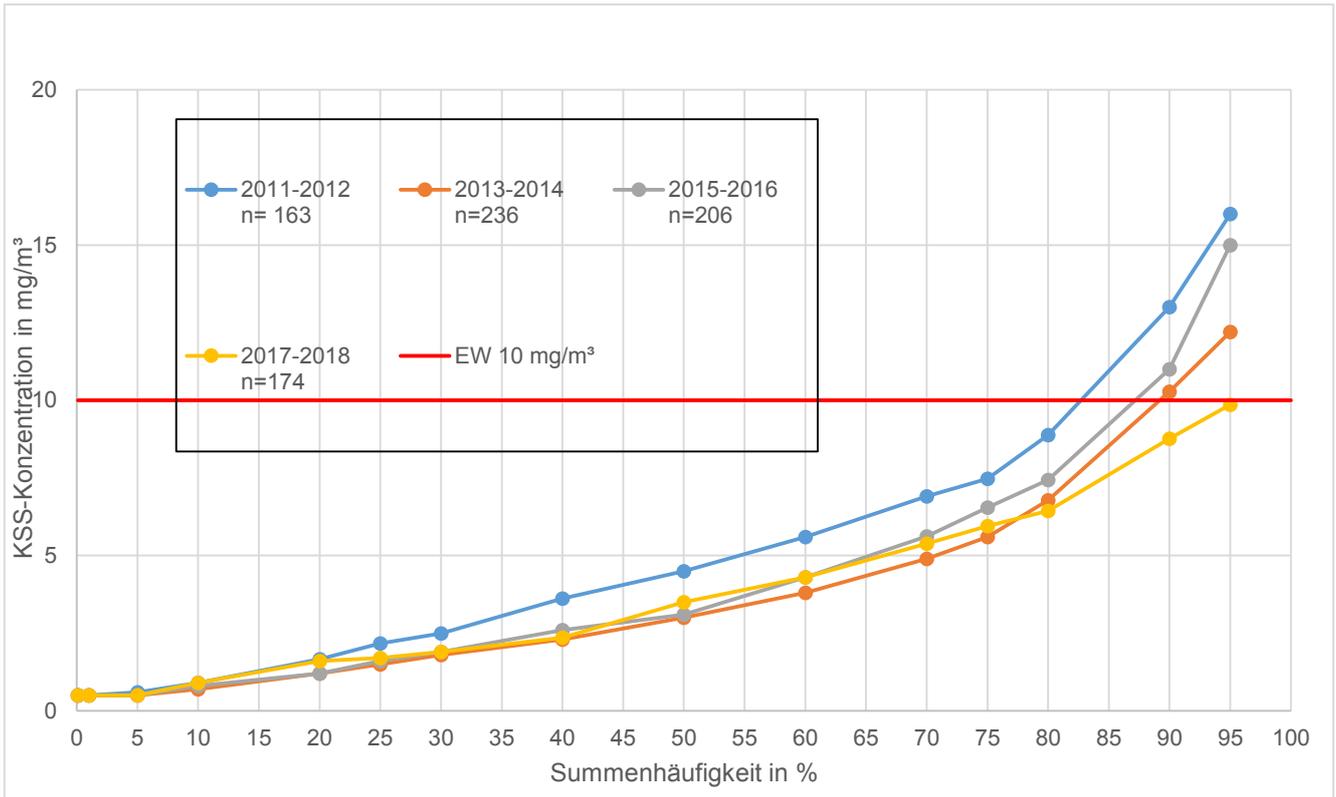
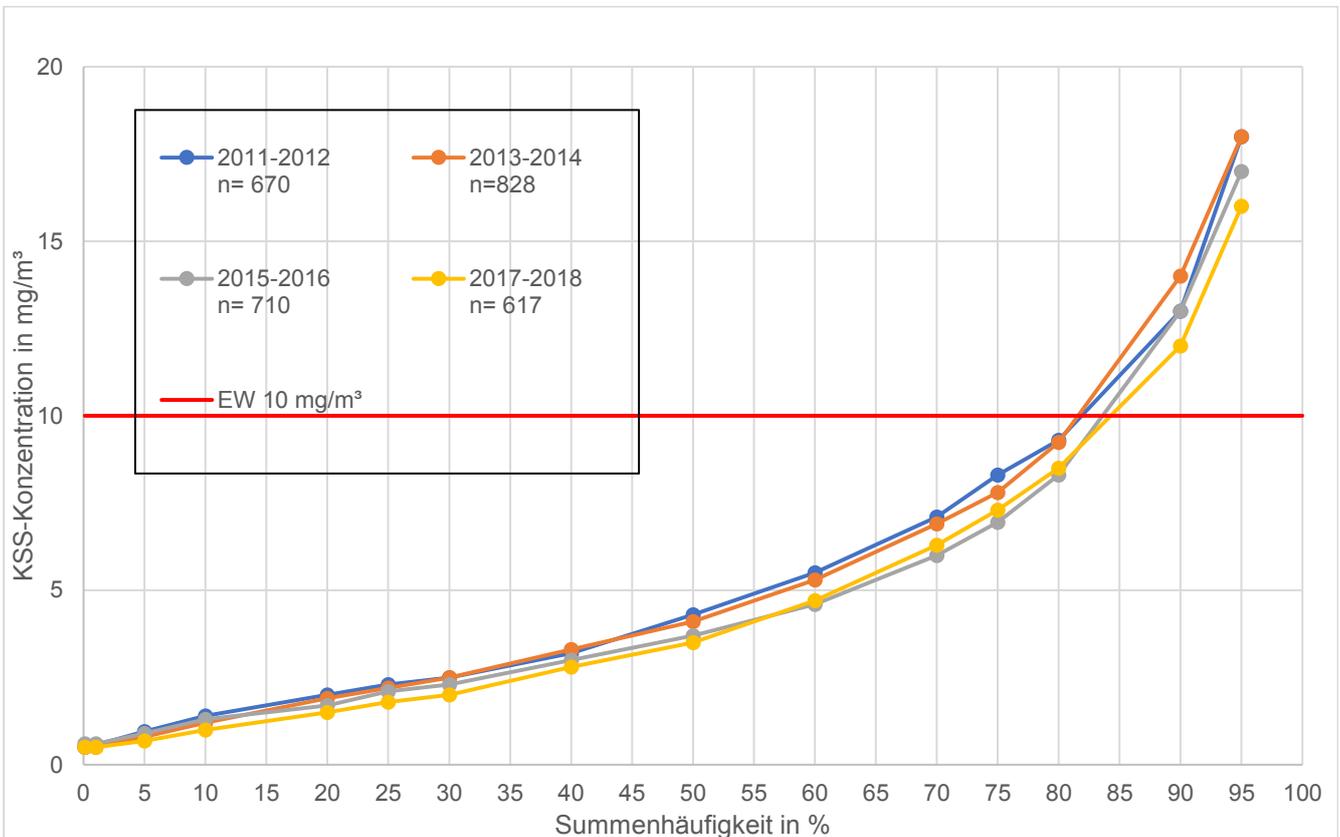


Abbildung 2:

Summenhäufigkeitsverteilung (Summe aus KSS-Dampf und KSS-Aerosol) differenziert nach Probenahmezeitraum für wassermischbare bzw. wassergemischte KSS mit einem Flammpunkt > 100 °C



5 Gefährdungsermittlung und -beurteilung

Abbildung 3:

Summenhäufigkeitsverteilung differenziert nach KSS-Aerosol und der Summe aus KSS-Aerosol und -Dampf für nichtwassermischbare KSS mit einem Flammpunkt > 100 °C; (*Bestimmungsgrenze des Verfahrens)

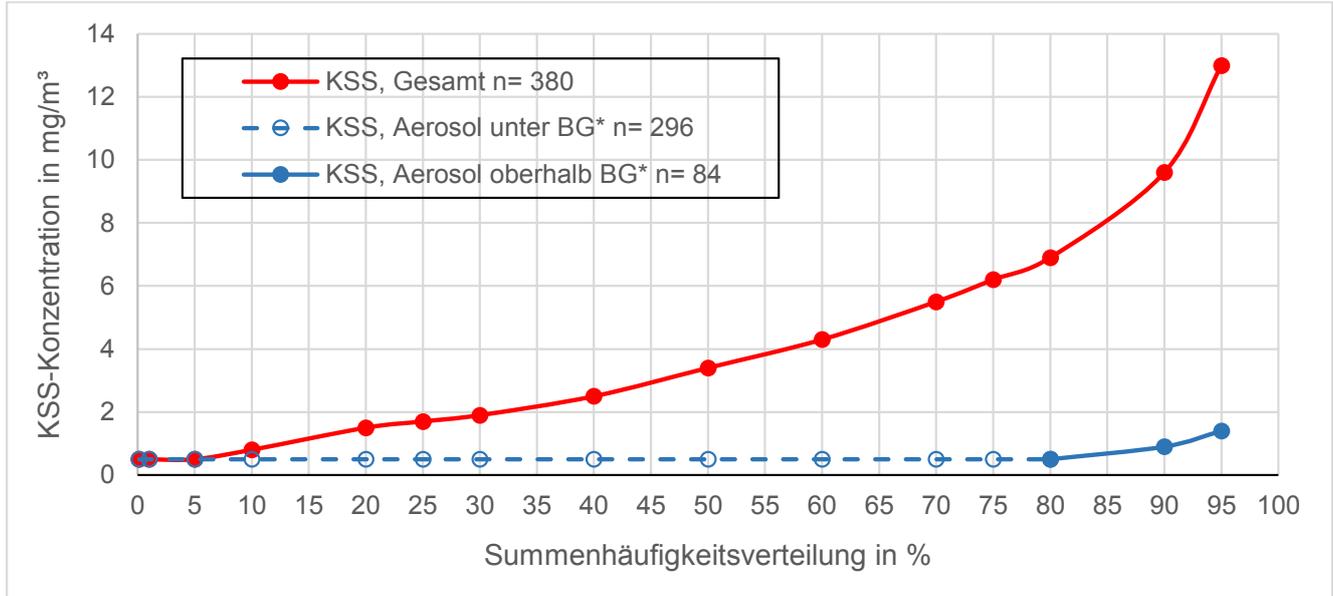
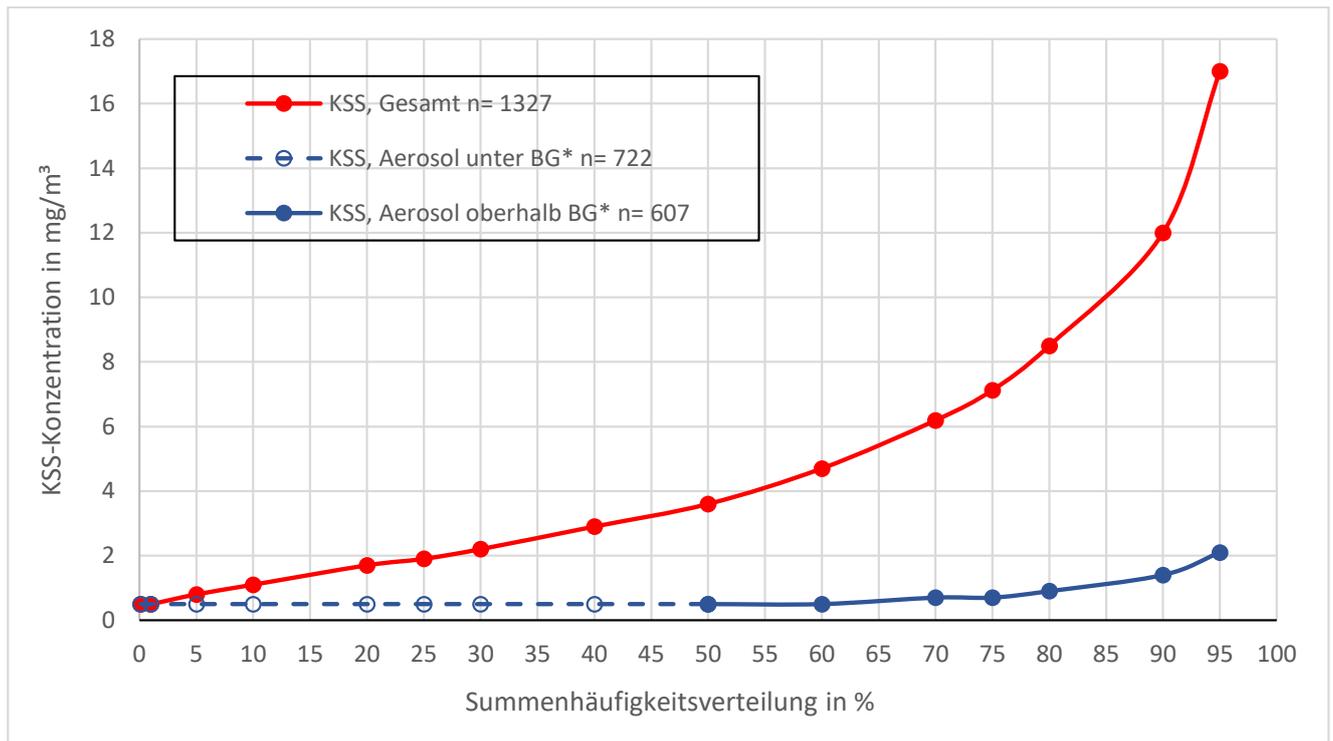


Abbildung 4:

Summenhäufigkeitsverteilung differenziert nach KSS-Aerosol und der Summe aus KSS-Aerosol und -Dampf für wassermischbare bzw. wassergemischte KSS mit einem Flammpunkt > 100 °C; (*Bestimmungsgrenze des Verfahrens)



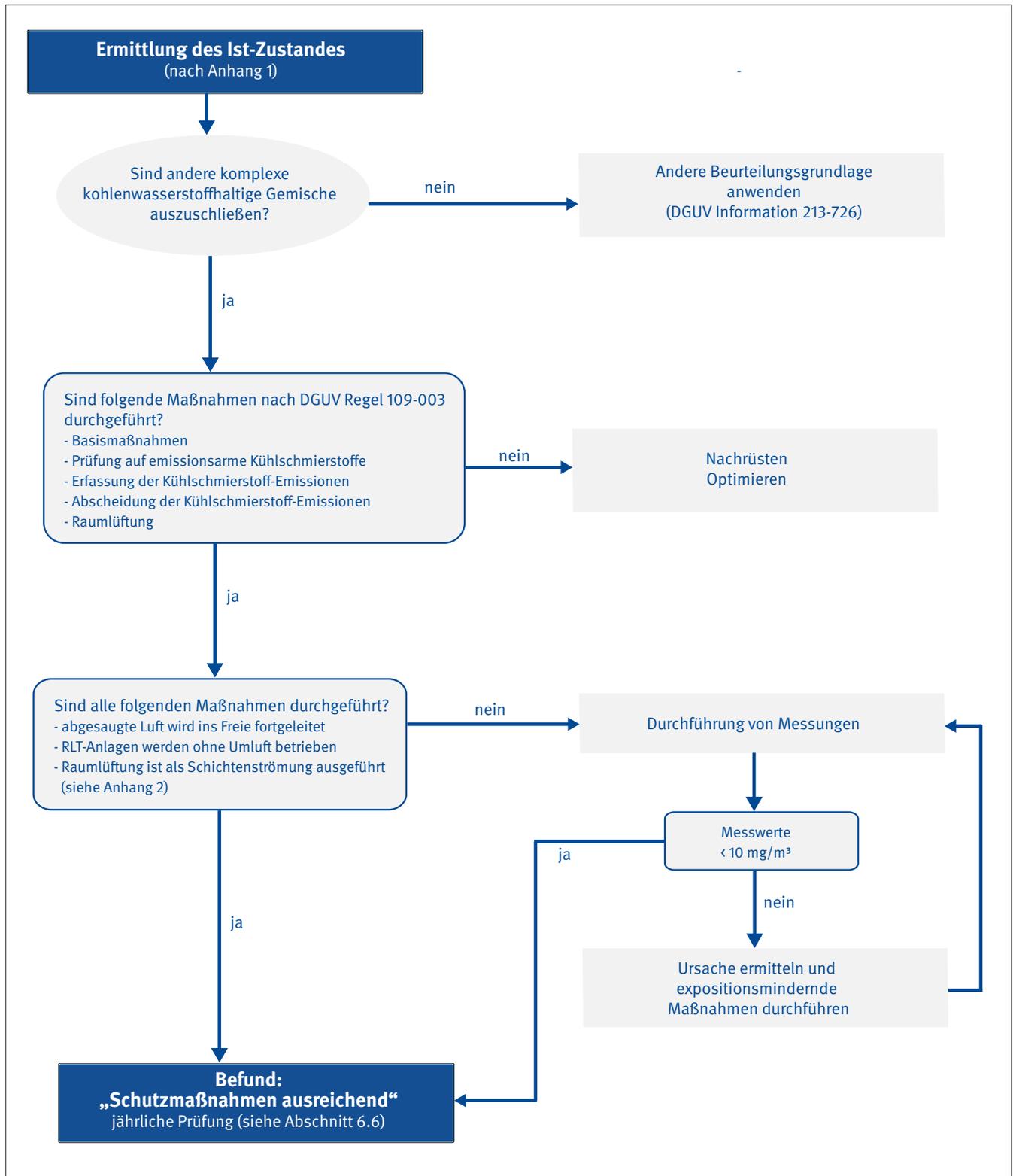
5.2 Gefährdungsbeurteilung

Aufgrund der verschiedenen Expositionswege und der komplexen Zusammensetzung kann bis heute kein arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeter Arbeitsplatzgrenzwert für KSS abgeleitet werden. Stattdessen muss zur Beurteilung der Stand der Technik gemäß DGUV Regel 109-003 [12] herangezogen

werden. Für nichtwassermischbare KSS mit Flammpunkt $> 100\text{ °C}$ und wassergemischte KSS gilt ein Beurteilungsmaßstab von 10 mg/m^3 für die Summe aus KSS-Dampf und -Aerosol.

Die **Gefährdungsbeurteilung** kann entsprechend dem in Abbildung 5 dargestellten Ablaufschema erfolgen.

Abbildung 5:
Ablaufschema Gefährdungsbeurteilung; RLT-Anlage = raumlufttechnische Anlage



6 Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsprüfung

6.1 Zusammenfassung der grundsätzlich durchzuführenden Maßnahmen (Basismaßnahmen)

Zur Minimierung von KSS-Emissionen sind grundsätzlich die in Tabelle 2 aufgelisteten Basismaßnahmen durchzuführen.

Tabelle 2:
Gegenüberstellung von Ursachen für KSS-Emissionen und Basismaßnahmen

Ursachen für KSS-Emissionen	Basismaßnahmen
Ungünstig ausgelegte oder positionierte KSS-Zufuhr	Der KSS soll unmittelbar und ununterbrochen (gleichmäßiger Strahl) an die Wirkstelle des Werkzeugs gebracht werden. Dadurch werden die Reibung gemindert, der Späneabtransport gesichert und eine ausreichende Wärmeabfuhr gewährleistet.
Unzureichender KSS-Volumenstrom oder zu hoher KSS-Druck	Der KSS-Volumenstrom soll gemäß VDI 3035 [13] bestimmt und optimiert werden (z. B. Mindestwerte einhalten, Druck minimieren). Hier kann ggf. auch eine Anfrage bei der liefernden Firma helfen.
Einschleppen von Fremdölen (Hydrauliköle, offene Schmiersysteme etc.)	In nichtwassermischbare KSS eingeschleppte Fremdöle werden irreversibel vermischt. Eine Trennung mit mechanischen Verfahren ist in diesen Fällen nicht möglich. Aus diesen Gründen sollen KSS und Schmieröle aufeinander abgestimmt werden. In wassergemischten KSS werden Fremdöle mehr oder weniger einemulgiert. Die sich an der Oberfläche absetzende ölige Schicht soll mithilfe von Skimmern und Separatoren abgetrennt werden (VDI 3397 Blatt 2 [14]). Bei Neuanlagen soll eine konstruktive Trennung von Hydraulik-, Schmier- und KSS-Kreisläufen vorgesehen werden. Bei einer Verbrauchschmierung ist eine Trennung der Kreisläufe nicht möglich. In diesem Fall sollen Schmierölableitungen installiert werden, die ein Vermischen minimieren können.
Zu hohe Temperatur des umlaufenden KSS	Gemäß VDI 3035 [13] sollen <ul style="list-style-type: none"> • KSS-Behälter ausreichend groß ausgelegt sein, • die Wärmeabfuhr über den KSS-Sammelbehälter gewährleistet sein, • KSS-Rücklauf, -Zufuhr und Wärmefluss aufeinander abgestimmt sein. Für wassergemischte KSS sind gemäß TRGS 611 [15] regelmäßige Temperaturkontrollen erforderlich. Verfahrensbedingt sind in einigen Fällen Grenztemperaturen einzuhalten (z. B. 40 °C bei vielen Zerspanungsverfahren). Hier kann ggf. auch eine Anfrage bei der liefernden Firma weiterhelfen. Teilweise ist eine Temperierung des KSS im Umlaufsystem anzuraten.
Verfahrenstechnisch bedingte hohe KSS-Drücke, große KSS-Fördermengen, schnell rotierende Werkzeuge und Werkstücke	In diesen Fällen sollen eingehauste Bearbeitungsmaschinen eingesetzt werden. Spritzabdeckungen genügen meist nicht den Anforderungen, können aber als ergänzende Maßnahme sinnvoll sein.
Undichte Gehäuse und Leitungssysteme	Lecks müssen umgehend abdichtet werden.
Verdampfen von KSS an warmen Werkstücken oder Spänen	Späne und Werkstücke sollen möglichst rasch aus dem Arbeitsraum entfernt oder abgedeckt und abgesaugt werden (nicht lagern!).
Verschüttete, verspritzte oder verschleppte KSS im Arbeitsbereich (KSS-Pfützen)	Verunreinigungen sollen unter Einsatz von Bindemitteln sofort beseitigt werden.
Offene KSS-Sammel- und -Ablaufstellen insbesondere mit großen Oberflächen	KSS-Sammel- und KSS-Ablaufstellen sollen soweit wie möglich geschlossen und abgedeckt werden.
Ablagerung von KSS in Bodenwannen, Auffangwannen etc.	Boden- und Auffangwannen sollen regelmäßig gereinigt werden.
Ablegen verunreinigter Reinigungstücher	Reinigungstücher sollen in geeigneten und beschrifteten Behältern gesammelt werden.
Abblasen von Werkstücken, Werkzeugen und Maschinen mit Druckluft	Die Notwendigkeit dieser Maßnahme sollte überprüft werden. Wenn möglich sollen andere Maßnahmen (z. B. Gummiwischer bei Flachschleifmaschinen) genutzt werden. Das Abblasen kann ggf. in der abgesaugten Maschinenkapselung oder in einer abgesaugten Kabine (Box o. ä.) durchgeführt werden.

6.2 Emissionsarme KSS

Nach TRGS 600 [16] ist der Unternehmer verpflichtet, eine Substitutionsprüfung durchzuführen und das Ergebnis zu dokumentieren.

6.2.1 Reduzierung der Emissionen von KSS-Dampf

Durch die Auswahl emissionsarmer Grundöle (Hydrocrack-solvate, Solventraffinate, synthetische Esteröle) kann das Verdampfen des KSS erheblich reduziert werden [17]. Dabei ist zu beachten, dass neben den aus dem Grundöl stammenden Kohlenwasserstoffverbindungen auch Additivbestandteile und

die bei der Bearbeitung entstehenden Reaktionsprodukte verdampfen können.

Bei der Auswahl emissionsarmer nichtwassermischbarer KSS hat sich bewährt, in Abhängigkeit von der Viskosität denjenigen KSS zu wählen, der den geringsten Verdampfungsverlust nach *Noack* aufweist. Abbildung 6 zeigt die prinzipielle Abhängigkeit des Verdampfungsverlustes nach *Noack* von der Viskosität. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über Richtwerte für den Flammpunkt und den Verdampfungsverlust nach *Noack* für nichtwassermischbare emissionsarme KSS.

Eine Verringerung von Emissionen kann auch durch den Einsatz von Multifunktionsölen (siehe VDI 3035 [13]) erreicht werden.

Abbildung 6:
Abhängigkeit des Verdampfungsverlustes nach *Noack* von der Viskosität

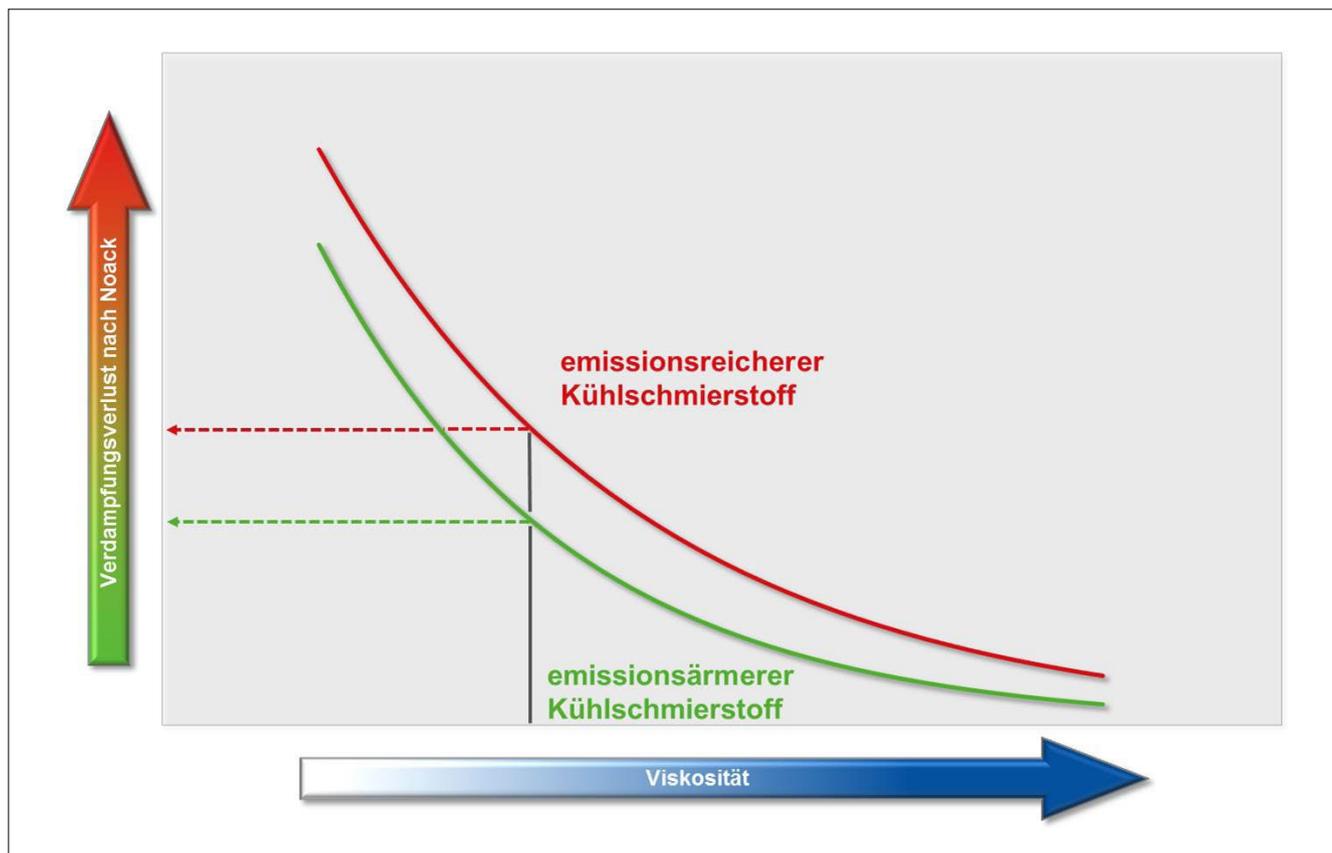


Tabelle 3:
Richtwerte für nichtwassermischbare emissionsarme KSS

Viskositätsklasse ISO VG nach DIN ISO 3448 [18]	Bereich für die kinematische Viskosität bei 40 °C [19] in mm ² /s	Flammpunkt nach Cleveland nach DIN EN ISO 2592 [20] in °C	Verdampfungsverlust nach Noack bei 250 °C nach DIN 51581-1 [21] in %
7	6,12 bis 7,48	> 145	< 80
10	9,00 bis 11,0	> 155	< 60
15	13,5 bis 16,5	> 190	< 25
22	19,8 bis 24,2	> 200	< 15
32	28,8 bis 35,2	> 210	< 13
46	41,4 bis 50,6	> 220	< 11

6.2.2 Reduzierung der Emissionen von KSS-Aerosol

Durch den Zusatz von Antinebeladditiven lässt sich die Bildung lungengängiger Aerosole mit einer Partikelgröße zwischen 0,5 und 5 µm erheblich reduzieren. Antinebelzusätze sind besonders wirksam bei niedrig viskosen KSS wie z. B. Schleif- und Honölen. Die Wirkung kann durch mechanische und physikalische Beanspruchung (Scherung) zeitlich begrenzt sein. Weiterhin ist bei Prozessen mit notwendiger Feinstfiltration (10-µm-Filter, Anschwemmfilter) die Eignung des KSS mit der herstellenden Firma abzusprechen.

6.3 Lufttechnische Maßnahmen

In vielen Fällen reichen die grundsätzlich durchzuführenden Basismaßnahmen nicht aus, um eine ausreichende Luftqualität an Arbeitsplätzen mit spanender Bearbeitung zu erreichen. Deshalb sind folgende lufttechnische Maßnahmen erforderlich:

- Absaugung an der Entstehungsstelle
d. h. gezielte Erfassung der KSS-Emissionen an der Entstehungsstelle, ihre Abführung und Abscheidung und
- Raumluftechnik
d. h. geführter und kontrollierter Luftaustausch in der Werkhalle.

Damit die lufttechnischen Maßnahmen die erforderliche Wirksamkeit erreichen und die Anlagen-, Betriebs- und Wartungskosten wirtschaftlich sinnvoll und tragbar sind, ist die Erstellung eines lufttechnischen Gesamtkonzeptes durch einen für Lüftungsplanung qualifizierten Betrieb erforderlich. Es ist ratsam, einen möglichst detaillierten und präzise ausgeführten Vertrag bei der Auftragsvergabe abzuschließen. Darin ist u. a. zu vereinbaren, wer verantwortlich ist für die Herstellung, Fachplanung, Errichtung oder das Inverkehrbringen sowie für die einzelnen Erklärungen wie Einbauerklärung, Konformitätserklärung und CE-Kennzeichnung. Die grundlegenden Planungsdaten für die Ausführung der Anlagen, ein Verzeichnis mit Angaben über sämtliche Bauteile der lufttechnischen Anlagen sowie Unterlagen für Betrieb und Instandhaltung sollten für die Auftragsvergabe vollständig zur Verfügung stehen.

Grundlagen für die Auslegung lufttechnischer Maßnahmen finden sich u. a. in der DGUV Regel 109-002 [22] sowie in den Richtlinien VDI 2262 Blatt 1 bis 4 [23 bis 26] und VDI 3802 Blatt 2 [27]. Eine Skizze mit idealen lufttechnischen Verhältnissen bietet Anhang 2.

6.3.1 Erfassung von KSS-Emissionen

Bei Tätigkeiten mit KSS lässt sich eine Ausbreitung von KSS-Emissionen in der Regel auch bei Anwendung der genannten Basismaßnahmen nicht vollständig verhindern. Sie sind daher an den Entstehungs- und Austrittsstellen mithilfe von Erfassungseinrichtungen wirksam abzusaugen. Als Erfassungseinrichtungen kommen infrage:

- offene Systeme (z. B. Düsenplatte, Drallhaube),
- halboffene Systeme (z. B. Absaugstand, Abzugschrank, Werkzeugeinkleidung) oder
- geschlossene Systeme (z. B. Kapselung, Einhausung).

Je offener das Erfassungssystem ausgeführt ist, umso größer ist der notwendige Erfassungsluftvolumenstrom.

Bei der Erfassung von KSS-Emissionen müssen alle Emissionsquellen (z. B. Austragstelle für die Späne, Spänebehälter, offene KSS-Vorratsbehälter bei einzeln versorgten Maschinen) berücksichtigt werden.

Der Erfassungsluftvolumenstrom muss auf den jeweiligen Anwendungsfall ausgelegt werden. Bearbeitungsmaschinen mit kleinerem Bearbeitungsraum werden mit einem geringeren Volumenstrom abgesaugt als Maschinen mit einem größeren Raumvolumen.

Um eine Konzentrationsanreicherung in der Maschine zu verhindern, sind für eine zielgerichtete Luftführung Öffnungen in der Werkzeugmaschinen-einhausung vorzusehen. Die Anordnung und Größe dieser Öffnungen lässt sich für Neumaschinen u. a. über eine Strömungssimulation bestimmen.

Grundsätzlich sind Öffnungen in der Werkzeugmaschinen-einhausung, die nicht der Luftführung dienen, soweit wie möglich zu minimieren. Der Erfassungsluftvolumenstrom muss so hoch gewählt werden, dass an allen Öffnungen ein nach innen gerichteter Luftstrom besteht. Die Nachströmgeschwindigkeit sollte 0,2 bis 0,4 m/s betragen.

Damit keine größeren Tropfen oder Späne mit angesaugt werden, ist die Luftgeschwindigkeit im Erfassungsquerschnitt (Schnittstelle zwischen Werkzeugmaschine und Absaugung) auf maximal 4 m/s zu begrenzen (nach VDI 3802-2 [27]). Es wird empfohlen, Vorabscheidersysteme (z. B. Spänetor®, Pipeclean®) vorzusehen, um eine Überfrachtung der Absaugleitungen und der Absauganlage zu vermeiden. Prallbleche bieten ebenfalls einen Schutz, sind allerdings nicht so effektiv.

Erfassungseinrichtungen und Luftleitungen sind so anzuordnen und zu gestalten, dass sich in ihnen keine flüssigen KSS ansammeln und angesammelte KSS aus den Erfassungseinrichtungen und den Luftleitungen ablaufen können. Um eine Verschmutzung der Luftleitungen zu verhindern, sind sie so auszulegen, dass an jeder Stelle Strömungsgeschwindigkeiten von 12 m/s nicht unterschritten werden (nach VDI 3802-2 [27]). Zur Vermeidung von Totzonen und zur Begrenzung der Widerstände in den Luftleitungen sind Formstücke wie Abzweige, Bögen, Reduzierungen etc. strömungsgünstig auszuführen. Die Luftleitungen sind mit Gefälle zur Emissionsquelle hin zu verlegen. Zur Inspektion und zur Reinigung sind in den Luftleitungen ausreichend Öffnungen vorzusehen.

Hinweise zur Auslegung von Erfassungseinrichtungen enthält die Richtlinie VDI 2262 Blatt 4 [26]. Der bei gekapselten Maschinen notwendige Erfassungsluftvolumenstrom kann nach der Geschwindigkeitsmethode dieser Richtlinie ermittelt werden.

Bei Zentral- oder Gruppenabsauganlagen mit verzweigten Luftleitungssystemen ist es ratsam, Luftleitungen aus längs geschweißten Stahlrohren und öldichten Flanschverbindungen zu verwenden.

6.3.2 Abscheidung von KSS-Emissionen

Abscheider sind ein Teil der Absaugung (Prozesslufttechnik) und auch der raumluftechnischen Anlage (RLT-Anlage). Sie dienen dazu, luftfremde Stoffe aus dem Abluftstrom zu entfernen, bevor dieser als Fortluft (Abluft) nach außen oder als zurückgeführte Luft (Umluft) wieder in den Arbeitsraum geleitet werden kann. Nur durch den Einsatz von Abscheidern lassen sich bei Tätigkeiten mit KSS die Emissionsgrenzwerte gemäß Technischer Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [28], die Arbeitsplatzgrenzwerte gemäß Gefahrstoffverordnung [1] sowie der Beurteilungsmaßstab nach DGUV Regel 109-003 [12] einhalten. Darüber hinaus dienen Abscheider gemäß VDI 3802 Blatt 1 [29] zum Schutz nachgeschalteter Anlagenkomponenten (Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung).

Tabelle 4:
Eignung von Abscheidern für KSS-Emissionen

Abscheidersystem	Abscheidung von KSS-Dampf	Abscheidung von KSS-Aerosol	Sicherheit gegen Brand und Explosionen
elektrostatische Abscheider	keine Wirksamkeit	bis auf wassergemischte KSS relativ gut ¹⁾	keine
filternde Abscheider	keine Wirksamkeit	gut	keine
Massenkraftabscheider	keine Wirksamkeit	ungenügend	keine
Nassabscheider	Nassabscheider werden in der Regel nur in Sonderfällen, z. B. bei der kombinierten Nass-/Trockenbearbeitung, eingesetzt.		

¹⁾ Bei wassergemischten KSS entstehen Kriechströme und dadurch Spannungsüberschläge, wodurch sich die Abscheidewirkung verschlechtert.

6.3.3 Luftrückführung

Um die Energiebilanz (Energieeffizienz) zu verbessern, wird häufig die Möglichkeit der Luftrückführung in Betracht gezogen. Darunter versteht man die Rückführung der erfassten bzw. abgesaugten und anschließend in Abscheidern gereinigten Luft in die Werkhalle bzw. in den Arbeitsbereich. Dabei darf grundsätzlich der Restgehalt an luftfremden Stoffen in der zurückgeführten Luft die Gefahrstoffkonzentration in den Arbeitsbereichen nicht nennenswert erhöhen.

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, ist es derzeit nicht möglich, KSS-Dampf vollständig abzuscheiden. Bei einer Luftrückführung gelangt der nicht abgeschiedene Anteil zurück in den Arbeitsbereich. Um eine Erhöhung der KSS-Konzentration in der Luft am Arbeitsplatz zu vermeiden, sollte daher die Luft nach dem Abscheider als Fortluft ins Freie abgeleitet werden. Dabei sind die Vorgaben des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [37] und der TA Luft [28] zu berücksichtigen.

Besteht nicht die Möglichkeit, eine Zentral- oder Gruppenabsauganlage mit Fortluftführung zu installieren und befinden sich auf den einzelnen Maschinen Einzelabsaugungen mit Luftrückführung, so gelten die Anforderungen nach der Richtlinie VDI 2262 Blatt 3 [25] sowie der DGUV Regel 109-003 [12] für die KSS-Konzentration in der zurückgeführten Luft. In diesen Fällen

Die abgesaugte Luft wird vorwiegend folgenden Abscheidern zugeführt:

- elektrische Abscheider entsprechend VDI 3678 Blatt 2 [30] (Elektrostatische Abscheider),
- Massenkraftabscheider entsprechend VDI 3676 [31] (Zentrifugalabscheider),
- filternde Abscheider entsprechend VDI 3677 Blätter 1 und 2 [32; 33],
- Nassabscheider entsprechend VDI 3679 Blätter 1 bis 3 [34 bis 36],

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Eignung von Abscheidersystemen.

müssen weitergehende raumluftechnische Maßnahmen durchgeführt werden (siehe Abschnitt 6.3.4 und Anhang 3).

6.3.4 Raumlüftung

Untersuchungen belegen, dass zur Reduzierung der KSS-Konzentrationen am Arbeitsplatz Absauganlagen alleine nicht ausreichend sind. Um diffuse Emissionsquellen von KSS (z. B. Werkstückoberflächen) zu berücksichtigen, ist in der Regel die Errichtung einer RLT-Anlage erforderlich. Im Unterschied zur freien Lüftung versteht man unter Raumluftechnik den geführten und kontrollierten Luftaustausch in einer Werkhalle.

Für die Auslegung der RLT-Anlage sind die notwendigen Zu- und Abluftvolumenströme in Abhängigkeit von den vorliegenden Verhältnissen zu ermitteln. Der Gesamtabluftvolumenstrom der Halle setzt sich aus dem Absaugvolumenstrom aller abgesaugten Werkzeugmaschinen sowie dem Hallenabluftvolumenstrom zusammen. Erfahrungsgemäß sollte der Absaugvolumenstrom dabei maximal 80 % des Gesamtabluftvolumenstromes der Halle betragen. Zum Ausgleich des Luftdefizites ist ein zum Gesamtabluftvolumenstrom äquivalenter Zuluftvolumenstrom erforderlich.

Bei komplexen Anlagen sowie bei der Neuplanung ist eine Auslegung der Luftvolumenströme nach VDI 3802 Blatt 1 [29]

erforderlich, da hier eine konkrete, auf den einzelnen Anwendungsfall abgestimmte Lastrechnung (thermische Last, Gefahrstofflast) vorgenommen wird. Diese Berechnung führen qualifizierte Lüftungsfirmen durch.

Ein entscheidendes Merkmal für die Wirksamkeit einer RLT-Anlage ist die Luftführung. Bei Tätigkeiten mit KSS entstehen oberhalb der Werkzeugmaschinen Thermikströme. Diese führen zu einer von unten nach oben gerichteten Strömung der Raumluft. Mit der Thermikströmung steigen im Arbeitsbereich entstehende Gefahrstoffe und sonstige Lasten zur Decke auf. Eine die Gefahrstofflast mindernde Luftführung wie die Schichtenströmung (Schichtlüftung) unterstützt diesen Luftstrom. Bei der Schichtenströmung wird die Zuluft turbulenzarm in Bodennähe zugeführt und die Abluft an der Hallendecke abgeführt.

Ein Mischlüftungssystem mit unterhalb der Decke angebrachten Zu- und Abluftdurchlässen führt im Gegensatz zur Schichtenströmung dazu, dass Gefahrstoffe im gesamten Hallenbereich verteilt werden (Verdünnungseffekt). Um die gleiche Effektivität wie mit der Schichtenströmung zu erreichen, sind hierbei im Allgemeinen wesentlich höhere Luftvolumenströme notwendig.

Da in RLT-Anlagen im Prinzip die gleichen Abscheidesysteme wie in Absauganlagen eingesetzt werden, ist bei deren Errichtung und Betrieb eine Luftrückführung nicht zu empfehlen (siehe Abschnitt 6.3.3). Wird eine RLT-Anlage dennoch (zeitweise) mit Umluft betrieben, ist mithilfe von Messungen die Exposition der Beschäftigten gegenüber KSS zu prüfen.

Zur Energieoptimierung kann in Anlagen mit größeren Luftvolumenströmen der Einbau eines regenerativen Wärmerückgewinnungssystems sinnvoll sein. Ab einem Gesamtvolumenstrom von 4 000 m³/h ist die Einrichtung einer Wärmerückgewinnung nach dem Stand der Technik gemäß der Energieeinsparverordnung (EnEV) [38] verpflichtend.

6.3.5 Prüfungen und Dokumentation

Gemäß Betriebssicherheitsverordnung sind die lufttechnischen Anlagen durch eine befähigte Person zu prüfen. Der Umfang dieser Funktionsprüfungen einschließlich der Messungen ist in Anlehnung an DIN EN 12599 [39] auf den konkreten Fall abzustimmen. In Anlehnung an diese Norm sollten auch Absauganlagen und Abscheideeinrichtungen einer Abnahmeprüfung unterzogen werden.

Diese Prüfung ist Voraussetzung und Grundlage der Abnahme mit den sich daraus ergebenden Rechtswirkungen. Sie besteht aus

- der Vollständigkeitsprüfung,
- der Funktionsprüfung,
- der Funktionsmessung (Sommer-/Winterbetrieb)

und muss schriftlich protokolliert werden.

Die erste Prüfung auf ordnungsgemäße Installation, Funktion und Aufstellung muss vor der ersten Inbetriebnahme erfolgen. Nachfolgende Prüfungen sind in regelmäßigen Zeitabständen, mindestens jedoch jährlich, und nach jeder wesentlichen Änderung der lufttechnischen Anlage zu wiederholen. Zusätzlich muss vor Arbeitsbeginn die Funktionsfähigkeit der Anlage überprüft werden. Der Umfang der Funktionsmessung, die Messverfahren und die Messgeräte sind bei der Auftragserteilung schriftlich festzulegen. Von der herstellenden oder errichtenden Firma der Absaug- oder RLT-Anlagen ist eine Konformitätserklärung zu verlangen. Darin muss bescheinigt sein, dass die Anlagen allen einschlägigen Normen und Richtlinien sowie den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen entsprechen.

Es sind u. a. aufzuführen:

- Name und Anschrift der herstellenden oder errichtenden Firma der Anlage,
- Beschreibung der Anlage,
- Instandhaltungsintervalle (Wartung, Inspektion, Instandsetzung),
- Anlagenschema,
- Aufstellung der einschlägigen Bestimmungen (Normen, Richtlinien, anerkannte Regeln der Technik), die beim Bau und bei der Installation der Anlage berücksichtigt wurden, ggf. Name und Anschrift der zugelassenen Prüfstelle für eingebaute Abscheider.

Eine Übersicht der wichtigsten Richtlinien, Normen und Regeln der Unfallversicherungsträger enthält Anhang 3.

6.4 Brand- und Explosionsschutz

Beim Einsatz nichtwassermischbarer KSS können sich brennbare und unter Umständen explosionsfähige Gemische mit Luft im Arbeitsinnenraum der Werkzeugmaschine und im Abluftsystem (Rohrleitung und Abscheider) bilden. Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Brand- und Explosionsgefahren sind in der DGUV Information 209-026 [6] beschrieben.

6.5 Organisatorische Maßnahmen

Hinsichtlich der zu berücksichtigenden organisatorischen Maßnahmen wird auf die DGUV Regel 109-003 [12] verwiesen:

- Wartung und Pflege des KSS,
- Arbeitsmedizinische Vorsorge,
- Betriebsanweisungen und Unterweisungen,
- Hautschutz und Hautpflege,
- Arbeitshygiene.

6.6 Wirksamkeitsprüfung

Entsprechend der DGUV Information 109-002 [22] sind lufttechnische Anlagen jährlich von einer befähigten Person zu prüfen und die Prüfergebnisse zu dokumentieren.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen (siehe Ablaufschema in Abbildung 5) sind Messungen entsprechend der IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen [10] durchzuführen.

Der Anwender muss jährlich überprüfen, ob diese Empfehlungen noch gültig und in seinem Betrieb die Voraussetzungen zur Anwendung gegeben sind. Diese Ermittlungsergebnisse sind zu dokumentieren.

7 Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010) Nr. 59, S. 1643-1692; zul. geänd. BGBl. I (2015) Nr. 4, S. 49
- [2] DGUV Information 213-701: Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung – Allgemeiner Teil (bisher: BGI/GUV-I 790-001). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2015
- [3] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 7. August 1996. BGBl. I (1996), S. 1246-1253; zul. geänd. BGBl. I (2015) Nr. 35, S. 1474
- [4] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 3. Februar 2015. BGBl. I (2015), S. 49-90
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 401): Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen. Ausg. 6/2008. GMBL. (2008) Nr. 40/41, S. 818; zul. geänd. GMBL. (2011) Nr. 9, S. 175
- [6] DGUV Information 209-026: Brand- und Explosionsschutz an Werkzeugmaschinen (bisher: BGI/GUV-I 719). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2012
- [7] DGUV Information 213-723: BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach der Gefahrstoffverordnung – Minimalmengenschmierung bei der Metallzerspannung (bisher: BGI/GUV-I 790-023). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2009
- [8] DGUV Information 213-726: Tätigkeiten mit sonstigen komplexen kohlenwasserstoffhaltigen Gemischen (KKG). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2014
- [9] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 402): Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. Ausg. 1/2010. GMBL. (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. GMBL. (2014) Nr. 12, S. 254-257
- [10] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/
- [11] *Gabriel, S.; Koppisch, D.; Range, D.*: The MGU – a monitoring system for the collection and documentation of valid workplace exposure data. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 1/2, S. 43-49
- [12] DGUV Regel 109-003: Tätigkeiten mit Kühlschmierstoffen (bisher: BGR/GUV-R 143). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2011
- [13] VDI 3035: Gestaltung von Werkzeugmaschinen, Fertigungsanlagen und peripheren Einrichtungen für den Einsatz von Kühlschmierstoffen (5/2008). Beuth, Berlin 2008
- [14] VDI 3397 Blatt 2: Pflege von Kühlschmierstoffen für spanende und umformende Fertigungsverfahren – Maßnahmen zur Qualitätserhaltung, Prozessverbesserung, Abfall- und Abwasserverminderung (6/2014). Beuth, Berlin 2014
- [15] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 611): Verwendungsbeschränkungen für wassermischbare bzw. wassergemischte Kühlschmierstoffe, bei deren Einsatz N-Nitrosamine auftreten können. Ausg. 5/2007. GMBL. (2007) Nr. 27/28, S. 546
- [16] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 600): Substitution. Ausg. 8/2008. GMBL. (2008) Nr. 46/47, S. 970-989
- [17] *Kiechle, H.; Hobelsberger, H.; Darafsch, F.; Freiler, F.; Luther, H.; Buß, H.*: Emissionsarme Schmierstoffe. Abschlussbericht, BMFT-Projekt 01 ZH 8821/5, 1994
- [18] DIN ISO 3448: Flüssige Industrie-Schmierstoffe – ISO-Viskositätsklassifikation (02/2010). Beuth, Berlin 2010
- [19] DIN 51562 Blatt 1: Viskosimetrie – Messung der kinematischen Viskosität mit dem Ubbelohde-Viskosimeter – Teil 1: Bauform und Durchführung der Messung (1/1999). Beuth, Berlin 1999
- [20] DIN EN ISO 2592: Mineralölerzeugnisse – Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes – Verfahren mit offenem Tiegel nach *Cleveland* (9/2002). Beuth, Berlin 2002
- [21] DIN 51581-1: Prüfung von Mineralölerzeugnissen – Bestimmung des Verdampfungsverlustes – Teil 1: Verfahren nach *Noack* (9/2011). Beuth, Berlin 2011
- [22] DGUV Regel 109-002: Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen (bisher: BGR 121). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2004
- [23] VDI 2262 Blatt 1: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Rechtliche Grundlagen, Begriffe, grundlegende organisatorische Maßnahmen für den Arbeitsschutz und Umweltschutz (6/2013). Beuth, Berlin 2013
- [24] VDI 2262 Blatt 2: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen (11/2012). Beuth, Berlin 2012

- [25] VDI 2262 Blatt 3: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen (6/2011). Beuth, Berlin 2011
- [26] VDI 2262 Blatt 4: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe (3/2006). Beuth, Berlin 2006
- [27] VDI 3802 Blatt 2: Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten – Absaugung luftfremder Stoffe an materialabtragenden Werkzeugmaschinen (3/2012). Beuth, Berlin 2012
- [28] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBL. (2002) Nr. 25-29, S. 511; zul. geänd. GMBL. (2014), S. 1603
- [29] VDI 3802 Blatt 1: Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten (9/2014). Beuth, Berlin 2014
- [30] VDI 3678 Blatt 2: Elektrofilter – Prozessluft- und Raumlufreinigung (12/2010). Beuth, Berlin 2010
- [31] VDI 3676: Massenkraftabscheider (10/1999). Beuth, Berlin 1999
- [32] VDI 3677 Blatt 1: Filternde Abscheider – Oberflächenfilter (11/2010). Beuth, Berlin 2010
- [33] VDI 3677 Blatt 2: Filternde Abscheider – Tiefenfilter aus Fasern (2/2004). Beuth, Berlin 2004
- [34] VDI 3679 Blatt 1: Nassabscheider – Grundlagen, Abgasreinigung von partikelförmigen Stoffen (7/2014). Beuth, Berlin 2014
- [35] VDI 3679 Blatt 2: Nassabscheider – Abgasreinigung durch Absorption (Wäscher) (7/2014). Beuth, Berlin 2014
- [36] VDI 3679 Blatt 3: Nassabscheider – Tropfenabscheider (6/2010). Beuth, Berlin 2010
- [37] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 17. Mai 2013. BGBl. (2013) Nr. 25, S. 1274-1311; zul. geänd. BGBl. I (2015), S. 1474
- [38] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007. BGBl. I (2007) Nr. 34, S. 1519-1563; zul. geänd. BGBl. I (2015), S.1474
- [39] DIN EN 12599: Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen (1/2013). Beuth, Berlin 2013

**Liste 1:
Einsatzstoffliste**

Alle Einsatzstoffe mit ihren physikalischen Angaben werden aufgeführt, auch kohlenwasserstoffhaltige Produkte (sonstige), die nicht zu den KSS zählen, mit ihren jeweiligen Flammpunkten. Ziel dieser Erhebung ist auch die Überprüfung des Anwendungsbereiches nach Abschnitt 2 und des Einsatzes emissionsarmer KSS nach Abschnitt 6.2.

Lfd. Nr.	Handelname/ Hersteller	Sonstige ¹⁾	KSS (nw/w) ²⁾	Flammpunkt in °C	Viskosität bei 40 °C ³⁾ in mm ² /s	Noack-Zahl ³⁾	Bemerkungen

¹⁾ Sonstige flüchtige Stoffe

²⁾ KSS = Kühlschmierstoffe, nw = nichtwassermischbar, w = wassergemischt

³⁾ für nichtwassermischbare KSS

**Liste 2:
Maschinenliste**

Maschine Nr.	Bezeichnung/ Hersteller	Bearbeitungsart	KSS ¹⁾	KSS-Versorgung Einzel-/Zentral-	Maßnahmen an der Maschine ²⁾	Basismaßnahmen durchgeführt ja/nein

¹⁾ Verbindung zur Einsatzstoffliste (Nummer der Einsatzstoffe)

²⁾ offene Maschine ohne Spritzschutz, teiloffene Maschine oder gekapselte Maschine

**Liste 3:
Liste der absaugtechnischen Einrichtungen an den Maschinen**

Nr.	Typ ¹⁾ /Art/Hersteller	Anschluss an folgende Maschine(n)	Absaugvolumenstrom in m ³ /h	Abnahmemessung ja/nein	Abführung der Absaugluft als Fortluft ja/nein

¹⁾ filternder Abscheider, Nassabscheider, Massenkraftabscheider oder Elektrofilter

Anhang 2: Skizze einer Werkhalle mit optimierten Bedingungen

Abbildung A.1:
Werkhalle mit zentraler Absaugung und Fortluft sowie optimierter Luftführung in der Halle (Schichtenströmung)

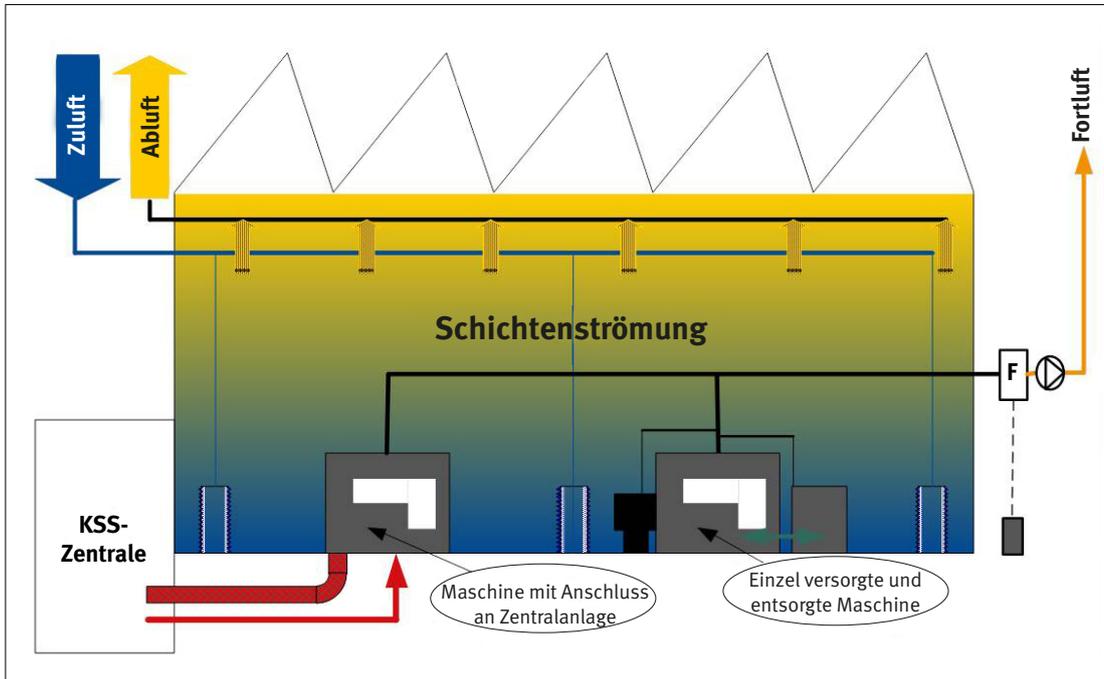
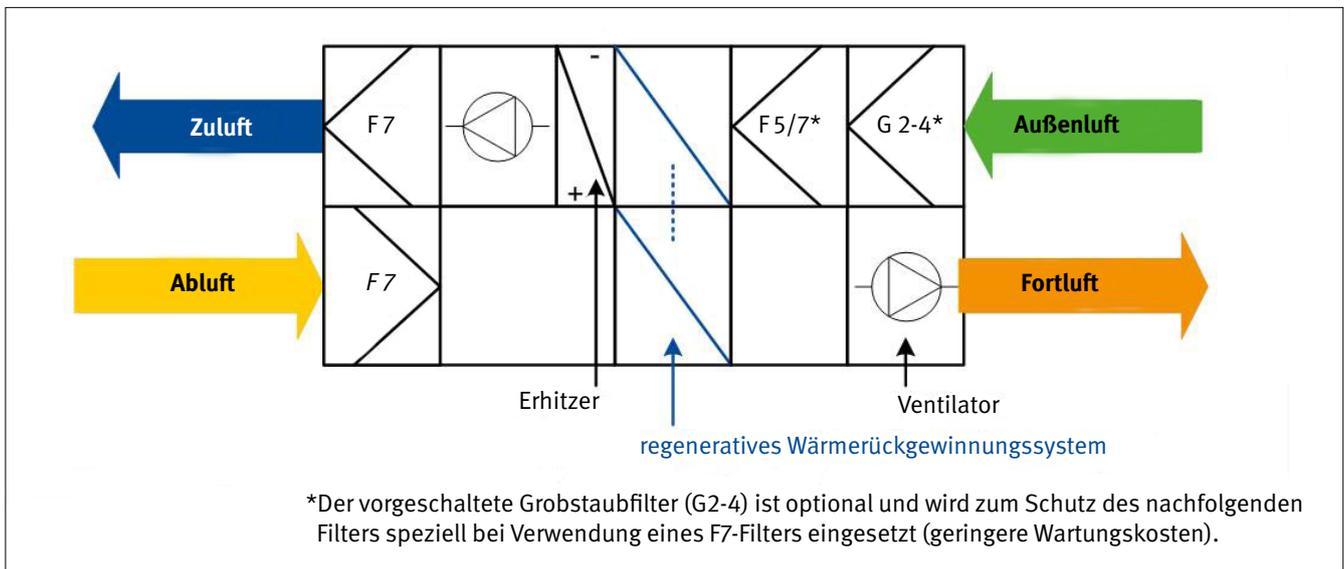


Abbildung A.2:
Zentralstation der RLT-Anlage mit regenerativer Wärmerückgewinnung



Anhang 3: Übersicht über Normen, Richtlinien und Regeln der Unfallversicherungsträger für lufttechnische Anlagen

Die Übersicht listet die mindestens zu beachtenden Normen, Richtlinien und Regeln der Unfallversicherungsträger differenziert nach Bauelementen, Abnahme/Übergabe und Instandhaltung auf.

Bauelemente, Abnahme, Instandhaltung	Normen, Richtlinien Regeln der Unfallversicherungsträger		Ausgabe
Erfassung	VDI 2262 Blatt 4	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe	3/2006
	DGVU Regel 109-002	Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen	1/2004
Luftleitungen	VDI 2087	Luftleitungssysteme – Bemessungsgrundlagen	12/2006
Abscheider	TRGS 560	Luftückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben	1/2012
	VDI 3674	Abgasreinigung durch Adsorption – Prozessgas- und Abgasreinigung	4/2013
	VDI 3676	Massenkraftabscheider	10/1999
	VDI 3677 Blatt 1	Filternde Abscheider – Oberflächenfilter	11/2010
	VDI 3677 Blatt 2	Filternde Abscheider – Tiefenfilter aus Fasern	2/2004
	VDI 3678 Blatt 2	Elektrofilter – Prozessluft- und Raumluftreinigung	12/2010
	VDI 3679 Blatt 1	Nassabscheider – Grundlagen, Abgasreinigung von partikelförmigen Stoffen	7/2014
	VDI 3679 Blatt 2	Nassabscheider – Abgasreinigung durch Absorption (Wäscher)	7/2014
	VDI 3679 Blatt 3	Nassabscheider – Tropfenabscheider	6/2010
Ventilatoren	DGVU Regel 109-002	Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen	1/2004
	VDI 2044	Abnahme- und Leistungsversuche an Ventilatoren (VDI-Ventilatorregeln)	11/2002
Raumlüftung (RLT-Anlagen)	DIN 24166	Ventilatoren – Technische Lieferbedingungen	1/1989
	ASR A3.5	Technische Regeln für Arbeitsstätten Raumtemperatur	6/2010
	ASR A3.6	Technische Regeln für Arbeitsstätten Lüftung	1/2012
	VDI 2262 Blatt 1	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Rechtliche Grundlagen, Begriffe, grundlegende organisatorische Maßnahmen für den Arbeitsschutz und Umweltschutz	6/2013
	VDI 2262 Blatt 2	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen	11/2012
	VDI 2262 Blatt 3	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen	6/2011
	VDI 2262 Blatt 4	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe	3/2006
	VDI 3802 Blatt 1	Raumlufttechnische Anlagen für Fertigungsstätten	9/2014
	VDI 3802 Blatt 2	Raumlufttechnische Anlagen für Fertigungsstätten – Absaugung luftfremder Stoffe an materialabtragenden Werkzeugmaschinen	3/2012
	VDI 3803 Blatt 5	Raumlufttechnik, Geräteanforderungen – Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln)	4/2013
	VDI 6022 Blatt 1	Raumlufttechnik, Raumluftqualität – Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln)	7/2011
	DGVU Regel 109-002	Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen	1/2004

Anhang 3: Übersicht über Normen, Richtlinien und Regeln

Bauelemente, Abnahme, Instandhaltung	Normen, Richtlinien Regeln der Unfallversicherungsträger		Ausgabe
Abnahme und Übergabe	VDI 2066 Blatt 1	Messen von Partikeln – Staubmessungen in strömenden Gasen – Gravimetrische Bestimmung der Staubbeladung	11/2006
	DIN EN 12599	Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen	1/2013
Instandhaltung	VDMA 24186 Teil 1	Leistungsprogramm für die Wartung von lufttechnischen und anderen technischen Ausrüstungen in Gebäuden Teil 1: Lufttechnische Geräte und Anlagen	9/2002
	BG ETEM S 019	Handlungshilfe zur Prüfung und Dokumentation ortsfester Absauganlagen mit CD-ROM	4/2011