

Messen von Kühlschmierstoffen – Ergebnisse von Vergleichsmessungen

D. Breuer, M. Grosser, R. Piringer

Zusammenfassung Kühlschmierstoffe (KSS) sind in der industriellen Fertigungstechnik unverzichtbar. Bei der Gefährdungsbeurteilung sind häufig Messungen von KSS in der Luft am Arbeitsplatz durchzuführen. In Deutschland und Österreich werden im Rahmen der Bewertung von KSS-Arbeitsbereichen seit vielen Jahren Messverfahren angewendet, die KSS als Dampf und Aerosol erfassen. Die Messverfahren unterscheiden sich jedoch in einigen Details wie z. B. den Probenahmebedingungen. Gemeinsam mit einem großen Automobilhersteller wurden vor Ort unter verschiedenen Produktionsbedingungen KSS-Vergleichsmessungen mit der Zielsetzung durchgeführt, die Vergleichbarkeit der Resultate zu prüfen – sowohl beim Einsatz von wassergemischten also auch nichtwassermischbaren KSS. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Anteile an Aerosol und Dampf je nach Messverfahren unterscheiden können. Es stellt sich jedoch heraus, dass die Summe aus KSS-Dampf und -Aerosol in der Regel gut vergleichbare Ergebnisse ergibt. Messverfahren, die ausschließlich auf der Sammlung und Analyse des Aerosols beruhen, würden je nach Wahl der Probenahmebedingungen zu nicht vergleichbaren Resultaten führen.

Measuring metal working fluids – Results of comparative measurements

Abstract Metal working fluids (MWFs) are essential to industrial production equipment. Measurements of MWF concentration in workplace air must often be taken for the purpose of assessing hazards. In Germany and Austria, measurement procedures that record MWF materials as vapours and aerosols have been in use for many years to evaluate areas of the workplace that come into contact with MWFs. Yet these measurement procedures differ in several details, such as in their conditions for collecting samples. Comparative measurements of MWFs were performed with the aim of testing the comparability of the results, both for use with water-mixed and non-water-mixable MWFs; the measurements were performed in cooperation with a major automaker on site. The results indicate that the proportions of aerosol and vapour can differ depending on the selected measurement procedure. Yet it was also found that the sum of MWF vapours and aerosols generally produce comparable results. Measurement procedures that are based solely on collecting and analysing aerosols would produce incomparable results depending on the sampling conditions selected.

1 Einleitung

Kühlschmierstoffe (KSS) sind in der industriellen Fertigungstechnik unverzichtbar. Etwa 90 % aller KSS sind auf der Basis von Kohlenwasserstoffen hergestellt. Der Anteil der Kohlenwasserstoffe im verwendeten Produkt kann dabei

Dr. rer. nat. Dietmar Breuer,

BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin.

Dr. Martin Grosser,

K-SG-A Arbeitsschutz, Sicherheitschemie, VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg.

Dipl.-Ing. Robert Piringer,

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien, Österreich.

von wenigen Prozenten in wassergemischten KSS bis nahezu einhundert Prozent in nichtwassermischbaren KSS reichen [1].

Da KSS häufig komplexe Zusammensetzungen aufweisen, war es bisher nicht möglich, einen arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Luftgrenzwert aufzustellen. In Deutschland und Österreich wurden daraufhin technisch begründete Luftgrenzwerte aufgestellt, die im Wesentlichen zum Ziel hatten, die Arbeitshygiene zu verbessern. In Deutschland existierte bis 2004 ein Luftgrenzwert von 10 mg/m^3 für die Summe aus KSS-Dampf und -Aerosol [2]. In Österreich besteht eine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) von 20 mg/m^3 für die Summe aus KSS-Dampf und -Aerosol und darüber hinaus eine MAK für das KSS-Aerosol von 1 mg/m^3 [3]. Der Luftgrenzwert in Deutschland wurde mit Überarbeitung der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 ausgesetzt, KSS werden jedoch als so wesentlich eingestuft, dass sie in die Bearbeitungsliste des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) aufgenommen wurden [4]. Derzeit befasst sich der zuständige Unterausschuss mit dieser Problematik.

In beiden Staaten ist bzw. war der Luftgrenzwert eindeutig mit einem Messverfahren gekoppelt. Beide Messverfahren beruhen auf der gleichzeitigen Sammlung sowohl der KSS-Aerosole als auch der -Dämpfe. Die Aerosole werden dabei auf einem Filter abgeschieden, die Dämpfe an einer dahinter liegenden Adsorbenschicht zurückgehalten (vgl. Abschn. 2). Diese Vorgehensweise in Deutschland und Österreich unterscheidet sich grundsätzlich von Messverfahren in anderen Staaten wie z. B. den USA oder Großbritannien, wo ausschließlich die Aerosole erfasst und bewertet werden [5; 6]. Problematisch ist bei letzteren, dass die in mineralölbasierten KSS eingesetzten Siedeschnitte Anteile flüchtiger Kohlenwasserstoffe enthalten können; zusätzlich können während der Probenahme bereits auf dem Filter abgeschiedene Aerosole teilweise verdampfen.

Zielsetzung der Vergleichsmessungen war es daher zu zeigen, dass bei KSS-Messungen unbedingt darauf zu achten ist, sowohl Dampf als auch Aerosol zu erfassen und zu bewerten. Je nach Probenahmeverfahren können sich die Anteile von Dampf und Aerosol deutlich unterscheiden, wohingegen die Summe aus Dampf und Aerosol stets eine gute Übereinstimmung ergeben sollte. Neuere Untersuchungen zeigen weiterhin, dass KSS-Aerosole mit Durchmessern von etwa $0,5 \mu\text{m}$ Teilchengröße auf Filtern nicht vollständig abgeschieden werden [7]. An den hier vorgestellten Vergleichsmessungen beteiligt waren das BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA) und die Abteilung Sicherheitschemie der VOLKSWAGEN AG.

2 Messverfahren

Alle drei eingesetzten Probenahmeverfahren basieren auf der Sammlung der Aerosole auf einem Filter und der Adsorption der Dämpfe an einer dahinter liegenden Adsorber-

schicht. In **Tabelle 1** sind die wesentlichen Probenahme- und Analysenbedingungen zusammengestellt. Aus **Tabelle 1** geht auch hervor, dass die eingesetzten Messverfahren vom Grundprinzip her gleich sind, jedoch nicht in allen Punkten der Probenahme- und Analysenbedingungen übereinstimmen.

Zusätzlich wurde an allen Probenahmeorten überprüft, ob neben KSS andere Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe oder andere Lösungsmitteln z. B. aus Reinigern auftreten (konnten). Hierzu wurden parallel Proben auf Aktivkohle gezogen und gaschromatografisch untersucht.

An Messort 1 wurde zusätzlich ein Streulichtfotometer für die Bestimmung der KSS-Aerosolkonzentration eingesetzt. Um eine gute Vergleichbarkeit der Probenahme und damit der Resultate zu gewährleisten, wurden die Probenahmeköpfe auf einem Stativ möglichst unmittelbar nebeneinander angeordnet. Den typischen Aufbau für die Vergleichsmessungen zeigt das **Bild**.

3 Ergebnisse

Die Messungen wurden in der mechanischen Fertigung des Automobilherstellers an vier Messorten bei verschiedenen Bearbeitungsverfahren vorgenommen (vgl. **Tabelle 2**). Am Messort 1 wurden Messungen bei der manuellen Aufgabe der Nockenwellen und am KSS-Auslauf durchgeführt. Da die



Versuchsaufbau bei den Vergleichsmessungen.

Bearbeitungsbedingungen im Laufe der Schicht praktisch nicht verändert wurden, konnten an diesem Messort Wiederholmessungen zur Absicherung der Ergebnisse stattfinden (vgl. **Tabelle 3**).

Tabelle 4 enthält die Ergebnisse an den Messorten 2 und 3. Messort 4 wurde gewählt, weil im Umfeld der Anlage deutliche KSS-Ablagerungen, wie z. B. ölige Oberflächen, auftraten und daher deutlich höhere Ergebnisse erwartet werden konnten. Als Ursache hierfür wurde die unvollständig gefilterte Luftückführung in den Hallenbereich erkannt. Unmittelbar nach der Messung wurde die Führung der Abluft ge-

Tabelle 1. Mess- und Analysenbedingungen der beteiligten Messstellen.

	AUVA	VW	BGIA
Probenahme			
Probenahmekopf	Millipore-Kassette	GGP	GGP
Filter	Glasfaserfilter ø 37 mm, binderfrei	Glasfaserfilter ø 37 mm, binderfrei	Glasfaserfilter ø 37 mm, binderfrei
Adsorbens	1 g Aktivkohle Kokosnussschalen-Aktivkohle	3,5 g gereinigtes XAD-2	3 g gereinigtes XAD-2
Volumenstrom in l/min	1	3,5	3,5
Empfohlene Probenahmedauer in min	120	120	120
Probenahmenvolumen in l	120	420	420
Analyse			
Extraktion	Filter: Tetrachlorethen 3 ml, 24 h Aktivkohle: Tetrachlorethen, 6 ml, 24 h Abdekantieren in die Küvette	Filter: Tetrachlorethen 20 ml, 16 h XAD-2: Tetrachlorethen, 20 ml, 16 h Abhebern mit Spritze	Filter: Tetrachlorethen 10 ml, 16 h XAD-2: Tetrachlorethen, 10 ml, 16 h Filtration
Küvette	10 mm Quarzglas	10 mm Quarzglas	10 mm Quarzglas
FT-IR-Spektrometer	PerkinElmer Spectrum 100 Anzahl Scans: 4 Auflösung: 2 Messbereich: 3 500 bis 2 500 cm ⁻¹ Auswertung: 3 000 bis 2 820 cm ⁻¹ als integrale Extinktion	Nicolet Avatar 360 Anzahl Scans: 16 Auflösung: 4, Gain: 4 Messbereich: 3 500 bis 2 500 cm ⁻¹ Auswertung: 3 000 bis 2 800 cm ⁻¹ als integrale Extinktion	Nicolet Avatar 370 DTGS Anzahl Scans: 32 Auflösung: 4 Messbereich: 4 000 bis 2 200 cm ⁻¹ Auswertung: 3 000 bis 2 800 cm ⁻¹ als integrale Extinktion
Kalibrierung (extern mit jeweiligem KSS)	0,01 bis 0,5 mg/ml bei wassermischbaren KSS wird das Konzentrat als Kalibrierstandard verwendet	0,005 bis 0,2 mg/ml bei wassermischbaren KSS wird das Konzentrat als Kalibrierstandard verwendet	0,05 bis 0,5 mg/ml bei wassermischbaren KSS wird das Konzentrat als Kalibrierstandard verwendet
Reproduzierbarkeit	< 5 % im Messbereich	< 5 % im Messbereich	6,4 bis 8,3 % im Bereich von 2,4 bis 24 mg/m ³
Bestimmungsgrenze	0,1 mg/m ³ für wassermischbare und nichtwassermischbare KSS	0,06 mg/m ³ nichtwassermischbarer KSS 0,13 mg/m ³ wassermischbarer KSS	0,5 mg/m ³ für wassermischbare und nichtwassermischbare KSS
P-T-Korrektur	für Aerosole und Dämpfe	für Dämpfe	keine P-T-Korrektur für Dämpfe

Tabelle 2. Maschinen und Bearbeitungsverfahren.

Messort	1	2	3	4
Maschinenbezeichnung	Schleifmaschine	Rundknetmaschine	Rundschleifmaschine	Rundtischanlage
Baujahr der Maschine	1972	2004	1970	2003
Werkstück	Nockenwelle	Hohlkolbenstange	Hohlkolbenstange	Hilfsrahmen/Konsole
Bearbeitung	Feinschleifen	Drehen, Schneiden	Feinschleifen	Fräsen, Bohren
Material	Grauguss	Blankstahl	Blankstahl	Aluminiumlegierung
Bedienung	manuell	automatisch	automatisch	automatisch
Kühlschmierstoff	wassergemischt, mineralölbasiert, 6 %	nichtwassermischbar	wassergemischt, mineralölbasiert, 3 %	wassergemischt, mineralölbasiert, 10 %
Stückzahl pro Stunde	30	175	400	75
Einhausung	Teileinhausung	Volleinhausung	Teileinhausung	Volleinhausung
Erfassung der Kühlschmierstoffe	Punktabsaugung über Luftwäscher nach außen	Absaugung über die Decke der Einhausung und Rückführung der Luft nach acht (Elektro-)Filterstufen	Nicht abgesaugt	Vor dem Umbau: Rückführung der Luft nach Reinigung über Filtervlies in den Hallenbereich Nach dem Umbau: Abführung der Luft nach außen
Hallenlüftung	Über Portallüfter nach draußen	Hallenbelüftung über zugfreie Frischluftzufuhr	Hallenbelüftung über zugfreie Frischluftzufuhr	Hallenbelüftung über zugfreie Frischluftzufuhr

Tabelle 3. Ergebnisse am Messort 1 (einschließlich Parallelmessungen).

Messort 1	Labor	KSS-Aerosol in mg/m ³	KSS-Dampf in mg/m ³	Summe in mg/m ³
Aufgabe der Teile – Messung 1	AUVA	0,4	3,3	3,7
		0,4	3,7	4,1
	BGIA	0,6	3,0	3,6
		1,0	3,2	4,2
	VW	0,8	2,6	3,4
0,7		2,3	3,0	
Aufgabe der Teile – Messung 2	AUVA	0,6	3,3	3,9
		0,7	3,1	3,8
	BGIA	1,0	3,4	4,4
		1,1	3,8	4,9
	VW	–	–	–
–		–	–	
KSS-Auslauf	AUVA	0,4	3,3	3,7
		0,2	2,8	3,0
	BGIA	0,6	2,7	3,3
		0,7	2,4	3,1
	VW	0,6	2,1	2,7
0,6		2,0	2,6	

Tabelle 4. Ergebnisse an den Messorten 2 und 3 (einschließlich Parallelmessungen).

Messort	Labor	KSS-Aerosol in mg/m ³	KSS-Dampf in mg/m ³	Summe in mg/m ³
2	AUVA	0,3	1,1	1,4
		0,4	1,1	1,5
	BGIA	0,6	1,1	1,7
		0,5	1,2	1,7
	VW	0,4	1,4	1,8
0,4		1,4	1,8	
3	AUVA	0,5	2,8	3,3
		0,4	2,7	3,1
	BGIA	0,6	2,4	3,0
		0,6	2,6	3,2
	VW	0,3	2,2	2,5

ändert und nun über das Hallendach nach außen geleitet. Nach Abschluss dieser Arbeiten erfolgte eine weitere Messung, um den Erfolg der Umbaumaßnahme zu dokumentieren. Die Summe aus KSS-Dampf und -Aerosol reduzierte sich nach dem Umbau der Maschinenlüftung dabei auf circa ein Viertel des Ausgangswertes. Eine Übersicht dieser Ergebnisse ist in **Tabelle 5** zusammengestellt.

An allen Messorten wurden die Resultate nicht durch Fremdstoffen, wie Lösungsmittel oder Reiniger, beeinflusst.

Die am Messort 1 parallel durchgeführten Messungen für KSS-Aerosole mit einem Streulichtfotometer ergaben durchgängig deutlich niedrigere Aerosolkonzentrationen. An der Aufgabe der Teile wurde eine Aerosolkonzentration von jeweils 0,25 mg/m³ mit dem Streulichtfotometer und im Mittel von 0,65 mg/m³ bzw. 0,85 mg/m³ bei den KSS-Messungen mit Filterprobenahme ermittelt. Am KSS-Auslauf wurde mit dem Streulichtfotometer ein Wert von 0,12 mg/m³ gegenüber 0,52 mg/m³ festgestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wiederholbarkeit der Messungen innerhalb der einzelnen Laboratorien sehr zufrieden stellend ist. Auch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse für die Summe aus KSS-Dampf und -Aerosol ist untereinander gut.

Tabelle 5. Ergebnisse am Messort 4 (einschließlich Parallelmessungen).

Messort 4	Labor	KSS-Aerosol in mg/m ³	KSS-Dampf in mg/m ³	Summe in mg/m ³
Vor dem Umbau	AUVA	4,4	7,3	11,7
	BGIA	5,7	7,3	13,0
		6,2	7,7	13,9
	VW	5,4	2,2	7,5
		5,2	5,0	10,2
Nach dem Umbau	BGIA	1,7	1,8	3,5
		1,7	1,9	3,6
		1,6	2,0	3,6
		1,6	1,8	3,4
	VW	0,9	1,8	2,7
		0,9	1,3	2,2
		0,9	1,5	2,4
		1,1	1,6	2,7

Es hat sich aber bestätigt, dass je nach gewähltem Probenahmeverfahren die Anteile von Dampf und Aerosol unterschiedlich sind. Die Aerosolmesswerte der AUVA sind in der Regel niedriger als die Werte des BGIA und von VOLKSWAGEN. Demgegenüber sind die Ergebnisse des Dampfanteils leicht erhöht. Um einen möglichen Einfluss der Analytik zwischen den unterschiedlichen Laboratorien auszuschließen, wurden zusätzlich Proben zwischen AUVA und BGIA ausgetauscht und wechselseitig analysiert. Bei diesen Analysen wurden die Messergebnisse des jeweils anderen Labors bestätigt.

Die gute Vergleichbarkeit ist unabhängig von den technischen Randbedingungen wie der Art des KSS, des Bearbeitungsverfahrens oder der KSS-Konzentration im Arbeitsbereich.

4 Resümee

Die Resultate zeigen, dass der Ansatz in Deutschland und Österreich, KSS als Summe aus Dampf und Aerosol zu bewerten, zu gut vergleichbaren Ergebnissen führt. Wird zur Bewertung von Arbeitsplätzen mit KSS-Umgang nur das Aerosol betrachtet, wie in der Regel außerhalb der genannten Staaten, so bleiben die mengenmäßig nicht unbeträcht-

lichen Dampfanteile sowie „teilflüchtige“ KSS-Aerosole unberücksichtigt.

Selbst aus den nur wenig unterschiedlichen Probenahmeverfahren bei den Vergleichsversuchen werden schon Abweichungen in den Aerosolkonzentrationen erkennbar. Wählt man für die Aerosolbestimmung ein Verfahren mit gänzlich anderem Messprinzip, wie z. B. ein Streulichtfotometer, so werden die Unterschiede noch deutlicher.

Nach Ansicht der Autoren ist die Aerosolkonzentration bei KSS derzeit nicht sicher bestimmbar. Der Messwert hängt von mehreren Faktoren wie u. a. dem gewählten Messverfahren, den Probenahmebedingungen sowie der Geometrie des

Probenahmekopfes und dem Durchfluss ab.

Daher schlagen die Autoren vor, bei der Messung von KSS grundsätzlich die Summe aus einatembarem Aerosol und Dampf zu ermitteln, um die Exposition am Arbeitsplatz zuverlässig bewerten zu können. Somit sind nur Probenahme-systeme geeignet, die sowohl die Aerosole als auch die Dämpfe sammeln.

Literatur

- [1] Kühlschmierstoffe und andere komplexe kohlenwasserstoffhaltige Gemische. CD-ROM, 3. Aufl. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Hamburg: Storck 2007.
- [2] Luftgrenzwert Deutschland: Luftgrenzwerte für komplexe, kohlenwasserstoffhaltige Gemische. BArbBl. (1996) Nr. 6, S. 61.
- [3] Luftgrenzwerte Österreich: Verordnung über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2006 – GKV 2006). BGBl. II Nr. 253/2001 in der geltenden Fassung.
- [4] Bearbeitungsliste des AGS zur TRGS 900. www.baua.de, Rubrik Gefahrstoffe, Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 900.
- [5] Datenbank: Gestis – Analytical Methods. www.dguv.de/gestis-methods
- [6] Datenbank: Gestis – International limit values for chemical agents. www.dguv.de/gestis-limit-values
- [7] Dickenson, C.: Filters and filtration handbook. 4th ed. Oxford: Elsevier Advanced Technology 1997.