

# Amine – Bestimmung von Aminen in der Luft am Arbeitsplatz mittels Gaschromatographie (Headspace-GC-MS)

## Luftanalysen-Methode

R. Schmitt<sup>1</sup>  
W. Krämer<sup>1</sup>  
C. Kaus<sup>2</sup>

R. Hebisch<sup>3,\*</sup>  
A. Hartwig<sup>4,\*</sup>  
MAK Commission<sup>5,\*</sup>

### Keywords

Amine; Luftanalysen;  
Analysemethoden;  
Arbeitsplatzmessung;  
Gefahrstoff; Headspace-  
Gaschromatographie;  
Massenspektrometrie;  
Headspace-GC-MS;  
Glasfaserfilter; Flüssigextraktion

- <sup>1</sup> Methodenentwicklung, BASF SE, Carl-Bosch-Straße 38, 67056 Ludwigshafen
  - <sup>2</sup> Methodenprüfung, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin
  - <sup>3</sup> Leitung der Arbeitsgruppe „Luftanalysen“ der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Friedrich-Henkel-Weg 1–25, 44149 Dortmund
  - <sup>4</sup> Vorsitz der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Building 50.41, 76131 Karlsruhe
  - <sup>5</sup> Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn
- \* E-Mail: R. Hebisch ([luftanalysen-dfg@baua.bund.de](mailto:luftanalysen-dfg@baua.bund.de)), A. Hartwig ([andrea.hartwig@kit.edu](mailto:andrea.hartwig@kit.edu)), MAK Commission ([arbeitsstoffkommission@dfg.de](mailto:arbeitsstoffkommission@dfg.de))

## Abstract

The working group “Air Analyses” of the German Senate Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area (MAK Commission) developed and verified the presented analytical method. The analytical method described permits the determination of aliphatic amines in workplace air. The concentration range covers one tenth up to twice the currently valid Occupational Exposure Limit Value (OELV). Sampling is performed using a flow-regulated pump to draw a defined volume of air through a Millipore Aerosol Monitor type A system equipped with two glass fibre filters, which are acid-impregnated. The volumetric flow rate is 1 l/min and sampling time is 2 hours. The collected amines deposited on the filter are extracted with an aqueous solution and analysed by means of headspace gas chromatography with mass spectrometry. Quantitative determination is based on multiple-point calibrations with an internal standard. For an air sample volume of 120 litres, the relative limits of quantification (LOQ) are between 0.002 and 0.057 mg/m<sup>3</sup>. The measurement of the short-term exposure limit (STEL) is also enabled. The recovery is between 95 and 104% and the expanded uncertainty is between 17 and 28% for a 2-hour sampling.

### Citation Note:

Schmitt R, Krämer W, Kaus C, Hebisch R, Hartwig A, MAK Commission. Amine – Bestimmung von Aminen in der Luft am Arbeitsplatz mittels Gaschromatographie (Headspace-GC-MS). Luftanalysen-Methode. MAK Collect Occup Health Saf. 2024 Mar;9(1):Doc022. [https://doi.org/10.34865/am12144da9\\_1or](https://doi.org/10.34865/am12144da9_1or)

Manuskript abgeschlossen:  
22 Mrz 2023

Publikationsdatum:  
28 Mrz 2024

Lizenz: Dieses Werk ist  
lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz](#).



---

Methodennummer	3
Anwendbarkeit	Luftanalyse
Analyt. Messprinzip	Headspace-Gaschromatographie mit Massenspektrometrie (Headspace-GC-MS)

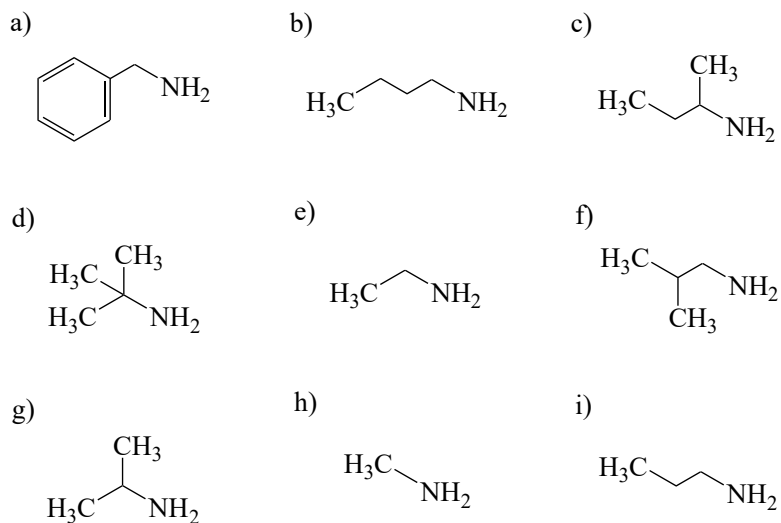
---

## 1 Kenndaten des Verfahrens

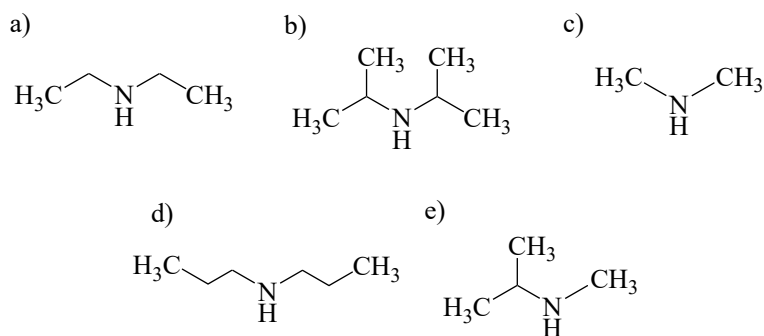
<b>Präzision:</b>	Standardabweichung (rel.): $s = 1,5\text{--}4\%$ Erweiterte Messunsicherheit: $U = 17,3\text{--}27,5\%$ im Validierungsbereich und $n = 6$
<b>Bestimmungsgrenze:</b>	0.002–0.057 mg/m <sup>3</sup> bei einem Probeluftvolumen von 120 l, einem Desorptionsvolumen von 5 ml, einer Aliquotierung im Verhältnis 1:20, einem Injektionsvolumen von 1 ml und einer Probenahmedauer von 2 h
<b>Wiederfindung:</b>	$\eta = 95\text{--}104\%$
<b>Probenahmeempfehlung:</b>	Probenahmedauer: 2 h Probeluftvolumen: 120 l Volumenstrom: 1 l/min Für Kurzzeitmessungen: 15 min; 1 l/min

## 2 Stoffbeschreibung

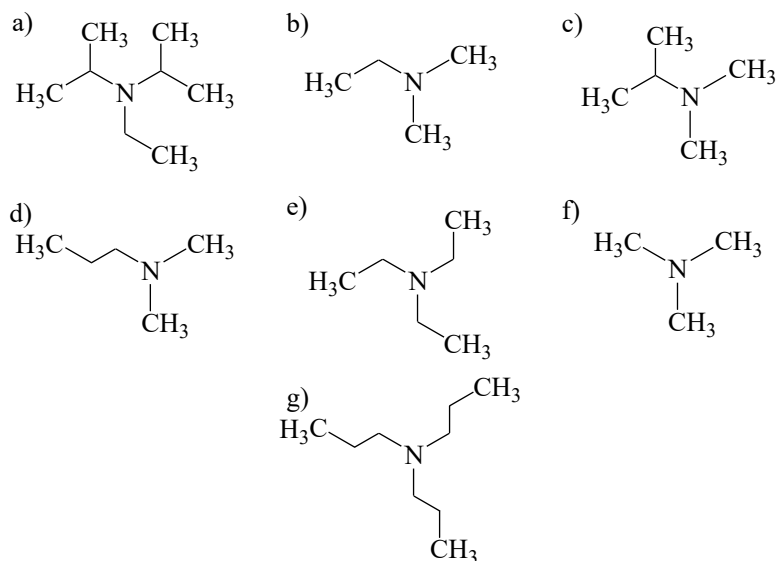
Aliphatische Amine sind primäre (z.B. *n*-Butylamin, *sec*-Butylamin, *tert*-Butylamin, Ethylamin, Isobutylamin, Isopropylamin, Methylamin, *n*-Propylamin, siehe [Abbildung 1](#)), sekundäre (z.B. Diethylamin, Diisopropylamin, Dimethylamin, Di-*n*-propylamin, Methylisopropylamin siehe [Abbildung 2](#)) oder tertiäre Amine (z.B. *N*-Ethyl-diisopropylamin, *N,N*-Dimethylethylamin, *N,N*-Dimethylisopropylamin, Triethylamin, Trimethylamin, Tri-*n*-propylamin; siehe [Abbildung 3](#)) mit Alkylsubstituenten. Sie sind je nach Substitution gasförmige, flüssige, ölige oder feste Substanzen mit unangenehmem, zum Teil fischartigem Geruch. Sie werden für die Herstellung von Tensiden und Pharmazeutika, als Flotationshilfsmittel, Bakterizide, Korrosions- und Schauminhibitoren und Additive verwendet (RÖMPP-Redaktion et al. 2002). Zusätzlich wurde Benzylamin (siehe [Abbildung 1](#)) in die Methode mit aufgenommen, das für chemische Synthesen, für die Herstellung von Arzneimitteln, Ammoniumverbindungen und Farbstoffen sowie als öllöslicher Rostinhibitor verwendet wird (RÖMPP-Redaktion und Sefkow 2010).



**Abb. 1** Strukturformeln der untersuchten primären Amine a) Benzylamin, b) *n*-Butylamin, c) *sec*-Butylamin, d) *tert*-Butylamin, e) Ethylamin, f) Isobutylamin, g) Isopropylamin, h) Methylamin und i) *n*-Propylamin



**Abb. 2** Strukturformeln der untersuchten sekundären Amine a) Diethylamin, b) Diisopropylamin, c) Dimethylamin, d) Di-*n*-propylamin und e) Methylisopropylamin



**Abb. 3** Strukturformeln der untersuchten tertiären Amine a) *N*-Ethyl-diisopropylamin, b) *N,N*-Dimethylethylamin, c) *N,N*-Dimethylisopropylamin, d) *N,N*-Dimethyl-*n*-propylamin, e) Triethylamin, f) Trimethylamin und g) Tri-*n*-propylamin

Die MAK- und Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) sowie die Spitzenbegrenzungskategorien und Überschreitungsfaktoren der Substanzen sind zusammen mit den physikalisch-chemischen Eigenschaften in den [Tabellen 1, 2 und 3](#) aufgeführt.

**Tab. 1** Stoffdaten und Beurteilungsmaßstäbe zu den untersuchten primären Aminen (ECHA 2023 a, b, h, k, l, q, r)

Name	Primäre Amine						
	Benzylamin	<i>n</i> -Butylamin	<i>sec</i> -Butylamin <sup>a)</sup>	<i>tert</i> -Butylamin	Ethylamin	Isobutylamin	Isopropylamin
CAS-Nr.	100-46-9	109-73-9	13952-84-6	75-64-9	75-04-7	78-81-9	75-31-0
Molmasse [g/mol]	107,15	73,14	73,14	73,14	45,08	73,14	59,11
Aggregatzustand bei 20 °C	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	gasförmig	flüssig	flüssig
Dichte bei 20 °C [g/cm <sup>3</sup> ]	0,981	0,737	0,722	0,69 <sup>d)</sup>	–	0,729	0,687
Dampfdruck bei 20 °C [kPa]	0,06	10,2	22,13	49,6 <sup>e)</sup>	139,7 <sup>e)</sup>	15,9	63,1
Schmelzpunkt [°C]	10	–47	k. A.	–68	k. A.	–82	–90
Siedepunkt bei 1013 hPa [°C]	185	77	61,6	45,2	16,45	67,5	32
Flammpunkt [°C]	65	–7,5	–17,5	–38	k. A.	–16,5	–37
Beurteilungsmaßstäbe	5,0 mg/m <sup>3</sup> <sup>b)</sup>						
AGW, Deutschland (AGS 2023) / MAK-Wert, Deutschland (DFG 2023)	–	6,1 mg/m <sup>3</sup>	6,1 mg/m <sup>3</sup>	6,1 mg/m <sup>3</sup>	9,4 mg/m <sup>3</sup>	6,1 mg/m <sup>3</sup>	12 mg/m <sup>3</sup>
Spitzenbegrenzungskategorie (Überschreitungsfaktor), =Momentanwert= <sup>e)</sup> (AGS 2023; DFG 2023)	–	I(2); =2,5=	I(2); =2,5=	I(2); =2,5=	I; =2= / I(2)	I(2); =2,5=	I; =2= / I(2)

a) Racemat

b) Für dieses Amin gibt es derzeit keinen gültigen MAK-Wert oder AGW. Für die Methodenentwicklung wurde ein Beurteilungsmaßstab von 5,0 mg/m<sup>3</sup> zugrunde gelegt.

c) bei 25 °C

d) bei 24 °C

e) Momentanwert als Vielfaches des MAK-Werts oder AGWs

**Tab. 2** Stoffdaten und Beurteilungsmaßstäbe zu den untersuchten primären und sekundären Amine (ECHA 2023 c, d, e, g, m, n, p)

Name	Primäre Amine		Sekundäre Amine				
	Methylamin	<i>n</i> -Propylamin	Diethylamin	Diisopropylamin	Dimethylamin	Di- <i>n</i> -propylamin	Methylisopropylamin
CAS-Nr.	74-89-5	107-10-8	109-89-7	108-18-9	124-40-3	142-84-7	4747-21-1
Molmasse [g/mol]	31,06	59,11	73,14	101,19	45,08	101,19	73,14
Aggregatzustand bei 20 °C	gasförmig	flüssig	flüssig	flüssig	gasförmig	flüssig	flüssig
Dichte bei 20 °C [g/cm <sup>3</sup> ]	–	0,72	0,71	0,72	–	0,74	0,703
Dampfdruck bei 20 °C [kPa]	314	33	31,6 <sup>a)</sup>	9,333	168,8	2,68 <sup>a)</sup>	37,6 <sup>a)</sup>
Schmelzpunkt [°C]	–93	–83	–50	k. A.	–92,2	k. A.	k. A.
Siedepunkt bei 1013 hPa [°C]	–6,5	47,2	55,5	83	7	109,3	50,67
Flammpunkt [°C]	0	–35	–25,95	–13,45	–55	7	–30,5
Beurteilungsmaßstäbe		5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>		5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>		5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>	5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>
AGW, Deutschland (AGS 2023) / MAK-Wert, Deutschland (DFG 2023)	6,4 mg/m <sup>3</sup>	–	6,1 mg/m <sup>3</sup>	–	3,7 mg/m <sup>3</sup>	–	–
Spitzenbegrenzungs-Kategorie (Überschreitungs-faktor); =Momentanwert= <sup>c)</sup> (AGS 2023; DFG 2023)	I(2); =2,5=	–	I(2); =2,5=	–	I(2)	–	–

a) bei 25 °C

b) Für dieses Amin gibt es derzeit keinen gültigen MAK-Wert oder AGW. Für die Methodenentwicklung wurde ein Beurteilungsmaßstab von 5,0 mg/m<sup>3</sup> zugrunde gelegt.

c) Momentanwert als Vielfaches des MAK-Werts oder AGWs

**Tab. 3** Stoffdaten und Beurteilungsmaßstäbe zu den untersuchten tertiären Amine (ECHA 2023 f, i, j, o, s, t, u)

Name	Tertiäre Amine						
	<i>N</i> -Ethyl-diisopropylamin	<i>N,N</i> -Dimethyl-ethylamin	<i>N,N</i> -Dimethylisopropylamin	<i>N,N</i> -Dimethyl- <i>n</i> -propylamin	Triethylamin	Trimethylamin	Tri- <i>n</i> -propylamin
CAS-Nr.	7087-68-5	598-56-1	996-35-0	926-63-6	121-44-8	75-50-3	102-69-2
Molmasse [g/mol]	129,25	73,14	87,16	87,16	101,19	59,11	143,27
Aggregatzustand bei 20 °C	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	gasförmig	flüssig
Dichte bei 20 °C [g/cm <sup>3</sup> ]	0,754	0,66	0,713	0,701	0,73	–	0,756
Dampfdruck bei 20 °C [kPa]	1,425	65,5 <sup>a)</sup>	18,99	17,25	7,2	190	4,3
Schmelzpunkt [°C]	k. A.	k. A.	–136	k. A.	–115	–117	k. A.
Siedepunkt bei 1013 hPa [°C]	128,33	36,3	66,25	65,75	90	2,9	156
Flammpunkt [°C]	12	–25	–24,8	–20	–15	–6,66	33
Beurteilungsmaßstäbe	5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>			5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>			5,0 mg/m <sup>3 b)</sup>
AGW, Deutschland (AGS 2023) / MAK-Wert, Deutschland (DFG 2023)	–	6,1 mg/m <sup>3</sup>	3,6 mg/m <sup>3</sup>	–	4,2 mg/m <sup>3</sup>	4,9 mg/m <sup>3</sup>	–
Spitzenbegrenzungs-Kategorie (Überschreitungs-faktor); =Momentanwert= <sup>c)</sup> (AGS 2023; DFG 2023)	–	I(2); =2,5=	I(2)	–	I(2)	I(2); =2,5=	–

a) bei 25 °C

b) Für dieses Amin gibt es derzeit keinen gültigen MAK-Wert oder AGW. Für die Methodenentwicklung wurde ein Beurteilungsmaßstab von 5,0 mg/m<sup>3</sup> zugrunde gelegt.

c) Momentanwert als Vielfaches des MAK-Werts oder AGWs

### 3 Grundlage des Verfahrens

Mit dieser Analysenmethode können ausgewählte flüchtige Amine (siehe [Tabellen 1, 2 und 3](#)) in der Luft am Arbeitsplatz in einem Konzentrationsbereich vom 0,1- bis 2-Fachen der jeweiligen derzeit gültigen AGW (AGS 2023) bestimmt werden. Für Substanzen, für die derzeit kein gültiger MAK-Wert oder AGW vorliegt, wurde ein Beurteilungsmaßstab von 5 mg/m<sup>3</sup> angenommen. Die Beurteilungsmaßstäbe von Methylamin, Diethylamin und *N,N*-Dimethylethylamin wurden während der Entwicklung der Methode von 12, 15 bzw. 20 mg/m<sup>3</sup> abgesenkt. Die derzeit gültigen Beurteilungsmaßstäbe finden in der hier vorliegenden Validierung noch keine Berücksichtigung.

Zur Probenahme wird mit Hilfe einer geeigneten Probenahmepumpe ein definiertes Luftvolumen aus dem Atembereich durch einen Millipore Aerosol-Monitor Typ A gesaugt. Die Amine werden dabei an zwei, durch ein Stützsieb getrennte, sauer imprägnierten Glasfaserfiltern gebunden und zurückgehalten. Nach Beendigung der Probenahme werden die Amine mit Hilfe von demineralisiertem Wasser desorbiert. Anschließend wird ein Aliquot dieser Lösung mit Kaliumcarbonatlösung versetzt und die Amine mittels Headspace-Gaschromatographie mit Massenspektrometrie bestimmt und quantifiziert (Headspace-GC-MS).

## 4 Geräte, Chemikalien und Lösungen

### 4.1 Geräte

Für die Probenahme:

- Pumpe zur personengetragenen Probenahme, Förderleistung 10,0 l/min (z. B. Gilian PP1 oder Gilian PP5, vertrieben durch Fa. DEHA Haan & Wittmer GmbH, 71296 Heimsheim)
- Filterhalter, Ø 25 mm (z. B. Millipore Aerosol-Monitor Typ A, Best.-Nr. M000025A0, Fa. Merck KGaA, 64293 Darmstadt)
- Volumenstrommessgerät (z. B. Gilibrator, vertrieben durch Fa. DEHA Haan & Wittmer GmbH, 71296 Heimsheim)
- Glasfaserfilter, Ø 25 mm (z. B. Munktell MG160, Fa. Ahlstrom-Munksjö Oyj, FI-00101 Helsinki, Finnland)

Für die Probenvorbereitung und analytische Bestimmung:

- Ultraschallbad (z. B. Fa. Bandelin electronic GmbH & Co. KG, 12207 Berlin)
- Messkolben 10 ml, 50 ml, 500 ml
- Becherglas, 1 l
- Automatische Verdrängerpipette (z. B. HandyStep, Fa. Brand GmbH + Co. KG, 97877 Wertheim)
- Gasdichte Spritze, 2,5 ml (z. B. Fa. Gerstel GmbH & Co. KG, 45473 Mühlheim an der Ruhr)
- Headspacegefäße, 10 ml mit Deckel mit Septum
- Gaschromatograph mit Massenspektrometer und Headspace-Injektor mit Autosampler (z. B. Agilent 6890 Plus mit Agilent MSD 5973, Fa. Agilent Technologies Deutschland GmbH, 76337 Waldbronn und MPS 2 Headspace-Sampler, Fa. Gerstel GmbH & Co. KG, 45473 Mühlheim an der Ruhr)
- Trennsäule (z. B. Restek Rtx-5 Amin, Innendurchmesser (ID) 0,32 mm, Länge (L) 30 m, Filmdicke 5 µm, Fa. Restek GmbH, 61348 Bad Homburg)

### 4.2 Chemikalien

- Amine, Reinheit/Gehalt siehe [Tabelle 4](#) (z. B. Fa. Sigma-Aldrich Chemie GmbH, 82024 Taufkirchen)

- Diethyl-d<sub>10</sub>-amin, 98 % (z. B. Fa. Sigma-Aldrich Chemie GmbH, 82024 Taufkirchen)
- Schwefelsäure, c = 0,25 mol/l (z. B. Fa. Merck KGaA, 64293 Darmstadt)
- Schwefelsäure, 98 % (z. B. Fa. Merck KGaA, 64293 Darmstadt)
- Kaliumcarbonat wasserfrei, p. a. (z. B. J.T. Baker, Fa. Thermo Fisher Scientific GmbH, 63303 Dreieich)
- Polyethylenglykol (PEG) 400 (z. B. Art-Nr.: 202398, Fa. Sigma-Aldrich Chemie GmbH, 82024 Taufkirchen)
- Demineralisiertes Wasser

### 4.3 Lösungen

Die folgenden Lösungen wurden mit den Chemikalien, welche in [Abschnitt 4.2](#) aufgelistet sind, hergestellt:

**Kaliumcarbonatlösung:** (1 g K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/l in Wasser):

In einem 1-l-Becherglas, in dem ca. 600 ml Wasser vorgelegt wurden, werden unter Rühren 600 g Kaliumcarbonat gelöst.

**Imprägnierlösung:** (0,5 mol Schwefelsäure/l in Wasser mit 1% PEG 400):

In einem 250-ml-Messkolben, in dem 200 ml demineralisiertes Wasser vorgelegt wurden, werden 6,9 ml 98%ige Schwefelsäure pipettiert. Dazu werden 2,5 ml PEG 400 gegeben, der Messkolben wird mit demineralisiertem Wasser bis zur Marke aufgefüllt und geschüttelt.

Die Imprägnierlösung kann ca. ein Jahr verwendet werden.

**Interne Standardlösung:** (402 mg Diethyl-d<sub>10</sub>-amin/l in Wasser):

In einen 100-ml-Messkolben, in dem einige Milliliter demineralisiertes Wasser vorgelegt wurden, werden 50 µl Diethyl-d<sub>10</sub>-amin (Dichte 0,804 g/ml) pipettiert, auf 0,1 mg genau ausgewogen, mit demineralisiertem Wasser aufgefüllt und geschüttelt.

**Kalibrierstammlösungen:**

In einen 20-ml-Messkolben, der einige Milliliter 0,25 mol/l Schwefelsäure enthält, werden die Amine jeweils mit dem in [Tabelle 4](#) angegebenen Volumen pipettiert und auf 0,1 mg genau ausgewogen. Die Messkolben werden mit demineralisiertem Wasser bis zur Marke aufgefüllt und geschüttelt.

**Validierstammlösungen:**

Die Validierstammlösungen mit Konzentrationen von ca. 9 bis 47 mg Amin/ml werden durch lösen der Substanzen hergestellt (siehe [Tabelle 4](#)). Dazu werden die Amine in 10-ml-Messkolben, die einige Milliliter Methanol enthalten und auf 0,1 mg genau eingewogen. Für einige Amine muss Methanol eingesetzt werden, da sie bei höheren Konzentrationen nicht vollständig in Wasser löslich sind. Die Validierstammlösungen von Ethylamin, Isopropylamin, Methylamin, Diethylamin und N,N-Dimethylethylamin wurden jedoch vollständig in Wasser ohne Zusatz von Methanol angesetzt (siehe Hinweis [Tabelle 4](#)). Die Kolben werden mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt und geschüttelt.

**Tab. 4** Reinheit der eingesetzten Substanzen sowie Volumina und Einwaagen zur Herstellung der der Kalibrier- und Validierstammlösungen mit resultierenden Konzentrationen

Substanz	Reinheit	Kalibrierstammlösung, 20 ml			Validierstammlösung, 10 ml	
		Volumen Amin [µl]	Einwaage Amin [mg]	Konzentration <sup>a)</sup> [mg/ml]	Einwaage Amin [mg]	Konzentration <sup>a)</sup> [mg/ml]
<b>Primäre Amine</b>						
Benzylamin	99,0	30	34,5	1,71	287,1	28,43
n-Butylamin	99,0	60	35,1	1,74	125,8	12,45
sec-Butylamin	99,0	60	33,8	1,68	123,1	12,06

Tab. 4 (Fortsetzung)

Substanz	Reinheit	Kalibrierstammlösung, 20 ml			Validierstammlösung, 10 ml	
		Volumen Amin [µl]	Einwaage Amin [mg]	Konzentration <sup>a)</sup> [mg/ml]	Einwaage Amin [mg]	Konzentration <sup>a)</sup> [mg/ml]
<i>tert</i> -Butylamin	99,5	60	28,6	1,42	118,3	11,77
Ethylamin <sup>b)</sup>	70,0 <sup>c)</sup>	320	215,1	7,53	326,4	22,85
Isobutylamin	99,0	60	34,7	1,72	125,1	12,39
Isopropylamin <sup>b)</sup>	99,0	100	52,8	2,61	289,0	28,61
Methylamin <sup>b)</sup>	40,0 <sup>c)</sup>	650	474,2	9,48	784,7	31,39
<i>n</i> -Propylamin	99,0	60	38,5	1,89	122,2	11,98
<b>Sekundäre Amine</b>						
Diethylamin <sup>b)</sup>	98,0	120	64,6	3,21	360,6	35,88
Diisopropylamin	99,5	60	30,0	1,49	122,7	12,15
Dimethylamin	41,2 <sup>c)</sup>	120	88,2	1,76	222,5	8,90
Di- <i>n</i> -propylamin	99,0	60	32,7	1,62	125,5	12,42
Methylisopropylamin	98,0	40	25,9	1,27	278,4	27,28
<b>Tertiäre Amine</b>						
<i>N</i> -Ethyl-diisopropylamin	98,0	40	29,2	1,43	297,1	29,12
<i>N,N</i> -Dimethylethylamin <sup>b)</sup>	99,0	100	48,3	2,34	479,3	47,45
<i>N,N</i> -Dimethylisopropylamin	99,7	50	28,8	1,48	93,0	9,02
<i>N,N</i> -Dimethyl- <i>n</i> -propylamin	99,9	60	33,8	1,68	120,4	11,99
Triethylamin	99,0	50	29,7	1,48	101,6	10,11
Trimethylamin	45,0 <sup>c)</sup>	120	91,8	1,29	428,7	12,00
Tri- <i>n</i> -propylamin	98,0	50	30,1	1,47	120,5	11,81

<sup>a)</sup> Die Konzentration wird mit der Reinheit der eingesetzten Amine korrigiert.

<sup>b)</sup> Die Validierstammlösung wurde mit einigen Millilitern vorgelegtem Wasser anstelle von Methanol angesetzt.

<sup>c)</sup> Gasförmige Amine wurden als Lösungen in Wasser eingesetzt.

Die Konzentrationen der Stammlösungen von Methylamin, Diethylamin und *N,N*-Dimethylethylamin beziehen sich auf die zum Zeitpunkt der Validierung gültigen Beurteilungsmaßstäbe von 12, 15 bzw. 20 mg/m<sup>3</sup>. Die Höhe der Konzentrationen der Stammlösungen sollte sich an den aktuell geltenden Beurteilungsmaßstäben orientieren.

## 5 Probenahme und Probenaufbereitung

### 5.1 Vorbereitung der Probenträger

Die Glasfaserfilter werden vor der Probenahme imprägniert. Dazu werden sie in die Imprägnierlösung eingetaucht und im Abzug auf einem großen Uhrglas für mindestens 12 Stunden getrocknet. Mit 10 ml Imprägnierlösung können ca. zehn Filter behandelt werden.

Die vorbereiteten Probenträger können sechs Wochen verwendet werden.

Die eingesetzte Charge an Glasfaserfiltern ist auf einen möglichen Blindwert zu prüfen.



## 5.2 Probenahme

In einen Millipore-Filterhalter werden zwei imprägnierte Filter, getrennt durch einen Distanzhalter, eingesetzt. Die Probenahme erfolgt über einen Zeitraum von ca. 2 Stunden bei einem Volumenstrom von 1 l/min zur Überprüfung des Schichtmittelwertes, woraus ein Probeluftvolumen 120 Litern resultiert. Probenahme kann personengetragen oder ortsfest erfolgen.

Nach Beendigung der Probenahme ist der Volumenstrom auf Konstanz zu überprüfen. Ist die Abweichung vom eingestellten Volumenstrom größer als  $\pm 5\%$ , wird empfohlen, die Probe zu verwerfen (DIN 2023). Der Filterhalter mit den beaufschlagten Filtern wird verschlossen und ins Labor transportiert.

Es wird empfohlen, zu jeder Probenserie eine Blindprobe („Field Blank“) mitzuführen. Diese unterscheidet sich von der Analysenprobe lediglich darin, dass keine Probeluft durch den Filter gesaugt wurde. Die Blindprobe wird analog den Proben gelagert und aufbereitet.

## 5.3 Probenaufbereitung

Die beaufschlagten Filter werden zur Desorption separat in je ein 10-ml-Headspacegefäß überführt. Nach Zugabe von je 5 ml demineralisiertem Wasser werden die Gefäße verschlossen und für 30 Minuten im Ultraschallbad behandelt. Die Gefäße mit den Filtern dürfen nicht geschüttelt werden, da die Filter sonst zerfallen und nur noch mit Hilfe einer Zentrifuge abgetrennt werden können! Für die Messung der Kurzzeitwertkonzentrationen kann die Menge an demineralisiertem Wasser angepasst werden. Die abweichende Verdünnung ist bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Nacheinander werden in ein weiteres 10-ml-Headspace-Probenglas gegeben:

1. 250  $\mu$ l der Desorptionslösung
2. 25  $\mu$ l Interne Standardlösung
3. 5 ml Kaliumcarbonatlösung

Anschließend wird das Glas sofort mit einem Deckel mit Septum verschlossen.

Die Blindprobe („Field Blank“) wird analog zu dem gesammelten Proben aufbereitet und analysiert.

Es wird empfohlen, zusätzlich einen Reagenzienblindwert („Lab Blank“) zu bestimmen.

## 6 Instrumentelle Arbeitsbedingungen

<b>Gerät:</b>	Agilent 6890 Plus mit Agilent MSD 5973 inert Network und Gerstel MPS 2 Headspace-Sampler
<b>Trennsäule:</b>	Restek Rtx-5 Amin, ID 0,32 mm, L 30 m, Filmdicke 5 $\mu$ m
<b>Temperaturprogramm:</b>	2 min bei 20 °C, mit 10 °C/min auf 120 °C und mit 40 °C/min auf 200 °C, 2 min
<b>Trägergas:</b>	Helium
<b>Flussrate:</b>	Konstant 4,0 ml/min
<b>Injektor:</b>	Splitinjektion mit Verhältnis 1:5
<b>Injektortemperatur:</b>	150 °C
<b>Injektionsvolumen</b>	1 ml
<b>Probengeber:</b>	90 °C, 30 min, 750 rpm
<b>Spritztemperatur:</b>	100 °C

**Detektor:** Massenspektrometer

**Messmodus:** Scan, 29–750 amu

## 7 Analytische Bestimmung

Zur analytischen Bestimmung werden jeweils 1 ml des Dampfraumes der nach [Abschnitt 5.3](#) aufbereiteten Proben in den Chromatograph injiziert und unter den in [Abschnitt 6](#) angegebenen Bedingungen analysiert. Liegen die ermittelten Konzentrationen oberhalb des Kalibrierbereiches, so sind geeignete Verdünnungen herzustellen und diese nochmals zu analysieren. Des Weiteren werden die aufbereitete Blindprobe („Field Blank“) und der Reagenzienblindwert („Lab Blank“) analog den Analysenproben analysiert.

## 8 Kalibrierung

Für die Kalibrierung werden die in [Tabelle 7](#) aufgeführten Volumina der Kalibrierstammlösung auf einen nach [Abschnitt 5.1](#) imprägnierten Filter, der sich in einem 10-ml-Headspacegefäß befindet, pipettiert. Danach werden diese Filter wie unter [Abschnitt 5, 6 und 7](#) beschrieben aufgearbeitet und analysiert. Alle erhaltenen Konzentrationen der Kalibrierlösung können [Tabelle 5](#) entnommen werden. Die dotierten Mengen entsprechen, bezogen auf ein Probeluftvolumen von 120 l, Luftkonzentrationen von 0,05 bis 5,5 mg/m<sup>3</sup> (siehe [Tabelle 5](#)).

**Tab. 5** Konzentrationen der Kalibrierlösungen und zugehörige Luftkonzentrationen bei einer Probenahmedauer von 2 Stunden mit 1 l/min und 120 l Luftvolumen

Substanz	Kalibrierlösung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Volumen Kalibrierstammlösung [µl]							
	5	10	20	30	40	50	60	70
	Konzentration Kalibrierlösung <sup>a)</sup> [mg/l], Luftkonzentration [mg/m <sup>3</sup> ] <sup>b)</sup>							
<b>Primäre Amine</b>								
Benzylamin	1,71	3,42	6,84	10,3	13,7	17,1	20,5	23,9
	0,071	0,142	0,285	0,427	0,570	0,712	0,855	0,997
<i>n</i> -Butylamin	1,74	3,48	6,96	10,4	13,9	17,4	20,9	24,4
	0,072	0,145	0,290	0,435	0,580	0,725	0,870	1,02
<i>sec</i> -Butylamin	1,71	3,42	6,84	10,3	13,7	17,1	20,5	23,9
	0,071	0,142	0,285	0,427	0,570	0,712	0,855	0,997
<i>tert</i> -Butylamin	1,42	2,84	5,69	8,53	11,4	14,2	17,1	19,9
	0,059	0,118	0,237	0,355	0,474	0,592	0,711	0,829
Ethylamin	7,53	15,06	30,11	45,17	60,23	75,29	90,34	105,4
	0,314	0,627	1,255	1,882	2,510	3,137	3,764	4,392
Isobutylamin	1,72	3,43	6,86	10,3	13,7	17,16	20,6	24,0
	0,071	0,143	0,286	0,429	0,572	0,715	0,858	1,00
Methylamin	9,48	19,97	37,94	56,90	75,87	94,84	113,8	132,8
	0,395	0,790	1,581	2,371	3,161	3,952	4,742	5,532
Isopropylamin	2,61	5,22	10,5	15,7	20,9	26,1	31,3	36,6
	0,109	0,218	0,435	0,653	0,871	1,09	1,31	1,52

Tab. 5 (Fortsetzung)

Substanz	Kalibrierlösung							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Volumen Kalibrierstammlösung [ $\mu\text{l}$ ]							
	5	10	20	30	40	50	60	70
	Konzentration Kalibrierlösung <sup>a)</sup> [ $\text{mg/l}$ ], Luftkonzentration [ $\text{mg/m}^3$ ] <sup>b)</sup>							
<i>n</i> -Propylamin	1,89 0,079	3,77 0,157	7,54 0,314	11,3 0,472	15,1 0,629	18,9 0,786	22,6 0,943	26,4 1,10
<b>Sekundäre Amine</b>								
Diethylamin	3,21 0,134	6,43 0,268	12,9 0,535	19,3 0,803	25,7 1,07	32,1 1,34	38,6 1,61	45,0 1,87
Diisopropylamin	1,49 0,062	2,97 0,124	5,95 0,248	8,92 0,372	11,9 0,496	14,9 0,620	17,8 0,743	20,82 0,867
Dimethylamin	1,76 0,074	3,53 0,147	7,06 0,294	10,6 0,441	14,1 0,588	17,6 0,735	21,2 0,882	24,7 1,03
Di- <i>n</i> -propylamin	1,62 0,067	3,24 0,135	6,47 0,270	9,71 0,404	12,9 0,539	16,2 0,674	19,4 0,809	22,6 0,944
Methylisopropylamin	1,27 0,053	2,54 0,106	5,08 0,212	7,62 0,317	10,2 0,423	12,7 0,529	15,2 0,635	17,8 0,740
<b>Tertiäre Amine</b>								
<i>N</i> -Ethyl-diisopropylamin	1,43 0,060	2,86 0,119	5,72 0,238	8,58 0,358	11,4 0,477	14,3 0,596	17,2 0,715	20,0 0,834
<i>N,N</i> -Dimethylethylamin	2,39 0,100	4,78 0,199	9,55 0,398	14,3 0,597	19,1 0,796	23,9 0,995	28,7 1,194	33,4 1,39
<i>N,N</i> -Dimethylisopropylamin	1,40 0,058	2,80 0,116	5,59 0,233	8,39 0,349	11,2 0,466	14,0 0,582	16,8 0,699	19,6 0,815
<i>N,N</i> -Dimethyl- <i>n</i> -propylamin	1,68 0,070	3,36 0,140	6,72 0,280	10,1 0,420	13,4 0,560	16,8 0,700	20,2 0,840	23,5 0,980
Triethylamin	1,48 0,062	2,96 0,123	5,91 0,246	8,87 0,369	11,8 0,493	14,8 0,616	17,7 0,739	20,7 0,862
Trimethylamin	1,29 0,054	2,57 0,107	5,14 0,214	7,71 0,321	10,3 0,428	12,8 0,535	15,4 0,642	18,0 0,749
Tri- <i>n</i> -propylamin	1,47 0,061	2,95 0,123	5,90 0,246	8,85 0,369	11,8 0,491	14,7 0,614	17,7 0,737	20,6 0,860

<sup>a)</sup> Bei der Berechnung der Konzentrationen wurde das Volumen der Kalibrierstammlösung vernachlässigt.

<sup>b)</sup> Konzentrationen bezogen auf ein Probeluftvolumen von 120 l und ein Desorptionsmittelvolumen von 5 ml

Die ermittelten Peakflächenquotienten (Verhältnis der Peakflächen der einzelnen Amine zu der Peakfläche des internen Standards Diethyl- $\text{d}_{10}$ -amin) werden gegen die jeweilige Konzentration aufgetragen. Die Kalibrierkurven sind in den untersuchten Konzentrationsbereichen linear. Zur Überprüfung der Kalibrierfunktion ist arbeitstäglich eine Kontrollprobe im mittleren Konzentrationsbereich zu analysieren.

Die Kalibrierung ist neu zu erstellen, wenn die analytischen Bedingungen sich ändern oder die Qualitätskontrolle dazu Anlass gibt.

## 9 Berechnung des Analyseergebnisses

Anhand der Peakflächen wird aus der Kalibrierfunktion die zugehörige Masse  $X$  in  $\mu\text{g}$  je Probe ermittelt. Die zugehörige Massenkonzentration ( $\rho$ ) errechnet sich nach [Gleichung 1](#). Wenn eine Wiederfindung von  $100 \pm 5\%$  im Bereich von einem Zehntel bis zum Doppelten des Grenzwertes ermittelt wurde, ist keine Korrektur in [Gleichung 1](#) vorzunehmen.

$$\rho = \frac{X}{V \times \eta} \quad (1)$$

Zur Umrechnung auf  $20\text{ °C}$  und  $1013\text{ hPa}$  gilt [Gleichung 2](#):

$$\rho_0 = \rho \times \frac{273 + t_a}{293} \times \frac{1013}{p_a} \quad (2)$$

Es bedeuten:

- $\rho$  Massenkonzentration der Substanz in der Luftprobe in  $\text{mg}/\text{m}^3$  bezogen auf  $t_a$  und  $p_a$
- $\rho_0$  Massenkonzentration der Substanz in  $\text{mg}/\text{m}^3$  bezogen auf  $20\text{ °C}$  und  $1013\text{ hPa}$
- $X$  Masse der Substanz in der Analysenprobe in  $\mu\text{g}$
- $V$  Probeluftvolumen in l (ermittelt aus Volumenstrom und Probenahmedauer, hier  $120\text{ l}$ )
- $\eta$  Wiederfindung
- $t_a$  Temperatur während der Probenahme in  $\text{°C}$
- $p_a$  Luftdruck während der Probenahme in  $\text{hPa}$

Die Ergebnisse beider beaufschlagter Filter pro Probenahme werden addiert. Proben, deren Konzentration an Aminen außerhalb des Kalibrierbereiches liegen, müssen verdünnt und anschließend nochmals analysiert werden. Hierbei ist anzumerken, dass der Kalibrierbereich nicht immer den oberen Grenzbereich abdeckt.

## 10 Beurteilung des Verfahrens

Die Kenndaten der Methode wurden gemäß [DIN EN 482 \(DIN 2021\)](#) sowie [DIN 32645 \(DIN 2008\)](#) ermittelt. Es wurde eine vollständige Validierung der Methode durchgeführt.

### 10.1 Wiederholpräzision und Wiederfindung

Die Präzision im Mindestmessbereich nach [DIN EN 482 \(DIN 2021\)](#) sowie die Wiederfindung wurde für drei Konzentrationen mit jeweils einer Sechsfachbestimmung ermittelt (siehe [Tabelle 6](#)). Dazu wurden sechs Millipore Aerosol-Monitore Typ A über einen Sechsfachverteiler, bei dem der Fluss für jeden Sammler separat eingestellt werden konnte, mit der Pumpe verbunden. Vor jeden Sammler wurde mit einem kurzen Stück PTFE-Schlauch ein mit einem Quarzwattepfpfen gefülltes Glasrohr geschaltet (direkte Verbindung herstellen).

Zur Messung von Konzentrationen in Höhe des 0,1-, 1- und 2-fachen Grenzwerts wurden jeweils  $5$ ,  $50$  und  $100\ \mu\text{l}$  der Validierstammlösung mit einer Mikroliterspritze auf die Quarzwolle dosiert. Die injizierten Substanzmassen entsprachen bei einem Probeluftvolumen von  $120\text{ l}$  den in der [Tabelle 6](#) angegebenen Luftkonzentrationen. Anschließend wurde bei Raumtemperatur ( $23\text{--}25\text{ °C}$ )  $2$  Stunden lang Luft mit einem Fluss von  $1\text{ l}/\text{min}$  durch jeden Sammler gesaugt. Die relative Luftfeuchte lag bei  $50\text{--}60\%$ . Die präparierten Probenträger wurden gemäß den [Abschnitten 5, 6 und 7](#) aufbereitet und analysiert.

Bei den unter [Abschnitt 6](#) beschriebenen Bedingungen und einer zweistündigen Probenahme mit einem Volumenstrom von  $1\text{ l}/\text{min}$  ergaben sich für die Wiederfindung die in [Tabelle 6](#) aufgeführten Werte. Die Wiederfindungen wurden

durch den Vergleich von den ermittelten Werten zu Analyseergebnissen von Bezugslösungen, bei denen entsprechende Mengen an Validierstammlösung in die entsprechende Menge demineralisiertes Wasser gegeben wurden, ermittelt. Es ergaben sich mittlere Wiederfindungen zwischen 95,3 und 103,8 %.

Die relativen Standardabweichungen sowie deren Mittelwerte sind in [Tabelle 6](#) aufgeführt und lagen zwischen 1,5 und 4,0 %. Die mittleren Wiederfindungen lagen für die einzelnen Amine zwischen 95,3 und 103,8 %.

**Tab. 6** Validierkonzentrationen und Kenndaten des Messverfahrens

Substanz	Validierkonzentrationen <sup>a)</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]			Wiederfindung [%]				Rel. Standardabweichung			
	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	η <sub>1</sub>	η <sub>2</sub>	η <sub>3</sub>	η	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	s
<b>Primäre Amine</b>											
Benzylamin <sup>b)</sup>	0,592	5,922	11,844	95,8	96,6	95,3	95,9	4,5	4,7	2,7	4,0
<i>n</i> -Butylamin	0,519	5,189	10,379	95,9	100,2	101,1	99,1	1,4	2,7	3,5	2,5
<i>sec</i> -Butylamin	0,503	5,026	10,052	96,6	100,7	100,6	99,3	1,4	2,3	3,2	2,3
<i>tert</i> -Butylamin	0,491	4,905	9,811	99,7	101,4	100,0	100,4	2,0	2,0	3,1	2,4
Ethylamin	0,952	9,519	19,038	94,5	99,7	111,1	101,8	2,3	4,0	2,8	3,0
Isobutylamin	0,516	5,161	10,322	96,9	100,6	100,5	99,3	1,8	2,5	3,2	2,5
Isopropylamin	1,192	11,920	23,839	96,9	101,3	105,0	101,1	0,9	2,6	1,0	1,5
Methylamin <sup>c)</sup>	1,308	13,079	26,158	101,9	101,8	107,6	103,8	2,2	4,5	2,9	3,2
<i>n</i> -Propylamin <sup>b)</sup>	0,499	4,991	9,982	95,8	100,6	101,0	99,1	2,0	3,4	3,3	2,9
<b>Sekundäre Amine</b>											
Diethylamin <sup>c)</sup>	1,495	14,949	29,897	98,8	100,3	102,8	100,6	1,8	2,6	0,8	1,7
Diisopropylamin <sup>b)</sup>	0,506	5,063	10,126	100,4	101,8	98,4	100,2	3,1	2,6	2,5	2,7
Dimethylamin	0,371	3,708	7,417	94,8	101,4	101,4	99,2	3,0	3,2	3,2	3,1
Di- <i>n</i> -propylamin <sup>b)</sup>	0,518	5,175	10,350	99,4	100,4	98,2	99,3	3,8	3,6	2,6	3,3
Methylisopropylamin <sup>b)</sup>	0,568	5,683	11,366	100,8	98,1	100,4	99,8	3,3	3,6	1,0	2,6
<b>Tertiäre Amine</b>											
N-Ethyldiisopropylamin <sup>b)</sup>	0,607	6,066	12,132	95,8	100,0	100,7	98,8	4,9	3,2	2,2	3,4
<i>N,N</i> -Dimethylethylamin <sup>c)</sup>	1,977	19,769	39,538	101,9	103,4	103,8	103,0	3,6	3,5	1,3	2,8
<i>N,N</i> -Dimethylisopropylamin	0,376	3,757	7,513	99,3	101,3	98,6	99,7	3,5	2,0	2,5	2,7
<i>N,N</i> -Dimethyl- <i>n</i> -propylamin <sup>b)</sup>	0,499	4,995	9,990	99,8	101,7	98,2	99,9	3,5	2,0	2,4	2,6
Triethylamin	0,421	4,214	8,428	99,8	100,4	99,5	99,9	4,2	2,2	2,3	2,9
Trimethylamin	0,500	5,002	10,003	99,7	102,2	98,1	100,0	2,9	1,8	2,4	2,4
Tri- <i>n</i> -propylamin <sup>b)</sup>	0,492	4,920	9,839	102,0	100,9	98,1	100,3	4,9	2,1	3,5	3,5

<sup>a)</sup> Konzentrationen bezogen auf ein Probeluftvolumen von 120 l und ein Desorptionsmittelvolumen von 5 ml

<sup>b)</sup> Für diese Substanz ist derzeit kein MAK-Wert oder AGW festgelegt, daher wurde für einen Beurteilungsmaßstab von 5 mg/m<sup>3</sup> validiert.

<sup>c)</sup> Für diese Substanz wurde während der Erarbeitung der Methode der MAK-Wert bzw. AGW abgesenkt, daher entspricht der Validierungsbereich nicht mehr den aktuellen Anforderungen.

Während der Methodenvalidierung wurden die Beurteilungsmaßstäbe für Methylamin, Diethylamin und *N,N*-Dimethylethylamin von 12, 15 bzw. 20 mg/m<sup>3</sup> auf die derzeit gültigen Werte abgesenkt. Die hier aufgeführte Validierung bezieht sich auf die damaligen Beurteilungsmaßstäbe.

## 10.2 Erweiterte Messunsicherheit

Die erweiterte Messunsicherheit wurde unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen nach DIN EN 482 (DIN 2021) ermittelt. Die Ergebnisunsicherheit des Gesamtverfahrens und damit des Analysenergebnisses setzt sich im Wesentlichen aus den Unsicherheitsbeträgen bei der Probenahme (z. B. Probeluftvolumen) und der analytischen Bearbeitung (z. B. vollständige Desorption, Streuung der Kalibrierfunktion, Schwankung der Wiederfindungen und der Reproduzierbarkeit) zusammen. Die kombinierte analytische Messunsicherheit beträgt 10 %, die erweiterte Messunsicherheit für das Gesamtverfahren liegt zwischen 17,3 und 27,5 %.

## 10.3 Bestimmungsgrenze

Im Rahmen der Methodenentwicklung wurden die Bestimmungsgrenzen gemäß der DIN 32645 (DIN 2008) nach der Kalibriergeradenmethode mit einer statistischen Sicherheit von  $P=95\%$  und  $k=2$  ermittelt. Die absoluten Bestimmungsgrenzen liegen zwischen 0,19 und 68,8  $\mu\text{g}$ . Dies entspricht relativen Bestimmungsgrenzen von 0,002 bis 0,57  $\text{mg}/\text{m}^3$  an Amin bei einem Probeluftvolumen von 120 l, einem Volumen des Headspacegefäßes von ca. 10 ml, einem Desorptionsmittelvolumen von 5 ml, einer Aliquotierung im Verhältnis 1:20 und einem Injektionsvolumen von 1 ml. Die genauen Werte sind in [Tabelle 7](#) dargestellt.

**Tab. 7** Absolute und relative Bestimmungsgrenzen

Substanz	Bestimmungsgrenzen	
	Absolut [ $\mu\text{g}$ ]	Relativ <sup>a)</sup> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
<b>Primäre Amine</b>		
Benzylamin	1,27	10,6
<i>n</i> -Butylamin	1,34	11,2
<i>sec</i> -Butylamin	1,54	12,8
<i>tert</i> -Butylamin	1,48	12,3
Ethylamin	8,18	68,2
Isobutylamin	2,53	21,1
Isopropylamin	1,57	13,1
Methylamin	68,8	573
<i>n</i> -Propylamin	2,88	24,0
<b>Sekundäre Amine</b>		
Diethylamin	1,49	12,4
Diisopropylamin	1,56	13,0
Dimethylamin	3,76	31,3
Di- <i>n</i> -propylamin	0,82	6,8
Methylisopropylamin	0,52	4,3
<b>Tertiäre Amine</b>		
<i>N</i> -Ethyl-diisopropylamin	0,19	1,6
<i>N,N</i> -Dimethylethylamin	1,94	16,2
<i>N,N</i> -Dimethylisopropylamin	0,88	7,3
<i>N,N</i> -Dimethyl- <i>n</i> -propylamin	1,09	9,1
Triethylamin	0,83	6,9
Trimethylamin	0,62	5,2
Tri- <i>n</i> -propylamin	0,82	6,8

<sup>a)</sup> Konzentrationen bezogen auf ein Probeluftvolumen von 120 l und ein Desorptionsmittelvolumen von 5 ml

## 10.4 Lagerfähigkeit

Die Lagerfähigkeit der mit Aminen beaufschlagten Probenträger beträgt bei Raumtemperatur mindestens 14 Tage.

## 11 Diskussion

Das hier beschriebene Messverfahren ermöglicht die Bestimmung von primären, sekundären und tertiären Aminen in der Luft am Arbeitsplatz in einem Konzentrationsbereich von einem Zehntel bis zum Doppelten der derzeit gültigen AGW. Das Messverfahren ist auch geeignet, um die Einhaltung des Kurzzeitwertes zu überprüfen. Das Verfahren wurde bei Raumtemperatur (23 bis 25 °C) und einer relativen Luftfeuchte von 50 bis 60 % validiert. Weichen die Bedingungen während der Messung signifikant davon ab, so ist das Verfahren entsprechend zu validieren.

Die Beurteilungsmaßstäbe von Methylamin, Diethylamin und *N,N*-Dimethylethylamin wurden während der Entwicklung der Methode abgesenkt. Die aktuellen Beurteilungsmaßstäbe finden in der hier vorliegenden Validierung noch keine Berücksichtigung.

Im Rahmen von Vergleichsexperimenten, wurde die hier beschriebene Methode mit Methode 2, welche ebenfalls in dieser Ausgabe veröffentlicht wurde (Kaus et al. 2024), verglichen. Die Vergleichsexperimente zeigten eine gute Übereinstimmung der mit beiden Methoden bestimmten Werte.

## Anmerkungen

### Interessenkonflikte

Die in der Kommission etablierten Regelungen und Maßnahmen zur Vermeidung von Interessenkonflikten ([www.dfg.de/mak/interessenkonflikte](http://www.dfg.de/mak/interessenkonflikte)) stellen sicher, dass die Inhalte und Schlussfolgerungen der Publikation ausschließlich wissenschaftliche Aspekte berücksichtigen.

## Literatur

- AGS (Ausschuss für Gefahrstoffe) (2023) Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900). Arbeitsplatzgrenzwerte. Dortmund: BAuA. [https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?__blob=publicationFile&v=5), abgerufen am 01 Aug 2023
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), Hrsg (2023) MAK- und BAT-Werte-Liste 2023. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 59. Düsseldorf: German Medical Science. [https://doi.org/10.34865/mbwl\\_2023\\_deu](https://doi.org/10.34865/mbwl_2023_deu)
- DIN (Deutsches Institut für Normung), Hrsg (2008) DIN 32645:2008-11. Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung. Berlin: Beuth. <https://doi.org/10.31030/1465413>
- DIN (Deutsches Institut für Normung), Hrsg (2021) DIN EN 482:2021-05. Exposition am Arbeitsplatz – Verfahren zur Bestimmung der Konzentration von chemischen Arbeitsstoffen – Grundlegende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit; Deutsche Fassung EN 482:2021. Berlin: Beuth. <https://doi.org/10.31030/3211072>
- DIN (Deutsches Institut für Normung), Hrsg (2023) DIN EN ISO 13137:2023-01. Arbeitsplatzatmosphäre – Pumpen für die personenbezogene Probenahme von chemischen und biologischen Arbeitsstoffen – Anforderungen und Prüfverfahren (ISO 13137:2022); Deutsche Fassung EN ISO 13137:2022. Berlin: Beuth. <https://doi.org/10.31030/3365024>
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 a) Benzylamine (CAS Number 100-46-9). Brief profile. Last updated 18 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.002.595>, abgerufen am 30 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 b) Butylamine (CAS Number 109-73-9). Brief profile. Last updated 11 Jul 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.003.364>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 c) Diethylamine (CAS Number 109-89-7). Brief profile. Last updated 06 Jun 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.003.380>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 d) Diisopropylamine (CAS Number 108-18-9). Brief profile. Last updated 26 Jun 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.003.235>, abgerufen am 28 Aug 2023



- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 e) Dimethylamine (CAS Number 124-40-3). Brief profile. Last updated 23 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.004.272>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 f) Dimethyl(propyl)amine (CAS Number 102-69-2). Brief profile. Last updated 18 Mar 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.011.946>, abgerufen am 30 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 g) Dipropylamine (CAS Number 142-84-7). Brief profile. Last updated 24 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.005.060>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 h) Ethylamine (CAS Number 996-35-0). Brief profile. Last updated 22 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.000.759>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 i) Ethyldiisopropylamine (CAS Number 7087-68-5). Brief profile. Last updated 01 Jul 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.027.629>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 j) Ethyldimethylamine (CAS Number 598-56-1). Brief profile. Last updated 25 Apr 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.009.038>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 k) Isobutylamine (CAS Number 78-81-9). Brief profile. Last updated 18 Feb 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.001.042>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 l) Isopropylamine (CAS Number 75-31-0). Brief profile. Last updated 13 Jul 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.000.783>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 m) Methylamine (CAS Number 74-89-5). Brief profile. Last updated 22 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.000.746>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 n) N-Methylisopropylamine (CAS Number 4747-21-1). Brief profile. Last updated 21 Mar 2022. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.022.969>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 o) N,N-Dimethylisopropylamine (CAS Number 996-35-0). Brief profile. Last updated 09 Mar 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.012.395>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 p) Propylamine (CAS Number 107-10-8). Brief profile. Last updated 18 Feb 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.003.149>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 q) sec-Butylamine (CAS Number 13952-84-6). Brief profile. Last updated 15 May 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.034.288>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 r) tert-Butylamine (CAS Number 75-64-9). Brief profile. Last updated 23 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.000.808>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 s) Triethylamine (CAS Number 121-44-8). Brief profile. Last updated 10 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.004.064>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 t) Trimethylamine (CAS Number 75-50-3). Brief profile. Last updated 25 Aug 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.000.796>, abgerufen am 28 Aug 2023
- ECHA (European Chemicals Agency) (2023 u) Tripropylamine (CAS Number 102-69-2). Brief profile. Last updated 05 Jul 2023. <https://echa.europa.eu/de/brief-profile/-/briefprofile/100.002.771>, abgerufen am 28 Aug 2023
- Kaus C, Krämer W, Schmitt R, Hebisch R, Hartwig A, MAK Commission (2024) Amine – Bestimmung von N,N-Dimethylethylamin, N,N-Dimethylisopropylamin, N,N-Dimethyl-n-propylamin und Triethylamin in der Luft am Arbeitsplatz mittels Ionenchromatographie (IC). MAK Collect Occup Health Saf 9(1): Doc023. [https://doi.org/10.34865/am12144db9\\_1or](https://doi.org/10.34865/am12144db9_1or)
- RÖMPP-Redaktion, Sefkow M (2010) Benzylamin. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-02-00913>, abgerufen am 31 Aug 2023
- RÖMPP-Redaktion (2002) Alkylamine. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-01-01513>, abgerufen am 31 Aug 2023