

The MAK Collection for Occupational Health and Safety

Glykolester, Glykolether – Methode zur Bestimmung von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft am Arbeitsplatz mittels Gaschromatographie

Luftanalysen-Methode

Y. Giesen¹, C. Friedrich¹, D. Breuer¹, J. Fauss², R. Hebisch^{3,*}, A. Hartwig^{4,*}, MAK Commission^{5,*}

¹ Methodenentwicklung, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

² Methodenprüfung, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), Prävention Zentrallabor, Dynamostraße 7–11, 68165 Mannheim

³ 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

⁴ 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, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁵ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* E-Mail: R. Hebisch (luftanalysen-dfg@baua.bund.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Keywords: Glykolester; Glykolether; Luftanalysen; Analysenmethode; Arbeitsplatzmessung; Gefahrstoff; Gaschromatographie; Flammenionisationsdetektion; GC-FID; Glasfaserfilter

Citation Note: Giesen Y, Friedrich C, Breuer D, Fauss J, Hebisch R, Hartwig A, MAK Commission. Glykolester, Glykolether – Methode zur Bestimmung von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft am Arbeitsplatz mittels Gaschromatographie. Luftanalysen-Methode. MAK Collect Occup Health Saf [Original-Ausgabe. Weinheim: Wiley-VCH; 2018 Apr;3(2):935-953]. Korrigierte Neuveröffentlichung ohne inhaltliche Bearbeitung. Düsseldorf: German Medical Science; 2025. https://doi.org/10.34865/am156902d0019_w

Neuveröffentlichung (Online): 12 Dez 2025

Vormals erschienen bei Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; <https://doi.org/10.1002/3527600418.am156902d0019>

Manuskript abgeschlossen: 01 Okt 2017

Erstveröffentlichung (Online): 24 Apr 2018

Zur Vermeidung von Interessenkonflikten hat die Kommission *Regelungen und Maßnahmen* etabliert.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.

Glycol ester, glycol ether – Method for the determination of 1-ethoxy-2-propanol, 1-ethoxy-2-propyl acetate, 2-(2-methoxyethoxy)ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)ethanol and 2-(2-butoxyethoxy)ethanol in workplace air using gas chromatography

[Glykolester, Glykolether – Methode zur Bestimmung von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft am Arbeitsplatz mittels Gaschromatographie]

Air Monitoring Methods in German language

Y. Giesen¹, C. Friedrich¹, D. Breuer¹, J. Fauss², R. Hebisch^{3,*}, A. Hartwig^{4,*}, MAK Commission^{5,*}

DOI: 10.1002/3527600418.am156902d0019

Abstract

This analytical method is a validated measurement procedure for the determination and limit value monitoring of 1-ethoxy-2-propanol, 1-ethoxy-2-propyl acetate, 2-(2-methoxyethoxy)ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)ethanol and 2-(2-butoxyethoxy)ethanol in workplace air. With this method simultaneously airborne glycols in the gaseous state as well as particles are collected. Sampling is performed by drawing a defined volume of air through the sampling system GGP-Mini consisting of a glass fibre filter and a charcoal tube connected downstream using a suitable flow-regulated pump. The flow rate is set to 0.33 L/min with a recommended air sample volume of 40 L. The collected glycols are desorbed with a mixture of dichloromethane/methanol containing 1-hexanol as internal standard and then analysed by means of gas chromatography using FID. The quantitative evaluation is based on calibration functions obtained by means of multiple-point calibrations. The limit of quantification (LOQ) for the individual glycol esters or glycol ethers is 0.5 mg/m³ based on an air sample volume of 40 L.

Keywords

1-Ethoxy-2-propanol; 1-Ethoxy-2-propylacetat; Diethylenglykolmonomethylether; Diethylenglykolmonoethylether; Diethylenglykolmonobutylether; Arbeitsplatzmessung; Gefahrstoffe; Luftanalysen; Messverfahren; GGP-Mini; Glasfaserfilter; Aktivkohleröhrchen; Gaschromatographie

Author Information

¹ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin

² Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), Prävention Zentrallabor, Dynamostr. 7-11, 68165 Mannheim

³ Leiter 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

⁴ Vorsitzende der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁵ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* Email: R. Hebisch (luftanalysen-dfg@baua.bund.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Kommission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Glykolester, Glykoether – Methode zur Bestimmung von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft am Arbeitsplatz mittels Gaschromatographie

Methodennummer	1
Anwendbarkeit	Luftanalyse
Analyt. Messprinzip	Gaschromatographie
Abgeschlossen im	Oktober 2017

Zusammenfassung

Das hier beschriebene Messverfahren ermöglicht die Überwachung der Arbeitsplatz-grenzwerte (AGW) bzw. MAK-Werte von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft in Arbeitsbereichen [1, 2]. Mit diesem Verfahren werden simultan gasförmig und partikulär vorkommende Glykolester und -ether erfasst. Zur Probenahme wird ein definiertes Luftvolumen mit einer geeigneten Pumpe durch das Probenahmesystem GGP-Mini mit einem Erfassungskegel für 0,33 L/min – bestehend aus einem Glasfaserfilter und nachgeschaltetem Aktivkohleröhrchen – gesaugt. Dabei werden luftgetragene Tröpfchen auf dem Filter abgeschieden und gasförmig auftretende Glykolester bzw. -ether an Aktivkohle adsorbiert.

Nach der Probenahme werden Filter und Aktivkohle in ein Schraubdeckelgläschen überführt, mit einem Gemisch aus Dichlormethan/Methanol (7:3) überschichtet und nach Zugabe von 1-Hexanol als interner Standard (ISTD) im Ultraschallbad extrahiert. Die qualitative und quantitative Bestimmung erfolgt mittels Gaschromatographie und Flammenionisationsdetektor (FID). Die quantitative Auswertung erfolgt anhand von Mehrpunkt-Kalibrierungen nach der Methode des internen Standards.

Kenndaten des Verfahrens

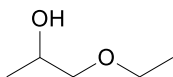
Präzision:	Standardabweichung (rel.):	$s = 4,2$ bis $4,6 \%$
	Erweiterte Messunsicherheit:	$U = 28$ bis 34%
	im Konzentrationsbereich von $0,5$ bis 590 mg/m^3 in Abhängigkeit des Glykolesters bzw. Glykolethers und $n = 6$ Bestimmungen	
Bestimmungsgrenze:	1-Ethoxy-2-propanol	$0,5 \text{ mg/m}^3$
	1-Ethoxy-2-propylacetat	$0,5 \text{ mg/m}^3$
	Diethylenglykolmonomethylether	$0,5 \text{ mg/m}^3$
	Diethylenglykolmonoethylether	$0,5 \text{ mg/m}^3$
	Diethylenglykolmonobutylether	$0,5 \text{ mg/m}^3$
	bei einem Probeluftvolumen von 40 Litern	
Wiederfindung:	1-Ethoxy-2-propanol	93%
	1-Ethoxy-2-propylacetat	85%
	Diethylenglykolmonomethylether	78%
	Diethylenglykolmonoethylether	83%
	Diethylenglykolmonobutylether	79%
Probenahmeempfehlung:	Probenahmedauer:	2 h
	Probeluftvolumen:	40 L
	Volumenstrom:	20 L/h ($0,33 \text{ L/min}$)

Stoffbeschreibung

Glykolester und Glykolether

Glykolester und -ether sind Stoffgruppen organischer Chemikalien, die auf Ethylenglykol oder Diethylenglykol als Basiseinheit basieren. Sie werden zumeist als Lösemittel eingesetzt, weil sie aufgrund ihrer hohen Siedepunkte über vorteilhafte Lösemitteleigenschaften verfügen.

1-Ethoxy-2-propanol [1569-02-4]



Synonyma: 2-Propylenglykol-1-ethylether, 2PG1EE, Propylenglykolmonoethylether, 1-Ethoxypropan-2-ol

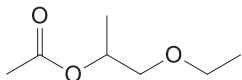
1-Ethoxy-2-propanol ist eine farblose Flüssigkeit mit schwach etherischem Geruch (Molmasse $104,20 \text{ g/mol}$, Siedepunkt 132 °C bei 1013 hPa , Schmelzpunkt -100 °C , Dampfdruck 10 hPa bei 20 °C). Es ist löslich in Wasser ($36,6 \text{ g}$ in 100 mL) und reagiert sehr heftig mit starken Oxidationsmitteln. 1-Ethoxy-2-propanol wird als Lösemittel für Druckfarben und Kunstharze sowie zur Herstellung von Farben verwendet.

Der AGW bzw. MAK-Wert von 1-Ethoxy-2-propanol beträgt 86 mg/m^3 (20 ppm) [1, 2]. Der Kurzzeitwert ist der Spitzenbegrenzungskategorie II mit dem Überschrei-

tungsfaktor 2 zugeordnet. Zur Toxizität von 1-Ethoxy-2-propanol siehe Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten [3].

$$1 \text{ mL/m}^3 (\text{ppm}) \triangleq 4,322 \text{ mg/m}^3$$

1-Ethoxy-2-propylacetat [54839-24-6]



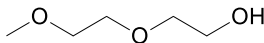
Synonyma: 2-Ethoxy-1-methylethylacetat, 2PG1EA

1-Ethoxy-2-propylacetat ist eine farblose Flüssigkeit mit schwach esterartigem Geruch (Molmasse 146,18 g/mol, Siedepunkt 150 bis 160 °C, Schmelzpunkt < -70 °C, Dampfdruck 2,03 hPa bei 25 °C). Es ist löslich in Wasser mit 69,6 g/L. Es ist ein wichtiges Lösemittel in der Lackindustrie.

Der AGW bzw. MAK-Wert von 1-Ethoxy-2-propylacetat beträgt 120 mg/m³ (20 ppm) [1, 2]. Der Kurzzeitwert ist der Spitzenbegrenzungskategorie II mit dem Überschreitungsfaktor 2 zugeordnet. Zur Toxizität von 1-Ethoxy-2-propylacetat siehe Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten [4].

$$1 \text{ mL/m}^3 (\text{ppm}) \triangleq 6,066 \text{ mg/m}^3$$

Diethylenglykolmonomethylether [111-77-3]



Synonyma: 2-(2-Methoxyethoxy)ethanol, Methyl-diglykol, DEGME

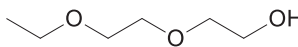
Diethylenglykolmonomethylether ist eine farblose, schwerflüchtige Flüssigkeit mit leicht etherischem Geruch (Molmasse 120,15 g/mol, Siedepunkt 193 °C, Schmelzpunkt ca. -65 °C, Dampfdruck 0,3 hPa bei 20 °C). Es ist vollständig mischbar mit Wasser. Am Arbeitsplatz kann es in der Luft als Partikel/Dampf-Gemisch vorkommen. Mit Luft können Dämpfe von Diethylenglykolmonomethylether ein explosionsfähiges Gemisch bilden (Flammpunkt 87 °C, Zündtemperatur 215 °C).

Diethylenglykolmonomethylether wird Kerosin als Frostschutzmittel beigemischt. Des Weiteren wird es als Zusatz zu Einbrennlacken und als Lösemittel für Druckpasten, Stempelfarben, Lederfarbstoffe und Kugelschreiberpasten verwendet.

Der AGW von Diethylenglykolmonomethylether beträgt 50 mg/m³ (10 ppm) für die Summe aus Dampf und Aerosol [1].

Diethylenglykolmonoethylether [111-90-0]

$$1 \text{ mL/m}^3 (\text{ppm}) \times 4,985 \text{ mg/m}^3$$



Synonyma: Ethyldiglykol, 2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol, DEGEE

Diethylenglykolmonoethylether ist eine farblose Flüssigkeit mit süß-muffig bis fruchtigem Aroma (Molmasse 134,18 g/mol, Siedepunkt 202 °C, Schmelzpunkt

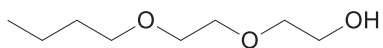
–76 °C, Dampfdruck 0,13 hPa bei 20 °C). Es ist mischbar mit Wasser und löslich in Alkoholen, Ethern, Ketonen sowie in aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Am Arbeitsplatz kann es in der Luft als Partikel/Dampf-Gemisch vorkommen. Mit Luft können Dämpfe von Diethylenglykolmonoethylether ein explosionsfähiges Gemisch bilden (Flammpunkt 90 °C, Zündtemperatur 190 °C).

Diethylenglykolmonoethylether wird als schwerflüchtiges Lösemittel verwendet. Zudem wird es als Lösevermittler eingesetzt. Es ist als Lösemittelzusatz in Lacken, Stempelfarben, Lederfarbstoffen, Holzbeizen, Druckpasten und Druckfarben enthalten.

Der AGW von Diethylenglykolmonoethylether beträgt 35 mg/m³ (6 ppm) [1] und der MAK-Wert 50 mg/m³ E [2]. Der Kurzzeitwert ist der Spitzenbegrenzungskategorie I mit dem Überschreitungsfaktor 2 zugeordnet. Zudem besitzt der Stoff die Fußnote: „*kann gleichzeitig als Dampf und Aerosol vorliegen*“. Zur Toxizität von Diethylenglykolmonoethylether siehe Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten [5].

$$1 \text{ mL/m}^3 (\text{ppm}) \triangleq 5,568 \text{ mg/m}^3$$

Diethylenglykolmonobutylether [112-34-5]



Synonyma: Butyldiglykol, Butoxydiglykol, 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, Diethylenglykolbutylether, DEGBE

Diethylenglykolmonobutylether ist eine hochsiedende farb- und geruchlose Flüssigkeit (Molmasse 162,23 g/mol, Siedepunkt 231 °C, Schmelzpunkt –68 °C, Dampfdruck 0,027 hPa bei 20 °C). Es ist vollständig mischbar mit Wasser.

Diethylenglykolmonobutylether wird als Lösemittel für Farben und Lacke z.B. in der Textilverarbeitung verwendet und dient in der chemischen Industrie als Zwischenprodukt. Des Weiteren ist es in Haushaltsreinigern und Brauchemikalien enthalten.

Der AGW bzw. MAK-Wert von Diethylenglykolmonobutylether beträgt 67 mg/m³ (10 ppm) [1, 2]. Der Kurzzeitwert ist der Spitzenbegrenzungskategorie I mit dem Überschreitungsfaktor 1,5 zugeordnet. Zudem besitzt der Stoff die Fußnote: „*kann gleichzeitig als Dampf und Aerosol vorliegen*“. Zur Toxizität von Diethylenglykolmonobutylether siehe Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten [6, 7, 8].

$$1 \text{ mL/m}^3 (\text{ppm}) \triangleq 6,732 \text{ mg/m}^3$$

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlage des Verfahrens	940
2	Geräte, Chemikalien und Lösungen	941
2.1	Geräte	941
2.1.1	Geräte für die Probenahme	941
2.1.2	Geräte für die Probenvorbereitung und Analytik	941
2.2	Chemikalien	942
2.3	Lösungen	942
3	Probenahme und Probenaufbereitung	943
3.1	Probenahme	943
3.2	Probenaufbereitung	944
4	Chromatographische Arbeitsbedingungen	945
5	Analytische Bestimmung	945
6	Kalibrierung	945
7	Berechnung des Analysenergebnisses	947
8	Beurteilung des Verfahrens	947
8.1	Präzision und erweiterte Messunsicherheit	947
8.2	Wiederfindung	948
8.3	Einfluss der relativen Luftfeuchte	949
8.4	Einfluss der Temperatur	949
8.5	Bestimmungsgrenze	949
8.6	Kapazität des Probenahmesystems	950
8.7	Lagerfähigkeit	950
8.8	Störeinflüsse	951
9	Diskussion	951
	Literatur	952

1 Grundlage des Verfahrens

Das hier beschriebene Messverfahren ermöglicht die Überwachung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) bzw. MAK-Werten von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft in Arbeitsbereichen [1, 2]. Mit diesem Verfahren werden simultan gasförmig und partikulär vorkommende Glykolester und -ether erfasst. Zur Probenahme wird ein definiertes Luftvolumen mit einer geeigneten Pumpe durch das Probenahmesystem GGP-Mini mit einem Erfassungskegel für 0,33 L/min – bestehend aus einem Glasfaserfilter und nachgeschaltetem Aktivkohleröhrchen – gesaugt. Dabei werden luftgetragene Tröpfchen auf dem Filter abgeschieden und gasförmig vorkommende Glykolester bzw. -ether an Aktivkohle adsorbiert.

Nach der Probenahme werden Filter und Aktivkohle in ein Schraubdeckelgläschen überführt, mit einem Gemisch aus Dichlormethan/Methanol (7:3) überschichtet und nach Zugabe von 1-Hexanol als interner Standard (ISTD) im Ultraschallbad extrahiert. Die qualitative und quantitative Bestimmung erfolgt mittels Gaschroma-

tographie und Flammenionisationsdetektor (FID). Die quantitative Auswertung erfolgt anhand von Mehrpunkt-Kalibrierungen nach der Methode des internen Standards.

2 Geräte, Chemikalien und Lösungen

2.1 Geräte

2.1.1 Geräte für die Probenahme

- Pumpe zur personenbezogenen Probenahme, geeignet für einen Volumenstrom von 20 L/h (0,33 L/min), z. B. Personal Air Sampler Gil Air 5 (Gilian)
- Probenahmesystem GGP-Mini mit Erfassungskegel für 0,33 L/min, bezogen über Analyt-MTC GmbH, 79379 Müllheim
- Silikon-Adapter für GGP-Mini mit Erfassungskegel für 0,33 L/min, bezogen über Firma Carnacon
- Glasfaserfilter MN 85/90 BF, Ø 13 mm, z. B. Macherey und Nagel, 52313 Düren, bezogen über LABC-Labortechnik Zillger KG, 53773 Hennef, Art.-Nr. 4060013
- Aktivkohleröhrchen, Dräger Typ BIA, Dräger Safety AG & Co. KGaA, 23560 Lübeck, Artikelnummer 6400744
- Volumenstrom-Messgerät, z. B. TSI, bezogen über DEHA Haan & Wittmer GmbH, 71296 Heimsheim
- Schraubdeckelgläschen, 10 mL mit zugehörigen Schraubdeckeln
- Einmalpinzetten, z. B. LABC-Labortechnik Zillger KG, 53773 Hennef, Art.-Nr. 130-0061186

2.1.2 Geräte für die Probenvorbereitung und Analytik

- Dispensette ceramus, 2 bis 10 mL, z. B. Hirschmann Laborgeräte GmbH, 74246 Eberstadt
- Messkolben, Nennvolumen 5 mL, z. B. Duran Group GmbH, 55122 Mainz
- Mikroliterspritzen, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250 und 500 µL, z. B. Hamilton
- Einmalspritzen, Nennvolumen 2 mL mit Einmalkanülen (0,9 x 40 mm)
- Einmalfilter MINISART SRP15, Porengröße 0,45 µm, z. B. Sartorius AG, 37075 Göttingen, Best.-Nr. 17559Q
- Autosamplervials aus Glas (LABC-Labortechnik Zillger KG, 53773 Hennef, Art.-Nr. 11090356) und Bördelkappen, z. B. CS-Chromatographie-Service GmbH, 52379 Langerwehe
- Ultraschallbad mit Einsätzen, z. B. SONOREX, BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, 12207 Berlin
- Gaschromatograph, PerkinElmer Clarus 500, mit Flammenionisationsdetektor (FID) und Autosampler
- Trennsäule StabilWax: 60 m; ID 250 µm, FD 0,5 µm, z. B. Restek
- Auswertesystem, PerkinElmer TotalChrom Client/Server Version 6.3.2

2.2 Chemikalien

- Methanol zur Analyse, Reinheit $\geq 99,9\%$, z. B. Merck 1.06009
- Dichlormethan zur Analyse, Reinheit $\geq 99,8\%$, z. B. Merck 1.06050
- 1-Hexanol zur Synthese, Reinheit $\geq 98,0\%$, z. B. Merck 804393
- 1-Ethoxy-2-propanol, Reinheit $\geq 90,0\%$
- 1-Ethoxy-2-propylacetat, Reinheit $\geq 99,0\%$
- Diethylenglykolmonomethylether, Reinheit $\geq 99,0\%$, z. B. Sigma-Aldrich 579548
- Diethylenglykolmonoethylether, Reinheit $\geq 98,0\%$, z. B. Fluka 32230
- Diethylenglykolmonobutylether, Reinheit $\geq 98,0\%$, z. B. Fluka 32250

Gase zum Betrieb des Gaschromatographen

- Helium 5.0 (Trärgas)
- gereinigte oder synthetische Luft (KW-frei), Taupunkt besser $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Wasserstoff 5.0

2.3 Lösungen

Stammlösung

In einen 5-mL-Messkolben, in dem ca. 2 mL Dichlormethan/Methanol (7:3) vorgelegt wurden, werden mit einer 50- μL -Spritze je 30 μL der in Tabelle 1 aufgeführten Stoffe dosiert. Der Messkolben wird danach mit Dichlormethan/Methanol (7:3) bis zur Marke aufgefüllt und umgeschüttelt.

Die angesetzte Stammlösung ist im Kühlschrank bei ca. $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ mindestens 6 Monate haltbar. Das Herstellungsdatum ist auf dem Gefäß zu vermerken.

Tab. 1 Konzentrationen an Glykolestern und -ethern in der Stammlösung

Stoff	Dosiertvolumen [μL]	Konzentration [$\mu\text{g}/\mu\text{L}$]
1-Ethoxy-2-propanol (2PG1EE)	30	5,4
1-Ethoxy-2-propylacetat (2PG1EA)	30	5,9
Diethylenglykolmonomethylether (DEGME)	30	6,2
Diethylenglykolmonoethylether (DEGEE)	30	5,9
Diethylenglykolmonobutylether (DEGBE)	30	5,8

Tab. 2 Kalibrierlösungen zur Ermittlung der Verfahrenskenndaten

Nr.	Stammlösung [μL]	2PG1EE [μg/5 mL]	2PG1EA [μg/5 mL]	DEGME [μg/5 mL]	DEGEE [μg/5 mL]	DEGBE [μg/5 mL]
1	2	10,8	11,8	12,4	11,9	11,5
2	3	16,2	17,7	18,5	17,8	17,3
3	4	21,6	23,6	24,7	23,8	23,0
4	5	26,9	29,5	30,9	29,7	28,8
5	6	32,3	35,4	37,1	35,6	34,6
6	7	37,7	41,3	43,3	41,6	40,3
7	8	43,1	47,2	49,4	47,5	46,1
8	9	48,5	53,1	55,6	53,5	51,8
9	10	53,9	59,0	61,8	59,4	57,6
10	11	59,3	64,9	68,0	65,3	63,4

Kalibrierlösungen

Zur Herstellung der 10 Kalibrierlösungen werden Aliquote von jeweils 2 bis 11 μL der Stammlösung (vgl. Tabelle 1) in 5-mL-Messkolben pipettiert, die als Vorlage ca. 2 mL Dichlormethan/Methanol (7:3) enthalten. Danach werden die Messkolben mit Dichlormethan/Methanol (7:3) bis zur Marke aufgefüllt und in jeden Messkolben 0,4 μL 1-Hexanol als interner Standard dosiert. In Tabelle 2 sind die Kalibrierlösungen aufgeführt.

Die Kalibrierlösungen sind arbeitstäglich frisch anzusetzen.

3 Probenahme und Probenaufbereitung

3.1 Probenahme

Für die Probenahme werden geeignete durchflusstabilisierte Pumpen eingesetzt. Zur Einstellung des Volumenstroms auf 20 L/h (0,33 L/min) wird analog der Probenahme ein entsprechend bestücktes Probenahmesystem GGP-Mini mit einem Erfassungskegel für 0,33 L/min an die Pumpe angeschlossen.

Unmittelbar vor Beginn der Probenahme werden die verschmolzenen Glasenden des Aktivkohleröhrchens geöffnet und in Pfeilrichtung zur Pumpe mit der Seite des Probenahmekopfes verbunden, die den Glasfaserfilter enthält. Das andere Ende des Aktivkohleröhrchens wird mit der Pumpe verbunden. In Abbildung 1 ist der schematische Aufbau des Probenahmesystems dargestellt.

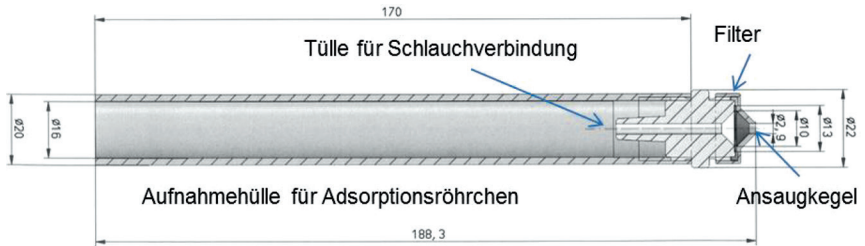


Abb. 1 Schematische Darstellung des Probenahmesystems GGP-Mini [9]

Zur Probenahme werden Pumpe und Probenahmesystem von einer Person während der Tätigkeit getragen oder ortsfest eingesetzt. Bei dem voreingestellten Volumenstrom von 20 L/h wird bei einer Probenahmedauer von zwei Stunden ein Probeluftvolumen von 40 Litern gesammelt. Nach der Probenahme ist der Volumenstrom auf Konstanz zu überprüfen. Ist die Abweichung vom eingestellten Volumenstrom größer $\pm 5\%$, wird empfohlen, die Probe zu verwerfen [10]. Die für die Bestimmung der Luftkonzentration wichtigen Parameter (Probenvolumen, Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchte) werden im Probenahmeprotokoll vermerkt.

Unmittelbar nach Beendigung der Probenahme wird das Aktivkohleröhrchen mit den dafür vorgesehenen Kappen verschlossen. Der Probenahmekopf des GGP-Mini wird aufgeschraubt, der Glasfaserfilter mit Hilfe einer Pinzette entnommen und in das mitgelieferte Schraubdeckelgläschen überführt, welches anschließend verschlossen wird. Die beaufschlagten Probenträger sind dem Analysenlabor so rasch wie möglich zuzuleiten.

Anmerkung

Die Probenahme ist möglichst bei Raumtemperatur und einer mittleren Luftfeuchte durchzuführen, da bei niedrigen Temperaturen und Luftfeuchten für einzelne Substanzen eine veränderte Wiederfindung ermittelt wurde (siehe Abschnitt 8.3 und Abschnitt 8.4).

3.2 Probenaufbereitung

Das Aktivkohleröhrchen wird geöffnet und der Inhalt vollständig in das Schraubdeckelgläschen überführt, das bereits den belegten Glasfaserfilter enthält. Danach werden die beladenen Probenträger (Filter und Aktivkohle) mit 5 mL Dichlormethan/Methanol (7:3) überschichtet und 0,4 μ L 1-Hexanol (interner Standard) zudosiert. Das Schraubdeckelgläschen wird verschlossen und die Probelösung für 10 Minuten im Ultraschallbad extrahiert. Unmittelbar danach wird der Probenextrakt durch einen Einmalfilter in ein separates Gläschen filtriert, um Filter und Aktivkohle von der Probelösung abzutrennen. Ein Teil der Probelösung wird zur Analyse in ein Autosamplervial mit Mikroinsert überführt.

4 Chromatographische Arbeitsbedingungen

Gerät:	PerkinElmer Gaschromatograph Clarus 500 mit Autosampler	
Säule:	Material:	Fused Silica
	Stationäre Phase:	StabilWax: (Crossbond polyethylene glykol)
	Länge:	60 m
	Innerer Durchmesser (ID):	0,25 mm
	Filmdicke:	0,50 µm
Injektortemperatur:	200 °C	
Detektor:	Flammenionisationsdetektor (FID)	
Detektortemperatur (FID):	250 °C	
Temperaturprogramm:	50 °C (5 min), mit 10 °C/min auf 200 °C (4 min)	
Trärgas:	Helium 5.0 (280 kPa)	
Split-Fluss:	10 mL/min	
Injektionsvolumen:	1 µL	

5 Analytische Bestimmung

Zur analytischen Bestimmung wird jeweils 1 µL der nach Abschnitt 3.2 aufbereiteten Proben in den Gaschromatographen injiziert und unter den in Abschnitt 4 angegebenen Bedingungen in einer Doppelbestimmung analysiert. Liegen die ermittelten Konzentrationen oberhalb des Kalibrierbereiches, so sind geeignete Verdünnungen herzustellen und diese nochmals zu analysieren. Abbildung 2 zeigt ein Beispielchromatogramm der untersuchten Glykolester und -ether.

6 Kalibrierung

Die entsprechend Abschnitt 2.3 hergestellten Kalibrierproben werden wie in den Abschnitten 4 und 5 beschrieben analysiert. Für die Routine-Kalibrierung werden dabei, ausgehend von der Stammlösung, die in Tabelle 3 angegebenen Volumina dosiert.

Zur Bestimmung der Kalibrierfunktionen werden die ermittelten Flächenverhältnisse gegen die jeweiligen Konzentrationsverhältnisse aufgetragen.

Die Kalibrierfunktionen sind im untersuchten Konzentrationsbereich linear und werden in der Routineanalytik regelmäßig überprüft. Zur Kontrolle ist zu jeder Analysenreihe eine Kontrollprobe mittlerer Konzentration zu analysieren.

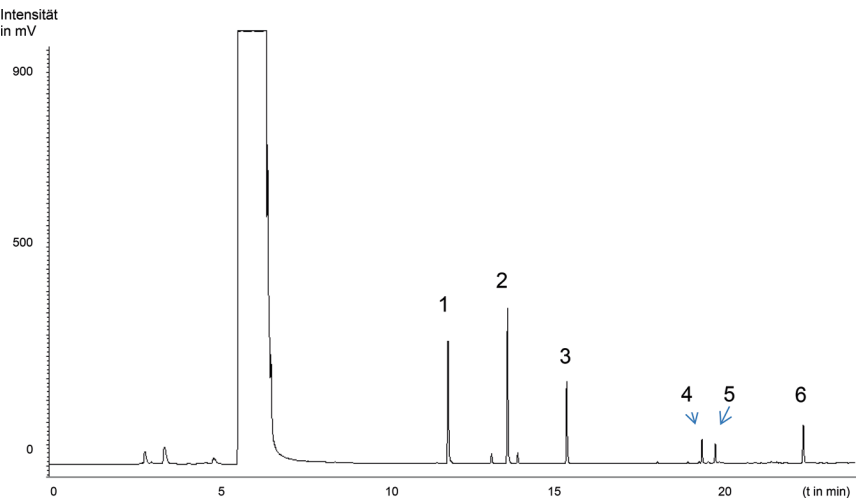


Abb. 2 Chromatogramm der untersuchten Glykolester und -ether (chromatographische Bedingungen vgl. Abschnitt 4)

- 1** 1-Ethoxy-2-propanol (2PG1EE)
- 2** 1-Ethoxy-2-propylacetat (2PG1EA)
- 3** Diethylenglykolmonomethylether (DEGME)
- 4** Diethylenglykolmonoethylether (DEGEE)
- 5** Diethylenglykolmonobutylether (DEGBE)

Tab. 3 Kalibrierlösungen für die Routine-Kalibrierung

Nr.	Stammlösung [μL]	2PG1EE [μg/5 mL]	2PG1EA [μg/5 mL]	DEGME [μg/5 mL]	DEGEE [μg/5 mL]	DEGBE [μg/5 mL]
1	3	16,2	17,7	18,5	17,8	17,3
2	10	53,9	59,0	61,8	59,4	57,6
3	50	269	295	309	287	288
4	100	539	590	618	594	576
5	200	1078	1180	1236	1188	1152
6	400	2155	2359	2472	2376	2304

7 Berechnung des Analysenergebnisses

Die Berechnung der Konzentrationen an 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft in Arbeitsbereichen erfolgt mithilfe der von der Datenauswerteeinheit ermittelten Konzentrationen in der Messlösung. Aus den Konzentrationen in der Messlösung werden unter Berücksichtigung von Verdünnungen, der Wiederfindung und des gesammelten Luftvolumens die Konzentrationen der Glykolester und Glykolether in der Luft in Arbeitsbereichen nach Gleichung (1) wie folgt berechnet:

$$\rho = \frac{(A_Q - a)}{b \times V \times \eta} \times F \quad (1)$$

Es bedeuten:

ρ Massenkonzentration eines Glykolesters bzw. -ethers in der Raumluft in mg/m^3

A_Q Flächenquotient ($A_Q = \frac{A_{\text{Probe}}}{A_{\text{ISTD}}}$)

a Ordinatenabschnitt

b Steigung des Graphen in L/mg

V Probeluftvolumen in m^3 (ermittelt aus Volumenstrom und Probenahmedauer)

η Wiederfindung

F Umrechnungsfaktor von Masse auf Volumen der Messprobe (hier 0,005 L)

8 Beurteilung des Verfahrens

Die Kenndaten der Methode wurden entsprechend der DIN EN 482 [11], DIN EN 1076 [12] und DIN EN 13936 [13] ermittelt. Die Bestimmungsgrenzen von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft in Arbeitsbereichen wurden aus den Ergebnissen der jeweiligen 10-Punkt-Kalibrierung gemäß DIN 32645 [14] berechnet. Für den Partikelanteil wurde zudem Anhang B 3.4.1 der DIN EN 13890 [15] berücksichtigt.

8.1 Präzision und erweiterte Messunsicherheit

Zur Ermittlung der Präzision wurden Messungen für die in Tabelle 3 aufgeführten Konzentrationen an 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in einer Sechsfachbestimmung durchgeführt. Die Dotierung der Filter mittels Mikroliterspritzen erfolgte nach Verknüpfung des Probenahmekopfes mit dem nachgeschalteten Aktivkohleröhrchen bei laufender Pumpe. Dabei wurden 40 Liter saubere Luft mit einem Volumenstrom von 20 L/h bei Raumtemperatur durch die Probenahmesysteme gesaugt. Die Versuche wurden bei einer relativen Luftfeuch-

Tab. 4 Standardabweichungen (rel.) und erweiterte Messunsicherheiten U für $n = 6$ Bestimmungen

Stoff	Konzentration [mg/m ³]	Standardabweichung (rel.) [%]	Erweiterte Messunsicherheit U [%]
1-Ethoxy-2-propanol	23	2,5	28
	233	4,8	29
	449	5,2	29
1-Ethoxy-2-propylacetat	31	4,1	28
	307	9,2	28
	590	4,9	28
Diethylenglykolmonomethylether	4,9	4,8	29
	54	3,5	29
	103	9,8	30
Diethylenglykolmonoethylether	3,5	5,2	29
	37	4,0	29
	72	12	30
Diethylenglykolmonobutylether	6,8	5,5	32
	69	5,1	31
	132	17	34

te von ca. 40 % durchgeführt. Die dotierten Probenträger wurden gemäß den Abschnitten 3.2, 4 und 5 aufbereitet und analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dokumentiert.

Die erweiterten Messunsicherheiten der untersuchten Glykolester und -ether wurden unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen nach DIN EN 482 [11] ermittelt. Die erweiterte Messunsicherheit des Gesamtverfahrens setzt sich im Wesentlichen zusammen aus den Beträgen bei der Probenahme (z.B. Probeluftvolumen, Abweichung zur Probenahmekonvention) und der analytischen Bearbeitung (Streuung der Kalibrierfunktion, Schwankung bei der Überführung sowie der Reproduzierbarkeit). Die ermittelten Kenndaten wie relative Standardabweichung und erweiterte Messunsicherheit sind in Tabelle 4 aufgeführt.

8.2 Wiederfindung

Die Wiederfindungen der Konzentrationen an 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft in Arbeitsbereichen wurden aus den Präzisionsversuchen berechnet. Die mittleren Wiederfindungen sind im untersuchten Konzentrationsbereich bei Raumtemperatur und mittleren relativen Luftfeuchten konstant (siehe Tabelle 5). Es zeigte sich, dass die Summe aus Dampf und Tröpfchen bei einigen Stoffen von der Temperatur (siehe Abschnitt 8.4) und der relativen Luftfeuchte (siehe Abschnitt 8.3) abhängig ist.

Tab. 5 Mittlere Wiederfindungen für $n = 6$ Bestimmungen

Stoff	Validierter Arbeitsbereich [mg/m ³]	Mittlere Wiederfindung [%]
1-Ethoxy-2-propanol	0,5 bis 440	93
1-Ethoxy-2-propylacetat	0,5 bis 600	85
Diethylenglykolmonomethylether	0,5 bis 100	78
Diethylenglykolmonoethylether	0,5 bis 70	83
Diethylenglykolmonobutylether	0,5 bis 130	79

8.3 Einfluss der relativen Luftfeuchte

Der Einfluss der Luftfeuchte wurde bei Konzentrationen vom 0,1-fachen und 2-fachen AGW von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether bei relativen Luftfeuchten von ca. 20, 40 und 80 % untersucht. Für die Stoffe 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether konnte kein Einfluss der Luftfeuchte nachgewiesen werden.

Bei niedrigen Luftfeuchten ≤ 30 % kann es für 1-Ethoxy-2-propanol zu geringeren Wiederfindungen kommen.

8.4 Einfluss der Temperatur

Der Einfluss der Temperatur wurde bei Konzentrationen vom 0,1-fachen und 2-fachen AGW von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether bei einer Temperatur von 3 °C und einer relativen Luftfeuchte von ca. 80 % untersucht. Für einige Stoffe wurde eine verminderte Wiederfindung bei niedrigen Temperaturen nachgewiesen.

8.5 Bestimmungsgrenze

Die Bestimmungsgrenzen für 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether wurden analog der DIN 32645 [14] nach der Kalibriergeradenmethode mit einer statistischen Sicherheit von $P = 95$ % und $k = 3$ berechnet.

Bezogen auf ein Probeluftvolumen von 40 Litern beträgt die Bestimmungsgrenze für 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether jeweils 0,5 mg/m³. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tab. 6 Verfahrensvariationskoeffizienten für $n = 6$ Bestimmungen und Bestimmungsgrenzen

Stoff	Validierter Arbeitsbereich [mg/m ³]	Verfahrensvariationskoeffizient [%]	Bestimmungsgrenze [mg/m ³]*
1-Ethoxy-2-propanol	0,5 bis 440	4,2	0,5
1-Ethoxy-2-propylacetat	0,5 bis 600	4,3	0,5
Diethylenglykolmonomethylether	0,5 bis 100	4,6	0,5
Diethylenglykolmonoethylether	0,5 bis 70	4,5	0,5
Diethylenglykolmonobutylether	0,5 bis 130	4,3	0,5

* für ein Probeluftvolumen von 40 L

8.6 Kapazität des Probenahmesystems

Zur Bestimmung der Kapazität der Probenträger wurden Durchbruchversuche mit Konzentrationen vom 2-fachen AGW durchgeführt. Für diese Versuche wurden insgesamt sechs Probenträger mit zwei hintereinander geschalteten Adsorptionsröhrchen beaufschlagt. Die Versuche wurden bei Raumtemperatur und 80 % Luftfeuchte durchgeführt. Die Probenahmedauer betrug 2 Stunden bei einem Volumenstrom von 20 L/h. Es konnte kein Durchbruch auf das zweite Röhrchen festgestellt werden.

Ein Versuch mit einer 3-stündigen Probenahme und zwei hintereinander geschalteten Adsorptionsröhrchen war aufgrund des hohen Dosiervolumens leider nicht möglich, da die Pumpen den Volumenstrom von 20 L/h nicht aufrechterhalten konnten.

Eine maximale Probenahmedauer von 2 Stunden ist jedoch bis zu einer Konzentration des 2-fachen Grenzwertes durch den oben beschriebenen Versuch abgesichert. Sollte die Konzentration oder die Probenahmedauer über diese Angaben hinausgehen, muss der Messwert entsprechend eingeschränkt werden.

8.7 Lagerfähigkeit

Untersuchungen zur Lagerfähigkeit der mit 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether dotierten Probenahmesysteme wurden über einen Zeitraum von vier Wochen durchgeführt. Dazu wurden Versuchsreihen mit Konzentrationen vom 0,1- und 2-fachen AGW bzw. MAK-Wert untersucht. Die Dotierung der Probenträger erfolgte bei Raumtemperatur und einer relativen Luftfeuchte von ca. 80 bis 90 %. Die anschließende Lagerung der Probenträger erfolgte bei Raumtemperatur.

Über einen Zeitraum von drei Wochen konnten keine Verluste nachgewiesen werden, so dass eine Lagerstabilität nach 21 Tagen gewährleistet ist.

8.8 Störeinflüsse

Aufgrund der geringen Spezifität von Flammenionisationsdetektoren sind prinzipiell Störungen durch Komponenten gleicher Retentionszeit möglich. Störungen durch eventuell auftretende Blindwerte für 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether aus dem Desorptionsmittel, den Originalsubstanzen oder dem internen Standard sind im Vorfeld auszuschließen.

9 Diskussion

Das hier beschriebene Messverfahren ermöglicht die Bestimmung von 1-Ethoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propylacetat, Diethylenglykolmonomethylether, Diethylenglykolmonoethylether und Diethylenglykolmonobutylether in der Luft in Arbeitsbereichen in Konzentrationsbereichen vom 0,1- bis zum 2-fachen der derzeit gültigen AGW bzw. MAK-Werte. Das Messverfahren ist zudem geeignet, die Einhaltung der Spitzenbegrenzungen (Kurzzeitwerte) zu überprüfen.

Die Probenahme mit dem GGP-Mini-Probenahmesystem gewährleistet, dass immer der vollständige Aerosolanteil erfasst wird [16].

Die Prüfung des beschriebenen Messverfahrens erfolgte, indem fünf Probenträger im Labor des Prüfers (BGN – Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe) mit definierten, aber dem Labor des Entwicklers (IFA – Institut für Arbeitsschutz) unbekannten Massen an Glykolestern und -ethern dotiert wurden. Anschließend wurden die Proben im Labor des Entwicklers entsprechend den Abschnitten 3.2, 4 und 5 aufbereitet und analysiert. Ein sechster Probenträger diente dabei als Feldblindwert. Bei Belegung der Probenträger mit Dotiermassen vom 0,2- bis zum 0,7-fachen Arbeitsplatzgrenzwert wurden Wiederfindungen von 94 % für 1-Ethoxy-2-propanol bis 117 % für Diethylenglykolmonomethylether ermittelt. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tatsächliche Vergleichsmessungen konnten nicht durchgeführt werden, da kein Vergleichslabor zur Verfügung stand.

Tab. 7 Ergebnisse der Überprüfung des Messverfahrens

Stoff	SOLL [µg]	IST [µg]	Wiederfindung [%]
1-Ethoxy-2-propanol	1911	1805	94
1-Ethoxy-2-propylacetat	1804	2080	115
Diethylenglykolmonomethylether	508	592	117
Diethylenglykolmonoethylether	997	986	99
Diethylenglykolmonobutylether	1139	1168	103

Literatur

- [1] TRGS 900 (2006) Arbeitsplatzgrenzwerte. BArBl Heft 1/2006 S. 41-55 zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2017 S. 919-922 vom 30.11.2017 [Nr. 50],
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html>
- [2] DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft (2017) MAK- und BAT-Werte-Liste 2017. Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 53, Wiley-VCH, Weinheim,
<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9783527812110>
- [3] Greim H (Hrsg.) (2007) 1-Ethoxy-2-propanol. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 43. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb156902d0043/pdf>
- [4] Greim H (Hrsg.) (2007) 1-Ethoxy-2-propylacetat. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 42. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb5483924d0042/pdf>
- [5] Greim H (Hrsg.) (2007) Ethyldiglykol. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 42. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb11190d0042/pdf>
- [6] Greim H (Hrsg.) (2000) Butyldiglykol. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 30. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb11234d0030/pdf>
- [7] Greim H (Hrsg.) (2008) Butyldiglykol. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 44. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb11234d0044/pdf>
- [8] Hartwig A (Hrsg.) (2014) Komponenten von Kühlschmierstoffen, Hydraulikflüssigkeiten und anderen Schmierstoffen. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, 56. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/3527600418.mb0215khsd0056/pdf>
- [9] IFA Arbeitsmappe (2015) Kennzahl 3040: Geräte zur Probenahme von Stoffen, die gleichzeitig partikel- und dampfförmig vorliegen. Erich Schmidt Verlag, Berlin,
<http://www.ifa-arbeitsmappedigital.de/did/00304000/redirect/301/inhalt.html>
- [10] DIN EN ISO 13137 (2014) Arbeitsplatzatmosphäre – Pumpen für die personenbezogene Probenahme von chemischen und biologischen Arbeitsstoffen - Anforderungen und Prüfverfahren (Deutsche Fassung EN ISO 13137:2013). Beuth Verlag, Berlin
- [11] DIN EN 482 (2015) Exposition am Arbeitsplatz – Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe; Deutsche Fassung EN 482:2012+A1:2015. Beuth Verlag, Berlin
- [12] DIN EN 1076 (2010) Exposition am Arbeitsplatz – Messung von Gasen und Dämpfen mit pumpenbetriebenen Probenahmeeinrichtungen – Anforderungen und Prüfverfahren. Beuth Verlag, Berlin
- [13] DIN EN 13936 (2014) Exposition am Arbeitsplatz – Messung eines als Mischung aus luftgetragenen Partikeln und Dampf vorliegenden chemischen Arbeitsstoffes – Anforderungen und Prüfverfahren. Beuth Verlag, Berlin
- [14] DIN 32645 (2008) Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung. Beuth Verlag, Berlin

- [15] DIN EN 13890 (2010) Exposition am Arbeitsplatz – Messung von Metallen und Metalloiden in luftgetragenen Partikeln – Anforderungen und Prüfverfahren. Beuth Verlag, Berlin
- [16] Breuer D, Friedrich C, Möhlmann C, Dragan GC (2015) Das miniaturisierte Probenahmesystem GGP-Mini zur gleichzeitigen Erfassung von Dampf/Tröpfchen-Gemischen schwerflüchtiger Verbindungen – Ergebnisse von Labor- und Praxismessungen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft Vol. 75(10), S. 390-294,
http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2015_175.pdf