

Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie)

I. Thullner, R. Stockmann, L. Hohenberger

Zusammenfassung Formaldehyd wird in medizinischen Bereichen, wie Pathologie, Human- und Veterinär-anatomie, zur Fixierung, Konservierung und Lagerung von humanem oder tierischem Gewebe eingesetzt. Der Ausschuss für Gefahrstoffe hat im November 2014 für Formaldehyd einen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) verabschiedet, der auch für Arbeitsplätze in anatomischen Instituten an deutschen Universitäten gilt, aber nicht immer eingehalten wird. Überschreitungen des AGW treten sowohl bei der Fixierung der Körperspenden als auch im anatomischen Praktikum auf. Es sind technische und organisatorische Maßnahmen zu treffen, da für eine Substitution von Formaldehyd nur beschränkte Möglichkeiten bestehen. Nach umfangreichen Ermittlungen wurde festgestellt, dass die Erfassung der Gefahrstoffe mittels abgesaugter Präpariertische sowie raumlufttechnische Maßnahmen unabdingbar sind. Beide Systeme müssen gut aufeinander abgestimmt sein, daher ist ein hier in Ansätzen skizziertes Forschungsvorhaben notwendig.

Formaldehyde in preclinical medical training (anatomy)

Abstract Formaldehyde is used in areas of medicine, such as pathology, human and veterinary anatomy, for fixing, preserving and storing human and animal tissue. In November 2014, the German Hazardous Substances Committee established an occupational exposure limit value for formaldehyde that also applies to workplaces in anatomical institutes of German universities, although it is not always complied with. The occupational exposure limit value is exceeded both during the fixing of donated bodies and in practical anatomy teaching. Technical and organisational measures have to be taken, as the scope for substituting formaldehyde is limited. After extensive investigations, the collection of hazardous substances with the aid of extractors integrated in preparation tables and with ventilation was found to be absolutely essential. Since the two systems must be mutually compatible, a research project, as briefly outlined here, is necessary.

1 Einleitung

Formaldehyd ist einer der wichtigsten organischen Grundstoffe in der chemischen Industrie und dient als Ausgangsstoff für eine Vielzahl anderer chemischer Verbindungen. Im Gesundheitsdienst wird Formaldehyd heute zum Beispiel als Wirkstoff in sehr wirksamen Flächendesinfektionsmitteln eingesetzt sowie zur Fixierung und Konservierung

von humanem oder tierischem Gewebe für die Anatomie und Pathologie verwendet.

2 Einstufung, Kennzeichnung und Grenzwerte von Formaldehyd

2.1 Einstufung und Kennzeichnung

Im Jahr 2004 hat eine Arbeitsgruppe der International Agency for Research on Cancer (IARC) ihre Einstufung von Formaldehyd aus dem Jahre 1995 von Gruppe 2A (Verdacht auf krebserzeugende Wirkung) in Gruppe 1 (humankarzinogen) geändert. Dadurch rückte dieser Stoff – wegen seiner breiten Anwendung – in den Fokus der Diskussionen über die berufliche Exposition gegenüber Formaldehyd [1; 2].

Die zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt veröffentlichte Verordnung (EU) Nr. 605/2014 der Kommission vom 5. Juni 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-Verordnung) sieht eine Änderung der Einstufung und Kennzeichnung für Formaldehyd vor, die zum 1. April 2015 vorzunehmen war [3; 4] (Tabellen 1 und 2). Mit der Verordnung (EU) Nr. 491/2015 vom 25. März 2015 ist der Umsetzungsstermin auf den 1. Januar 2016 verschoben worden [5].

Formaldehydhaltige Lösungen mit einer Konzentration zwischen 0,2 und 4 %, wie sie in der Anatomie zum Einsatz kommen, müssen mit dem Gefahrenhinweis H317 und mit dem Piktogramm GHS 07 „Ausrufezeichen“ gekennzeichnet werden.

2.2 Grenzwerte

Mit dem Inkrafttreten der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [6] in der Fassung vom 25. Dezember 2004 wurden Luftgrenzwerte für Stoffe mit krebserzeugenden und erbgutverändernden Eigenschaften für ungültig erklärt, da Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) arbeitsmedizinisch-toxikologisch abgeleitet sein müssen. Daher wurde auch der bis dahin geltende Luftgrenzwert für Formaldehyd von 0,62 mg/m³ bzw. 0,5 ml/m³ aus der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 gestrichen [7].

In Fällen, in denen vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) kein AGW für einen Gefahrstoff festgelegt wurde, ermöglicht die TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ [8], zur Beurteilung der Expositionssituation an Arbeitsplätzen auch andere Maßstäbe heranzuziehen. So hat die Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (MAK-Kommission) im Jahr 2000 einen Grenzwert (MAK-Wert) für Formaldehyd in Höhe von 0,37 mg/m³ bzw. 0,3 ml/m³ mit dem Überschreitungsfaktor von 2 für die Spitzenbegrenzung festgelegt. Für Stoffe der Kategorie I, bei denen die lokale Reizwirkung grenzwertbestimmend ist, oder atemwegssensibilisierende Stoffe sollte der Momentanwert von 1,2 mg/m³ bzw. 1 ml/m³ nicht überschritten werden [9].

Dipl.-Ing. Ingrid Thullner,
Unfallkasse Hessen, Frankfurt am Main.

Dipl.-Ing. Reinhard Stockmann,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

Dipl.-Ing. Ludger Hohenberger,
Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Münster.

Tabelle 1. Einstufung und Kennzeichnung von Formaldehyd.

Einstufung (Gefahrenklasse, Gefahrenkategorie)	Gefahrenhinweise (H-Satz)	Piktogramm Signalwort
Kanzerogenität, Kategorie 1B (bisher Kanzerogenität Kategorie 2)	H350: Kann Krebs erzeugen	
Keimzellmutagenität, Kategorie 2 (bisher nicht eingestuft)	H341: Kann vermutlich genetische Defekte verursachen	
Akute Toxizität, Kategorie 3, Einatmen*	H331: Giftig bei Einatmen	
Akute Toxizität, Kategorie 3, Hautkontakt*	H311: Giftig bei Hautkontakt	
Akute Toxizität, Kategorie 3, Verschlucken*	H301: Giftig bei Verschlucken	
Ätzwirkung auf die Haut, Kategorie 1B	H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	
Sensibilisierung der Haut, Kategorie 1	H317: Kann allergische Hautreaktionen verursachen	
* Mindesteinstufung		„Gefahr“

Tabelle 2. Stoffspezifische Konzentrationsgrenzen für die Einstufung und Kennzeichnung von formaldehydhaltigen Gemischen nach Verordnung (EU) 605/2014.

Formaldehyd-konzentration C im Gemisch in %	Gefahrenklasse, -kategorie	Gefahrenhinweise (H-Sätze)	Hinweis auf besondere Gefahren (R-Sätze)
$C \geq 25$	Ätzwirkung auf die Haut, Kat. 1B	H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	T; R23/24/25, C; R34, R43
$5 \leq C < 25$	Reizwirkung auf die Haut, Kat. 2	H315 Verursacht Hautreizungen	Xn; R20/21/22, Xi; R36/37/38, R43
$5 \leq C < 25$	Augenreizung, Kat. 2	H319 Verursacht schwere Augenreizung	
$C \geq 5$	Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition), Kat. 3 – Atemwegsreizung	H335 Kann die Atemwege reizen	–
$C \geq 0,2$	Sensibilisierung der Haut, Kat. 1	H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen	R43

Der AGS hat im November 2014 für Formaldehyd einen AGW in Höhe von 0,57 mg/m³ bzw. 0,5 ml/m³ mit dem Überschreitungsfaktor 2 (I) für die Spitzenbegrenzung festgelegt und in die TRGS 900 aufgenommen [7]. Dieser ist mit der Bemerkung „Y“ versehen: Ein Risiko der Fruchtschädigung ist bei Einhaltung des AGW nicht zu befürchten. Für Formaldehyd ist in der TRGS 900 außerdem die Bemerkung „X“ ausgewiesen. Das bedeutet, dass es sich um einen Stoff der Gefahrenklasse „Kanzerogener Stoff der Kategorie 1A oder 1B“ handelt und zusätzlich die Anforderungen des § 10 GefStoffV zu beachten sind.

3 Expositionen gegenüber Formaldehyd im Gesundheitsdienst

Über Untersuchungen zur Expositionssituation gegenüber Formaldehyd bei Tätigkeiten im Gesundheitsdienst wurde im Laufe der letzten Jahre wiederholt in Fachzeitschriften berichtet. Bereits im Jahr 2003 widmete sich Heft 7/8 dieser Zeitschrift dem Thema Formaldehyd. Parallel zu den Ermittlungen in der Pathologie hat die Unfallkasse Hessen auch die Expositionssituation gegenüber Formaldehyd im veterinäranatomischen Praktikum angehender Tierärzte und bei den vorbereitenden Tätigkeiten für das studentische Praktikum untersucht und veröffentlicht [10 bis 18]. Bis dahin wurden nur vereinzelt Untersuchungen im humananatomischen Praktikum durchgeführt, die auffällig hohe Expositionen zeigten. Aus diesem Grund wurde das

Projekt „Reduzierung der Formaldehydexposition im anatomischen Praktikum“ initiiert.

4 Formaldehyd in der Humananatomie

In der Geschichte der Anatomie und Pathologie war die Suche nach geeigneten Fixier- und Konservierungsmethoden Gegenstand vieler Untersuchungen. Eine hohe Diffusionsgeschwindigkeit, gleichmäßige und schnelle Durchdringung der Gewebe, schnelle Denaturierung der Eiweißstoffe, gleichmäßige Gewebehärtung, Eignung zur Fettstabilisierung, leichte Löslichkeit in Wasser, hohe Wirksamkeit gegen Mikroorganismen usw. zeichnen ein Fixiermedium aus [19]. Diese Anforderungen erfüllen wässrige Formaldehydlösungen.

4.1 Fixierung und Konservierung

Für das anatomische Praktikum werden fixierte Körperspenden benötigt. Zur Fixierung der Körperspenden stellen medizinische Sektions- und Präparationstechnische Assistentinnen und Assistenten die notwendige Fixierlösung frisch her. Dazu werden die Komponenten der Fixierlösung (u. a. Formaldehyd, Ethanol, Phenoxyethanol) mittels Messbecher abgemessen, in den Fixierbehälter eingefüllt und mit Wasser verdünnt. Für die Fixierung einer Körperspende werden 15 bis 30 l Fixierlösung benötigt. Die Rezepturen der Fixierlösungen sind je nach Institut unterschiedlich. Die Fixierlösung wird mittels Infusion in die Körperspenden eingeführt. Dazu müssen die Präparatoren entweder die Beinschlagader (*Arteria femoralis*) oder die Halsschlagader (*Arteria carotis*) der Körperspende freilegen, wobei eine Infusionslanze in die Arterie eingeführt und die Fixierlösung mit einem Druck von maximal 0,5 bar eingebracht wird. Die Fixierung kann mehrere Stunden dauern, insbesondere dann, wenn stark sklerotische Körperspenden fixiert werden. In diesen Fällen ist es notwendig, zusätzlich per Injektion (subkutan) in die Fingerkuppen und Zehen Fixier- oder Formaldehydlösung (in der Regel 4%ig) nachzuspritzen. Damit die fixierten Körperspenden präpariert werden können, müssen sie nach der Fixierung mehrere Monate konserviert werden. Diese Konservierung erfolgt entweder in Anlagen (Thalheimer-Wand), in denen die Präparate in zeitlichen Intervallen mit einer 4%igen Formaldehydlösung berieselt werden, oder durch mehrmonatige Einlagerung in Edelstahlbecken mit 4%iger formaldehydhaltiger oder formaldehydfreier Lösung – z. B. auf der Basis von Phenoxyethanol oder Ethanol.

4.2 Lagerung

Die Lagerung der Körperspenden erfolgt üblicherweise in Kellerräumen – in der Thalheimer-Wand oder Wannen

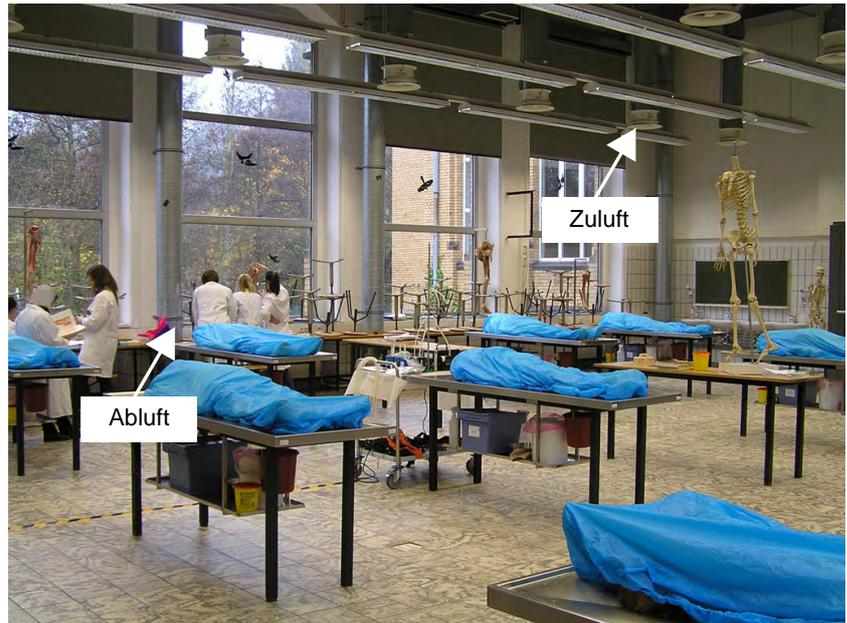


Bild 1. Nicht mit einer Absaugung versehene Präpariertische mit aufgelegten Körperspenden.



Bild 2. Praktikum im Präpariersaal.

oder „trocken“ in Foliensäcken – und über einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren.

4.3. Anatomisches Praktikum

Für das Praktikum werden die fixierten Körperspenden von den Präparatoren in den Präpariersälen auf Präpariertische aufgelegt (Bild 1) und mit getränkten Tüchern und Folien abgedeckt, um ein Austrocknen zu verhindern. Im Laufe des Praktikums müssen die Präparate zwischendurch abgesprüht und „feucht“ gehalten werden. Dazu werden Sprühflaschen verwendet, die in der Regel die Tuchlösung enthalten. Während des Praktikums werden die Abdecktücher in Behältern mit der Tuchlösung aufbewahrt. Deren Bestandteile sind Wasser, Ethanol, Glycerin, Diethylenglykol und/oder Thymol, Phenol, selten auch Formaldehyd.

Tabelle 3. Kennzahlen zum anatomischen Praktikum.

Standort	Maximal mögliche Anzahl der Körperspenden im Praktikum	Maximal mögliche Anzahl der Studierenden pro Praktikum	Durchschnittliche Anzahl der Studierenden pro Tisch	Durchschnittliche Anzahl aller Personen pro Tisch ¹
A	23	150	7	8 bis 9
B	keine Angaben			
C	20	200	10	12 bis 14
D	20	240	12	13
E	20	240	12	13 bis 14
F	24	140	6	6 bis 8
G	32	360	11	13
H	10	120	12	13 bis 14
I	28	280	10	10 bis 14
J	22	240	11	12
K	40	390	10	10 bis 14
L	keine Angaben			
M	24	120	5	9
N	21	240	12	14
O	46	480	10	13
P	20	200	10	12
Q	20	200	10	10
R	19	160	8	11 bis 12

¹ Die Personen stehen meist in zwei Reihen um einen Tisch (vergleiche Bild 2).

Anatomische Präpariersäle verfügen in der Regel über zehn bis 20 Präpariertische. Während des Praktikums gruppieren sich um einen Präpariertisch Studierende, eine Dozentin oder ein Dozent und/oder eine wissenschaftliche Hilfskraft (Bild 2, Tabelle 5).

5 Ermittlung der Expositionssituation im anatomischen Praktikum

Nach Abschluss des Projektes der Unfallversicherungsträger „Formaldehydexpositionen in Pathologien“ hat die Unfallkasse Hessen auch die Expositionssituation von Dozentinnen und Dozenten sowie Studierenden in Praktika ausgewählter Institute für Anatomie ermittelt. Trotz hoher Frischluftvolumenströme (hohe Luftwechselzahlen) in den Präpariersälen wurden Formaldehydbelastungen oberhalb des MAK-Wertes festgestellt (siehe Abschnitt 7).

Die Expositionszeit für Studierende des ersten bis dritten Semesters beträgt mindestens vier Stunden pro Woche, die der Dozentinnen und Dozenten vier bis acht Stunden pro Tag. In vielen Instituten findet das anatomische Praktikum ausschließlich im Wintersemester statt.

Da diese Situation vermutlich auch auf andere Anatomien übertragbar ist, wurde ein bundesweites Projekt zur „Reduzierung der Formaldehydkonzentration an den Präpariertischen in Präpariersälen durch verbesserte Lüftungstechnik“ unter der Leitung des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) gestartet. Zur allgemeinen Bewertung der Expositionssituation – sowohl bei der Fixierung, Konservierung und Lagerung als auch im Praktikum – zeigte sich, dass nur unzureichende Informationen und Erkenntnisse bei einzelnen gesetzlichen Unfallversicherungsträgern vorlagen.

Damit eine strukturierte Datenerhebung stattfinden konnte, wurde zunächst ein Fragebogen zur Expositions- und Lüftungssituation entwickelt, der neben den allgemei-

nen Informationen zum Institut, zum Beispiel Standort und Ansprechpartner, folgende Punkte enthielt:

- Ermittlung der Fixier- und Konservierungsverfahren sowie der Art der Lagerung,
- Ermittlungen zur Ausstattung der Präpariersäle und zum organisatorischen Ablauf des anatomischen Praktikums,
- Ermittlungen zu den relevanten Gebäudeparametern, speziell zur vorhandenen Lüftungstechnik.

Die Fragebögen wurden den Instituten für Anatomie vorab zugesandt. Da die Fragebögen sehr komplex waren, wurden diese vor Ort mit Beschäftigten der Institute, der technischen Abteilungen der Universitäten sowie mit Beschäftigten der Unfallkassen und des IFA abschließend gemeinsam bearbeitet.

Insgesamt haben sich 18 Einrichtungen an dem Projekt beteiligt. Hinsichtlich der Praktikumsorganisation, zum Beispiel Dauer und Zeitpunkt, waren deutliche Unterschiede feststellbar. Eine Ursache sind beispielsweise verschiedene Studienordnungen. Darüber hinaus differierte die Anzahl der Studierenden in den jeweiligen Praktika sehr. Die Betreuung durch Dozentinnen und Dozenten sowie Tutorinnen und Tutoren und weitere Aufsichtspersonen ist vergleichbar (Tabelle 5).

Deutlich unterschiedlich ist die Aufbereitung der Körperspenden. Dies ist zum einen auf die unterschiedliche Art der Fixierung, zum anderen aber auch auf die unterschiedlichen Rezepturen der Konservierungslösungen sowie die Art der Lagerung der Körperspenden zurückzuführen (Tabelle 4).

Neben der Aufbereitung der Körperspenden wurden die lüftungstechnischen Bedingungen in den Präpariersälen erfasst (Tabelle 5). In vier der besichtigten 18 Einrichtungen werden abgesaugte Tische eingesetzt. Der Absaugvolumenstrom an den Tischen war nicht überall bekannt und war dort, wo er bekannt war, sehr unterschiedlich.

Tabelle 4. Übersicht der Fixier- sowie Konservierungsverfahren und der Lagerung der Körperspenden.

Standort	Fixierung Verbrauch an reinem Formaldehyd pro Körperspende (KS) in l/KS	Art der Konservierung			Art der Lagerung
		Thalheimer-Wand mit Formaldehyd	Wanne		
			mit Formaldehyd	ohne Formaldehyd	
A	2,8		x		Wanne
B	keine Angaben		x		Wanne
C	3,0	x			Thalheimer-Wand
D	0,8		x		Wanne
E	0,9			x (Phenoxy-ethanol)	Wanne
F	0,9		x		Wanne
G	0,5		x		Wanne
H	0,9		x		Wanne
I	0,1		x		Wanne
J	0,2		x		Wanne
K	1,3			x (Ethanol)	Folie
L	0,3		x		Wanne
M	0,5	x			Thalheimer-Wand
N	0,5		x		Folie
O	0,2		x		Wanne
P	0,8		x		Wanne
Q	0,6	x			Thalheimer-Wand
R	1,0		x		Wanne

Tabelle 5. Lüftungstechnische Kennzahlen (k. A.: keine Angaben).

Standort	Tischabsaugung ja/nein	Luftführung		Flächenbezogener Zuluftvolumen- strom in m ³ /m ² · h	Luftwechsel- rate η in h ⁻¹
	(Volumenstrom in m ³ /h, Tisch)	Zuluft	Abluft		
A	900	Laminarflowelement	Tisch	36	7
B	ja (k. A.)		Tisch und bodennah	46	8
C	nein	Laminarflowelement	bodennah	83	27
D	nein	Laminarflowelement	bodennah	55	22
E	nein	Deckendurchlass	bodennah	37	7
F	nein	Deckendurchlass	bodennah	30	9
G	nein	Deckendurchlass	bodennah	12	3
H	nein	Laminarflowelement	bodennah	48	16
I	nein	Deckendurchlass	bodennah	64	23
J	nein	Laminarflowelement	Tischhöhe	65	18
K	nein	Deckendurchlässe	Deckendurchlässe	30	9
L	nein	Laminarflowdecke	bodennah	(k. A.)	(k. A.)
M	nein	Laminarflowelement	bodennah	66	22
N	nein	Deckendurchlass	bodennah	42	6
O	360	Textilluftdurchlässe (ca. 3 bis 4 m über dem Boden)	Tisch und bodennah	100	17
P	1 000	Laminarflowelement	Tisch, alternativ bodennah	55	18
Q	nein	Laminarflowelement	bodennah	66	19
R	nein	Laminarflowelement	bodennah	81	28

In allen Anatomiesälen erfolgt die Zuluft oberhalb der Präpariertische und soll eine Raumluftrömung von oben nach unten erzeugen. Die Abluft wird immer bodennah abgeführt. Diese Luftführung unterstellt, dass Formaldehyddämpfe schwerer sind als Luft. In den im Rahmen des

Projektes untersuchten Fällen zeigte sich jedoch, dass ein Teilluftstrom an den Personen um den Anatometisch nach oben strömt. Diese Strömungsuntersuchungen werden durch die ermittelten Formaldehydkonzentrationen in der Raumluftr bestätigt.

Tabelle 6. Messergebnisse für Formaldehyd in ausgewählten Instituten.

Anatomie-Standort	Messergebnisse (personengetragen) bei der Präparation der Körperspenden (mittlere Raumtemperatur in °C)		
	Maximalwert in mg/m ³	Minimalwert in mg/m ³	Arithmetischer Mittelwert in mg/m ³ (Anzahl n)
A	1,0 (20)	0,21 (20)	0,44 (27)
C	2,5 (20)	0,42 (20)	1,14 (24)
E	0,8 (25)	0,37 (20)	0,57 (8)
I	0,79 (14)	0,18 (14)	0,41 (18)
N	1,9 (20)	0,31 (18)	0,57 (21)

Tabelle 7. Verbrauch an reinem Formaldehyd pro Körperspende bei der Fixierung.

Standort	A	C	E	I	N
Formaldehydverbrauch in l	2,8	3,0	0,9	0,1	0,5

Tabelle 8. Berechnete Formaldehydemissionsrate pro Körperspende (KS).

Standort	Raumluftbezogene Messergebnisse in mg/m ³	Formaldehydemissionsrate pro Körperspende (berechnet aus der Raumluftkonzentration und dem Zuluftvolumenstrom) in mg/(h,KS)
A	0,31	275
C	0,79	652*
E	0,41	427
I	0,16	218
N	0,34	291

* Im Vergleich zu den anderen Anatomien höherer Formaldehydverbrauch bei der Konservierung.

6 Messstrategie und Handlungsanleitung zur Durchführung vergleichbarer Messungen

Alle Messungen basieren auf der Messstrategie der Unfallkasse Hessen, die im Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger dokumentiert wird. Diese Messstrategie wurde zur besseren Nachvollziehbarkeit in einer Handlungsanleitung, erstellt vom IFA, der Unfallkasse Hessen und der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, zusammengefasst. Die Handlungsanleitung beschreibt eine verbindliche Vorgehensweise für die Probenahmen und Messungen einschließlich der Datenerfassung und soll den am Projekt beteiligten Unfallversicherungsträgern helfen, die Messungen vor Ort durchzuführen. Folgende Tätigkeitsbereiche werden dabei betrachtet:

- Fixierung von Körperspenden einschließlich Reinigungstätigkeiten durch die medizinischen Sektions- und Präparationstechnischen Assistentinnen und Assistenten,
 - Tätigkeiten im anatomischen Praktikum
 - Präparation durch Studierende, Tutoren, Dozenten sowie Dozentinnen,
 - Aufsicht während des Praktikums durch Dozenten/innen bzw. Präparator/innen,
 - zwecks Beurteilung der Schichtmittel- und Kurzzeitwerte gemäß TRGS 402 sind personengetragene sowie zeitlich parallel stationäre Messungen durchzuführen. Die Proben-träger für die Messungen vor Ort wurden vom IFA zur Verfügung gestellt und dort anschließend analysiert.
- Das eingesetzte Standard-Probenahmeverfahren für Formaldehyd ist unter der Kennzahl 6045 in der IFA-Arbeitsmappe beschrieben [20]. Parallel zur Standard-Probenahme erfolgten Messungen des zeitlichen Konzentrationsverlaufes mit direkt anzeigenden

den Messsystemen. Als Messgerät für orientierende Messungen wurde der Formaldehyd-Analysator 4100-1000b der Fa. Ansyco mit einer Nachweisgrenze von 0,05 ppm und einem Messbereichsende von 1 ppm eingesetzt werden.

6.1 Messungen während der Fixierung

Entsprechend der Handlungsanleitung wurden möglichst alle an der Fixierung beteiligten Personen mit einem personengetragenen Probenahmesystem ausgestattet. Dabei sollten folgende Tätigkeiten erfasst werden:

- Herstellung der Fixierlösung,
- Fixierung der Körperspende, einschließlich der Überführung der Körperspende zur Konservierung,
- Reinigung des Arbeitsbereiches im Vorbereitungsraum (sofern sie direkt im Anschluss erfolgt).

Am Kopfende des Präpariertisches wurde während der Fixierung immer auch eine stationäre Messung über die Gesamtdauer der oben genannten Tätigkeiten durchgeführt. Ebenso waren die Kurzzeitwerte über die Gesamtdauer der Fixierung und ggf. einschließlich der Reinigungstätigkeiten zu ermitteln.

Bei personengetragenen Messungen nach dem Standardmessverfahren für Formaldehyd während der oben beschriebenen Tätigkeiten wurden sowohl der Schichtmittelwert als auch der Überschreitungsfaktor 2 überschritten. Bei Messungen mit dem oben genannten direkt anzeigenden Messgerät wurde bei diesen Tätigkeiten der Messbereich meistens überschritten.

6.2 Messungen im anatomischen Praktikum

Im anatomischen Praktikum wurden die Messungen bei der Präparation des Muskelgewebes (nach Abpräparation der Haut) und/oder bei der Öffnung des Thorax/Bauchraums

durchgeführt. Im Präpariersaal erfolgten die Messungen an mindestens zwei Tischen und an mindestens zwei Praktikumstagen über die gesamte Dauer des Praktikums. Je Tisch wurden zwei Studierende und eine Dozentin oder ein Dozent sowie eine Tutorin oder ein Tutor mit personengetragenen Probennahmesystemen ausgestattet. Das Gleiche galt für die Aufsicht im Saal.

7 Ergebnisse der bisherigen Ermittlungen (Messungen/Untersuchungen)

Bisher wurden in fünf Einrichtungen Messungen im anatomischen Praktikum durchgeführt (Tabelle 6). Die Auswahl der Anatomien erfolgte anhand der eingesetzten Lüftungstechnik sowie anhand der Menge des verwendeten Formaldehyds (Tabelle 7) – speziell bei der Fixierung. Körperspendenspezifische Verbrauchsangaben konnten für die Konservierung und Lagerung nicht ermittelt werden.

Aus den raumluftbezogenen Messergebnissen und dem Gesamtluftaustausch kann eine Emissionsrate pro Körperspende qualitativ abgeschätzt werden (Tabelle 8).

Da keine Messwerte für die Abluft vorlagen, wurden für die Abschätzung (Berechnung) Werte von Messorten herangezogen, die nicht direkt an den Körperspenden lagen, sondern eher die allgemeine Hintergrundbelastung des Raumes darstellen, wie z. B. die der Aufsicht oder der stationären Messungen im Raum.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Freisetzung von Formaldehyd in die Raumluft abhängig ist von der Gesamtaufnahme von Formaldehyd während der Fixierung, Konservierung und Lagerung. Darüber hinaus hat sich herausgestellt, dass

- eine niedrige Raumtemperatur während der Praktika,
 - eine niedrige Grundbelastung im Präpariersaal (Körperspenden werden nur bei Bedarf aufgelegt und anschließend z. B. in abgesaugten Schränken aufbewahrt),
 - eine ausreichende Raumgröße/-höhe des Präpariersaals (Verdünnungseffekt),
 - Konservierungsmethoden ohne Formaldehyd (Standort E), „trockene“ Lagerung in Foliensäcken (Standort N) (Tabelle 4),
 - die Durchführung der Praktikumsvorbereitung (Absprühen der Körperspenden mit Wasser nach Entnahme aus Wannen oder Thalheimer-Wand und das Aufdecken der Körperspenden vor dem jeweiligen Praktikum),
 - eine geringere Anzahl von Körperspenden im Präpariersaal,
 - eine geringere Anzahl von Studierenden an einem Präpariertisch,
- zu einer Verringerung der Formaldehydexposition im Praktikumsbetrieb beitragen und außerdem
- der Luftaustausch und die Luftführung von entscheidender Bedeutung sind,
 - bei der Auslegung der Raumlufttechnischen Anlagen ein besonderes Augenmerk auf die thermischen Lasten (z. B. Raumbelastung, Heizung, Beleuchtung) zu legen ist,
 - allein der Einsatz abgesaugter Präpariertische nicht ausreicht, um den AGW sicher zu unterschreiten und die üblicherweise vorhandenen Tische für den Praktikumsbetrieb lüftungstechnisch überarbeitet werden sollten.



Bild 3. Luftströmungsuntersuchungen mittels Theaternebel.

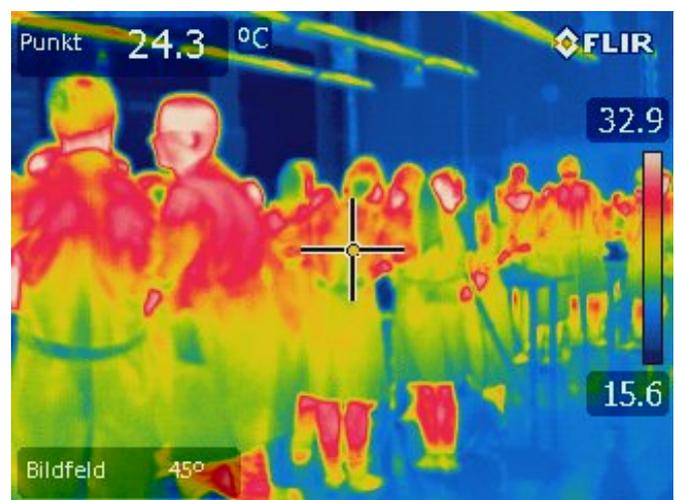


Bild 4. Thermografieaufnahme der Studierenden (vergleiche Bild 2).

8 Expositionsminimierung durch Optimierung der Raumdurchströmung (Ergebnis eines Versuchs am Standort N)

Bei den strömungstechnischen Untersuchungen parallel zu den Gefahrstoffmessungen in verschiedenen Anatomiesälen wurde auch mittels Theaternebel die Strömung oberhalb der Präpariertische untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass an den Personen, die um den Tisch stehen, die Luft nach oben strömt (Bilder 3 und 4), obwohl infolge der installierten Lüftungstechnik (Deckenzuluft und bodennahe Abluft) eine Strömung von oben nach unten erfolgen sollte (Bild 5). Daraus ergibt sich eine unerwünschte Mischlüftung, sodass sich eine hohe allgemeine Formaldehydkonzentration im Präpariersaal einstellt.

Aus den oben genannten Gründen erfolgten am Standort N einfache und preisgünstige lüftungstechnische Umbaumaßnahmen mit dem Ziel, die Formaldehydkonzentration zu senken. Das Institut N wurde gewählt, weil es zwei nahezu identische Präpariersäle besitzt (Tabelle 9) und eine ausschließlich für die Belüftung dieser beiden Säle installierte raumlufttechnische Anlage. Dadurch konnten die Ergebnisse der lüftungstechnischen Umbaumaßnahmen in Saal 2 direkt mit Saal 1 verglichen werden (Bilder 5 und 6).

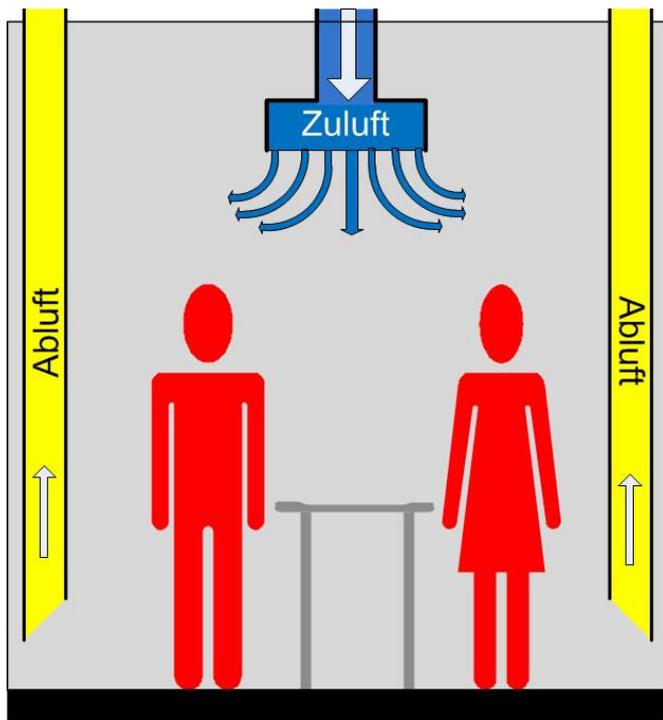


Bild 5. Saal 1 – herkömmliche Luftführung von oben nach unten.

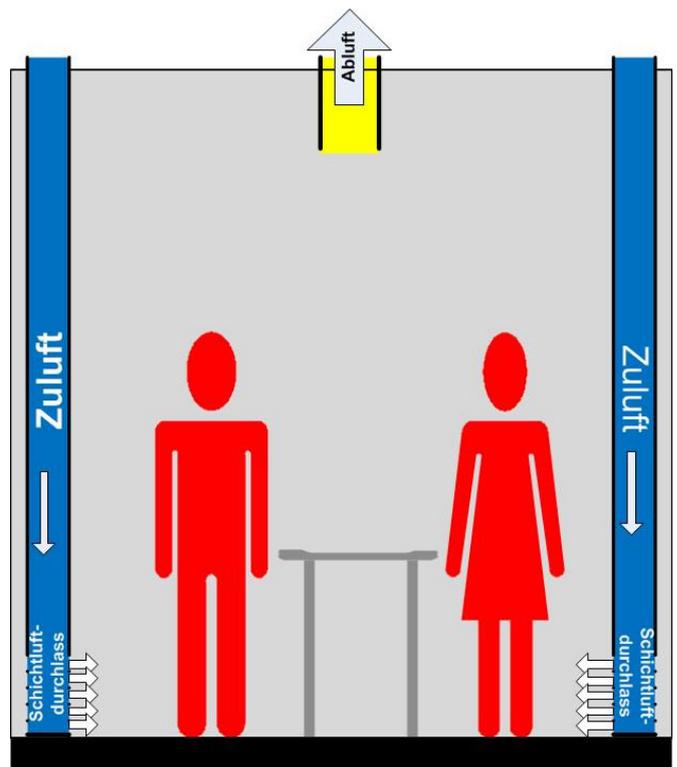


Bild 6. Saal 2 – veränderte Luftführung (Schichtlüftung) von unten nach oben.

Tabelle 9. Kenndaten der beiden Präpariersäle (Standort N).

Kenndaten	Präpariersaal 1	Präpariersaal 2
Raumfläche (A) in m ²	210	207
Raumvolumen (V) in m ³	1532	1440
Luftwechselzahl (η) in h ⁻¹	6,5	5,2
Luftaustauschvolumenstrom (V̇) in m ³ /h	10000	7500
Anzahl der Körperspenden (n)	11	10

Für diesen Vergleich lässt sich mithilfe von Gl. (1) und (2) die Höhe der Formaldehydkonzentration abschätzen. Dabei wird angenommen, dass die Emissionsrate an Formaldehyd pro Körperspende in beiden Sälen gleich ist:

$$C_{\text{Saal}} = \frac{\text{Anzahl}_{\text{Körperspenden}} \cdot \dot{E}_{\text{Körperspende}}}{V_{\text{Raum}} \cdot \eta} \quad (1)$$

$$\frac{C_{\text{Saal1}}}{C_{\text{Saal2}}} = \frac{\text{Anzahl}_{\text{Körperspenden(Saal1)}} \cdot V_{\text{Raum(Saal2)}} \cdot \eta_{\text{Saal2}}}{\text{Anzahl}_{\text{Körperspenden(Saal2)}} \cdot V_{\text{Raum(Saal1)}} \cdot \eta_{\text{Saal1}}} \quad (2)$$

mit

C_{Saal} = Konzentration an Formaldehyd im Saal in mg/m³

$\text{Anzahl}_{\text{Körperspenden}}$ = Anzahl der im Saal befindlichen Körperspenden

$\dot{E}_{\text{Körperspende}}$ = Formaldehydemissionsrate pro Körperspende in mg/h

V_{Raum} = Raumvolumen in m³

η = Luftwechselzahl in h⁻¹

Aus Gl. (2) ergibt sich im vorliegenden Fall, dass die Formaldehydkonzentration in Präpariersaal 1 im Mittel um ca. 15 bis 20 % niedriger sein müsste als im Präpariersaal 2. Nach Beendigung der lufttechnischen Umbaumaßnahmen wurden Formaldehydmessungen zur Überprüfung der

Wirksamkeit gemäß der Handlungsanleitung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Konzentration im Mittel in Saal 2 niedriger liegt als in Saal 1 (Tabelle 10). Die veränderte Luftführung (Bilder 5 und 6) bewirkt somit eine Konzentrationsabsenkung für den Präpariersaal 2. Für Personen, die unmittelbar an den Präpariertischen stehen, ist die geänderte Luftführung aber nicht ausreichend. Dies zeigt sich insbesondere dann, wenn einzelne Messwerte für die Präparierenden betrachtet werden.

Um den AGW von 0,37 mg/m³ nachhaltig einzuhalten, ist es somit erforderlich, neben einer lastmindernden Raumlufttechnik eine „Direkterfassung“ an den jeweiligen Präpariertischen vorzusehen. Zu diesem Zweck wurde ein Forschungsvorhaben unter Federführung des IFA und den am Projekt beteiligten Unfallversicherungsträgern (Unfallkassen Hessen, Nordrhein-Westfalen, Nord, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt, Saarland, Baden-Württemberg und Berlin) initiiert.

9 Forschungsvorhaben – erweitertes Lüftungskonzept zur Expositionsminde rung von Formaldehyd in der Anatomie

Das IFA hat gemeinsam mit einem langjährig erfahrenen Partner für Gebäude- und Anlagentechnik ein Forschungsvorhaben initiiert, das ein Konzept für einen lufttechnisch aktiven Präpariertisch und eine Raumlufttechnische Anlage für einen Präpariersaal umfasst. Beide Systeme – Direkterfassung an den Tischen und Raumlufttechnik – müssen unter Berücksichtigung der insbesondere an den Tischen

Tabelle 10. Ergebnisse (arithmetische Mittelwerte) der vergleichenden Untersuchungen zur Luftführung.

	Formaldehydkonzentration in mg/m ³	
	Saal 1	Saal 2
Saalaufsicht (personengetragen)	0,37	0,23
Stationäre Probenahme an den Kopfenden der Präparationstische (vgl. Bild 1)	0,65	0,33
Kurzzeitwertmessungen	0,45	0,31
Personengetragene Messungen (Studierende, Dozenten und Dozentinnen an Präpariertischen)	0,65	0,37
Personengetragene Messungen (Studierende, Dozenten und Dozentinnen an Präpariertischen, Maximalwerte)	1,63	1,5

auftretenden thermischen Lasten gut aufeinander abgestimmt werden.

Dem Forschungsvorhaben liegt folgendes Lastenheft zugrunde:

- Modellbau eines Versuchsraums zur lufttechnischen Prüfung von in der Praxis üblicherweise vorhandenen Präpariertischen,
- lufttechnische Prüfungen bestehender Präpariertischsysteme einschließlich gegebenenfalls möglicher baulicher Optimierungsmaßnahmen,
- Entwicklung und Bau eines Prototyp-Präparier-Modellisches im Maßstab 1 : 1,
- Erstellung und Test eines Feldmodells (Computational Fluid Dynamics Modell) für einen bestehenden Präparier-saal unter Berücksichtigung des Prototyp-Präparier-Modellisches einschließlich Erstellung einer Simulationsrechnung und Dokumentation der Berechnungsergebnisse,

- Konstruktion und Bau eines in der Praxis einsetzbaren Tischprototyps aus Edelstahl mit messtechnischer Überprüfung vor Ort durch das IFA,
- Erstellung eines rechnerischen Simulationsmodells für zwei repräsentative Präpariersäle,
- Dokumentation der Messergebnisse und Simulationsberechnungen,
- Vorschlag eines pragmatischen Lüftungskonzeptes zur Expositionsminderung von Formaldehyd in der Anatomie. Voraussichtlicher Start des Projektes wird Frühjahr/Sommer 2015 sein. Mit den Ergebnissen wird Ende 2016 gerechnet.

In einem weiteren Projekt der Unfallkasse Hessen und der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft wurden die in den anatomischen Praktika verwendeten medizinischen Einmalhandschuhe hinsichtlich ihrer Eignung bei diesen Tätigkeiten untersucht. In einer der nächsten Ausgaben dieser Zeitschrift wird über die Ergebnisse berichtet.

Literatur

- [1] IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Vol. 88 (2006). Hrsg.: International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, Frankreich. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>
- [2] Wissenschaftliche Bewertung von Formaldehyd: Neue Perspektiven für den Verbraucherschutz? BfR-Fachveranstaltung, Berlin 29. Mai 2006. Hrsg.: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin 2006. www.bfr.bund.de/de/veranstaltungen_2006.html
- [3] Verordnung (EU) 605/2014 der Kommission vom 5. Juni 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Einfügung von Gefahren- und Sicherheitshinweisen in kroatischer Sprache und zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. ABl. EU Nr. L 167 (2014), S. 36-49.
- [4] Opinion of the Committee for Risk Assessment on the proposal for the harmonised classification and labelling at EU level: Formaldehyde. Hrsg.: European Chemicals Agency (ECHA), Helsinki, Finnland, 30 November 2012. CLH-O-000003155-80-01/F. <http://echa.europa.eu/documents/10162/254a73cf-ff8d-4bf4-95d1-109f13ef0f5a>
- [5] Verordnung (EU) 2015/491 der Kommission vom 23. März 2015 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 605/2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Einfügung von Gefahren- und Sicherheitshinweisen in kroatischer Sprache und zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. ABl. EU Nr. L 78 (2015), S. 12-13.
- [6] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I, S. 1643, geänd. durch Artikel 2 des Gesetzes vom 28. Juli 2011. BGBl. I, S. 1622, durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. April 2013. BGBl. I, S. 944, und Artikel 2 der Verordnung vom 15. Juli 2013. BGBl. I, S. 2514.
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBI. (2015) Nr. 7, S. 139-140.
- [8] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI. (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. GMBI. Nr. 12 (2014), S. 254-257.
- [9] MAK- und BAT-Werte-Liste 2014. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH 2014.
- [10] Eickmann, U.: Modellierung der Formaldehydbelastung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 7/8, S. 325-330.
- [11] Kellner, R.; Thullner, I.; Funk, D.; Hallek, B.; Franke, U.; Radtke, R.; Neumann, H.-D.; Overmann, T.: Formaldehydex-

- positionen in Pathologien und Anatomien. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 7/8, S. 299-308.
- [12] *Wegscheider, W.*: Messtechnische Untersuchungen in formaldehydbelasteten Arbeitsbereichen des Gesundheitswesens. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 7/8, S. 309-315.
- [13] *Waldinger, C.; Jänecke, A.*: Ermittlung der Aldehyd-Konzentration bei der Flächendesinfektion in humanmedizinischen Einrichtungen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 7/8, S. 317-324.
- [14] *Wegscheider, W.; Thullner, I.; Walther, C.; Alles, J. U.; Gaiser, T.; Heinmöller, P.; Schraa, S.; Ziemke, K.*: Sicheres Arbeiten mit chemischen Stoffen in der Pathologie – Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege – BGW, Hamburg 2006. www.bgw-online.de, Stichwort: Pathologie.
- [15] *Hagen, C.; Müller-Bagehl, S.; Remé, T.; Thullner, I.; Wegscheider, W.*: Mutterschutz in der Pathologie. Leitfaden zur Gefährdungsbeurteilung in Pathologien bei Tätigkeiten mit chemischen und biologischen Stoffen unter besonderer Berücksichtigung des Mutterschutzes. Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege – BGW, Hamburg 2005. www.bgw-online.de, Stichworte: Pathologie, Mutterschutz.
- [16] BG/BIA-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen – Flächendesinfektion in Krankenhausstationen (Kennzahl 1039). Stand: Juli 2002. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. www.dguv.de/medien/ifa/de/pr/bg_bgia_empfehlungen/bg_bia_1039.pdf
- [17] BG/BIA-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen – Desinfektion von Endoskopen und anderen Instrumenten (Kennzahl 1038). Stand: Januar 2002. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. www.dguv.de/medien/ifa/de/pr/bg_bgia_empfehlungen/bg_bia_1038.pdf
- [18] *Thullner, I.*: Formaldehyd im Gesundheitsdienst – Ein Projekt der Unfallkasse Hessen. Hrsg.: Unfallkasse Hessen, Frankfurt am Main 2005. www.ukh.de/uploads/media/fachartikel_formaldehyd.pdf
- [19] *Becker, K.*: Minimierung der Gefahrstoffexposition in medizinischen Sektionskursen durch Einsatz von Phenoxetol. Vortrag. Anatomisches Institut der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar 2007.
- [20] IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.