

Expositionsermittlungen in Pathologien von 2016 bis 2019 – Schwerpunkt Formaldehyd

W. Wegscheider, P. Brohmann, D. Koppisch, G. Naujoks, H. Niemann, U. Eickmann

ZUSAMMENFASSUNG In der Vergangenheit traten in Pathologien häufig Grenzwertüberschreitungen für die inhalative Formaldehydbelastung auf. Aufgrund der krebserzeugenden Eigenschaft von Formaldehyd, der Festlegung eines neuen Formaldehydgrenzwerts und der Absenkung einiger Lösungsmittelgrenzwerte sollten die aktuellen Expositionen ermittelt und beurteilt werden. Mit Arbeitsplatzmessungen nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 402 ermittelten Messstellen der Unfallversicherungsträger und Bundesländer die inhalativen Gefahrstoffexpositionen während betrieblicher Routinetätigkeiten in 57 Pathologien in Deutschland, deren technische Schutzmaßnahmen subjektiv als ausreichend eingeschätzt wurden. Bei lang dauernden Tätigkeiten mit Formaldehydexposition überschritt der Acht-Stunden-Schichtmittelwert in bis zu 30 % der Fälle den zulässigen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) nach TRGS 900. Bei kurzzeitigen Tätigkeiten wurden die zulässigen Kurzzeitwertbedingungen in bis zu 60 % der Fälle nicht eingehalten, bei Arbeiten ohne Erfassung sogar in bis zu 70 %. Erhöhte Formaldehydkonzentrationen traten besonders bei unzureichend leistungsfähigen Absauganlagen und bei Formaldehyd emittierenden Tätigkeiten auf. Die Grenzwerte für Lösungsmittel wurden eingehalten.

Determining exposure in pathology departments from 2016 to 2019: focus on formaldehyde

ABSTRACT Limit values for inhalative exposure to formaldehyde were frequently exceeded in pathology departments in the past. Owing to the carcinogenic effect of formaldehyde, the setting of a new limit value for the substance and the lowering of certain limit values for solvents, current exposure should be determined and assessed. Workplace measurements were conducted by measuring services of the German Social Accident Insurance Institutions and the German federal states in accordance with the German TRGS 402 Technical Rules for hazardous substances. These measurements determined the inhalative exposure to hazardous substances during routine operations in 57 pathology departments in Germany. The technical protective measures in these departments had subjectively been considered adequate. During tasks of long duration involving exposure to formaldehyde, the eight-hour mean shift value exceeded the permissible occupational exposure limit (OEL) of the TRGS 900 technical rules in up to 30% of cases. During short-term tasks the short-term exposure limit was exceeded in up to 60% of cases, and in as many as 70% of cases during work without local exhaust ventilation. Elevated concentrations of formaldehyde occurred in particular where exhaust facilities were insufficiently effective, and during tasks in which formaldehyde was emitted. The limit values for solvents were not exceeded.

1 Einleitung

Die Einstufung von Formaldehyd als krebserzeugend und die Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwerts (AGW) nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 [1] im Jahr 2015 sowie die Absenkung der Lösungsmittelgrenzwerte für Ethanol und Ethylbenzol rückten Pathologien in den Fokus des Arbeitsschutzes im Gesundheitsdienst. In Pathologien werden in größerem Umfang Gefahrstoffe eingesetzt, um die Diagnose von Gewebe- und Zellmaterial, das einem Patienten operativ entnommen wurde, zu ermöglichen. Überwiegend werden Gewebeproben unmittelbar nach einer Operation in Probenbehälter gegeben und mit Formaldehydlösung fixiert und konserviert. Die verschlossenen Probenbehälter werden in die Pathologie geliefert, und die Proben durchlaufen danach in jeder Pathologie festgelegte Verfahrensschritte, vom Probeneingang bis zur mikroskopisch diagnostizierbaren Vorlage des Präparats beim

Pathologen. Chemikalien wie Formaldehyd, Ethanol, Propan-2-ol oder Xylol kommen im gesamten Prozessverlauf immer wieder vor. Gefährdungen der Beschäftigten können durch inhalative und dermale Gefahrstoffexpositionen bei den diversen Tätigkeiten mit diesen Stoffen entstehen. Vier gesetzliche Unfallversicherungsträger (UVT) und fünf Ländermessstellen ermittelten in den Jahren 2016 bis 2018 in einem koordinierten Messprogramm die inhalativen Gefahrstoffexpositionen der Beschäftigten in Pathologien in Deutschland. Die Exposition gegenüber dem krebserzeugenden Formaldehyd stand im Mittelpunkt der Betrachtung. Vereinzelt Messungen mit einer experimentellen, technischen Verbesserung der Luftführung an Absaugsystemen ergänzte die Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) im Jahr 2019. Ziel der Arbeit war es, in Pathologien mit technischer Mindestausstattung die Höhe der Gefahrstoffbelastung sowie deren potenzielle Ursachen zu ermitteln und Lösungsmöglichkeiten für Schutzmaßnahmen zu benennen,



Bild 1. Zuschneideplatz mit Pathologe; Lochblechabsaugung und Zuluft im Deckenbereich. *Quelle: Autoren*

die eine Einhaltung der Grenzwerte erwarten lassen. Es war nicht Ziel der Arbeit, die Expositionssituation repräsentativ für alle deutschen Pathologien darzustellen.

2 Gefahrstoffe

Erkenntnisse aus früheren messtechnischen Untersuchungen bei im Wesentlichen unveränderten Arbeitsprozessen [2 bis 4] wiesen im Vorfeld der Untersuchungen darauf hin, dass nennenswerte inhalative Expositionen in Pathologien durch Formaldehyd und vereinzelt durch Lösungsmittel wie Ethanol, Propan-2-ol und Xylol auftreten können. Ethylbenzol und n-Butylacetat wurden in älteren Arbeiten ebenfalls gefunden [4] und daher in die Untersuchungen einbezogen. Methanol kommt zwar als Stabilisator in der Formaldehydlösung vor, in früheren Untersuchungen unterschritten die Konzentrationen aber immer die Bestimmungsgrenze. Da diese unterhalb von 10 % des damaligen Grenzwerts von 270 mg/m³ lag [4], wurden hierzu keine Messungen durchgeführt. Anzumerken ist aber, dass der AGW für Methanol im Jahr 2020 auf 130 mg/m³ herabgesetzt wurde [1]. In Pathologien wird zudem eine Vielzahl weiterer Chemikalien – zum Teil mehr als 100 verschiedene Substanzen – bevorratet und bei Bedarf, meist in sehr geringen Mengen (wenige g oder ml), zur Vorbereitung der Analyse eingesetzt. Diesen Stoffen wurde keine inhalative Expositionsrelevanz zugeschrieben, und sie blieben daher unberücksichtigt. Der Schwerpunkt der stofflichen Betrachtung lag auf Formaldehyd, den die Europäische Union (EU) unter anderem als krebserzeugend (Kategorie 1B) sowie keimzellmutagen (Kategorie 2) eingestuft hat

[5]. **Tabelle 1** führt die Stoffe auf, deren Konzentrationen in dieser Arbeit ermittelt und bewertet wurden.

3 Material und Methode

3.1 Messstrategie und Datenauswertung

Die vorliegende Arbeit basiert auf Arbeitsplatzmessungen in 57 Pathologien, die vier UVT und fünf Ländermessstellen durchführten. Als Grundlage wurde im Messsystem Gefährdungsermittlung der UVT (MGU) eine Handlungsanleitung zum MGU-Programm 9191 „Ermittlung der inhalativen Gefahrstoffexposition in der Pathologie“ abgestimmt, die eine einheitliche Messstrategie nach TRGS 402 [7] und Datendokumentation aller beteiligten Stellen gewährleistete.

Die Messverfahren der UVT unterschieden sich teilweise von denen der Ländermessstellen. Daher unterzog das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) die Messwerte beider Datenkollektive mit SPSS Version 23 einem statistischen Vergleich. Hierzu fand zunächst für die log-transformierten Daten eine Varianzanalyse mit dem festen Effekt „Tätigkeit“ und dem zufälligen Effekt „Messstelle“ (UVT versus Ländermessstellen) statt. Diese zeigte, dass die Unterschiede zwischen den Messstellen von der bemessenen Tätigkeit abhängen (Wechselwirkung der beiden Faktoren). Betrachtet wurden die Tätigkeiten „Probeneingang“, „großer Zuschnitt, Pathologe“, „großer Zuschnitt, MTA“ (MTA: Medizinisch-technische Assistenz), „kleiner Zuschnitt/Biopsien“ und „Asservate entsorgen“. Das Umfüllen von Formaldehyd haben die Ländermessstellen, bis auf eine Ausnahme, nicht bemessen und daher wurde diese Tätigkeit nicht in den statistischen Vergleich einbezogen.

In einem zweiten Schritt erfolgte eine einfaktorische Varianzanalyse mit der Kombination aus Messstelle und Tätigkeit als Faktor. Da keine Varianzhomogenität vorlag (Levene-Test: $p = 0,001$), wurde für den paarweisen Vergleich der Gruppen die Methode von Games und Howell mit einem Signifikanzniveau von 0,05 angewendet. Beim paarweisen Vergleich traten für alle betrachteten Tätigkeiten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten der UVT und denen der Ländermessstellen auf. Somit konnten die Daten der Gefahrstoffmessungen gemeinsam ausgewertet werden.

Die Auswahl der Pathologien war an die Bedingung geknüpft, dass grundlegende Rahmenbedingungen für sicheres Arbeiten [8] vorhanden sein mussten. Die wesentliche technische Grundvoraussetzung war eine Arbeitsplatzabsaugung beim großen Zuschnitt (**Bild 1**), der Haupttätigkeit mit Gefahrstoffemission. Zudem war – besonders für die Zuluft – eine raumlufttechnische

Tabelle 1. Arbeitsplatzgrenzwerte für messtechnisch ermittelte Gefahrstoffe in der Pathologie. *Quelle: TRGS 900 [1]*

Stoffidentität			Arbeitsplatzgrenzwert		Spitzenbegrenzung	Bemerkungen TRGS 900*
Bezeichnung	EG-Nr.	CAS-Nr.	ml/m ³ (ppm)	mg/m ³	Überschreitungsfaktor (Kategorie)	
Formaldehyd**	200-001-8	50-00-0	0,3	0,37	2 (I)	AGS, Sh, Y, X
n-Butylacetat	204-658-1	123-86-4	62	300	2 (II)	AGS, Y
Ethanol	200-578-6	64-17-5	200	380	4 (II)	DFG, Y
Ethylbenzol	202-849-4	100-41-4	20	88	2 (II)	DFG, H, Y, EU
Propan-2-ol	200-661-7	67-63-0	200	500	2 (II)	DFG, Y
Xylol (alle Isomeren)	215-535-7	1330-20-7	100	440	2 (II)	DFG, EU, H

*Legende zu den Bemerkungen TRGS 900:

AGS: Grenzwert Herkunft Ausschuss für Gefahrstoffe, DFG: Grenzwert Herkunft Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG (MAK-Kommission); EU: Grenzwert Herkunft Europäische Union, H: hautresorptiv, Sh: Hautsensibilisierender Stoff, Y: ein Risiko der Fruchtschädigung braucht bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes und des biologischen Grenzwertes (BGW) nicht befürchtet zu werden, X: krebserzeugender Stoff der Kat. 1A oder 1B oder krebserzeugende Tätigkeit oder Verfahren nach § 2 Absatz 3 Nr. 4 der Gefahrstoffverordnung – zusätzlich ist § 10 GefStoffV zu beachten.

**Europäische Formaldehydgrenzwerte als Schichtmittelwert variieren von 0,15 (Niederlande) bis 2,5 mg/m³ (Vereinigtes Königreich) [6].

Tabelle 2. MGU- und Ländermessverfahren für die am Arbeitsplatz ermittelten Gefahrstoffe (PN-Dauer min bis max = Probenahmedauer minimal bis maximal).

Messkomponente	Messverfahren	Quelle: MGU oder Ländermessstelle	PN-Dauer min bis max in h	Ansaugvolumenstrom in l/min	Bestimmungsgrenze in mg/m ³ /bei Probenvolumen in l
Formaldehyd	Probenahme: 2,4- Dinitrophenylhydrazin imprägniertes Silikagel (SepPack-Filterkartuschen, Fa. Waters) aktiv durchströmt. Analytik: Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC)	IFA Arbeitsmappe [9] Kennzahl: 6045 (MGU)	0,5 bis 1,5 1 bis 3 2 bis 6	1,333 0,666 0,333	0,005/80
	Direkt anzeigendes Messgerät für Formaldehyd Elektrochemischer Sensor (Interscan 1166, Fa. Interscan) Messbereich: 0,1 bis 1 ml/m ³ 1 bis 10 ml/m ³	MGU			
	Probenahme: Adsorptionsröhrchen Typ 226-119 300/150 mg, Fa. SKC (2,4-Dinitrophenylhydrazin imprägniertes Silikagel) aktiv durchströmt Analytik: HPLC	Hausmethode in Anlehnung an: NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, USA) Nr. 2016 vom 15. März 2003 (Länder)	1 bis 2	0,1	0,014/6
	Probenahme: 2,4-Dinitrophenylhydrazin imprägniertes Silikagel (LpDNPH H10 Kartuschen, Fa. Supelco) aktiv durchströmt Analytik: HPLC mit DAD	Hausmethode in Anlehnung an: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe Band I (Länder)	0,5 1 bis 2	0,7 0,5	0,007/6
Ethanol Ethylbenzol Propan-2-ol n-Butylacetat Xylol	Probenahme: Aktivkohleröhrchen Typ B (Fa. Dräger), aktiv durchströmt Analytik: Gaschromatographie (GC)	IFA Arbeitsmappe [9] Kennzahl: 7330 Ethanol 7385 Ethylbenzol 8415 Propan-2-ol 7322 n-Butylacetat 8960 Xylol (MGU)	<=2 2 bis 8	0,333 0,083	5/40 Ethanol 1/40 Ethylbenzol 3/40 Propan-2-ol 1/40 n-Butylacetat 1/40 Xylol
Ethanol Propan-2-ol	Probenahme: Aktivkohleröhrchen Typ Orbo 32 Large, 400/200 mg Fa. Supelco aktiv durchströmt Analytik: GC-Flammenionisationsdetektor	Hausmethode in Anlehnung an: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), „Alcohols I“ Nr. 1400 vom 15. August 1994 (Länder)	2	0,1	3,1/12 Ethanol 1,4/12 Propanol
Xylol Ethylbenzol	Probenahme: Thermodesorptionsröhrchen TENAX TA, Fa. Markes aktiv durchströmt Analytik: GC mit Thermodesorption	Hausmethode in Anlehnung an: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) „Lösemittelgemische, Methode Nr. 5“ (Länder)	1	0,01	0,016/0,6 Xylol 0,017/0,6 Ethylbenzol

Anlage erwünscht. Die Arbeit war darauf angelegt, tendenziell die Exposition an besseren Arbeitsplätzen in Pathologien darzustellen.

3.2 Probenahmestrategie und Analytik

Die überwiegende Zahl der Messungen erfolgte für Formaldehyd, da auch schon vorangegangene Untersuchungen gezeigt hatten, dass hier der Schwerpunkt der Belastung liegt [2 bis 4]. Bei einigen Tätigkeiten wurden zusätzlich Lösungsmittelkonzentrationen ermittelt, um die gesamte inhalative Exposition und die Auswirkung der abgesenkten Lösungsmittelgrenzwerte bewerten zu können. Die Probenahme an der Person war die Regel bei den Arbeitsplatzmessungen zur Ermittlung der Gefahrstoffkonzentrationen bei expositionsrelevanten Tätigkeiten. Die Probenahmen erfassten tätigkeitsbezogen die Expositionen am jeweiligen Messtag. Vereinzelt stationär durchgeführte Formaldehydmessungen dienten der Ermittlung potenzieller Emissionsquellen. In einigen Betrieben wurde zudem die Grundbelastung in Räumen ohne Tätigkeiten mit Formaldehydemission ermittelt. Die Messverfahren waren qualitätsgesichert standardisiert (Tabelle 2). Die Luftproben wurden mit aktiven Probenahmeverfahren entnommen. Als Probenahmegeräte kamen Personal-Air-Sampler (PAS) der Fa. GSA und der Fa. Gilian

zum Einsatz. Die jeweilige Messstelle justierte die PAS auf den erforderlichen Luftvolumenstrom. Die Analyse der Probenträger erfolgte nach der Probenahme im jeweiligen Analysenlabor. Für die UVT analysierte das Analysenlabor des IFA die Proben. Die Ländermessstellen nutzten ihre zentralen oder dezentralen Analysenlabore. Aus der analytisch ermittelten Stoffmasse und dem Probenluftvolumen ermittelte man die Stoffkonzentrationen. Teilweise wurden Konzentrationsverläufe mit einem direkt anzeigenden Messgerät und Datenlogger aufgenommen.

3.3 Bewertungsstrategie

Für die Bewertung der ermittelten Konzentrationen wurden die Grenzwerte nach TRGS 900 herangezogen¹⁾. Zur Berechnung der Schichtmittelwerte wurde in dieser Arbeit für die Tätigkeitsdauer vereinfacht angesetzt, dass bestimmte Haupttätigkeiten über acht

1) In der EU-Krebsrichtlinie wurde für Europa zwar ein Formaldehydgrenzwert von 0,62 mg/m³ für eine achtstündige Arbeitsschicht als Mindeststandard für Betriebe im Gesundheitswesen definiert [10], die TRGS 900 nennt aber einen niedrigeren Grenzwert, sodass dieser an deutschen Arbeitsplätzen verbindlich einzuhalten ist.

Tabelle 3. Arbeitsprozesse in der Pathologie in praxisüblicher Reihenfolge mit Emissionsquellen und Schutzmaßnahmen.

	1	2	3	4	5	6	7
	Tätigkeiten; Arbeitsschritte ¹	Wer ist exponiert?	Potenziell emittierte Stoffe	Menge/Schicht ² ; Dauer/Schicht ²	Mögliche Emissionsquellen	Emissionsrele- vante Parameter ³ (z. B. Anzahl/ Oberfläche poten- zieller Emissions- quellen)	Potenziell wirksame Schutzmaßnahmen Persönliche Schutzmaßnahmen: bei allen Tätigkeiten mindestens Einmal-Nitrilhand- schuhe, vereinzelt Schutzbrille erforderlich
A	Probeneingang verwalten; Behäl- ter und Begleit- zettel kontrollie- ren/registrieren	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Formaldehyd	bis zu mehrere Hundert Behälter; 8 h	mit Formalde- hydlösung kontaminiertes Verpackungsmat- erial/Begleitzett- el wegen undichten Probenbehältern, die ungeeignet bzw. gealtert sind oder nicht richtig verschlossen wurden	variable Anzahl undichter Proben- behälter, je nach Ausmaß kleine bis sehr große Oberfläche, unfall- artiges Ereignis	Pathologie versendet geeignete Proben- behälter und informiert Einsender über korrekte Verwendung, Einsender verwen- det nur geeignetes Material und beachtet Grundsätze der Arbeitshygiene beim Ver- sand, bei Bedarf Arbeitsplatzabsaugung, Raumlüftung
B	Makroskopie/ großer Zuschnitt; Gewebeproben aus Behälter nehmen, evtl. abspülen/wässern, makroskopisch begutachten, zuschneiden, einkapseln	Pathologin/ Pathologe	Formaldehyd	wenige bis mehrere Dut- zend Behälter und mehrere Hundert Schnit- te; 8 h	Offene Oberflä- chen, die Formal- dehyd emittieren: Gewebeproben, Pfüten auf dem Zuschneide- brett, offene Probenbehälter, offene Wannen für Kapseln mit Makroschnitten, Formaldehyd- getränkte Zellstoff- tücher, Abfallbe- hälter	variable Anzahl und Größe der Behälter und Gewebeproben; wenige cm ² bis ca. 2 000 cm ² für den einzelnen Zuschnitt	Ausreichende Absaugung mit wirksamer Luftführung; halboffene Erfassung, Stütz- lüftung oder Laborabzug empfehlenswert; ausreichende Hygiene am Arbeitsplatz, alle Emissionsquellen absaugen oder im Wirkungsbereich der Absaugung platzie- ren, z. B. Ablage der Kassetten; Flüssigkeit im Wirkungsbereich der Absaugung ausgießen, Trichter und Sammelbehälter absaugen oder im Wirkungsbereich der Absaugung platzieren, Pfüten vermei- den; darauf achten, dass kontaminierte Luft nicht in den Atembereich gesaugt wird; größere Präparate (ab Uterusgröße) wässern
C	Assistenz beim großen Zuschnitt; Kapseln beschrif- ten und bereit- stellen, Kapseln in Formaldehyd- lösung ablegen	Assistenz/MTA	Formaldehyd	bis zu mehrere Hundert Kapseln; 8 h	Emissionen vom Zuschnitt (Bystander) und von Biopsien, nicht abgedeckte bzw. kurzzeitig geöffnete Behälter (Wannen) mit Formaldehydlö- sung	mehrere flache Wannen mit Form- aldehydlösung für Kapseln mit Gewebeschnitten; Oberfläche bis ca. 500 cm ² pro Wanne	Wannen abdecken und im Wirkungs- bereich der Absaugung platzieren
D	Kleiner Zuschnitt/ Biopsien einkap- seln; Formalde- hydlösung ausgießen, Probe entnehmen, evtl. zuschneiden, einkapseln	Assistenz/MTA	Formaldehyd	bis zu mehrere Dutzend Biopsien; 8 h	offene Oberflä- chen, die Formal- dehyd emittieren: Gewebeproben, Zuschneidebrett, offene Proben- behälter, offene Wannen für Kap- seln mit Makro- schnitten, offene Abfallbehälter	Größe der Ober- flächen beim Aus- gießen, Anzahl der offen entsorgten Probenbehälter	Wannen abdecken und im Wirkungsbe- reich der Absaugung platzieren; Abfallbe- hälter absaugen oder im Wirkungsbereich der Absaugung platzieren
E	Entwässerungsau- tomat (EWA) be- dienen: Automat öffnen, Kapseln einlegen/ Kapseln entnehmen, Auto- mat schließen	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Formaldehyd/ Lösungsmittel	Wannenoberflä- che ca. 0,1 m ² ; wenige Minuten bei einem Be- schickungs-/Ent- nahmevergange pro Automat	Formaldehyd- lösung in der Wanne des EWA, wenn diese vorher mit Lösung befüllt wurde (ist kein Standard)	Anzahl der Öff- nungsvorgänge	Absaugung der Automaten, Öffnungs- vorgänge auf ein Minimum reduzieren, im Idealfall nur ein Beschickungs- und ein Entnahmevergange pro Automat und Arbeitsschicht, EWA-Wanne erst nach dem Verschließen des EWA mit Formaldehyd- lösung füllen, Raumlüftung
F	Entwässerungs- automat starten, Automat läuft	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Formaldehyd/ Lösungsmittel	Dauerbetrieb, in der Regel nachts, keine Exposition bei abgesaugten Automaten	technische Leckagen (undich- te Abdeckungen, Verbindungssteile an Leitungen)	Wanne mit den sequentiell einge- pumpte Chemika- lien, Temperatur des Paraffin (ca. 60 °C), Xylolreste im Paraffin, Wechselhäufigkeit des Paraffin	Absaugung der Automaten, Paraffin im EWA ausreichend häufig erneuern

¹ betriebsübliche Arbeitsschritte, die je nach betrieblicher Organisation in der Reihenfolge variieren können

² Die Daten stammen aus stichprobenhaften Befragungen untersuchter Pathologien (Mitgliedsbetriebe der BGW).

³ Die Stoffkonzentration in der verwendeten Lösung lag für Formaldehyd immer bei 4 % (4 g Formaldehyd/100 g Lösung) und bei 70 bis 100 % für die Lösungsmittel Ethanol, Propan-2-ol, Xylol; der Stoff Ethylbenzol ist herstellungstechnisch bedingt im Xylol enthalten.

Stunden erfolgten. Dazu gehörten der vom Pathologen ausgeführte große Zuschnitt, die Assistenz der MTA beim großen Zuschnitt, der kleine Zuschnitt und Automaten bedienen. Für Nebentätigkeiten wurde eine verkürzte Expositionszeit von einer halben bis zu

einer Stunde angesetzt. Als Nebentätigkeiten wurden definiert: Automatenflüssigkeiten wechseln bzw. Chemikalienbehälter leeren/füllen, Probenbehälter füllen und Asservate entsorgen (**Tabelle 3**). Die Quotienten aus den Schichtmittelwerten (C) und den AGW

Tabelle 3 (Fortsetzung). Arbeitsprozesse in der Pathologie in praxisüblicher Reihenfolge mit Emissionsquellen und Schutzmaßnahmen.

1	2	3	4	5	6	7
Tätigkeiten; Arbeitsschritte ¹	Wer ist exponiert?	Potenziell emittierte Stoffe	Menge/Schicht ² ; Dauer/Schicht ²	Mögliche Emissionsquellen	Emissionsrele- vante Parameter ³ (z. B. Anzahl/ Oberfläche poten- zieller Emissions- quellen)	Potenziell wirksame Schutzmaßnahmen Persönliche Schutzmaßnahmen: bei allen Tätigkeiten mindestens Einmal-Nitrilhand- schuhe, vereinzelt Schutzbrille erforderlich
G Einbetten in Paraffin: Kapseln öffnen, Gewebeprobe in Aluminium- schälchen legen, flüssiges Paraffin aufgießen, Kapsel auflegen, Wachs- block abkühlen	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Xylol	bis zu mehrere Hundert Kapseln; 8 h	Eventuell geringe Xylolreste aus EWA	Restmengen	Xylolverschleppung vermeiden, Paraffin im EWA ausreichend häufig erneuern
H Paraffinschnitte am Mikrotom herstellen und auf Objektträger ziehen	Assistenz/MTA	keine Gefahr- stoffe	bis zu mehrere Hundert Schnitte; 8 h	keine Gefahrstoffe	keine Gefahrstoffe	keine Gefahrstoffe
I Färbe-/Eindeck- automaten bedienen: Automaten öffnen (Schublade), Objektträger einhängen, Auto- maten schließen	Assistenz/MTA	Lösungsmittel	Öffnungsfläche der Automaten; mehrere Beschickungs- und entnahme- vorgänge; 1 h	Öffnen der überwiegend geschlossenen, abgesaugten Automaten	Öffnungsvorgänge der Automaten	Absaugung der Automaten, Geräte geschlossen halten, Raumlüftung
J Färbe-/Eindeck- automat läuft, Pro- zess überwachen	Assistenz/MTA	Lösungsmittel	Dauerbetrieb während Laborarbeiten; 8 h	Emissionen aus dem nicht voll- ständig geschlos- senen Automaten	Oberfläche der Färbeküvetten bzw. der einge- deckten Objekt- träger	Absaugung der Automaten
K Manuell färben/ manuell eindecken	Assistenz/MTA	Lösungsmittel	mehrere Dutzend Objektträger; 1 h	Öffnen der Färbeküvetten/ Auftragen der Eindeckflüssigkeit und Abrocknen im Raum	Anzahl der Öff- nungsvorgänge der Färbeküvetten (ca. 50 cm ² Ober- fläche), Anzahl der Eindeckvorgänge	Lokalabsaugung
L mikroskopische Diagnostik	Pathologin/ Pathologe	Xylol	mehrere Hundert Objektträger; 8 h	Eventuell geringe Xylolreste vom Eindecken	Anzahl der dem Pathologen vorge- legten Objekt- träger im Raum	Objektträger vor der Diagnostik an gut belüftetem oder abgesaugten Platz aus- reichend abdampfen lassen
M Chemikalien- behälter mit Pro- zessflüssigkeiten aus Automaten leeren/ füllen, Behälter bereit- stellen und öffnen, Behälter leeren, Behälter füllen und schließen	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Formaldehyd/ Lösungsmittel	mehrere Liter Formaldehyd- lösung und Lösungsmittel; 1 h	Flüssigkeitsober- flächen beim Umfüllen: evtl. Trichter, offene Behälter, Formal- dehyd aus EWA/ Lösungsmittel aus Färbeautomaten und EWA	Anzahl der ent- leerten/befüllten Behälter, Größe der emittierenden Flüssigkeitsober- flächen	ausreichende Absaugung mit wirksamer Luftführung, halboffene Erfassung empfeh- lenswert oder Laborabzug
N Probenbehälter füllen	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Formaldehyd	bis zu mehrere Hundert Behälter; 1 h			ausreichende Absaugung mit wirksamer Luftführung, halboffene Erfassung empfeh- lenswert oder Laborabzug
O Asservate entsorgen: Form- aldehydlösung abgießen, Fest- stoffe abwerfen, eventuell Behälter reinigen und in Spülmaschine einlegen. Ober- flächen reinigen	Assistenz/ MTA/Hilfs- personal	Formaldehyd	Mehrere Dut- zend Behälter verschiedener Größe, mehrere Kilogramm Gewebematerial, mehrere Liter Formaldehyd- lösung; 1 h	Abgießen der Flüssigkeit und Abwerfen des Präparats	Anzahl der ent- leerten/befüllten Behälter, Größe der frei emittie- renden Flüssig- keitsoberflächen	ausreichende Absaugung mit wirksamer Luftführung, halboffene Erfassung empfeh- lenswert oder Laborabzug; Gewebepro- ben und kontaminierte Behälter nur im Wirkungsbereich einer ausreichenden Absaugung handhaben

¹ betriebsübliche Arbeitsschritte, die je nach betrieblicher Organisation in der Reihenfolge variieren können

² Die Daten stammen aus stichprobenhaften Befragungen untersuchter Pathologien (Mitgliedsbetriebe der BGW).

³ Die Stoffkonzentration in der verwendeten Lösung lag für Formaldehyd immer bei 4 % (4 g Formaldehyd/100 g Lösung) und bei 70 bis 100 % für die Lösungsmittel Ethanol, Propan-2-ol, Xylol; der Stoff Ethylbenzol ist herstellungstechnisch bedingt im Xylol enthalten.

nach TRGS 900 ergaben die Stoffindices I (Stoffindex I = C/AGW), wobei der maximal zulässige Stoffindex 1 ist. Der Einfluss der Lösungsmittel auf die Gesamtbelastung aus Formaldehyd und Lösungsmitteln kann sich für jede Pathologie und jeden Beschäftigten aufgrund unterschiedlicher Arbeitsorganisation unterscheiden und wurde mit dem Median der ermittelten Lösungsmit-

telkonzentrationen abgeschätzt. Die Überprüfung der Kurzzeitwertbedingungen (Kurzzeitwerthöhe und -dauer) erfolgte lediglich für Formaldehyd, da erhöhte Expositionen (über dem AGW) für Lösungsmittel nicht zu erwarten waren. Nach TRGS 900 gilt für Formaldehyd ein Überschreitungsfaktor von 2. Das bedeutet, dass die mittlere Expositionskonzentration über 15 Minuten den Wert



Bild 2. Spülküche zum Asservatenentsorgen; Lochblechabsaugung und Zuluft im Deckenbereich. *Quelle: Autoren*

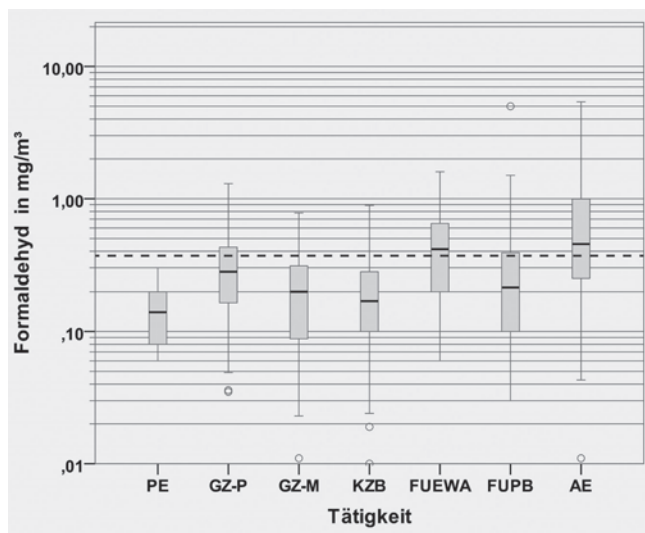


Bild 3. Boxplots der Formaldehydkonzentration bei Probenahme an der Person, Differenzierung nach Tätigkeit: PE: Probeneingang, n = 11; GZ-P: Großer Zuschnitt, Pathologe, n = 95; GZ-M: Großer Zuschnitt, MTA, n = 69; KZB: Kleiner Zuschnitt/Biopsien, n = 77; FUEWA: Formaldehydlösung umfüllen, Entwässerungsautomat, n = 26; FUPB: Formaldehydlösung umfüllen, Probenbehälter, n = 26; AE: Asservate entsorgen, n = 64. Die gestrichelte Linie kennzeichnet den AGW von 0,37 mg/m³. *Quelle: Autoren*

0,74 mg/m³ nicht überschreiten darf. Während einer Schicht sind bis zu vier Kurzzeitwertphasen erhöhter Exposition von maximal je 15 Minuten zulässig. Für den Abstand zwischen diesen Kurzzeitwertphasen ist eine Mindestdauer von einer Stunde anzustreben. Der Schichtmittelwert muss dabei auf jeden Fall den AGW einhalten.

4 Mess- und Bewertungsergebnisse

4.1 Ergebnisse der Arbeitsplatzmessungen

4.1.1 Lüftungs- und Lufterfassungssituation

Die Empfehlungen der DGUV Information 213-850 zum sicheren Arbeiten in Laboratorien [11] und der DIN 1946-7 für Laborlüftung [12] zu einem flächenspezifischen Mindestfrischluftvolumenstrom für Laborräume von 25 m³/(m²·h) wurden von den untersuchten Pathologien erfüllt, bei denen dies mittels Unterlagen oder orientierenden Lüftungsmessungen überprüft

werden konnte (n = 32). Mehr als 90 % der Messungen fanden in Arbeitsbereichen statt, die eine technische Zuluft im Deckenbereich aufwiesen. Ca. 50 % der Lüftungsangaben wurden von den Messstellen lediglich qualitativ mit „Zuluft und Abluft vorhanden/nicht vorhanden“ charakterisiert. In 55 der 57 untersuchten Betrieben waren die Absaugungen an Arbeitsplätzen gleichzeitig die Raumabluft, und die erfassten Gefahrstoffe wurden als Fortluft nach außen abgeführt. In zwei Betrieben gab es Luftrückführung an vier Arbeitsplätzen beim großen Zuschnitt. Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [13] lässt in § 10 die Luftrückführung für krebserzeugende, mutagene und reproduktionstoxische (KMR-)Stoffe zu, wenn ein AGW vorliegt und dieser eingehalten wird. Der AGW für Formaldehyd wurde in den beiden Betrieben überschritten (0,43 bis 0,68 mg/m³; n = 7). Somit lagen unzulässige Bedingungen vor. Die DGUV Regel 109-002 [14] sieht zudem derzeit keine praxisrelevanten technischen Möglichkeiten des Umluftbetriebs bei Gasen und Dämpfen mit KMR-Eigenschaften. Über alle Arbeitsplätze betrachtet, lagen die ermittelten Abluftvolumenströme zwischen ca. 100 und 1 000 m³/h bei einer mittleren abgesaugten Fläche von ca. 0,6 m².

Nebentätigkeiten wie „Chemikalienbehälter leeren/füllen“ oder „Asservate entsorgen“ wurden überwiegend an Arbeitsplätzen mit technischer Zuluft durchgeführt (Bild 2), vereinzelt aber auch ohne Zuluft. Es wurde festgestellt, dass emissionsrelevante Arbeitsschritte, zum Beispiel Flüssigkeiten über einen Trichter abgießen, formaldehydkontaminierte Zellstofftücher oder offene Probenbehälter entsorgen und sogar Gewebereste abwerfen, je nach Arbeitsorganisation immer wieder auch außerhalb des Wirkungsbereichs einer Erfassung erfolgten. Insbesondere die Tätigkeit „Chemikalienbehälter leeren/füllen“ wurde häufig nicht im Wirkungsbereich einer Erfassung durchgeführt.

4.1.2 Formaldehyd- und Lösungsmittelkonzentrationen

In den Laborbereichen der untersuchten Pathologien wurden 1 161 stationäre und. personengetragene Probenahmen vorgenommen und 2 377 Messergebnisse erhalten. Die Basis für die vorliegenden Auswertungen bildeten die personengetragenen Probenahmen auf Formaldehyd (n = 368) und Lösungsmittel (n = 154). Das Hauptaugenmerk lag dabei auf Formaldehyd. Die ermittelten Formaldehydkonzentrationen in der Luft im Arbeitsbereich wurden zur Bewertung der Tätigkeiten herangezogen.

Einen ersten Überblick über die Formaldehydexposition in Abhängigkeit von der Tätigkeit liefert die Boxplot-Darstellung in Bild 3. Nur beim Probeneingang traten demnach keine Grenzwertüberschreitungen auf. Beim Umfüllen der Formaldehydlösung des Entwässerungsautomaten (FUEWA) und beim Asservatenentsorgen (AE) lag der jeweilige Median über dem Grenzwert. Das bedeutet, dass mehr als 50 % der Messwerte den AGW überschritten. Detaillierter ist die Darstellung der Daten in Tabelle 4. So lag das 95. Perzentil der Formaldehydkonzentrationen beim großen Zuschnitt am Pathologen gemessen bei 0,74 mg/m³ (n = 95) und 33,7 % der Werte lagen über dem AGW. An der Assistenz beim großen Zuschnitt lag das 95. Perzentil bei 0,64 mg/m³ (n = 69) und 21,7 % der Konzentrationen lagen über dem AGW. Das 95. Perzentil der Formaldehydkonzentration lag beim Umfüllen der Formaldehydlösung aus dem Entwässerungsautomaten bei 0,83 mg/m³ (n = 26), beim Befüllen der Probenbehälter bei 1,2 mg/m³ (n = 26) und beim Ent-

Tabelle 4. Tätigkeitsbezogene Formaldehydkonzentration, Probenahme an der Person; GW = Grenzwert.

Tätigkeit	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Werte <BG * Anzahl und %	Höchste BG * in mg/m ³	geom. Mittel in mg/m ³	≤GW in %	>GW in %	GW n. b. in % §	Konzentrationen in mg/m ³		
									50%-Wert*	90%-Wert*	95%-Wert*
Probeneingang	11	9	0 (0 %)	entfällt	0,13	100	0		0,13	0,21	0,25
großer Zuschnitt, Pathologe	95	47	0 (0%)	entfällt	0,24	66,3	33,7		0,28	0,63	0,74
großer Zuschnitt, MTA	69	42	1 (1,4 %)	0,022	0,17	78,3	21,7		0,20	0,57	0,64
kleiner Zuschnitt/Biopsien	77	57	0 (0%)	entfällt	0,16	85,7	14,3		0,17	0,38	0,47
Formaldehydlösung umfüllen, Entwässerungsautomat (EWA)	26	21	2 (7,7 %)	0,17	0,36	38,5	61,5		0,41	0,74	0,83
Formaldehydlösung umfüllen, Probenbehälter	26	18	3 (11,5 %)	0,6	0,21	69,2	26,9	3,8	0,21 +	0,5 +	1,2
Asservate entsorgen	64	35	0 (0 %)	entfällt	0,46	45,3	54,7		0,42	1,8	2,5

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG), dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.
 + Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten Bestimmungsgrenze (BG) im Datenkollektiv. Die BG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.
 § Prozentsatz der Werte kleiner Bestimmungsgrenze (BG), deren BG oberhalb des vorgegebenen GW liegt. Diese Werte sind nicht beurteilbar (n. b.) in Bezug auf den GW.

Tabelle 5. Tätigkeitsbezogene Formaldehydkonzentration, Differenzierung nach halboffener, offener oder ohne Erfassung, Probenahme an der Person.

Tätigkeit	Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Werte <BG * Anzahl und %	Höchste BG * in mg/m ³	geom. Mittel in mg/m ³	≤GW in %	>GW in %	GW n. b. in % §	Konzentrationen in mg/m ³		
										50%-Wert*	90%-Wert*	95%-Wert*
großer Zuschnitt, Pathologe	halboffen	14	7	0 (0 %)	entfällt	0,24	85,7	14,3		0,24	0,36	0,41
	offen	80	44	0 (0 %)	entfällt	0,24	62,5	37,5		0,3	0,65	0,8
kleiner Zuschnitt/Biopsien	halboffen	8**	6	0 (0 %)	entfällt	0,08	100,0	0,0				
	offen	65	31	0 (0 %)	entfällt	0,17	84,6	15,4		0,17	0,39	0,45
Formaldehyd umfüllen, Entwässerungsautomat (EWA)	offen	4**	3***	1 (25 %)	0,12	0,19	100,0	0,0				
	ohne	20	18	1 (5 %)	0,17	0,39	30,0	70,0		0,49	0,77	0,85
Formaldehyd umfüllen, Probenbehälter	halboffen	7**	6	2 (28,6 %)	0,6	0,15	71,4	14,3	14,3			
	offen	15	11	1 (6,7 %)	0,08	0,16	80,0	20,0		0,155	0,39	0,44
Asservate entsorgen	halboffen	21	10	0 (0 %)	entfällt	0,26	66,7	33,3		0,28	0,84	0,87
	offen	28	19	0 (0 %)	entfällt	0,61	35,7	64,3		0,55	1,66	2,2
	ohne	7**	6	0 (0 %)	entfällt	1,02	14,3	85,7				

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG), dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.
 § Prozentsatz der Werte kleiner Bestimmungsgrenze (BG), deren BG oberhalb des vorgegebenen Grenzwertes (GW) liegt. Diese Werte sind nicht beurteilbar (n. b.) in Bezug auf den GW.
 ** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher sind hier nur der geometrische Mittelwert und die Prozente unterhalb bzw. oberhalb des Grenzwertes, aber keine Perzentile angegeben.
 *** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Die Daten von weniger als fünf Betrieben sind möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

sorgen der Asservate bei 2,5 mg/m³ (n = 64). Bei einer Expositionsdauer von mehr als 15 Minuten lagen bei diesen Tätigkeiten bis zu 62 % der ermittelten Formaldehydkonzentrationen über dem AGW, gleichbedeutend mit der Überschreitung der zulässigen Kurzzeitwertdauer. Das 95. Perzentil überschritt bei allen drei zuletzt genannten Tätigkeiten zudem die zulässige Kurzzeitwerthöhe von 0,74 mg/m³.

Technische Absaugeinrichtungen sollten entstehende Formaldehyddämpfe bei den Tätigkeiten mit Formaldehyd erfassen. Zwei wesentliche Erfassungsarten wurden angetroffen: offene Erfassungen, z. B. Lochblechtische, und halboffene Erfassungen wie Laborabzüge oder über dem Lochblech aufgestellte einfache Hauben. Der Vergleich der beiden Erfassungsarten in **Tabelle 5** zeigt, dass die Formaldehydkonzentrationen durch die halboffene Erfassung stärker reduziert wurden als durch eine offene Erfassung. Die **Bilder 4** und **5** zeigen dies noch einmal exemplarisch für den großen Zuschnitt, gemessen am Pathologen, und für die Entsorgung der Asservate. Die Anzahl der Messwerte kann von **Tabelle 4** abweichen, da zum Teil Angaben zur Erfassung fehlten.

Expositionsrelevante Emissionsquellen, z. B. Mülleimer, Sammelbehälter für entleerte Probenbehälter ohne Deckel, Trichter und Spülbecken zum Abgießen, waren allerdings in vielen Fällen nicht abgesaugt und befanden sich außerhalb des Erfassungsbereichs einer Absaugung. Dennoch wird die Abluftströmung diese

Emissionen zu den abgesaugten Arbeitsplätzen tragen. Eine dadurch verursachte ungünstige Beeinflussung der Exposition der Beschäftigten ist sowohl bei der offenen als auch der halboffenen Erfassung nicht auszuschließen.

Grundlastmessungen ohne Tätigkeiten mit Formaldehyd ergaben Formaldehydkonzentrationen bei 0,04/0,1 mg/m³ (Median/95. Perzentil; n = 39). Emissionsquellen wurden bei den Grundlastmessungen nicht dokumentiert, aber die Konzentrationen deuten darauf hin, dass diese in den Pathologien vorhanden waren.

Die Tätigkeiten mit Lösungsmitteln (Ethanol, Ethylbenzol, 2-Propanol und Xylol) lassen sich grundsätzlich unterscheiden in „Automaten bedienen“ (geschlossene, abgesaugte Farbe- oder vereinzelt Entwässerungsautomaten) und manuelle Tätigkeiten wie manuelles Färben, Eindecken oder Lösungsmittelbehälter leeren und füllen. Die Haupttätigkeit „Automaten bedienen“ war in der betrieblichen Routine oftmals verknüpft mit vereinzelt manuellen Tätigkeiten. Die Gefahrstoffexposition bei manuellen Tätigkeiten wurde separat ermittelt. Die Lösungsmittelkonzentrationen lagen bei ausschließlich manuellen Tätigkeiten im Mittel ca. um den Faktor zwei bis vier höher als beim „Automaten bedienen“ (**Tabelle 6**), allerdings bis auf vereinzelte Maximalwerte für Ethanol unterhalb der stoffspezifischen AGW und immer unterhalb der zulässigen Kurzzeitwerte. Manuelle Tätig-

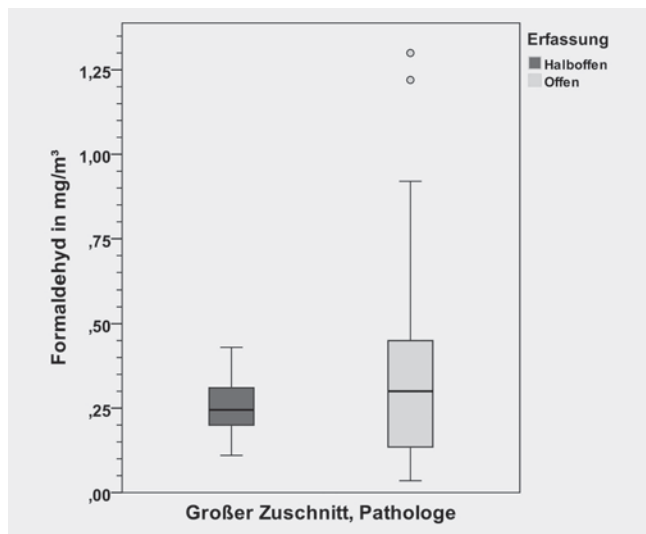


Bild 4. Boxplots der Formaldehydkonzentration beim großen Zuschnitt, Pathologie; Probenahme an der Person, Differenzierung nach der Art der Erfassung: halboffen n = 14, offen n = 80. *Quelle: Autoren*

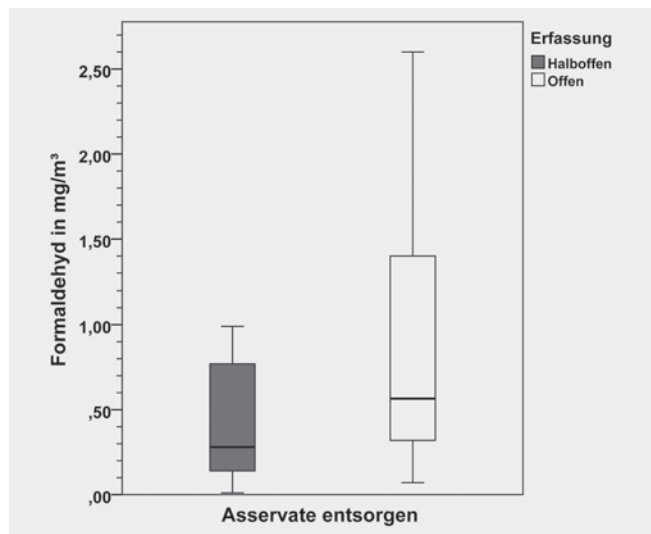


Bild 5. Boxplots der Formaldehydkonzentration beim Asservate entsorgen; Probenahme an der Person, Differenzierung nach der Art der Erfassung: halboffen n = 21, offen n = 28. *Quelle: Autoren*

Tabelle 6. Tätigkeitsbezogene Lösungsmittelkonzentration, Probenahme an der Person.

Tätigkeit Lösungsmittel	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Werte <BG * Anzahl und %	Höchste BG * in mg/m³	geom. Mittel in mg/m³	≤GW in %	>GW in %	GW n. b. in % §	Konzentrationen in mg/m³			
									50-%- Wert*	90-%- Wert*	95-%- Wert*	
Automatenbedienung												
Ethanol (380 mg/m³)	6**	6	1 (16,7 %)	6,7	11	100						
Ethylbenzol (88 mg/m³)	10	7	1 (10 %)	1,1	6,2	100			7,3	11	12,5	
Propan-2-ol (500 mg/m³)	6**	5	1 (16,7 %)	5,4	16	100						
Xylol alle Isomere (440 mg/m³)	15	12	0 (0 %)	entfällt	21	100			27	46	56	
Manuelle Tätigkeiten (Färben, Eindecken, Lösemittel wechseln)												
Ethanol (380 mg/m³)	36	20	6 (16,7 %)	60	46	88,9	11,1		180	382	416	
Ethylbenzol (88 mg/m³)	24	15	1 (4,2 %)	1,5	11	100			12	25	30	
Propan-2-ol (500 mg/m³)	14	12	3 (21,4 %)	32	44	100			60	146	225	
Xylol alle Isomere (440 mg/m³)	43	26	1 (2,3 %)	17	37	100			42	98	109	

* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG), dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.
 § Prozentsatz der Werte kleiner Bestimmungsgrenze (BG), deren BG oberhalb des vorgegebenen Grenzwertes (GW) liegt. Diese Werte sind nicht beurteilbar (n. b.) in Bezug auf den GW.
 ** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher sind hier nur der geometrische Mittelwert und die Prozente unterhalb bzw. oberhalb des Grenzwertes, aber keine Perzentile, angegeben.
 Anmerkung: n-Butylacetat wurde bei allen Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenzen ermittelt. Die Bestimmungsgrenzen lagen unter 5 % des AGW.

keiten haben durch die verfahrensbedingt verkürzte Exposition, in der Regel weniger als eine Stunde pro Schicht, nur geringe Auswirkungen auf die Schichtbelastung. Die Summe aller Lösungsmittelkonzentrationen lag bei ca. 20 % der zulässigen Schichtbelastung. Lösungsmittelexpositionen sind zusätzlich zu Formaldehydexpositionen bei der Berechnung der Gesamtbelastung zu berücksichtigen.

4.2 Einzelfallbetrachtungen bei Tätigkeiten mit Formaldehyd

Exemplarische Einzelfallbetrachtungen wiesen auf Ursachen von Formaldehydemissionen und auf Einflüsse von Schutzmaßnahmen hin. Folgende Fälle werden dargestellt:

- Abwurfbehälter für entleerte Probenbehälter,
- Asservate entsorgen und Spülmaschine mit leeren Probenbehältern beladen,
- Wirkung einer Erfassungshaube über der Lochblechabsaugung.

4.2.1 Abwurfbehälter für entleerte Probenbehälter

Bei den Tätigkeiten „großer Zuschnitt“ sowie „kleiner Zuschnitt/Biopsien einkapseln“ wurden kleine Probenbehälter mit einem Volumen bis ca. 50 ml geöffnet, entleert und wieder verschlossen in einen Sammelbehälter abgeworfen. Im hier beschriebenen Fall wurden die Behälter entleert und in Sammelbehälter mit Schwingdeckel abgeworfen, ohne den Deckel aufzuschrauben. Dies sollte den nachfolgenden Reinigungsvorgang vereinfachen. Reste der Formaldehydlösung hafteten noch an den offenen Probenbehältern. Die MTA drückte den Schwingdeckel zum Abwurf kurzzeitig ca. 10 cm auf und dieser pendelte dann wieder zurück in die Ausgangsposition. Die dadurch verursachte Formaldehydemission wurde durch den zeitlichen Verlauf der Formaldehydkonzentration ca. 30 cm über dem Abwurfbehälter dargestellt (**Bild 6**). Der Konzentrationsverlauf zeigt deutlich erhöhte Formaldehydkonzentrationen mit Spitzen bis mehrere mg Formaldehyd pro m³. Ein Sammelbehälter, ob offen oder mit pendelndem Schwingdeckel, ist als relevante Emissionsquelle zu betrach-

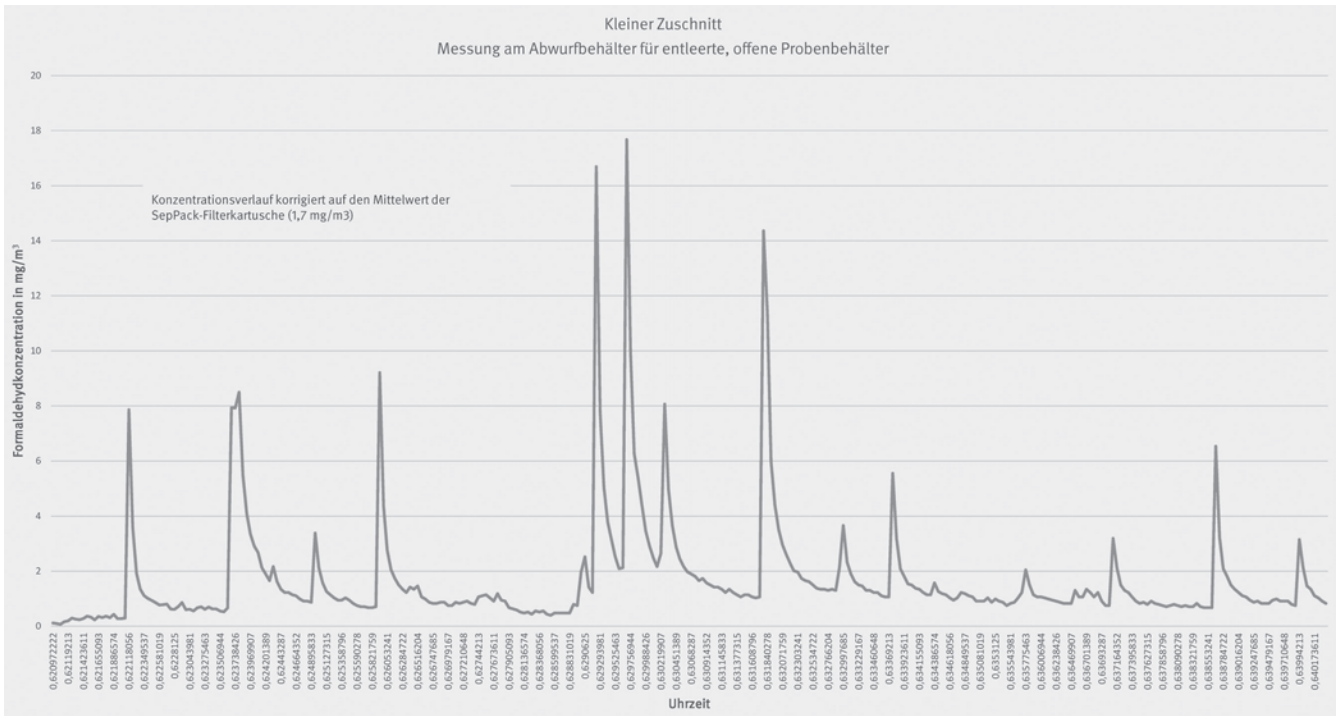


Bild 6. Formaldehydkonzentrationsverlauf durch Öffnungs- und Schließvorgänge des Schwingdeckels am Abwurfbehälter mit entleerten, offenen Probenbehältern (20 bis 50 ml), Messstelle mittig ca. 30 cm über dem Schwingdeckel. *Quelle: Autoren*

ten, wenn z. B. entleerte offene Probenbehälter oder formaldehydgetränkte Zellstofftücher abgeworfen werden. Eine Absaugung am Sammelbehälter könnte diese Emissionen erfassen und abführen.

4.2.2 Asservate entsorgen und Spülmaschine mit leeren Probenbehältern beladen

Die Formaldehydlösung und die Asservate wurden in den meisten Fällen im Wirkungsbereich einer Absaugung getrennt entsorgt. Allerdings erfolgten weitere Arbeitsschritte oftmals außerhalb des Wirkungsbereichs einer Erfassung. Im vorliegenden Fall wurden die entleerten Probenbehälter in einem Spülbecken mit Wasser abgespült und anschließend in eine Spülmaschine gestellt. Die Konzentration lag für die gesamte Tätigkeit bei 0,31 mg/m³ bei einer Expositionsdauer (ED) von 24 Minuten (**Tabelle 7**).

Die differenzierte Betrachtung der Arbeitsschritte zeigte beim Abgießen der Formaldehydlösung und Abwerfen der Präparate

im Erfassungsbereich der Absaugung eine Konzentration von 0,15 mg/m³, ED 16 Minuten. Beim Vorspülen und Einlegen der entleerten, offenen Behälter in die Spülmaschine außerhalb des Erfassungsbereichs der Absaugung lag die Formaldehydkonzentration bei 0,77 mg/m³, bei einer ED von acht Minuten. Der zweite Vorgang leistete den weitaus größeren Beitrag zur Exposition, vermutlich wegen großer Flüssigkeitsoberfläche und insbesondere, weil er außerhalb des Wirkungsbereichs der Erfassung stattfand. Um dies zu vermeiden, muss angestrebt werden, Emissionsflächen zu minimieren und alle emittierenden Tätigkeiten im Wirkungsbereich einer Erfassung durchzuführen.

4.2.3 Wirkung einer Erfassungshaube über der Lochblechabsaugung

Offene und halboffene Erfassungen wurden in Einzelfällen beim Zuschnitt und beim Asservatenentsorgen verglichen. Nachfolgend wird das Asservatenentsorgen geschildert, bei dem der Durchsatz und die Arbeitsschritte über mehrere Tätigkeitszyklen nahezu identisch waren, sodass sich dieser Fall für einen Konzentrationsvergleich der beiden Erfassungsarten gut eignete. Für den Arbeitsvorgang mit offener Absaugung wurde die Untertisch-Lochblechabsaugung betriebsüblich genutzt (0,59 m² Absaugfläche, 420 m³/h Absaugvolumenstrom). Für den Arbeitsvorgang mit halboffener Absaugung wurde eine für die Untersuchungen speziell hergestellte Erfassungshaube mit vier Plexiglaswänden über die Lochblechabsaugung gestellt (**Bild 7**). Haubenöffnungen gab es zum Lochblech hin mit den Abmessungen 0,65 m Länge x 0,7 m Breite und als Eingriffsöffnung mit den Abmessungen 0,5 m Höhe x 0,7 m Breite. Die Lochblechabsaugung war für die offene und halboffene Erfassung grundsätzlich identisch. Für die halboffene Erfassung wurde jedoch die Absaugfläche außerhalb der Haube abgedeckt, um den gesamten Absaugvolumenstrom

Tabelle 7. Asservate entsorgen; Arbeitsschritte im Wirkungsbereich und außerhalb des Wirkungsbereichs einer Erfassung.

Formaldehydkonzentration in mg/m ³	Probenahmedauer in h	Arbeitsschritte 1) im Wirkungsbereich der Erfassung 2) außerhalb des Wirkungsbereichs der Erfassung
0,31	0,4	Gesamt-tätigkeit: 1): Behälter leeren, Gewebe wegwerfen, 2): Behälter im Spülbecken auswaschen, Behälter in Spülmaschine stellen
0,15	0,27	Teiltätigkeit/Arbeitsschritte: 1): Behälter leeren, Gewebe wegwerfen
0,77	0,13	Teiltätigkeit/Arbeitsschritte: 2): Behälter im Spülbecken auswaschen, Behälter in Spülmaschine stellen



Bild 7. Speziell hergestellte Erfassungshaube (IFA) mit vier Plexiglaswänden über der Lochblechabsaugung. *Quelle: Autor*

nutzen zu können. Die mittlere Ansaugeschwindigkeit in der Eingriffsöffnung der Haube lag zwischen 0,3 und 0,4 m/s. Aufgrund der Absaugcharakteristik der Untertischabsaugung nahm die Ansaugeschwindigkeit vom unteren zum oberen Teil der Eingriffsöffnung von 0,7 bis 0,1 m/s ab.

Die halboffene Erfassung ließ aufgrund von Beobachtungen mit Strömungsprüfaerosolen einen nahezu 100%igen Erfassungsgrad erwarten. Die letztendlich gemessene Formaldehydkonzentration war bei halboffener Erfassung höher als erwartet ($0,14 \text{ mg/m}^3$), aber deutlich geringer als bei offener Erfassung ($0,83$; $1,0$ und $1,2 \text{ mg/m}^3$). Für den Einzelversuch konnte ein Erfassungsgrad zwischen 83 und 88 % erreicht werden. Als Ursache für die verbleibende Konzentration mit Haube wurden mehrere Abgießvorgänge von Formaldehydlösung in einen Sammelbehälter in unmittelbarer Nähe und ein dazu genutzter großflächiger Abfülltrichter vermutet. Kontaminierte Luft konnte wahrscheinlich von der halboffenen Erfassung angesaugt werden und in den Atembereich der Beschäftigten gelangen. Diese Versuche gaben dennoch erste Hinweise für eine mögliche Reduzierung der Arbeitsplatzbelastung durch verbesserte Luftführung unter Nutzung vorhandener Erfassungseinrichtungen.

5 Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen sind für alle Tätigkeiten mit Gefahrstoffen festzulegen und deren Wirksamkeit ist zu überprüfen. Die potenziellen Emissionsquellen müssen bekannt sein. Diese sind in allen Pathologien ähnlich: das formaldehydgetränkte Präparat, mit Formaldehydlösung kontaminierte Schneidebretter, mit Formaldehydlösung getränkte Tücher, Flüssigkeitsoberflächen beim Leeren und Füllen von Behältern sowie leere Behälter mit Flüssigkeitsresten. Die tätigkeitsbezogene Auflistung in Tabelle 3 kann als Grundlage einer betriebsbezogenen Bestandsaufnahme aller Emissionsquellen und der Analyse der Emissionsursachen dienen, um dann zielgerichtet Maßnahmen zur Reduzierung der Formaldehydexposition zu ergreifen. Die nachfolgend beschriebenen Schutzmaßnahmen beschränken sich auf die Tätigkeiten mit potenzieller Formaldehydexposition und werden aufgrund von Beobachtungen, physikalischen Zusammenhängen und vereinzelten messtechnischen Nachweisen als wirksam betrachtet. Sie ergänzen die bereits in einer Publikation zum sicheren Arbeiten mit chemischen Stoffen in Pathologien [8] ausführlich dargestellten

Maßnahmen durch neue Erkenntnisse. Ob vereinzelt angetroffene Maßnahmen, wie die Komplettentsorgung ungeöffneter Asservatenbehälter, eine allgemeingültige Praxistauglichkeit haben und den Wirtschaftlichkeits- und Qualitätsanforderungen entsprechen, wurde nicht geprüft.

5.1 Substitution

Im Idealfall wäre Formaldehyd durch einen ungefährlichen oder weniger gefährlichen Stoff zu ersetzen. Die Pathologen sehen eine Ersatzstofflösung derzeit kritisch, da Formaldehyd im Gesamtprozess etabliert ist und Ersatzstoffe bisher in der Praxis nicht angenommen werden. Formaldehydemittierende Arbeitsprozesse können eventuell durch emissionsfreie oder -arme Arbeitsprozesse ersetzt werden. Beispiele für bereits praktizierte Substitutionsverfahren sind: mit frischer Formaldehydlösung befüllte Probenbehälter einkaufen und damit das Füllen der Behälter in der Pathologie ersetzen; Probenbehälter mit Asservaten nach dem Zuschnitt verschließen und nach der Aufbewahrungsfrist vollständig mit Präparat und evtl. Formaldehydlösung entsorgen; dazu Behälter nicht mehr öffnen, nicht manuell ausspülen und nicht in die Spülmaschine legen.

Das in der Literatur für die Gewebeproben genannte Kühlverfahren unter Vakuum [15] könnte zu einem neuen Ansatz ohne Formaldehyd oder mit sehr geringen Formaldehydmengen führen, wenn es in der Routine eingesetzt werden kann.

5.2 Technik

Formaldehydemissionen durch ausreichend wirksame Absaugeinrichtungen zu erfassen, ist die wesentliche technische Schutzmaßnahme. Halboffene Absaugungen wie Laborabzüge oder gleichwertige Erfassungen sind zu bevorzugen. Aber auch offene Absaugungen, wie die weitverbreiteten Lochblechtische, können ausreichend sein. Entscheidend sind ein ausreichender Absaugvolumenstrom und eine effektive Luftführung. Dabei kann eine optimal ausgerichtete Zuluft die Luftführung und damit die Erfassung unterstützen.

Bei bestimmten Tätigkeiten mit hohem Chemikalieneinsatz und teilweise großen Gebinden über zehn Liter, wie dem Chemikalienwechsel am EWA, sind auch die technischen Voraussetzungen für ergonomisches Arbeiten zu schaffen. Für die Planung bei Neu- oder Umbauten sollten die einschlägigen Informationen und Vorgaben wie DIN 1946 Teil 7 [12], die aktuell erschienene DGUV-R 109-002 [14], die Richtlinie VDI 2262 Blatt 4 [16] und die DGUV I 213-850 [11] berücksichtigt werden.

5.3 Organisation

Expositionsrelevante Arbeitsvorgänge und Tätigkeiten sollen regelmäßig daraufhin geprüft werden, ob sie in der ausgeübten Form notwendig sind. Ein effizienter Ansatz sind die Identifikation und schriftliche Auflistung möglicher Emissionsquellen vom Materialeingang bis zur Entsorgung im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung. Formaldehydgetränkte Gewebeproben sind dabei ebenso zu berücksichtigen wie flüssige oder feste Abfälle und Formaldehydreste auf Oberflächen. Den kurzzeitigen Nebentätigkeiten wie dem Chemikalienwechsel der Automaten, der Abfallentsorgung und der Reinigung muss die gleiche Aufmerksamkeit gewidmet werden wie dem Zuschneiden der Gewebeproben. Arbeitsvorgänge sind so zu organisieren, dass Emissionen vermieden und unvermeidbare Emissionen ausreichend erfasst werden. Tätigkeiten mit Gefahrstoffemission sollten möglichst ausnahms-

los im Wirkungsbereich einer ausreichenden Gefahrstofffassung erfolgen. Absaugeinrichtungen wie Lochbleche oder andere Absaugöffnungen dürfen nicht unzulässig abgedeckt werden. Die Führungskräfte in den Pathologien sind hier in der Verantwortung und haben erheblichen Einfluss auf die richtige Arbeitsweise, z. B. durch regelmäßige mündliche Unterweisung.

5.4 Persönliche Schutzmaßnahmen

Chemikalienschutzhandschuhe aus Nitrilkautschuk nach der Normenreihe DIN EN ISO374 [17] und Schutzkleidung sind in Pathologien für die meisten Tätigkeiten mit Chemikalien erforderlich. Atemschutz ist die letzte aller Maßnahmen und immer dann anzuwenden, wenn Grenzwertbedingungen nicht eingehalten werden. Lässt sich Atemschutz nicht vermeiden, sollte er nach Möglichkeit für Beschäftigte nicht belastend sein, z. B. in Form einer gebläseunterstützten Atemschutzhaube.

6 Diskussion

Für die vorliegende Arbeit wurden 57 Pathologien mit einem subjektiv guten technischen Stand ausgewählt. In diesen Pathologien sollten die Formaldehydkonzentrationen unter dem geltenden AGW liegen. Nur ca. 10 % der Pathologien erfüllten diesen Anspruch. In den anderen 90 % gab es Tätigkeiten, meist Nebentätigkeiten wie das Asservatenentsorgen oder Chemikalien der Automaten wechseln, aber auch Haupttätigkeiten wie großer oder kleiner Zuschnitt, die keine ausreichenden Schutzmaßnahmen aufwiesen. Dies zeigte sich durch Grenzwertüberschreitungen für Formaldehyd. Lösungsmittelbelastungen spielten eine untergeordnete Rolle, müssen aber dennoch im Auge behalten werden, da Grenzwertabsenkungen und Neubewertungen für Lösungsmittel in den vergangenen Jahren regelmäßig erfolgten und auch in den nächsten Jahren weiterhin zu erwarten sind.

Der Schwerpunkt der Exposition lag bei Formaldehyd. Dies zeigten die Untersuchungen aller Messstellen und die Literaturrecherchen gleichermaßen. Die Betrachtung vieler unterschiedlich ausgestatteter und organisierter Pathologien zeigte, dass die Formaldehydexposition bei bestimmten Tätigkeiten vollständig vermieden werden kann, z. B., wenn fertig befüllte Probenbehälter eingekauft werden, statt Behälter selbst zu befüllen. Dies scheint für kleine Probenbehälter bis 50 ml schon zum Standard zu werden. Wirksame Schutzmaßnahmen waren im Wesentlichen Absaugsysteme mit ausreichenden Luftvolumenströmen und guter Luftführung sowie gute Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzhygiene.

Eine Expositionsreduzierung wurde erreicht, wenn formaldehydemittierende Tätigkeiten mit halboffener Erfassung erfolgten. Eine nachträgliche Einhausung wie die experimentell erprobte Plexiglashaube kann eine offene Erfassung, z. B. einen praxisüblichen Lochblechtisch, durch verbesserte Luftführung effizienter machen. Diesen erwartungsgemäß positiven Effekt kann man bei allen emissionsrelevanten Tätigkeiten nutzen, also beim großen und kleinen Zuschnitt, Asservatenentsorgen oder Chemikalienumfüllen. Dabei ist grundsätzlich ein ausreichender Mindestluftvolumenstrom zu beachten. Offene und halboffene Erfassungen zeigten im Einzelfallvergleich Reduzierungen der Formaldehydkonzentration zugunsten der halboffenen Erfassung bis zu knapp 90 %. Trotz noch nicht ausreichender experimenteller Nachweise kann physikalisch begründet werden, dass halboffene Erfassungen bei gleicher abgesaugter Fläche aufgrund günstigerer Luftführung

geringere Absaugluftvolumenströme benötigen, um eine ausreichende Wirksamkeit zu erreichen. Organisatorische Maßnahmen, beginnend mit der Analyse von Arbeitsabläufen, sollten zum Ziel haben, Emissionsquellen zu erkennen, vermeidbare Emissionsquellen zu beseitigen und unvermeidbare Emissionsquellen ausreichend wirksam abzusaugen. Persönliche Schutzmaßnahmen wie Handschuhe, Schutzkleidung und eventuell Augenschutz sind Standard in Pathologien. Grenzwertüberschreitungen erfordern zudem Atemschutz, den es allerdings zu vermeiden gilt. Außerdem müssen nach GefStoffV bei einer Gefährdung durch krebserzeugende Stoffe – wovon bei Grenzwertüberschreitungen auszugehen ist – diverse personenbezogene Maßnahmen ergriffen werden, wie der Eintrag in ein Expositionsverzeichnis [18]. Grundsätzlich sehen die Autoren ein Verbesserungspotenzial in einfach zu realisierenden technischen und organisatorischen Maßnahmen. Die Erprobung neuer Verfahren könnte nicht nur aus arbeitsschutztechnischer Sicht, sondern auch unter wirtschaftlichen Aspekten interessant sein. Dazu können zählen: reduzierte, aber dennoch effektive Absaugvolumenströme durch an die Arbeitsaufgabe angepasste Luftführung oder reduzierter Einsatz von Formaldehydlösung durch Alternativverfahren wie Vakuumverfahren. Allerdings wird es unvermeidbar sein, dass in manchen Pathologien aufwendigere technische Maßnahmen durchgeführt werden, um einen ausreichenden Arbeitsschutzstandard zu erreichen. Professionelle Laborausstatter sollten insbesondere bei der Auslegung von Absaugeinrichtungen einschlägige Vorgaben berücksichtigen. Dies ist umso wichtiger, da in Pathologien in der Regel an die Kundenwünsche angepasste Absauganlagen eingebaut werden. Die Qualität und Wirksamkeit der Erfassung hängt dabei von dem Wissen und der Erfahrung der ausführenden Firmen ab. Führungskräfte in den Pathologien sollten mit Sicherheitsfachkräften eng zusammenarbeiten und den Arbeitsschutz bei allen technischen und organisatorischen Planungen umfassend mitdenken. Kooperationen mit Chemielaborausstattern, Ausstattern medizintechnischer Laboratorien sowie Fachleuten für Lüftung und Arbeitsschutz sind bei der Planung wünschenswert.

Einzelautoren [19 bis 21] und Arbeitsschutzorganisationen [8; 22; 23] empfehlen unter anderem die in diesem Artikel genannten Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Formaldehyd in Pathologien. Auch diese Informationen können als Planungsgrundlagen verwendet werden. Jetzt kommt es darauf an, wirksame Maßnahmen in der Praxis in allen Pathologien in Deutschland umzusetzen, um die Beschäftigten ausreichend zu schützen. Die UVT und Aufsichtsbehörden der Länder können beratend zur Seite stehen und auch beim Wirksamkeitsnachweis von Maßnahmen unterstützen. ■

DANKSAGUNG

Wir danken allen weiteren beteiligten UVT und staatlichen Messstellen für die Bereitstellung der Messdaten: den Unfallkassen Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Thüringen sowie den Messstellen der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt.

L i t e r a t u r

- [1] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/2006. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBI. (2020) Nr. 12-13, S. 276.
- [2] Kellner, R.; Thullner, I.; Funk, D.; Hallek, B.; Franke, U.; Radtke, R. et al.: Formaldehydexposition in Pathologien und Anatomien. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 7/8, S.299-300.
- [3] Wegscheider, W.: Messtechnische Untersuchungen in formaldehydbelasteten Arbeitsbereichen des Gesundheitswesens. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 7/8, S. 309-316.
- [4] Wegscheider, W.; Thullner, I.; Eickmann, U.; Naujoks, G.: Sicher arbeiten mit chemischen Stoffen in der Pathologie – Gefährdungen durch Gefahrstoffe und Schutzmaßnahmen. Ergomed 32 (2008) Nr. 2, S. 44-56.
- [5] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. ABl. EU (2008) Nr. L 353, S. 1-1355.
- [6] GESTIS – Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen. Hrsg: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin. www.dguv.de/ifa, Webcode: d6247
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). Ausg. 2/2010. GMBI. (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. GMBI. (2016) Nr. 43, S. 843-846.
- [8] Wegscheider, W.; Thullner, I.; Walther, C.; Alles, J. U.; Gaiser, T.; Heinmöller, P. et al.: Sicheres Arbeiten mit chemischen Stoffen in der Pathologie – Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. BGW 09-19-041 / EP-GfPath. Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, Hamburg 2006.
- [9] Pitzke, K.; Poprizki, J.; Schwank, T.: Aufarbeitsverfahren zur Analytik metallhaltiger Stäube, (Kennzahl 6015). Lfg. 2/2018. In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6015
- [10] Richtlinie (EU) 2019/ 983 des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit. ABl. EU (2019) Nr. L 164, S. 23-29.
- [11] DGUV Information: Sicheres Arbeiten in Laboratorien-Grundlagen und Handlungshilfen (113-850). 3. Aufl. 5/2020. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2020.
- [12] DIN 1946-7: Raumluftechnik – Teil 7: Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien (7/2009). Berlin: Beuth 2009.
- [13] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV). vom 26. November 2010. BGBl. I (2010) Nr. 59, S. 1643; zul. geänd. durch Artikel 148 des Gesetzes vom 29. März 2017. BGBl. I (2017) S. 626.
- [14] DGUV Regel: Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen (109-002), Ausg. 4/2020. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2020.
- [15] Mastracci, L.; Gambella, A.; Bragoni, A.; Pigozzi, S.; Pastorino, I.; Tosi, I. et al.: Coping with formalin banning in Pathology: Under vacuum long-term tissue storage with no added formalin. Histochem. Cell. Biol. 151 (2019) Nr. 6, S. 501-511.
- [16] VDI 2262 Blatt 4: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe (3/2006). Berlin: Beuth 2006.
- [17] DIN EN ISO 374: Schutzhandschuhe gegen gefährliche Chemikalien und Mikroorganismen. Berlin: Beuth.
- [18] Technische Regel für Gefahrstoffe: Expositionsverzeichnis bei Gefährdung gegenüber krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorien 1A oder 1B (TRGS 410). Ausg. 6/2015. GMBI. (2015) Nr. 30, S. 587-595.
- [19] Ogawa, M.; Kabe, I.; Terauchi, Y.; Tanaka, S.: A strategy for the reduction of formaldehyde concentration in a hospital pathology laboratory. J. Occup. Health 61 (2019), Nr. 1, S. 135-142.
- [20] d’Ettorre, G.; Criscuolo, M.; Mazzotta, M.: Managing formaldehyde indoor pollution in anatomy pathology departments“Work 56 (2017) Nr. 3, S. 397-402.
- [21] Xu, W.; Stewart, E. J.: A comparison of engineering controls for formaldehyde exposure during grossing activities in health care anatomic pathology laboratories. J. Occup. Environ. Hyg. 13 (2016) Nr. 7, S. 529-537.
- [22] Krebserzeugende Arbeitsstoffe in Gesundheitseinrichtungen – Sicherheitsinformation für Führungskräfte. Hrsg.: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA). Wien, Österreich, 2018.
- [23] Jost, M.; Rügger, M.; Gutzwiller, A.; Liechti, B.; Wolf, R.: Verhütung von Berufskrankheiten in pathologisch-anatomischen Instituten und histologischen Laboratorien. Hrsg.: Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern, Schweiz 2003.

Dipl.-Ing. Wolfgang Wegscheider,
Günter Naujoks,
Prof. Dr.-Ing. Udo Eickmann,
 Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW),
 Köln.

Petra Brohmann,
 Regierungspräsidium Kassel, Ländermessstelle Hessen.

Dr. rer. nat. Dorothea Koppisch,
 Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
 (IFA), Sankt Augustin.

Dr. Heike Niemann,
 Unfallkasse Nord, Hamburg.