

# Bestimmung von Alkanolaminen in der Luft an Arbeitsplätzen – Eine Vergleichsstudie zur Etablierung der Messverfahren

M. Blaskowitz, P. Ansari Eshlaghi, S. Svabenicky, D. Breuer

**ZUSAMMENFASSUNG** Alkanolamine sind Verbindungen, die an vielen Arbeitsplätzen auftreten. Sie werden z. B. in Reinigern oder Kühlschmierstoffen eingesetzt. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) und die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA) in Österreich haben in den vergangenen Jahren jeweils Messverfahren zur Bestimmung von Alkanolaminen in der Luft am Arbeitsplatz entwickelt. Beide Verfahren beruhen auf der Erfassung dampfförmiger und partikulärer Alkanolamine, um die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) sowie die Werte der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) zu ermitteln. Zur Validierung der Verfahren wurden zunächst Laborvergleichsuntersuchungen und abschließend Parallelmessungen an Arbeitsplätzen vorgenommen. Die Ergebnisse sind gut vergleichbar. In einem Metall bearbeitenden Betrieb wurden Konzentrationen von 1,4 bis 2,1 mg/m<sup>3</sup> gemessen, was ca. 50 % des in Deutschland geltenden AGW entspricht.

## Determination of alkanolamines in workplace atmospheres: A comparative study for establishment of the measurement methods

**ABSTRACT** Alkanolamines are chemical compounds that occur at many workplaces. They are used for example in cleaning agents and cooling lubricants. In recent years, the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA) in Germany and the Austrian Workers Compensation Board (AUVA) in Austria have each developed a measurement method for determining alkanolamines in workplace atmospheres. Both methods detect alkanolamines in vapour and particulate form in order to set the occupational exposure limits (OELs) and maximum workplace concentration (MAK) values. To validate the methods, comparative laboratory tests were first conducted. Parallel measurements were then taken at workplaces. The results compare well with each other. In a metalworking plant for example, concentrations of 1.4 to 2.1 mg/m<sup>3</sup> was measured. This equates to approximately 50% of the applicable German OEL.

## 1 Einleitung

Alkanolamine werden auch als Aminoalkohole bezeichnet und umfassen eine chemische Stoffgruppe, deren Vertreter gleichzeitig zumindest über eine Hydroxy- und eine Aminofunktion verfügen. Die Aminogruppe kann dabei von primärer, sekundärer oder tertiärer Struktur sein. Alkanolamine bilden mit Fettsäuren Salze von geringer Alkalität, die eine gute Emulgierwirkung aufweisen. Sie dienen als Emulgatoren in Cremes, Lotionen und Rasierschäumen, aber auch in der Textil-, Leder- und Mineralölindustrie. Darüber hinaus werden wässrige Lösungen von Alkanolaminen, z. B. Monethanolamin (MEA) oder Triethanolamin (TEAL), bei der Gasreinigung als Absorptionsmittel für Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff und in Industriereinigern eingesetzt [1].

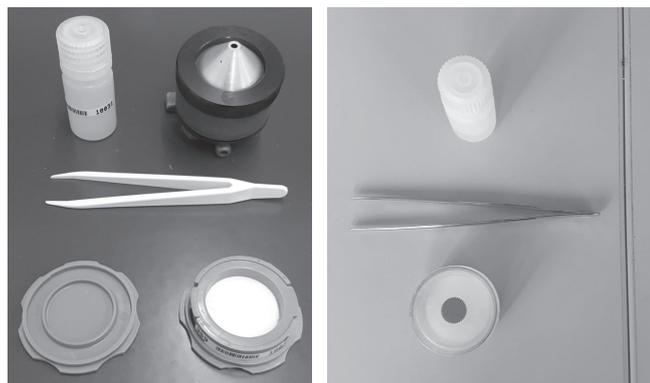
80 bis 90 % aller wassergemischten Kühlschmierstoffe für die Metallbearbeitung enthalten Alkanolamine. Bei dieser Anwendung wirken sie als Emulgatoren, zur Regulierung der Alkalität und als Korrosionsschutz. Bei der Beurteilung der inhalativen Belastung durch wassergemischte Kühlschmierstoffe kommt Alkanolaminen eine immer größere Bedeutung zu, weil in den letzten Jahren sowohl in Deutschland als auch in Österreich für mehrere dieser Substanzen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) [2] oder maximale Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) [3] abgeleitet wurden (**Tabelle 1**). Der Anteil der Alkanolamine in den Kühlschmierstoffkonzentraten kann durchaus bis zu 10 % betragen. Mit der

deutlichen Absenkung der AGW in Deutschland sind Überschreitungen nicht mehr auszuschließen – insbesondere für das sehr häufig verwendete 2-Aminoethanol.

Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) hat daraufhin eine Methode zur Bestimmung von elf Alkanolaminen in der Luft am Arbeitsplatz mittels Ionenchromatographie validiert und in die Routine genommen. Die Methode erlaubt es, den Gehalt von Alkanolaminen in der Luft am Arbeitsplatz zu bestimmen. Der wesentliche Fokus lag auf den in der Metallbearbeitung eingesetzten Alkanolaminen. Die analytische Methode ist aber auch geeignet, den Gehalt der Alkanolamine z. B. in Kühlschmierstoffkonzentraten, Kühlschmierstoffemulsionen oder Reinigern zu bestimmen. Anlehnend an diese Methode hat die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA) in Österreich eine Methode zur Bestimmung von acht Alkanolaminen validiert. Die Eignung beider Methoden sollte im Rahmen von Vergleichsmessungen geprüft werden. Diese wurden in zwei Schritten vorgenommen:

- Im Labor der AUVA und im IFA wurden vom IFA extrahierte Proben der Arbeitsplatzmessungen untersucht.
- In zwei österreichischen Betrieben wurden gemeinsame Messungen durchgeführt und die Ergebnisse verglichen.

Diese Vergleichsuntersuchungen waren Teil der Prüfung für die Methode, die das IFA bei der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kom-



**Bild 1.** IFA Probenahmesystem GSP mit Probenahmekopf für einen Volumstrom von 0,5 l/min (links) und AUVA-Probenahmesystem (rechts).  
Quelle: Autoren

mission) der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Veröffentlichung eingereicht hat.

## 2 Kurzbeschreibung der Messverfahren

### 2.1 Probenahme und Aufarbeitung der Proben

Alkanolamine können als Aerosole und parallel auch als Dämpfe auftreten. Das Probenahmesystem wurde so ausgelegt, dass sowohl Dämpfe als auch die einatembare Fraktion der Aerosole gleichzeitig erfasst werden. Dabei verwendet das IFA den Probenahmekopf GSP 0,5 und die AUVA die Millipore Filterkapsel (**Bild 1**). Mit einer geeigneten Pumpe wird ein definiertes

Luftvolumen (0,5 l/min, 2 h) über den Probenträger gesaugt. Die in der Luft enthaltenen Dämpfe und Tröpfchen der Alkanolamine werden gemeinsam auf dem sauer imprägnierten Quarzfaserfilter an Methansulfonsäure (MSA) chemisch gebunden und zurückgehalten. Die beaufschlagten Filter werden unmittelbar nach der Probenahme in einer Methansulfonsäurelösung extrahiert. Die analytische Bestimmung erfolgt ionenchromatographisch mittels Leitfähigkeitsdetektion. Zur quantitativen Auswertung wird die Methode des externen Standards verwendet.

Mit diesem Verfahren kann die Konzentration der in Tabelle 1 aufgeführten Alkanolamine in der Luft am Arbeitsplatz bestimmt werden. Es ist für Messungen geeignet, die den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 402 [4] entsprechen, und erfüllt die Anforderungen nach DIN EN 482 [5], ISO 20581 [6] und DIN EN 13936 [7]. Die Anforderungen der Norm DIN EN 481 [8] für die Erfassung einatembare Aerosole sind ebenfalls erfüllt. Die Validierung des AUVA-Messverfahrens für Alkanolamine, für die es in Österreich keine gesetzlichen MAK-Werte gibt, wurde auf Vorgaben der Nachbarstaaten angepasst [9].

### 2.2 Beurteilung der Messverfahren

Beim AUVA-Messverfahren sind die Retentionszeiten von Diethanolamin (DEA), 2-Amino-2-methylpropanol (AMP) und 1-Aminopropan-2-ol (MIPA) sehr nah beieinander. AMP kann nur in Abwesenheit von DEA und MIPA quantitativ bestimmt werden. In geringeren Konzentrationen kann MIPA ausreichend von DEA und AMP abgetrennt werden, eine Quantifizierung ist

**Tabelle 1.** Übersicht über die mit diesen Verfahren bestimmbaren Alkanolamine und der in Deutschland (D) und Österreich (A) geltenden Arbeitsplatzgrenzwerte. Quelle: Autoren

Alkanolamin	Abkürzung	Formel	molare Masse in g/mol	Dampfdruck	CAS-Nr.	GW <sup>1</sup> D in mg/m <sup>3</sup>	GW <sup>1</sup> A in mg/m <sup>3</sup>
2-Aminoethanol	MEA	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$	61,08	0,5 <sup>20°C</sup>	141-43-5	0,5 <sup>2</sup>	2,5
Diethanolamin	DEA	$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2-\text{N}-\text{H}$ $\text{HOCH}_2-\text{CH}_2$	105,14	< 0,01 <sup>20°C</sup>	111-42-2	0,5 <sup>2</sup>	2
Triethanolamin	TEA	$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$ $\text{HOCH}_2-\text{CH}_2$	149,19	< 0,01 <sup>20°C</sup>	102-71-6	1 (E) <sup>3</sup>	5 (E) <sup>3</sup>
2,2'-Methyliminodiethanol	MDEA	$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_3$ $\text{HOCH}_2-\text{CH}_2$	119,16	0,013 <sup>20°C</sup>	105-59-9		–
2-(2-Aminoethoxy)ethanol	DGA	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	105,14	< 0,1 <sup>20°C</sup>	929-06-6	0,87 <sup>2</sup>	–
2-(Dimethylamino)ethanol	DMAE	$\text{H}_3\text{C}-\text{N}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	89,14	5,6 <sup>20°C</sup>	108-01-0		–
2-Amino-2-methylpropanol	AMP	$\text{CH}_3-\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)-\text{NH}_2$	89,14	2 <sup>30°C</sup>	124-68-5	3,7 <sup>2</sup>	–
1-Aminopropan-2-ol	MIPA	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$	75,11	1,93 <sup>20°C</sup>	78-96-6	5,8 <sup>2</sup>	–
2-Amino-2-methyl-1,3-propandiol	AMPD	$\text{HOCH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{NH}_2)-\text{CH}_2\text{OH}$	105,14	0,0087 <sup>25°C</sup>	115-69-5		–
4-Amino-1-butanol	4-AB	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	89,14	0,06 <sup>25°C</sup>	13325-10-5		–
(S)-3-Amino-1,2-propandiol	APD	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2\text{OH}$	91,11	0,0015 <sup>25°C</sup>	61278-21-5		–

<sup>1</sup> GW: Grenzwerte: in Deutschland AGW, in Österreich MAK-Wert

<sup>2</sup> Summe aus Dampf und einatembare Aerosolfraction

<sup>3</sup> (E) einatembare Aerosolfraction

**Tabelle 2.** Trennbedingungen der IFA Methode. *Quelle: Autoren*

	Programm 1	Programm 2	Programm 3
Eluent in mM MSA	7	20	5
Flussrate in ml/min	0,5	0,36	0,5
Druck in psi	ca. 2 060	ca. 2 150	ca. 1 910
Temperatur in °C (Säule und Messzelle)	30	40	60
Suppressorstrom in mA	11	22	8

**Tabelle 3.** Kenndaten des IFA Verfahrens. *Quelle: Autoren*

Stoff	Validierter Arbeitsbereich in mg/m <sup>3</sup>	Bestimmungsgrenze <sup>1</sup> in mg/m <sup>3</sup>	Wiederfindung in %	RSD <sup>2</sup> in %
MEA	0,25 bis 5,0	0,25	95,0 bis 100,5	0,38 bis 1,1
DEA	0,1 bis 2,0	0,1	102,9 bis 107,9	0,45 bis 0,94
DGA	0,087 bis 1,7	0,087	96,1 bis 104,3	0,18 bis 0,56
TEA	0,5 bis 10	0,5	97,0 bis 104,6	0,35 bis 1,3
MDEA	0,25 bis 5,0	0,25	92,2 bis 102,2	0,42 bis 1,4
DMAE	0,25 bis 5,0	0,25	93,8 bis 101,0	0,40 bis 0,59
AMP	0,46 bis 9,2	0,37	85,2 bis 89,1	0,48 bis 0,72
MIPA	0,58 bis 12	0,58	95,7 bis 98,0	0,30 bis 0,64
APD	0,25 bis 5,0	0,25	94,7 bis 99,8	0,62 bis 1,3
4-AB	0,25 bis 5,0	0,25	88,4 bis 97,8	0,34 bis 0,88
AMPD	0,25 bis 5,0	0,25	94,0 bis 101,3	0,41 bis 0,82

<sup>1</sup> Bestimmungsgrenze berechnet für ein Probeluftvolumen von 60 l;

<sup>2</sup> RSD: relative Standardabweichung für das analytische Verfahren

durchaus möglich. In höheren Konzentrationen kann MIPA nur qualitativ bestimmt werden.

Bei der IFA Methode besteht eine ähnliche Problematik bei Vorhandensein von MIPA, AMP und MEA. Da die Methode auf drei unterschiedlichen Applikationen aufgebaut ist (Tabelle 2), kann MEA und MIPA in der Regel ohne Probleme quantifiziert werden. Bei AMP kann es jedoch dazu führen, dass keine qualitative und quantitative Aussage getroffen werden kann [10].

Die Kenndaten der Messverfahren und Chromatogramme des Summenstandards sind in Tabelle 3 bzw. Bild 2 (IFA Verfahren) und Tabelle 4 bzw. Bild 3 (AUVA-Verfahren) zusammengefasst.

### 3 Labor-Vergleichsmessungen

Nach der Validierung der AUVA-Methode wurden 21 bereits im IFA extrahierte Luftproben mit unterschiedlich hoher Konzentration verschiedener Alkanolamine an die AUVA geschickt und dort ebenfalls untersucht. Die Ergebnisse waren in allen Proben gut vergleichbar und lagen in einem Bereich von  $\pm 20$  %. Eine Ausnahme gab es bei der Probe von 2-(Dimethylamino)ethanol (DMAE) mit einer Abweichung +31 % (Tabelle 5).

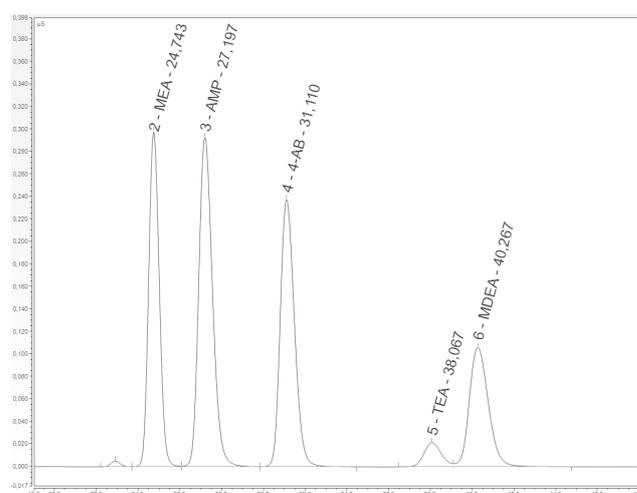
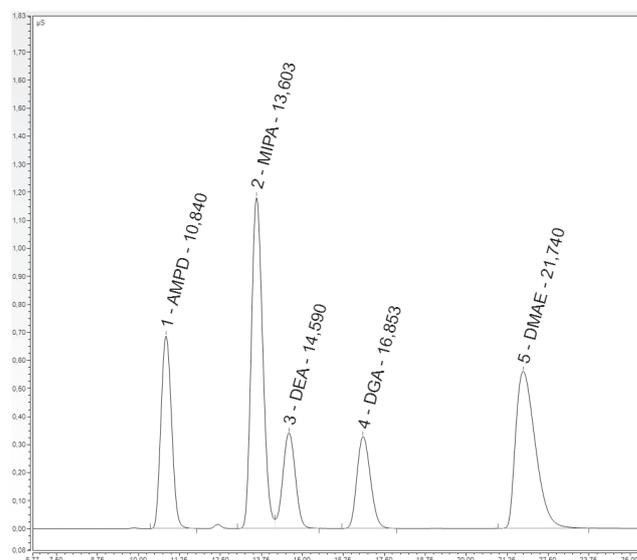
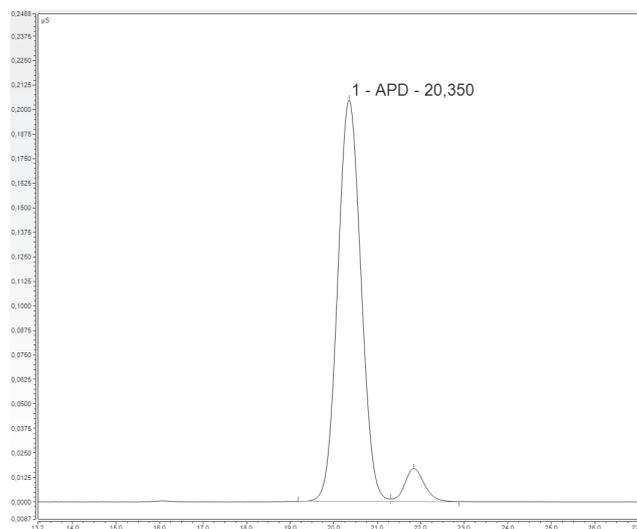
### 4 Vergleichsmessungen an Arbeitsplätzen

Im Anschluss an den Austausch von Proben wurden in zwei österreichischen Betrieben Vergleichsmessungen mit beiden Verfahren durchgeführt.

#### 4.1 Herstellung von Mikrochips:

##### Ätزرückstandentfernung

Ein Betrieb stellt Mikrochips her, die mit einem Ätزرückstandsentferner behandelt werden, der 2-(2-Aminoethoxy)ethanol (DGA) enthält. Die Messungen fanden in zwei Reinräumen

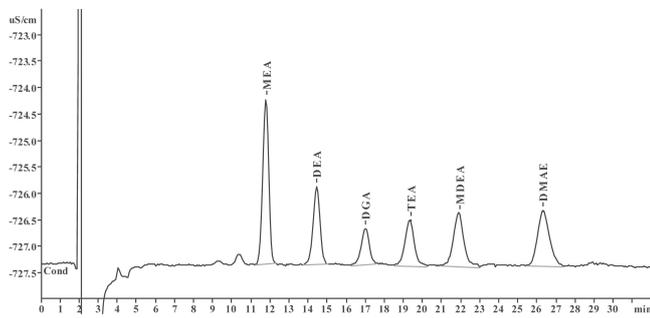


**Bild 2.** Chromatogramme des Summenstandards nach der IFA Methode; oben: APD (1,5 mg/l) – Trennbedingungen: Programm 1; Mitte: AMPD, MIPA, DMAE (2,5 mg/l), DEA, DGA (1,25 mg/l) – Trennbedingungen: Programm 2; unten: MEA, TEA (1,25 mg/l), AMP, 4-AB, MDEA (2,5 mg/l) – Trennbedingungen: Programm 3. *Quelle: Autoren*

**Tabelle 4.** Kenndaten des AUVA-Verfahrens. *Quelle: Autoren*

Stoff	Validierter Arbeitsbereich in mg/m <sup>3</sup>	Bestimmungsgrenze <sup>1</sup> in mg/m <sup>3</sup>	Wiederfindung in %	RSD <sup>2</sup> in %
MEA	0,25 bis 5	0,25	96,6 bis 109,9	1,0 bis 3,3
DEA	0,2 bis 4	0,2	101,1 bis 107,3	2,2 bis 5,0
DGA	0,09 bis 1,7	0,09	96,5 bis 101,9	1,3 bis 4,9
TEA	0,5 bis 10	0,5	99,5 bis 109,3	2,5 bis 4,1
MDEA	0,25 bis 5	0,25	98,7 bis 104,0	2,0 bis 6,0
DMAE	0,25 bis 5	0,25	92,4 bis 107,8	1,0 bis 5,0
AMP	0,4 bis 7,4	0,4	98,7 bis 106,0	0,5 bis 2,4
MIPA	0,6 bis 12	0,6	99,9 bis 104,0	0,7 bis 7,7

<sup>1</sup> Bestimmungsgrenze berechnet für ein Probeluftvolumen von 60 l;  
<sup>2</sup> RSD: relative Standardabweichung für das analytische Verfahren



**Bild 3.** AUVA-Methode, Chromatogramm des Summenstandards MEA, DEA, DGA, TEA, MDEA, DMAE, Konzentrationen jeweils 12,5 µg/ml. *Quelle: Autoren*

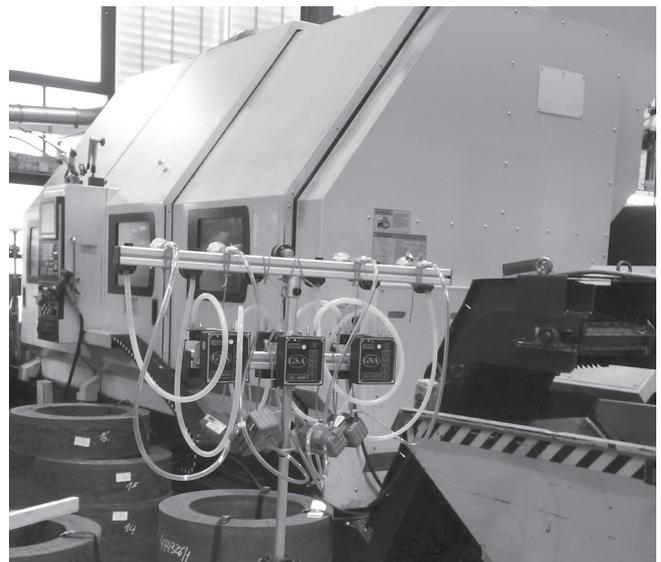


**Bild 4.** Messung im Reinraum neben einer geschlossenen und abgesaugten Produktionsstraße. *Quelle: Autoren*

**Tabelle 5.** Ergebnisse der Labor-Vergleichsmessungen von IFA und AUVA. *Quelle: Autoren*

Alkanolamin	n Vergleichsproben	β IFA Proben in mg/m <sup>3</sup>	WFR AUVA in %
MEA	10	0,24 bis 1,9	81 bis 118
TEA	3	0,50 bis 2,4	88 bis 106
DGA	3	0,13 bis 0,19	81 bis 112
DMAE	2	0,38 und 1,4	88 und 131
MDEA	3	0,46 bis 1,5	89 bis 100

n: Anzahl der Proben  
 β: Massenkonzentration in der Luftprobe  
 WFR: Wiederfindungsrate



**Bild 5.** Messungen an einer Metallbearbeitungsmaschine; oben: kleines Stativ mit drei Pumpen neben dem Arbeitsplatz des Maschinenführers; unten: großes Stativ mit sechs Pumpen am Auslauf der mit Kühlschmierstoffemulsion vernetzten Späne. *Quelle: Autoren*

**Tabelle 6.** Ergebnisse der Vergleichsmessungen in einem Metall bearbeitenden Betrieb von IFA und AUVA. *Quelle: Autoren*

Messort	$\beta_{AMP}$ IFA Proben in mg/m <sup>3</sup>	RSD in %	$\beta_{AMP}$ AUVA-Proben in mg/m <sup>3</sup>	RSD in %
Kleines Stativ	2,1	2,8	1,5	4,7
Großes Stativ	1,7	2,9	1,4	4,0

$\beta$ : Massenkonzentration in der Luftprobe

statt. Die Probenahme dauerte zwei Stunden und erfolgte stationär auf Atemhöhe einer stehenden Person, in unmittelbarer Nähe einer geschlossenen und abgesaugten Produktionsstraße (**Bild 4**) sowie eines geschlossenen Beckens mit ÄtZRückstandsentsferner. Die Chips wurden automatisch in die Becken eingehängt. In beiden Reinräumen wurde kein DGA gefunden; die Bestimmungsgrenze mit 0,087 mg/m<sup>3</sup> entspricht ein Zehntel des in Deutschland geltenden AGW.

#### 4.2 Metallbearbeitung mit einem wassergemischtem Kühlschmierstoff

Beim zweiten Betrieb handelte es sich um einen Metall verarbeitenden Betrieb, in dem ein Gemisch aus zwei Kühlschmierstoffen an CNC-Maschinen (CNC: Computerized Numerical Control) eingesetzt wurde. Hier waren laut Sicherheitsdatenblatt AMP und TEA enthalten. Zwei Stative wurden an einer CNC-Maschine aufgebaut: ein kleines Stativ mit drei Pumpen am Arbeitstisch des Beschäftigten, direkt vor der Steuerung der Maschine (**Bild 5**, oben), ein großes mit sechs Pumpen vor der CNC-Maschine neben der Auslaufstelle der Späne (**Bild 5**, unten). Die Probenahme wurde auf vier Stunden erhöht, da der Gehalt an Alkanolaminen in den Kühlschmierstoffkonzentraten laut Sicherheitsdatenblatt weniger als 10 % betrug.

In diesem Betrieb wurde nur AMP quantifiziert (**Tabelle 6**). Die technischen Randbedingungen waren so, dass nur wenig Aerosol freigesetzt wurde, sodass das schwerflüchtige TEA (Dampfdruck: <0,01 hPa bei 20 °C) nicht nachgewiesen werden konnte. AMP (Dampfdruck: 2 hPa bei 30 °C) hingegen wurde mit Konzentrationen zwischen 1,4 und 2,1 mg/m<sup>3</sup> bestimmt.

## 5 Fazit

Diese Studie befasste sich mit der Überprüfung einer Methode zur Bestimmung von Alkanolaminen in der Luft an Arbeitsplätzen. Die Validierung wurde mit unterschiedlichen Analysemethoden und unterschiedlichen Probenahmesystemen durchgeführt, sowohl bei dem Austausch von realen Proben des IFA als auch bei zwei Probenahmen in unterschiedlichen Arbeitsbereichen (Betrieben). Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden verdeutlicht, dass das Verfahren robust, gut umsetzbar und geeignet ist, als Standardverfahren für die Quantifizierung von Alkanolaminen eingesetzt zu werden.

Das IFA hat die Methode bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) eingereicht, mit der AUVA als Prüfer. Das Verfahren wurde bereits in der MAK-Collection veröffentlicht. Darüber hinaus haben diese ersten Ergebnisse aus dem Metall bearbeitenden Betrieb gezeigt, dass die Messung der Alkanolamine eine sinnvolle Ergänzung zu den üblicherweise durchgeführten Kühlschmierstoffmessungen ist. So wurde eine AMP-Konzentration bestimmt, die immerhin ca. 50 % des in Deutschland gelten-

den AGW entspricht. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Luftkonzentration der Alkanolamine am Arbeitsplatz zu berücksichtigen ist.

Das IFA empfiehlt an Arbeitsplätzen, an denen wassergemischte Kühlschmierstoffe eingesetzt werden, grundsätzlich neben der „normalen“ Kühlschmierstoffmessung eine Messung auf Alkanolamine durchzuführen.

### WIDMUNG

Dieser Artikel ist Dipl.-Ing. *Robert Piringer* gewidmet. Er hat über viele Jahre wesentlich zur Bewertung von Kühlschmierstoff-Arbeitsplätzen beigetragen. Ende 2019 ist er bei der AUVA ausgeschieden und in seinen wohlverdienten Ruhestand gegangen.

### Literatur

- [1] Ethanolamines and Propanolamines. In: Ullmann's Enzyklopädie der Technischen Chemie. Wiley-VCH, Weinheim 2012.
- [2] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArBl. (2006) Nr.1, S. 41-55; zul. geänd. GMBI. (2020) Nr. 9-10, S. 199-200; berichtigt: GMBI. (2020) Nr. 12-13, S. 276.
- [3] Grenzwertverordnung 2018 (GKV 2018) idF BGBl. II 254/2018, Stoffliste (MAK-Werte und TRK-Werte), Anhang I/2018, Wien, Österreich.
- [4] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI. (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. GMBI. (2016) Nr. 43, S. 843-846.
- [5] DIN EN 482: Exposition am Arbeitsplatz – Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe (6/2012). Berlin: Beuth 2012.
- [6] ISO 20581: Luft am Arbeitsplatz – Allgemeine Leistungsanforderungen an Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe (11/2016). Berlin: Beuth 2016.
- [7] DIN EN 13936: Exposition am Arbeitsplatz – Messung eines als Mischung aus luftgetragenen Partikeln und Dampf vorliegenden chemischen Arbeitsstoffes – Anforderungen und Prüfverfahren (4/2014). Berlin: Beuth 2014.
- [8] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel (9/1993). Berlin: Beuth 1993.
- [9] GESTIS – Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. [www.dguv.de/webcode/d6247](http://www.dguv.de/webcode/d6247)
- [10] *Breuer, D.; Blaskowitz, M.; Eshlaghi Ansari, P.; Hebisch, R.; Hartwig, A.*: Alkanolamine – Methode zur Bestimmung von 11 Alkanolaminen in der Luft am Arbeitsplatz mittels Ionenchromatographie (IC). In: The MAK-Collection for Occupational Health and Safety. Vol. 3 Nr. 1, 2018.

**Morten Blaskowitz,**  
**Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Breuer,**  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

**Dr. Dipl.-Ing. Parisa Ansari Eshlaghi,**  
**Silvia Svabenicky,**  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien, Österreich.