

Das miniaturisierte Probenahmesystem GGP-Mini zur gleichzeitigen Erfassung von Dampf-Tröpfchen-Gemischen schwerflüchtiger Verbindungen

Ergebnisse von Labor- und Praxismessungen

D. Breuer, C. Friedrich, C. Möhlmann, G. C. Dragan

Zusammenfassung Aerosole schwerflüchtiger Verbindungen können an Arbeitsplätzen gleichzeitig als Tröpfchen und Dampf auftreten. Zu ihrer Probenahme ist ein System erforderlich, das beide Anteile gemeinsam sammelt. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) hat, basierend auf dem Probenahmekopf GSP, das miniaturisierte System GGP-Mini entwickelt. Es ist für die Probenahme schwerflüchtiger Stoffe gemäß DIN EN 13936, die gleichzeitig als Partikel und als Dampf auftreten können, ausgelegt. Validierungen und Praxismessungen mit Diethylenglykol (DEG) bei der Herstellung von Glasfasern bestätigten die bisherigen Ergebnisse: Als polarer Stoff unterliegt DEG einem ausgeprägten Einfluss von Luftfeuchte und Temperatur auf die Dampf-Tröpfchen-Verteilung. Die Praxismessungen zeigten, dass bei DEG-Aerosolen mit geringem Tröpfchenanteil die Ergebnisse einer kombinierten Dampf/Partikel-Probenahme mit denen einer auf Dämpfe ausgelegten gut übereinstimmen. Aerosole mit höheren Tröpfchenanteilen am Arbeitsplatz zeigten Minderbefunde bei nur auf Dämpfe ausgelegter Probenahme. Hier ist eine kombinierte Partikel/Dampf-Probenahme erforderlich.

The GGP-Mini miniaturized sampling system for simultaneous sampling of vapour-droplet mixtures of compounds of low volatility – results of laboratory and in-company measurements

Abstract Aerosols of compounds of low volatility may arise at workplaces simultaneously in droplet and vapour form. A system for the sampling of these aerosols must be able to sample both phases in parallel. Based upon the GSP sampling head, the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA) has developed the GGP-Mini miniaturized system. The system is designed for the sampling of substances of low volatility to EN 13936, which may arise simultaneously in particle and vapour form. Validations and industry measurements conducted with diethylene glycol (DEG) during the manufacture of glass fibres confirm the results already obtained: being a polar substance, DEG is subject to a pronounced influence of atmospheric humidity and temperature upon the vapour-droplet distribution. The in-company measurements showed that the results of combined vapour/particle sampling on DEG aerosols with a low droplet component correlated well with those from a sampling method geared to vapours. Sampling systems geared solely to vapours yielded lower results for workplace aerosols with higher droplet components. A combined particle/vapour sampling system is required in this case.

1 Einleitung

Um die Immissionen von organischen Stoffen in Arbeitsbereiche zu verringern, werden in den letzten Jahren zunehmend leichtflüchtige durch schwerer flüchtige Stoffe ersetzt [1]. Schwerflüchtige Stoffe haben bei Raumtemperatur wesentlich geringere Dampfdrücke und verdampfen deutlich langsamer. Diese Stoffe führen zu einer verringerten Belastung von Arbeitsbereichen durch organische Dämpfe. Anders jedoch als bei leichtflüchtigen Stoffen können Tröpfchen dieser Stoffe über längere Zeit in der Luft im Arbeitsbereich auftreten [2].

2015 wurde sowohl in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 als auch in der MAK-Liste ein zusätzlicher Abschnitt zu Stoffen aufgenommen, die gleichzeitig als Dampf und Partikel vorliegen können [3; 4]. Zusätzlich wurden zahlreiche Stoffe mit der Bemerkung „Summe aus

Dampf und Aerosolen“ versehen. Beide Listen übernahmen die Vorgaben der DIN EN 13936 [5]: Demnach ist bei Stoffen mit einem Dampfdruck im Bereich von 100 bis 0,001 Pa (Siedepunktbereich ca. 180 bis ca. 350 °C) ein gleichzeitiges Auftreten als Dampf und Partikel wahrscheinlich. Diese Stoffe bilden Aerosole, die nur über die Summe aus Dampf und Partikeln zu bewerten sind, wobei die Partikel in der einatembaren Fraktion zu erfassen sind.

Umfangreiche Untersuchungen zum Verdampfungsverhalten längererkettiger Alkane (C₁₀ bis C₂₀) als Mustersubstanzen wurden in den vergangenen Jahren von Dragan et al. in einem Flow-Tube-Reaktor durchgeführt [6 bis 9]. Die Alkane eignen sich besonders für diese Untersuchungen, weil sie hinsichtlich der Flüchtigkeit eine kontinuierliche Reihe bilden. Dragan legte den Schwerpunkt auf die Verdampfungsgeschwindigkeiten von Tröpfchen verschiedener Größe und Flüchtigkeit. Die Ergebnisse mit monodispersen Tröpfchenaerosolen belegen, dass Substanzen mit Siedepunkten von ca. 200 bis ca. 300 °C je nach Tröpfchengröße unterschiedlich schnell verdampfen und die Verweildauer der Tröpfchen in der Luft zwischen wenigen Sekunden bis hin zu mehreren Minuten beträgt.

An Arbeitsplätzen treten Aerosole jedoch polydispers auf, und da sie dort nicht im thermodynamischen Gleichgewicht stehen, ist davon auszugehen, dass sich das Aerosol ständig verändert. Das Verhältnis von Dampf zu Tröpfchen ist – abhängig von den klimatischen und technischen Randbe-

Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Breuer, Claudia Friedrich,
Dipl.-Phys. Carsten Möhlmann,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.
Dipl.-Ing. George C. Dragan,
Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungs-
zentrum für Gesundheit und Umwelt, Neuherberg.



Bild 1. GGP-Mini als Komplettsystem für die Probenahme von Dampf-Tröpfchen-Gemischen.

dingungen – nicht konstant. Es ist nicht möglich, die Konzentration eines schwerflüchtigen Stoffes am Arbeitsplatz durch eine getrennte Erfassung der Partikel- und der Dampfphase zu bestimmen.

DIN EN 13936 gibt zwei Möglichkeiten für die Probenahme von Dampf-Tröpfchen-Gemischen schwerflüchtiger Stoffe vor:

- Probenahme in einem seriell angeordneten Probenahmesystem, bei dem über einen Probenahmekopf zunächst die Partikelphase gesammelt wird und bei dem die flüchtigen Anteile unmittelbar im Anschluss erfasst werden und
- für chemisch reaktive Stoffe die gemeinsame Sammlung von Tröpfchen und Dampf, z. B. auf einem imprägnierten Filter, auf dem diese Stoffe über eine chemische Reaktion irreversibel gebunden werden.

2 Entwicklung eines Probenahmekopfes

Für die Sammlung reaktiver chemischer Stoffe ist der Einsatz herkömmlicher Probenahmesysteme für Partikel, z. B. des Systems GSP [10], in der Regel problemlos möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Sammlung von Alkanolaminen auf einem sauer imprägnierten Filter [11]. Hier muss jedoch der richtige GSP-Probenahmekegel für den Volumenstrom von 0,5 l/min ausgewählt werden.

Anders stellt sich die Situation bei nicht reaktiven schwerflüchtigen organische Stoffe dar, die als Folge der neuen Vorgaben auf eine Partikel-Dampf-Probenahme umgestellt werden müssen. Die Probenahme erfolgte bisher meist als Dampf, d. h. die Stoffe werden bei geringen Volumenströmen auf einem Adsorptionsröhrchen abgeschieden. Diese liegen je nach Röhrchentyp im Bereich von 0,033 bis 0,5 l/min. Eine Anpassung dieser Probenahmeverfahren auf die für einatembare Aerosole ausgelegten, recht großen Probenahmesysteme, wie z. B. das GSP, wäre in den meisten Fällen nur mit sehr großem Aufwand möglich.

Für schwerflüchtige organische Stoffe erschien es daher sinnvoller, die Aerosolprobenahme an die Dampfprobe-

nahme anzupassen. Basierend auf den Kenntnissen zum GSP wurde der Partikelprobenahmekopf GGP-Mini entwickelt, der bei wesentlich geringen Durchflussraten verwendet werden kann [12]. Die überwiegende Zahl der Laborversuche wurde bei einem Volumenstrom von 0,333 l/min durchgeführt. Die Tröpfchen werden auf einem 13-mm-Filter abgeschieden, der mit einem Edstahlsieb unterlegt ist, das verhindern soll, dass der Filter während der Probenahme reißt. Die Verbindung zum Adsorptionsröhrchen kann einfach durch ein kurzes Schlauchstück hergestellt werden.

Das System GGP-Mini ist mittlerweile mit Probenahmeköpfen für die Volumenströme von 0,066, 0,333 und 0,5 l/min im Handel zu erwerben. Zusätzlich zum eigentlichen Probenahmekopf gibt es eine 170 mm lange Kunststoffhülse als Universalaufnahme für handelsübliche Sammelröhrchen (Bild 1).

2.1 Eignung des Probenahmekopfes

Die Eignung des neuen Probenahmekopfes wurde in umfangreichen Laborversuchen und in Versuchen an der Flow-Tube des Helmholtz Zentrum München überprüft und publiziert [12; 13]. Die Ergebnisse dieser Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das neue System GGP-Mini ist geeignet, um Dampf-Tröpfchen-Gemische zu sammeln.
- Alle Probenahmeversuche – sowohl die Laborversuche als auch die Versuche an der Flow-Tube – haben ergeben, dass die Dampf-Tröpfchen-Verteilung keine Konstante ist. Ausschließlich die Summe aus Dampf und Tröpfchen führt zu reproduzierbaren Ergebnissen.
- Die Verteilung hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab:
 - Die Temperatur hat einen sehr großen Einfluss auf die Dampf-Tröpfchen-Verteilung.
 - Bei polaren Stoffen spielt die Luftfeuchte eine große Rolle.
 - Die Tröpfchengröße beeinflusst die Verteilung beim GGP-Mini nicht; dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass sich die Tröpfchen auf dem Filter gleichmäßig verteilen.
- Wird das System unmittelbar nach der Probenahme dicht verschlossen, bleibt die Verteilung konstant. Eine Aufarbeitung der Proben vor Ort ist nicht notwendig.
- GGP-Mini ist mit allen kommerziell erhältlichen Röhrchentypen kombinierbar.

2.2 Einfluss von Luftfeuchte und Temperatur auf die Dampf-Tröpfchen-Verteilung bei der Probenahme von Diethylenglykol

Die o. g. Versuche wurden überwiegend mit unpolaren Mustersubstanzen, z. B. Hexadecan, durchgeführt. Bei einigen Versuchen mit polaren Substanzen hatte sich aber gezeigt, dass die Luftfeuchte einen sehr starken Einfluss auf die Verteilung haben kann. Für polare Substanzen erwies sich Diethylenglykol (DEG) als geeignete Mustersubstanz. DEG hat einen Dampfdruck von 0,008 hPa bei 25 °C und einen Siedepunkt von 244 °C [14] und fällt somit ideal in den für schwerflüchtige Substanzen definierten Bereich. Für DEG liegt ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von 44 mg/m³ vor [15]. Wesentlich für die Auswahl von DEG war auch, dass es Arbeitsplätze gibt, an denen DEG eingesetzt wird und an denen Aerosole auftreten können (siehe Abschn. 2.3).

Tabelle 1. Verteilung von Diethylenglykol zwischen Glasfaserfilter und Aktivkohleröhrchen. Versuchsbedingungen: Raumtemperatur: ca. 23 °C, Luftfeuchte: 40 %.

Masse in mg	Konzentration* in mg/m ³	Wiederfindung aus der Summe Filter plus Röhrchen in %	Reproduzierbarkeit als relative Standardabweichung in %	Wiederfindung auf dem Filter in %	Reproduzierbarkeit als relative Standardabweichung in %	Wiederfindung auf dem Röhrchen in %	Reproduzierbarkeit als relative Standardabweichung in %
0,18	4,5	99	6,4	36	56	63	23
1,01	25,3	98	4,4	62	21	36	30
3,46	86,8	98	5,2	89	8,7	8,7	48

* berechnet für ein Probeluftvolumen von 40 l

Tabelle 2. Verteilung von Diethylenglykol zwischen Glasfaserfilter und Aktivkohleröhrchen bei verschiedenen Konzentrationen und Luftfeuchten. Versuchsbedingungen: Raumtemperatur, ca. 23 °C.

Masse in mg	Konzentration* in mg/m ³	Relative Luftfeuchte in %	Wiederfindung aus der Summe Filter plus Röhrchen in %	Wiederfindung auf dem Filter in %	Wiederfindung auf dem Röhrchen in %
0,18	4,5	40	99	36	63
1,5	37,5	40	98	62	36
3,5	87,5	40	98	89	8,7
0,18	4,5	80	100	70	30
1,5	37,5	80	100	76	24
3,5	87,5	80	100	95	5

* berechnet für ein Probeluftvolumen von 40 l

2.2.1 Versuchsbedingungen für die Laborversuche

Der Versuchsablauf für die Laborversuche war in allen Fällen gleich. Zunächst wurde das System GGP-Mini mit einem 15-mm-Glasfaserfilter und einem Aktivkohleröhrchen Typ B (Fa. Dräger, Lübeck) bestückt. DEG wurde mittels einer Mikroliterspritze bei eingeschalteter Probenahmepumpe (LFS 115DC, Fa. Gilian, USA) und einem Volumenstrom von 333 ml/min unmittelbar auf den 15-mm-Glasfaserfilter aufgegeben. Versuche bei unterschiedlichen Temperaturen wurden in einer Klimakammer durchgeführt. Zur Konditionierung wurde gereinigte Luft über einen Luftbefeuchter auf die gewünschte Luftfeuchte eingestellt; diese wurde dann für zwei Stunden durch das Probenahmesystem GGP-Mini gezogen. Die frei werdenden Dämpfe wurden auf dem Aktivkohleröhrchen aufgefangen. Nach zwei Stunden wurde die Pumpe abgeschaltet und Filter und Röhrchen wurden getrennt untersucht. Diese Versuche wurden jeweils sechsmal wiederholt.

Filter und Aktivkohleröhrchen wurden getrennt mit jeweils 2,5 ml eines Gemisches aus Dichlormethan und Methanol (7 : 3) extrahiert und gaschromatographisch mit Flammenionisationsdetektor untersucht. Die Analyse erfolgte mit einem Gaschromatographen vom Typ Clarus 500 (Fa. PerkinElmer, Rodgau) mit einer polaren 60-m-StabilWax-Trennsäule (Filmdicke: 0,5 µm, Innendurchmesser: 0,25 mm, Fa. Restek, Bad Homburg).

2.2.2 Verteilung zwischen Filter und Röhrchen bei Raumtemperatur

Zunächst wurde bei Raumtemperatur und einer Luftfeuchte von ca. 40 % die Verteilung von DEG zwischen Filter und Röhrchen bei verschiedenen Konzentrationen geprüft. Untersucht wurde ein Konzentrationsbereich von ca. einem Zehntel bis zum Doppelten des AGW. Dies entspricht den Vorgaben der Normen DIN EN 482 [16] und DIN EN 13936 [5].

Die Ergebnisse (Tabelle 1) zeigen, dass die Summe aus Dampf und Aerosol stets eine gute Wiederfindung ergibt. Weiterhin ist die Streuung der Summenwerte deutlich niedriger als die der teilweise sehr stark streuenden Einzelwerte für die Filter und die Aktivkohleröhrchen. Es fällt auch auf, dass die gefundenen Anteile zwischen Röhrchen und Filter konzentrationsabhängig sind und bei höheren Konzentrationen ein größerer Anteil von DEG auf dem Filter verbleibt.

Die Verteilung von DEG zwischen Filter und Röhrchen verändert sich grundlegend mit der Luftfeuchte. Bei hohen Luftfeuchten verbleibt ein wesentlich größerer Anteil auf dem Filter (Tabelle 2).

2.2.3 Verteilung zwischen Filter und Röhrchen bei verschiedenen Temperaturen

Es ist vorhersehbar, dass bei der Probenahme von schwerflüchtigen Komponenten die Temperatur einen großen Einfluss auf die Verteilung des Stoffes zwischen Tröpfchen- und Dampfanteil hat. Um dies abzuschätzen, wurden Versuche in einem Temperaturbereich von 0 bis 50 °C in einer Klimakammer durchgeführt. Die Klimakammer (Typ VC4034, Fa. Vötsch, Balingen) hat ein Volumen von 334 l, sie kann in einem Temperaturbereich von -40 bis 180 °C und einem Feuchtebereich von 10 bis 98 % relativer Feuchte betrieben werden. Für die Versuche wurde sie jeweils auf eine Luftfeuchte von ca. 80 % eingestellt.

Die Resultate (Bild 2) entsprechen den Erwartungen. Bei niedrigen Temperaturen überwiegt der Anteil, der auf dem Filter verbleibt, während bei höheren Temperaturen deutlich mehr DEG verdunstet und dann – wie erwartet – auf dem Aktivkohleröhrchen zurückgehalten wird.

Diese Ergebnisse bestätigten aber die Rückschlüsse, die aus den vorherigen Labor- und Technikumsuntersuchungen [12; 13] gezogen wurden: Eine Vorhersage der Verteilung zwischen Tröpfchen- und Dampfanteil ist praktisch nicht möglich.

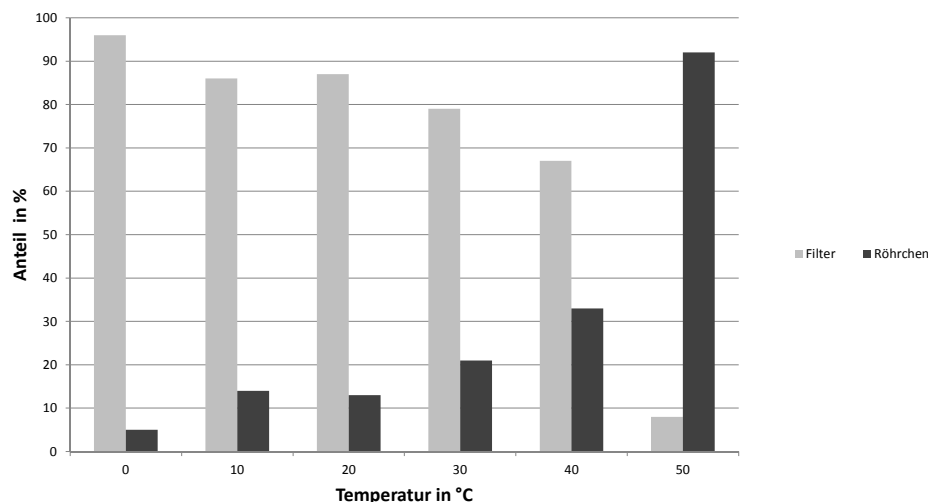


Bild 2. Verteilung zwischen Filter und Röhrchen bei verschiedenen Temperaturen, Konzentration: 25,4 mg/m³ (berechnet für ein Probeluftvolumen von 40 l), F_{rel} : 82 ± 2 %.

gen vorliegen, die daraus ein Aerosol entstehen lassen.

Das System wurde zunächst umfassend bei Messungen von Naphthalin bei der Schleifscheibenherstellung verwendet. Dabei wurden parallel das Standardprobenahmeverfahren für Naphthalin [17], bei dem dieses auf einem Silicagelröhrchen gesammelt wird, und das System GGP-Mini mit einer Glasfaserfilter/Silicagelröhrchen-Kombination eingesetzt. Es zeigte sich jedoch, dass die Randbedingungen an den Arbeitsplätzen dazu führten, dass Naphthalin bei allen Messungen ausschließlich als Dampf auftrat. Somit waren die Ergebnisse für die Validierung des GGP-Mini nicht verwendbar. Die Übereinstimmung der Parallelmessungen war allerdings sehr gut.

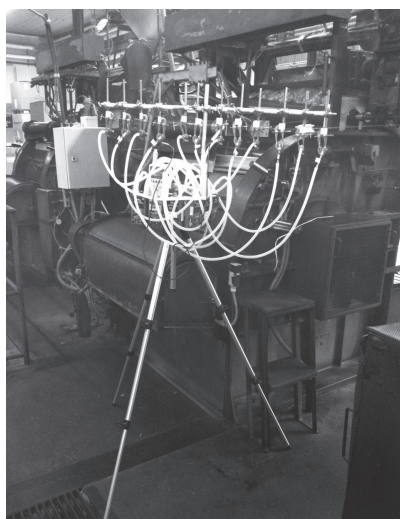
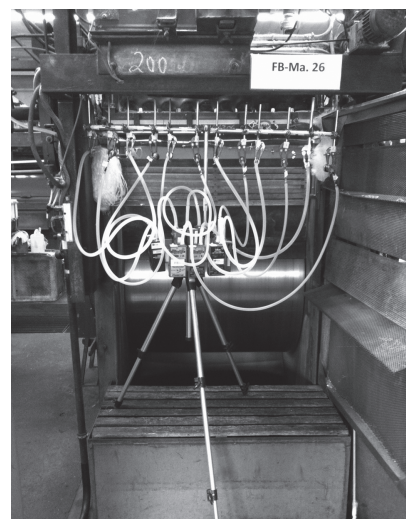


Bild 3. Faserbandmaschine bei der Herstellung von Glasfasern; links: Probenahme im vorderen Bereich der Maschine, rechts: Probenahme im hinteren Bereich der Maschine.

DEG wird bei der Glasfaserherstellung eingesetzt. Bei diesem Prozess wird das geschmolzene Glas durch feine Düsen gepresst und in ein Bad geleitet, das DEG und Ethylenglykol enthält. Bei diesem Vorgang entstehen Aerosole. Im Bereich unmittelbar vor der Maschine sind die Temperaturen mit ca. 50 °C noch so hoch, dass die Tröpfchen rasch verdampfen und auch visuell kein Aerosol erkennbar war (Bild 3, links). Bedingt durch die hohe Temperatur war auch die Luftfeuchte im vorderen Bereich der Maschine mit 12 % niedrig. Hinter der Maschine war die Umgebungstemperatur mit 26 °C (F_{rel} : 56 %) zum Zeitpunkt der Messung deutlich niedriger und es traten Aerosole auf, die gut zu erkennen waren (Bild 3, rechts). Es wurden jeweils sechs GGP-Mini-Systeme und sechs Aktivkohle-

2.3 Praxismessungen

Nach Abschluss der Laborversuche wurde das GGP-Mini-Probenahmesystem bei Felduntersuchungen auf seine Praxiseignung getestet. Als schwierig erwies sich die Suche nach Arbeitsplätzen, an denen schwerflüchtige Verbindungen eingesetzt werden und gleichzeitig die Randbedingun-

röhrchen im Wechsel auf einem Stativ angebracht (Bild 4). Die Ergebnisse der Messungen (Tabelle 3) bestätigen die rein visuelle Beobachtung. Im vorderen Bereich wurde nur ein geringer Anteil von Tröpfchen ermittelt, während im kühleren Bereich hinter den Maschinen ca. ein Drittel des DEG als Tröpfchen vorlag. Dabei zeigt sich ein Einfluss der

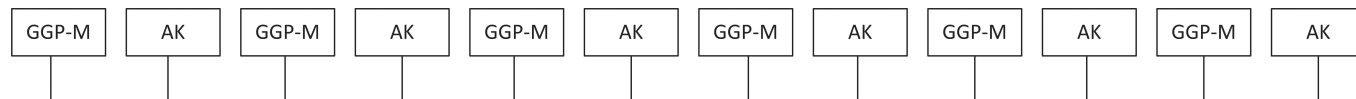


Bild 4. Grundaufbau bei den Vor-Ort-Vergleichsmessungen; GGP-M: GGP-Mini, AK: Aktivkohle.

Tabelle 3. Messergebnisse der Diethylenglykolkonzentration bei der Herstellung von Glasfasern. Versuchsbedingungen: Raumtemperatur, ca. 23 °C.

Maschine Nr.	GGP-Mini			Aktivkohleröhrchen mg/m ³
	Tröpfchen in mg/m ³	Dämpfe in mg/m ³	(Summe Filter plus Röhrchen) in mg/m ³	
1, vorne	0,27	6,46	6,73	6,9
1, hinten	7,2	20,4	27,6	23,0
2, vorne	0,26	7,63	7,89	6,78
2, hinten	7,8	25,6	33,4	29,7

Probenahme: In der Summe wurden um 10 bis 15 % höhere Gesamtkonzentrationen mit dem GGP-Mini ermittelt, wenn ein größerer Anteil an Tröpfchen vorlag.

Die Ergebnisse lassen den Rückschluss zu, dass Minderbefunde nicht auszuschließen sind, wenn bei Aerosolen mit einem höheren Tröpfchenanteil auf die Probenahme als Dampf-Tröpfchen-Gemisch verzichtet wird. Bei Aerosolen mit einem geringen Tröpfchenanteil stimmten die Ergebnisse einer auf Dämpfe ausgelegten Probenahme und einer Dampf-Tröpfchen-Probenahme hingegen gut überein.

3 Fazit und Ausblick

Durch umfangreiche Versuche wurde die Eignung des neuen Probenahmesystems GGP-Mini für die Probenahme schwerflüchtiger Verbindungen gemäß DIN EN 13936 überprüft. Alle Versuchsreihen – sowohl im Labor als auch an der Flow-Tube des Helmholtz Zentrum München und auch abschließend die Praxismessungen – haben gezeigt, dass das System GGP-Mini für die Messung derartiger Stoffe geeignet ist. Im Messsystem Gefährdungsermittlung der

Unfallversicherungsträger (MGU) wird es als Standardprobenahmesystem für Stoffe eingeführt, deren physikalische Eigenschaften den Vorgaben der DIN EN 13936 entsprechen und bei deren Einsatz oder Verwendung Aerosole entstehen können. In Vorbereitung sind entsprechende Umstellungen der Messverfahren für Glykole, Glykolether und schwerflüchtige Amine.

Im nächsten Schritt soll geprüft werden, ob der Einsatz des GGP-Mini in Verbindung mit dem Probenahmekopf für den Volumenstrom von 0,066 l/min auch bei Innenraummessungen sinnvoll ist. Der Definitionsbereich für flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) (C₆ bis C₁₀) ist so weit gefasst, dass zumindest der höher siedende VOC-Anteil mit den Vorgaben der Norm DIN EN 13936 für schwerflüchtige Verbindungen, die als Dampf und Tröpfchen auftreten können, überlappt. Demgegenüber ist in Innenräumen eine Aerosolbildung nicht unbedingt zu erwarten, sodass hier möglicherweise auf den Einsatz des GGP-Mini verzichtet werden kann. Dies soll im Rahmen von Vergleichsmessungen an klassischen Innenraumarbeitsplätzen überprüft werden.

Literatur

- [1] Giesen, Y.; Van Gelder, R.; Breuer, D.: Volatile organic compound reference materials suitable for practical use: Database analysis for the selection hazardous substances. Vortrag. Airmon, Marseille, Frankreich 2014.
- [2] Breuer, D.: Measurement of vapour-aerosol mixtures. *J. Environ. Monit.* 1 (1999) Nr. 4, S. 299-305.
- [3] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). *Ausg. 1/2006. BArbBl.* (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. *GMBL.* (2015) Nr. 7, S. 139-140.
- [4] MAK- und BAK-Werte-Liste 2013. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH 2013.
- [5] DIN EN 13936: Exposition am Arbeitsplatz – Messung eines als Mischung aus luftgetragenen Partikeln und Dampf vorliegenden chemischen Arbeitsstoffes – Anforderungen und Prüfverfahren. Berlin: Beuth 2014.
- [6] Dragan, G. C.; Karg, E.; Nordsieck, H.; Schnelle-Kreis, J.; Zimmermann, R.: Design of a simulation facility for workplace relevant aerosols of semi-volatile organic hydrocarbons: Set-up and first results. Vortrag. European Aerosol Conference, Granada, Spanien, 2.-7. September 2012.
- [7] Dragan, G. C.; Karg, E.; Breuer, D.; Blaskowitz, M.; Nordsieck, H.; Schnelle-Kreis, J.; Zimmermann, R.: A study on SVOC aerosol evaporation and its possible implications on workplace sampling. Vortrag. European Aerosol Conference, Prag, Tschechische Republik, 1.-6. September 2013.
- [8] Dragan, G. C.; Karg, E.; Nordsieck, H.; Schnelle-Kreis, J.; Breuer, D.; Arteaga-Salas, J.-M.; Ferron, G. A.; Zimmermann, R.: Short-term evaporation of semi-volatile n-alkane aerosol particles: experimental and computational approach. *Environ. Eng. Manag. J.* 13 (2014) Nr. 7, S. 1775-1785.
- [9] Karg, E.; Dragan, G. C.; Ferron, G. A.; Nordsieck, H.; Blaskowitz, M.; Friedrich, C.; Kohlmeier, V.; Möhlmann, C.; Schnelle-Kreis, J.; Stanglmaier, S.; Zimmermann, R.; Breuer, D.: Dynamisches Verhalten von Aerosolen aus semivolatilen Komponenten. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 75 (2015) Nr. 7/8, S. 265-274.
- [10] Riediger, G.: Geräte zur Probenahme der einatembaren Staubfraktion (Kennzahl 3010). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 27. Lfg. X/2001. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/3010
- [11] Blaskowitz, M.; Heckmann, P.; Breuer, D.: Alkanolamine (Kennzahl 6047). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 2. Lfg. 2015. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989 (im Druck).
- [12] Breuer, D.; Friedrich, C.; Möhlmann, C.; Dragan, G. C.: Entwicklung eines miniaturisierten Probenahmesystems zur gleichzeitigen Erfassung von Dampf-Tröpfchen-Gemischen bei schwerflüchtigen Verbindungen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 74 (2014) Nr. 4, S. 129-134.
- [13] Breuer, D.; Dragan, G. C.; Friedrich, C.; Möhlmann, C.; Zimmermann, R.: Development and field testing of a miniaturized sampling system for simultaneous sampling of vapours and droplets. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17 (2015), S. 278-287.
- [14] GESTIS Stoffdatenbank. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. www.dguv.de/ifa, Webcode d11892
- [15] GESTIS – Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. www.dguv.de/ifa, Webcode d6247
- [16] DIN EN 482: Exposition am Arbeitsplatz – Allgemeine Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Verfahren zur Messung chemischer Arbeitsstoffe. Berlin: Beuth 2012.
- [17] Breuer, D.; Friedrich, C.: Phenol, o-, m-, p-Kresol und Naphthalin (Kennzahl 8330). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 46. Lfg. XII/2010. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Berlin: Erich Schmidt – Losebl.-Ausg. 1989. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8330