

Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft

Air Quality Control

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
und Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie)

I. Thullner, R. Stockmann, L. Hohenberger

Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie): Lüftungstechnische Maßnahmen

M. Dahncke, L. Hohenberger, H. Klusmann, R. Stockmann, P. Thiel, I. Thullner

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 Wann

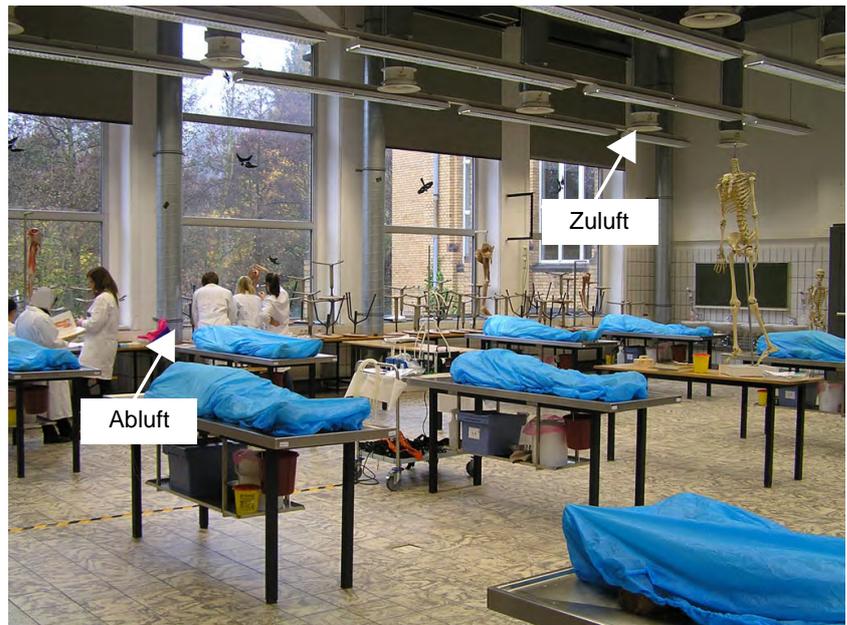


Bild 1. Nicht mit einer Absaugung versehene Präpariertische mit aufgelegten Körperspenden.



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 Anatomietisch 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.

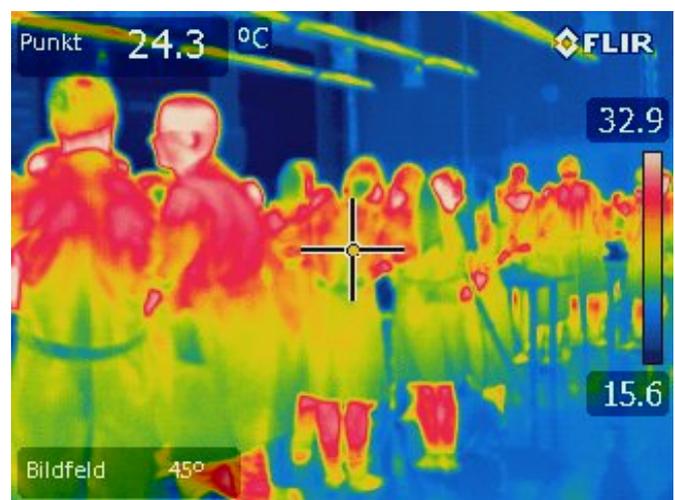


Bild 4. Thermografieaufnahme der Studierenden (vergleiche Bild 2).

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).

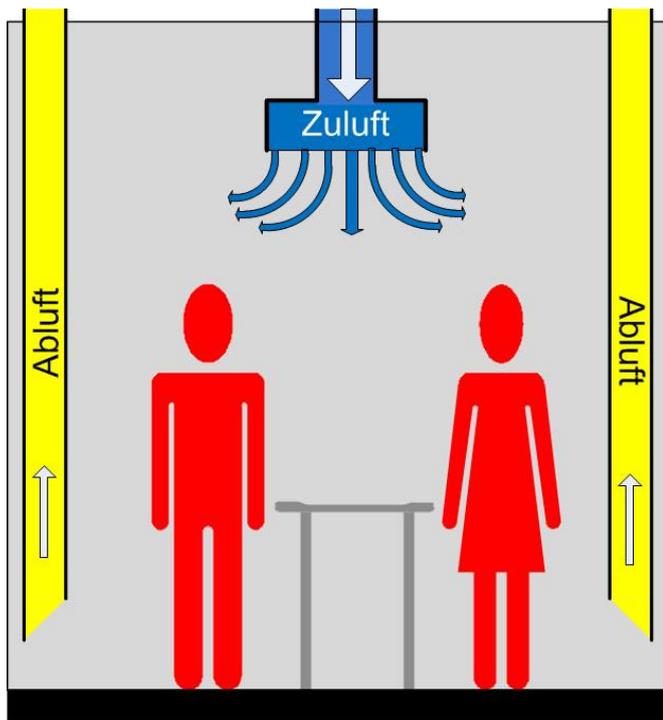


Bild 5. Saal 1 – herkömmliche Luftführung von oben nach unten.

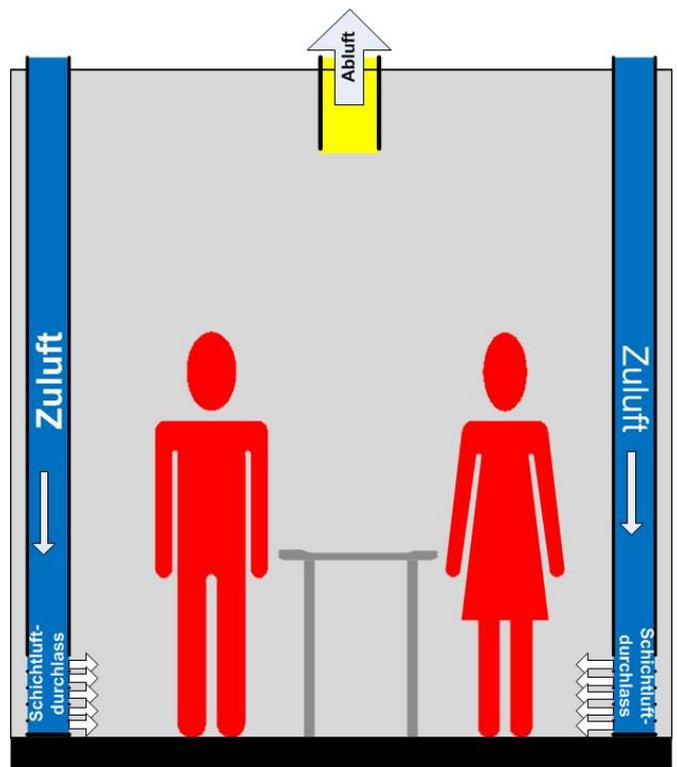


Bild 6. Saal 2 – veränderte Luftführung (Schichtlüftung) von unten nach oben.

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-Modelltisches im Maßstab 1 : 1,
- Erstellung und Test eines Feldmodells (Computational Fluid Dynamics Modell) für einen bestehenden Präparier-saal unter Berücksichtigung des Prototyp-Präparier-Modelltisches 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.

Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie)

Reduzierung der Formaldehydbelastung im anatomischen Praktikum: Lüftungstechnische Maßnahmen

M. Dahncke, L. Hohenberger, H. Klusmann, R. Stockmann, P. Thiel, I. Thullner

Zusammenfassung Gemeinsame Untersuchungen verschiedener Unfallversicherungsträger mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) haben gezeigt, dass die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes für Formaldehyd im anatomischen Praktikum eine große Herausforderung für die betroffenen Hochschulen und Universitäten darstellt. Im Rahmen des Forschungsprojektes des IFA „Konzeptentwicklung eines lufttechnisch aktiven Präpariertisches und eines Luftführungssystems für Präparationssäle zur Expositionsminderung“ wurde ein schlüssiges Konzept zur effektiven Reduzierung der Formaldehydkonzentration im anatomischen Praktikum entwickelt. Die Wirksamkeit des Konzeptes konnte inzwischen sowohl im Technikum als auch im Rahmen von Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics – CFD) nachgewiesen werden. Die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis steht kurz bevor.

Formaldehyde in preclinical medical training (anatomy) – Reduction of formaldehyde exposure during practical anatomical sessions: technical ventilation measures

Abstract Studies conducted jointly by a number of accident insurance institutions in conjunction with the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA) have shown that observing the occupational exposure limit for formaldehyde during practical anatomy sessions represents a major challenge for the universities and colleges concerned. During the IFA's research project entitled „Development of a concept for a dissection table with forced ventilation and an airflow system for dissection rooms for the reduction of exposure“, a conclusive concept was developed for effective reduction of the formaldehyde concentration arising during practical anatomy sessions. The efficacy of the concept has since been demonstrated both in a pilot installation and by flow simulations (computational fluid dynamics, CFD). Implementation of the results in the field will follow shortly.

Mike Dahncke M. Eng., Dipl.-Ing. Holm Klusmann,
Dipl.-Ing. Peter Thiel,
Fa. Rud. Otto Meyer Technik, Hamburg.
Dipl.-Ing. Ludger Hohenberger,
Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW), Münster.
Dipl.-Ing. Reinhard Stockmann,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.
Dipl.-Ing. Ingrid Thullner,
Unfallkasse Hessen (UKH), Frankfurt am Main.

1 Einleitung

Formaldehyd ist eine Grundchemikalie und wird unter anderem wegen seiner Eigenschaft, schnell Eiweißstoffe zu denaturieren und eine gleichmäßige Gewebehärtung herbeizuführen, zur Fixierung, Konservierung und Lagerung von humanem oder tierischem Gewebe und von Körperpenden eingesetzt. Deshalb findet er breite Anwendung in der Human- und Veterinär anatomie. Seitens des Chemikalienrechts ist Formaldehyd europaweit in die Gefahrenklassen Karzinogen/Kategorie 1B und Keimzellmutagen/Kategorie 2 eingestuft. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat für Formaldehyd einen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) in Höhe von 0,37 mg/m³ beziehungsweise 0,3 ml/m³ (ppm) – Spitzenbegrenzung Überschreitungsfaktor 2 – festgelegt [1; 2].

Umfangreiche Untersuchungen verschiedener gesetzlicher Unfallversicherungsträger (UVT) der öffentlichen Hand gemeinsam mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) haben gezeigt, dass die Einhaltung des AGW für Formaldehyd im anatomischen Praktikum eine große Herausforderung für die betroffenen Hochschulen und Universitäten darstellt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Grenzwerteinhalten von verschiedenen Parametern – zum Beispiel dem angewandten Fixier- und Konservierungsverfahren, der Organisation des Praktikums [1], der Wirksamkeit der Raumlufttechnischen Anlage (RLT-Anlage) einschließlich der Luftführung und der Bauart der eingesetzten Präpariertische – abhängig ist. Nur durch eine gut aufeinander abgestimmte Kombination dieser Parameter lässt sich der AGW sicher einhalten. Einzelmaßnahmen, wie beispielsweise der Austausch oder Umbau der vorhandenen Präpariertische, werden nur sehr selten zielführend sein.

Aus diesem Grunde wurde im Zuge des IFA-Forschungsprojektes „Konzeptentwicklung eines lufttechnisch aktiven Präpariertisches und eines Luftführungssystems für Präparationssäle zur Expositionsminderung“ mit einem Partner für Gebäude- und Anlagentechnik ein schlüssiges Konzept zur effektiven Reduzierung der Formaldehydkonzentration im anatomischen Praktikum entwickelt. Dieses Konzept basiert auf der direkten Erfassung der Gefahrstoffemission an einem während des Forschungsprojektes neu entwickelten Präpariertisch und einer wirksamen RLT-Anlage für Präpariersäle. Die tatsächliche Wirksamkeit des Konzeptes konnte sowohl im Technikum als auch im Rahmen von Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics – CFD) nachgewiesen werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse des Forschungsprojektes näher beschrieben.

Infokasten 1

Anlässlich des DGUV Fachgesprächs „Reduzierung der Formaldehydbelastung im anatomischen Praktikum – Lösungsansätze“ am 13. Oktober 2016 in Berlin werden die Lösungsvorschläge mit den Verantwortlichen von Wissenschaft und Lehre sowie deren Planungs- und Bauabteilungen, Fachkräften für Arbeitssicherheit, Betriebsärztinnen und -ärzten und Aufsichtspersonen der Länder und Unfallversicherungsträger vorgestellt und erörtert.

2 Bisherige Lüftungstechnische Situation in den Präparier Sälen für das anatomische Praktikum

Im Verlauf der Untersuchungen suchten die UVT gemeinsam mit dem IFA 22 anatomische Institute und Universitäten auf, um sich vor Ort unter anderem einen Überblick über die Lüftungstechnische Situation in den jeweiligen Präparier Sälen zu verschaffen. Die Zuluft in den Präparier Sälen wurde üblicherweise oberhalb der Präpariertische zugeführt. Bei dieser Art der Zuluftführung wurde davon

ausgegangen, dass sich eine Raumluftströmung von oben nach unten einstellt. Infolgedessen wurde die Abluft stets bodennah abgeführt. Diese Art der Luftführung basierte letztendlich auf der Annahme, dass Formaldehyddämpfe schwerer als Luft sind und in Richtung Boden sinken. Im Rahmen des Projektes konnte hingegen festgestellt werden, dass aufgrund der Konvektionsströmung an den Personen (thermische Auftriebsströmung) ein mit Formaldehyd belasteter Teilluftvolumenstrom in die Atemluft gelangt. Damit wird die Formaldehydexposition der anwesenden Personen in unzulässiger Weise erhöht. Dieses Phänomen konnte mit unterschiedlicher Ausprägung in Präparier Sälen sowohl mit als auch ohne Absaugung (Erfassung) an den Präpariertischen festgestellt werden [1].

Darüber hinaus war zu beobachten, dass bei der Auslegung der RLT-Anlagen in der Vergangenheit oftmals nur unzureichend die Abfuhr der thermischen Lasten berücksichtigt wurde. Hier sind beispielsweise die Raumebelegung – d. h. die zunehmende Anzahl der Studierenden –, die Heizung und die Beleuchtungseinrichtungen zu nennen.

3 Untersuchungen im wärme- und strömungstechnischen Labor

Im wärme- und strömungstechnischen Labor der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Fa. Rud. Otto Meyer Technik (ROM Technik) wurden zu Beginn des Forschungsvorhabens zunächst die Lüftungstechnischen Gegebenheiten in ausgewählten Präparier Sälen unter vergleichbaren Randbedingungen untersucht und messtechnisch bewertet. Diese Ergebnisse dienten als Vergleichs- bzw. Referenzwerte für ein neu zu entwickelndes Lüftungstechnisches Konzept. Die Zielsetzung bestand darin, eine maximale Formaldehydkonzentration von 0,20 ppm bzw. 0,25 mg/m³ bei allen bestimmungsgemäßen Tätigkeiten im anatomischen Praktikum sicherzustellen. Ein kurzzeitiger Anstieg des Konzentrationswertes für maximal 15 min auf 0,40 ppm bzw. 0,50 mg/m³ bis zu viermal pro Schicht war dabei zulässig (Überschreitungsfaktor 2).

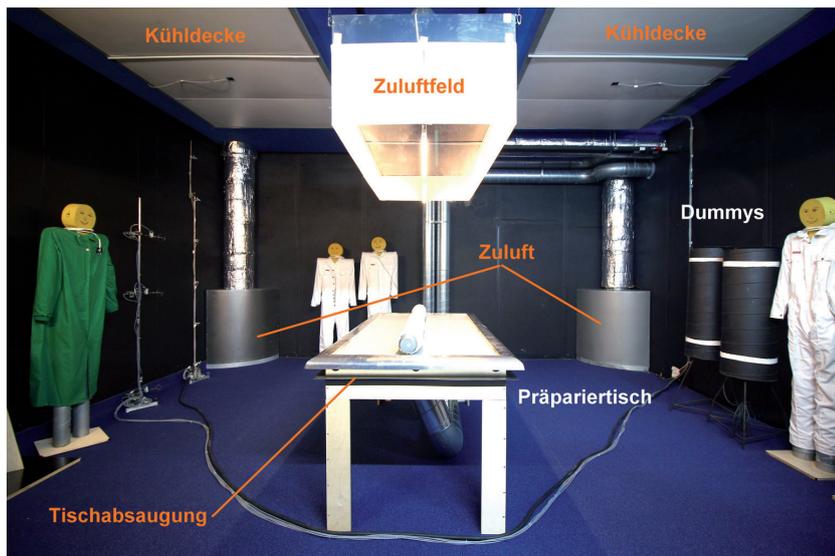


Bild 1. Blick in den Versuchsraum.

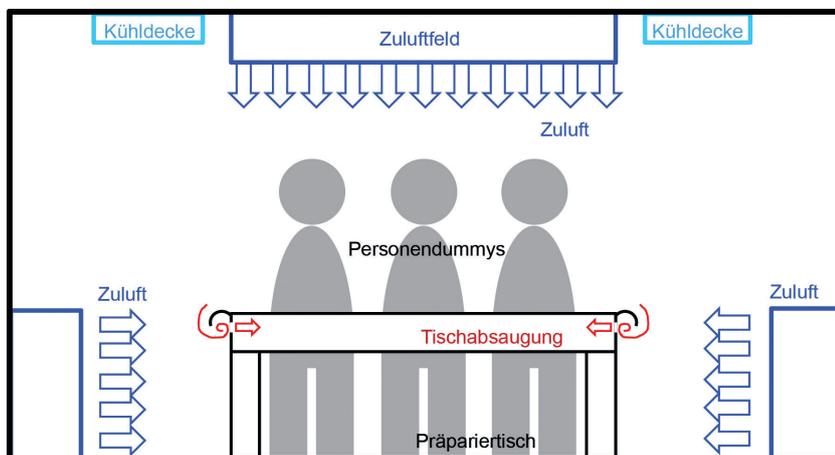


Bild 2. Prinzipieller Aufbau des Versuchsraums.

3.1 Versuchsbeschreibung

Für das Forschungsvorhaben wurde ein Teilbereich eines Präparier Saales als Ausschnitt nachgebildet, der den Präpariertisch und die unmittelbare Arbeitsumgebung umfasste. Dazu wurde im Labor ein Versuchsraum mit einer Grundfläche von 34 m² und einer Raumhöhe von 3,10 m errichtet, der die Anschlussmöglichkeit für einen abgesaugten Präpariertisch bot (siehe Bilder 1 und 2). Alle sonstigen Lüftungs- und klimatechnischen Einbauten (zum Beispiel Zu- und Abluftführung) konnten je nach dem zu untersuchenden Lüftungstechnischen System verändert und angepasst werden. Die Systeme wurden entsprechend den technischen Angaben der jeweiligen anatomischen Institute, aus denen die Systeme stammen, betrieben.

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Systeme Z, P₁, P₂, O und ROM.

* Δθ: Temperaturdifferenz zwischen der Zulufttemperatur und der Raumlufttemperatur

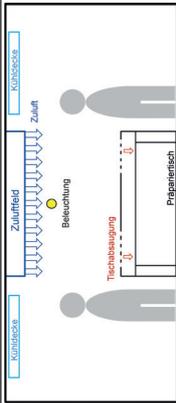
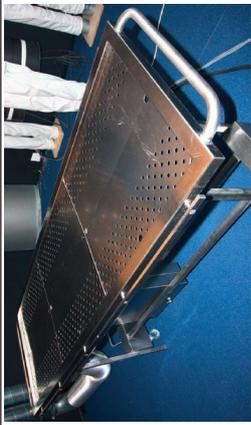
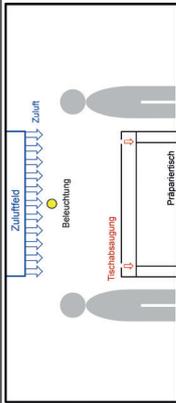
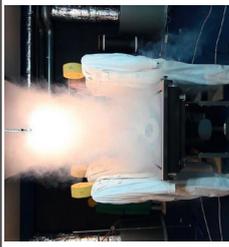
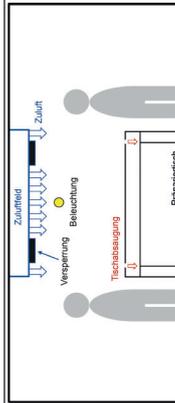
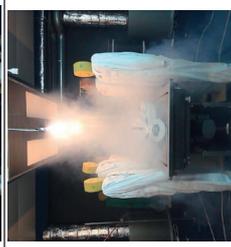
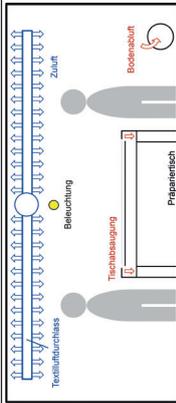
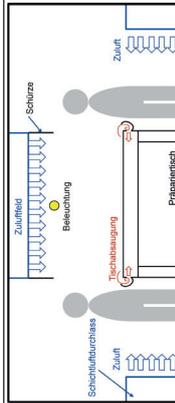
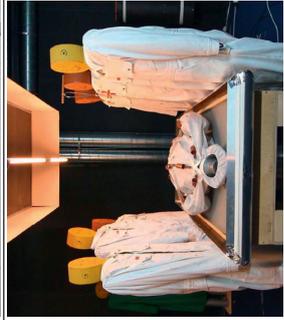
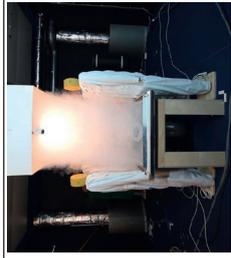
System	Skizze	Präpariertisch P ₁ , P ₂ und O: Aufnahmen vor Ort; Z und ROM: Aufnahmen im Technikum	Beschreibung	Parameter	Strömungsbild im Technikum
Z			<ul style="list-style-type: none"> - Zuluftfeld über dem Präpariertisch - Abluft über aktiv abgesaugtem Präpariertisch - Kühlldecken 	Zuluft: 650 m ³ /h Präpariertischabluf: 650 m ³ /h Δθ* = -1,5 K	
P ₁			<ul style="list-style-type: none"> - Zuluftfeld über dem Präpariertisch - Abluft über aktiv abgesaugtem Präpariertisch 	Zuluft: 1 000 m ³ /h Präpariertischabluf: 1 000 m ³ /h Δθ* = -5 K	
P ₂			<ul style="list-style-type: none"> - Zuluftfeld über dem Präpariertisch (mit Versperung durch Beleuchtungsfelder) - Abluft über aktiv abgesaugtem Präpariertisch 	Zuluft: 1 000 m ³ /h Präpariertischabluf: 1 000 m ³ /h Δθ* = -5 K	
O			<ul style="list-style-type: none"> - Zuluft über Textilschläuche - Abluft über aktiv abgesaugten Präpariertisch - Abluft im Bodenbereich 	Zuluft: 935 m ³ /h Präpariertischabluf: 360 m ³ /h Bodenabluf: 575 m ³ /h Δθ* = -2,8 K	
ROM			<ul style="list-style-type: none"> - Zuluftfeld mit Schürze über den Präpariertisch - Zuluft über Schichtluftdurchlässe - Abluft über aktiv abgesaugtem Präpariertisch unter Verwendung von ROM-Drall®-Elementen 	Zuluftfeld: 650 m ³ /h Schichtluft: 1 350 m ³ /h Präpariertischabluf: 2 000 m ³ /h Δθ* = -2,4 K	



Bild 3. Verteilung der Sensorpositionen im Versuchsraum: 1 – Person am Tisch, 2 – Raum 1,70 m, 3 – Abluft Tisch (Kanal), 4 – Zuluftfeld über Tisch, 5 – Raum 0,5 m.

Bei den vergleichenden Untersuchungen wurden sechs Personendummys um den Präpariertisch aufgestellt. Die Dummys (Größe ca. 1,75 m) schotteten strömungstechnisch den direkten Tischbereich vom Raum ab. Vier der Dummys waren mit jeweils 80 W beheizt. Über dem Präpariertisch waren zwei Leuchtstoffröhren mit einer Leistung von 45 W installiert.

Im ersten Schritt wurden drei bestehende Systeme (siehe Z, P₁, P₂, O)¹⁾ auf ihre Wirksamkeit der Absaugung miteinander verglichen. Unter System wird hier die Kombination aus Präpariertisch, Luftführungs- und Temperierungssystem verstanden (Tabelle 1).

Um bei den Systemen P₁, P₂ und O die Temperaturdifferenz zwischen der Zuluft aus dem Zuluftfeld und dem Raum so herzustellen, wie es die Vor-Ort-Messungen zeigten, wurden zusätzlich 500 W an Wärmeleistung gleichmäßig im Raum verteilt. Beim System Z ergibt sich die Temperaturdifferenz – wie auch vor Ort – durch den Einsatz einer Kühldecke (Kühlleistung 354 W).

Für die Versuchsdurchführung war die Erfassung der Temperaturdaten und der Konzentration des Testgases, hier Lachgas (N₂O), erforderlich. Die Verteilung der jeweiligen Sensorpositionen im Versuchsraum ist in Bild 3 dargestellt. Für die (sichtbare) qualitative Bewertung wurden Strömungsversuche mit Theaternebel durchgeführt. Die Strömungsvorgänge wurden dabei mittels Bild- und Filmaufnahmen dokumentiert (siehe beispielsweise Strömungsbilder in Tabelle 1).

Dabei wurde zum Beispiel erkennbar, ob ein unerwünschtes Überströmen der Luft vom Präpariertischbereich in den Versuchsraum erfolgt und damit die Gefahr des Mitreißen der auf dem Präpariertisch freigesetzten Gefahrstoffe besteht oder ob Störströmungen im Versuchsraum auftraten.

Außerdem wurde durch die Nebelversuche deutlich, dass ein Einschnüreffekt (siehe Bild 4 und Infokasten 2) bei der flächig über das Zuluftfeld zugeführten Zuluft auftrat. Ver-

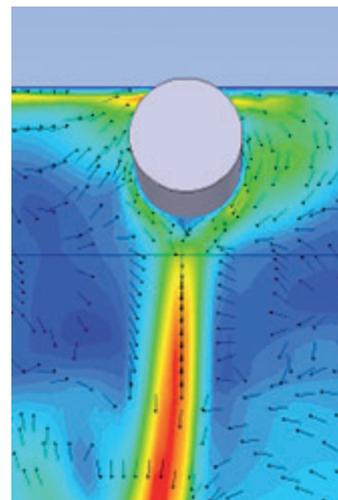


Bild 4. Einschnüreffekt am Beispiel eines Textilluftdurchlasses (die Strömungsrichtung wird durch die Pfeile, die Strömungsgeschwindigkeit durch die Farbgebung dargestellt: rot = hohe Geschwindigkeit).

mindern lässt sich dieser Effekt durch die Anbringung von Schürzen am Zuluftelement (siehe Tabelle 1, System ROM).

Infokasten 2

Einschnüreffekt: Wird Luft, die kühler ist als die Umgebungstemperatur, gleichmäßig über einen Luftdurchlass in den umgebenden Raum geführt, so erhöht sich die Geschwindigkeit der abströmenden Luft umso mehr, je höher die Temperaturdifferenz ist. Dadurch wird die abströmende Zuluft gebündelt (eingeschnürt).

Zum qualitativen und quantitativen Vergleich der Präpariertisch- und Lüftungssysteme wurde aus Gründen des Gesundheitsschutzes im Versuchsraum nicht mit Formaldehyd, sondern mit Lachgas (N₂O) gearbeitet. Die Freisetzung des Lachgases erfolgte flächig über eine Körperspendenattrappe (Bild 5).

Der freigesetzte N₂O-Massenstrom war für alle Versuchsvarianten gleich. Nach Erreichen eines quasi stationären Zustandes wurden zeitversetzt an verschiedenen Positionen im Raum sowie an einem Dummy Konzentrationsmessungen durchgeführt (Bild 3).

Anhand der Messergebnisse konnte über den Stoffbelastungsgrad (siehe Abschnitt 3.2) eine quantitative Beurteilung der Wirksamkeit der Erfassung des jeweiligen Systems erfolgen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde anschließend im Versuchsraum ein optimiertes System (ROM) entwickelt. Dieses neue System wurde den Ergebnissen der bestehenden Systeme vergleichend gegenübergestellt. Darüber hinaus wurde das ROM-System mit höherer fiktiver Personenbelegung (Wärmelast) erprobt.

Die untersuchten Bestandssysteme Z, P₁, P₂, O sowie das neu entwickelte ROM-System werden nachfolgend kurz beschrieben und sind in Tabelle 1 mit ihren wesentlichen Merkmalen gegenübergestellt.

¹⁾ Z, P, O: Synonyme für verschiedene im Rahmen des Forschungsvorhabens aufgesuchte Anatomische Institute und Universitäten [1]

3.1.1 System Z

Bei dem abgesaugten Präpariertisch des Systems Z bestand die Auflagefläche aus drei quer aufgelegten Lochblechplatten. In der Mitte der Platten verblieb ein Streifen von ca. einem Drittel der Fläche, in der keine Lochung vorhanden war. Die Absaugung des Präpariertisches erfolgte über einen unter den Platten vorhandenen Absaugkasten. Lüftungstechnisch wurde das System Z in Kombination mit einem Zuluffeld inklusive Beleuchtungseinrichtung über dem Präpariertisch und einer Kühldecke zur Kühlung der Raumluft betrieben (siehe Spalte „Skizze“ in Tabelle 1).



Bild 5. Körperspendenattrappe.

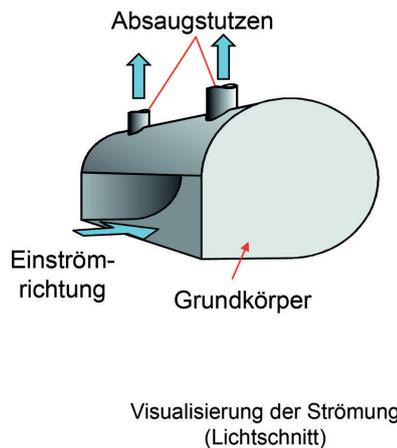


Bild 6. Darstellung des Prinzips der Wirbelströmung in einem ROM-Drall®-Element.

3.1.2 Systeme P_1 und P_2

Bei dem abgesaugten Präpariertisch des Systems P_1 – ohne teilweise Versperrung der Zuluft durch simulierte Beleuchtungselemente – bestand die Auflagefläche aus einer geschlossenen Fläche. Diese war innerhalb eines Absaugkastens so angebracht, dass sich umlaufend ein Schlitz ergab, über den der Präpariertisch abgesaugt wurde. Lüftungstechnisch wurde auch dieses System in Kombination mit einem vollständig offenen Zuluffeld über dem Präpariertisch betrieben (siehe Spalte „Skizze“ in Tabelle 1).

Bei System P_2 wurde das Zuluffeld über dem Präpariertisch zum Teil abgedeckt, um zwei Beleuchtungsfelder im Zuluffeld zu simulieren. Damit sollte aufgezeigt werden, welchen mechanischen Einfluss die im anatomischen Institut P vorhandene Beleuchtungseinrichtung auf die Strömungsverhältnisse ausübt. Ansonsten wurden die Parameter wie bei P_1 gewählt (siehe Spalte „Skizze“ in Tabelle 1).

3.1.3 System O

Der abgesaugte Präpariertisch des Systems O besaß eine geschlossene Auflagefläche. Durch diese Anordnung der Fläche auf dem Absaugkasten ergab sich umlaufend ein Schlitz, über den aus horizontaler Richtung abgesaugt wurde.

Die Zuluft erfolgte bei diesem System über Textilluftdurchlässe, die oberhalb und quer über den Präpariertischen installiert waren. Die Zuluft strömte über die gesamte Oberfläche der Textilluftdurchlässe aus. Die Abluft erfolgte einerseits über den Präpariertisch selbst und andererseits über eine Absaugung im Bodenbereich am Rand des Raumes (siehe Spalte „Skizze“ in Tabelle 1). Die Beleuchtungseinrichtung verlief längsseits des Präpariertisches quer zu den Textilluftdurchlässen und war am Zuluftkanal oberhalb des Präpariertisches befestigt.

3.1.4 System ROM

Das optimierte Präpariertisch-Lüftungssystem ROM wurde unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Unter-

suchungen der Bestandssysteme sowie weiterer empirischer Werte entwickelt, um das Ziel einer möglichst sicheren Erfassung der Formaldehydemissionen zu erfüllen. Das System besteht aus einer abgestimmten Kombination aus Zuluftführung über der Körperspende und einer aktiven Präpariertisch-Absaugung sowie einem Schichtluftsystem für die Raumlüftung über die Ecken des Versuchsraums (siehe Spalte „Skizze“ in Tabelle 1).

Um eine optimale Erfassung am Präpariertisch zu erreichen, wurden ROM-Drall®-Elemente [5] am Umfang des Präpariertisches installiert. Diese patentierte Entwicklung setzt das Strömungsprinzip von Wirbelstürmen in eine gerichtete Absaugströmung um. In den ROM-Drall®-Elementen wird durch eine definierte Anordnung mehrerer Absaugstutzen eine Überlagerung der Ablufteinströmung in eine Drallhaube (Bild 6) erzeugt. Dadurch wird ein Rotationsfeld erzeugt, das zu einer erwünschten Wirbelströmung führt. Diese Wirbelströmung erzeugt in der Drallhaube und in deren unmittelbarem Nahbereich ein Druckpotenzialfeld (einen auf die Fläche bezogenen Unterdruck), das die Gefahrstoffe spiralförmig in das Drallzentrum und von dort über die Absaugstutzen in den Absaugkasten des Präpariertisches zum Abluftkanal leitet. Mit dieser Technik wird eine lineare gleichmäßige Erfassung über den gesamten Umfang des Präpariertisches mit einem relativ geringen Erfassungsvolumenstrom erreicht.

In Bild 7 wurde die charakteristische Strömung über dem Präpariertisch durch Zugabe von Theaternebel in den Zuluftstrom des Durchlassfeldes visualisiert. Es ist so gut wie kein Überströmen der Luft über die Präpariertischumrandung zu erkennen; d. h. die Absaugung ist optimal abgestimmt.



Bild 7. ROM-System: Zugabe von Theaternebel über das Zuluftfeld.



Bild 8. ROM-System: Zugabe von Theaternebel über die Schichtluftdurchlässe.

Bild 8 zeigt die Ausströmung der Zugabe von Theaternebel in die Zuluft der Schichtluftdurchlässe. Die Zuluft strömt von den Seiten mit geringer Geschwindigkeit im unteren Bereich in den Raum ein und wird mit dem thermischen Auftrieb an den Dummies nach oben bzw. in Richtung der Absaugung des Präpariertisches transportiert.

3.2 Versuchsergebnisse und deren Bewertung

Die Versuchsergebnisse wurden sowohl qualitativ als auch quantitativ bewertet.

- System Z: Das impulsarme Zuluftfeld²⁾ wirkte sich positiv auf das Strömungsbild über dem Präpariertisch aus. Die Abfuhr von Wärmelasten über die Kühldecke hielt die Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zulufttemperatur sehr gering ($\Delta\theta = -1,5$ K, siehe Spalte „Parameter“ in Tabelle 1). Das Überströmen der Luft am Kopf- und Fußende des Präpariertisches wurde durch die fehlende Lochung im mittleren Bereich der Auflagefläche begünstigt. Aufgrund dessen gelangten unerwünschte Gefahrstoffemissionen in den Raum.

²⁾ Bei einem impulsarmen Zuluftfeld wird die Luft mit einer niedrigen und über die gesamte Fläche gleichmäßigen Luftaustrittsgeschwindigkeit zugeführt.

- System P₁: Das impulsarme Zuluftfeld (vergleiche System Z) sorgte für eine gleichmäßige Zuluftzuführung über dem Präpariertisch. Die Erfassung durch die umlaufende Schlitzabsaugung an den Kopf- und Fußenden war besser als bei System Z. Es erfolgte dennoch insgesamt ein Überströmen an den Längs- und Querseiten des Präpariertisches aufgrund des großen Temperaturunterschiedes ($\Delta\theta = -5$ K, siehe Spalte „Parameter“ in Tabelle 1). Hierdurch gelangten unerwünschte Gefahrstoffemissionen in den Raum.

- System P₂: Die Beleuchtungsfelder (linke und rechte Versperrung) bewirkten unerwünschte Verwirbelungen im Strömungsfeld über dem Präpariertisch. So konnte ein verstärkter Eintrag von Emissionen in die Raumluft erfolgen.

Der Vergleich von P₁ mit P₂ macht deutlich, dass sich ein ungestörtes impulsarmes Zuluftfeld positiv auf das Strömungsbild über dem Präpariertisch auswirkt. Die fehlende Kühldecke führt zu einer höheren Temperaturdifferenz zwischen der Raum- und Zulufttemperatur. Daraus resultiert eine Beschleunigung der Zuluftströmung über dem Präpariertisch und damit wird ein Überströmen über den Rand des Präpariertisches in den Raum zusätzlich begünstigt.

- System O: Die Zuluftströmung mithilfe der Textiluftdurchlässe wies ein sehr ungleichmäßiges Strömungsverhalten auf, das dem einer Mischlüftung sehr ähnlich ist. Der über dem Präpariertisch freigesetzte Theaternebel zeigte eine ungerichtete Luftströmung. Ein deutlicher Anteil strömte über die Präpariertischseiten hinweg. Die Erfassung war insgesamt deutlich schlechter als bei den anderen untersuchten Systemen. Die Mischlüftung im Raum führte über dem Präpariertisch und im unmittelbaren Nahbereich zu unerwünschten bzw. störenden Verwirbelungen und einem Mitreißen der dort freigesetzten Emissionen (siehe Spalte „Strömungsbild“

in Tabelle 1).

- System ROM: Die Visualisierung der Luftströmung aus dem Zuluftfeld über dem Präpariertisch zeigte so gut wie kein Überströmen über den Präpariertischrand. Die Absaugung und die Zuluftführung waren optimal aufeinander abgestimmt (siehe Bilder 7 und 8). Das System ROM wies von den untersuchten Systemen die beste Erfassungswirkung auf. Dazu war erforderlich, dass der abgesaugte Luftvolumenstrom um das Zwei- bis Dreifache höher war als bei den Bestandssystemen Z, P₁, P₂ und O.

Neben der (sichtbaren) qualitativen Beurteilung wurden die Systeme auch messtechnisch bewertet. Hierzu wurden sowohl an den Dummies als auch im Raum die Konzentrationen von Lachgas (N₂O) bestimmt (Bild 5).

Der quantitative Vergleich der Systeme erfolgte anhand des örtlichen Stoffbelastungsgrades (μ_s). Der Stoffbelastungsgrad ist in der Richtlinie VDI 2262 Blatt 3 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen“ [4] wie folgt definiert:

$$\mu_s(c) = \frac{c - c_{ZU}}{c_{AB} - c_{ZU}} \quad (1)$$

Tabelle 2. Vergleich der Stoffbelastungsgrade am Dummy und in der Raumluft.

System	Stoffbelastungsgrad μ_s	
	Am Dummy	In der Raumluft
Z (sechs Dummies)	0,045	0,09
P ₁ (sechs Dummies ohne Versperrung im Zuluftstrom)	0,071	0,19
P ₂ (sechs Dummies mit Versperrung im Zuluftstrom)	0,233	0,33
O (sechs Dummies)	0,31 (0,048 bis 1,75) *)	0,05
ROM (Variante 1 – sechs Dummies)	0,006	0
ROM (Variante 2 – zwölf Dummies)	0,004	0,002

*) sehr inhomogene Strömung

mit

$\mu_s(c)$ = örtlicher Stoffbelastungsgrad

c = örtliche Stoffkonzentration in mg_s/m^3

c_{ZU} = Stoffkonzentration der Zuluft in mg_s/m^3

c_{AB} = Stoffkonzentration der Abluft in mg_s/m^3

Unter der Annahme, dass im vorliegenden Betrachtungsfall die Stoffkonzentration in der Zuluft gleich Null ist, wird die Formel vereinfacht zu:

$$\mu_s(c) = \frac{c}{c_{AB}} \quad (2)$$

In **Tabelle 2** sind die örtlichen Stoffbelastungsgrade sowohl am Dummy als auch in der Raumluft für alle untersuchten Systeme zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigten, dass das System Z von den drei untersuchten Bestandssystemen den günstigsten Stoffbelastungsgrad sowohl am Dummy als auch in der Raumluft aufwies. Der Stoffbelastungsgrad des Systems P₁ lag in vergleichbarer Höhe wie der des Systems Z. Das System P₂ hingegen war deutlich schlechter. Beim System O zeigte sich, dass, obwohl der Stoffbelastungsgrad in der Raumluft sehr niedrig war, die sehr inhomogene Strömung durch die Textilluftdurchlässe stark schwankende Stoffbelastungsgrade am Dummy bewirkten.

Das optimierte System ROM wird in **Tabelle 2** mit den Ergebnissen zweier Versuchsvarianten (sechs und zwölf Dummies) dargestellt. Die erste Variante mit sechs Dummies wurde unter den gleichen Randbedingungen wie die der Bestandssysteme Z, P₁, P₂ und O durchgeführt (siehe Abschnitt 3.1.4) und diente dem direkten Vergleich zu diesen Systemen. Für die zweite Versuchsvariante wurden zwölf Dummies am Präpariertisch eingesetzt. Diese Variante entspricht der realistischen Darstellung der thermischen Last im anatomischen Praktikum.

Alle beim System ROM gemessenen Konzentrationen unterschreiten die bei den Bestandssystemen ermittelten Werte deutlich. In der Raumluft neben dem Präpariertisch wurden weniger als 1/20 der N₂O-Konzentration im Vergleich zu dem besten der Bestandssysteme (Z) gemessen. Die gemessenen Konzentrationen bestätigen den sehr guten visuellen Eindruck der Strömungscharakteristik. Dies spiegelt sich auch in den Stoffbelastungsgraden wider. Das System ROM weist ein um mindestens eine Größenordnung besseres Ergebnis als die Bestandssysteme Z, P₁, P₂ und O auf. Das gilt sowohl für die Messung an den Dummies als auch für die Raumluftmessung. Bemerkenswert ist, dass die Stoffbelastungsgrade für die Variante 2 mit zwölf Dummies weit unter denen der getesteten Bestandssysteme liegen.

Die bislang beschriebenen Ergebnisse resultierten ausschließlich aus Laborversuchen an nur einem Präpariertisch inklusive Zuluftsystem. Um die Ergebnisse auf einen realistischen Anatomiesaal mit zwölf Präpariertischen übertragen zu können, erfolgten weitere Untersuchungen anhand rechnerischer Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD). Bei diesem Modell verfügte jeder Präpariertisch über das ROM-Absaugsystem und ein Zuluftfeld. Die Raumlüftung wurde über Schichtluftdurchlässe am Rand des Saales und/oder im Raum verteilt angenommen.

4 Rechnerische Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics, CFD)

Da ein Modellversuchsaufbau eines gesamten Präparieresaales sehr aufwendig ist und Versuche mit Formaldehyd und Körperspenden aus Gründen des Gesundheitsschutzes und aus ethischen Gründen im ROM-Labor nicht realisierbar sind, wurden Strömungssimulationen (CFD) durchgeführt.

CFD dienen der Berechnung fluider Strömungen, der Wärme- und Massentransportvorgänge, chemischer Reaktionen und anderer verwandter Phänomene. Das Strömungsvolumen wird dabei in viele Kontrollvolumina (im vorliegenden Fall bis zu 120 Millionen) eingeteilt und die Gleichungen für Kontinuität, Impuls, Energie, usw. für jedes Kontrollvolumen rechnerisch gelöst. Eingesetzt wurde das Softwarepaket Ansys Fluent 16.1.

Simulationsergebnisse sind generell sensibel hinsichtlich der ausgewählten Parameter (zum Beispiel Temperaturen, Luftgeschwindigkeiten, Freisetzungsgrad, Gitterauflösung und/oder Turbulenzmodell). Für die weiteren Strömungssimulationen wurde daher das verwendete CFD-Modell mit den Ergebnissen der Laborversuche des Systems ROM verglichen und validiert. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Ergebnisse der CFD-Simulation im vorliegenden Fall eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messwerten der Laborversuche zeigten und das CFD-Modell für die weiteren Berechnungen ausgesprochen gut geeignet war (Beispiele siehe **Bilder 9** und **10**).

4.1 Randbedingungen

Bei Besichtigungen verschiedener Anatomien wurde deutlich, dass sich die Präpariersäle in der Bauphysik und im umgesetzten Luftführungskonzept stark unterscheiden (siehe Abschnitt 2 dieses Artikels und **Tabelle 5** in [1]). Daher wurde ein fiktiver, aber realistischer Präpariersaal inklusive des ROM-Absaugsystems sowie einem darauf abgestimmten Luftführungssystem definiert (**Bild 11**).

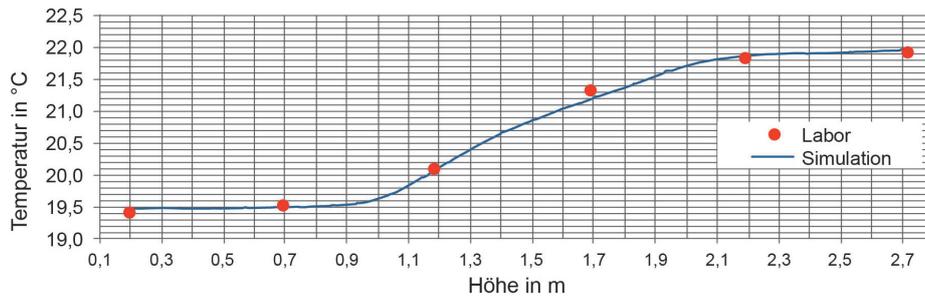


Bild 9. Vergleich des vertikalen Temperaturprofils aus rechnerische Simulation und Modellversuch.

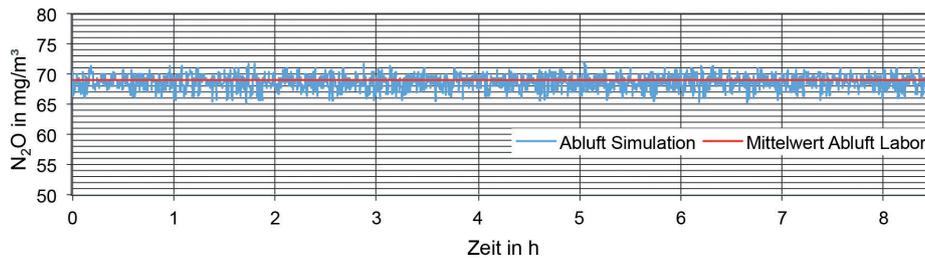


Bild 10. Vergleich der N₂O-Abluftkonzentration aus Simulation und Modellversuch.

Angenommen wurde ein Gebäudestandard nach aktueller Energieeinsparverordnung [5], der über die gewählten Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen im Modell berücksichtigt ist. Festgelegt wurden die folgenden Randbedingungen für die Simulationen:

- zwölf Präpariertische,
- zwölf stehende Personen je Präpariertisch mit 110 W Wärmeabgabe je Person, jeweils zwei der zwölf Personen beugen sich über den Präpariertisch,
- Fensterfassaden auf zwei Seiten mit 26 °C Oberflächentemperatur,
- 18 °C Oberflächentemperatur für Innenwände und Fußboden,
- 20 °C Oberflächentemperatur für die Decke,

- vier Lichtbänder aus Leuchtstoffröhren unter der Decke mit 7,5 W/m² Fußbodenfläche,
- Präpariertischbeleuchtung aus vier Leuchtstoffröhren mit insgesamt 90 W/Präpariertisch, davon 30 % konvektiv,
- über jedem Präpariertisch ein Zuluftfeld mit einem Luftvolumenstrom von je 650 m³/h, einer Abströmgeschwindigkeit von 0,1 m/s und einer Zulufttemperatur von 17 °C.
- vier Schichtluftsäulen Ø 50 x 150 cm mit einem Zuluftvolumenstrom von je 2 500 m³/h im Raum verteilt sowie vier Schichtluftdeckdurchlässe R 70 x 125 cm mit einem Zuluftvolumenstrom von je 1 500 m³/h und einer Zulufttemperatur von 16 °C
- 2 000 m³/h Abluftvolumenstrom je Präpariertisch, Raumabluft nur über die Präpariertische,
- 600 mg/(h KS) Formaldehydfreisetzung an den Körperspenden (KS) – siehe Tabelle 8 in [1]; die Formaldehydfreisetzung erfolgt über der gesamten Oberfläche der Körperspenden.

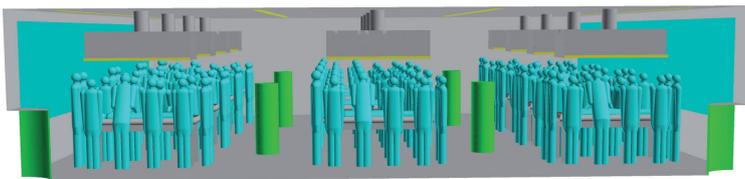


Bild 11. CFD-Modell des Präpariersaals.

4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der CFD zeigen, dass lokal „Auspülungen“ an den vorgebeugten Personen (Bild 12) auftreten. Diese Auspülungen werden umso größer, je weiter sich die Personen über den Präpariertisch beugen. Bei der in der Simulation angenommenen unveränderlichen Vorbeugung der Personen betrug die absolut maximale Konzentrationsspitze (Momentanwert) 1,45 mg/m³. Der im Forschungsvorhaben festgelegte Zielwert von 0,25 mg/m³ (Viertelstundemittelwert) wurde nicht überschritten (siehe Abschnitt 3).

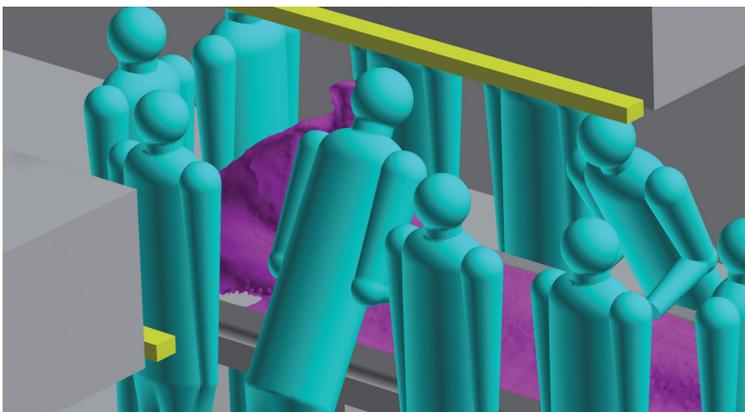


Bild 12: Auspülung an einer vorgebeugten Person.

In Bild 12 ist in violetter Farbe eine Isofläche (siehe Infokasten 3) mit einer Formaldehydkonzentration von 0,25 mg/m³ (Momentanwert) dargestellt. Diese Fläche kann bis in den Kopf- bzw. Schulterbereich einer vorgebeugten Person reichen.

Infokasten 3

Isoflächen sind Flächen, die im Raum benachbarte Punkte gleicher Merkmale oder Werte einer bestimmten Größe wie zum Beispiel Temperatur oder Dichte miteinander verbinden.

Neben den Formaldehydkonzentrationen wurden die Verteilungen der Strömungsgeschwindigkeiten und der Temperaturen im Präpariersaal ausgewertet. Die maximale Geschwindigkeit von 0,3 m/s tritt nur in unmittelbarer Nähe der Schichtluft-Eckdurchlässe im unteren Bereich auf. In der Mitte des Präpariertisches über der Körperspende treten Geschwindigkeiten um 0,2 m/s auf. In allen anderen Bereichen liegt die Geschwindigkeit im Bereich von nahe 0 bis 0,1 m/s (**Bild 13**).

Die Auswertung der Temperaturverteilung zeigt, dass die geforderte Temperatur von 17 °C über dem Präpariertisch eingehalten werden kann. Im Bodenbereich liegt die Temperatur nahe der Zulufttemperatur der Schichtluftdurchlässe von 16 °C. Ab etwa 1 m steigt die Temperatur dann an, bis in etwa 2,3 m die maximale Temperatur von 22 °C erreicht wird (**Bild 14**).

4.3 Bewertung

Bei den vorgegebenen Randbedingungen erfüllt das System ROM die Zielvorgaben des Forschungsprojektes vollumfänglich. Auf bestehende Präpariersäle mit ihren jeweils speziellen Gebäudeeigenschaften können die Ergebnisse allerdings nicht ohne geeignete Anpassungen übertragen werden. Bei allen bestimmungsgemäßen Tätigkeiten im anatomischen Praktikum wird der Zielwert des Forschungsprojektes für die Formaldehydkonzentration von 0,20 ppm beziehungsweise 0,25 mg/m³ eingehalten. Beugen sich Personen über den Präpariertisch, so kommt es an diesen Personen zu temporären, zeitlich begrenzten Expositionsspitzen (Momentanwerte). Die Spitzenkonzentrationen (für maximal 15 min) von 0,40 ppm bzw. 0,5 mg/m³ bis zu viermal pro Schicht werden deutlich unterschritten. Die Luftgeschwindigkeiten und die Temperaturen im Präpariersaal liegen nur leicht unter den Anforderungen der Technischen Regeln für Arbeitsstätten – ASR A3.5 „Raumtemperaturen“ [6] beziehungsweise der ASR A3.6 „Lüftung“ [7]. Eine exakte Einhaltung der dort geforderten Werte erscheint gegenwärtig technisch nicht möglich.

5 Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Im Rahmen des Forschungsprojektes hat sich gezeigt, dass eine Unterschreitung des Formaldehyd-Zielwertes von 0,25 mg/m³ (siehe Abschnitt 3) nur durch eine genau abgestimmte Kombination von verfahrenstechnischen, organisatorischen und lufttechnischen Maßnahmen möglich ist. Mögliche verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen sind beschrieben [1]. Im Folgenden wird daher nur

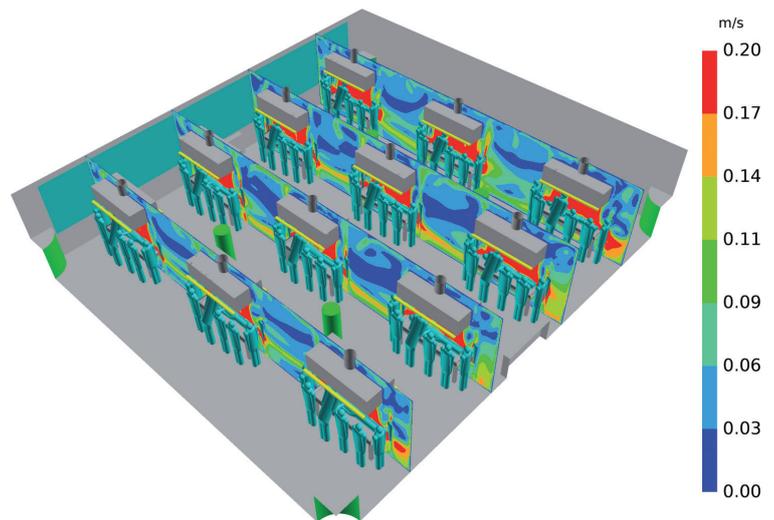


Bild 13: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten im Saal.

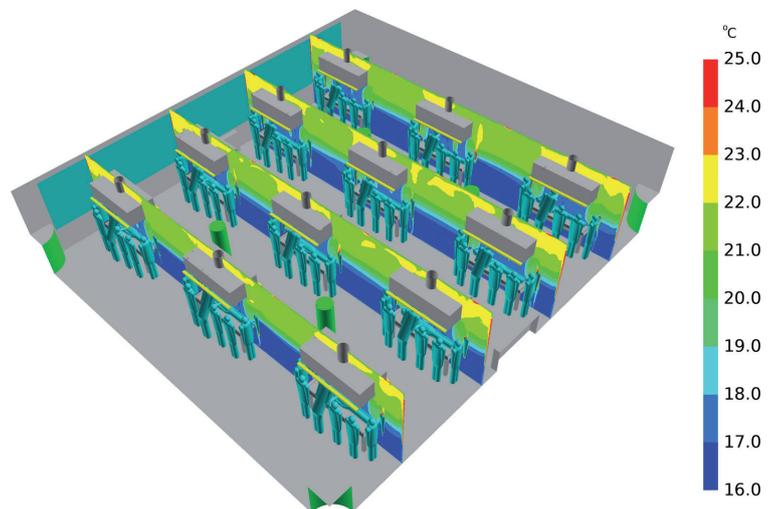


Bild 14: Temperaturverteilung als Längsschnitt über den Präpariertischen.

auf die lufttechnischen Maßnahmen (siehe **Bild 15**) eingegangen:

- Die Emission von Formaldehyd steigt mit zunehmender Temperatur an. Daher ist die Lufttemperatur in unmittelbarer Nähe der Körperspende auf 18 °C zu begrenzen.
- Die Austrittstemperatur der Luft des Zuluftfeldes sollte ca. 17 °C betragen.
- Die Raumlufttemperatur in 2 m Höhe darf 21 °C nicht überschreiten.
- Die Präpariertische sind abzusaugen. Im Rahmen des Projektes wurden für eine umlaufende Wirbelhaubenabsaugung (ROM-Drall®) am Präpariertisch 2 000 m³/h benötigt. Bei geringeren Absaugvolumenströmen und/oder anderen Präpariertisch-Absaugsystemen ist die Wirksamkeit z. B. mithilfe von Simulationsrechnungen zu überprüfen.
- Oberhalb des Präpariertisches ist ein Zuluftfeld vorzusehen. Das Zuluftfeld sollte in der Fläche mindestens so groß wie der Präpariertisch sein. Die Abströmgeschwindigkeit der Zuluft sollte 0,1 m/s nicht überschreiten. Im Rahmen des Projektes wurde ein Zuluftfeld mit einer Fläche von 2 m x 0,9 m verwendet.

(Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Marburg und Anatomische Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München) eng begleitet wurde. Das Ziel des Projektes bestand im Wesentlichen in der Entwicklung eines abgestimmten Lüftungskonzeptes für Präpariersäle. Die Entwicklung dieses Konzeptes ist inzwischen vom Projektpartner mit einem positiven Ergebnis abgeschlossen worden.

Der im vorliegenden Artikel beschriebene umfassende Lüftungstechnische Lösungsansatz – insbesondere unter Berücksichtigung der thermischen Lasten in anatomischen Präpariersälen – leistet einen entscheidenden Beitrag dazu, dass die anatomischen Institute und Universitäten sowie deren Planer die gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheit und den Gesundheitsschutz sowie der Gefahrstoffverordnung [10] erfüllen können.

Eine Umsetzung der Ergebnisse des Forschungsprojektes in die Praxis erfolgt in Kürze.

Literatur

- [1] *Thullner, I.; Stockmann, R.; Hohenberger, L.:* Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie). Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 75 (2015) Nr. 6, S. 219-228.
- [2] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). B ArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL (2015) Nr. 7, S. 139-140.
- [3] *Detzer, R.:* Drallströmung in der Lüftungstechnik. IHKS-Fachjournal (2012), S. 52-55.
- [4] VDI 2262 Blatt 3: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen. Berlin: Beuth 2011.
- [5] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV). BGBl. I (2007), S. 1519-1563; zul. geänd. BGBl. I (2015), S. 1789-1790.
- [6] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur (ASR A3.5). GMBL (2010) Nr. 35, S. 92-97; zul. geänd. GMBL (2014) Nr. 13, S. 287.
- [7] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBL (2012), Nr. 6, S. 92-97; zul. geänd. GMBL (2013) Nr. 16, S. 359.
- [8] DGUV Information: Sicheres Arbeiten in Laboratorien Grundlagen und Handlungshilfen (213-850, bisher BGI/GUV-I 850-0). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin 2015.
- [9] VDI 2078: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation). Berlin: Beuth 2015.
- [10] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. I (2010), S. 1643-1692; zul. geänd. BGBl. I (2015), S. 49.

