

**Emissionsminderungsmaßnahmen der Formaldehyd-Belastung im anatomischen  
Praktikum am Beispiel der Humanmedizin der Justus-Liebig Universität Gießen  
im Vergleich zur Nachbehandlung mittels Infutrace™**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Humanbiologie  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von  
**Sonja Pfeil**  
aus Neu-Isenburg

Gießen 2017

Aus dem  
**Institut für Anatomie und Zellbiologie**  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Geschäftsführender Direktor  
Prof. Dr. Middendorff

Gutachterin: Frau Prof. Dr. Monika Wimmer-Röll

Gutachter: Prof. Dr. Thomas Eikmann

Tag der Disputation: 18.06.2018

---

This work is dedicated

**To all body donors**

---

**To A Medical Student**

This is my body.  
The shell of my being  
which is given to you  
in a final offering to the world.  
I share the elements of life  
from these old bones,  
these ligaments  
my sinews and my nerves.  
May that life force that ran in me  
shine forth once more  
and pass to you  
the knowledge and the power  
that help sustain  
the miracle of life.

*Anatomical Gift Donor*

*(Caler et al., 2011)*

---

## INHALTSVERZEICHNIS

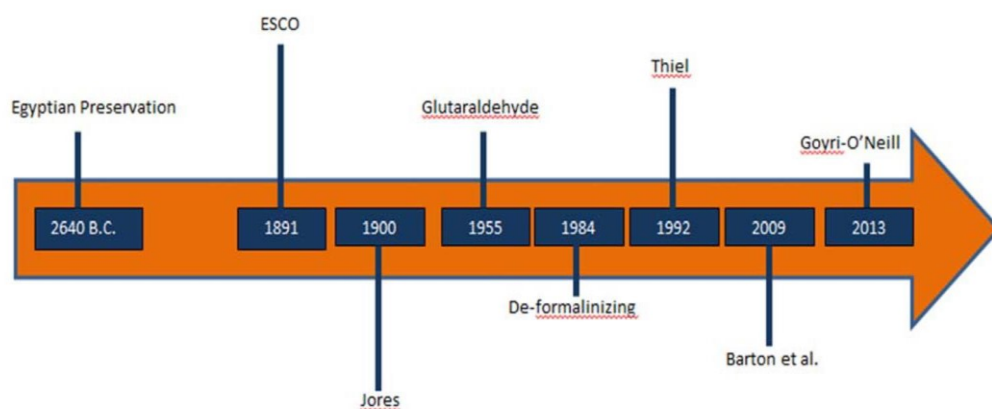
<b>1</b>	<b>Einleitung – Das Verborgene als Faszinosum.....</b>	<b>1</b>
1.1	Verwendung von Formaldehyd in der Präparation .....	2
1.1.1	Chemische Eigenschaften von Formaldehyd .....	2
1.1.2	Chemie der Formaldehyd-Fixierung.....	2
1.1.3	Reaktionsmechanismus.....	3
1.1.4	Reaktions- und Eindringgeschwindigkeit.....	5
1.2	Gesundheitliche Auswirkungen von Formaldehyd .....	5
1.2.1	Toxikologie im Niedrigdosisbereich.....	6
1.2.2	Toxikologie bei hohen Belastungen .....	6
1.2.3	Neueste Erkenntnisse zur Toxikologie .....	8
1.2.4	Beschwerdebild in anatomischen Praktika .....	8
1.3	Entwicklung des Arbeitsplatzgrenzwertes in der EU und in Deutschland .....	9
1.4	AGW und Innenraum-Richtwert .....	12
1.5	Formaldehyd-freie Präparationsverfahren.....	16
1.6	Formaldehyd-„zerstörende“ Verfahren .....	18
1.7	Zielsetzung .....	21
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>22</b>
2.1	Methodik der Formaldehyd-Messung.....	22
2.1.1	Grundlage des Messverfahrens .....	22
2.1.2	Probennahme-Equipment .....	24
2.1.3	HPLC-Bestimmung .....	25
2.2	Infutrace™ .....	25
2.3	Mittel gegen Bildung von Schimmel .....	26
2.4	Ausgangssituation .....	26
2.4.1	Saalbeschreibung und Klimatechnik .....	26
2.4.2	Perfusion und Lagerung der Präparate .....	27

2.5	Strategie der Messplanung .....	30
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>31</b>
3.1	Formaldehydbelastung VOR Emissionsminderung .....	31
3.1.1	Emissionsabnahme durch Verwendung der Präparate im Praktikum .....	31
3.1.2	Formaldehydemission im Präparationsverlauf .....	33
3.1.3	Einfluss von Tischbelegung und persönlichem Verhalten am Tisch auf die personenbezogene Belastung mit Formaldehyd .....	34
3.1.4	Konzentration an Formaldehyd unterhalb der Raumdecke .....	36
3.1.5	Eintrag von Formaldehyd in angrenzende Räume .....	36
3.2	Experimentelle Datenerhebung zu Formaldehydminderungsmaßnahmen ....	37
3.2.1	Wässern als Möglichkeit der Reduktion von Formaldehyd in Präparaten .....	37
3.2.2	Weitwurfdüsen .....	37
3.2.3	Reduktion der Formaldehyd-Konzentration in der Fixierung .....	37
3.3	Infutrace™ Nachbehandlung.....	38
3.3.1	Nachbehandlung von Präparaten aus dem Bestand .....	38
3.3.2	Präparate mit Formaldehyd-reduzierter Perfusionslösung und Infutrace™-Nachbehandlung .....	39
3.3.3	Optimierung der Infutrace™-Behandlung .....	40
3.3.4	Messung unter Praktikumsbedingungen .....	40
3.4	Schimmelbildung .....	45
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>46</b>
4.1	Formaldehyd-Emissionsprozesse vor Reduktionmaßnahmen .....	46
4.1.1	Belastungshöhe.....	46
4.1.2	Emissionsverhalten im zeitlichen Kontext .....	48
4.1.3	Emissionsverhalten in Abhängigkeit der Präparation .....	50
4.2	Reduktion der Formaldehyd-Emission ohne Infutrace™ .....	57
4.2.1	Einfache Optimierungsmöglichkeiten .....	57
4.2.2	Tischbelegung .....	59
4.2.3	Reduktion durch Wässern der Präparate .....	60
4.2.4	Reduktion von Formaldehyd in der Fixierung und Weitwurfdüse.....	61

4.3	Reduktion durch Verwendung von Infutrace™ und verbesserter Luftzufuhr mittels Weitwurfdüsen.....	62
4.3.1	Infutrace™-Optimierung.....	64
4.3.2	Kontrollmessung im realen Praktikumsbetrieb .....	66
4.3.3	Personenbezogene Langzeitmessung über gesamte Praktikumslänge .....	68
4.3.4	Vergleich mit Radiello®-Passivsammler unter Praktikumsbedingungen.....	68
4.3.5	Zweite Kontrollmessung im realen Praktikumsbetrieb bei Extremklima.....	70
4.3.6	Externe Validierung durch das Regierungspräsidium Kassel.....	71
4.4	Einwirkzeit Infutrace™ .....	71
4.5	Arbeitsplatzmessungen – richtiger Zeitpunkt ?.....	71
4.6	Arbeitsplatzüberwachung mit Passivsammler – Langzeitüberwachung.....	72
4.7	Vergleich Universitäten in USA.....	72
4.8	Fazit .....	73
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Summary.....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>79</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>Anhang - Übersicht .....</b>	<b>1</b>

## 1 EINLEITUNG – DAS VERBORGENE ALS FASZINOSUM<sup>1</sup>

Das unsichtbare Innere des menschlichen Körpers stellt seit Beginn des Denkens eines der größten Mysterien der Menschheit dar. Schon im pharaonischen Ägypten wurden Körper der Verstorbenen aus religiösen Gründen konserviert (Brenner, 2014) und zu diesem Zweck geöffnet. Jones und Mitarbeiter (2014) konnte in Textilproben mumifizierter Körper aus der Zeit um 4500 - 3350 v.Chr. bereits ein Harz (senso lato) mit antibakterieller Wirkung nachweisen. Der prominenteste konservierte Leichnam war der von Alexander dem Großen, der im Jahr 323 v. Ch. für den Transport von Babylon nach Alexandria in Honig konserviert wurde (Brenner, 2014). Die Suche nach Fixiermitteln, die das Gewebe möglichst lange vor dem Verwesungsprozess bewahren sollten, wurde Ende des 19. Jahrhunderts massiv vorangetrieben:



**Abbildung 1:** aus Balta, Cronin et al (2015a) Geschichte der Präparation: ESCO 1891, Ontario – erstmals sind Fixative und Geräte zur Leichenkonservierung auf dem Markt käuflich erhältlich. Jores entwickelte um 1900 eine der ersten farberhaltenden Rezepturen auf Formalin-Basis (1.85%), ab Mitte des 20. Jahrhunderts wurde Glutaraldehyd in der Präparation eingesetzt. Die Entwicklung Formaldehyd-reduzierender Verfahren begann Mitte der 80er Jahre mit zunehmender Diskussion um die von Formaldehyd ausgehenden gesundheitlichen Gefährdungen. Thiel entwickelte 1992 ein Formaldehyd-reduziertes Fixier-System. Barton verwendete 2009 anstelle einer Formaldehyd-basierten Rezeptur eine Mischung aus Alkohol, Phenol und Glycerin, Goyri-O'Neil 2013 eine Mixtur von aliphatischen Alkoholen, Diethylenglykol und Monoethylenglykol

Seit der Entdeckung von Formaldehyd als Fixiermittel für zoologische Präparate durch Blum im Jahr 1893 (Gerabek, 2011) stellt Formaldehyd aufgrund der hervorragenden vernetzenden und bioziden Eigenschaften (Thullner et al., 2015) das in der Leichenkonservierung am häufigsten verwendete Fixativ dar (Balta et al., 2015a). Die Wirksamkeit von Formaldehyd als Fixativ beruht auf der hohen Aktivität des Moleküls, das Proteine vernetzt und damit den Verwesungsprozess vor allem durch Inaktivierung von Enzymen der Mikroorganismen unterbindet (Brenner, 2014).

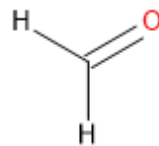
<sup>1</sup> Fangerau & Müller (2012) – in Anlehnung an

## 1.1 Verwendung von Formaldehyd in der Präparation

Eine Übersicht über die historische Verwendung von Formaldehyd in der Präparation findet sich bei Musial (2016). Nachdem Formaldehyd von Blum (1896) für die Konservierung entdeckt wurde und es im Gegensatz zu den zuvor verwendeten Fixativen eine verbesserte Farberhaltung sowie eine hervorragende mikroskopische und makroskopische Struktur erlaubte, wurde von Blum eine Formaldehyd-Lösung mit einem Gehalt von ca. 10-20% eingesetzt. Im Zeitraum von 1900 bis ca. 1950 war Formaldehyd Bestandteil in annähernd 50% aller bekannten Rezepturen der Anatomie. Mit Formaldehyd kann eine relativ gute Haptik erreicht werden, die aufgrund der vielfältigen Rezepturen der Formaldehyd-haltigen Fixative stark variabel ist (Balta et al., 2015b; Oehme, 2016).

### 1.1.1 Chemische Eigenschaften von Formaldehyd

Formaldehyd wurde im Jahr 1855 von Alexander Michailowitsch Butlerow als chemische Substanz entdeckt (Salthammer et al., 2010). August Hofmann entdeckte im Jahr 1867 den technischen Syntheseweg über die Dehydratation von Methanol (Salthammer et al., 2010).

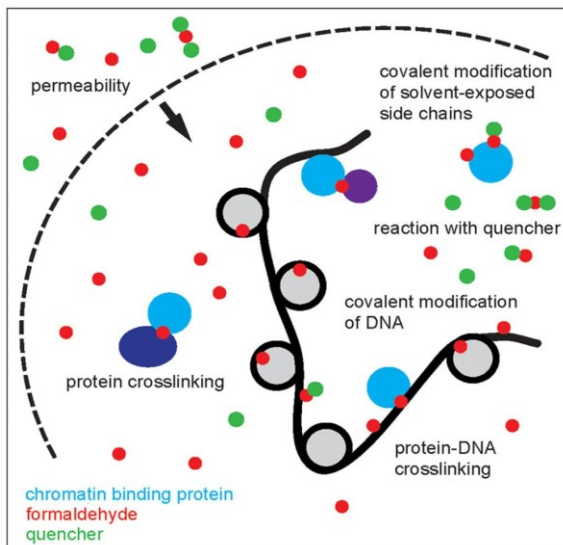


**Abbildung 2:** Formaldehyd

### 1.1.2 Chemie der Formaldehyd-Fixierung

Die Fixierung mit Formaldehyd basiert auf der hohen chemischen Reaktivität des kleinen elektrophilen Moleküls mit hoher Zellpermeabilität durch Reaktion mit intra- und extrazellulären Makromolekülen. Im Wesentlichen erfolgt die Reaktion mit Proteinen (Lang, 2013) und der Ausbildung von Crosslinks vor allem mit N-terminalen Aminogruppen bzw. Iminogruppen von Proteinen und/oder DNA-Basen (Hoffman et al., 2015). Deren funktionelle Gruppen stehen nach Reaktion mit Formaldehyd nicht mehr als Bindungspartner zur Verfügung (Lang, 2008), die Enzymaktivität der Proteasen wird gehemmt und der Verwesungsprozess wird aufgehalten. Die Reaktion findet ausschließlich an zugänglichen äußeren Aminogruppen im Protein statt, die tertiäre Protein-Struktur selbst wird deshalb nicht gestört. Formaldehyd reagiert bevorzugt mit Lysin-Resten, die eine zentrale Vermittlungsrolle bei Interaktionen mit der DNA einnehmen (Hoffman et al., 2015).

In Zellen finden komplexe Reaktionen mit verschiedensten Reaktionspartnern statt:



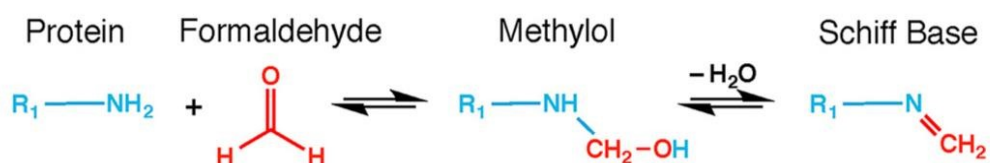
**Abbildung 3:** aus Hoffman et al (2015): Der gestrichelte Bogen in der Abbildung stellt die für Formaldehyd (rote Punkte) permeable Zell- bzw. Zellkernmembran dar. Die schwarze dicke Linie stellt die DNA dar (Nucleosomen = helle graue Kreise). Chromatin-bindende Proteine (Cyanblau), weitere Partner-Proteine (Violett), kleine Moleküle, sog. Quencher (grüne Punkte), wie z.B. Glycin ( $C_2H_5NO_2$ ) können mit Formaldehyd reagieren und die Reaktivität des Formaldehyds dadurch reduzieren. Formaldehyd bildet Crosslinks mit Makromolekülen, modifiziert jedoch auch deren funktionelle Gruppen, wobei Produkte entstehen können, deren Reaktivität durch Quencher stabilisiert werden. Quencher können auch im extrazellulären Milieu zugegeben werden und dort den Haupteffekt bewirken (Hoffman et al., 2015)

Weitere Bindungspartner für Formaldehyd können Hydroxylgruppen unter Bildung von Acetalen, Sulfhydroxylgruppen mit Bildung von Sulfhydrylacetat-Analogen oder aromatischen Ringe darstellen (Lang, 2013).

### 1.1.3 Reaktionsmechanismus

Formaldehyd reagiert mit Makromolekülen in mehreren Schritten: Zunächst wird eine kovalente Bindung zwischen dem Formaldehyd-Molekül und z.B. der nucleophilen Gruppe einer Aminosäure eines Proteins, der DNA oder einer DNA-Base eingegangen aus der ein Methylol-Addukt entsteht, das weiter zur Schiffschen Base umgewandelt wird (Hoffman et al. 2015):

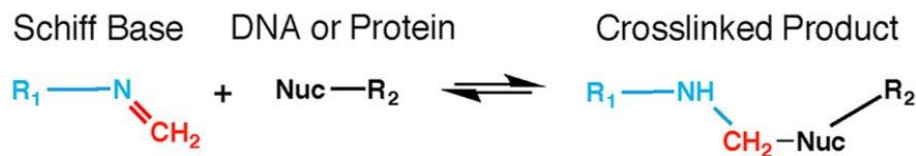
#### Schritt 1:



**Abbildung 3:** aus Hoffman et al. (2015) Bildung einer Schiffschen Base über ein Methylol nach Reaktion von Formaldehyd mit der Aminogruppe eines Proteins

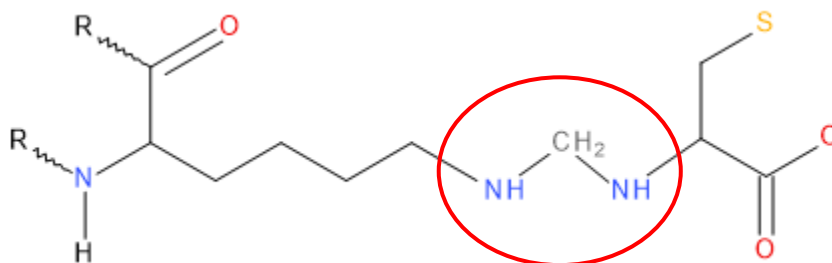
Im Anschluss reagiert die Schiffsche Base mit einem anderen Nucleophil, z.B. der Aminogruppe einer DNA-Base, und generiert ein Crosslink-Produkt. Das zweite Nucleophil könnte auch ein weiteres Protein darstellen, das gleiche Protein wie das erste Nucleophil, ein Quencher-Molekül oder ein anderes endogenes kleines Molekül (Hoffman et al., 2015):

### Schritt 2:



**Abbildung 4:** aus Hoffman et al (2015) Bildung eines Crosslink-Produkts zwischen einer Schiffschen Base und der Aminogruppe eines Proteins oder der DNA

**Bei allen Zwischenschritten handelt es sich um reversible Reaktionen** (Hoffman et al., 2015), wobei die Methylenbrückenbindung (=Crosslink) zwischen zwei Proteinen oder der DNA-Struktur vergleichsweise stabil ist (Jackson, 1978; Lang, 2013). Wärme verschiebt das Reaktionsgleichgewicht sehr langsam auf die Seite der Ausgangsprodukte: Hoffmann nennt eine Halbwertszeit der Umkehrung der Vernetzung von mehreren 10 Stunden bei 37°C.



**Abbildung 5:** Crosslink des Lysin-Restes eines Proteins mit Cystein

Ein Protein-Crosslink zwischen dem Lysin-Rest eines Proteins mit der Aminosäure Cystein ist hier nur ein Beispiel von vielen verschiedenen möglichen Produkten.

Lysin-Cystein-Bindungen sind stabil, aber reversibel. Lysin-Arginin-, Lysin-Asparagin- und Lysin-Glutamin-Bindungen sind ebenfalls stabil, aber anfällig gegenüber saurer Hydrolyse (Brenner, 2014). Lysin-Tyrosin-Links dagegen scheinen stabil und sind säureresistent (Brenner, 2014) Ungeladene Aminogruppen sind bei pH 7.8 die bevorzugten Bindungspartner von Formaldehyd (Lang, 2013).

### 1.1.4 Reaktions- und Eindringgeschwindigkeit

Die Eindringgeschwindigkeit von Formaldehyd in Gewebe wird gängigerweise mit etwa 1 mm pro Stunde angenommen, wobei die Geschwindigkeit mit der zurückgelegten Strecke abnimmt (Lang, 2008). Lebergewebe z.B. kann innerhalb von 16 Stunden bis zu 4 mm tief fixiert werden. Die Angaben in der Literatur schwanken. Formaldehyd dringt rasch in Gewebe ein, vernetzt jedoch langsam (Lang, 2013). Die Eindringgeschwindigkeit verhält sich nicht linear zur Formaldehydkonzentration, widersprüchliche Aussagen sind in der Literatur zu finden, die auf unterschiedliche Untersuchungsverfahren zurückzuführen sind (Lang, 2008).

Formaldehyd wirkt wenig denaturierend und erhält größtenteils die Sekundärstruktur der Proteine. Durch einfaches Waschen können einige Proteine wieder in eine annähernd ursprüngliche Form rückgeführt werden (Lang, 2013). Reaktionsgeschwindigkeit und Ausbeute der Rückreaktion sind abhängig von Reaktionsoptima, pH-Wert, Salzkonzentration, Temperatur u.a. Faktoren (Lang, 2008; Hoffman et al., 2015).

### 1.2 Gesundheitliche Auswirkungen von Formaldehyd

Formaldehyd ist in geringen Konzentrationen natürlicher Bestandteil im menschlichen Körper und kommt mit einem Gehalt von ca. 2000-3000 µg pro Liter im Blut vor (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2015a und 2015b). Es stellt einen Metaboliten bei der Demethylierung dar, wird in der Leber abgebaut und hat eine Halbwertszeit im Plasma von 1-1.5 Minuten (WHO / Christenhuis, 2001). Die Bildung von DNA-Protein-Amino-Addukten oder Quervernetzungen im Blut zeigt sich gemäß Umweltbundesamt (UBA) unabhängig von der Höhe der äußeren Exposition (UBA, 2016). Inhalativ aufgenommenes Formaldehyd wird direkt an der Eintrittspforte an den Nasen- bzw. Schleimhäuten der Augen metabolisiert und auch bei Konzentrationen von mehr als 1.9 ppm in der Atemluft bei einer Expositionszeit von 8 Stunden am Tag nicht in nennenswertem Umfang ins Blut oder entfernteres Gewebe transportiert (Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), 2015). Der endogene Anteil an Formaldehyd-Amino-Protein- oder DNA-Addukten und Crosslinks bleibt damit weitgehend konstant und Formaldehyd wird wirkungsvoll beim Auftreffen auf den Schleimhäuten abgefangen (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2015a). Formaldehyd reagiert dabei mit den Aminogruppen des als Antioxidans vorliegenden Glutathions unter Bildung eines Thioacetals und wird durch das Enzym Formaldehyddehydrogenase weiter zu Methansäure und Glutathion oxidiert. Methansäure wird als Formiat über den Harn ausgeschieden (UBA, 2016). Eine Korrelation zwischen der Konzentration des inhalativ

aufgenommenen Formaldehyds und des Gehalts an Methansäure oder Formiat im Urin besteht nicht (UBA, 2016; Ausschuss für Gefahrstoffe, 2015a).

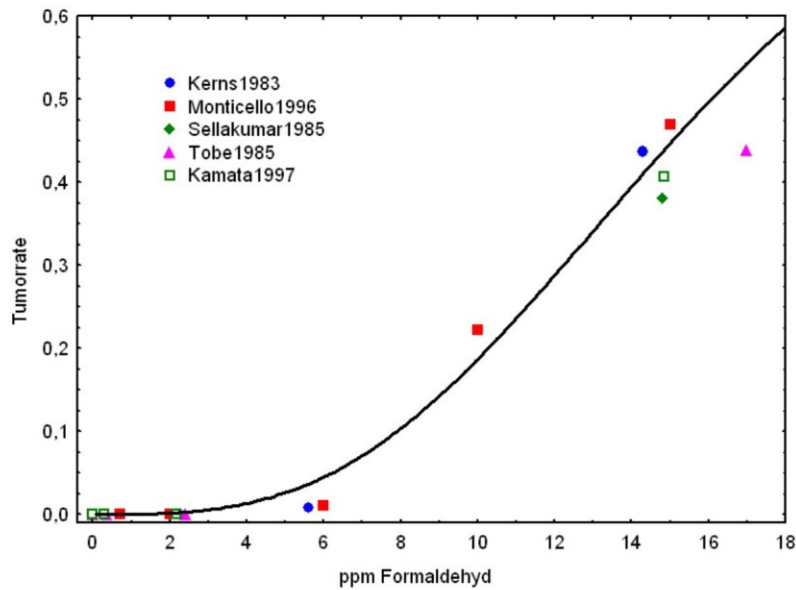
### 1.2.1 Toxikologie im Niedrigdosisbereich

Der für Wohn-Innenräume toxikologisch abgeleitete Richtwert des Ausschuss für Innenraumrichtwerte liegt bei  $0.1 \text{ mg/m}^3$  Formaldehyd (UBA, 2016). Bei niedrigen Konzentrationen lassen sich vor allem Reizungen der Nase und der Schleimhäute (UBA, 2016) durch Wirkung auf den Trigemini (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2015a) beobachten. „Aus der Luft aufgenommenes Formaldehyd wird aufgrund seiner hohen Wasserlöslichkeit und Reaktivität bei Ratten praktisch vollständig in der Nase resorbiert und verstoffwechselt, bei Primaten und Menschen wird aufgrund ihrer Nasen-Mund-Atmung ein geringer Anteil auch im Rachen, in der Luftröhre und den Bronchien resorbiert“ (UBA, 2016). In der Begründung zur Ableitung des Richtwertes wird „die Reizung der oberen Atemwege beim Menschen sowie eine zytotoxische und tierexperimentell belegte krebserzeugende Wirkung nach lang andauernder Einwirkung“ als kritischer Wirkungsendpunkt herangezogen. Auf die Ableitung eines Gefahrenwertes (Richtwert II) wird verzichtet, da keine belastbare Datenlage zur Ableitung der niedrigsten beobachteten nachteiligen Wirkungskonzentration (lowest observed adverse effect concentration - LOAEC) gefunden werden konnte. Das zusätzliche Krebsrisiko für einen Nichtraucher nach 80-jähriger kontinuierlicher Exposition gegenüber einer Formaldehyd-Konzentration in der Raumluft von  $0.1 \text{ mg/m}^3$  wird auf  $3 \times 10^{-7}$  eingeschätzt. Der Richtwert sollte in einem Messzeitraum von einer halben Stunde nicht überschritten werden (UBA, 2016).

### 1.2.2 Toxikologie bei hohen Belastungen

Bei erhöhter inhalativer Aufnahme von Formaldehyd mit Ausschöpfung des Glutathion-Gehalts der Zelle von mehr als 50% steigt der Formaldehyd-Gehalt in der Zelle an und die zytotoxische Wirkung von Formaldehyd nimmt zu: Im Tierversuch mit Ratten kommt es zu Hyperplasien, Dysplasien, schuppigen Metaplasien sowie Entzündungen, die nicht eindeutig als Tumorstufen oder allein als adaptive Reaktion evaluiert werden können (UBA, 2016).

Bei sehr hohen Konzentrationen weit oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts (AGW) ergeben sich beim Menschen Hinweise auf Nasopharynxkarzinom und myeloische Leukämie. Im Tierversuch mit Ratten, Mäusen und Affen werden Epithelschädigungen besonders in der vorderen Nasenregion sowie Plattenepithelkarzinome im respiratorischen Epithel ab 6 ppm festgestellt (Nies und Steinhausen, 2016).



**Abbildung 6:** Zusammenhang zwischen Formaldehydexposition und Tumorrare in verschiedenen tierexperimentellen Studien (Hutter et al., 2011)

Die Graphik in Abb. 6 zeigt deutlich, dass die Tumorrare erst ab einer Konzentration von ca. 6 ppm sprunghaft zunimmt.

In Europa lag die altersstandardisierte Inzidenz für das Entwickeln eines Nasopharynxkarzinoms im Jahr 2000 bei weniger als 1 pro 100 000 Personen. In China und Südostasien lag die Rate dagegen bei 20 pro 100 000 Personen (Euler et al., 2009). Die Inzidenz ist nicht allein auf die in China erhöhte Exposition mit Formaldehyd zurückzuführen, da auch andere Ursachen für Nasopharynxkarzinome in Betracht kommen, eine Ursache wird von Euler und Mitarbeitern jedoch nicht erwähnt.

Concentration range or average (mg/m <sup>3</sup> )	Time range or average	Health effects in general population
0.03	Repeated exposure	Odour detection threshold (10th percentile) <sup>a</sup>
0.18	Repeated exposure	Odour detection threshold (50th percentile) <sup>a</sup>
0.6	Repeated exposure	Odour detection threshold (90th percentile) <sup>a</sup>
0.1 – 3.1	Single and repeated exposure	Throat and nose irritation threshold
0.6–1.2	Single and repeated exposure	Eye irritation threshold
0.5 – 2	3–5 hours	Decreased nasal mucus flow rate
2.4	40 minutes on 2 successive days with 10 minutes of moderate exercise on second day	Post-exposure (up to 24 hours) headache
2.5 – 3.7	<sup>-b</sup>	Biting sensation in eyes and nose
3.7	Single and repeated exposure	Decreased pulmonary function only at heavy exercise
5 – 6.2	30 minutes	Tolerable for 30 minutes with lachrymation
12 – 25	<sup>-b</sup>	Strong lachrymation, lasting for 1 hour
37 – 60	<sup>-b</sup>	Pulmonary oedema, pneumonia, danger to life
60 – 125	<sup>-b</sup>	Death

<sup>a</sup> Frequency of effect in population.

<sup>b</sup> Time range or average unspecified.

Sources: World Health Organization (1); International Agency for Research on Cancer (2); WHO Regional Office for Europe (3).

**Abbildung 7:** Konzentrationsabhängiges Beschwerdebild bei Kurzzeitexposition (WHO / Christenhuis, 2001)

### 1.2.3 Neueste Erkenntnisse zur Toxikologie

Neueste Forschungsergebnisse zur Toxikologie von Formaldehyd belegen eine erhöhte Zell-Proliferation an menschlichen placentaren Choriokarzinomzellen in Kombination mit Benzol aus Zigarettenrauch (Lee et al., 2017). Erhöhte Belastung mit Formaldehyd am Arbeitsplatz wird auch mit Amyotropher Lateral Sclerose (Seals et al., 2017) und Lebertoxizität in Verbindung gebracht (Bai et al., 2017). Die aktuellen Erkenntnisse verstärken die Dringlichkeit, einen Formaldehyd-Ersatz in Fixierlösungen zu finden.

### 1.2.4 Beschwerdebild in anatomischen Praktika

Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Konzentrationen an Formaldehyd im anatomischen Praktikum wurden vielfach in der Literatur beschrieben: (Bassig et al., 2016; Lorenzoni et al., 2015; Mori et al., 2016; Onyije und Awioro, 2012; Winkler, 2011). Lorenzoni und Mitarbeiter (2015) konnten nach einer Expositionsdauer von 1 bis 3 Monaten und einer im Praktikum nachgewiesenen Luftbelastung von 0.73 ppm Formaldehyd einen Anstieg von Epithelzellveränderungen der Mundschleimhaut nachweisen, ein signifikanter Anstieg von abgestorbenen Zellen wurde jedoch nicht beobachtet (Lorenzoni et al., 2015). Die Untersuchung allergischer Reaktionen vor, während und nach dem Präparierkurs bei einer Raumluftbelastung von weniger als 0.2 ppm zeigte Symptome von ermüdeten Augen, triefenden Nasen und trockenen

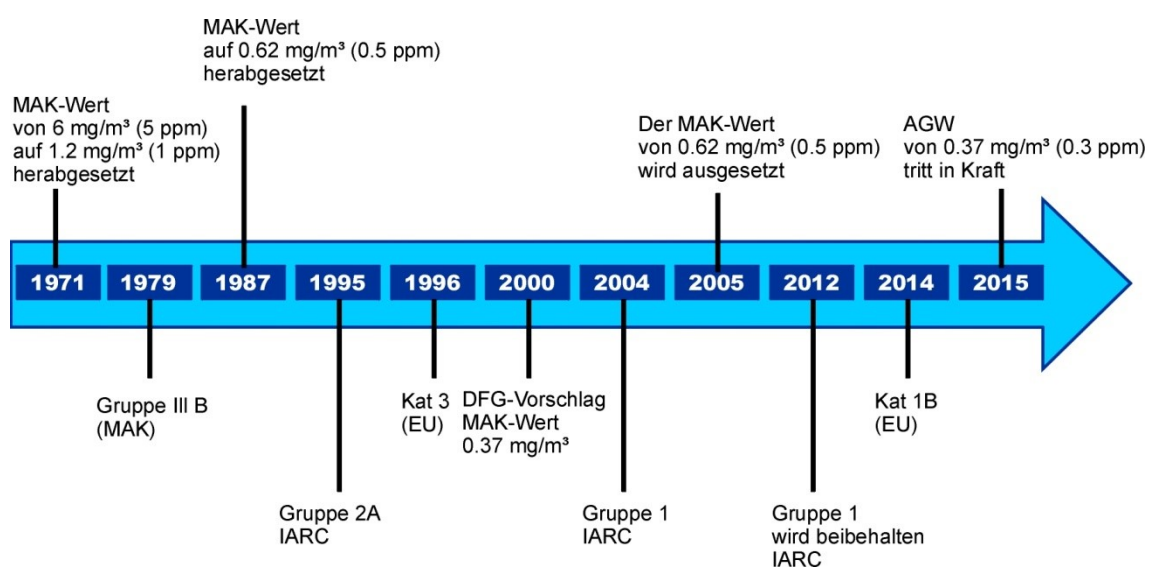
Augenschleimhäuten (Mori et al., 2013). Mori verglich die Beschwerden einer im Praktikum exponierten Gruppe mit einer beruflich nicht exponierten Gruppe. Auch hier zeigten sich die Formaldehyd-assoziierten Symptome nur in der exponierten Gruppe. In einer Studie von Onyije und Avwioro (2012) werden als Hauptbeschwerden ebenfalls tränende und rote Augen sowie verstopfte Nasen von Studenten des anatomischen Praktikums angegeben. Malhotra und Mitarbeiter (2017) beobachteten ein reduziertes Atemvolumen neben Beschwerden wie verstopften Atemwegen, brennenden Augen, Kopfschmerzen, Übelkeit und Rhinorrhoe. Gurbuz und Kollegen (2016) werteten im Rahmen einer Literaturstudie weltweit ermittelte Daten zur Formaldehyd-Belastung in medizinischen Fakultäten in einer Zeitspanne von 2000-2013 aus und kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Eine Schweizer Studie führt Fälle von Berufsasthma an (Jost et al., 2003).

Das Risk Assessment Committee (2012) stellt für die Berufsgruppe der Anatomen in einer Kohortenstudie von US-amerikanischen, kanadischen und englischen Embalsamierern keinen signifikanten Anstieg des Erkrankungsrisikos für nasopharyngeale Karzinome oder anderer Krebsarten fest, jedoch einen leichten Risikoanstieg für Prostata und Darmkrebs, Hirntumore, lymphohaematopoetische Erkrankungen und Leukämie. In keiner der Studien werden Daten zur Exposition angegeben, mit Konzentrationen zwischen 0.05 und 4.2 ppm werden die Arbeitsplätze in der Anatomie jedoch als deutlich stärker exponiert eingeschätzt, als vergleichbare Arbeitsplätze in der Industrie (Risk Assessment Committee, 2012).

### **1.3 Entwicklung des Arbeitsplatzgrenzwertes in der EU und in Deutschland**

Während die Abgabe von Formaldehyd aus Holzwerkstoffen zur Verwendung als Baustoff oder zur Möbelherstellung in Deutschland bereits seit 1980 gesetzlich geregelt ist (Ausschuss für Einheitliche Technische Baubestimmungen, 1980) geriet die Formaldehyd-Belastung durch Tätigkeiten im Gesundheitswesen oder in der Anatomie in Deutschland erst Anfang des Jahres 2000 in den Focus der Überwachungsbehörden. Systematische Untersuchungen zur Formaldehyd-Belastung in der Anatomie wurden in Deutschland erstmals von der Unfallkasse Hessen im Zeitraum 2002 – 2016 erhoben (Thullner und van Gelder, 2016; Thullner et al., 2015; Kellner et al., 2003). Im Jahr 2006 werden von Eickmann Probleme hinsichtlich der Einhaltung des damals bereits angekündigten neuen Arbeitsplatzgrenzwertes für Formaldehyd an ausgewählten Arbeitsplätzen, insbesondere bei Konservierungen in der Pathologie, Anatomie und im Rahmen des studentischen Praktikums prognostiziert, „die der Anwendung völlig neuer Techniken bedarf“ (Eickmann und Thullner, 2006).

Bis zum Inkrafttreten der neuen Gefahrstoffverordnung am 01. Januar 2005 erfolgte die Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) (ehemals Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen = MAK-Wert) und die toxikologische Bewertung eines Arbeitsstoffes allein von der ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Seit 1. Januar 2005 werden die Vorschläge für MAK-Werte von der Senatskommission einmal im Jahr veröffentlicht und dann vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) geprüft und ggf. als **AGW** in die Gefahrstoffverordnung übernommen.



**Abbildung 8:** Entwicklung des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) vom Jahr 1971 bis heute in Deutschland

**1971** Erste Reduktion der Maximalen Arbeitsplatz Konzentration (MAK-Wert) auf 1.2 mg/m<sup>3</sup> (= 1ppm) (Bundesgesundheitsamt, 1984).

**1979** Einstufung als Stoff mit „begründetem Verdacht auf ein krebserzeugendes Potential, Gruppe III B“ der MAK-Werte-Liste (Bundesgesundheitsamt, 1984)

**1983** Expositionsspitzenbegrenzung auf maximal 2 ppm für höchstens 8 mal je 5 Minuten pro Schicht (Bundesgesundheitsamt, 1984).

**1984** Der MAK-Wert von 1.2 mg/m<sup>3</sup> wird beibehalten (Bundesgesundheitsamt, 1984)

**1984** In einem gemeinsamen Bericht kommen Bundesgesundheitsamt, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamt unter Beteiligung der Bundesanstalt für Materialprüfung der Biologischen Bundesanstalt und des Vorsitzenden der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu „Formaldehyd“ in der Einstufung von „Formaldehyd als krebserzeugend“ zu folgendem Schluss: „Die Voraussetzungen der Gefährlichkeitsmerkmaleverordnung nach § 1 Nr. 11 a) bis c) sind nicht gegeben. Die Einstufung von Formaldehyd als krebserzeugend durch eine Rechtsverordnung nach

§ 13 Abs. 3 ChemG kann daher zur Zeit nicht empfohlen werden. Auch eine entsprechende Kennzeichnungspflicht nach § 13 Abs. 1 Satz 2 ChemG besteht nach unserer Auffassung nicht.“ (Bundesgesundheitsamt, 1984). Im Kapitel 14 – Schlussfolgerungen und Empfehlungen wird für Arbeitsplätze empfohlen: „Über die in der geltenden Arbeitsstoffverordnung bereits enthaltenen Vorschriften [...] hinaus werden folgende zusätzliche Schutzmaßnahmen empfohlen:

- Einsatz weniger gefährlicher Stoffe;
- messtechnische Überwachung am Arbeitsplatz: es wird zudem empfohlen, neben den bereits bekannten diskontinuierlichen Verfahren solche zu entwickeln, die geeignet sind, die kumulative Belastung am Arbeitsplatz zu erfassen und gleichzeitig das Erkennen von Spitzenkonzentrationen zu ermöglichen;
- möglichst weitgehende Unterschreitung geltender Grenzwerte durch sicherheitstechnische Maßnahmen;
- gesundheitliche Überwachung der Arbeitnehmer in regelmäßigen Abständen
- Erarbeitung weiterer spezieller Umgangsvorschriften für Industriebereiche mit erhöhtem Expositionsrisiko gegenüber Formaldehyd (z.B. Gießereien);
- wissenschaftliche Überprüfung des MAK-Wertes (Bundesgesundheitsamt, 1984)“

**1987** Absenkung der MAK-Wertes auf  $0.6 \text{ mg/m}^3$  (0.5 ppm) (Zwiener, 2015).

**1995** Die Internationale Krebsforschungsagentur (The International Agency for Research on Cancer IARC, 1995) der Weltgesundheitsorganisation stuft Formaldehyd in die Gruppe 2A als „wahrscheinlich krebserzeugend beim Menschen“ ("probably carcinogenic to humans") ein (Liteplo et al., 2002).

**1996** Formaldehyd wird in der EU mit der 22. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG als krebserzeugender Arbeitsstoff der Kategorie 3 „Verdacht auf krebserzeugende Wirkung“ eingestuft (Zwiener, 2015).

**2000** Vorschlag durch die DFG, den MAK-Wert auf 0.3 ppm ( $0.37 \text{ mg/m}^3$ ) herabzusetzen (DFG, 2000). Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe) stuft Formaldehyd in die Kategorie 4 "Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Unter diesen Bedingungen ist kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten“ (DFG, 2016; Zwiener, 2015). Der MAK-Wert von  $0.6 \text{ mg/m}^3$  (0.5 ppm) wird jedoch beibehalten.

**2004** „Die Internationale Krebsforschungsagentur IARC ändert ihre Einstufung für Formaldehyd von Gruppe 2A ("probably carcinogenic to humans") aus dem Jahr 1995 in Gruppe 1, nachweislich krebserzeugend beim Menschen ("carcinogenic to humans")

ab (IARC, 2004). Dadurch wird die Diskussion um die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd auch in Deutschland neu entfacht.

Die IARC kommt zudem zu dem Schluss, dass die Ergebnisse der epidemiologischen Studien auf eine Assoziation zwischen der inhalativen Formaldehyd-Exposition am Arbeitsplatz und der Entstehung von Leukämien hindeuten ("there is strong but not sufficient evidence for a causal association between leukemia and occupational exposure to formaldehyde") (IARC, 2004; Zwiener, 2015).

**2005** Mit der Einführung der Gefahrstoffverordnung am 01. Januar 2005 wird der MAK-Wert für Formaldehyd in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 ausgesetzt, da eine abschließende toxikologische Bewertung noch aussteht. Im Anhang zur TRGS 900 findet sich eine „Bearbeitungsliste des AGS zur TRGS 900“, in der der bisherige Grenzwert von 0.5 ppm bzw. 0.6 mg/m<sup>3</sup> beim gewerblichen Umgang mit Formaldehyd aufgeführt ist. In der Spalte „weitere Grenzwertvorschläge“ Formaldehyd wird die MAK-Begründung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, 2000) mit einem Wert von 0.3 ppm genannt (BMA, 2005; Hutter et al., 2011).

**2009** In der „Liste aller Änderungen und Neuaufnahmen in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2009“ werden für Formaldehyd keine Vorschläge für Änderungen im Rahmen der Einstufungsüberprüfung vorgesehen (DFG, 2009).

**2012** Die Einstufung von Formaldehyd in der Liste der krebserzeugenden Stoffe durch die IARC in die höchste Kategorie als beim Menschen nachweislich krebserzeugend wird beibehalten (Group 1, Carcinogenic to humans) (IARC, 2012).

**2014** Mit der EU-Verordnung Nr. 605/2014 der Kommission vom 5. Juni 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-V) wird Formaldehyd in die Kategorie Carcinogen 1B (krebserzeugend) und Mutagen 2 (Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung) eingeordnet. Die Verordnung sollte zum 01. April 2015 in Kraft treten (EU-Commission, 2014), wurde jedoch mit EU-Verordnung Nr. 491/2015 (EU-Kommission, 2015) auf 01. Januar 2016 verschoben.

**2015** Der neue AGW für Formaldehyd von 0.3 ml/m<sup>3</sup> entsprechend 0.37 mg/m<sup>3</sup> wird vom (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2015c) im März 2015 bekannt gegeben und ist dadurch amtlich.

### **1.4 AGW und Innenraum-Richtwert**

Der Arbeitsplatzgrenzwert ist per Definition abgeleitet für die Gefährdungsbeurteilung beim Umgang mit Gefahrstoffen. In der Anatomie stellt demnach der mit Formalin-Lösung präparierte Spenderkörper als starker Formaldehyd-Emittent einen „Gefahrstoff“ dar. Für Personen, die nicht unmittelbar im Raum mit einem Gefahrstoff umgehen, kann der strengere Richtwert des Ausschuss für Innenraumschadstoffe

(AIR) für Innenraumlufte von 0.1 mg/m<sup>3</sup> zur Beurteilung herangezogen werden (UBA, 2016).

Der Arbeitsplatzgrenzwert liegt gemäß TRGS 900 in der Fassung vom 08.06.2017 bei 0.37 mg/m<sup>3</sup>. Der Überschreitungsfaktor wird mit „2 (I)“ angegeben, der Formaldehyd-Gehalt der Raumluft darf demnach nur einmal „(I)“ je Schicht bis max. 15 Minuten auf einen Gehalt von 0.74 mg/m<sup>3</sup> („2“-fache Überschreitung des AGW) ansteigen. Formaldehyd ist mit dem Präfix „X“ als kanzerogener Stoff der Kategorie 1A/1B gekennzeichnet. Formaldehyd ist mit der Bemerkung "Y" als Stoff ausgewiesen, dessen entwicklungstoxische Wirkung bekannt ist, aber ein Risiko der Fruchtschädigung bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes nicht befürchtet werden muss. Bei Formaldehyd als mit „Sh“ gekennzeichneten Stoff ist die Auslösung einer allergischen Reaktion an luftexponierten Hautpartien in Einzelfällen auch bei Einhaltung des AGWs (inklusive des Kurzzeitwertes) nicht auszuschließen - es sei denn, dass ein Grenzwert unter Berücksichtigung weitgehender Symptomfreiheit aufgestellt worden ist (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2017b).

Bei der Tätigkeit an Formalin-fixierten Präparaten kommt es zu starken zeitlichen und räumlichen Schwankungen der inhalativen Exposition. Ein Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ kann gemäß TRGS 402 nur dann begründet werden, wenn in diesem Fall weitere Anforderungen über die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes hinaus erfüllt sind. Um auch in der Zukunft die Erfüllung der Voraussetzungen für den Befund „Schutzmaßnahmen ausreichend“ gewährleisten zu können, wird ein zeitgewichteter dimensionsloser Quotient aus Messwert und AGW gebildet, der möglichst unterhalb eines Wertes, dem sogenannten Stoffindex, von 0.1 liegen sollte (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2017a). Um den Stoffindex von 0.1 für die Aufenthaltsdauer von Dozenten zu erreichen, muss die Luftbelastung in der Anatomie Gießen unterhalb eines Gehaltes von 0.1 mg/m<sup>3</sup> Formaldehyd in der Atemluft liegen<sup>2</sup>.

Bei Tätigkeiten mit Formaldehyd als Gefahrstoff sind die §§ 8 bis 10 und § 14 der Gefahrstoffverordnung zu beachten (Gefahrstoffverordnung, 2010; Eickmann und Thullner, 2017). Die Führung eines namentlichen Expositionsverzeichnisses wird für Beschäftigte verlangt, die gefährdend exponiert sind. „Über die Gefährdung hat der Arbeitgeber seine Beschäftigten zu informieren. Seit 2015 kann dieses Verzeichnis auch in Form der Zentralen Expositionsdatenbank (ZED) der DGUV geführt werden. Kriterien für die Aufnahme in das Expositionsverzeichnis bzw. in die ZED sind nach TRGS 410 insbesondere dann erfüllt, wenn der AGW von Formaldehyd nicht eingehalten ist bzw. dessen Einhaltung nicht nachgewiesen wurde“ (Eickmann, 2015).

---

<sup>2</sup> Formel zur Berechnung: Messwert / (Grenzwert x F). F = Schichtlänge/Expositionsdauer, für Dozenten F = 2,67 (mündliche Mitteilung)

Im internationalen Vergleich belegt Deutschland mit einem Formaldehyd Grenzwert von 0.3 ppm eine mittlere Position mit einem verhältnismäßig strengen Grenzwert.

Eine Übersicht findet sich in der GESTIS Stoffdatenbank des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass Japan mit 0.1 ppm, gefolgt von Israel mit 0.2 ppm, im weltweiten Vergleich die strengsten Anforderungen an die maximale Arbeitsplatzkonzentration für Formaldehyd stellt, während Irland mit einem Grenzwert von 2.0 ppm noch nach Australien mit einem Grenzwert von 1.0 ppm weltweit an letzter Stelle steht.

Substance	Formaldehyde			
	CAS No. 50-00-0			
	Limit value - Eight hours		Limit value - Short term	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
Australia	1	1,2	2	2,5
Austria	0,5	0,6	0,5	0,6
Belgium			0,3	0,38
Canada - Ontario			1	
			1,5 (1)	
Canada - Québec			2 (1)	3 (1)
Denmark	0,3	0,4	0,3	0,4
Finland	0,3	0,37	1 (1)	1,2 (1)
France	0,5		1	
Germany (AGS)	0,3	0,37	0,6 (1)	0,74 (1)
Germany (DFG)	0,3	0,37	0,6 (1)(2)	0,74 (1)(2)
Hungary		0,6		0,6
Ireland	2	2,5	2 (1)	2,5 (1)
Israel	0,2	0,24	0,3 (1)	0,37 (1)
Japan	0,1			
Japan - JSOH	0,1	0,12		
	0,2 (1)	0,24 (1)		
Latvia		0,5		
New Zealand	0,33 (1)		1 (3)	
	0,5 (2)			
People's Republic of China				0,5 (1)
Poland		0,5		1
Singapore			0,3	0,37
South Korea	0,5	0,75	1	1,5
Spain			0,3	0,37
Sweden	0,3	0,37	0,6 (1)	0,74 (1)
Switzerland	0,3	0,37	0,6	0,74
The Netherlands		0,15		0,5
USA - NIOSH	0,016		0,1 (1)	
USA - OSHA	0,75		2	
United Kingdom	2	2,5	2	2,5

**Tabelle 1:** Arbeitsplatzgrenzwerte für Formaldehyd in verschiedenen Ländern (IFA, 2017)

Spätestens mit der rechtsverbindlichen Einführung des amtlichen Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) von 0.37 mg/m<sup>3</sup> im März 2015 (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2015c) in Deutschland besteht massiver Handlungsbedarf, die Suche nach Formaldehyd-reduzierten oder -freien Arbeitsverfahren in den Anatomiesälen der medizinischen Fakultäten zu intensivieren, um die Schließung der anatomischen Praktika abzuwenden. In einer „Stellungnahme und Empfehlung der Arbeitsgruppe „Formalin“ zur Reduktion der Formaldehyd-Belastung im Präparierkurs“ werden die für das Leichenwesen zuständigen Institutsleitungen Ende 2015 eindringlich zur messtechnischen Erfassung der jeweiligen Belastung mit Formaldehyd und zur Durchführung von Maßnahmen zur Expositions-Reduktion aufgefordert (Paulsen, 2015).

Einige Universitäten, wie z.B. Bochum und Frankfurt, stellten den Betrieb der anatomischen Praktika vorübergehend ein (Schmidt, 2015; Bader, 2016), da zeitweise keine Möglichkeit bestand, den Arbeitsplatzgrenzwert einzuhalten. Die Alternative – die Abschaffung des Präparierkurses - sowie Pro und Contra des anatomischen Praktikums werden zwar in vielerlei Hinsicht kontrovers diskutiert (Steinecke, 2013; Lippert, 2012; McLachlan et al., 2004), es besteht jedoch weitgehende Einigkeit darüber, dass der Präparierkurs fundamentaler Bestandteil der medizinischen Ausbildung ist und alle Alternativen lediglich sinnvolle Ergänzungen darstellen können (Waschke, 2016). Die Abschaffung des Präparierkurses stellt damit keine diskutabile Alternative dar.

Die Verwendung von Formaldehyd als Kanzerogen der Kat. 1B (Ausschuss für Gefahrstoffe 2015b) in der Präparation steht jedoch im Rahmen der Biozid-Richtlinie aktuell zur Prüfung (Europaparlament und Europarat, 2012). Als Biozid der Hauptgruppe 4 darf Formaldehyd in Produkten<sup>3</sup> voraussichtlich nur noch im Rahmen der Übergangsfristen für Altstoffe verwendet werden (Nies und Steinhausen 2016)<sup>4</sup>. Nies und Steinhausen (2016) konstatieren, dass die Verordnung auch für vor Ort hergestellte Biozidprodukte wirksam sei. Juristisch zu prüfen wäre jedoch, ob zu wissenschaftlichen Zwecken in der Anatomie selbsthergestellte Fixiermittel auf

---

<sup>3</sup> Produktgruppe 22, „Flüssigkeiten für Einbalsamierung und Taxidermie“

<sup>4</sup> „Alte Wirkstoffe“ sind gemäß REACH-Helpdesk definiert als Wirkstoffe, die am 14. Mai 2000 als Wirkstoff in Biozidprodukten in Verkehr für andere Zwecke als wissenschaftliche oder produkt- und verfahrensorientierte Forschung und Entwicklung waren. Gemäß **Artikel 1 Ziel und Gegenstand** (1) der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 ist Ziel dieser Verordnung, „das Funktionieren des Binnenmarkts durch die Harmonisierung der Vorschriften für die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten bei gleichzeitiger Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Gesundheit von Mensch und Tier und für die Umwelt zu verbessern“ (Europäisches Parlament und Rat, 2012).

Formalin-Basis tatsächlich unter die REACH<sup>5</sup>-Verordnung fallen, da diese möglicherweise kein Produkt oder Handelsware im Sinne der Verordnung darstellen.

### 1.5 Formaldehyd-freie Präparationsverfahren

Es gibt Formaldehyd-freie Fixiermethoden, zu denen es bisher noch keine oder nur begrenzte Erfahrungen für humane Präparate gibt. Solche sind zum Beispiel das nur an Ziegen getestete Mittel SEFS (soap- and ethanol based fixing solution), basierend auf Ethanol als Fixativ, flüssigen Seifenschaum zur Modifikation, Citronensäure als Antioxidans und Benzalkoniumchlorid als Desinfektionsmittel (Turan et al., 2017).

Gyori-O'Neill beschrieb eine Alkohol-Glykol-Mischung aus einer Mischung von aliphatischen Alkoholen, Diethylenglykol und Monoethylenglykol die hinsichtlich des Erhalts von Textur, Volumen, Farbe und Gestalt des Körpers und des Gewebes optimiert wurde und über eine desinfizierende Wirkung verfügt. Die Präparate können bereits eine Stunde nach Fixierung zur Dissektion verwendet werden (Goyri-o-Neill 2013).

Hammer und Mitarbeiter (2012) entwickelten eine Perfusions-Lösung aus Ethanol und Glycerin, die allerdings eine weitere Lagerung der Körper in 65% Ethanol (v/v) benötigen. Dies setzt explosionsgeschützte Räume voraus. Die Körper sind ca. 3 Jahre verwendbar, das Gewebe bleibt natürlich im Erscheinungsbild.

Saturated Salt Solution (SSS): Die anfänglich von Hayashi entwickelte Methode (Hayashi et al., 2014; Hayashi et al., 2016) auf Basis einer gesättigten Kochsalzlösung wurde aktuell von Lombardero modifiziert und auf die Verwendung von reinem Kochsalz ohne Formaldehyd oder Phenol reduziert. Verschiedene Fixiertechniken wurden sehr erfolgreich in der Veterinärmedizin erprobt, für die Humanmedizin liegen keine Ergebnisse vor (Lombardero et al., 2017).

Auch Nitritpökelsalz findet Verwendung in der Anatomie. Fixiert wird mit einer Lösung aus 23% Nitritpökelsalz, 30% Ethanol und 20% Pluriol<sup>®</sup> E 400, einer Mischung aus Polyethylen-Glykolen der Firma BASF. Der Mischung wird Oregano-Öl zur Geruchsverbesserung und als Antioxidans 3% Ascorbinsäure zugegeben. Erste Ergebnisse an Hunden zeigen deutliche Gelbfärbung des Gewebes und starke Korrosion an Tanks und Fußböden. Der korrosive Effekt nahm ab, nachdem Ascorbinsäure in der Rezeptur durch Ethanol ersetzt wurde. Schimmelbildung wurde zwar nicht nachgewiesen, jedoch Bakterien (Janczyk et al., 2011).

Als käuflich zu erwerbendes Fertigprodukt gibt es ein Fixativ mit Bronopol (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>BrNO<sub>4</sub>, 2-Bromo-2-nitropropan-1,3-diol) auf Basis von Natriumcitrat, Glycerin, Ethanol oder

---

<sup>5</sup> Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

Methanol (Dissard et al., 2014). Die weitere Zulassung wird aktuell noch durch die EU geprüft (Europäisches Parlament und Rat, 2012).

Anichkov und Mitarbeiter (2010) haben Polyhexamethylenguanidinhydrochlorid im Vergleich zur Formaldehyd-Fixierung an menschlichen Organen und 12 Tage alten Hühnerembryonen mit gutem Erfolg getestet. Über die Verwendung an vollständigen menschlichen Körpern liegen bislang keine Ergebnisse vor.

Shi und Mitarbeiter (2011) verwendeten eine Fixierlösung mit 15% Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumchlorid-Salz als Vernetzungsmittel und 85% Citratpuffer als Formaldehyd-Ersatz an Hasen und menschlichem Gewebe. Erfahrungen an vollständigen menschlichen Körpern liegen nicht vor.

Al-Hayani und Mitarbeiter (2011) beschrieben eine unkonventionelle Methode der Fixierung mittels Schellack. Die Schellack-Alkohol-Wasser-Mischung wird in den Situs eingebracht die Präparate werden dann in Tanks mit diesem Gemisch unter Druck gelagert. Die dabei entstehenden Präparate gleichen Mumien.

Auch Firmen bringen sich ein in die Suche nach einer alternativen Fixierungsmethode: Die MEDIS-KUGEL GmbH stellte ein vollautomatisches Perfusionsgerät vor, das ohne Verwendung von Formaldehyd zunächst Präparate mittels Schellack mumifiziert. Diese „Mumien“ können nach Herstellerangaben trocken gelagert und vor Verwendung im anatomischen Praktikum wieder in eine weiche Form gebracht werden. Der Hersteller beruft sich auf Erfahrungen in der Regeneration und Reparatur von alten Mumien, Erfahrungen an frischen Körpern liegen in der Literatur nicht vor (MEDIS-Kugel GmbH).

Coleman und Kogan (1988) verwendeten eine auf 0.55% reduzierte Formaldehyd-Perfusionslösung mit hohem Salzgehalt, Phenol, Glycerin und Isopropanol. Die haptischen Eigenschaften werden als sehr gut beschrieben bei gleichzeitig langer Verwendbarkeit der Präparate. Es wird eine Reduzierung der Formaldehyd-Belastung auf Werte von weniger als 0.37 ppm auch 20 cm über dem geöffneten Thorax ermittelt, die niedrigsten Werte werden jedoch mit 0.4 ppm angegeben und liegen damit für die Einhaltung des aktuellen AGWs in Deutschland zu hoch. Bei späteren Versuchen von Coleman (1995) mit einem climatechnisch optimiertem Absaug-Tisch konnte bei Verwendung von Präparaten mit 1.2% Formaldehyd in der Fixierung Werte von weniger als 0.1 mg/m<sup>3</sup> in der Luft über dem geöffneten Thorax erreicht werden. Die Anschaffungskosten der Tische betragen \$ 20 000 je Exemplar.

Neue Methoden unter Verwendung des Desinfektionsmittels Glucoprotamin (Ecolab Deutschland GmbH, 2016) sind derzeit in der Anatomie noch nicht abschließend erprobt (Waschke, 2016). Dabei handelt es sich um ein Pyrrolidinderivat, das z.B. als Wirkstoff im Desinfektionsmittel „Incidin plus“ enthalten ist. Der Patentschrift Zeyher

und Hirt, 2016 sind folgende Informationen zu entnehmen: „Glucoprotamin ist eine aus mehreren Komponenten bestehende Substanz. Die wichtigsten Komponenten und Hauptwirksubstanzen von Glucoprotamin sind das (2S)-Pyrrolidin-5-oxo-carbonsäureamid, N-3-(dodecylamino)propyl und das (2S)-Pyrrolidin-5-oxo-carbonsäureamid, N-3-(tetradecylamino)propyl. Glucoprotamin wird aufgrund seiner antimikrobiellen Wirksamkeit als Flächendesinfektionsmittel vorwiegend in Krankenhäusern und Kliniken, eingesetzt (Zeyher und Hirt 2016).

Aminolipin (PYC12) wurde in der Anatomie Tübingen (Neckel et al., 2017) entwickelt und stellt ein Reaktionsprodukt aus L-Pyroglutaminsäuremethylester und N1-Dodecylpropan-1,3-diamin dar. Im Ergebnis zeigen sich sehr gute haptische Eigenschaften der Präparate und sehr gute desinfizierende Wirkung. Aminolipin wird in der Humananatomie der Universität Tübingen bereits erprobt, eine Zulassung zur Anwendung als Fixativ in der Anatomie ist beantragt (Hirt, 2017).

Ein zuverlässiger und allgemein praktikabler Ersatzstoff für Formaldehyd als Fixativ konnte in der Humanmedizin bislang jedoch noch nicht gefunden werden (Waschke, 2016).

### **1.6 Formaldehyd-„zerstörende“ Verfahren**

Vor dem Hintergrund, dass annähernd jedes Institut zumindest in Deutschland mit eigenen Rezepturen unterschiedlichster Gehalte an Formaldehyd und weiterer Bestandteile arbeitet (Thullner et al., 2015), wirken sich die Formaldehyd-zerstörenden Verfahren jeweils sehr unterschiedlich auf die Formaldehyd-Emission aus. Demer, (2014) bewertet die Bemühungen der Formaldehyd-Zerstörung bei anatomischen Präparaten deshalb insgesamt zwar als recht vielversprechend, im Einzelfall jedoch als eine experimentelle Aufgabenstellung. Erste Versuche zeigten in Abhängigkeit der eingesetzten Substanzen unterschiedliche Ergebnisse.

Coskey und Gest (2015) untersuchten den Einfluss der Reduktion der Formaldehyd-Emission an mehreren mit ca. 6% Formaldehyd fixierten Präparaten mit drei verschiedenen Anwendungen von Monoethanolamin (MEA): Re-Perfusion, Mehrfach-Punkt-Injektion und im Sprühverfahren. Luftmessungen in Atemhöhe im studentischen Praktikum zeigte, dass die Anwendung der Mehrfach-Punkt-Injektion insgesamt die beste Reduzierung mit Messwerten von  $0.41 \text{ ppm} \pm 0.11 \text{ ppm}$  erbrachte.

Als Ersatz für das unangenehm riechende Ammoniak verwendeten (Kawamata und Koda, 2004a) eine gesättigte Ammoniumcarbonat Lösung zur Re-Perfusion von Präparaten, die zuvor mit ca. 3.7% Formaldehyd-haltiger Fixierung konserviert wurden. In direkter Nähe des Ganzkörperpräparates sowie an Organen ergaben die Luftmessungen eine deutliche Reduktion der Formaldehyd-Emission um den Faktor 2-

10 auf Werte in der Größenordnung von 0.2-1.5 ppm. Die Methode macht jedoch Präventivmaßnahmen gegen Schimmelbildung notwendig (Kawamata und Kodera, 2004b).

Frölich (1984) verwendete Phenoxyethanol zur Formaldehyd-Reduktion. Formaldehyd-fixierte Körper (2-4%) werden hierzu 4 Monate in Wannen mit einer 4%-igen Formaldehyd-Lösung und anschließend in einer Lösung von 1% Phenoxyethanol in Leitungswasser gelagert, das alle 3 Monate erneuert wird. Vor der Präparation erfolgt dadurch eine zweimalige Spülung mit der Phenoxyethanol-Lösung, mit der freies Formaldehyd ausgeschwemmt wird. Die Präparate wurden anschließend in einem Zeitraum von 4 Wochen verwendet. Raumluftmessungen der Umgebungsluft ergaben auch bei abgeschalteter Lüftungsanlage sowie im Präparierkurs über dem Präparat Konzentrationen von weniger als 0.5 ppm Formaldehyd. Empfindliche Messverfahren lieferten Ergebnisse in der Raumluft von 0.15, 0.2 und weniger als 0.3 ppm. Die Haptik des Gewebes wird als annähernd frisch beschrieben, unangenehme Gerüche sind nicht mehr vorhanden, gesundheitliche Beschwerden wurden nur in geringem Umfang geäußert. (Becker, 2003) berichtet, dass die durch die Formalin-Fixierung aufgetretene Härtung durch Spülen mit Phenoxyethanol aufgehoben würde. Fettreiche Präparate eignen sich weniger für gut für die Daueraufbewahrung, da Phenoxyethanol fettlösend wirkt. Becker verwendete Phenoxyethanol bereits seit mehreren Jahren in ganzsemestrigen Präparationskursen. Das Verfahren ist jedoch sehr aufwändig.

Im Rahmen einer Pilotstudie stellten Ohmichi und Mitarbeiter (2007) einen Tisch mit Absaugung und integriertem Photokatalysator vor, der das Formaldehyd zunächst absaugt und in der abgesaugten Luft direkt durch Photokatalyse mit UV Licht zu CO<sub>2</sub> umwandelt. Die von Formaldehyd befreite Luft kann direkt wieder in die Raumluft geleitet werden und muss nicht nach außen abgeführt werden. Durch den Betrieb der Anlage findet z.B. 30 cm über dem Präparat eine massive Reduktion der Formaldehyd-Belastung von 0.46 auf 0.08 ppm statt. Über eine Anwendung im studentischen Praktikum mit vielen Tischen im Raum liegen jedoch keine Ergebnisse vor.

Infutrace™ stellt eine Formel zur Reduzierung von Formaldehyd und Phenol-Emissionen dar und ist speziell für die Anwendung an entsprechend fixiertem menschlichem oder tierischem Gewebe und Spenderkörpern konzipiert (American Bio-Safety, Rocklin CA, USA). Der Hersteller proklamiert eine Reduktion der Emission von Formaldehyd bis zu 95%. Infutrace™ stellt selbst kein Fixiermittel dar, kann aber nach vollständig vollzogener Fixierung angewendet werden, um freies Formaldehyd oder Phenol innerhalb von 10-24 Stunden im Gewebe und in Gewebeflüssigkeiten direkt zu binden (American Bio-Safety). Es kann auch zur Befeuchtung eingesetzt werden und soll die Schimmelbildung verhindern (American Bio-Safety). Ein Wirksamkeitsnachweis

des Herstellers bezieht sich allein auf eine Veröffentlichung von Cauwenbergs und Mitarbeiter, die wahrscheinlich dem Jahr 1998/1999 zuzuordnen ist. Der Wirksamkeitsnachweis wurde demnach an Luftmesswerten im anatomischen Praktikum erbracht, die mit direktanzeigenden Teströhrchen an einer Handpumpe ermittelt worden sind. Obwohl der Messbereich des Verfahrens mit 0.5-32.5 ppm angegeben wird, werden Messwerte von 0.2 ppm genannt, die formal unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen. Über das Wirkprinzip ist wenig bekannt. Nach Herstellerangaben bildet sich ein Polymer. Eine Polymerisationsreaktion, ähnlich wie sie zur Produktion von Formaldehyd-gebundenen Harnstoff-Harzen zur Pressspanherstellung stattfindet, wäre z.B. denkbar. Harnstoff könnte sich als sehr kleines Molekül wahrscheinlich besonders gut für die Anwendung an konservierten Körpern eignen.

Das Sicherheitsdatenblatt von Infutrace™ enthält lediglich Angaben zu physikalischen Eigenschaften und zum pH-Wert von 2.5 (Sasco Chemical Group, 2012). Das Produkt enthält ein Fungizid (American Bio-Safety). Infutrace™ wird als Konzentrat bezogen und zur Anwendung für die Re-Perfusion oder zur Punkt-Injektion als 20%ige Lösung oder 11%ig als Oberflächenspray eingesetzt (American Bio-Safety).

In der Literatur finden sich nur wenige Vergleichsmessungen für die Formaldehyd-Emission nach Infutrace™-Behandlung. Whitehead und Savoia (2008) vergleichen zwei Verfahren der Infutrace™-Nachbehandlung mit einem alternativen Fixativ namens „Carolina Perfect Solution (CPS)“, das jedoch 2.5% Phenol sowie geringe Mengen an Formaldehyd enthält und somit keine echte Alternative darstellt.

Im Ergebnis zeigt sich unter simulierten Praktikumsbedingungen nach Re-Perfusion mit Infutrace™ im Vergleich zum nicht behandelten Körper eine Reduktion der Formaldehyd-Emission um bis zu 50%. Personenbezogene Messungen der Atemluft ergeben aber auch bei dem mit Infutrace™ durch Re-Perfusion behandelten Präparat Konzentrationen von bis zu 0.8 ppm bei Öffnung von Thorax oder Abdomen, bzw. bei Präparation im Bereich des Abdomens. Whitehead lässt offen, ob Infutrace™ auch im Sprühverfahren oberflächlich angewendet worden ist und auf welche Weise genau Infutrace™ in die Kavitäten eingebracht wurde.

An verschiedenen amerikanischen Universitäten wie z.B. dem *Daemen College* oder der *University of Virginia*, wird Infutrace™ im Praktikum eingesetzt (Styn, 2014 und 2015). Infutrace dient auch als Befeuchtungsmittel (American *Mt. San Antonio College*, 2014; Caler et al. 2011).

Goldman (2010) berichtet über eine massive Reduzierung von Formaldehyd durch die Verwendung von Infutrace™, nennt aber keine Zahlenwerte. Rosenberg und Fitch (1998) verwendeten Infutrace™ im zoologischen Labor, Messwerte zu

Luftuntersuchungen werden jedoch nicht genannt. Eine Untersuchung durch die australische Regierung im Jahr 2006 nennt Messwerte nach Beprobung mittels Passivsammler von 1.66 und 3.15 ppm vor Infutrace<sup>TM</sup>-Anwendung und von 0.46 ppm nach Infutrace<sup>TM</sup>-Behandlung (Australian Government - Department of Health and Ageing, 2006). Dies entspricht einer Reduktion um den Faktor 3.6 bzw. 6.8.

Einige dieser Verfahren scheinen vielversprechend. Da die Räumlichkeiten der Anatomie Gießen keine Möglichkeit bot kurzfristig abgesaugte Tische nachzurüsten und zahlreiche Körperspender bereits mit 3% fixiert waren, musste ein alternatives Verfahren der Formaldehyd-Reduktion entwickelt werden. Aus ethischen Gründen sollten die bereits fixierten Präparate dem Wunsch ihrer Spender gemäß eingesetzt werden!

### **1.7 Zielsetzung**

Ziel der vorliegenden Dissertation war deshalb, mit finanziell- und präparativ vertretbarem Aufwand zu einer sicheren Reduktion der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft auf Werte unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes zu gelangen. Dabei sollte ein Weg gefunden werden, mit dem sicheres Arbeiten auch an formaldehyd-fixierten Präparaten aus dem Bestand in der Anatomie gewährleistet werden konnte.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Methodik der Formaldehyd-Messung

#### 2.1.1 Grundlage des Messverfahrens

Probenahme und Analytik erfolgten zur Überwachung des Arbeitsplatzgrenzwertes und der Spitzenbegrenzung in Anlehnung an das Messverfahren „Aldehyde“ der BGIA-Arbeitsmappe, Kennzahl 6045 (Assenmacher-Maiworm und Hahn, 2009), in Verbindung mit DIN ISO 16000-3:2013-01/-02<sup>6</sup>. Das Verfahren ist vergleichbar mit der Methode nach NIOSH 2016 (Tucker, 2003).



**Abbildung 9:** aktive Personenmessung mittels Pumpe (Pumpe nicht abgebildet)

Die Probenahme mittels Radiello® Passivsammler erfolgte nach Herstellerangabe (FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI-IRCCS, 2006).

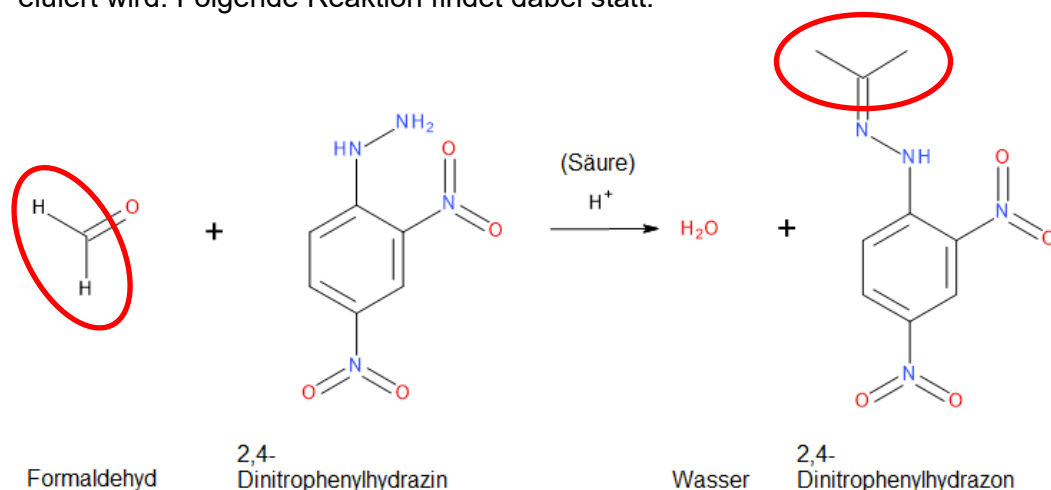


**Abbildung 10:** passive Personenmessung mittels Radiello®-Passivsammler

---

<sup>6</sup> „Innenraumlftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumlft und in Prüfkammern - Probenahme mit einer Pumpe“ sowie Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd (ISO 16000-2:2004); Deutsche Fassung EN ISO 16000-2:2006“

Für die aktive Probenahme an der Person oder im Raum wurde jeweils ein definiertes Volumen Luft mittels Pumpe über eine mit DNPH (2,4-Dinitrophenylhydrazin) als Adsorbens belegte Kartusche geleitet. Der Passivsammler ist ebenfalls mit DNPH belegt. Säurekatalysiert entsteht ein stabiler Aldehyd-DNPH-Komplex (2,4-Dinitrophenylhydrazon) der mit Acetonitril von der Kartusche / dem Passivsammler eluiert wird. Folgende Reaktion findet dabei statt:



Im Eluat wurde der Formaldehydgehalt der Probe als Hydrazon direkt mit HPLC und UV-Detektion bei 360 nm bestimmt. Die Identifizierung erfolgte durch den Vergleich der Spektren mit der entsprechenden Referenzsubstanz. Zur Quantifizierung wird die Peakfläche mit einem Kalibrator verglichen. Bei der Bestimmung mittels Passivsammler wurde die Quantifizierung zusätzlich über die Berechnung der spezifischen Sammelrate durchgeführt, die für Formaldehyd bei 99 ml/min liegt (FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI-IRCCS, 2006).

#### *Prinzip der Probenahme mittels Passivsammler:*

Während der aktiven Probenahme wird Luft mittels einer Probenahmepumpe über ein Adsorbens geleitet und die Zielsubstanz direkt an die Oberflächenbeschichtung chemisch gebunden oder adsorbiert.

Bei der Passivsammlung werden die Zielsubstanzen nicht angesaugt, sondern gelangen „passiv“ durch Diffusion an die Oberfläche des Adsorbens, um dann ebenfalls dort gebunden zu werden. Die Konzentration auf dem Passivsammler wird deshalb vor allem von einem sogenannten Diffusionskoeffizienten sowie der Sammeldauer bestimmt. Der Diffusionskoeffizient variiert für jeden Passivsammlertyp je nach Geometrie, Adsorbens, Trägermaterial u.a. und jede Zielsubstanz in Abhängigkeit der Molekülgröße, des Dampfdrucks sowie der funktionellen Gruppe u.a. Faktoren und muss deshalb für jede Zielsubstanz und jeden Sammlertyp gesondert bestimmt werden (Kraus et al., 2015).

Adsorbens: Supelco DNPH S10 Probennahmeröhrchen: Katalog-Nr.: 54072-U  
Kapazität: ca. 225 µg Formaldehyd pro Kartusche  
Radiello® Passivsammler C1 mit: blauem Diffusionskörper code 120-1  
Trägerplatte code 121, verticalem Adapter code 122 (optional),  
Adsorbens-Kartusche code 165

## 2.1.2 Probennahme-Equipment

### 2.1.2.1 Personal-Sampler

GSA 2500ex, Fa. GSA Gerätebau GmbH, Ratingen

GSA 250, Fa. GSA Gerätebau GmbH, Ratingen

GilAir Plus, Fa. Sensidyne<sup>7</sup>, St. Petersburg, U.S.A.

Buck, Fa. A. P. BUCK INC<sup>8</sup>, Orlando, U.S.A.

Flusskontrolle mittels: TSI Model 4199, 4100 Series, TSI GmbH, Aachen

### 2.1.2.2 Raumluft-Probenahme:

Pumpe: BiVOC2-Sammler, Fa. Umweltanalytik Holbach GmbH, Wadern



**Abbildung 11:** Raumluft-Probenahme mittels BiVOC2-Sammler

Die Probenahme wurde von der Autorin durchgeführt.

Analytik und Auswertung der Proben erfolgte durch die ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel.

---

<sup>7</sup> Vertrieb über DEHA Haan & Wittmer GmbH, Heimsheim

<sup>8</sup> Vertrieb in Deutschland eingestellt

### 2.1.3 HPLC-Bestimmung

#### HPLC-System

#### *HPLC-Anlage:*

Fa. Knauer HPLC-Pumpe 64

HPLC-Säulenthermostat Columns Heater 2/1

UV Detektor Fa. Knauer

Gradientenformer: Gynkotec Model 250 B

#### *HPLC-Säulen:*

Vorsäule: Fa. Agilent, 4,6 x 12,5mm, 5 Micron, Bestnr. P.N.: 820950-902

Trennsäule: Fa. Agilent Zorbax ODS, 4,6x 250mm, 5 Micron, Bestnr. P.N.: 884950-543

#### *Desorbens:*

Acetonitril, Rotisol HPLC gradient grade als Elutionsmittel, Fa. Roth, Best. Nr.: 8825.2

#### *Fliessmittel:*

Methanol, Hypersolv Chromanorm for HPLC, Fa. VWR Chemicals, Best.Nr.: 20837.360

mit 0.2% Ameisensäure, 99% AnalaR NORMAPUR® ACS, Reag. Ph. Eur. Fa. VWR

Chemicals, Best.Nr.: 20318.297

#### *Verfahrenskenndaten Aktivmessung*

<b>Sammelvolumen</b>	<b>50 l</b>	<b>10 l*</b>
Schwerpunkt des linearen Arbeitsbereiches	10-100 µg/m <sup>3</sup>	50-500 µg/m <sup>3</sup>
Nachweisgrenze	0.24 µg/m <sup>3</sup>	1.2 µg/m <sup>3</sup>
Bestimmungsgrenze	1 µg/m <sup>3</sup>	5 µg/m <sup>3</sup>
Präzision im Schwerpunkt	5.8%	

**Tabelle 2:** Verfahrenskenndaten aktive Probenahme

\*Kenndaten aus der Grundkalibration für Sammelvolumen von 50 l auf 10 l umgerechnet

#### *Verfahrenskenndaten Passivmessung*

Bestimmungsgrenze bei zwei Stunden Expositionsdauer: 0.008 mg/m<sup>3</sup>

#### **Umrechnungsfaktor:**

0.37 mg/m<sup>3</sup> entsprechen 0.3 ppm unter Normalbedingungen.

## **2.2 Infutrace™**

Vertrieb durch American Bio-Safety, Inc., 4322 Anthony Court, # 5 Rocklin, U

Web-Site: [www.AmericanBioSafety.com](http://www.AmericanBioSafety.com); E-mail: [absafety@sbcglobal.net](mailto:absafety@sbcglobal.net)

Produkt-Nr.                   erhältliche Gebinde (Konzentrat)

IT-250                         1 x 9 l Karton mit Entnahmehahn

IT-055                         1 x 208 l Fass

Gemäß Herstellerangaben (American Bio-Safety) wurde das Konzentrat als 20%ige Lösung zur Injektion verwendet. Als Spray wurde es in einer Konzentration von 11% angewendet.

Die Infutrace™-Behandlung soll nach Produktbeschreibung frühestens 7-10 Tage nach Perfusion mit der üblichen Formaldehyd-haltigen Formulierung durchgeführt werden. Es wurde einmalig als Re-Perfusion über die, für die Fixierung verwendete, Kanüle angewendet, ansonsten mit je 100ml in Thorax und Abdomen sowie subkutan per Punkt-Injektion. Anschließend wurden die Körper mit 11% Lösung besprüht und nach einer Wartezeit von mehreren Tagen nach Infutrace™-Behandlung im Praktikum verwendet.

Infutrace™ wurde ebenfalls während des Kurses zur Befeuchtung der Präparate in Sprayform während des Kurses und nach Kursende angewendet, um Schimmelbildung und Austrocknen zu verhindern.

### **2.3 Mittel gegen Bildung von Schimmel**

An den mit der regulären 3% Formaldehyd-haltigen Rezeptur konservierten und Infutrace behandelten Körpern wurden orientierend Versuche mit verschiedenen Anti-Schimmel-Mitteln unternommen. Folgende Mittel wurden verwendet:

Lösung 1: Freka-Nol AF, Dr. Schumacher GmbH, Malsfeld.

Wirkstoff: Didecyldimethylammoniumchlorid, Ethanol (< 45%)

Lösung 2: Incidin Plus, Ecolab Deutschland GmbH, Monheim am Rhein

Wirkstoff: Glucoprotamid, 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, Alkohole, Fettalkoholethoxylate

Lösung 3: Incidin Liquid, Ecolab Deutschland GmbH, Monheim am Rhein

Wirkstoff: Propan-2-ol, n-Propanol, je 25-35%

Lösung 4: Wofasteril, KESLA PHARMA WOLFEN GmbH, Bitterfeld

Wirkstoff: Peressigsäure, Wasserstoffperoxid, Essigsäure

### **2.4 Ausgangssituation**

#### **2.4.1 Saalbeschreibung und Klimatechnik**

Das Institut verfügt über zwei baulich, hinsichtlich Größe, Höhe, Lüftungstechnik sowie Anzahl und Ausstattung mit Präpariertischen, nahezu identische Anatomiesäle.

Raumgröße ca. 300 m<sup>2</sup>, Deckenhöhe 5 Meter, Zuluft von der Decke über 13 Schlitzdurchlässe, Abluft über 11 Lamellendurchlässe an gegenüberliegenden Wänden in Bodennähe, Gesamtzuluft- ca. 12.500 m<sup>3</sup>, Abluftleistung ca. 14.000 m<sup>3</sup> (leichter Unterdruck), 8 Umluft-Kühlgeräte direkt unter der Decke in ca. 5 m Höhe, zu Beginn keine Weitwurfdüse, später über jedem der 12 Präparationstische Nr. 17-28

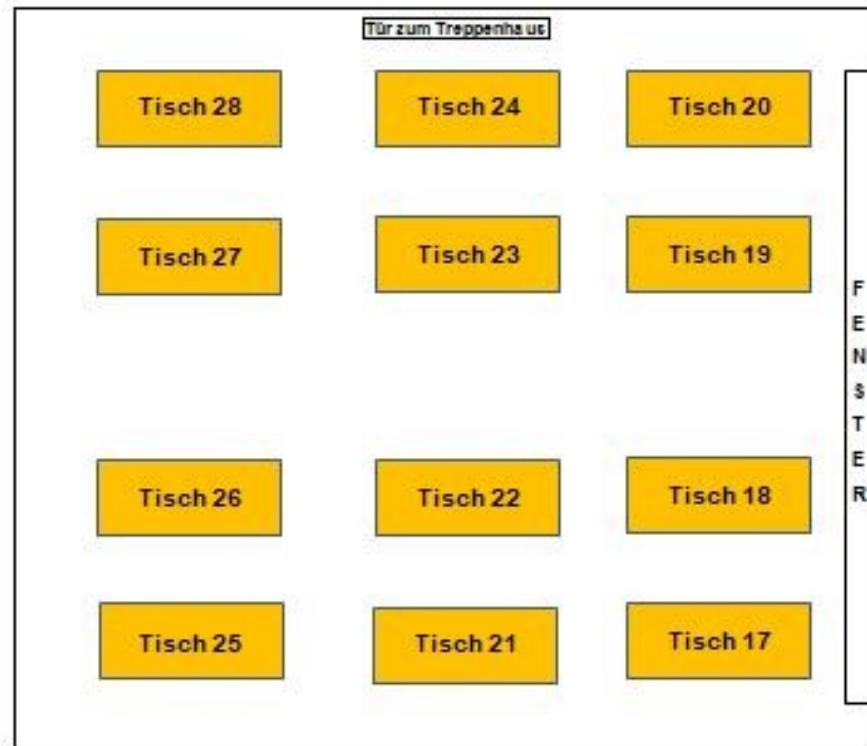


Abbildung 12: Tischverteilung Präpariersaal 2 (Ost)



Abbildung 13: Präpariersaal 2, Ost, linke Hälfte und rechte Hälfte

## 2.4.2 Perfusion und Lagerung der Präparate

### 2.4.2.1 Perfusionslösung Zusammensetzung:

Formalin (37%)	1.3 l entspricht 0.48 l Formaldehyd
Ethanol (96%)	10 l
Glycerin	0.8 l
Phenoxyethanol	0.8 l
Wasser	3.0 l
<u>Gesamtvolumen:</u>	<u>15.9 l</u> , Formaldehydgehalt: ca. 3.0%

Die Präparate wurden nicht gewogen und unabhängig von Größe und Gewicht des Körpers mit entsprechend viel Volumen fixiert, bis das Gewebe prall gefüllt war. Die eingesetzte Menge an Fixiermittel ist entsprechend variabel.

#### 2.4.2.2 Lagerung

Die Lagerung erfolgte in Wannen mit Lagerflüssigkeit folgender Zusammensetzung:

Terralin® protect 14 l / 1400 l Wasser entspricht 1%, Formaldehyd-frei

Terralin® ist ein Desinfektionsmittel und Biozid-Produkt auf Basis einer Quartären Ammoniumverbindung folgender Bestandteile (Schülke und Mayr GmbH, 2017):

Benzalkoniumchlorid (C2-C16, CAS-Nr. 68424-85-1)	22%
2-Phenoxyethanol	10-20%
Tridecylethoxylat	5-15%
2-Propanol	3- 8%
Alkylpolyglykolether	< 5%
Tetrahydroxypropylethylendiamin	< 5%
N-C <sub>12</sub> -C <sub>14</sub> -(geradzahlig)-Alkyltrimethylenediamine, Reaktionsprodukte mit Chloressigsäure	0.9%

#### Aufbewahrung zwischen den Präparationseinheiten.

in getränktem Tuch und Kunststoff-Folie als Diffusionsbarriere.

Tuchflüssigkeit Zusammensetzung:

Phenoxyethanol	2.2 l
Glycerin	0.3 l
Thymol	0.2 l
Terralin	0.2 l
Wasser	2.0 l, Formaldehyd-frei

Später nur Infutrace™

An einem separaten Kollektiv relativ kurz gelagerter Präparate mit reduziertem Formalin-Gehalt in der Fixierung mit folgenden Rezepturen wurde die Emission in die Atemluft untersucht:

Präparat 23	2.4% Formaldehyd*
1.0 l (37%)	2.4% Formaldehyd 4,1% Wasser
0.8 l	5% Phenoxyethanol
0.8 l	5% Glycerin
9.9 l	64% Ethanol (96%)
3 l	19% Wasser
<b>15.5 l Gesamt</b>	<b>100%</b>

**Tabelle 3:** Rezeptur für Fixativ mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt

\* Formaldehyd-Zugabe wurde verringert, Rezeptur aus dieser Angabe berechnet

<b>Präparat 24</b>	<b>1.85% Formaldehyd</b>
1,5 l Formalin (37%)	1.85% Formaldehyd
0.25 l Phenol	0.83% Phenol
0.25 l Thymol	0.83% Thymol
0.25 l Glycerin	0.83% Glycerin
0.25 l Lysoformin	0.83% Lysoformin
0.25 l Diethylenglykol	0.83% Diethylenglykol
6.5 l Ethanol	21.7% Ethanol
21 l Wasser	70% Wasser
<b>Gesamt: 30.2 l</b>	<b>100%</b>

**Tabelle 4:** Rezeptur für Fixativ mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt

<b>Präparat 25 / 26</b>	<b>2.14% Formaldehyd</b>	<b>Präparat 27</b>	<b>1.48% Formaldehyd</b>
0.58 l (37%)	2.14% Formaldehyd	1 l Formalin (37%)	1.48% Formaldehyd
0.25 l	2.5% Phenoxyethanol	20 kg Salz	. / .
0.25 l	2.5% Glycerin	0.5 l Glycerin	2.0% Glycerin
8.75 l	87% Ethanol (96%)	4 l Ethanol	16% Ethanol
0.2 l	2% Wasser	19.5 l Wasser	78% Wasser
<b>Gesamt: 10 l</b>	<b>100%</b>	<b>Gesamt: 25 l</b>	<b>100%</b>

**Tabelle 5:** Rezepturen für Fixative mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt

<b>Präparat 28</b>	<b>1,85% Formaldehyd</b>	<b>Präparat 29</b>	<b>1,48% Formaldehyd</b>
1.5 l Formalin (37%)	->1,85% Formaldehyd	1 l Formalin (37%)	->1.48% Formaldehyd
0.25 l Thymol	0.83% Thymol	10 kg Salz	. / .
0.25 l Glycerin	0.83% Glycerin	0.5 l Glycerin	2.0% Glycerin
0.25 l Lysoformin	0.83% Lysoformin	. / .	. / .
0.25 l Diethylenglykol	0.83% Diethylenglykol	. / .	. / .
6.5 l Ethanol	21.7% Ethanol	4 l Ethanol	16% Ethanol
21 l Wasser	70% Wasser	19.5 l Wasser	78% Wasser
Gesamt: 30 l	100%	Gesamt: 25 l	100%

**Tabelle 6:** Rezepturen für Fixative mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt

**Infutrace™-Behandlung**

<b>Präparat</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>
Perfundiert	2016	17.10.16	08.11.16	29.11.16
Infutrace™-Behandlung	befeuchtet	Bauchsitus gewaschen mit 20%v am 06.12.2016	Perfundiert mit 20% Am 18.11.2016	befeuchtet
	in 1% Terralin eingeschweißt	in 1% Terralin eingeschweißt	am 23.11.16 in 1% Terralin eingeschweißt	in 1% Terralin eingeschweißt

**Tabelle 7:** Anwendung von Infutrace™ an den mit Formaldehyd-reduzierter Perfusionslösung konservierten Körpern vor der Probenahme am 08.12.2016

## **2.5 Strategie der Messplanung**

Neben den im studentischen Praktikum ermittelten Luftmesswerten wurden mit Hilfe von freiwilligen Probanden inszenierte Versuchsaufbauten nachgestellt, die möglichst realen Praktikumsbedingungen am Tisch entsprechen sollten. Dazu wurden jeweils Teams mit 8-10 Personen je Tisch gebildet und je Tisch und Szenario 2-3 Messwerte mit je zwei personenbezogenen Beprobungen der Atemluft und einer stationären Probenahme inmitten der am Tisch tätigen Personen im Arbeitsbereich in der Höhe des Thorax zu je 15 Minuten erhoben.

Aus Kostengründen konnten je Messpunkt maximal drei Luftproben untersucht werden. Zu berücksichtigen war bei der Messplanung ferner, dass den für die Studie gewonnenen Freiwilligen jeweils nur die Praktikumszeit zur Verfügung stand und innerhalb eines recht kurzen Messzeitraums möglichst viele Fragestellungen oder Präparate überprüft werden sollten.

Vor dem Hintergrund der erheblichen Kosten, die ein Präparat bis zur Verwendung im anatomischen Praktikum verursacht – geschätzt etwa 2000.- €, sollten die Körper nach den Versuchen noch für das Praktikum verwendbar bleiben.

Im weiteren Verlauf der Messreihen wurden Emissionsmessungen unter realen Praktikumsbedingungen mit neu installierter Klimatechnik und ausschließlich mit Infutrace<sup>TM</sup> nachpräparierten Präparaten an unterschiedlichen Praktikumsterminen bei zu erwartenden hohen Formaldehyd-Freisetzungen durchgeführt. Mit einer weiteren Messung unter extrem ungünstigen raumklimatischen Bedingungen (mit hohen Außentemperaturen und stark erhöhter Luftfeuchte im Präpariersaal) sollte das Emissionsverhalten von Formaldehyd auch unter diesen Bedingungen überprüft werden.

Abschließend erfolgte eine Abnahmemessung durch die Arbeitsplatzmessstelle des Regierungspräsidiums Kassel, mit der die gewonnenen Daten abschließend bestätigt werden sollten.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Formaldehydbelastung VOR Emissionsminderung

Hier wurden ausschließlich Präparate gemessen, die mit der routinemäßig verwendeten Fixierlösung (3% Formaldehyd) perfundiert worden waren und nicht nachbehandelt waren.

##### 3.1.1 Emissionsabnahme durch Verwendung der Präparate im Praktikum

Gemessen wurde beim Aufdecken von elf Präparaten des ersten Semesters, die seit ca. dreieinhalb Wochen im Saal 1 auflagen und deren subkutanes Fettgewebe in den bis dahin erfolgten 11 Präparationseinheiten vollständig abpräpariert war.

Im parallel laufenden 2. Semester im Saal 2 waren 12 Körper aufgelegt, die bereits ein ganzes Semester (12 Wochen Anatomiekurse) länger als in Saal 1 präpariert wurden. Das subkutane Fettgewebe fehlte an allen Körpern vollständig und verschiedene Muskelschichten waren präpariert. Zum Teil war bei einigen Körpern der Brustsitus eröffnet.

Es wurde die Belastung der aufdeckenden Person (Präparator) in Atemhöhe beim Aufdecken aller Präparate eines Saals genau während der Zeit des Aufdeckens untersucht. Der Vorgang dauerte jeweils ca. 10-11 Minuten und entsprach der Messdauer.

Probe	Kursdauer in [Wochen]	Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ] in der Atemluft
Saal 1, links, erstes Semester	3	0.65
Saal 2, rechts, zweites Semester	15	0.28

**Tabelle 8:** Messwerte beim Aufdecken der Präparate durch den Präparator vor Beginn des Kurses drei Wochen (11 Präparate) nach Kursbeginn und 15 Wochen (12 Präparate) nach Kursbeginn, n = 2

Das Aufdecken der frischen Präparate (erstes Semester) ergab eine deutlich höhere Konzentration von 0.65 mg/m<sup>3</sup> als das Aufdecken der Präparate längerer Aufliegezeit im zweiten Semester mit einem Messwert von 0.28 mg/m<sup>3</sup>. Bei gleichen Messbedingungen zeigte sich, dass die zeitliche Länge der Verwendung einen erheblichen Einfluss auf die Freisetzung von Formaldehyd durch die Präparate hat. Die Anzahl an Präparationseinheiten pro Zeit des Aufliegens ist ein bestimmender Faktor für die Formaldehyd-Emission.

Eine Kontrolle dieses Ergebnisses erfolgte mit einem weiteren Versuchsansatz bei dem die Emission zweier Präparate im Abstand von jeweils 2 Monaten bei voller Tischbelegung und vergleichbaren Präparationsschritten gemessen wurde.

Messung zweier Präparate im Abstand von 2 Monaten (Präparate 12 und 9)

<b>Präparate / Tisch</b>	<b>Messung 1</b> <b>Konzentration in [mg/m<sup>3</sup>]</b> <b>in der Atemluft</b>	<b>Messung 2:</b> <b>2 Monate später</b> <b>Konzentration in [mg/m<sup>3</sup>]</b> <b>in der Atemluft</b>
Präparat 12 / Tisch 10 ohne Weitwurfdüsen dünner Körper	2.2 ± 0.12	0.85 1.2
Präparat 9 / Tisch 1 mit Weitwurfdüsen kräftiger Körper	0.39 0.45 ± 0.1	0.25 ± 0

**Tabelle 9:** Mittelwerte der Formaldehydkonzentration im Bereich der Atemluft im Abstand von jeweils zwei Monaten bei voller Tischbelegung. Tisch 10 ohne Weitwurfdüse, Tisch 1 mit Weitwurfdüse. Die Einzelwerte befinden sich im Anhang, n = 14

Tabelle 9 zeigt für beide Präparate eine Reduktion der personenbezogenen Formaldehyd-Messwerte im Verlauf von 2 Monaten. Der Messwert von 2.2 mg/m<sup>3</sup> wurde an einer Person gewonnen, die dicht über dem Körperspender 12 an Schulter/Brustsitus präpariert hatte. Zwei Monate später waren unter ähnlichen Messbedingungen am gleichen Präparat nur noch 1.2 mg/m<sup>3</sup> festzustellen. Bei Präparat 9 ist deutlich der Effekt der Weitwurfdüsen zu erkennen. Die Werte sind bereits zu Messbeginn erheblich niedriger. Auch hier zeigt sich eine weitere Reduktion durch die Aufliegezeit. Die Abnahme der Emission mit der Verwendungszeit der Präparate liegt unter beiden Bedingungen – ohne und mit Weitwurfdüsen - zwischen 40%-46% und ist somit absolut vergleichbar.

Die Beobachtung einer Reduktion der Emissions-Werte durch zeitlich längeren Einsatz der Präparate wurde mit Messungen von Prüfungspräparaten (Dauerspender), die sich seit Jahren in der Anatomie befinden, verifiziert:

Diese Präparate wurden in einem angrenzenden Nebenraum des Präpariersaales gemessen. Zur Simulation des „Worst-Case“ wurde die Messung in einem Raum ohne Klimatisierung oder Weitwurfdüsen vorgenommen. Ziel der Messung war zunächst, die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes an zwei stationären Luftproben zu überprüfen. Die Prüfungspräparate wurden bereits zu Beginn der ersten Praktikumshälfte aufgelegt, die Probenahme wurde jedoch erst nach 90 Minuten gestartet. Damit wurde die letzte Hälfte der Aufenthaltsdauer im Prüfungsraum, mit stärkerer Anreicherung an Formaldehyd, erfasst. Messpunkt 1 entsprach der Beisitzerposition abseits des Präparates im Raum und wurde in Sitzhöhe am Tisch überprüft, Messpunkt 2 entsprach der Situation als Prüfling/Prüfer, leicht gebeugt über der Mitte des Prüfungssitus.

Die Messdauer betrug 90 Minuten.

Probe	Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Beisitzerposition	0.14
Prüfling/Prüferposition	0.13

**Tabelle 10:** Messwerte in der Atemluft für Beisitzer-, Prüfling-/Prüferposition über Prüfungspräparaten im nicht-klimatisierten Raum ohne Ventilation. Die Emissionsmesswerte liegen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts, n = 2.

Die Messwerte von 0.14 mg/m<sup>3</sup> in der Beisitzersituation wie auch von 0.13 mg/m<sup>3</sup> über der Situsmitte sind als nahezu identisch zu betrachten. Der Arbeitsplatzgrenzwert wurde deutlich unterschritten.

### 3.1.2 Formaldehydemission im Präparationsverlauf

Perkins und Kimbrough (1985) sowie Sugata und Mitarbeitern (2016) zufolge kommt es in Abhängigkeit der vorgenommenen Präparationsschritte an ein- und demselben Präparat zu Schwankungen der Formaldehyd-Emission. Dies wurde an folgenden Messwerten näher untersucht.

Für den Versuchsansatz wurden personenbezogene Kurzzeit-Messwerte (15 Minuten) nur bei voller Tischbelegung bestimmt. Dies erfolgte zum Zeitpunkt der Hautpräparation und der Präparation im epifaszialen Fettgewebe, sowie bei der Muskelpräparation und der Organpräparation nach Eröffnung des Situs.

Probe	Formaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Hautöffnung</b>	
Präparat 17, Tisch 2 Präparat: 3.0% Formaldehyd in Fixierung (!)	3.0 (5.9)
<b>Präparation an epifaszialen Nerven</b>	
Präparat 23, Tisch 2 Präparat: 2.4% Formaldehyd in Fixierung (!)	1.9 ± 1.1
<b>Muskelpräparation</b>	
Präparat 12, Tisch 10 magerer Körper, Präparation an Schulter / Brustsitus Präparat: 3.0% Formaldehyd in Fixierung (!)	2.2 ± 0.12
<b>Präparation an inneren Kavitäten</b>	
Präparat 2, Tisch 22 Präparation im Beckenbereich Präparat: 3.0% Formaldehyd in Fixierung (!)	1.0 ± 0.38

**Tabelle 11a:** Mittelwerte der Formaldehydemission im Verlauf über die einzelnen Präparationsschritte, gemessen an Tischen ohne Weitwurfdüsen. n = 13

Probe	Fomaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Hautöffnung</b>	
Präparat 23, 2.4% Formaldehyd in Fixierung (!)	0.87 ± 0.028
<b>Präparation an epifaszialem Nervengewebe</b>	
Präparat 17, fülliger Körper Präparat: 3% Formaldehyd in Fixierung (!)	1.1 ± 0.071
<b>Muskelpräparation</b>	
Präparat 12, magerer Körper 3.0% Formaldehyd in Fixierung (!)	0.38 ± 0.01

**Tabelle 12b:** Mittelwerte der Formaldehydemission im Verlauf über die einzelnen Präparationsschritte, gemessen an Tisch 1 mit Weitwurfdüsen. n = 10

Die höchsten Messwerte wurden ermittelt zum Zeitpunkt der Hautöffnung mit 3.0 mg/m<sup>3</sup> resp. 5.9 mg/m<sup>3</sup> gemessen an einem Tisch ohne Weitwurfdüse. Die Präparation der epifaszialen Nerven erbrachte im Mittel noch 1.9 mg/m<sup>3</sup>, während bei der Muskelpräparation 2.2 mg/m<sup>3</sup> an einem Tisch ohne Weitwurfdüse festgestellt wurde und während der Organpräparation nur noch 1.0 mg/m<sup>3</sup>. Präparat 12 war seit 3.5 Wochen und Präparat 2 schon länger als 15 Wochen im Präpariersaal in Verwendung.

Bei Verwendung der Weitwurfdüsen zeigen sich im Vergleich zu den Messwerten von Tischen ohne Weitwurfdüsen insgesamt geringere Formaldehydkonzentrationen in der Atemluft, die auf die Verdrängung von Formaldehyd durch den gerichteten Luftstrom zurückzuführen sind. Hier wird der höchste Messwert bei der Darstellung der epifaszialen Nerven an Präparat 17 erzielt. Die vergleichsweise geringe Emission während der Hautöffnung an Präparat 23 ist wahrscheinlich auf den geringeren Gehalt an Formaldehyd von 2.4% in der Fixierlösung zurückzuführen. Bei der Muskelpräparation an Präparat 12 ergaben sich nur noch geringe Messwerte von 0.38 mg/m<sup>3</sup>. Auch dieses Präparat war bereits ein Semester im Präpariersaal in Verwendung während die Präparate 12 und 17 frisch aufgelegt waren.

### 3.1.3 Einfluss von Tischbelegung und persönlichem Verhalten am Tisch auf die personenbezogene Belastung mit Formaldehyd

Im Saal 1 wurden Kurzzeit-Messungen (15 Minuten) in der Atemluft am Präparat 12 sowie einem isolierten Arm abseits der Präparationstische vorgenommen:

Saal 1 – erster Präparierkurs, 1. Semester	Formaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Präparat 12, Tisch 10</b>	
Person 2, Präparation an Fuß, steht viel allein	0.39 ± 0.040
Person 3, Präparation an Schulter / Brustsitus mitten unter Kollegen	2.2 ± 0.11
<i>Person 2+3, Mittelwert Tisch 10</i>	<i>1.3 ± 1.0</i>
<b>Neben Tisch 12, Sitzhöhe</b>	
Person 4 Präparation an isoliertem Arm	0.41

**Tabelle 13:** Personenbelegung und persönliches Verhalten am Tisch während der Muskelpräparation ohne Weitwurfdüsen, Saal 1, n = 7

An den Messergebnissen von Tisch 10 wurde deutlich, dass die Art der Präparation einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Belastung hat. Befinden sich keine weiteren Personen am Tisch, ist der Formaldehydwert in der Atemluft wesentlich geringer. Der niedrigere Wert ist darauf zurückzuführen, dass nur eine Person am Tisch anwesend war und am Fuß präparierte. Die wesentlich geringere Oberfläche, sowie der wesentlich geringere thermische Auftrieb führte zu einer geringeren Formaldehyd-Belastung der Atemluft. Zusätzlich war dadurch die Ableitung des Formaldehyds aufgrund der fehlenden seitlichen Begrenzung begünstigt. Bei der Präparation an der Schulter bzw. im Brustraum, einer deutlich höheren Emissionsfläche, ergab sich für die Person 3 dicht umgeben von weiteren Personen ein Wert von 2.2 mg/m<sup>3</sup> in Atemhöhe. Hier konnte Formaldehyd nur sehr schlecht abgeführt werden. Es bildete sich ein mit Formaldehyd angereichertes Luftpaket oberhalb des Präparats.

An der Position von Person 4 wurde mit einer Konzentration von 0.41 mg/m<sup>3</sup> in der Atemluft eine etwas höhere Konzentration als die Hintergrundbelastung des Raumes von 0.26 mg/m<sup>3</sup> ermittelt. Die Höhe der Belastung, gemessen an einer Person, die an einem isolierten Arm tätig war, ist vergleichbar mit der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft am Tisch 10 bei Präparation einer einzelnen Person im Fußbereich.

Saal 2 – zweiter Präparierkurs, 2. Semester	
Präparat 2, Tisch 22 (magerer Körper)	Formaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
stationär über Brustsitusbereich	0.42
Person 10, oft als einzige am Tisch, entleert das Colon, viel Flüssigkeit, wenig Fett sichtbar Erste Praktikumshälfte	0.56
Person 11, Präparation im Beckenbereich Person 12, Präparation im Beckenbereich <i>Mittelwert Person 11+12</i>	<i>1.2 ± 0.45</i> <i>0.83 ± 0.24</i> <i>1.0 ± 0.38</i>

**Tabelle 14:** Personenbelegung und persönliches Verhalten am Tisch 22, Tisch während der Organpräparation ohne Weitwurfdüsen, Saal 2, n = 8

An den Messergebnissen an Präparat 2, Tisch 22, wurde der bisherige Eindruck bestätigt, dass die Art der Präparation einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Konzentration in der Atemluft hat. Person 10 stand zu Beginn des ersten Praktikumsteils weitgehend alleine am Tisch und säubert das Rektum. Es stand viel Flüssigkeit im Retrositus, am Präparat war kaum Fett zu sehen. Der Messwert betrug  $0.56 \text{ mg/m}^3$ . Im zweiten Praktikumsteil standen mehrere Studierende am selben Präparat dicht gedrängt zusammen und arbeiteten im Beckenbereich. Hier stieg die Konzentration auf Gehalte von  $0.83 \text{ mg/m}^3$  bis  $1.2 \text{ mg/m}^3$  an. Person 11 und 12 standen sich direkt gegenüber. Der stationäre Messwert über dem Thorax am Tisch 22 gemittelt über beide Praktikumshälften ergab dagegen eine Konzentration von nur  $0.42 \text{ mg/m}^3$ .

### 3.1.4 Konzentration an Formaldehyd unterhalb der Raumdecke

Dies betrifft die Konzeptionierung der Lüftungsanlage. Im Ergebnis mit Konzentrationen von  $0.19 \text{ mg/m}^3$  und  $0.20 \text{ mg/m}^3$  konnte kein Konzentrationsgefälle festgestellt werden:

### 3.1.5 Eintrag von Formaldehyd in angrenzende Räume

Probe	Konzentration [ $\text{mg/m}^3$ ] in der Raumluft
Saal 1 Raummitte auf Tisch stationäre Messung, Messdauer 180 min	0.26
Nebenraum C, neben Saal 1 Raummitte auf Tisch in Sitzhöhe stationäre Messung, Messdauer 180 min	0.062

**Tabelle 15:** Eintrag in einen angrenzenden Raum ohne Ventilation, gemessen wurde die Formaldehydkonzentration in der Raumluft des Präparierensaals und in dem daran angeschlossenen Nebenraum während des Präparierkurses,  $n = 2$

In Saal 1 betrug der Gehalt an Formaldehyd, gemessen über den gesamten Praktikumszeitraum in der Raummitte auf einem Tisch,  $0.26 \text{ mg/m}^3$ , im angrenzenden Nebenraum C im gleichen Zeitraum nur  $0.062 \text{ mg/m}^3$ . Im Raum C befanden sich zum Zeitpunkt der Probenahme keine mit Formaldehyd fixierten Körperteile oder Präparate. Die ermittelte Formaldehyd-Konzentration im Nebenraum C lag unterhalb des für die Bewertung der Formaldehyd-Belastung an Nicht-Arbeitsplätzen (u.a. Wohn, Büro oder Schulräume) gültigen Richtwertes I (Vorsorgewert) für Formaldehyd in der Innenraumluft von  $0.1 \text{ mg/m}^3$  (UBA, 2016). Ein Eintrag von Formaldehyd in den Nebenraum C aus dem Präparationssaal 1 während der Präparationseinheit war damit nicht oder nur in sehr geringem Umfang festzustellen und nicht von der gebäudeseitigen oder durch Mobiliar bedingten Hintergrundbelastung für Formaldehyd zu unterscheiden. Vor Beginn der Präparation wurde kein Messwert erhoben, eine Notwendigkeit wurde jedoch aufgrund der geringen Konzentration auch nicht für wesentlich erachtet.

### 3.2 Experimentelle Datenerhebung zu Formaldehydminderungsmaßnahmen

#### 3.2.1 Wässern als Möglichkeit der Reduktion von Formaldehyd in Präparaten

Probe	Formaldehyd-Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Gehirn und Rückenmark (1% Terralin) <i>gewässert</i>	0.30
Gehirn und Rückenmark (1% Terralin)	0.25

**Tabelle 16:** Wässern von ZNS-Präparaten führte nicht zur erwarteten Reduktion, n = 2

Es wurde jeweils eine stationäre Messung für 90 Minuten auf einem Tisch im Präparationssaal etwa in Atemhöhe einer am Präparat tätigen Person vorgenommen.

Die Emission beider Präparate liegt mit Konzentrationen von 0.30 mg/m<sup>3</sup> (gewässert) und 0.25 mg/m<sup>3</sup> (nicht gewässert) in vergleichbarer Größenordnung mit einer Tendenz zu höheren Werten für das gewässerte Gehirn.

#### 3.2.2 Weitwurfdüsen

Aufgrund der Reduzierung der Formaldehydkonzentration in der Atemluft um 60% durch Zuschalten von Weitwurfdüsen wurden beide Präparationssäle mit Weitwurfdüsen zentral mittig über jedem einzelnen Tisch ausgestattet. Alle weiteren Untersuchungen beziehen sich deshalb auf Beprobungen mit Betrieb der Weitwurfdüsen (siehe Dissertation Hans Hieke).

#### 3.2.3 Reduktion der Formaldehyd-Konzentration in der Fixierung

Simulation der Praktikumsbedingungen:

Im Saal waren etwa 8 Körperspender aufgelegt, wobei Teams mit je 8-9 Personen pro Präparat an einem Tisch mit Weitwurfdüse jeweils an Haut und subkutanem Fettgewebe und bei Präparat 17 an den epifaszialen Nerven präpariert haben:

Präparat, Tisch	Probe	Formaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
17, Tisch 1	<b>3.0% Formaldehyd</b> epifasziale Nervenpräparation	1.1 ± 0
19, Tisch 22	<b>3.0% Formaldehyd</b> Hautpräparation an Schulter	0.15 ± 0.0058
23, Tisch 1	<b>2.4% Formaldehyd</b> Hautpräparation am Rücken	0.87 ± 0.028
28, Tisch 26	<b>1.85% Formaldehyd</b> Hautpräparation am Brustsitus	0.17 ± 0.015
29, Tisch 25	<b>1.48% Formaldehyd</b> Hautpräparation an Knie und Schulter	0.30 ± 0.023

**Tabelle 17:** Mittelwerte der Formaldehyd-Emission von Präparaten, die mit geringerem Gehalt an Formaldehyd fixiert wurden, gemessen unter Weitwurfdüsen während der Hautöffnung und -präparation. Die Einzelmesswerte sind im Anhang zu finden, n = 13

Im Mittel betragen die Konzentrationen des Präparats 17 mit einem Formaldehyd-Gehalt von 3% 1.1 mg/m<sup>3</sup>, Präparat 19 mit 3% Formaldehyd jedoch nur 0.15 mg/m<sup>3</sup>. Das Präparat 23 mit einem Gehalt von 2.4% Formaldehyd 0.87 mg/m<sup>3</sup>, Präparat 28 mit 1.85% Formaldehyd nur 0.17 mg/m<sup>3</sup> sowie das Präparat 29 mit dem geringsten Gehalt von 1.48% Formaldehyd mit 0.30 mg/m<sup>3</sup>.

### 3.3 Infutrace™ Nachbehandlung

#### 3.3.1 Nachbehandlung von Präparaten aus dem Bestand

Präparat 13, 14 und 15 wurden bereits im Jahr 2015 mit konventioneller Perfusionslösung mit 3% Formaldehyd fixiert. Präparat 15 wurde ca. 2 Wochen vor der Beprobung mit 20% Infutrace™ nachperfundiert – soweit möglich. Aufgrund der bereits stark fortgeschrittenen Fixierung und der großen Menge Fixans war eine Nachperfusion durch den hohen Gegendruck in nur geringem Maß möglich und sehr schwierig. An den Präparaten 13 und 14 wurden ca. 2-3 Wochen vor der Beprobung Haut und subkutanes Fettgewebe entfernt und die Nachpräparation mit jeweils 100 ml Infutrace™ (20%) durch Injektion in Abdomen und Brustsitus vorgenommen sowie die freigelegte Oberfläche mit 11%igem Infutrace befeuchtet (Sprayform).

Präparat 13 wurde danach bis ca. 4 Tage vor dem Beprobungstermin in 1%iger Terralinlösung gelagert. Präparat 14 wurde bis ca. 4 Tage vor dem Beprobungstermin eingeschweißt in 2 l Infutrace™ (11%) gelagert.

Nach dem Auflegen wurden alle Präparate täglich mit 11% Infutrace™ besprüht.

Durch den Einfluss der Weitwurfdüsen sollte weiterhin geklärt werden, ob es aufgrund von Verwirbelungen zu unterschiedlichen Konzentrationen an den Tischen kommen kann. Deshalb wurde die Tischposition einzelner Präparate getauscht. Das Beprobungsteam wechselte dabei immer mit dem jeweiligen Präparat die Position, um den Einfluss des individuell unterschiedlichen Verhaltens am Tisch möglichst auszuschließen. Die Präparation fand an allen Körpern nur oberflächlich an Faszien und Muskulatur statt, an Präparat 15 erfolgte die Öffnung der Haut.

Präparat	Formaldehyd-Gehalt in der Fixierung / Präparationsschritt	Fomaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
13, Tisch 24	3% Formaldehyd, ohne Haut und subkutanes Fettgewebe	0.18 ± 0.0058
14, Tisch 28	3% Formaldehyd, ohne Haut und subkutanes Fettgewebe	0.28 ± 0.0058
14, Tisch 23	3% Formaldehyd, ohne Haut und subkutanes Fettgewebe	0.40 ± 0.20
15, Tisch 28	3% Formaldehyd, mit Haut	0.18 ± 0.035

**Tabelle 18:** Mittelwerte der Formaldehydkonzentration in der Atemluft von mit Infutrace™ nachbehandelten Präparaten aus dem Bestand bei oberflächlicher Präparation an Faszien und Muskulatur. Die Originalwerte finden sich im Anhang, n = 12

Die Doppelmessung des Präparates 14 zeigte auf dem Platz Tisch 23 einen wesentlich höheren Messwert als auf Platz Tisch 28 (0.40 mg/m<sup>3</sup> vs. 0.28 mg/m<sup>3</sup>). Messungen der Luftströmung an den beiden Messplätzen zeigten, dass diese Diskrepanz auf eine suboptimale Justierung der Weitwurfdüsen über dem Tisch 23 zurückgeführt werden konnte.

Ein Unterschied der Emission zwischen Präparat mit und ohne Haut und subkutanem Fettgewebe war anhand der Messwerte nicht abzuleiten.

Die Messwerte lassen erkennen, dass durch die Nachbehandlung der älteren und noch mit 3% Formaldehyd präparierten Körper eine Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts möglich ist. Positiv wird bewertet, dass die mit Infutrace™ behandelten Körper deutlich weniger unangenehmen Geruch abgeben als zuvor.

### 3.3.2 Präparate mit Formaldehyd-reduzierter Perfusionslösung und Infutrace™-Nachbehandlung

Alle Präparate wurden drei Tage vor der Probenahme im Kursraum aufgelegt und täglich 1x mit 11% Infutrace™ oberflächlich besprüht. An diesen Präparaten erfolgte keine Injektion mit Infutrace.

Präparat	Formaldehyd-Gehalt in der Fixierung / Präparationsschritt	Fomaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
25, Tisch 27	2.14%, Hautpräparation	0.23 ± 0.038
26, Tisch 23	2.14%, Hautöffnung	0.27 ± 0.14
24, Tisch 19	1.85%, Hautöffnung	0.21 ± 0.044
27, Tisch 20	1.48%, Hautöffnung	0.16 ± 0.0058

**Tabelle 19:** Mittelwerte der Formaldehydkonzentration in der Atemluft an Präparaten mit Formaldehyd-reduzierter Perfusionslösung und Infutrace™-Nachbehandlung bei Hautöffnung / -präparation, Die Originalwerte finden sich im Anhang, n = 12

Bezogen auf die Mittelwerte ergaben sich für die Präparate 25 und 26 mit 2.14% Formaldehyd-Fixierung Konzentrationen in der Atemluft von 0.23 mg/m<sup>3</sup> resp. 0.27 mg/m<sup>3</sup>, bei 1.85% (Präparat 24) von 0.21 mg/m<sup>3</sup> und bei 1.48% (Präparat 27) 0.16 mg/m<sup>3</sup>. Damit ist mit abnehmendem Gehalt an Formaldehyd in der Fixierlösung eine geringfügige Abnahme des Formaldehyd-Gehaltes in der Atemluft zu verzeichnen. Die Reduktion in der Atemluft war im Vergleich zu den mit 3% Formaldehyd perfundierten und nachträglich mit Infutrace™ behandelten Präparaten jedoch nur unwesentlich geringer. Hier lagen die Konzentrationen bei Werten zwischen 0.18 mg/m<sup>3</sup> und 0.28 mg/m<sup>3</sup> (Tabelle 18). Aufgrund der nur geringen Abnahme der Atemluftbelastung wurde für zukünftige Versuche auf eine weitere Reduktion von Formaldehyd auf Gehalte unterhalb 3% in der Perfusionslösung verzichtet. Dies garantiert eine optimale biozide und fungizide Wirkung durch Formaldehyd.

Präparat 27 wurde mit einer gesättigten Salzlösung und 1.48% Formaldehyd perfundiert. Im Gegensatz zu den anderen Präparaten zeigte dieses eine stark verwässerte Struktur des Gewebes und zusätzlich einen nicht akzeptablen Geruch.

### 3.3.3 Optimierung der Infutrace™-Behandlung

Eine weitere Optimierung der Präparatebehandlung war notwendig, um einen regulären Präparierkurs mit Haut- und epifaszialer Kompartiment-Präparation zu gewährleisten. Deshalb wurden zwei weitere Präparate 16 und 18 aus dem Bestand ca. 7 Tage vor der Probenahme sowohl durch Injektion von 100 ml in Bauch- und Brustsitus als auch durch zusätzliches Unterspritzen von Infutrace™ in das subkutane Fettgewebe nachbehandelt.

Präparat	Formaldehyd-Gehalt in der Fixierung / Präparation	Fomaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
16, Tisch 28	3%, Hautöffnung	0.072 ± 0.010
18, Tisch 24	3%, Hautöffnung	0.044 ± 0.00058

**Tabelle 20:** Mittelwerte der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft nach optimierter Infutrace™-Anwendung bei der Hautöffnung / -präparation, n = 6

Im Mittel ergaben sich Konzentrationen von 0.072 mg/m<sup>3</sup> an Präparat 16 und 0.044 mg/m<sup>3</sup> an Präparat 18. Die Wirkung des Infutrace™ auch für die Behandlung intakter/vollständiger Präparate wurde damit bestätigt.

Parallel sollte eines der bereits beprobten Präparate 13 in einem Abstand von ca. 2 Monaten nach der Erstbeprobung einer weiteren Messung unterzogen werden. Zusätzlich wurde Präparat 11 zum direkten Vergleich aufgelegt. Präparat 11 war exakt wie Präparat 13 vorbehandelt worden.

Präparat	Formaldehyd-Gehalt in der Fixierung	Fomaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
13, Tisch 27	3% Formaldehyd, ohne Haut und subkutanem Fettgewebe	0.054 ± 0.0021
11, Tisch 23	3% Formaldehyd, ohne Haut und subkutanem Fettgewebe	0.055 ± 0.010

**Tabelle 21:** Mittelwerte der Formaldehydkonzentration in der Atemluft von mit Infutrace™ nachbehandelten Präparaten aus dem Bestand. Die Einzelwerte finden sich im Anhang, n = 6

Für beide beprobten Präparate ergaben sich nahezu gleiche Konzentrationen (0.054 mg/m<sup>3</sup> resp. 0.055 mg/m<sup>3</sup>). Im Vergleich zu den Vormessungen war eine weitere deutliche Abnahme der Emission zu verzeichnen. Die Konzentrationen lagen weit unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts für Formaldehyd.

### 3.3.4 Messung unter Praktikumsbedingungen

Nach den klimatechnischen Neuerungen sowie der erfolgreichen Optimierung der Infutrace™-Anwendung sollten die Emissions-Werte bei realen Praktikumsbe-

dingungen unter anderem auch während Expositionsspitzen wie Situsöffnung näher untersucht werden.

Alle bisher bereits verwendeten Präparate im Raum wurden Mitte November 2016 das erste Mal durch Injektion mit je 100 ml Infutrace™ in Brust- und Bauchsitus, sowie äußerlich mittels 11%igem Infutrace-Spray behandelt und anschließend im Kurs (Teil 1 des Präparierkurses) mit 11% Infutrace befeuchtet. Diese Präparate wurden in den Semesterferien in 1%igem Terralin zwischengelagert und zu Beginn des 2. Praktikumsemesters erneut aufgelegt und weiterhin mit Infutrace™ oberflächlich behandelt. Eine Woche vor der Beprobung unter realen Praktikumsbedingungen wurden alle für den Kurs verwendeten Präparate durch Injektion mit Infutrace in die Kavitäten unterspritzt. Alle Körper waren ohne subkutanes Fettgewebe.

Die Belastung der Atemluft vor und während der Situsöffnung sowie in der Abklingphase nach Situsöffnung wurde mittels 15-Minuten Kurzzeit-Messungen erfasst. An Präparat 7 wurde nur das Abdomen geöffnet und an den Präparaten 8 und 11 nur der Brustsitus. An Präparat 13 wurde zunächst nur der Brustsitus eröffnet, nach der Abklingphase zusätzlich noch das Abdomen. An Präparat 14 erfolgte eine gleichzeitige Eröffnung des Brustsitus sowie des Abdomens. Mit diesem Szenario sollte eine besonders ungünstige Situation provoziert werden, da unter Kursbedingungen die beiden Körperhöhlen zu unterschiedlichen Terminen eröffnet werden.

Präparat	Tisch	Szenario	Formaldehydkonzentration in der Atemluft [mg/m <sup>3</sup> ]
7	18	Grundbelastung	0.038 ± 0.0050
		Öffnen des Abdomens	0.042 ± 0.0055
		Abklingphase	0.039 ± 0.0046
8	17	Grundbelastung	0.040 ± 0.0038
		Öffnen d. Brustsitus	0.038 ± 0.0021
11	24	Grundbelastung	0.042 ± 0.014
		Öffnen d. Brustsitus	0.044 ± 0.013
13 sehr dünner, kleiner Körper, sehr trocken	26	Grundbelastung	0.032 ± 0.0026
		Öffnen d. Brustsitus	0.027 ± 0.0045
		Abklingphase	0.028 ± 0.0016
		Öffnen des Abdomens	0.026 ± 0.00047
14 Sehr viel Fettgewebe, sehr feucht	23	Grundbelastung	0.032 ± 0.0075
		Abdomen + Brustsitus	0.035 ± 0.0021
		Abklingphase	0.031 ± 0.0072

**Tabelle 22:** Mittelwerte der Formaldehyd-Emission nach Infutrace™-Optimierung unter Weitwurfdüsen bei Öffnungen des Brustsitus und / oder des Abdomens während des Praktikums, die Einzelwerte finden sich im Anhang, n = 42

Aus den personenbezogenen Kurzzeit-Messwerten ergaben sich für alle untersuchten Proben bei Betrieb der Weitwurfdüsen und der gewählten Emissionsszenarios, die üblicherweise eine recht hohe Freisetzung von Formaldehyd bedingen, im Mittel Konzentrationen von  $0.026 \text{ mg/m}^3$  bis  $0.044 \text{ mg/m}^3$ . Es ergaben sich keine bedeutenden Anstiege der Formaldehyd-Belastung während der Situs-Öffnungen, auch nicht unter verschärften Bedingungen bei gleichzeitigem Öffnen von Bauch- und Brustsitus (siehe Tabelle 22).

#### 3.3.4.1 Personenbezogene Langzeitmessung über gesamte Praktikumslänge

Dozenten und Tischbetreuer (Studierende) befinden sich über die gesamte Kurslänge im Präpariersaal. Während die Tischbetreuer immer einem Tisch zugewiesen sind, betreuen Dozenten parallel jeweils zwei Tische. Da über die Höhe der Raumluftbelastung zwischen den Tischen bei voller Saalbelegung noch keine Daten vorlagen, wurden diese im Rahmen einer personenbezogenen Messung über die gesamte Praktikumslänge zusätzlich auch an den Dozenten vorgenommen. Im Ergebnis konnte keine erhöhte Belastung festgestellt werden (siehe Tabelle 23: Vergleich personenbezogene Messung mittels Radiello® Passivsammler).

#### 3.3.4.2 Vergleich mit Radiello®-Passivsammler unter Praktikumsbedingungen

Da viele aus der Literatur bekannten personenbezogenen Messwerte zur Formaldehydbelastung in Präparierkursen mittels Passivsammler erhoben wurden, sollte die Leistungsfähigkeit eines Passivsammelmediums am Beispiel des Radiello®-Passivsammlers im Vergleich zur aktiven Probenahme mittels Pumpe/Personal Sampler überprüft werden (Ohmichi et al. 2006, Gurbuz et al. 2016, Australian government - Department of health and ageing, 2006). Die personenbezogene Vergleichsmessung mittels Passivsammler erfolgte an zwei Dozenten. Zusätzlich wurde die personenbezogene Formaldehyd-Belastung der weiteren Dozenten überprüft.

#### 3.3.4.3 Radiello®-Vergleichsmessung mit aktiver Probenahme

Person*	Ort	Formaldehyd in der Atemluft, Radiello® [ $\text{mg/m}^3$ ]	Formaldehyd in der Atemluft, Aktivmessung [ $\text{mg/m}^3$ ]
Person 28:	Tisch 25 + 26	0.044	-
Person 29:	Tisch 27 + 28	0.033	-
Person 30	Tisch 21 + 22	0.053	-
Person 40	Tisch 20 + 19	0.072	-
Person 41	Tisch 23 +24	0.055	0.039
Person 42:	Tisch 17 + 18	0.050	0.031

**Tabelle 23:** Vergleich personenbezogene Messung mittels Radiello® Passivsammler und aktiver Probenahme mittels Pumpe, Einzelmesswerte, n = 8

Die vergleichende Messung von Formaldehyd mittels Passivsammler lieferte für die Probandin Person 41 an Tisch 23+24 einen Messwert von  $0.039 \text{ mg/m}^3$  in der Aktivmessung und in der Messung mittels Passivsammler einen Wert von  $0.055 \text{ mg/m}^3$ . Bei dem Probanden Person 42 an Tisch 17+18 liefert die Aktiv-Messung einen Wert von  $0.031 \text{ mg/m}^3$  und passiv  $0.050 \text{ mg/m}^3$ . Die Ergebnisse passen sehr gut zu den an den jeweiligen Tischen ermittelten Konzentrationen in der Atemluft von  $0.033\text{-}0.043 \text{ mg/m}^3$  (siehe Tabelle 22).

#### 3.3.4.4 *Raummessung*

Zur Überwachung der raumseitigen Belastung durch Formaldehyd, die durch Verwirbelungsprozesse möglicherweise zu erhöhter Belastung der Raumluft führen könnte, wurden Messungen zwischen den Präparationstischen durchgeführt. Es wurden eine Abnahme der Raumluftbelastung von anfänglich  $0.26 \text{ mg/m}^3$  vor Verwendung der Weitwurfdüsen und Infutrace<sup>TM</sup>-Anwendung auf  $0,023 \text{ mg/m}^3$  nach Einführung und Optimierung der Reduktionsmaßnahmen im realen Praktikumsbetrieb festgestellt. Dies entspricht einer Reduktion von 88%.

#### 3.3.4.5 *Emission bei extremen Klimabedingungen*

Die Formaldehydemission von Präparaten in die Raumluft ist neben der üblichen Dampfdruck-abhängigen Diffusion vom Reaktionsgleichgewicht der Formaldehyd-Brückenbindung am Protein abhängig. Neben der Raumtemperatur kann die relative Luftfeuchte im Raum in diesem Zusammenhang eine nicht unerhebliche Rolle bei der Freisetzung von Formaldehyd aus dem fixierten Gewebe spielen. Entsprechende Modellierungen sind bekannt am Beispiel von Formaldehyd-emittierenden Holzwerkstoffen (Salthammer et al., 2010). Diese Berechnungen sind zwar nicht ohne weitere Überprüfung auf Präparate übertragbar, orientierende Berechnungen nach der Berge-Formel (Salthammer et al., 2010), ergaben jedoch für sommerliche Extrem-Wetterlagen mit Innenraumtemperaturen von  $20^\circ\text{C}$  (statt  $17^\circ\text{C}$ ) und 66% rel. Luftfeuchte (statt 35-40%) bei zuvor gemessenen  $0.06 \text{ mg/m}^3$  einen Formaldehyd-Schätzwert von  $0.159 \text{ mg/m}^3$ . Dieser Schätzwert würde gemessen unter realen Bedingungen zu einem Stoffindex über 0.1 führen.

Diese Fragestellung wurde deshalb an einem extrem heißen Sommertag mit Außentemperaturen bis  $33^\circ\text{C}$  zum Kursende (Mittagszeit) und einer relativen Luftfeuchte im Raum von 84% (!) bei Beginn des Kurses untersucht:

Präparat, Tisch	Klima-Bedingung*	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ] 27.04.2017	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ] 22.06.2017	Klima-Bedingung*
7, Tisch 18	17,7°C	0.039 ± 0.0050	0.064 ± 0.0081	20°C
13, Tisch 26	33% rel. LF	0.028 ± 0.0033	0.069 ± 0.0095	78% rel. LF

Tabelle 24: Vergleich der Formaldehydemission in die Atemluft der Präparate 7 und 13 bei üblichen (27.4.2017) und extremen (22.06.2017) Klimabedingungen bei Verwendung der Weitwurfdüsen. Die Einzelwerte der Messung finden sich im Anhang. n = 27, \*: gemittelt

Die Messwerte der beiden Präparate 7 und 13 differierten bei der ersten Messung (normale Klimabedingungen) um ca. 30%, lagen aber beide weit unter dem Arbeitsplatzgrenzwert. Unter den extremen Klimabedingungen stiegen die Konzentrationen auf 0.064 mg/m<sup>3</sup> resp. 0.069 mg/m<sup>3</sup> Formaldehyd in der Atemluft an. Im Vergleich zur Vormessung kann etwa von einer Verdoppelung (Faktor 1.6 resp. 2.5) der Messwerte ausgegangen werden. Aufgrund der nur geringen Grundbelastung ist der Anstieg jedoch als unerheblich zu bewerten.

Präparat 13 wurde vor der zweiten Messung aufgrund von verstärktem Befall mit Schimmelpilzen an zwei verlängerten Wochenenden und zuletzt bis etwa 24 Stunden vor Probenahme in Formaldehyd-haltiger Aufbewahrungsflüssigkeit mit einer Konzentration unter 3% gelagert. Etwa 20 Stunden vor der Beprobung wurde das Präparat mit 11% Infutrace™ abgesprüht. 2 Stunden vor der Probenahme erfolgte eine erneute Anwendung von Infutrace™ im Sprühverfahren. Da die Emissionswerte im Vergleich zu Präparat 7 kaum höher lagen, hat die äußerliche Nachbehandlung durch Tränken in Formaldehyd-haltiger Lösung bis kurz vor der Präparation durch die Infutrace™-Behandlung keinen erheblichen Effekt auf die Emission.

Der Einfluss der extremen Klimabedingungen auf die Raumluftbelastung wurde ebenfalls untersucht:

Klima-bedingung	Formaldehyd in der Raumluft [mg/m <sup>3</sup> ] am 27.04.2017	Formaldehyd in der Raumluft [mg/m <sup>3</sup> ] am 22.06.2017	Klima-bedingung
17,7°C 33% rel. LF	0.023 ± 0.0034	0.057 ± 0.0071	20°C 78% rel. LF

Tabelle 25: Vergleich Immission in die Raumluft bei üblichen und extremen Klimabedingungen, Einzelwerte der Messung finden sich im Anhang, n = 5

Der unter extremen Klimabedingungen festgestellte Gehalt an Formaldehyd in der Raumluft ergab mit einem Mittelwert von 0.057 mg/m<sup>3</sup> im Vergleich zur Vormessung eine Erhöhung um den Faktor 2.5. Diese Verdoppelung ist bedingt durch die erhöhte Temperatur und Luftfeuchte während der Probenahme. Auf Grund der geringen Messwerte unter normalen Klimabedingungen liegen die Luftmesswerte auch in Extremsituationen deutlich unterhalb der Grenzwertvorgaben und des Stoffindex von 0.1. Dies bestätigt die absolute Verlässlichkeit der Methode „Reduktion der Formaldehyd Konzentration in der Atemluft“ durch die kombinierte Anwendung

gezielter Lüftungstechnik bei gleichzeitiger Polymerisation des freien Formaldehyds im Präparat.

#### **3.4 Schimmelbildung**

Fünf Präparate aus dem abgeschlossenen letzten Präparierkurs, die zum Teil Schimmelbefall – trotz kontinuierlicher Behandlung mit Infutrace™ - zeigten, verblieben nach Beendigung des Präparierkurses im Präpariersaal. Der Präpariersaal war die erste Woche ungekühlt, was zum Teil zu einer vermehrten Schimmelbildung bei 2 Präparaten führte. Diese Präparate wurden gereinigt und mit Incidin Plus bzw. mit Wofasteril 0.5% / 1% ab der 3. Woche behandelt. Da keine vollständige Eindämmung des Schimmels mit diesen beiden Mitteln möglich war, wurden diese beiden Präparate nach 4.5 Wochen aus dem Versuch genommen. Die anderen drei Präparate wurden über 10 Wochen beobachtet. Eines der Präparate wurde mit Freka-Nol AF behandelt. Dieses zeigte zu Beginn (ohne Kühlung) einen starken Befall, der jedoch durch mechanische Reinigung und weiterer Anwendung von Freka-Nol AF beseitigt werden konnte. Allerdings wurde das Gewebe durch die Freka-Nol AF Behandlung relativ trocken. Ein Präparat ohne jeden Befall wurde über die gesamte Versuchslänge mit einer Lösung aus 70% Alkohol und 10% Glycerin befeuchtet. Das Gewebe war etwas schmierig, teilweise aber auch trocken und der Geruch war unangenehm. Ein weiteres Präparat, mit Befall bereits zu Praktikumszeiten, wurde mit Incidin Liquid behandelt. Es war über die gesamte Versuchszeit kein Befall mehr zu registrieren, das Präparat wies eine gute Farbe auf und blieb feucht. Mithin ist die beste Methode zur Befeuchtung und Verhinderung von Schimmelbefall nach unseren Ergebnissen die Anwendung von Incidin Liquid. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass trotzdem während des Kurses über die gesamte Dauer des Praktikums neu freigelegte Stellen mit Infutrace™ behandelt werden.

## 4 DISKUSSION

Im anatomischen Praktikum der Humanmedizin am Institut für Zellbiologie und Anatomie der JLU Gießen wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit Prüfungen der Formaldehyd-Emission an Präparaten vorgenommen und Maßnahmen zur Emissionsminderung mit dem Ziel einer dauerhaften und zuverlässigen Unterschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) von  $0.37 \text{ mg/m}^3$  bzw. des Stoffindex von 0.1 erprobt. Hierzu wurden neben der Reduktion von Formaldehyd in der Fixierlösung bis auf einen Gehalt von 1.48% auch das Formaldehyd-bindende Agens „Infutrace™“ verwendet. Allein durch Reduktion von Formaldehyd in der Fixierung konnte die Emission zwar reduziert, aber keine Emissionsminderung auf Werte unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts erreicht werden. Eine Lüftungstechnische Verbesserung der Belastung wurde mittels einer gerichteten Luftführung über eine speziell entwickelte Konstruktion mit Weitwurfdüsen (siehe Dissertation Hans Hieke) um 60% erreicht. Auch dies genügte nicht, um gesichert unter dem Grenzwert, sowie unter dem Stoffindex für Formaldehyd zu bleiben. Erst in Kombination mit der optimierten Anwendung von Infutrace™ konnte abschließend eine auch langfristig sichere Unterschreitung erzielt werden.

### 4.1 Formaldehyd-Emissionsprozesse vor Reduktionsmaßnahmen

#### 4.1.1 Belastungshöhe

Die höchsten personenbezogenen Messwerte in der Atemluft wurden an Präparaten mit 3%iger Formaldehyd-Fixation während der Hautöffnung mit Konzentrationen von  $5.9 \text{ mg/m}^3$  resp.  $3.0 \text{ mg/m}^3$  ermittelt. Die Präparierenden standen zum Teil extrem dicht gebeugt über dem Präparat. Vergleichbare Werte wurden von Thullner und van Gelder (2016) für personenbezogene Atemluft-Belastungen mit Konzentrationen bis zu  $1.4 \text{ mg/m}^3$  an Studierenden und  $1.58 \text{ mg/m}^3$  an Hochschullehrern und einem Maximalwert von etwa  $5 \text{ mg/m}^3$  angegeben. Rahmenbedingungen werden in Verbindung mit den vorgenannten Messwerten nicht beschrieben. In einer anderen Veröffentlichung dieser Arbeitsgruppe werden Messwerte in Verbindung mit weiteren Rahmenbedingungen angegeben (Thullner et al., 2015). Der hier angegebene maximale Messwert von  $2.5 \text{ mg/m}^3$  wurde an einem Präparat ermittelt, das mit 3.0 l Formaldehyd in der Fixierung perfundiert worden war und während der Aufbewahrung in der Thalheimer Wand mit Formaldehyd unbekannter Konzentration benetzt wurde. Der Tisch, an dem gemessen wurde, war mit einer Laminar-Flow ausgestattet. In der Umgebungsluft wurden bei  $20^\circ\text{C}$  noch  $0.79 \text{ mg/m}^3$  Formaldehyd festgestellt. Eine Reduktion der Menge an Formaldehyd auf 0.5 l Formaldehyd in der Fixierung und Lagerung in einer

Formaldehydlösung unbekannter Konzentration an einem anderen Anatomie-Standort ergab einen Emissionswert von  $1.9 \text{ mg/m}^3$  gemessen ohne Laminar-Flow (Thullner et al., 2015). In der Umgebungsluft wurden bei  $20^\circ\text{C}$  noch  $0.34 \text{ mg/m}^3$  festgestellt. Die Luftwechselrate war 4.5-fach geringer als im ersten Versuch. Trotz einer Reduktion der absoluten Formaldehyd-Konzentration im Präparat auf ein Sechstel ist der Emissionsmesswert im zweiten Standort noch vergleichsweise hoch ( $2.5 \text{ mg/m}^3$  zu  $1.9 \text{ mg/m}^3$ ). Die Luftführung im Raum und insbesondere am Tisch spielt bei der Bewertung des Emissionsvorgangs deshalb eine ganz wesentliche Rolle.

Gurbuz und Kollegen (2016) nennen in ihrem Review über Ergebnisse aus dem Auswertzeitraum von 2000 bis 2013 eine Konzentration von  $3.78 \text{ mg/m}^3$  als maximalen personenbezogenen Messwert. In einer von der ECHA herausgegebenen Schrift wird als maximaler personenbezogener Messwert eine Konzentration von  $4.2 \text{ ppm}$  genannt (Risk Assessment Committee, 2012).

Die im Rahmen unserer Voruntersuchungen festgestellte Belastungssituation liegt in dem aus der Literatur bekannten Bereich. Allerdings geben wenige Veröffentlichungen Aufschluss über die Rahmenbedingungen, unter denen die Probenahmen durchgeführt wurden. Für die Bewertung von Literaturdaten müssen wesentliche Aspekte zum Emissionsverhalten von Formaldehyd, zur Fixiertechnik mit Formaldehyd sowie zur Messtechnik allgemein einbezogen werden.

Formaldehyd stellt bei Raumtemperatur ein farbloses Gas dar, das mit einem Molekulargewicht von  $30 \text{ g/Mol}$  etwas schwerer ist als Luft (Molekulargewicht  $28.8 \text{ g/Mol}$ ). Es wäre deshalb zu erwarten, dass es bei fehlender Zirkulation im Raum auf den Boden absinkt. Aufgrund des Dampfdruckes würde sich unter statischen Bedingungen jedoch eine Ausgleichskonzentration mit gleichmäßiger Verteilung im Raum einstellen. Berechnungen zur temperatur- und feuchteabhängigen Freisetzung von Formaldehyd durch Hydrolyse aus dem Harz sind aus Berechnungsversuchen für Holzwerkstoffe im Gleichgewichtszustand bekannt (Salthammer et al., 2010). Sie liefern jedoch bereits für Holzwerkstoffe abweichender Zusammensetzung ausschließlich Schätzwerte und sind damit nur orientierend auf Emissionen von Formaldehyd aus menschlichem Gewebe zu übertragen. Quellennah ist prinzipiell immer von deutlich höheren Konzentrationen an Formaldehyd in der direkten Umgebungsluft auszugehen (Eickmann, 2004; Vohra, 2011). Mit zunehmender Entfernung von der Quelle spielen Diffusions- und Strömungsverhältnisse der Luftzirkulation mit entsprechenden Verdünnungseffekten eine übergeordnete Rolle. Die Konzentration an Formaldehyd wird im statischen System, zum Teil auch im dynamischen System (Ohmichi et al., 2006) mit steigender Entfernung von der Quelle abnehmen, wobei dieser Gradient mit zunehmendem

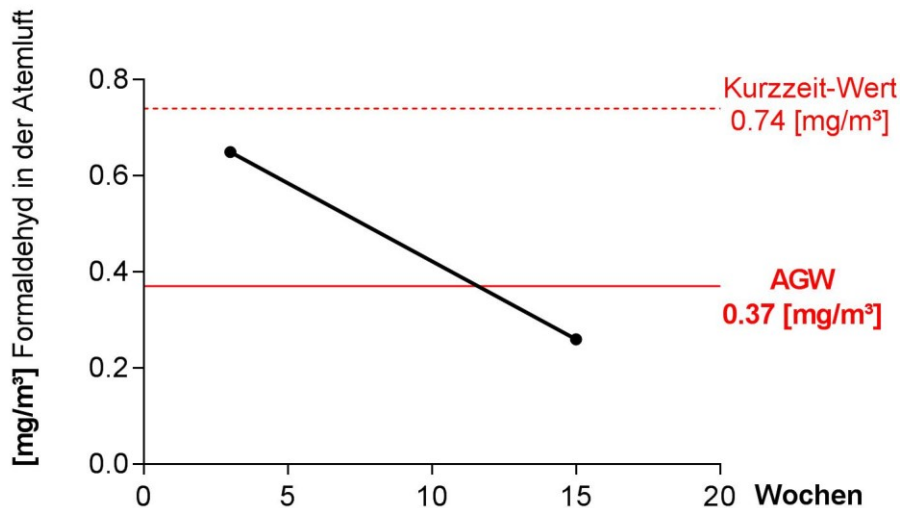
Einstellen der Ausgleichskonzentration im Raum abnehmen wird. Quellenabhängig beeinflussen weitere Faktoren wie z.B. Luftfeuchte und Temperatur das Emissionsverhalten. Auch eine Abspaltung von Formaldehyd aus der chemischen Bindung heraus - ähnlich wie bei formaldehyd-gebundenen Harzen aus Holzwerkstoffen - könnte eine Rolle spielen, wobei hier zusätzlich vor allem pH-Wert oder Temperatur das Reaktionsgleichgewicht und damit die Emissionsgeschwindigkeit beeinflussen. Wie bereits beschrieben, ist die einfache Formaldehyd-Bindung der Formaldehyd-Fixierung reversibel. Es können deshalb - ähnlich der Emission aus Holzwerkstoffen - vergleichbare Prozesse bei den Präparaten angenommen werden. In Anatomiesälen besteht zusätzlich ein erhöhter Luftwechsel, bedingt durch die zwingend notwendige Belüftung. Jeder fixierte Körper (Sugata et al., 2016) und jedes Organ (Kurose et al., 2004) emittieren variable Mengen an Formaldehyd. Es handelt sich also um einen hochdynamischen Emissionsprozess, dessen Komplexität noch weiter zunimmt, sobald Tätigkeiten an der Emissionsquelle vorgenommen werden, die aufgrund variabler Emissionsquellstärken zu unterschiedlichen Konzentrationen der Atemluft führen, wie z.B. bei Haut- oder Situsöffnungen (Sugata et al., 2016). Räumliche Begrenzungen durch Personenbarrieren behindern die Diffusion, womit eine Verdünnung der Luftbelastung verhindert und zusätzlich eine stärkere Emission durch Körperwärme der Teilnehmer begünstigt wird. All diese Variablen bestimmen die Konzentration von Formaldehyd an jedwedem Messpunkt im Raum. Vor diesem Hintergrund müssen Literaturdaten zu Formaldehyd-Belastungen aus personenbezogenen oder stationären Luftmessungen in Anatomiesälen nicht allein nach Zahlenwerten betrachtet werden, sondern sind vor allem auch nach möglichst allen oben genannten Rahmenbedingungen zu evaluieren.

### 4.1.2 Emissionsverhalten im zeitlichen Kontext

Die Formaldehyd-Emission, gemessen unter identischen Rahmenbedingungen, nimmt im zeitlichen Verlauf ab:

#### *Aufdecken der Präparate durch den Präparator*

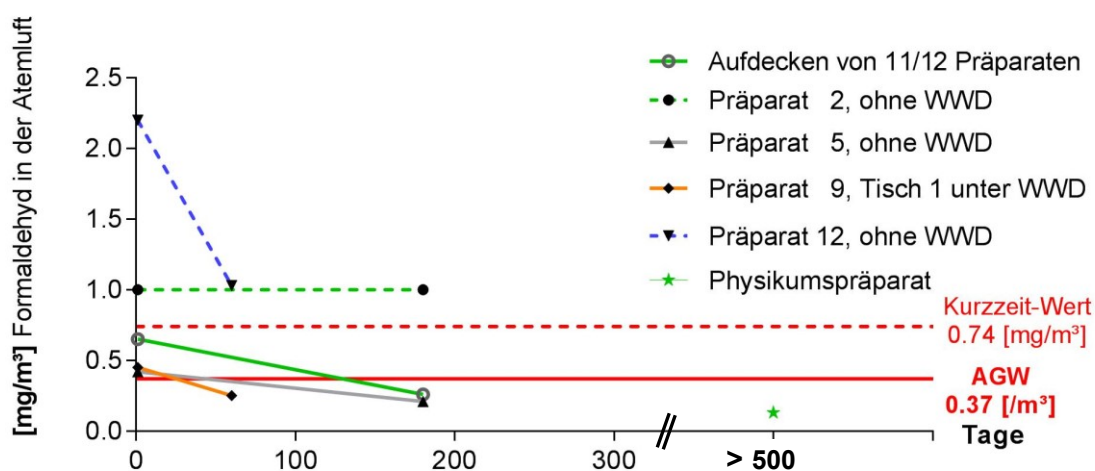
Der Vergleich der Formaldehyd-Emission beim Aufdecken von Präparaten durch den Präparator unterschiedlich lange Luft-exponierter Präparate (11 Körper seit ca. 3,5 Wochen im Präpariersaal versus 12 Körpern, die 12 Wochen länger in Verwendung waren) belegt eine deutliche Abnahme von  $0.62 \text{ mg/m}^3$  auf  $0.26 \text{ mg/m}^3$  in der Atemluft:



**Abbildung 14:** Formaldehyd-Emission beim Aufdecken der Präparate. Die Messwerte stellen jeweils den Gehalt in der Atemluft des Präparators beim Aufdecken der jeweils 11 (3 Wochen im Kurs) bzw. 12 Präparate (12 Wochen im Kurs) in einem Zeitraum von 5 Minuten dar.  $n = 2$

Es war zu erwarten, dass in feinen Hohlräumen unterhalb des relativ dichten Abdecktuchs angereichertes Formaldehyd beim Aufdecken in die umgebende Luft freigesetzt wird. Diese Luft wird vom Aufdeckenden unvermeidlich mit eingeatmet. Durch die große Anzahl an Präparaten mit möglicherweise unterschiedlichen Emissionsquellenstärken sowie durch gegebenenfalls uneinheitlich dicht gepacktes Abdecktuch wird trotzdem ein gut vergleichbarer Mittelwert erzielt. Die Abnahmerate beträgt ca. 60% innerhalb eines Semesters, bezogen auf die Emission der „anpräparierten“ Körper im Ruhezustand.

Auch während der Präparation ist innerhalb von 2 bis 6 Monaten unter annähernd vergleichbaren präparatorischen und Umgebungsbedingungen eine Abnahme der Emissionsrate von ca. 50% in der Atemluft an einem Präparat festzustellen:



**Abbildung 15:** Formaldehyd-Emission in Atemhöhe im Abstand von 2 Monaten und 6 Monaten bei vergleichbaren Präparationstätigkeiten. Präparat 9 unter Weitwurfdüsen, alle anderen ohne Weitwurfdüse, Physikumspräparat (grün) in Raum ohne Ventilation.  $N = 11$ , \* geschätzt

Für das Präparat 9 (unter Weitwurfdüse) konnte eine Abnahme um etwa 40%, an Präparat 12 von 55% und an Präparat 5 von 50% festgestellt werden.

Keine Abnahme wurde dagegen an einem kachektischen Präparat 2 mit  $1.0 \text{ mg/m}^3$  zur ersten Messung<sup>9</sup> und  $1.0 \text{ mg/m}^3$  sechs Monate später ermittelt. Der Sektionstisch war zur zweiten Messung mit ca. 8 Personen sehr dicht belegt, für die erste Messung liegen keine detaillierten Angaben vor.

Als Prüfungspräparate werden Dauerspender verwendet, die über längere Zeit in der Anatomie verbleiben. Diese Präparate werden zwischen den Prüfungsterminen in der Aufbewahrungsflüssigkeit (gemäß Kap. 2.4.2.2.) gelagert. Unter verschärften statischen Probenahmebedingungen, in einem Raum ohne Lüftungsanlage und geringem Luftwechsel, ist auf Grund der langen Lagerung nur noch ein Gehalt von ca.  $0.13 \text{ mg/m}^3$  in der Atemluft nachweisbar. Die Messwerte von  $0.14 \text{ mg/m}^3$  in der Beisitzersituation wie auch von  $0.13 \text{ mg/m}^3$  über der Situsmitte sind als nahezu identisch zu betrachten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich im Raum wahrscheinlich ein Konzentrations-Gleichgewicht eingestellt hatte. Der Arbeitsplatzgrenzwert wurde deutlich unterschritten.

Vergleichbare Messergebnisse wurden auch von Shiraishi (2006) registriert. Er belegt eine Abnahme der Emission um ca. 50% in der Atemluft nach 3 Monaten Kursdauer.

#### 4.1.3 Emissionsverhalten in Abhängigkeit der Präparation

Muskelgewebe aber vor allem Körper während der Haut- und Thoraxöffnung emittieren den höchsten Gehalt an Formaldehyd, Fettgewebe den geringsten Anteil.

Da für die verschiedenen Präparationsschritte Messwerte von Tischen mit und ohne Weitwurfdüse vorlagen, wurden die deutlich niedrigeren Messwerte bei Verwendung der Weitwurfdüsen mit einem Korrekturfaktor 1.6 angeglichen. Damit wird der Reduktion der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft von 60% durch den Betrieb der Weitwurfdüsen Rechnung getragen (siehe Dissertation Hans Hieke).

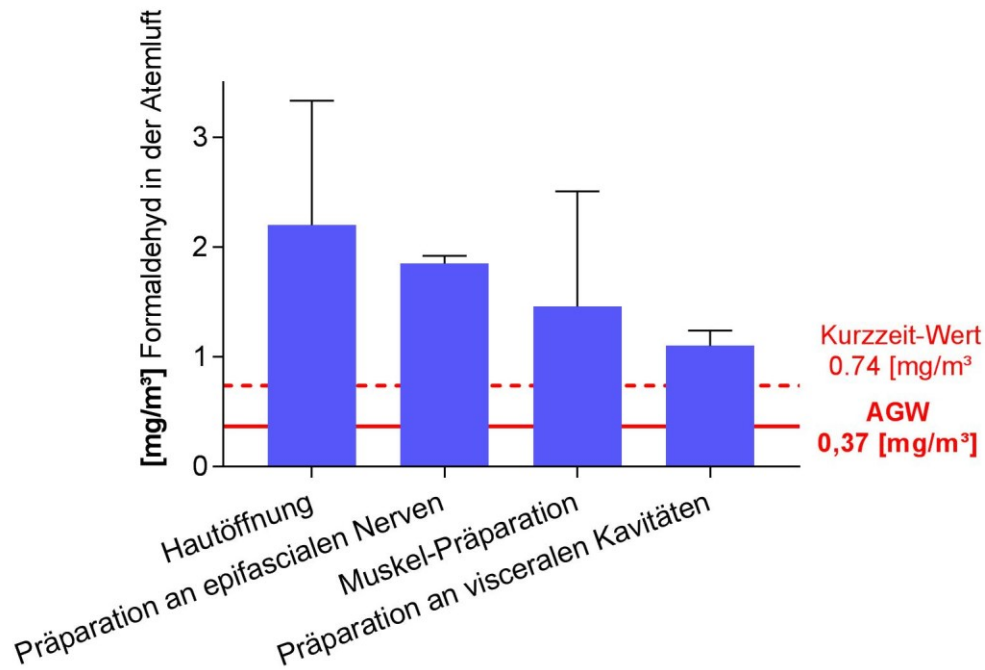
Die vorliegende Messreihe an verschiedenen Präparaten ohne Modifikationen zur Reduktion der Emission von Formaldehyd zeigt demnach deutlich den höchsten Wert während der Hautöffnung mit einer Konzentration von  $2.2 \text{ mg/m}^3$  in der Atemluft (Abbildung 16). Die Präparation der Hautnerven erbrachte  $1.95 \text{ mg/m}^3$ , während bei der Muskelpräparation nur  $1.5 \text{ mg/m}^3$  festgestellt werden konnten. Bei der Präparation der inneren Kavitäten wurde nur noch  $1.0 \text{ mg/m}^3$  Formaldehyd in der Atemluft festgestellt.

Es wurden keine Daten zum Zeitpunkt der Eröffnung einer Kavität ermittelt, während der es üblicherweise zu massiven Belastungsspitzen kommt (Perkins und Kimbrough,

---

<sup>9</sup> Mündliche Mitteilung

1985). Hautöffnung und Hautnervenpräparation erfolgten in sehr engem Zeitfenster während Muskelpräparation und Präparation der Kavitäten an Präparaten vorgenommen wurden, die bereits längere Zeit im Praktikum verwendet wurden.



**Abbildung 16:** Emission in Abhängigkeit des Präparationsfortschritts, Vgl. Kap. 3.1.2. Die höchste Emission erfolgte während der Hautöffnung. Die Messwerte der Muskelpräparation und inneren Kavitäten wurden jedoch an Körpern vorgenommen, die bis zu einem halben Jahr länger in Verwendung waren und deren Emission insgesamt bereits abgenommen hatte. n=23

Die Arbeitsgruppe von Sugata (2016) untersuchte ebenfalls das Emissionsverhalten in Abhängigkeit des Präparationsfortschritts. Für den Versuchsaufbau wurde ein relativ statisches System, ähnlich einer großen Prüfkammer, gewählt ohne Beteiligung von Personen und ohne Angabe zum Luftwechsel. Die Probenahme erfolgte etwa in Arbeitshöhe über dem Thorax. Die Emission wurde einmal vor Beginn der Präparation, nach Entfernen der Haut, nach Entfernen des Fettgewebes, nach Öffnen des Thorax und des Abdomens überprüft. Wieviel Zeit zur Emission gegeben war, wurde nicht beschrieben. Der höchste Messwert (0.87 ppm) wurde erzielt, nachdem das subkutane Fettgewebe abpräpariert war sowie nach dem Öffnen des Thorax und des Abdomens (0.77 ppm). Vor der Hautöffnung wurden 0.10 ppm und nach der Hautöffnung 0.63 ppm ermittelt. Isoliertes Fettgewebe zeigt eine Emission von 0.4 ppm. Die Emission des subkutanen Fettgewebes selbst ist damit bedeutend höher als die Emission der geschlossenen Haut vor der Öffnung, aber deutlich geringer als die Emission nach

Entfernen der Haut bzw. bei Präparation an der Muskulatur oder des geöffneten Thorax.

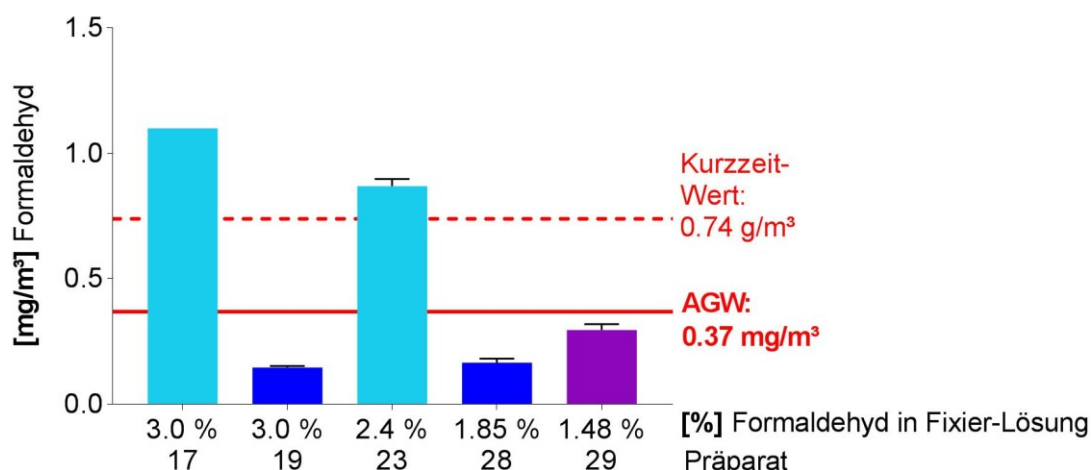
Diese Daten bestätigen unsere Ergebnisse. Für die Muskelpräparation sowie die Präparation der Kavitäten können die Messwerte mit dem „Liegefaktor“ 2 (entsprechend einer Abnahme von 50% durch die lange Verwendung im Praktikum) korrigiert werden und ergeben dann für die Muskelpräparation eine Konzentration von  $2.6 \text{ mg/m}^3$  und bei der Präparation der Kavitäten von  $2.0 \text{ mg/m}^3$ . Damit bestätigt auch unsere Versuchsreihe einen Maximalwert der Formaldehydemission erst nach Entfernung der Haut und des Fettgewebes. Nach erfolgter Thorax- und Adomen-Öffnung fällt der Wert wieder auf die Konzentration zurück, die bei der Hautpräparation gemessen wurde.

Die Haut als Hülle kommt Ihrer Funktion als Diffusionsbarriere nicht nur zu Lebzeiten, sondern auch nach dem Tod nach und fungiert damit als „Dampfbremse“ für die Abgabe von Formaldehyd in die Raumluft. Wird diese Hülle geöffnet, kommt es zur ersten Belastungsspitze.

Bedingt unter anderem durch den hohen Proteinanteil im Muskelgewebe (etwa 53% der Trockenmasse, bzw. 20% des Feuchtgewichtes) (Forbes et al. 1953) ist die höchste Rate an Formaldehyd-Crosslinks, bzw. an weniger stabilen Vorläufer-Verbindungen und damit eine im Vergleich zum Fettgewebe erhöhte Freisetzungsrate aus dem Muskelgewebe zu erwarten. Situsöffnungen dagegen ermöglichen die direkte Emission von freiem, ungebundenem Formaldehyd aus im Geweben stehenden Flüssigkeiten. Vohra (2011) fand die höchste Belastung während der Präparation an den inneren Kavitäten und in tieferen Strukturen.

#### *Emissionsverhalten des Fettgewebes*

Im adipösen Fettgewebe nimmt das intrazelluläre Fett fast den gesamten Raum der Adipozyten ein (Watson et al. 1980), so dass sich weniger Fixierlösung in der Fettzelle selbst befindet, als in Fettzellen dünner oder sehr dünner Körper. Formaldehyd löst sich nicht im intrazellulären Fett. Zudem kann bei adipösen Körpern im Verhältnis zum Körpergewicht jedoch auch weniger Fixierlösung perfundiert worden sein. Hieraus kann sowohl die erhöhte Emission von Formaldehyd bei kachektischen Körpern sowie die reduzierte Emission bei übergewichtigen Körpern erklärt werden. Dies zeigt sich auch in unseren Untersuchungen:



**Abbildung 17:** Emission von Formaldehyd während der Hautöffnung in Korrelation zur Formaldehyd Konzentration in der Fixierung. Die beiden übergewichtigen Präparate 19 und 28 gaben deutlich weniger Formaldehyd ab, als die beiden normalgewichtigen Präparate 17 und 23, obwohl Präparat 19 mit 3% Formaldehyd in der Fixierung perfundiert war. n = 13

Das Präparat 29 mit dem geringsten Gehalt an Formaldehyd zeigt eine annähernd doppelt so hohe Formaldehyd Konzentrationen in der Atemluft wie Präparat 19 oder 28 mit deutlich höherem Anteil an Formaldehyd in der Fixierung. Die relativ geringe Abgabe von Formaldehyd während der Hautöffnung an den Präparaten 19 und 28 erklärt sich insbesondere durch den hohen Fettanteil dieser adipösen Körper.

Ähnlich geringe Konzentrationen von 0.25 mg/m<sup>3</sup> und 0.30 mg/m<sup>3</sup> zeigten Messungen der Emission von Gehirnpräparaten. Das Nervengewebe besteht zu einem großen Anteil aus Lipiden im Myelin (70%) (Labadie und Möller, 2010). Die geringe Emission an Formaldehyd ist hier vor allem auf den hohen Anteil an Lipiden zurückzuführen. Formaldehyd ist nicht hydrophob, löst sich also nicht in Lipiden. In Lipiden stehen zudem auch nur wenig Reaktionspartner für Formaldehyd zur Verfügung.

Das Fett der Adipozyten im Depotfett liegt vor allem als Triacylglycerid, einem Fettsäureester von Fettsäuren mit Glycerin vor (Kingsbury, 1961). Für chemische Reaktionen des Fettanteils im Gewebe mit Formaldehyd kommen deshalb vor allem funktionelle Gruppen wie z.B. freie Hydroxylgruppen von wenigen Mono-, und Diacylglyceriden oder Doppelbindungen ungesättigter Fettsäure-Reste in Betracht. Eine Reaktion mit der Carboxygruppe freier Fettsäuren ist zwar theoretisch möglich, wird aber an dieser Stelle aufgrund des geringen Anteils an freien Fettsäuren vernachlässigt. Chemische Reaktionen im Fettgewebe könnten wie folgt stattfinden:

Eine Reaktion von Formaldehyd mit Hydroxylgruppen führt über die Bildung von Halbacetalen zum Acetal. Jeder einzelne Reaktionsschritt ist reversibel und wird vom Überschuss des Reaktionspartners wie auch des pH-Werts bestimmt. Ein Überschuss

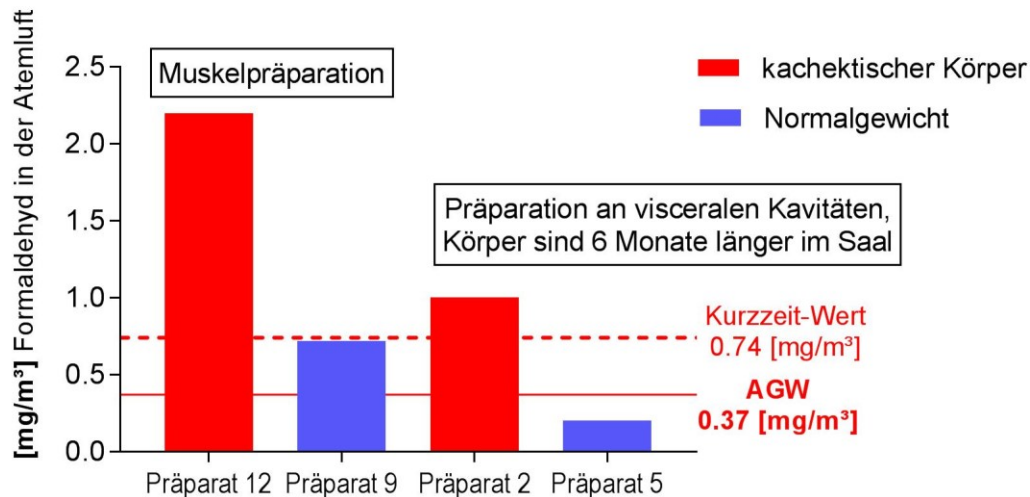
von Alkohol verschiebt das Gleichgewicht zum Acetal hin, ebenso das Entfernen von Wasser. Spuren von Säure führen dagegen zur Hydrolyse, also zum Alkohol, bzw. hier zum Glycerin (Beyer und Walter, 1978). Die Reaktion im Gewebe ist daher wenig wahrscheinlich.

Für die Reaktion mit der Doppelbindung eines ungesättigten Fettsäure-Rests wäre eine Reaktion nach Prins denkbar, bei der je nach Überschuss des jeweiligen Reaktionspartners und der Temperatur bei weniger als 70°C ein Diol entstehen kann (Arundale und Mikeska, 1952). Die Reaktion findet säurekatalysiert statt. Jones (1969) fand Reaktionsprodukte ungesättigter Fettsäuren durch Verwendung von Formaldehyd als Fixativ in Gewebeproben. Insgesamt stehen jedoch nur wenig Reaktionspartner für Formaldehyd im Fettgewebe selbst zur Verfügung, so dass hieraus und vor allem bedingt durch die geringe lipophile Eigenschaft von Formaldehyd keine erhöhte Emission aus dem Fettgewebe begründet werden kann.

Waschke betonte in seinem Vortrag anlässlich des IFA-Fachgesprächs zur „Reduzierung der Formaldehydbelastung im anatomischen Praktikum“, dass auf die Verwendung übergewichtiger Körper für Kurse im Studium verzichtet werden sollte (Waschke, 2016). Dies resultiert möglicherweise aus einer Überlegung, dass leichtere, weniger voluminöse Körper möglicherweise auch weniger Formaldehyd emittieren könnten. Davon ist aufgrund der vorliegenden Datenlage nicht auszugehen. Bei der Fixierung von kachektischen Körpern mit Formaldehyd muss zumindest deutlich weniger Fixativ als bei Normalgewichtigen perfundiert werden, da diese andernfalls nach dem vorliegenden Kenntnisstand bedeutend mehr Formaldehyd emittieren. Trotzdem wird in der Praxis auf die Verwendung besonders übergewichtiger Präparat verzichtet, da diese im fixierten Zustand aufgrund des hohen Grundgewichts sowie des zusätzlichen Gewichtes der Fixierlösung die zulässige Hebelbelastung am Arbeitsplatz überschreiten.

Dünne, kachektisch wirkende Körper, wie z.B. Präparat 2 und 12 (Abb. 18), wiesen im Vergleich zu den zeitgleich untersuchten normalgewichtigen Körpern auffällig hohe Formaldehyd-konzentrationen in der Atemluft bei vergleichbaren Präparationsschritten (2.2 zu 0.72 mg/m<sup>3</sup> resp. 1.0 zu 0.2 mg/m<sup>3</sup>) auf. Die erhöhte Formaldehyd-Emission könnte auf das reduzierte oder fehlende subkutane Fett- und Muskelgewebe als Barriere für die Emission des formaldehydhaltigen Fixiermittels liegen, das somit vermehrt frei vorkommt. Auch kann ein erhöhter Anteil an ungebundener Fixierlösung im Fettgewebe oder im Inneren kachektischer Personen eine Emission begünstigen (Fanghänel et al., 2009; Lochner et al., 2009; Perlman, 2016; EFSA, 2010).

Der direkte Vergleich besonders kachektischer mit normalgewichtigen Präparaten an einem Kurstag verdeutlicht dieses:



**Abbildung 18:** Die kachektischen Präparate 12 und 2 zeigen deutlich höhere Emissionen an Formaldehyd als die jeweils parallel präparierten Präparate 9 und 5, obwohl alle Präparate mit 3% Formaldehyd fixiert wurden<sup>10</sup>. n = 15

#### *Emissionsverhalten des Muskelgewebes*

Der Wassergehalt des Muskelgewebes hängt ebenfalls mit dem BMI zusammen und ist allgemein bei untergewichtigen Personen höher, als bei normal- oder übergewichtigen (Perlman, 2016). Muskelgewebe stellt hinsichtlich des Körpergewichts mit 40% den höchsten Anteil am menschlichen Körper dar und weist mit ca. 20% einen hohen Anteil an Proteinen auf (Forbes et al., 1953). Das Organ mit dem höchsten Proteingehalt von 27% stellt nach Forbes und Mitarbeitern (1953) die Haut dar, aufgrund des geringeren Wassergehalts sowie der Polyprolin-Tripelhelix-Struktur des Kollagens in der Haut, das sich vor allem aus der Aminosäuresequenz Glycin-Prolin-Hydroxyprolin zusammensetzt (Sauermost, Rolf und Freudig, 1999), liegen hier bedingt durch extreme Quervernetzung wenig freie Aminogruppen für Formaldehyd als Reaktionspartner vor. In den Proteinen des Muskelgewebes dagegen liegen mehr zugängliche freie Bindungsstellen für Formaldehyd vor. Hier könnten folgende chemischen Reaktionen eine Rolle spielen: Die Lage des Reaktionsgleichgewichts und die Stabilität der einfachen Formaldehyd-Bindung an die Aminogruppe eines Proteins unter Bildung des Imins sowie des Crosslinks zwischen Aminosäuregruppen hängt neben dem pH-Wert vom Substituenten des Kohlenstoff- und Stickstoff-Atom ab (Herges und Winkler, 2017). Phenyl-Substituenten am Carbonyl-Kohlenstoff stabilisieren das Imin / die Schiffsche Base. Die Reaktion erfolgt im neutralen Bereich.

<sup>10</sup> Die Konzentrationen der Präparate 2 und 5 wurden aus Voruntersuchungen mündlich mitgeteilt.

Gegenwart von Säure katalysiert die Iminbildung (Herges und Winkler, 2017), kann aber je nach Bindungspartnern auch zur Hydrolyse führen (Brenner, 2014).

Brenner führt mit Frederick (1968) an, dass für die Formaldehyd-Protein-Bindung von 100 g löslichem Protein ca. 4-5g Formaldehyd notwendig wären, für unlösliches Protein bedeutend mehr. Für die Fixierung eines 80 kg schweren Menschen, mit einem Anteil von etwa 13 kg Gesamtprotein, würden 0.52 bis 0.63 kg reines Formaldehyd entsprechend 1.4-1.7 l Formalin (37%) benötigt. Die Rechnung setzt offensichtlich voraus, dass vom Gesamtstickstoffgehalt nur 13% als Reaktionspartner für Formaldehyd zu Verfügung stehen und es sich dabei um wasserlösliches Protein handelt. Wasserunlösliches Protein wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Brenner führt an, dass die absolute Menge von 1.4-1.7 l Formalin in einem Gesamt-Perfusionsvolumen von 10 l zu sehr festem Gewebe führt, das sich nicht für den Einsatz im Praktikum eignet und zudem zu erhöhter Formaldehyd-Emission führt.

In den hier vorliegenden mit 3% Formaldehyd fixierten Körpern wurde die gleiche Menge Formaldehyd auf durchschnittlich 20 l Perfusionslösung eingesetzt, im Ergebnis ist das Gewebe jedoch angenehm geschmeidig und von guter Haptik.

Alle Berechnungen über Proteingehalte und Reaktionspartner für Formaldehyd lassen außer Acht, dass Formaldehyd auch mit anderen Bindungspartnern reagiert, die nicht stickstoffbasiert vorliegen, wie z.B. Hydroxylgruppen unter Bildung von Acetalen, Sulfhydroxylgruppen mit Bildung von Sulfhydrylacetat-Analogen oder aromatischen Ringen (Lang, 2013). Dieses, an anderen Stellen chemisch gebundene Formaldehyd steht dann nicht mehr als freies Molekül für die Reaktion mit Proteinen zur Verfügung. Auch fehlt eine Berechnung für wasserunlösliches Protein, das gemäß Brenner mehr Fixativ benötigt, als wasserlösliches. Ein Überschuss der absoluten Menge an Formaldehyd sollte deshalb wünschenswert und wahrscheinlich notwendig sein. Trotzdem ist eine Formaldehyd-Emission auch bei Körpern festzustellen, die mit nur 1.48% Formaldehyd in der Fixierlösung – also weniger als der Hälfte des rechnerisch notwendigen Formaldehyds - konserviert wurden. Auch ist noch eine desinfizierende Wirkung bei Reduktion des Formaldehyd-Gehalts in der Fixierung bis zu einem Gehalt von 1.2% gegeben, unter 1.7% verläuft die Fixierung nach Erfahrungen von Spaethe (2003) jedoch nicht vollständig. Über das Reaktionsgleichgewicht der Iminbildung, deren Rückreaktion und des Crosslinkings kann deshalb nur spekuliert werden. "In this regard, an understanding of the behavior and properties of formaldehyde in the cell is important for determining the best methods for measuring dynamic interactions using crosslinking. A better understanding of formaldehyde crosslinking may in turn lead to better quantitative models" (Hoffman et al. 2015).

Aufgrund des unterschiedlichen Protein-, Fett- und Wasseranteils in Geweben kann davon ausgegangen werden, dass die Formaldehyd-Emission abhängig ist vom jeweiligen Gewebetyp. Hohe Protein- und Wasseranteile in Verbindung mit geringem Fettgehalt lassen erhöhte Emissionen erwarten, die sich nach Eröffnung von Thorax und Abdomen messtechnisch bestätigen lassen. Kurose et al. (2004) untersuchte den Formaldehyd-Gehalt an Organen. Er nahm jedoch keine Emissionsbestimmung vor, sondern untersuchte den Gehalt im wässrigen Anteil des Gewebes. Der Gehalt käme dem frei zur Verfügung stehenden Formaldehyd-Gehalt nah. Innerhalb eines Körpers waren Gehalte an Formaldehyd recht homogen, jedoch von Körper zu Körper sehr variabel (z.B. in der Lunge von 0.03% bis 0.3 %).

Sugata et al. (2016) stellt in seiner Untersuchung die These auf, dass konservierte Körper von Frauen mehr Formaldehyd abgeben als konservierte Körper von Männern. Bei genauer Betrachtung der von Sugata herangezogenen Daten fällt jedoch auf, dass der BMI der von ihm untersuchten Körper der Frauen im Schnitt bei knapp 21 liegt, der männlichen Körper jedoch bei 26 (Übergewicht). Die verwendete Fixierung scheint nicht an Größe und Gewicht der Körper angepasst zu sein. Nach unseren Untersuchungen hängt die Formaldehyd-Emission jedoch ganz wesentlich vom BMI ab. Eine Verifizierung dieser Beobachtung wäre jedoch mit einer umfassenderen Studie vorzunehmen.

Bei Frauen ist die Gesamtflüssigkeitsmenge im Körper etwa 10% niedriger als beim erwachsenen Mann (EFSA, 2010). Die Formaldehyd-haltige Fixierlösung wird deshalb nach dem Perfundieren entsprechend weniger verdünnt. Daraus kann eine im Vergleich zu männlichen Körpern höhere Abgabe von Formaldehyd resultieren, die entsprechend der geringeren Verdünnung geschätzt in einem Bereich von 10% liegen könnte. In der vorliegenden Messreihe wurde nur ein kleiner Anteil männlicher Präparate untersucht. Die Datenlage ist deshalb nicht ausreichend belastbar, die These von Sugata zu überprüfen.

## **4.2 Reduktion der Formaldehyd-Emission ohne Infutrace™**

### **4.2.1 Einfache Optimierungsmöglichkeiten**

Thullner und van Gelder (2016) fassen einfache Möglichkeiten zur Formaldehyd-Reduktion wie folgt zusammen:

- **„Niedrige Raumtemperatur“**,

Ein Präparieren bei Temperaturen von weniger als 17°C ist jedoch nicht möglich, da damit die Feinmotorik der Hände und das Wohlfühlen beeinträchtigt ist.

- **„Niedrige Grundbelastung im Präpariersaal“**

Um dies zu erreichen, kann entweder die Anzahl an Präparaten im Saal oder der

Formaldehyd-Gehalt in den Präparaten reduziert werden. Weniger Präparate bedeuten eine höhere Tischbelegung oder verlängerte Praktikumszeiten, um das Präparieren für alle Studierenden zu ermöglichen. Für Dozenten resultieren daraus längere Arbeits- und Expositionszeiten und für das Institut deutlich höhere Kosten. Dies erscheint wenig zielführend und wenig praktikabel. Eine Reduktion der Formaldehydkonzentration im Präparat kann, wie nachgewiesen, auch mit optimierter Ventilation bei einem Gehalt von 1,48% nicht dauerhaft sicheres Arbeiten garantieren, da der Stoffindex 0.1 alleine mit dieser Maßnahme nicht erreicht werden kann.

- **„Praktikumsvorbereitung (Absprühen der Körperspenden mit Wasser nach Entnahme aus Lagerbehältnis)“**

Dies wurde am Beispiel des Versuchs mit ZNS Präparaten überprüft, eine Reduktion konnte hiermit jedoch nicht erzielt werden.

- **„Aufdecken der Präparate vor dem jeweiligen Praktikum - „Ablüftzeit“**

Damit kann eine erste Spitzenbelastung von Studierenden abgefangen werden. Weitere Belastungen im Laufe der Präparation werden jedoch nicht verhindert.

- **„Geringere Anzahl Studierende je Präpariertisch“**

Um das Präparieren für alle Studierenden trotzdem noch zu ermöglichen, müssten die Praktikumszeiten verlängert werden. Damit erhöht sich für Dozenten die Aufenthaltsdauer am Präpariertisch und deren Expositionszeit sowie die Arbeitszeit, woraus dem Institut deutlich höhere Kosten entstehen würden. Dies erscheint insgesamt wenig praktikabel.

- **„Theoretische Einführung außerhalb des Präparieraals“**

Das Lernen erfolgt vor allem während der Präparation anhand des dreidimensionalen und mit allen Sinnen erfassbaren Anschauungsmaterials „Präparat“ am Präparationstisch. Außerhalb des Präparieraals können allenfalls computergestützte Modelle oder anderes Anschauungsmaterial ergänzend herangezogen werden. Ein wesentlicher Zeitgewinn im Praktikum ist mit deren Verwendung jedoch nicht verbunden.

- **„Abstand zur Expositionsquelle, z.B. durch Stand-/Stirnlupen“**

Es sollte den am Präparat tätigen Personen immer bewusst sein, dass hier der Umgang mit einem gemäß TRGS als „Gefahrgut“ zu definierenden Körper besteht und Präventivmaßnahmen zur Reduktion der Exposition oberstes Gebot haben müssen. Abstand zur Emissionsquelle ist hierbei eine geeignete Maßnahme, die u.a. mit entsprechenden optischen Hilfsmitteln verbessert werden kann. Auch kann die Anpassung der Tischhöhe an die Körpergröße (Studierende nach Körpergröße zusammengefasst um aufrechte Arbeitshaltung zu ermöglichen, notwendig bei nach

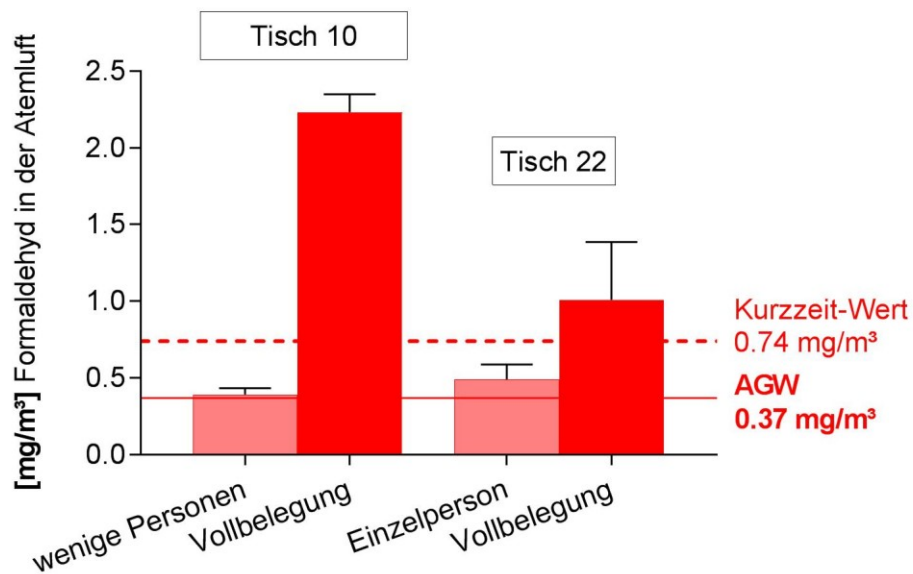
unten gerichtetem Luftstrom) eine sinnvolle Option darstellen, da sich groß gewachsene Menschen immer tief herunterbeugen müssen, wenn sie an niedrigen Tischen mit kleineren Personen zusammenarbeiten.

- Weitere Anpassung der absoluten Menge an Formaldehyd in der Fixierlösung an Körpergröße und Körpergewicht. Zu prüfen wäre ob Emissionen aus kachektischen Leichen mit reduziertem Formaldehydgehalt in der Fixierung abnehmen. Davon ausgehend, dass die verwendeten Körperspender ein etwa durchschnittliches Gewicht von ca. 70 und mehr kg mitbringen könnten, resultiert daraus im vorliegenden Versuchsaufbau eine Menge von ca. 0,07 l reines Formaldehyd (entspricht 0.19l Formalin) pro 10 kg Körpergewicht.
- Strikte Anleitung zu präventivem Verhalten am Tisch durch Dozenten und Tischbetreuer
- Risikopersonen wie Tischbetreuer und Dozenten mit erhöhter Aufenthaltsdauer im studentischen Praktikum sollten Tätigkeiten mit erhöhter Formaldehyd-Freisetzung vorsorglich vermeiden. Die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts ist bei diesen Tätigkeiten jedoch in jedem Fall sicherzustellen.
- Anwendung von Infutrace<sup>TM</sup>-Sprühlösung vor, während und nach der Präparation, wie es bereits in den Versuchen hier analog zu dem Vorbild einiger Universitäten der USA vorgenommen wurde (Styn, 2014-2015; Caler et al., 2011; Mt. San Antonio College, 2014).

Da diese Maßnahmen alleine wahrscheinlich in vielen Fällen nicht ausreichen, um ein dauerhaft sicheres Arbeiten im Umgang mit dem gemäß TRGS als „Gefahrgut“ zu definierenden Präparat zu gewährleisten, sind weitere Maßnahmen wie verbesserte Ventilation und Nachbehandlung, durch Injektion z.B. mit Infutrace<sup>TM</sup>, an mit Formaldehyd konservierten Körpern unumgänglich, wie die nachfolgenden Untersuchungen aufzeigen:

### 4.2.2 Tischbelegung

Die Tischbelegung hat einen bedeutenden Einfluss auf die Formaldehyd-Emission. Da durch Personenbarrieren am Tischrand die Emission nicht nur deutlich behindert, sondern auch durch Körperwärme weiter begünstigt wird (Thullner et al., 2015) wurden in unseren Untersuchungen signifikant höhere Ergebnisse bei voller Tischbelegung erzielt, als bei wenigen oder Einzelpersonen am Tisch:



**Abbildung 19:** Bei Messungen aus einer Präparationsstunde ergeben sich an Tisch 10 mit wenigen Personen oder Tisch 22 mit einer Einzelperson am Tisch deutlich geringere Exposition als bei voller Tischbelegung. Mittelwerte, n = 12



**Abbildung 20:** Einzelperson am Präpariertisch

#### 4.2.3 Reduktion durch Wässern der Präparate

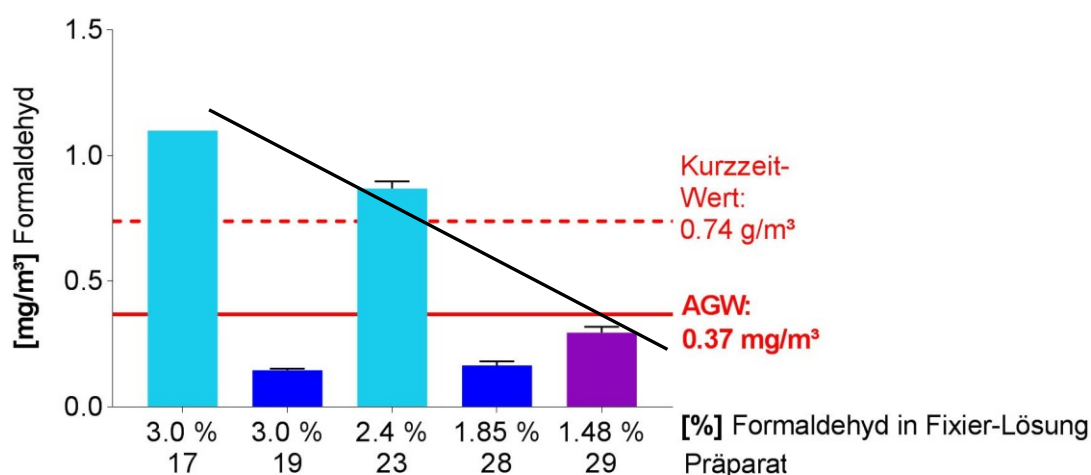
Eine erhöhte Emission der Präparate war unter den gewählten stationären Probenahmebedingungen nicht festzustellen, die ermittelten Konzentrationen lagen im Bereich der Grundbelastung des Raumes von  $0.26 \text{ mg/m}^3$ . Die Präparate des ZNS lagen während des Praktikumsbetriebs separat auf einem Tisch ohne Ventilation. Beide Präparate waren etwa ein Jahr alt und seit 8 Terminen im neuroanatomischen

Seminar in Verwendung. Das Wässern der Präparate bewirkte demnach keinerlei weitere Reduzierung der Formaldehyd-Emission. Der Emissionswert ist jedoch im Vergleich zu den übrigen Messwerten als vergleichsweise niedrig anzusehen und ist durch das geringe Volumen der Präparate sowie deren hohen Anteil an Lipiden begründet (Labadie und Möller, 2010).

#### 4.2.4 Reduktion von Formaldehyd in der Fixierung und Weitwurfdüse

Trotz vergleichbarer Mess- und Präparationsbedingungen (Hautöffnung, Weitwurfdüse) scheint die Konzentration an Formaldehyd in der Atemluft zunächst nicht linear mit dem reduzierten Gehalt an Formaldehyd in der Fixierung abzunehmen (Abb. 17).

Bei Betrachtung der Trendlinie (trotz eines Korrelationskoeffizienten von 0.3) und unter Berücksichtigung der geringeren Abgabe von Formaldehyd bei mächtigen Schichten subkutanen Fettgewebes scheint eine Reduktion der Emission an Formaldehyd jedoch tatsächlich gegeben. Nach Thullner und Mitarbeitern (2015) ist die Emission von Formaldehyd vor allem von der Gesamtmenge an Formaldehyd, die ein Präparate im Verlauf der Fixierung, Konservierung und Lagerung aufgenommen hat, abhängig. Durch Reduktion des Gehalts an Formaldehyd in der Fixierung nimmt demnach auch die Emission ab, sofern die weiteren Rahmenbedingungen alle vergleichbar sind.



**Abbildung 21 (aus 17a):** Formaldehyd-Emission in Abhängigkeit des Gehalts in der Fixierung während der Hautöffnung und Betrieb der Weitwurfdüse. Bei Reduktion des Formaldehyd-Gehalts in der Fixierlösung auf einen Gehalt von 1.48% ist zwar der Arbeitsplatzgrenzwert unterschritten, aber das dauerhaft sichere Arbeiten mit Formaldehyd nicht zu gewährleisten.

Die Struktur des Gewebes des mit Salz fixierten Körpers 29 ist stark verwässert, das Gewebe weicht deutlich von seiner natürlichen Struktur ab und das Präparat bringt einen nicht akzeptablen Geruch mit sich. Von einer weiteren Verwendung dieser Rezeptur wird deshalb abgesehen.

Eine Reduktion des Gehaltes an Formaldehyd auf 1.48% in der Rezeptur - selbst in Verbindung mit dem Betrieb der Weitwurfdüsen - allein ist jedoch nicht ausreichend zum gewünschten Ziel, der „sicheren“ Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwerts, zu gelangen. Weitere Versuche mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt in der Fixierung wurden deshalb nicht durchgeführt. Eine weitere Reduktion von Formaldehyd in der Fixierung sollte auch aus Infektionsschutzgründen nicht durchgeführt werden (Spaethe, 2003).

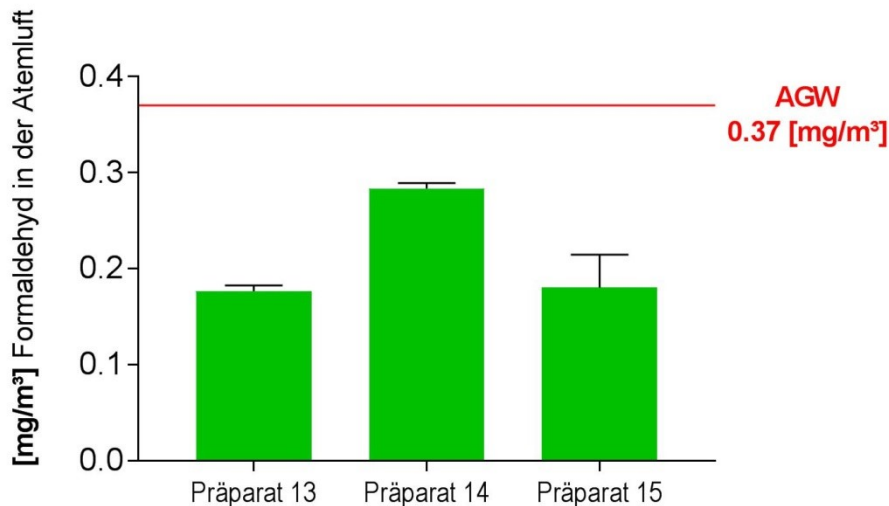
#### **4.3 Reduktion durch Verwendung von Infutrace™ und verbesserter Luftzufuhr mittels Weitwurfdüsen**

Aufgrund der fehlenden detaillierten Anwendungsvorschrift des Herstellers von Infutrace™ sowie einem noch ausstehenden gesicherten Wirkungsnachweis wurden mehrere Vorversuche unternommen, um daraus abschließend eine endgültige Anwendungsvorgabe zu erstellen, mit der eine zuverlässige Unterschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes dauerhaft erreicht wird:

##### *Injektion in Brust- und Bauchsitus versus Re-Perfusion eines Körpers aus dem Bestand*

Ein einzelner Körper wurde mit Infutrace™ nachperfundiert (Präparat 15). Die Nachperfusion erfolgte entgegen der Herstellervorgabe zeitlich mit enormer Verzögerung von mindestens einem Jahr. Aufgrund des hohen Gegendrucks ist diese Methode zur Re-Perfusion von Körpern aus dem Altbestand jedoch wenig praktikabel und ermöglichte nur geringe Mengen von Infutrace in den Körper einzubringen.

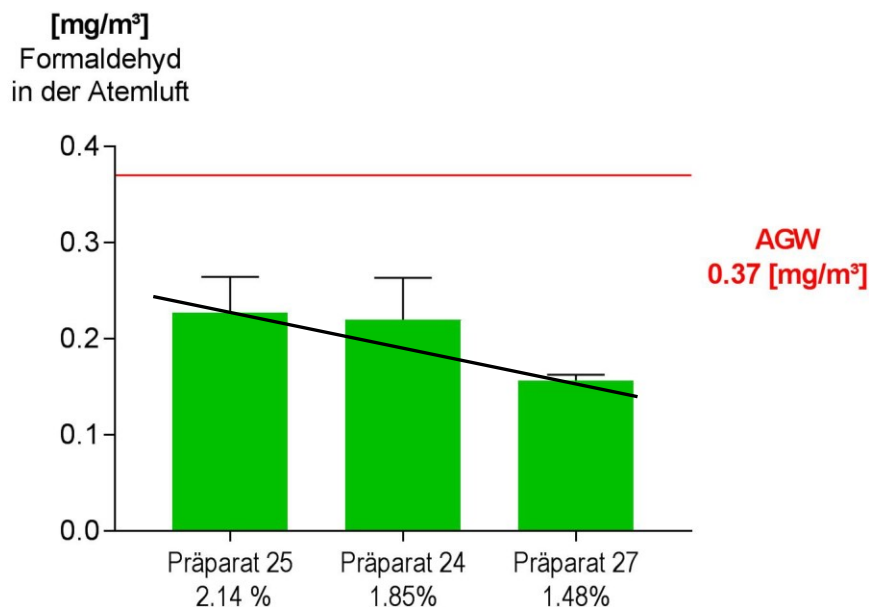
An zwei weiteren Körpern wurde nach Entfernen der Haut 20% Infutrace™ in Bauch- und Brustsitus injiziert. Präparat 14 wurde daraufhin mit 2l Infutrace™ eingeschweißt gelagert, Präparat 13 wurde bis zur Messung in Terralin gelagert. Die Ergebnisse der personenbezogenen Messungen unter simulierten Praktikumsbedingungen ergaben im Mittel Konzentrationen von weniger als 0.2 mg/m<sup>3</sup>, für Präparat 14 von 0.28 mg/m<sup>3</sup>.



**Abbildung 22:** Emission nach Anwendung von Infutrace™ durch Injektion in Kavitäten an Präparat 13 und Präparat 14 während oberflächlicher Präparation an offenen Muskel-Partien, bzw. der Haut bei Präparat 15 nach Re-Perfusion mit Infutrace™ jeweils bei Verwendung der Weitwurfdüsen. Alle Präparate mit 3% Formaldehyd in der Fixierung konserviert. Der Arbeitsplatzgrenzwert wird unterschritten, aber das dauerhaft sichere Arbeiten mit Formaldehyd ist nicht zu gewährleisten. Mittelwerte, n = 9.

#### *Reduktion von Formaldehyd in Fixierung und Infutrace™ Nachbehandlung mit Spray*

Die Reduktion des Formaldehyd-Gehaltes in der Fixierlösung und bequemer Anwendung von Infutrace™ im Sprayverfahren ergaben Messwerte in vergleichbarer Größenordnung wie Präparate mit herkömmlichem Gehalt von 3% Formaldehyd (Abb. 22) in der Fixierung und Infutrace™-Injektion bzw. Re-Perfusion:



**Abbildung 23:** Formaldehyd-Reduktion in der Fixierlösung auf Gehalte von 2.14%, 1.85% und 1.48% mit oberflächlicher Anwendung von Infutrace™ im Sprayverfahren bei Hautöffnung unter Weitwurfdüsen. Auch hier wird der Arbeitsplatzgrenzwert unterschritten, aber das dauerhaft sichere Arbeiten mit Formaldehyd ist nicht zu gewährleisten. Mittelwerte, n = 9

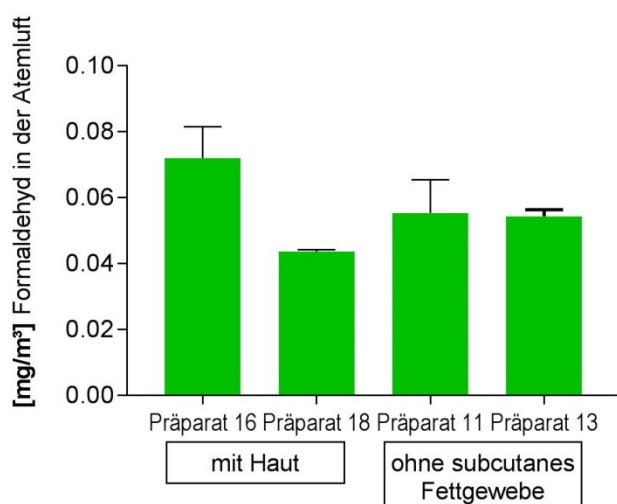
Alle Messwerte lagen jeweils deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und deutlich unter  $0.3 \text{ mg/m}^3$ .

Trotz zum Teil abweichender Rezeptur (Präparat 25 enthielt 87% Ethanol (!)) zeigt sich mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.87 ein Trend der linearen Emissionsabnahme mit Reduktion des Gehaltes an Formaldehyd in der Fixierung. Die Körper waren augenscheinlich von vergleichbaren Dimensionen.

#### 4.3.1 Infutrace™-Optimierung

Nach TRGS 402 sollte ein Stoffindex von weniger als 0.1 angestrebt werden, um langfristig einen sicheren Umgang mit dem in der Anatomie als „Gefahrgut“ im Sinne der Gefahrstoffverordnung zu definierenden Präparat gewährleisten zu können. Um dies bei Dozenten mit doppelt so langer Aufenthaltszeit wie der Studierenden zu erreichen, muss an der Anatomie Gießen ein Messwert von  $0.1 \text{ mg/m}^3$  in der Atemluft unterschritten werden.

Um einen regelgerechten Präparierkurs zu ermöglichen, sollte auch die Hautpräparation durchgeführt werden können ohne entsprechend hohe Belastung der Präparierenden. Deshalb wurden zwei vollständige Präparate mit 3% in der Fixierung an zahlreichen Stellen subkutan (Präparat 16 und Präparat 18) zusätzlich zur Injektion in Brust- und Abdomen unterspritzt und mit zwei bereits 3 Monate zuvor mit Infutrace™ in Brustsitus und Abdomen injizierten Präparaten 13 und 14 nach Abpräparation der Haut auf die Emission unter den Weitwurfdüsen untersucht:

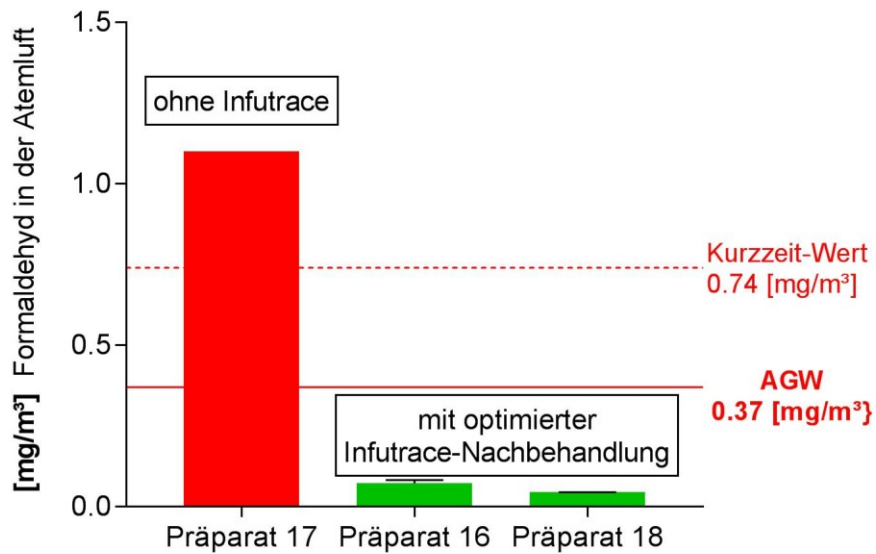


**Abbildung 24:** Präparat 16 und 18 wurden neben der Injektion in die Kavitäten zusätzlich mittels subkutaner Mehrfach-Injektion von Infutrace™ behandelt. Präparat 11 und 13 wurden 3 Monate zuvor Infutrace™ in die Kavitäten injiziert. Alle Messwerte liegen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1. Einzelmesswerte im Anhang, n=12

Die zusätzliche Mehrfach-Punkt-Injektion unter das subkutane Fettgewebe erbrachte eine weitere deutliche Reduzierung der Formaldehyd-Emission auf Konzentrationen unter  $0.1 \text{ mg/m}^3$  vergleichbar zu jenen Werten, die an Präparaten ohne Haut und subkutanem Fettgewebe, aber oberflächlich mit Infutrace<sup>TM</sup> behandelt und in Thorax und Abdomen mit Infutrace<sup>TM</sup> injiziert worden waren. Damit wurden der Arbeitsplatzgrenzwert für Formaldehyd sehr weit sowie der RW I des AIR für (Wohn-, oder Büro)-Innenräume ohne Umgang mit Gefahrgut deutlich unterschritten.

Die Art und Weise der Verwendung von Infutrace<sup>TM</sup> scheint dabei zunächst keine sehr große Rolle zu spielen. Die Präparate ohne Haut und Subcutis sind bereits 3 Monate zuvor mit Infutrace<sup>TM</sup> oberflächlich und durch Injektion in Bauchhöhle und Brustsitus behandelt worden, während es bei den neueren Präparaten erst 7 Tage vor der Probenahme durch zusätzliches Unterspritzen in subkutanes Fettgewebe eingebracht worden war. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Emission an den bereits 3 Monate zuvor mit Infutrace<sup>TM</sup> behandelten Präparaten wahrscheinlich weniger aufgrund der längeren Eindringzeit und -tiefe von Infutrace<sup>TM</sup>, sondern vor allem durch die lange Verwendungszeit im Präpariersaal bedingt ist. Die längere Emissionszeit führte zu einer Reduktion um ca. 65% von erstmals  $0.18 \text{ mg/m}^3$  auf nun  $0.055 \text{ mg/m}^3$ . Das subkutane Unterspritzen bedingt jedoch einen höheren Wirkungsgrad der Infutrace<sup>TM</sup>-Behandlung, da sich Infutrace unter der Diffusionsbarriere Haut besser verteilen kann. Das Präparat 15 (mit Haut) wurde mit nur sehr wenig Infutrace<sup>TM</sup>-Lösung reperfundiert, zeigte aber trotzdem mit einem Gehalt von  $0.18 \text{ mg/m}^3$  in der Atemluft ähnlich geringe Emissionswerte wie die beiden parallel durch Injektion in die Kavitäten behandelten Präparate 11 und 13 ohne subkutanes Fettgewebe ( $0.18 \text{ mg/m}^3$  resp.  $0.28 \text{ mg/m}^3$ ). Die Art und Weise der Infutrace<sup>TM</sup>-Behandlung vor allem durch subkutane Injektion spielt daher für den Wirkungsgrad und die Effizienz eine wahrscheinlich ganz wesentliche Rolle.

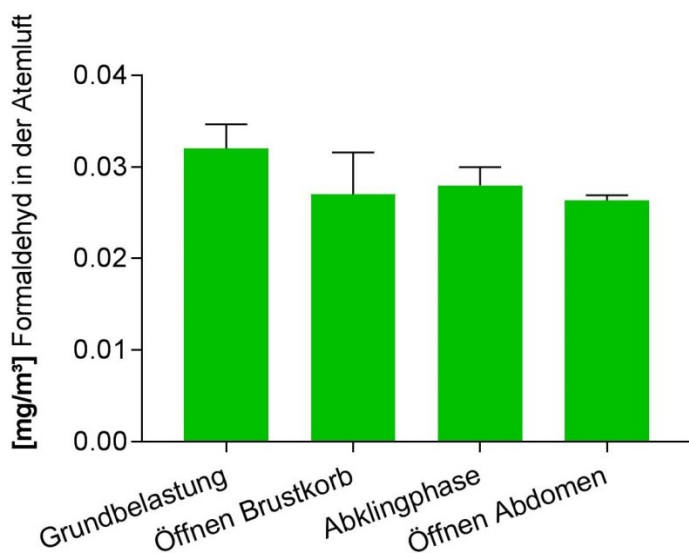
Im Vergleich zu Messwerten, die ohne Behandlung mit Infutrace<sup>TM</sup> aber bereits mit Betrieb der Weitwurfdüsen bei Hautöffnung ermittelt worden sind, ergibt sich eine weitere Reduktion der Formaldehyd-Emission um zusätzliche 90% durch Verwendung von Infutrace<sup>TM</sup>:



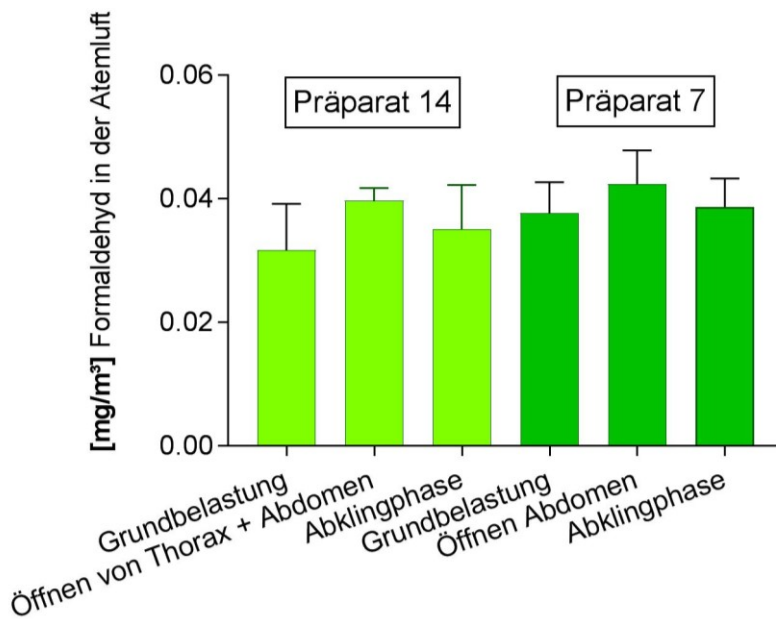
**Abbildung 25:** Präparat 17 ohne Infutrace™-Behandlung und Präparat 16 und Präparat 18 nach optimierter Infutrace™-Behandlung jeweils während der Hautöffnung unter Weitwurfdüsen. Aus der Infutrace™-Behandlung resultiert eine weitere Reduktion der Emission um mehr als 90%. Alle Messwerte liegen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1. Mittelwerte, n = 8

#### 4.3.2 Kontrollmessung im realen Praktikumsbetrieb

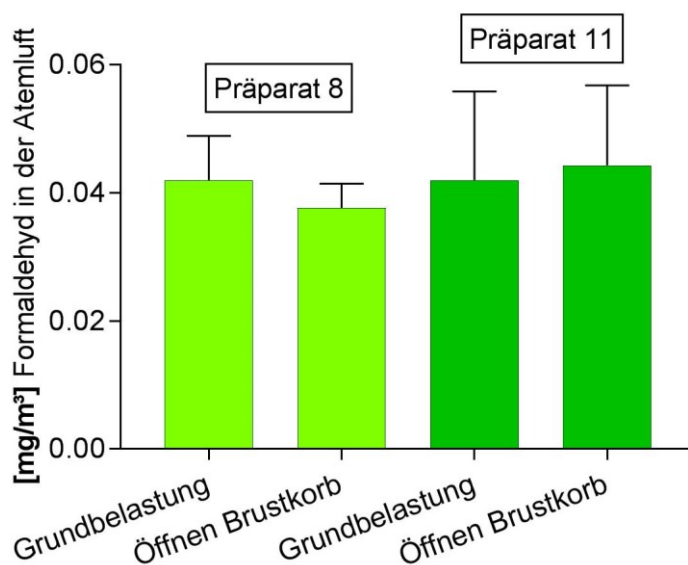
Zur ersten Kontrollmessung im realen Praktikumsbetrieb werden bewusst Expositionsszenarien mit Erwartung einer hohen Freisetzung von Formaldehyd gewählt. Die Körper werden zum Teil vor und während der Präparation mit Infutrace™ besprüht, aber besonders intensiv zur Feuchthaltung nach Kursende:



**Abbildung 26:** Präparat 13; Tisch 26, sehr dünner kleiner Körper, sehr trocken, bei Präparation an Muskelgewebe, Öffnen des Thorax, direkt im Anschluss und Öffnen des Abdomens. Alle Messwerte liegen sehr weit unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1. Mittelwerte, Einzelmesswerte im Anhang, n = 12



**Abbildung 27:** Präparat 14; Tisch 23, sehr voluminöser Körper mit viel Fettgewebe, sehr feucht, bei Präparation (Grundbelastung), gleichzeitiges Öffnen von Thorax und Abdomen und direkt anschließend in der Abklingphase; Präparat 7, Tisch 18, normaler Körper bei Präparation (Grundbelastung), Öffnen des Abdomens und direkt anschließend in der Abklingphase. Alle Messwerte liegen sehr weit unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1. Mittelwerte, Einzelmesswerte im Anhang, n = 18



**Abbildung 28:** Präparat 8, Tisch 17, normaler Körper bei Präparation und Öffnen des Thorax; Präparat 11, Tisch 24, normaler Körper bei Präparation und Öffnen des Thorax. Alle Messwerte liegen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1. Mittelwerte, Einzelmesswerte im Anhang, n = 12

Aus den personenbezogenen Kurzzeit-Messwerten ergaben sich für alle untersuchten Proben bei Betrieb der Weitwurfdüsen und der gewählten Emissionsszenarien, die üblicherweise eine recht hohe Freisetzung von Formaldehyd bedingen,

Konzentrationen von 0.026 mg/m<sup>3</sup> bis 0.044 mg/m<sup>3</sup>. Es ergaben sich keine bedeutenden Anstiege der Formaldehyd-Belastung während der Situs-Öffnungen, auch nicht unter verschärften Bedingungen bei gleichzeitigem Öffnen von Bauch- und Brustsitus.

Die Befunde belegen, dass durch den Einsatz der Weitwurfdüsen in Kombination mit der Verwendung von Infutrace<sup>TM</sup> eine sehr starke Reduktion der Formaldehyd-Emission im studentischen Praktikum erreicht werden kann. Diese führte im Rahmen der vorliegenden Messreihe sowohl zu einer Unterschreitung des Arbeitsplatzgrenzwerts für Formaldehyd von 0.37 mg/m<sup>3</sup>, als auch zu einem Stoffindex von unter 0.1 gemäß TRGS 402 für Studierende wie auch Dozenten. Die Spitzenbegrenzung wurde in allen Proben weit unterschritten.

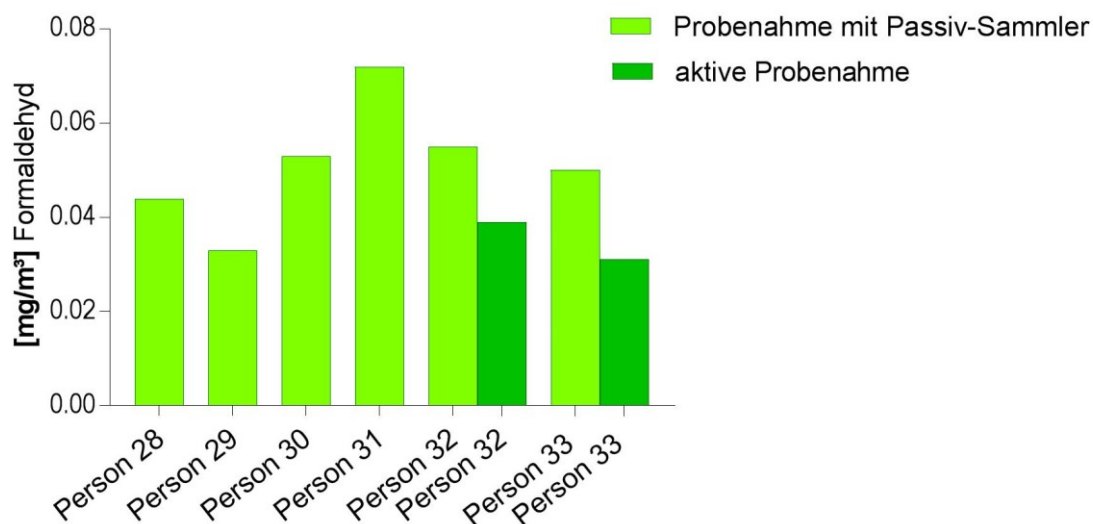
Auch die Raumluftbelastung zwischen den Präparationstischen konnte im Vergleich zur Belastungssituation vor den Reduzierungsmaßnahmen um 90% auf Gehalte von 0.023 mg/m<sup>3</sup> im Mittel reduziert werden.

#### 4.3.3 Personenbezogene Langzeitmessung über gesamte Praktikumlänge

Die im Rahmen der Langzeitmessung an Dozenten und Tischbetreuern vorgenommenen personenbezogenen Messungen über einen Zeitraum von ca. 160 Minuten ergeben Messwerte in der Höhe von 0.031 mg/m<sup>3</sup> bis 0.039 mg/m<sup>3</sup> (siehe Tabelle 23: Vergleich personenbezogene Messung mittels Radiello® Passivsammler). Damit konnte auch für diesen Personenkreis keine erhöhte Belastung über den Innenraumrichtwert oder den Arbeitsplatzgrenzwert, bzw. den Stoffindex hinaus festgestellt werden.

#### 4.3.4 Vergleich mit Radiello®-Passivsammler unter Praktikumsbedingungen

Da viele personenbezogenen Messwerte anderer Institute (Ohmichi et al., 2007; Australian Government - Department of health and ageing, 2006; Gurbuz et al., 2016) mittels Passivsammler ermittelt wurden, sollte die Leistungsfähigkeit eines Passivsammlermediums am Beispiel des Radiello®-Passivsammlers im Vergleich zur aktiven Probenahme mittels Pumpe/Personal Sampler überprüft werden. Der Passivsammler bietet den Vorteil, dass die Probenahme nicht mit einem aufwendigen Probenahme-Equipment durchgeführt werden muss, sondern auch von Laien ohne besondere Einarbeitung bequem durchgeführt werden kann. Weiterhin wurden bei allen anderen Dozenten die personenbezogenen Formaldehyd-Belastungen mittels Radiello® überprüft, an deren Tischen aus Kostengründen keinerlei Messungen vorgesehen waren.



**Abbildung 29:** Die Messung mit dem Passivsammlersystem Radiello® an Dozenten, die jeweils zwei Tische gleichzeitig betreuen, im Vergleich zu aktiver Probenahme mittels Pumpe über den gesamten Praktikumszeitraum (ca. 180 min.) zeigt eine gute Übereinstimmung. Alle Messwerte liegen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1.

Die vergleichende Messung von Formaldehyd mittels Passivsammler ( $0.055 \text{ mg/m}^3$  /  $0.050 \text{ mg/m}^3$ ) und in der Aktivmessung ( $0.039 \text{ mg/m}^3$  /  $0.031 \text{ mg/m}^3$ ) ergibt in der Aktivmessung einen ca. 30-40% geringeren Messwert gegenüber der Passivmessung. Bei der Beurteilung ist zu beachten, dass der Passivsammler etwa auf Herzhöhe an den Probanden befestigt gewesen ist und damit der Abstand zur emittierenden Oberfläche während der Expositionszeit deutlich geringer war, als bei den in Atemhöhe befestigten Sammlern der Aktivmessung (siehe Abb. 9 +10). Vor diesem Hintergrund ist die Beprobung mittels Passivsammlung als plausibel zu betrachten, die Messwerte bringen vergleichbare Ergebnisse.

Für die weiteren untersuchten Probanden an den übrigen Tischen gilt deshalb, dass auch hier mit Messwerten von  $0.033 \text{ mg/m}^3$  bis max.  $0.072 \text{ mg/m}^3$  sowohl der Arbeitsplatzgrenzwert von  $0.37 \text{ mg/m}^3$  sowie auch der maximal zulässige Kurzzeitwert von  $0.74 \text{ mg/m}^3$  weit unterschritten waren.

Cope und Mitarbeiter (2011) kommen in ihrem Vergleich Aktivmessung versus Messung mittels Passivsammler zum gegenteiligen Ergebnis: Hier werden in der Aktiv-Sammlung deutlich höhere Ergebnisse mit 2.5 bis 4-fach höheren Messwerten in der Aktiv-Messung als in der Passiv-Messung erzielt. Die Differenz kann auf die Sammler-Geometrie und möglicherweise auch auf die Position des Passivsammlers am Körper zurückzuführen sein. Passivsammler wurden bereits von Rumph (1987) in der Anatomie eingesetzt. Ein Vergleich zu einer Aktivmessung erfolgte jedoch nicht. In einer Studie von Lee und Mitarbeitern (2017a) wird ein Vergleich zwischen Aktiv- und

Passivprobenahme in der Anatomie mit dem DNPH-basierten Passivsammler „ChemDisk Aldehyde Monitor 571“ durchgeführt. Er erzielte mittels Passivsammler ebenfalls um ca. 30% höhere Messwerte als in der Aktivmessung. Yim und Mitarbeiter (2013) kommen bei ihrem Vergleich Passivsammler versus Aktivmessungen zu sehr guten Übereinstimmungen, jedoch wird hier keine dynamische Exposition während eines Präparationsprozesses untersucht, sondern die Eignung des Passivsammlers für die Untersuchung vergleichsweise homogener Innenraumluft. Chiappini und Mitarbeiter (2011) stellen Ergebnisse aus Aktiv-Messungen nach DIN 16000-3<sup>11</sup> oder BGIA-Arbeitsmappe<sup>12</sup> Messungen mittels Radiello® Passivsammler sowie kontinuierlichen Mess-Systemen gegenüber. Der Passivsammler zeigt hier im Niedrigdosisbereich von ca. 0.01 mg/m<sup>3</sup> Abweichungen bis zu 40% über dem Messwert der Aktiv-Probenahme, die vor allem auf hohe Blindwerte des Passivsammlers zurückgeführt werden. Kurzzeitprobenahmen im Niedrigdosisbereich führen demnach zu einer Überschätzung der Belastungssituation. Auch führen Chiappini und Mitarbeiter (2011) die Empfindlichkeit gegenüber Zugluft an, die Passivmessungen allgemein deutlich mehr beeinflussen würde, als aktive Probenahmen. Der Radiello®-Passivsammler dagegen ist aufgrund der radialen Sammlergeometrie laut Herstellerangaben nicht anfällig gegenüber Wind und Zugluft (SIGMA-ALDRICH, 2017). Die Untersuchungen belegen jedenfalls die gute Eignung des Radiello®-Passivsammlers auf DNPH-Basis im Vergleich zur Aktivmessung – auch bei Zugluft. Damit ist prinzipiell die Verwendung des Radiello®-Passivsammlers in der Anatomie als geeignete Methode anzuerkennen um die Einhaltung der Grenzwertvorgaben auch langfristig über einen mehrwöchigen Kursverlauf individuell überwachen zu können.

#### 4.3.5 Zweite Kontrollmessung im realen Praktikumsbetrieb bei Extremklima

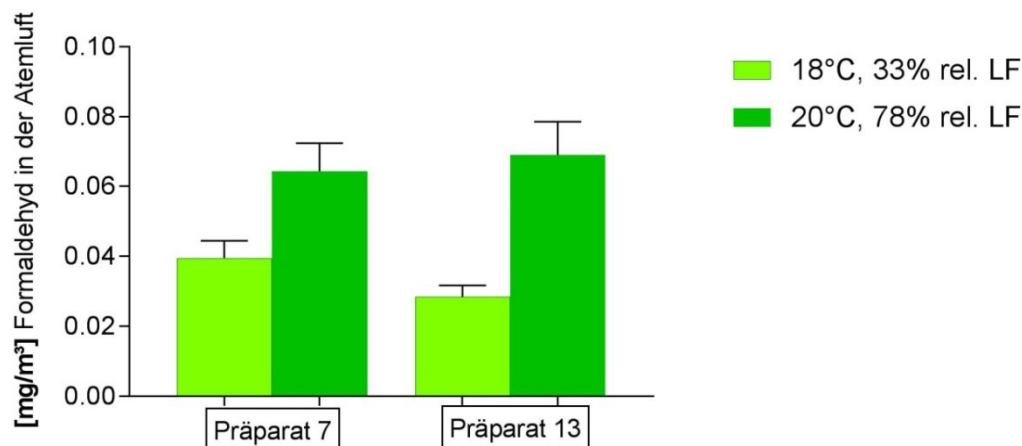
Selbst unter extremen Klimabedingungen bleiben die Emissionswerte auf einem sehr niedrigen Niveau wie unsere Versuche zeigten. Für die Präparate wurde nur eine geringe Erhöhung der Formaldehydemission im Vergleich zu der Messung 3 Monate zuvor festgestellt (Abbildung 31).

Im Vergleich zur Vormessung kann etwa von einer Verdoppelung (Faktor 1.6 resp. 2.5) der Luftmesswerte ausgegangen werden. Aufgrund der nur geringen Grundbelastung war der Anstieg jedoch als unerheblich zu bewerten, da die Messwerte noch weit unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts lagen und der Stoffindex von 0.1 erfüllt blieb.

---

<sup>11</sup> entspricht NIOSH 2016 (Tucker, 2003)

<sup>12</sup> Kennzahl 6045 (Assenmacher-Maiworm und Hahn, 2009)



**Abbildung 30:** Zwei Präparate wurden an einem Tag bei üblichen Klimabedingungen bei 18°C/22% relativer Luftfeuchte (dunkelgrün) untersucht und 7 Wochen später bei 20°C/78% rel. Luftfeuchte (hellgrün) bei vergleichbaren Präparationstätigkeiten. Die ungünstigen Klimabedingungen bewirken eine Erhöhung der Emission um den Faktor 1.6 resp. 2.5. Alle Messwerte liegen deutlich unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwerts und dem Stoffindex von 0.1. Mittelwerte, n = 3 - 12

#### 4.3.6 Externe Validierung durch das Regierungspräsidium Kassel

Durch die Messungen des Regierungspräsidiums Kassel – Fachzentrum für Produktsicherheit und Gefahrstoffe – wurden sowohl für Präparate mit Infutrace™ wie auch ohne Behandlung mit Infutrace™ Konzentrationen in identischer Größenordnung ermittelt. Abschließend wurde damit die Wirksamkeit der getroffenen Arbeitsschutzmaßnahmen von offizieller Stelle vollumfänglich bestätigt.

#### 4.4 Einwirkzeit Infutrace™

Die Wartezeit nach Infutrace™-Behandlung beträgt gemäß Anwendungs-Vorschrift des Herstellers 8 bis 12 Stunden, danach soll die Reaktion abgeschlossen sein. Der Formaldehyd-abfangende Wirkstoff dient als Quencher-Molekül (Vgl. Abbildung 2). Es ist anzunehmen, dass es sich bei dem Quencher-Molekül um ein Molekül mit geringer Größe, wie z.B. Harnstoff (Molgewicht 60 g/mol), handeln müsste, damit zuverlässig eine ausreichende Eindringtiefe und -geschwindigkeit im fixierten Gewebe erreicht wird. In der vorliegenden Versuchsreihe wurde deshalb eine Wartezeit von einer Woche gewählt, die jedoch möglicherweise noch unterschritten werden könnte.

#### 4.5 Arbeitsplatzmessungen – richtiger Zeitpunkt ?

An den Voruntersuchungen wurde ersichtlich, dass im Rahmen der Arbeitsplatzüberwachung neben den am jeweiligen Körperspender vorgenommenen Tätigkeiten auch die Tischbelegung ein ganz maßgebliches Kriterium darstellt und insbesondere bei der Überwachung der Spitzenbelastungen zu berücksichtigen ist.

Thullner und Kollegen (2015) schlagen deshalb vor, die personenbezogene Beprobung während der Präparation an der Muskeloberfläche sowie an Thorax oder Abdomen vorzunehmen. Hier ist mit der höchsten Exposition über einen längeren Zeitraum zu rechnen. Kurzzeitige höhere Expositionsspitzen wie sie während der Situsöffnung auftreten, werden nur von einer geringen Anzahl an Personen einmal im gesamten Kurs vorgenommen und könnten deshalb bei der Bewertung vernachlässigt werden. Auch hier sollte jedoch die Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes sicher gestellt sein. Das Entfernen der Haut oder des subkutanen Fettgewebes dagegen dauert mehrere Kursstunden und wird gleichermaßen von allen Studierenden und Tischbetreuern durchgeführt. Eine Überwachung sollte deshalb auch den Zeitraum des Entferns der Haut bzw. des subkutanen Fettgewebes einschließen. Ein wesentlicher Einfluss auf Ergebnisse kann zudem auch aus dem Messaufbau resultieren. Aufwendige Apparaturen am Tischrand können die Strömungsverhältnisse am Tisch verändern und zu Abweichungen führen.

#### **4.6 Arbeitsplatzüberwachung mit Passivsammler – Langzeitüberwachung**

Aufgrund der großen individuellen Schwankungsbreite der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft, die sich allein durch das Verhalten während der Präparation am Tisch ergibt, eignet sich der Passivsammler als hervorragendes Sammelmedium, Aufschluss über die individuelle Aufnahme über einen längeren Probenahmezeitraum zu gewinnen. Orientierende Untersuchungen an zwei Messpunkten mittels Radiello®-Passivsammler ergaben eine gute Übereinstimmung im Vergleich zur Aktiv-Messung. Der Passivsammler könnte als eine Art Dosimeter z.B. über die gesamte Kurslänge verwendet werden, um die Einhaltung des Grenzwertes ohne großen messtechnischen Aufwand überwachen zu können. Der Sammler kann zwischen den Präparationseinheiten verschlossen und zum nächsten Praktikumstag wieder verwendet werden. Es resultiert ein Mittelwert z.B. über die gesamte Kursdauer. Der Passivsammler bietet damit eine kostengünstige und einfach zu handhabende Option der Arbeitsplatz-Überwachung (Lee et al., 2017a; Cope et al., 2009).

#### **4.7 Vergleich Universitäten in USA**

An einigen Universitäten der Vereinigten Staaten werden Studierende vor Beginn des Praktikums schriftlich über die Kursregeln sowie die Reduktion des gesundheitlichen Risikos durch die Verwendung von Formaldehyd aufgeklärt und darauf hingewiesen, dass der Einsatz von Infutrace™ bei kritischen Präparationsschritten zur Reduzierung der Belastungssituation zu verwenden ist. Die Studierenden werden damit nachweislich in die Verantwortung zu Formaldehyd-reduziertem Arbeiten einbezogen (Styn, 2014-2015, Caler et al., 2011; Mt. San Antonio College, 2014).

### 4.8 Fazit

Die in dieser Arbeit entwickelte Verfahrensweise zur Formaldehyd-Reduktion im studentischen Praktikum mit optimierter Anwendung von Infutrace<sup>TM</sup> in Verbindung mit dem Weitwurfdüsen-System (siehe Dissertation Hans Hieke) hat sich als äußerst preisgünstig, praktisch und kurzfristig umsetzbar erwiesen. Das System kann problemlos und mit nur geringem bautechnischem Aufwand in allen Gebäudetypen zur Anwendung kommen. Alle bisher bekannten Grenzwerte – selbst der extrem strenge japanische Grenzwert – werden damit weit unterschritten.

Das studentische Praktikum kann mit Beginn der Hautpräparation in seinem gewohnten Ablauf durchgeführt werden, da die Konzentration des Formaldehyds in der Atemluft unabhängig vom Präparationsschritt weit unter jedem Grenzwert bleibt.

Selbst unter erschwerten klimatischen Bedingungen, sowie anderen negativen äußeren Einflüssen, wie zum Beispiel erhöhte Zahl an Studierenden im Praktikum, werden mit dieser Methode sowohl der Arbeitsplatzgrenzwert für die am gemäß TRGS als „Gefahrgut“ definierten Spenderkörper tätigen Personen, der wesentlich strengere Innenraumrichtwert für weitere im Raum anwesende Personen wie auch der weltweit strengste Arbeitsplatzgrenzwert aus Japan sehr weit und sicher unterschritten.

Die weitere Verwendung von Präparaten, die mit 3% Formaldehyd fixiert wurden, garantiert damit zukünftig gleichbleibende Sicherheit vor infektiösen Keimen.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Arbeit war, mittels Lüftungs- und präparationstechnischer Optimierung im anatomischen Praktikum zu einer Reduktion der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft bei Studierenden und Hochschulangestellten zu gelangen, um den erst seit kurzem verbindlichen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Formaldehyd dauerhaft und sicher zu unterschreiten. In der vorliegenden Arbeit lag der thematische Schwerpunkt der Reduktionsminderung bei Adaptationen der Fixierung sowie der Nachbehandlung mit einem Formaldehyd-bindenden Agens (Infutrace™). Die Lüftungstechnische Optimierung wird in der Dissertation von Hans Hieke dargestellt. Im Rahmen der gesamten Untersuchungsreihe wurde die Formaldehyd-Emission an insgesamt 29 verschiedenen Präparaten mit 7 unterschiedlichen Fixierungen an 206 Messwerten, davon 122 Personenmessungen, untersucht. In detaillierten Voruntersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die Formaldehyd-Emission mit der Verwendungsdauer der Präparate im Praktikum abnimmt, kachektische Körperspender deutlich mehr Formaldehyd emittieren und Präparate mit massiven Schichten von Depotfett nur sehr geringe Mengen an Formaldehyd abgeben. Abhängig von der Präparation kommt es vor allem bei der Hautöffnung zur ersten Belastungsspitze, da die Haut eine Diffusionsbarriere für die Emission von Formaldehyd darstellt. Mit Optimierung der Lüftungstechnik wurde eine Abnahme der Formaldehyd-Belastung in der Atemluft um 60% erreicht. Durch Injektion in Kavitäten und zusätzlicher subkutaner Mehrfach-Injektion von Infutrace™ konnte die Emission um zusätzliche 90% auf weniger als  $0.1 \text{ mg/m}^3$  im realen Praktikumsbetrieb auch bei hoher Expositionserwartung während und nach Situs- oder Hautöffnung abgesenkt werden. Unangenehme Gerüche und Beschwerden über Irritationen der Schleimhäute waren seit der Verwendung von Infutrace™ nicht mehr zu beobachten. Die Präparate zeigten eine weiterhin gute Haptik.

Um die individuell variierende Exposition mit Formaldehyd auch langfristig zu überprüfen, wurde der Einsatz von kostengünstigen und einfach anwendbaren Passiv-Sammelmedien diskutiert und am Beispiel des Radiello®-Passivsammlers messtechnisch verifiziert.

Die angewandte Methode ist ohne großtechnischen Aufwand unabhängig von aufwendigen Lüftungs- und Baumaßnahmen an jeder Anatomie anzuwenden und erlaubt die Verwendung von Körperspendern, die nach den vorliegenden Untersuchungen mit bis zu 3% Formaldehyd fixiert worden sind. Damit ist nachhaltig sicheres Arbeiten für Dozenten und Studierende ohne Infektionsgefahr sichergestellt.

Selbst der weltweit strengste japanische Arbeitsplatzgrenzwert von  $0.2 \text{ mg/m}^3$  für Formaldehyd wird durch Anwendung der vorgestellten Methode weit unterschritten.

## 6 SUMMARY

Formaldehyde is an effective tissue fixative as well as a disinfectant and is thus routinely used in embalming solutions for body donors used in anatomy. The application of formaldehyde guarantees good preservation results and safe working with human corpses. As a cancer hazard classified, high concentrations in vapors from cadavers embalmed with formaldehyde induced the necessity to reduce formaldehyde-concentrations in the air of the dissection labs to reach the new German permissible exposure limit (PEL) for formaldehyde in the workplace of 0.37 mg/m<sup>3</sup>.

This thesis describes the development of a new method to reduce formaldehyde emission of 3% formaldehyde fixed human bodies which amounted up to 3 mg/m<sup>3</sup> formaldehyde. Part of this reduction (60%) is achieved by a modified ventilation system using long throw nozzles designed by Hans Hieke (thesis by Hans Hieke, JLU Gießen). Preliminary investigations dealt with the emission-behavior of formaldehyde creating a scientific basis for the emission process of formaldehyde fixed bodies. First effects of fixation solutions with lowered amounts of formaldehyde and different kinds of ventilation systems were tested. Further experiments investigated post-embalming treatment of cadavers with the formaldehyde destroying agent Infutrace<sup>TM</sup>, building a polymere. Destroying free formaldehyde additionally reduced the emission by 90%. Adding both methods resulted in values of formaldehyde in the breathing air not exceeding 0.06 mg/m<sup>3</sup> and in the ambient air 0.023 mg/m<sup>3</sup>. The combined methods were tested during the running dissection course under realistic working conditions which is a prerequisite for an universal application of our method.

Clear evidence is given for higher emissions of formaldehyde from cachectic bodies, whereas obese bodies emitted very low formaldehyde values. The skin and the adipose tissue build a relative vapor barrier for the emission of formaldehyde. Therefore emissions increase during skin opening, and further on when muscle tissue is dissected or visceral cavities are opened. The emission depends on the absolute amount of formaldehyde in the corpse and is reduced by use in the dissection courses only by time due to simple emission procedures.

For the individual control of formaldehyde exposure long-term measurement with passive-sampling methods have been tested. The passive samplers proved to be suitable for data collection not needing hightech-equipment for the use of personal samplers.

The data clearly emphasize the unique and low cost possibility to reduce formaldehyde exposition in the dissection class by a combination of both methods – chemical destruction and long-throw-nozzle ventilation system - to reduce formaldehyde loads

using conventionally 3%-formaldehyde fixed cadavers. This method guarantees an optimal preservation and a safe destruction of potential pathogens and a formaldehyde emission below the permissible exposure limits and below any necessary substance-index values. This ensures safe working not only for students, but also for teachers

**7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

(I)	Römisch 1
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte im UBA
ChemG	Chemikaliengesetz
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
EU	Europäische Union
FA	Formaldehyd
HPLC	High-Performance-Liquid-Chromatography (Hochdruck-Flüssig-Chromatographie)
LOAEC	Lowest Observable Adverse Effect Concentration
mg/m <sup>3</sup>	Milligramm pro Kubikmeter
MW	Mittelwert
n.a.	nicht angegeben
person	Probenahme an der Person
ppm	parts per million
rel. LF	relative Luftfeuchte
RW	Richtwert
RW I	Richtwert I (Vorsorgewert)
RW II	Richtwert II (Gefahrenwert)
RP	Reversed Phase
stationär	stationäre Probenahme
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolett
VO	Verordnung
µg	Mikrogramm
WWD	Weitwurfdüse

**8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

<b>Abbildung 1:</b> aus Balta, Cronin et al (2015a) Geschichte der Präparation:.....	1
<b>Abbildung 2:</b> Formaldehyd.....	2
<b>Abbildung 3:</b> aus Hoffman et al. (2015) Bildung einer Schiffischen Base.....	3
<b>Abbildung 4:</b> aus Hoffman et al (2015) Bildung eines Crosslink-Produkts.....	4
<b>Abbildung 5:</b> Crosslink des Lysin-Restes eines Proteins mit Cystein .....	4
<b>Abbildung 6:</b> Zusammenhang zwischen Formaldehydexposition und Tumorrare .....	7
<b>Abbildung 7:</b> Konzentrationsabhängiges Beschwerdebild bei Kurzzeitexposition .....	8
<b>Abbildung 8:</b> Entwicklung des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW).....	10
<b>Abbildung 9:</b> aktive Personenmessung mittels Pumpe (Pumpe nicht abgebildet).....	22
<b>Abbildung 10:</b> passive Personenmessung mittels Radiello®-Passivsammler .....	22
<b>Abbildung 11:</b> Raumluft-Probenahme mittels BiVOC2-Sammler .....	24
<b>Abbildung 12:</b> Tischverteilung Präpariersaal 2 (Ost).....	27
<b>Abbildung 13:</b> Präpariersaal 2, Ost, linke Hälfte und rechte Hälfte .....	27
<b>Abbildung 14:</b> Formaldehyd-Emission beim Aufdecken der Präparate. ....	49
<b>Abbildung 15:</b> Formaldehyd-Emission in Atemhöhe im Abstand von 2 Monaten und 6 Monaten .....	49
<b>Abbildung 16:</b> Emission in Abhängigkeit des Präparationsfortschritts, .....	51
<b>Abbildung 17:</b> Emission von Formaldehyd während der Hautöffnung in Korrelation zur Formaldehyd Konzentration in der Fixierung. ....	53
<b>Abbildung 18:</b> Die kachektischen Präparate 12 und 2 .....	55
<b>Abbildung 19:</b> geringere Exposition als bei voller Tischbelegung .....	60
<b>Abbildung 20:</b> Einzelperson am Präpariertisch .....	60
<b>Abbildung 21 (aus 17a):</b> Formaldehyd-Emission in Abhängigkeit des Gehalts in der Fixierung. ....	61
<b>Abbildung 22:</b> Emission nach Anwendung von Infutrace™ durch Injektion in Kavitäten .....	63
<b>Abbildung 23:</b> Formaldehyd-Reduktion in der Fixierlösung .....	63
<b>Abbildung 24:</b> mehrfach-Injektion von Infutrace™.....	64
<b>Abbildung 25:</b> Hautöffnung unter Weitwurfdüsen .....	66
<b>Abbildung 26:</b> Präparat 13; Tisch .....	66
<b>Abbildung 27:</b> Präparat 14; Tisch .....	67
<b>Abbildung 28:</b> Präparat 6; Tisch .....	67
<b>Abbildung 29:</b> Die Messung mit dem Passivsammlersystem Radiello® an Dozenten. ....	69
<b>Abbildung 30:</b> ungünstige Klimabedingungen .....	71

**9 TABELLENVERZEICHNIS**

<b>Tabelle 1:</b> Arbeitsplatzgrenzwerte für Formaldehyd in verschiedenen Ländern .....	14
<b>Tabelle 2:</b> Verfahrenskennndaten aktive Probenahme .....	25
<b>Tabelle 3:</b> Rezeptur für Fixativ mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt.....	28
<b>Tabelle 4:</b> Rezepturen für Fixative mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt.....	29
<b>Tabelle 5:</b> Rezepturen für Fixative mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt.....	29
<b>Tabelle 6:</b> Rezeptur für Fixativ mit reduziertem Formaldehyd-Gehalt.....	29
<b>Tabelle 7:</b> Anwendung von Infutrace™ an den mit Formaldehyd-reduzierter Perfusionslösung	29
<b>Tabelle 8:</b> Messwerte beim Aufdecken der Präparate.....	31
<b>Tabelle 9:</b> Mittelwerte der Formaldehydkonzentration im Abstand von jeweils zwei Monaten ..	32
<b>Tabelle 10:</b> Messwerte in der Atemluft über Prüfungspräparaten .....	33
<b>Tabelle 11a:</b> Mittelwerte der Formaldehydemission im Verlauf einzelner Präparationsschritte	33
<b>Tabelle 11b:</b> Mittelwerte der Formaldehydemission im Verlauf einzelner Präparationsschritte	34
<b>Tabelle 13:</b> Personenbelegung und persönliches Verhalten am Tisch .....	35
<b>Tabelle 14:</b> Personenbelegung und persönliches Verhalten am Tisch 22 .....	35
<b>Tabelle 15:</b> Eintrag in angrenzende Räume ohne Ventilation .....	36
<b>Tabelle 16:</b> Wässern von ZNS-Präparaten führt nicht zur erwarteten Reduktion .....	37
<b>Tabelle 17:</b> Mittelwerte Emission von Präparaten mit geringerem Gehalt an Formaldehyd .....	37
<b>Tabelle 18:</b> Mittelwerte der Formaldehydkonzentration von mit Infutrace™ nachbehandelten .... Präparaten .....	38
<b>Tabelle 19:</b> Mittelwerte der Formaldehydkonzentration an Präparaten mit Formaldehyd- reduzierter Perfusionslösung und Infutrace™ .....	39
<b>Tabelle 20:</b> Mittelwerte der Formaldehyd-Belastung nach optimierter Infutrace™-Anwendung	40
<b>Tabelle 21:</b> Mittelwerte der Formaldehydkonzentration von mit Infutrace™ nachbehandelten .... Präparaten aus dem Bestand. ....	40
<b>Tabelle 22:</b> Mittelwerte der Formaldehyd-Emission nach Infutrace™-Optimierung .....	41
<b>Tabelle 23:</b> Vergleich personenbezogene Messung mittels Radiello® Passivsammler .....	42
<b>Tabelle 24:</b> Vergleich der Formaldehydemission bei extremen Klimebedingungen .....	44
<b>Tabelle 25:</b> Vergleich Immission in die Raumlufte bei üblichen und extremen Klimebedingungen, .....	44

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

- American Bio-Safety I** Infutrace TM; [cited 2017 Sep 9]. Available from:  
<http://www.americanbiosafety.com/files/79978104.pdf>.
- Anichkov NM, Danilova IA, Riabinin IA, Kipenko AV** (2010) Application of polyguanidine solution for fixation of biological and anatomical specimens. *Morfologiia* (Saint Petersburg, Russia) **137**, 58–61.
- Arundale E, Mikeska LA** (1952) The Olefin-Aldehyde Condensation. The Prins Reaction. *Chem. Rev.* 505–550.
- Assenmacher-Maiworm H, Hahn JU** (2009) Aldehyde. IFA Arbeitsmappe. Kennzahl 6045; [cited 2017 Jun 21]. Available from: [https://www.ifa-arbeitsmappdigital.de/IFA-AM\\_6045](https://www.ifa-arbeitsmappdigital.de/IFA-AM_6045).
- Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)** (2015a) Begründung zu Formaldehyd in TRGS 900.
- Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)** (2015b) Begründung zu Formaldehyd in TRGS 900.
- Australian government - Department of health and ageing** (2006) Formaldehyde. 2006 November.
- Bader S** (2016) Medizinstudium ohne Leichen; 2017 Jul. Available from:  
<http://www1.wdr.de/wissen/mensch/medizin-ohne-leichen-100.html>.
- Bai J, Wang P, Liu Y, et al.** (2017) Formaldehyde alters triglyceride synthesis and very low-density lipoprotein secretion in a time-dependent manner. *Environmental toxicology and pharmacology* **56**, 15–20.
- Balta JY, Cronin M, Cryan JF, O'Mahony SM** (2015a) Human preservation techniques in anatomy. A 21st century medical education perspective. *Clinical anatomy* (New York, N.Y.) **28**, 725–734.
- Balta JY, Lamb C, Soames RW** (2015b) A pilot study comparing the use of Thiel- and formalin-embalmed cadavers in the teaching of human anatomy. *Anatomical sciences education* **8**, 86–91.
- Bassig BA, Zhang L, Vermeulen R, et al.** (2016) Comparison of hematological alterations and markers of B-cell activation in workers exposed to benzene, formaldehyde and trichloroethylene. *Carcinogenesis* **37**, 692–700.
- Becker KW** (2003) Minimierung der Gefahrstoffexposition in medizinischen Sektionskursen durch Einsatz von Phenoxyethanol. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* **63**, 337–339.
- Beyer H, Walter W** (1978) *Lehrbuch der organischen Chemie*. Stuttgart: Hirzel.

- Brenner E** (2014) Human body preservation – old and new techniques. *Journal of Anatomy* **224**, 316–344.
- Bundesgesundheitsamt (BGA), Bundesanstalt für Arbeitsschutz (BaA), Umweltbundsamt (UBA), Bundesanstalt für Materialprüfung (BaM), Biologische Bundesanstalt (BBa), Vorsitzender der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)** (1984) Formaldehyd - Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bonn: Dr. Hans Heger.
- Caler CR, Ogle BR, Zontek TL** (2011) Complete Hazzard Assessment Within a Gross Anatomy Laboratory. Available from: [http://www.asse.org/assets/1/7/2011\\_WesternCarolinaUniversity\\_OSSA.pdf](http://www.asse.org/assets/1/7/2011_WesternCarolinaUniversity_OSSA.pdf).
- Cauwenbergs P, Jones A, Zabobonin A** (n.a.) Post-Embalming Perfusion with INFUTRACETM. Limits the Exposure to Hazardous Vapours. Toronto, Ontario, Canada.
- Chiappini L, Dagnelie R, Sassine M, et al.** (2011) Multi-tool formaldehyde measurement in simulated and real atmospheres for indoor air survey and concentration change monitoring. *Air quality, atmosphere, & health* **4**, 211–220.
- Coleman R** (1995) Reducing the levels of formaldehyde exposure in gross anatomy laboratories. *THE ANATOMICAL RECORD* **243**, 531–533.
- Coleman R, Kogan I** (1988) An improved low-formaldehyde embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching. 1998. *Journal of Anatomy*, 443–446.
- Cope JM, Sanders E, Holt SM, et al.** (2009) Comparison of personal formaldehyde levels in the anatomy laboratories of five physical therapy education programs. *The FASEB Journal* **23**, LB1.
- Cope JM, Sanders E, Holt SM, et al.** (2011) Comparison of personal formaldehyde levels in anatomy laboratories of 5 physical therapist education programs. *Journal of Physical Therapy Education* **2011**.
- Coskey A, Gest TR** (2015) Effectiveness of various methods of formaldehyde neutralization using monoethanolamine. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* **28**, 449–454.
- Demer F** (2014) Cadaver labs and formaldehyde. e-mail; 2014 Aug.
- DFG** (2000) Seite 1/14 Liste aller Änderungen und Neuaufnahmen in der MAK- und BAT-Werte Liste 2000; 2017 Jul. Available from: [http://www.stoffdaten-stars.de/PDF/dfg\\_liste\\_2000.pdf](http://www.stoffdaten-stars.de/PDF/dfg_liste_2000.pdf).
- DFG** (2009) Liste aller Änderungen und Neuaufnahmen in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2009. Available from:

[http://www.dfg.de/download/pdf/dfg\\_im\\_profil/reden\\_stellungnahmen/download/mak2009.pdf](http://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/reden_stellungnahmen/download/mak2009.pdf).

**Dissard D, Jay JC, Gilotin D, Graugnard H, Berka N** (2014) Composition for tissue preservation: Google Patents. Available from:  
<http://www.google.tl/patents/US8685378>.

**Ecolab Deutschland GmbH** (2016) Newsletter Glucoprotamin. Mönheim am Rhein.

**EFSA** (2010) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. EFSA Journal **8**, 1459. Available from:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2010.1459/epdf>.

**Eickmann U** (2004) Modellierung der Formaldehydbelastung bei Arbeiten im Gesundheitsdienst; 2004 [cited 2017 Jul 29]. Available from: [https://www.bgw-online.de/DE/Arbeitssicherheit-Gesundheitsschutz/Grundlagen-Forschung/GPR-Medientypen/Downloads/Formaldehydbelastung-Modellierung\\_Download.pdf;jsessionid=C29CC5447AFCD3DC5E119479933D7DCA?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bgw-online.de/DE/Arbeitssicherheit-Gesundheitsschutz/Grundlagen-Forschung/GPR-Medientypen/Downloads/Formaldehydbelastung-Modellierung_Download.pdf;jsessionid=C29CC5447AFCD3DC5E119479933D7DCA?__blob=publicationFile).

**Eickmann U** (2015) Formaldehyd als krebserzeugend eingestuft-Praktische Auswirkungen am Beispiel des Gesundheitsdienstes. Köln.

**Eickmann U, Thullner I** (2006) Berufliche Exposition gegenüber Formaldehyd im Gesundheitsdienst. Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 363–368.

**Eickmann U, Thullner I** (2017) Tätigkeiten mit Formaldehyd im Gesundheitsdienst. Zbl Arbeitsmed **67**, 22–31.

**EU-Kommission** (2015) VERORDNUNG (EU) 2015/ 491 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.

**Euler U, Kersten N, Grötzschel S** (2009) Berufliche Formaldehydexposition und Nasopharynxkarzinom. Eine systematische Literaturübersicht mit kritischer Bewertung der Literatur ; Forschung Projekt F 2177. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

**Fangerau H, Müller I** (2012) Faszinosum des Verborgenen. Der Harnstein und die (Re-)Präsentation des Unsichtbaren in der Urologie. Stuttgart: Steiner.

**Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R** (2009) Waldeyer. Anatomie des Menschen. s.l.: Walter de Gruyter GmbH Co.KG.

**FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI-IRCCS** (2006) Radiello Anwendervorschrift. Padova, Italien.

- Forbes RM, Cooper A. R. Mitchell H.H.** (1953) The composition of the adult human body as determined by chemical analysis. *Journal of Biological Chemistry*, 359–366. Available from: <http://www.jbc.org/content/203/1/359.full.pdf>.
- Frederick JF** (1968) The mathematics of embalming chemistry: part I. A critical evaluation of “one-bottle” embalming chemical claims: *De-Ce-Co Magazine* 60, 622–624 [reprinted in Mayer, 2012].
- Frölich et al** (1984) Phenoxyethanol as a nontoxic substitute for formaldehyde in long-term preservation of human anatomical specimens for dissection and demonstration purposes. *THE ANATOMICAL RECORD*, 271–278.
- GefStoffV (ed)** (2010) *Gefahrstoffverordnung. Neufassung vom 26. November 2010.*
- Gerabek WE (ed)** (2011) *Enzyklopädie Medizingeschichte.* Berlin etc.: De Gruyter.
- Goldman E** (2010) Building a low-cost gross anatomy laboratory. A big step for a small university. *Anatomical sciences education* 3, 195–201.
- Goyri-o-Neill 2013** Improvement of the Embalming Perfusion Method - The Innovation and the Results by Light and Scanning Electron Microscopy. *Diethylenglykol + Monoethylenglykol.*
- Gurbuz N, Coskun ZK, Liman Fa, Anil A, Turgut HB** (2016) The Evaluation of Formaldehyde Exposure in the Anatomy Laboratories and the Preventive Measures. *GMJ* 27.
- Hammer N, Löffler S, Feja C, et al.** (2012) Ethanol-glycerin fixation with thymol conservation. A potential alternative to formaldehyde and phenol embalming. *Anatomical sciences education* 5, 225–233.
- Hayashi S, Homma H, Naito M, et al.** (2014) Saturated salt solution method. A useful cadaver embalming for surgical skills training. *Medicine* 93, e196.
- Hayashi S, Naito M, Kawata S, et al.** (2016) History and future of human cadaver preservation for surgical training. From formalin to saturated salt solution method. *Anatomical science international* 91, 1–7.
- Herges R, Winkler T** (2017) Reaktionen von Carbonyl-Verbindungen mit N-Nucleophilen; [cited 2017 Oct 9]. Available from: [http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/2/vlu/carbonyle/nucleophile\\_n.vlu.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/2/vlu/carbonyle/nucleophile_n.vlu.html).
- Hoffman EA, Frey BL, Smith LM, Auble DT** (2015) Formaldehyde crosslinking. A tool for the study of chromatin complexes. *The Journal of biological chemistry* 290, 26404–26411.
- Hutter H-P, Kundi, Michael, Moshhammer, Hans, Tappler P, Twrdik F, wallner P** (2011) Bewertung der Innenraumluft Formaldehyd. Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft; [cited 2017 Sep 12]. Available from:

<https://www.bmlfuw.gv.at/dam/jcr:c5fef124-a06c-4a5d-b7d0-ae52b2536f67/Formaldehyd-Endfassung.pdf.pdf>.

**IARC** (2004) Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-butoxypropan-2-ol. Lyon, France: WHO Press. Available from:

<https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/mono88.pdf>.

**IARC** (2012) IARC Monographs. chemical agents and related occupations volume 100 F A review of human carcinogens. Lyon, France: WHO Press,. Available from:

<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-1.pdf>.

**IFA** (2017) GESTIS International Limit Values; 2017 Mar. Available from:

[http://limitvalue.ifa.dguv.de/WebForm\\_ueliste2.aspx](http://limitvalue.ifa.dguv.de/WebForm_ueliste2.aspx).

**Janczyk P, Weigner J, Luebke-Becker A, Kaessmeyer S, Plendl J** (2011) Nitrite pickling salt as an alternative to formaldehyde for embalming in veterinary anatomy-- A study based on histo- and microbiological analyses. *Annals of anatomy = Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft* **193**, 71–75.

**Jones D** (1969) The reaction of formaldehyde with unsaturated fatty acids during histological fixation. *Histochem J* **1**, 459–491.

**Jones J, Higham T, Oldfield R, O'Connor T, Buckley S** (2014) Evidence for Prehistoric Origins of Egyptian Mummification in Late Neolithic Burials. Available from: doi: 10.1371/journal.pone.0103608.

**Jost M, Rügger M, Gutzwiller A, Liechti B, Wolf R** (2003) Verhütung von Berufskrankheiten in pathologisch-anatomischen Instituten und histologischen Laboratorien. Luzern.

**Kawamata S, Kodera H** (2004a) Reduction of formaldehyde concentrations in the air and cadaveric tissues by ammonium carbonate. *Anatomical science international* **79**, 152–157.

**Kawamata S, Kodera H** (2004b) Reduction of formaldehyde concentrations in the air and cadaveric tissues by ammonium carbonate. *Anatomical science international* **79**, 152–157.

**Kellner R, Thullner I, Funk D, et al.** (2003) Formaldehydexpositionen in Pathologien und Anatomien. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, 299–308.

**Kingsbury KJ, Paul S, Crossley A, Morgan DM** (1961) The fatty acid composition of human depot fat. *Biochem. J.* **78**, 541–550.

**Kraus UR, Theobald N, Gunold R, Paschke A** (2015) Prüfung und Validierung der Einsatzmöglichkeiten neuartiger Passivsammler für die Überwachung prioritärer Schadstoffe unter der WRRL, der MSRL und im Rahmen von HELCOM und OSPAR. *TEXTE* 25/2015. Dessau-Roßlau.

- Kurose T, Kodera H, Aoyama H, Kawamata S** (2004) Formaldehyde Concentration in the air and in Cadavers at the gross Anatomy Laboratory in Hiroshima University. *Hiroshima J. Med, Sci* **53**, 33–37.
- Labadie C, Möller HE** (2010) Mikrostrukturen im lebenden Gehirn erkennen: Magnetresonanztomografie der Myelinscheide. Leipzig. Available from: <https://www.mpg.de/359701/forschungsSchwerpunkt.pdf>.
- Lang G** (2008) Formaldehydfixierung. Teil 1: Alte Theorie und moderne Praxis, 21–25.
- Lang G** (2013) Histotechnik. Praxislehrbuch für die biomedizinische Analytik. Vienna: Springer.
- Lee EG, Magrm R, Kusti M, et al.** (2017a) Comparison between active (pumped) and passive (diffusive) sampling methods for formaldehyde in pathology and histology laboratories. *Journal of occupational and environmental hygiene* **14**, 31–39.
- Lee H-M, Kim S-M, Choi K-C** (2017b) Treatment of Human Placental Choriocarcinoma Cells with Formaldehyde and Benzene Induced Growth and Epithelial Mesenchymal Transition via Induction of an Antioxidant Effect. *International journal of environmental research and public health* **14**.
- Lippert H** (2012) Medizinstudium: Sind Präparierübungen an der Leiche noch zeitgemäß? *Dtsch Arztebl*, 35–36. Available from: <https://www.aerzteblatt.de/treffer?mode=p&wo=272&typ=16&aid=128775&autor=Lippert%2C+Herbert>.
- Liteplo RG, Beauchamp R, Meek ME, Chénier R** (2002) Formaldehyde. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 40. Geneva: World Health Organization.
- Lochner S, Moghaddam N, Graw A, Graw M** (2009) Physikalische Eigenschaften von Fettgewebe – Vergleichende Untersuchungen an Erwachsenen und Kindern als Grundlage für die Entwicklung virtueller Menschmodelle; 2017 Aug. Available from: [http://www.rechtsmedizin.med.uni-muenchen.de/service/downloads/sdt2010\\_berlin\\_fett.pdf](http://www.rechtsmedizin.med.uni-muenchen.de/service/downloads/sdt2010_berlin_fett.pdf).
- Lombardero M, Yllera MM, Costa-E-Silva A, Oliveira MJ, Ferreira PG** (2017) Saturated salt solution. A further step to a formaldehyde-free embalming method for veterinary gross anatomy. *Journal of Anatomy* **231**, 309–317.
- Lorenzoni DC, Pinheiro LP, Nascimento HS, et al.** (2015) Could formaldehyde induce mutagenic and cytotoxic effects in buccal epithelial cells during anatomy classes? *Med Oral*, 0.
- Malhotra R, Kathrotia R, Goel A, Singh Y** (2017) EMBALMING FLUID. A POISONOUS PRESERVATION POTION: EFFECTS ON PULMONARY FUNCTIONS OF STUDENTS. *IJAR* **5**, 3809–3812.

- McLachlan JC, Bligh J, Bradley P, Searle J** (2004) Teaching anatomy without cadavers. *Medical education* **38**, 418–424.
- MEDIS-Kugel GmbH** Drycon. Perfundierung rein technisch.
- Menicagli R, Bolla, Gianni, Menicagli, Laura, Esseiridou A** (2017) Industrial Pollutants and Nasopharyngeal Cancer: An Open Question. *Gulf J Oncolog* **24**, 70–74.
- Mori M, Hoshiko M, Hara K, Saga T, Yamaki K, Ishitake T** (2013) Changes in subjective symptoms and allergy state among medical students exposed to low-level formaldehyde 6 months after completion of a gross anatomy dissection course. *Environmental health and preventive medicine* **18**, 386–393.
- Mori M, Matsumoto Y, Kushino N, et al.** (2016) Comparison of subjective symptoms associated with exposure to low levels of formaldehyde between students enrolled and not enrolled in a gross anatomy course. *Environmental health and preventive medicine* **21**, 34–41.
- Mt. San Antonio College** (2014) Expected Safety Protocol and Procedures for Anatomy and Cadaver Labs. Walnut, California. Available from: <http://drmagrann.com/Anatomy/Lab/MtSAC/2a%20Expected%20Safety%20Protocol%20and%20Procedures%20for%20Anatomy%20and%20Cadaver%20Labs.pdf>.
- Musial** (2016) Formalin use in anatomical and histological science in the 19 th and 20th centuries. *FOLIA MEDICA CRACOVIENSIA Vol. LVI, 3, 2016: 31–40*.
- Neckel PH, Gleiser C, Kramer A, et al.** (2017) Aminolipin: a novel alternative for formalin in human cadaver embalming. Würzburg. Available from: [http://anatomische-gesellschaft.de/data/uploads/content/tagung2017/kongressfuhrer\\_112-jahrestagung\\_32-arbeitstagung\\_wuerzburg.pdf](http://anatomische-gesellschaft.de/data/uploads/content/tagung2017/kongressfuhrer_112-jahrestagung_32-arbeitstagung_wuerzburg.pdf).
- Nies E, Steinhausen M** (2016) Toxikologische Bewertung und Einstufung von z. B. Formaldehyd. Berlin. Available from: [http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016\\_fg\\_formaldehyd/vortrag\\_nies.pdf](http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016_fg_formaldehyd/vortrag_nies.pdf).
- Oehme Y** (2016) Konservierungsmethoden in der Tieranatomie. Dissertation. München.
- Office P** (2012) Verordnung (EU) Nr. 528/2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten. Biozid-Richtlinie 528/2015. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:167:FULL&from=DE>.
- Office P** (2012) VERORDNUNG (EU) Nr. 528/2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten. In *Amtsblatt der Europäischen*

*Union*, pp. 1–123. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012R0528-20140425&from=EN>.

**Office P** (2014) VO (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. In *Amtsblatt der Europäischen Union*, pp. 36–50.

**Ohmichi K, Komiyama M, Matsuno Y, et al.** (2006) Formaldehyde Exposure in a Gross Anatomy Laboratory. Personal Exposure Level Is Higher Than Indoor Concentration (5 pp). *Env Sci Poll Res Int* **13**, 120–124.

**Ohmichi K, Matsuno Y, Miyaso H, et al.** (2007) Pilot Study of a Dissection Table for Gross Anatomy Laboratory Equipped with a Photocatalytic Device that Decomposes Formaldehyde. *J Occup Health* **49**, 499–503.

**Onyije FM, Awioro OG** (2012) Onyije Excruciating Effect of FA Exposure to Students in Gross Anatomy Dissection Laboratory 2012. [www.theijoem.com](http://www.theijoem.com).

**Paulsen F** (2015) Stellungnahme und Empfehlung der Arbeitsgruppe „Formalin“ zur Reduktion der Formaldehyd-Belastung im Präparierkurs.

**Perkins JL, Kimbrough JD** (1985) Formaldehyde Exposure in a Gross Anatomy Laboratory. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* **27**, 813–815.

**Perlman H** (2016) The water in you. U.S. Geological Survey; 2016 Dec [cited 2017 Oct 8]. Available from: <https://water.usgs.gov/edu/propertyyou.html>.

(1980) Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft. ETB-Richtlinie.

**Risk Assessment Committee (RAC)** (2012) Opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of Formaldehyd; 2017 Jul. Available from: <https://echa.europa.eu/documents/10162/254a73cf-ff8d-4bf4-95d1-109f13ef0f5a>.

**Rosenberg H, Fitch W** (1998) How to Reduce the Level of Formaldehyde in the Zoology Lab. *Proceedings of the 19th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education* **1998**, 357–360; [cited 2017 Jul 29]. Available from: <http://www.ableweb.org/volumes/vol-19/mini.12.rosenberg.pdf>.

**Rumph PF** (1987) Formaldehyde Vapor Levels in a Gross Anatomy Laboratory During Dissection of the Dog. *Anatom Histol Embryol* **16**, 144–149.

**Salthammer T, Mentese S, Marutzky R** (2010) Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical reviews* **110**, 2536–2572.

**Sasco Chemical group I** (2012) Infutrace MSDS. Sicherheitsdatenblatt. Available from: <http://www.americanbiosafety.com/files/81188140.pdf>.

- Sauermost. Rolf, Freudig D** (1999) Kollagen. Lexikon der Biologie; [cited 2017 Oct 8]. Available from: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/kollagen/36671>.
- Schmidt TJ** (2015) Anatomie-Kurs ohne Körper. Zu hohe Formalin-Werte. Frankfurter Neue Presse. Available from: <http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Anatomie-Kurs-ohne-Koerper;art675,1371406>.
- Schülke & Mayr GmbH** (2017) Terralin Protect. DIN-safety data sheet. 22.01.2016; [cited 2017 Jul 4]. Available from: [https://www.schuelke.com/media/products/.../zsdb\\_p\\_de\\_-cde\\_-Ide\\_terralin\\_protect.pdf](https://www.schuelke.com/media/products/.../zsdb_p_de_-cde_-Ide_terralin_protect.pdf).
- Seals RM, Kioumourtzoglou M-A, Gredal O, Hansen J, Weisskopf MG** (2017) Occupational formaldehyde and amyotrophic lateral sclerosis. *European journal of epidemiology*.
- Shi KQ, Shao SX, Yin WG** (2011) An Improved Non-Formaldehyde Tissue Preservative. *AMR* **356-360**, 360–363.
- Shiraishi N** (2006) Levels of Formaldehyd, Phenol and Ethanol in Dissection Room Air and Measures for Reduction. *Japanese Journal of Occupational Medicine and Traumatology* **54**, 1–10.
- SIGMA-ALDRICH nM** (2017) What is radiello® diffusive sampling?; 2017 Oct. Available from: <http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/analytical/radiello-air-sampler/diffusive-sampling-system.html>.
- Spaethe A** (2003) Anatomische Leichenfixation bei niedriger Formaldehydkonzentration. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* **63**, 335–336.
- Steinecke A** (2013) "Menschliche Körper - absolut faszinierend". Computer können zeigen, wie Organe aussehen. Aber wie fühlt sich ein Muskel an? Wie reagiert Gewebe, wenn der Arzt hineinschneidet? Fünf Studenten erklären, warum sie Präp-Kurse weiterhin für richtig halten. Spiegel online. Available from: <http://www.spiegel.de/lebenundlernen/uni/mediziner-ausbildung-sind-praeparierkurse-moralisch-vertretbar-a-910145.html>.
- Styn** (2014-2015) Human Anatomy Laboratory Rules, Regulations and Guidelines; 2014-2015 [cited 2017 Jul 29]. Available from: <http://www.daemen.edu/sites/default/files/documents/GROSS%20ANATOMY%20LAB%20POLICIES%202014-2015.pdf>.
- Sugata Y, Miyaso H, Odaka Y, et al.** (2016) Levels of formaldehyde vapor released from embalmed cadavers in each dissection stage. *Environmental science and pollution research international* **23**, 16176–16182.

- Thullner I, Stockmann R, Hohenberger L** (2015) Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie). *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* **2015**, 219–228.
- Thullner I, van Gelder R** (2016) Ergebnisse von Formaldehydmessungen. Verfahrenstechnische und organisatorische Optimierungsmöglichkeiten). Berlin [etc.]. Available from:  
[http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016\\_fg\\_formaldehyd/vortrag\\_thullner.pdf](http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016_fg_formaldehyd/vortrag_thullner.pdf).
- (2017a) TRGS 402 Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition.
- (2015c) TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte".
- (2017b) TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte. In *Gefahrstoffverordnung. Neufassung vom 26. November 2010* (ed GefStoffV), pp. 368–370.
- Tucker SP** (2003) NIOSH 2016. Manual of Analytical Methods (NMAM). RTECS: LP8925000; [cited 2017 Oct 17]. Available from:  
<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/2016.pdf>.
- Turan E, Gules O, Kilimci FS, et al.** (2017) The mixture of liquid foam soap, ethanol and citric acid as a new fixative-preservative solution in veterinary anatomy. *Annals of anatomy*, 11–17.
- UBA** (2016) Richtwert für Formaldehyd in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* **59**, 1040–1044.
- Vohra MS** (2011) Personal formaldehyde exposure level in the gross anatomy dissecting room at College of Medicine King Saud University Riyadh. *International journal of occupational medicine and environmental health* **24**, 108–113.
- Waschke J** (2016) Bedeutung von Formaldehyd für die anatomische Lehre. Berlin [etc.]. Available from:  
[http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016\\_fg\\_formaldehyd/vortrag\\_waschke.pdf](http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2016_fg_formaldehyd/vortrag_waschke.pdf).
- Watson PE, Watson ID, Batt RD** (1980) Total body water volumes for adult males and females estimated from simple anthropometric measurements. *The American Journal of Clinical Nutrition* **33**, 27–39. Available from:  
<http://ajcn.nutrition.org.ezproxy.uni-Gießen.de/content/33/1/27.full.pdf+html?sid=e889e5b9-58d3-4421-bffe-015156af8769>.
- Whitehead MC, SAVOIA MC** (2008) Evaluation of methods to reduce formaldehyde levels of cadavers in the dissection laboratory. *Clinical Anatomy*, 75–81.
- WHO, Christenhuis E** (2001) Air Quality Guidelines. Kapitel 5.8 Formaldehyd.
- Winkler** (2011) Formaldehyde Exposures in a University Anatomy Laboratory. Toledo. Available from:

<http://utdr.utoledo.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1775&context=theses-dissertations>.

**Yim B, Lee K, Kim J, Hong H, Kim S** (2013) Evaluation of Badge-Type Diffusive Sampler Performance for Measuring Indoor Formaldehyde. *Environmental Engineering Research* **18**, 123–128.

**Zeyher C, Hirt B** (2016) Herstellung von Pyrrolidinderivaten: Google Patents. Available from: <https://www.google.com/patents/DE102014110782A1?cl=de>.

**Zwiener** (2015) Formaldehyd; 2016. Available from: <http://www.wecobis.de/service/sonderthemen-info/formaldehyd-info/gesamt-formaldehyd-info.html#Gefahrstoff>.

## 11 ANHANG - ÜBERSICHT

- A. Publikationsverzeichnis
- B. Formaldehyd – Chemische Eigenschaften, Umrechnungsfaktor
- C. Zuordnung ID-Nummer zu Präparat-Nr.:
  - C1 Präparate 17, 23, 19, 28 und 29 mit reduziertem Gehalt an Formaldehyd in der Fixierung, OHNE Infutrace-Behandlung
  - C2 Präparate 24, 25, 26 und 27 mit reduziertem Gehalt an Formaldehyd in der Fixierung, PLUS Infutrace-Behandlung
  - C3 Präparate 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16 und 18 mit 3% Formaldehyd in der Fixierung, PLUS Infutrace-Behandlung
- D. Einzelmesswerte aus Prüfberichten mit Probenahmedatum:
  - 2016-7238-1 und -2 vom 29.06.2016
  - 2016-7523-1 vom 31.08.2017
  - 2016-7940-1 vom 08.12.2016
  - 2017-8201-1 vom 16.02.2017
  - 2017-8466-1 und -2 vom 27.04.2017
  - 2017-8708-1 vom 22.06.2017
  - Alle Prüfberichte in Auszügen
- E. Nutzungsgenehmigungen
- F. Erklärung zur Dissertation
- G. Danksagung

## **11-A. Publikationsverzeichnis**

### **112<sup>th</sup> Annual Meeting / 32. Arbeitstagung der Anatomischen Gesellschaft**

vom 20.-22.September 2017 am Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Würzburg

Pfeil, Sonja; Hieke, Hans; Baumgart-Vogt, Eveline; Wimmer, Monika; Gießen

„Safe reduction of formaldehyde vapors in breathing air during dissection courses“

Poster Nr. 24 am Mittwoch, den 20.September 2017

### **Low Cost and Effective Reduction of Formaldehyde in Gross Anatomy: Formaldehyde Destruction using Infutrace™**

Pfeil, Sonja; Hieke, Hans; Wimmer, Monika

Publikation - eingereicht

## 11-B. Formaldehyd

CH<sub>2</sub>O, CAS-Nummer: 50-00-0. Synonyme Methanal, Oxomethan, Oxymethylen, Methylenoxid, Ameisensäurealdehyd, Methylaldehyd

Mit einer molaren Masse von 30.03 g/Mol stellt es das kleinste und chemisch reaktivste Aldehyd dar. Mit einem Siedepunkt von -19°C und einem Dampfdruck von 0.43–0.44 MPa (20°C) ist es bei Raumtemperatur gasförmig (Merck Research Laboratories, 1997, GESTIS-Stoffdatenbank, 2017). Als Gas ist es farblos, brennbar und hochreaktiv.

Formaldehyd ist bis zu 55% sehr gut löslich in Wasser, löslich in Ethanol und Diethylether. Im Chemikalienhandel ist es als 37%-ige wässrige Lösung erhältlich, die auch als „Formalin“ bezeichnet wird. In Formalin-Lösungen polymerisiert das Formaldehyd leicht zu Paraformaldehyd. Die Lösung wird deshalb mit bis zu 10% Methanol stabilisiert (Merck Research Laboratories, 1997).

### **Umrechnungsfaktor:**

0.37 mg/m<sup>3</sup> entsprechen 0.3 ppm unter Normalbedingungen.

**XI-C. Präparate-Übersicht – Zuordnungsschlüssel zu Originaldaten**

Präparat-Nr.	Körperspender ID	Proben-Nr. im Prüfbericht	Gutachten	Datum
1	4-12	Messwert nur mündlich diskutiert		13.01.2016
2	23-12	723818-26-27, -29-34	7238/2016	29.06.2016
3	23-13	Messwert nur mündlich diskutiert		13.01.2016
4	2-14	Messwert nur mündlich diskutiert		13.01.2016
5	3-14	723816-24-25	7238/2016	29.06.2016
6	14-14	Messwert nur mündlich diskutiert		13.01.2016
7	18-14	846617-28 bis -36	8466/2017	27.04.2017
		870817-1 bis -3	8708/2017	22.06.2017
8	25-14	846617-37 bis -42	8466/2017	27.04.2017
9	2-15	723816-(2),-3 bis -8	7238/2016	29.06.2016
		752316-13, -14, -17, 18	7523/2016	31.08.2016
10	14-15	723816-9	7238/2016	29.06.2016
11	16-15	820116-9 bis -11	8201/2016	16.02.2016
		846617-22 bis -27	8466/2017	27.04.2017
12	18-15	723816-12 bis -17	7238/2016	29.06.2016
		752316-15, -16, 19, -20	7523/2016	31.08.2016
13	20-15	794016-10 bis -12	7940/2016	08.12.2016
		820116-12 bis -14	8201/2016	16.02.2016
		846617-1 bis -12	8466/2017	27.04.2017
		870817-41 bis -6	8708/2017	22.06.2017
14	24-15	794016-16 bis -18, -20 bis -26	7940/2016	08.12.2016
		846617-13 bis -21	8466/2017	27.04.2017
15	29-15	794016-19, -23 bis -24	7940/2016	08.12.2016
16	31-15	820116-3 bis -5, -27 bis 29	8201/2016	16.02.2016
17	3-16	752316-23, -24	7523/2016	31.08.2016
18	4-16	820116-6 bis -8	8201/2016	16.02.2016
19	5-16	820116-15 bis -17, -24 bis -26	8201/2016	16.02.2016
20	6-16	Beprobt durch Unfallkasse Hessen		29.08.2017
21	20-16	Beprobt durch Unfallkasse Hessen		29.08.2017
22	21-16	Beprobt durch Unfallkasse Hessen		29.08.2017
23	26-16	752316-21, -22	7523/2016	31.08.2016
24	32-16	794016-1, -2, -5	7940/2016	08.12.2016
25	34-16	794016-13 bis -15	7940/2016	08.12.2016
26	39-16	794016-7 bis -9	7940/2016	08.12.2016
27	43-16	794016-3, -4, -6	7940/2016	08.12.2016
28	3-17	820116-18 bis -20	8201/2016	16.02.2016
29	4-17	820116-21 bis -23	8201/2016	16.02.2016

**Beprobungen ohne Präparat-Bezeichnung**

<b>Beprobung</b>	<b>Proben-Nr. im Prüfbericht</b>	<b>Prüfbericht</b>	<b>Datum</b>
Aufdecken der Präparate	723816-1, -21	7238/2016	29.06.2016
Nebenraum C	723816- 11	7238/2016	29.06.2016
ZNS	723816-18, -19	7238/2016	29.06.2016
isolierter Arm in Sitzhöhe	723816-20	7238/2016	29.06.2016
Physikumspräparat	723816-22-23	7238/2016	29.06.2016
Radiello®-Vergleich	846617-43, -44, 49 bis 54	8466/2017	27.04.2017

ID	ID 3-16	Präparat 17	ID 26-16	Präparat 23	ID 5-16	Präparat 19
Geschlecht		<b>3%</b>		<b>2,4%</b>	weiblich	<b>3%</b>
Auffälligkeiten	. / .		. / .		Dick, mit Haut	
verstorben	. / .		. / .		25.02.2016	
eingeliefert	. / .		. / .		26.02.2016	
<b>perfundiert</b>		<b>Januar 2016</b>		<b>Juli 2016</b>	<b>26.02.2016</b>	<b>26.02.2016</b>
Fixierung	1,3 l (37%)	<b>3% FA +</b> 5,2% Wasser	1,0 l (37%)	<b>2,4% FA+</b> 4,0% Wasser	1,3 l (37%)	<b>3% FA +</b> 5,2% Wasser
ca. Angaben	0,8 l	5% Phenoxyethanol	0,8 l	5% Phenoxyethanol	0,8 l	5% Phenoxyethanol
	0,8 l	5% Glycerin	0,8 l	5% Glycerin	0,8 l	5% Glycerin
	. / .	. / .	. / .	. / .	. / .	. / .
	. / .	. / .	. / .	. / .	. / .	. / .
	10 l	62,9% Ethanol	9,9 l	64% Ethanol (96%)	10 l	62,9% Ethanol
	3 L	18,9% Wasser	3 L	19% Wasser	3 L	18,9% Wasser
	15,9 l Gesamt	100,00%	<b>15,5 l Gesamt</b>	<b>100%</b>	15,9 l Gesamt	100,00%
Lagerung in Wannen mit Terralin						
<b>Messung 31.08.2016 7523/2017</b>	3,0 mg/m <sup>3</sup> Paddenberg 5,9 mg/m <sup>3</sup> EBV	Tisch 2** Hautöffnung Rücken	1,1 mg/m <sup>3</sup> Colasante 2,6 mg/m <sup>3</sup> Klug	Tisch 2** Nervenpräparation		
	1,1 mg/m <sup>3</sup> Paddenberg 1,1 mg/m <sup>3</sup> EBV	Tisch 1* Nervenpräparation	0,89 mg/m <sup>3</sup> Colasante 0,85 mg/m <sup>3</sup> Klug	Tisch 1* Hautöffnung		
Lagerung bis Messung am 16.02.2017						Becken mit 2% Terralin
<b>Messung 16.02.2017 unter WW-Düsen (WWD) 8201/2017</b>					0,15	<b>Hautöffnung</b>
					0,14	<b>Hautöffnung</b>
					0,15	<b>Hautöffnung</b>
					m=0,15	<b>Hautöffnung</b>
					0,15	Düse aus
					0,55	Düse aus
					0,24	Düse aus
					m=0,31	Düse aus
	Tisch 1*: mit WWD					
	Tisch 2**: ohne WWD					

	<b>ID 3-17</b>	<b>Präparat 28</b>	<b>ID 4-17</b>	<b>Präparat 29</b>
Geschlecht		<b>1,85%</b>	weiblich	<b>1,48%</b>
Auffälligkeiten	füllig, aber nicht dick		<b>stinkt!! Sehr wässrig!!!</b>	
verstorben	28.01.2017		31.01.2017	
eingeliefert	29.01.2017		01.02.2017	
perfundiert	30.01.2017		01.02.2017	
Fixierung ca. Angaben	1,5 l Formalin (37%) 0,25 l Thymol 0,25 l Glycerin 0,25 l Lysoformin 0,25 l Diethylenglykol 6,5 l Ethanol 21 l Wasser <b>Gesamt: 30 L</b>	<b>1,85% FA +</b> 3,2% Wasser 0,83% Thymol 0,83% Glycerin 0,83% Lysoformin 0,83% Diethylenglykol 21,7% Ethanol 70% Wasser <b>100%</b>	1 l Formalin (37%) 10 kg Salz 0,5 l Glycerin . / . . / . 4 l Ethanol 19,5 l Wasser <b>Gesamt: 25 L</b>	<b>1,48% FA +</b> 2,5% Wasser . / . 2,0% Glycerin . / . 16% Ethanol 78% Wasser <b>100%</b>
Lagerung bis Messung am 16.02.2017		Becken mit 2% Terralin		eingeschweißt in Salzlösung bis 15.02.2017
<b>Messung 16.02.2017 unter WW-Düsen (WWD) 8201/2017</b>	0,18 0,15 0,17 m=0,17	<b>Düsen an, Hautöffnung Brustsitus</b>  dito dito	0,31 0,27 0,31 m=0,30	<b>Düsen an, Hautöffnung Düsen an, Hautöffnung Düsen an, Hautöffnung Düsen an, Hautöffnung</b>

ID	ID 32-16	Präparat 24	ID 34-16	Präparat 25	ID 39-16	Präparat 26	ID 43-16	Präparat 27
Geschlecht	weiblich	<b>1,85% FA</b>	weiblich	<b>2,14% FA</b>	männlich	<b>2,14%</b>	weiblich	<b>1,48% FA</b>
Auffälligkeiten		vollständig		vollständig		vollständig	viel Fettgewebe, vollständig	
verstorben					-		sollte 0,8% FA enthalten, aber nur Salzgehalt verdoppelt	
eingeliefert			15.10.2016		08.11.2016		29.11.2016	
perfundiert			17.10.2016		08.11.2016		29.11.2016	
Fixierung	1,5 l Formalin (37%)	<b>1,85% FA +</b> 3,2% Wasser	0,58 l (37%)	<b>2,14% FA +</b> 3,9% Wasser		<b>2,14% FA +</b> 3,9% Wasser	1 l Formalin (37%)	<b>1,48% FA +</b> 2,5% Wasser
ca-Angaben	0,25 l Phenol	0,83% Phenol	0,25 l	2,5% Phenoxyethanol		dito	20 kg Salz	. / .
	0,25 l Thymol	0,83% Thymol	0,25 l	2,5% Glycerin		dito	0,5 l Glycerin	2,0% Glycerin
	0,25 l Glycerin	0,83% Glycerin	. / .	. / .		dito	. / .	. / .
	0,25 l Lysoformin	0,83% Lysoformin	. / .	. / .		dito	. / .	. / .
	0,25 l Diethylenglykol	0,83% Diethylenglykol	. / .	. / .		dito	. / .	. / .
	6,5 l Ethanol	21,7% Ethanol	8,75 l	87% Ethanol (96%)		dito	4 l Ethanol	16% Ethanol
	21 l Wasser	70% Wasser	0,2 L	2% Wasser		dito	19,5 l Wasser	78% Wasser
	<b>Gesamt: 30,2 L</b>	<b>100%</b>	<b>Gesamt: 10 L</b>	<b>100%</b>			<b>Gesamt: 25 L</b>	<b>100%</b>
			Bauchsitus eröffnet am 3.11.16 LEL-Messung (Low explosion level)					
Infutrace 20%	keine Injektion		Bauchsitus am 05.12.16 gewaschen (anstelle von Injektion)		18.11.2016	perfundiert	keine Injektion	
Infutrace 11%	befeuchtet		befeuchtet			befeuchtet	befeuchtet	
Lagerung bis 08.12.16	eingeschweißt in 1 l 1%iges Terralin		eingeschweißt in 1 l 1%iges Terralin		eingeschweißt 23.11.2016 in 1 l 1%iges Terralin		eingeschweißt in 1 l 1%iges Terralin	
<b>Messung 08.12.2016 7940/2017</b>	Alle Präparat 3 Tage vor Messung aufgelegt und täglich mit Infutrace besprüht							
			vollständig mit Haut, Haut längs über Bauch, Arme und Beine aufgeschnitten					
		<b>m 0,21 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>m 0,23 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>m 0,27 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>m 0,16 mg/m<sup>3</sup></b>

**Legende:**  
 m= Mittelwert  
  Infutrace-Behandlung  
  Messung

ID	ALLE fixiert mit:	ID 18-14	Präparat 7	ID 25-14	Präparat 8	ID 16-15	Präparat 11
Geschlecht	1,3 l (37%) 0,8 l	3% CH <sub>2</sub> O + 5,2% Wasser	WS 16/17 weiblich		WS 16/17 weiblich		WS 16/17 weiblich
verstorben	0,8 l	5% Phenoxyethanol	30.05.2014		15.10.2014		12.10.2015
eingeliefert	10 l	5% Glycerin	30.05.2014		15.10.2014		12.10.2015
perfundiert	3 L	62,9% Ethanol	30.05.2014		15.10.2014		13.10.2015
	15,9 l Gesamt	18,9% Wasser	dito		dito		dito
<b>Haut und subc. Fettgewebe entfernt</b>			<b>November 2016</b>		<b>November 2016</b>		<b>Anfang November 2016</b>
Infutrace 20%			Injektion in Bauch- und Brustsitus je 100 ml Mitte November				
Infutrace 11%			befeuchtet				
Lagerung bis 08.12.16			in Terralin 16.11.2016 - 08.12.2016		1-2% Terralin seit 16.11.2016		1-2% Terralin seit 16.11.16
<b>Messung 08.12.2016</b>	<b>7940/2017</b>						
Lagerung bis Kursbeginn			Terralin bis vor Kursbeginn am 05.01.2017, nach Kursabschluss 14.02.17				
			in 1% Terralin in Küvette bis 18.04.2017 (Beginn des Sommersemsters)				
Infutrace							Musculus Pectoralis major
<b>Messung 16.02.2017</b>	<b>8201/2017</b>						<b>0,055 mg/m<sup>3</sup></b>
Infutrace 20%			Erneute Injektion in Bauch- und Brustsitus je 100 ml, 20.04.2017				
<b>Messung 27.04.2017</b>	<b>8488/2017</b>		<b>0,038-0,042-0,039 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>0,040-0,038 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>0,042-0,040 mg/m<sup>3</sup></b>
Lagerung							
<b>Messung 22.06.2017</b>	<b>8708/2017</b>		<b>m 0,064 mg/m<sup>3</sup></b>				

ID	ID 20-15	Präparat 13	ID 24-15	Präparat 14	ID 29-15	Präparat 15	ID 31-15	Präparat 16	ID 4-16	Präparat 18
verstorben		WS 16/17		WS 16/17				dick		voluminös
eingeliefert		w		m				w	w	
perfundiert		30.08.2015		29.06.2015				12.12.2015		05.02.2016
		30.08.2015		29.06.2015				13.12.2015		05.02.2016
		31.08.2015		30.06.2015				dito		dito
		dito		dito				dito		dito
<b>Haut und subc. Fettgewebe entfernt</b>		<b>Anfang November</b>		<b>Anfang November</b>						
Infutrace 20%	Injektion in Bauch- und Brustsitus je 100 ml Mitte November				<b>Nachperfundiert am</b>					
Infutrace 11%	befeuchtet				25.11.16					
Lagerung bis 08.12.16	1-2% Terralin 16.11.-06.12.16		in 2 l Infutrace eingeschweißt 15.11.-06.12.16		eingeschweißt Terralin					
	danach Präpariersaal und 3x pro Woche mit Infutrace besprüht, während und nach der Präparation									
<b>Messung 08.12.2016</b>	<b>m 0,18 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>0,28 mg/m<sup>3</sup> (Tisch 28)</b>		<b>m 0,18 mg/m<sup>3</sup></b>					
			<b>0,40 mg/m<sup>3</sup> (Tisch 23)</b>							
Lagerung bis Kursbeginn	Terralin bis Kursbeginn am 05.01.2017, nach Kursabschluss 14.02.17 Präpariersaal, befeuchtet mit 11% Infutrace						Terralin 2% bis 09.02.2017		alte FA-haltige Lösung bis 09.02.2017	
	in 1-2% Terralin in Küvette bis 18.04.2017 (Beginn des Sommersemsters)									
Infutrace	Intercostalmuskulatur						20% unterspritzt in subkutanes Fettgewebe + Injektion in Abdomen und Brustsitus 09.02.2017			
<b>Messung 16.02.2017</b>	(Atemmuskulatur)						mit Haut, Hautöffnung		mit Haut, Hautöffnung	
	<b>0,054 mg/m<sup>3</sup></b>						<b>0,072 mg/m<sup>3</sup> / mit WWD</b>		<b>0,044 mg/m<sup>3</sup></b>	
							<b>0,23 mg/m<sup>3</sup> ohne WWD</b>			
Infutrace 20%	Erneute Injektion in Bauch- und Brustsitus je 100 ml, 20.04.2017									
<b>Messung 27.04.2017</b>	<b>0,032-0,027-0,028-0,026 mg/m<sup>3</sup></b>		<b>0,032-0,035-0,031 mg/m<sup>3</sup></b>				weitere Hautöffnung, Haut war schon weit geöffnet			
Lagerung	4 + 6 Tage in alter Lagerflüssigkeit bis 24 h vor Probenahme									
	20 h vor Probenahme mit Infutrace besprüht									
<b>Messung 22.06.2017</b>	20°C, 78% rLF									
	<b>m 0,069 mg/m<sup>3</sup></b>									

**PRÜFBERICHT 2016-7238-1**

Prüfergebnis Saal 1 - links						
Labornr. 723816-	Messung p/s Zeit	Ort / Person	Aktion	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]	
<b>Aufdecken</b>						
1	p / 10 min.	Präparator	deckt 11 Körper auf	<b>0,65</b>	09.56 – 10.06	
<b>Tisch 1 – ID 2-15, Präparat 9</b>						
2	s / 176 min.	über Bauch in Arbeitshöhe		<b>0,39</b>	10.19 – 13.15	
3	p / 15 min.	Person 1	präpariert vor allem im Schritt  Kopf direkt gegenüber dem Sensor der stationären Messung	<b>0,55</b>	10.18 - 10.33	
4	p / 15 min.	Person 1		<b>0,46</b>	10.33 - 10.48	
5	p / 15 min.	Person 1		<b>0,59</b>	10.48 - 11.03	
6	p / 15 min.	Person 1		<b>0,40</b>	11.03 – 11.18	
7	p / 15 min.	Person 1		<b>0,36</b>	11.18 – 11.33	
8	p / 15 min.	Person 1		<b>0,35</b>	11.33 – 11.48	
<b>Mittelwert Tisch 1 personenbezogen (Probe 3-8)</b>				<b>0,45</b>		
<b>Tisch 9/10 - ID 14-15+18-15, Präparat 10+12</b>						
9	p / 172 min.	Person 5 (Dozentin)	wechselt häufig zwischen den Tischen hin und her, steht auch oft neben den Tischen und präpariert auch abseits von Tisch 9/10 an kleineren Präparaten	<b>&gt; 1,6</b>	10.16 – 13.14	
10	s / 180 min.	<b>Raummitte</b>	Messpunkt auf Tisch	0,26	10:20 – 13:20	
11	s / 180 min.	<b>Nebenraum C</b>	Raummitte auf Tisch in Sitzhöhe	0,062	10.26 – 13:20	
<b>Tisch 10 - ID 18-15, Präparat 12</b>						
12	p / 15 min.	Person 2	präpariert am Fuß, dicht über Präparat von weniger Personen umgeben	<b>0,37</b>	11.50 – 12.05	
13	p / 15 min.	Person 2		<b>0,44</b>	12.05 – 12.20	
14	p / 15 min.	Person 2		<b>0,37</b>	12.20 – 12.35	
15	p / 15 min.	Person 3	präpariert an Schulter/Brustkorb dicht über Präparat dicht von Personen umgeben	<b><u>2,3</u></b>	12.32 – 12.47	
16	p / 15 min.	Person 3		<b><u>2,1</u></b>	12.02 – 12.17	
17	p / 15 min.	Person 3		<b><u>2,3</u></b>	12.17 – 12.32	
<b>Mittelwert Tisch 10 personenbezogen (Probe 12-17)</b>				<b><u>1,3</u></b>		

Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>); Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>

Messwert in Fettdruck: Überschreitung des AGW

Messwert in Fettdruck und unterstrichen: Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2016-7238-1**

Prüfergebnis Saal 1 - links					
Labornr. 723816-	Messung p/s Zeit	Ort / Person	Aktion	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]
		<b>ZNS</b>			
18	s / 90 min	gewässert	auf Tisch, Sensor direkt darüber	0,30	11.27 – 12.57
19	s / 90 min	frisch	auf Tisch, Sensor direkt darüber	0,25	11.30 – 13.00
		<b>neben Tisch 12 an Wand</b>			
20	p / 88min.	Person 4	Fr. Schmitt sitzt im Rollstuhl und präpariert an einem Arm	<b>0,41</b>	10.24 - 11.52
		<b>Arbeitsplatzgrenzwert AGW</b>		<b>0,370</b>	
		<b>Spitzenbegrenzung</b>		<b>2 (I)</b>	

**Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>

**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert: Überschreitung der Spitzenbegrenzung**

AGW: TRGS 900, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 139-140 v. 2.3.2016 [Nr. 7]

**PRÜFBERICHT 2016-7238-2**

Prüfergebnis Saal 2 - rechts					
Labornr. 723816-	Messung p/s Zeit	Ort / Person	Aktion	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]
<b>Aufdecken</b>					
21	p / 11 min.	Präparator	deckt 12 Körper auf	0,28	09.37 – 09.48
<b>Physikumspräparat Nebenraum ohne Lüftung</b>					
22	s / 90 min-	Tisch an der Seite, Sitzhöhe Prüfer	keine Präparation	0,14	11.,39 – 13.09
23	s /90 min-	Körpermitte über zwei Körpern	keine Präparation	0,13	11.40 – 13.10
<b>Tisch 27 - ID 3-14, Präparat 5</b>					
24	p / 180 min.	Person 7 (Dozentin)	präpariert sehr viel am Körper	0,21	10.06 - 13.06
25	p / 90 min.	Person 9	arbeitet im Brustkorb, viel Fettgewebe sichtbar, meist nur wenige Personen am Tisch	0,20	10.16 - 11.46
<b>Tisch 22 - ID 23-12, Präparat 2</b>					
26	s / 170 min.	Arbeitshöhe Brustkorbbereich	entfernt Stuhlgang, beendet ca. 10.53, viel Fixierflüssigkeit sichtbar, wenig Fett sichtbar Frau Stumpf oft als einzige am Tisch	<b>0,42</b>	10.18 - 13.08
27	p / 90 min.	Person 10		<b>0,56</b>	10.24 – 11.54
28	s / 180 min.	<b>Raummitte</b>	Messpunkt auf Tisch, neben kleineren Präparaten	0,19	10:12 – 13:12
<b>Tisch 22 – ID 23-12, Präparat 2</b>					
29	p / 15 min.	Person 11	präpariert im Beckenbereich,	<b>1,0</b>	12.12 – 12.27
30	p / 15 min.	Person 11	dicht über Präparat	<b>0,85</b>	12.27 – 12.42
34	p / 15 min.	Person 11	Person 12 direkt gegenüber	<b>1,7</b>	12.42 – 12.57
31	p / 15 min.	Person 12	präpariert im Beckenbereich,	<b>0,62</b>	12.15 – 12.30
32	p / 15 min.	Person 12	dicht über Präparat	<b>1,1</b>	12.30 – 12.45
33	p / 15 min.	Person 12	Person 11 direkt gegenüber	<b>0,78</b>	12.45 – 13.00
<b>Mittelwert Tisch 22 personenbezogen (Probe 29-34)</b>				<b>1,0</b>	
35	s / 90 min.	<b>Decke</b>	Höhe ca. 5 m, zwischen zwei Umluftkühlern	0,20	10:13 – 11:43

Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>); Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>  
 Messwert: Überschreitung des AGW, Messwert: Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2016-7523-1**

Prüfergebnis						
Spenderkörper 26-16, 2,4% Formaldehyd			Spenderkörper 3-16, 3,0% Formaldehyd			
Labornr. 752316-	Ort / Person* Tätigkeit	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Labornr. 752316-	Ort / Person* Tätigkeit	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]
	<b>Tisch 1 unter Düse Hautöffnung am Rücken</b>			<b>Tisch 2 ohne Düse Hautöffnung am Rücken</b>		
1	Person 5	<u>0,89</u>	3	Person 7	<u>3,0</u>	09.30 - 09.15
2	Person 6	<u>0,85</u>	4	Person 8	<u>5,9</u>	09.30 - 09.15
	<b>Tisch 1 mit Querstromventilator Hautpräparation</b>			<b>Tisch 2 mit Querstromventilator Hautpräparation</b>		
5	Person 5	<u>1,4</u>	7	Person 7	<u>1,9</u>	10.00 – 10.15
6	Person 6	<u>1,7</u>	8	Person 8	<u>1,1</u>	10.00 – 10.15
	<b>Tisch 2 ohne Düse Nervenptäparation</b>			<b>Tisch 1 unter Düse Nervenptäparation</b>		
9	Person 5	<u>1,1</u>	11	Person 7	<u>1,1</u>	10.35 – 10.40
10	Person 6	<u>2,6</u>	12	Person 8	<u>1,2</u>	10.35 – 10.40

Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>); Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>

Messwert in Fettdruck: Überschreitung des AGW

Messwert in Fettdruck und unterstrichen: Überschreitung der Spitzenbegrenzung

AGW: TRGS 900, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 139-140 v. 2.3.2016 [Nr. 7]

**PRÜFBERICHT 2016-7523-1**

Prüfergebnis						
Spenderkörper ID 2-15, Präparat 9			Spenderkörper ID 18-15, Präparat 12			
Labornr. 752316-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Labornr. 752316-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]
	<b>Tisch 2 ohne Düse</b>			<b>Tisch 1 unter Düse</b>		
13	Person 5	<b>0,55</b>	15	Person 7	<b>0,38</b>	11.15 – 11.30
14	Person 6	<b>0,75</b>	16	Person 8	0,36	11.15 – 11.30
	<b>Tisch 1 unter Düse</b>			<b>Tisch 2</b>		
17	Person 5	0,25	19	Person 7	<b>0,85</b>	11.40 – 11.55
18	Person 6	0,26	20	Person 8	<b>1,2</b>	11.40 – 11.55

Spenderkörper ID 26-16, Präparat 23, 2,4% Formaldehyd			
Labornr. 752316-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]
	<b>Reinraumzelt</b>		
21	Person 5	<b>0,87</b>	12.10 - 12.25
22	Person 7	<b>1,2</b>	12.10 - 12.25

Spenderkörper ID 3-16, Präparat 17, 3,0% Formaldehyd			
Labornr. 752316-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]
	<b>Reinraumzelt</b>		
23	Person 8	<b>1,1</b>	12.40 - 12.55
24	Person 7	<b>2,0</b>	12.40 - 12.55

Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>); Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung  
 AGW: TRGS 900, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 139-140 v. 2.3.2016 [Nr. 7]

**PRÜFBERICHT 2016-7940-1**

<b>Prüfergebnis</b>				
<b>Spenderkörper ID 20-15, Präparat 13; 3% Formaldehyd, Tisch 24</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
10	stationär	0,18	9.39 – 9.56	17
11	Person 13	0,17	9.40 - 9.55	15
12	Person 14	0,18	9.41 – 9.56	15
	Mittelwert	0,18		
<b>Spenderkörper ID 24-15, Präparat 14; 3% Formaldehyd, Tisch 28</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
16	stationär	0,29	10.09 – 10.27	27
17	Person 13	0,28	10.10 – 10.25	15
18	Person 14	0,28	10.11 – 10.26	15
	Mittelwert	0,28		
<b>Spenderkörper ID 24-15, Präparat 14; 3% Formaldehyd, Tisch 23, vorher auf Tisch 28</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
20	stationär	0,24	10.35 – 10.53	18
25	Person 13	<b>0,62</b>	10.25 – 10.40	15
26	Person 14	0,35	10.28 – 10.43	15
	Mittelwert	<b>0,40</b>		
<b>Spenderkörper ID 29-15, Präparat 15; 3% Formaldehyd, Tisch 28, vor der Probenahme auf Tisch 26 aufgelegt</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
19	stationär	0,16	10.25 – 10.42	17
23	Person 15	0,22	10.27 – 10.42	15
24	Person 16	0,16	10.26 – 12.41	15
	Mittelwert	0,18		

**Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung  
 AGW: TRGS 900, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 139-140 v. 2.3.2016 [Nr. 7]

**PRÜFBERICHT 2016-7940-1**

<b>Prüfergebnis</b>				
<b>Spenderkörper ID 32-16, Präparat 24; 1,85% Formaldehyd, Tisch 19</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
5	stationär	0,17	9.07 – 9.25	18
1	Person 15	0,25	9.08 – 9.23	15
2	Person 16	0,24	9.08 – 9.23	15
	Mittelwert	0,21		
<b>Spenderkörper ID 34-16, Präparat 25; 2,14% Formaldehyd, Tisch 27</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
13	stationär	0,27	10.04 - 10.23	19
14	Person 15	0,20	10.06 - 10.21	15
15	Person 16	0,21	10.07 - 10.22	15
	Mittelwert	0,23		
<b>Spenderkörper ID 39-16, Präparat 26; 2,14% Formaldehyd, Tisch 23</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
7	stationär	0,18	9.34 - 9.56	22
8	Person 15	0,19	9.36 - 10.51	15
9	Person 16	<b>0,43</b>	9.42 - 09.57	15
	Mittelwert	0,27		
<b>Spenderkörper ID 43-16, Präparat 27; 1,48% Formaldehyd, Tisch 20</b>				
<b>Labornr. 794016-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
6	stationär	0,16	9.09 - 9.27	18
3	Person 13	0,15	9.10 - 9.25	15
4	Person 14	0,16	9.11 - 9.26	15
	Mittelwert	0,16		

Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³); Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert: Überschreitung der Spitzenbegrenzung**  
 AGW: TRGS 900, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 139-140 v. 2.3.2016 [Nr. 7]

**PRÜFBERICHT 2016-7940-1**

Prüfergebnis				
Raum-Mitte				
Labornr. 794016-	Ort / Person*	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
21	Tisch 19/20	0,23	9.01 – 10.55	115
22	Tisch 27/28	0,26	9.03 - 10.55	113
	Mittelwert	0,25		

**Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert: Überschreitung der Spitzenbegrenzung**  
 AGW: TRGS 900, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2016 S. 139-140 v. 2.3.2016 [Nr. 7]

# PRÜFBERICHT 2017-8201-1

<b>Prüfergebnis</b>				
<b>Spenderkörper mit Infutrace-Behandlung, Deckendüsen eingeschaltet</b>				
<b>Spenderkörper ID 20-15, Präparat 13; 3% Formaldehyd, Tisch 27 (ohne Haut)</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
12	stationär	0,052	9.42 – 9.57	15
13	Person 17	0,055	9.43 - 9.58	15
14	Person 18	0,056	9.43 – 9.58	15
	Mittelwert	0,054		
<b>Spenderkörper ID 16-15, Präparat 11; 3% Formaldehyd, Tisch 23 (ohne Haut)</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
9	stationär	0,067	09.39 – 09.54	15
10	Person 19	0,049	09.40 – 09.55	15
11	Person 7	0,050	09.39 – 09.54	15
	Mittelwert	0,055		
<b>Spenderkörper ID 31-15, Präparat 16; 3% Formaldehyd, Tisch 28</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
3	stationär	0,067	09.15 – 09-30	15
4	Person 17	0,083	09.16 – 09-31	15
5	Person 18	0,066	09.17 – 09.32	15
	Mittelwert	0,072		
<b>Spenderkörper ID 4-16, Präparat 18; 3% Formaldehyd, Tisch 24</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
6	stationär	0,044	09.12 – 09-27	15
7	Person 19	0,043	09.14 – 09-29	15
8	Person 7	0,044	09.13 – 09.28	15
	Mittelwert	0,044		

Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>); Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2017-8201-1**

<b>Prüfergebnis</b>				
<b>Spenderkörper ohne Infutrace-Behandlung, Deckendüsen eingeschaltet</b>				
<b>Spenderkörper ID 5-16, Präparat 19; 3% Formaldehyd, Tisch 22</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
15	stationär	0,15	10.03 – 10.18	15
16	Person 19	0,14	10.03 – 10.18	15
17	Person 7	0,15	10.03 – 10.18	15
	Mittelwert	0,15		
<b>Spenderkörper ID 3-17, Präparat 28; 1,85% Formaldehyd, Tisch 26</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
18	stationär	0,18	10.06 - 10.21	15
19	Person 17	0,15	10.06 - 10.21	15
20	Person 18	0,17	10.07 - 10.22	15
	Mittelwert	0,17		
<b>Spenderkörper ID 4-17, Präparat 29; 1,48% Formaldehyd, Tisch 25</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
21	stationär	0,31	10.29 - 10.44	15
22	Person 19	0,27	10.29 - 10.44	15
23	Person 7	0,31	10.29 - 10.44	15
	Mittelwert	0,30		

**Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2017-8201-1**

<b>Prüfergebnis</b>				
<b>Deckendüsen ausgeschaltet</b>				
<b>Spenderkörper ID 31-15, Präparat 16; 3% Formaldehyd + Infutrace, Tisch 28</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
27	stationär	0,15	11.00 – 11-15	15
28	Person 17	0,25	11.00 – 11-15	15
29	Person 18	0,29	11.00 – 11-15	15
	Mittelwert	0,23		
<b>Spenderkörper ID 5-16, Präparat 19; 3% Formaldehyd (ohne Infutrace), Tisch 22</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
24	stationär	0,15	10.59 – 11.14	15
25	Person 19	<b>0,55</b>	10.59 – 11.14	15
26	Person 7	0,24	10.59 – 11.14	15
	Mittelwert	0,31		

<b>Prüfergebnis</b>				
<b>Raum-Mitte, Deckendüsen eingeschaltet</b>				
<b>Labornr. 820117-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
1	Tisch 21/22/25/26 (ohne Infutrace)	0,11	9.11 – 10.51	99
2	Tisch 23/24/27/28 (mit Infutrace)	0,066	9.12 - 10.52	99
	Mittelwert	0,088		

**Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2017-8466-1**

<b>Prüfergebnis</b>					
<b>Spenderkörper ID 20-15, Präparat 13; Tisch 26, sehr dünner kleiner Körper, sehr trocken</b>					
<b>Labornr. 846617-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Szenario</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
1	stationär	Grundbelastung	0,034	10.34-10.49	15
2	Person 20		0,033	10.36-10.51	15
3	Person 21		0,029	10.37-10.52	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,032</b>		
4	stationär	Öffnen des Brustkorbs (Anmerkung: Vollständige Öffnung erst um 11.03 Uhr)	0,026	10.49-11.05	16
5	Person 20		0,023	10.51-11.06	15
6	Person 21		0,032	10.52-11.07	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Öffnen d. Brustkorbs</b>	<b>0,027</b>		
7	stationär	Abklingphase	0,030	11.05-11.20	15
8	Person 20		0,028	11.06-11.21	15
9	Person 21		0,026	11.07-11.22	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Abklingphase</b>	<b>0,028</b>		
10	stationär	Öffnen des Abdomens	0,026	11.20-11.35	15
11	Person 20		0,027	11.21-11.36	15
12	Person 21		0,026	11.22-11.37	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Öffnen des Abdomens</b>	<b>0,026</b>		

**Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2017-8466-1**

<b>Prüfergebnis</b>					
<b>Spenderkörper ID 24-15, Präparat 14, Tisch 23, sehr fetter Körper, sehr feucht</b>					
<b>Labornr. 846617-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Szenario</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
13	stationär	Grundbelastung	0,032	10.39-10-54	15
14	Person 22		0,039	10.40-10.55	15
15	Person 23		0,024	10.41-10.56	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,032</b>		
16	stationär	gleichzeitig	0,039	10.54-11-09	15
17	Person 22	Öffnen des Abdomens	0,038	10.55-11.10	15
18	Person 23	Öffnen des Brustkorbs	0,042	10.56-11.11	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Abdomen + Brustkorb</b>	<b>0,035</b>		
19	stationär	Abklingphase	0,041	11.09-11-24	15
20	Person 22		0,027	11.10-11.25	15
21	Person 23		0,037	11.11-11.26	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Abklingphase</b>	<b>0,031</b>		

<b>Spenderkörper ID 16-15, Tisch 24</b>					
<b>Labornr. 846617-</b>	<b>Ort / Person*</b>	<b>Szenario</b>	<b>Formaldehyd [mg/m³]</b>	<b>Messintervall von-bis [Uhr]</b>	<b>Messdauer [min]</b>
22	stationär	Grundbelastung	0,035	11.47-12-04	17
23	Person 22		0,033	11.49-12.05	16
24	Person 23		0,058	11.50-12.05	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,042</b>		
25	stationär	Öffnen des Brustkorbs	0,044	12.04-12-19	15
26	Person 22		0,032	12.05-12.20	15
27	Person 23		0,057	12.06-12.21	15
	<b>Mittelwert</b>	<b>Öffnen d. Brustkorbs</b>	<b>0,044</b>		

**Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

# PRÜFBERICHT 2017-8466-1

Prüfergebnis					
Spenderkörper ID 18-14, Präparat 7; Tisch 18					
Labornr. 846617-	Ort / Person*	Szenario	Formaldehyd [mg/m³]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
28	stationär	Grundbelastung	0,033	11.52-12.07	17
29	Person 24		0,043	11.53-12.08	16
30	Person 25		0,037	11.54-12.09	15
	<b>Mittelwert</b>		<b>Grundbelastung</b>	<b>0,038</b>	
31	stationär	Öffnen des Abdomens	0,037	12.07-12.22	15
32	Person 24		0,048	12.08-12.23	15
33	Person 25		0,042	12.09-12.24	15
	Mittelwert		<b>Öffnen des Abdomens</b>	<b>0,042</b>	
34	stationär	Abklingphase	0,036	12.22-12.37	15
35	Person 24		0,044	12.23-12.38	15
36	Person 25		0,036	12.24-12.39	15
	Mittelwert		<b>Abklingphase</b>	<b>0,039</b>	

Spenderkörper ID 25-14, Präparat 8; Tisch 17					
Labornr. 846617-	Ort / Person*	Szenario	Formaldehyd [mg/m³]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
37	stationär	Grundbelastung	0,034	12.32-12.47	17
38	Person 26		./.	12.33-12.48	16
39	Person 27		0,046	12.34-12.49	15
	<b>Mittelwert</b>		<b>Grundbelastung</b>	<b>0,040</b>	
40	stationär	Öffnen des Brustkorbs	0,035	12.47-13.02	15
41	Person 26		0,036	12.48-13.03	15
42	Person 27		0,042	12.49-13.04	15
	Mittelwert		<b>Öffnen d. Brustkorbs</b>	<b>0,038</b>	

**Konzentrationen in Milligramm/m³ (mg/m³);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m³  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

**PRÜFBERICHT 2017-8466-1**

<b>Prüfergebnis</b>					
<b>Personenmessung ca. 3 Stunden</b>					
Labornr. 846617-	Person*	Ort	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
43	Person 32	Tisch 23 +24	0,039	10.23-13.05	162
44	Person 33	Tisch 17 + 18	0,031	10.25-13.07	157

<b>Stationäre Messungen der Raumluft</b>					
Labornr. 846617-	Bezeichnung	Ort: je mittig zwischen	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
45	MP 1	Tisch 19/20/23/24	0,021	10.19-13.07	168
46	MP 2	Tisch 21/22/25/26	0,019	10.19-13.07	168
47	MP 3	Tisch 23/24/27/28	0,027	10.19-13.07	168
48	MP 4	Wandseite+Tisch 26/27	0,023	10.19-13.07	168
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,023</b>		

**Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

# PRÜFBERICHT 2017-8708-1

Prüfergebnis					
Spenderkörper ID 18-14, Präparat 7; Tisch 18					
Labornr. 870817-	Ort / Person*	Szenario	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
1	stationär	Präparieren in Bauch- und Brustraum	0,063	10.44-11.29	45
2	Person 34		0,057	10.45-12.30	45
3	Person 35		0,073	10.46-10.31	45
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,064</b>		
Spenderkörper ID 20-15, Präparat 13; Tisch 26, sehr dünner kleiner Körper, sehr trocken					
4	stationär	Präparieren in Bauch- und Brustraum	0,075	10.48-11.33	45
5	Person 20		0,074	10.49-11.34	45
6	Person 36		0,058	10.50-11.35	45
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,069</b>		

**Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 10 L: 0,01 mg/m<sup>3</sup>  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

Stationäre Messungen der Raumluft					
Labornr. 870817-	Bezeichnung	Ort: je mittig zwischen	Formaldehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Messintervall von-bis [Uhr]	Messdauer [min]
7	MP 7	Tisch 17/18/21/22	0,062	10.42-11.27	47
8	MP 8	Tisch 23/24/27/28	0,052	10.41-11.26	47
	<b>Mittelwert</b>	<b>Grundbelastung</b>	<b>0,057</b>		

**Konzentrationen in Milligramm/m<sup>3</sup> (mg/m<sup>3</sup>);** Bestimmungsgrenze BG bei Sammelvolumen 50 L: 0,001 mg/m<sup>3</sup>  
**Messwert:** Überschreitung des AGW, **Messwert:** Überschreitung der Spitzenbegrenzung

## E. Nutzungsgenehmigungen

**Abbildung 1:** Clinical Anatomy, e-mail vom 19.10.2017:

Dear Sonja Pfeil,  
Thank you for placing your order through Copyright Clearance Center's RightsLink® service.

### **Order Summary**

Licensee: Sonja Pfeil  
Order Date: Oct 19, 2017  
Order Number: 4212361359448  
Publication: Clinical Anatomy  
Title: Human preservation techniques in anatomy: A 21st century medical education perspective  
Type of Use: Dissertation/Thesis  
Order Total: 0.00 EUR  
View or print complete [details](#) of your order and the publisher's terms and conditions.

Sincerely,  
Copyright Clearance Center

**Abbildung 2-4:** Journal of Biological Chemistry

[http://www.jbc.org.ezproxy.uni-Gießen.de/site/misc/Copyright\\_Permission.xhtml](http://www.jbc.org.ezproxy.uni-Gießen.de/site/misc/Copyright_Permission.xhtml):

### **For other parties using material for noncommercial use:**

Other parties are welcome to copy, distribute, transmit and adapt the work — at no cost and without permission — for noncommercial use as long as they attribute the work to the original source using the citation above.

Examples of noncommercial use include:

Reproducing a figure for educational purposes, such as schoolwork or lecture presentations, with attribution.

Appending a reprinted article to a Ph.D. dissertation, with attribution.

**Abbildung 6:** persönliche mail vom 24.10.2017 mit

Genehmigung durch Herrn DI Peter Tappler, Leiter des Arbeitskreises

## **F. Erklärung zur Dissertation**

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

---

---

Ort, Datum

Unterschrift

## **G. DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Mein allerherzlichster Dank gilt meiner Doktormutter und betreuenden Professorin Frau Dr. Monika Wimmer, die das Projekt hingebungsvoll und nie müde werdend betreut und auf eine sehr angenehme Art und Weise beständig motivierend zum Erfolg geführt hat. Gleichermäßen gilt mein Dank der guten Zusammenarbeit mit Herrn Hans Hieke vom Dezernat für Liegenschaften, Bau und Technik der Uni Gießen, der als Meister über die „Luftströme der Uni Gießen“ immer für gute Luft nicht nur im Präpariersaal sondern auch bei Projektbesprechungen und vor allem durch die Entwicklung des angepassten Weitwurfdüsen-Systems am Präparationstisch gesorgt hat.

Die Reduktion der Formaldehyd-Luftmesswerte auf Konzentrationen weit unter  $0.1 \text{ mg/m}^3$  wäre ohne Mitwirkung der beiden nicht möglich gewesen.

Die Laboranalysen wurden extern beauftragt und durch das Dezernat für Liegenschaften, Bau und Technik der Uni Gießen finanziert. Den Entscheidungsträgern gilt hier ebenfalls mein tiefster Dank.

Weiterhin bedanke ich mich bei den Präparatoren für die zusätzlichen Fixierversuche sowie deren und die geduldige Mitwirkung des Dozententeams und der Studierenden durch ihre Anwesenheit bei den verschiedenen Messszenarien. Ohne deren Unterstützung und Stunden freiwillig geopferter Zeit für das Projekt wären diese sehr realitätsnahen Voruntersuchungen ebenfalls nicht möglich gewesen.

Ich bedanke mich beim ARGUK-Umweltlabor für die zügige Auswertung der Proben, die messtechnische und fachliche Unterstützung sowie die Spende der Passivsammler inklusive deren Analytik.

Auch meinen Kollegen Herrn Dr. Wigbert Maraun, Dr. Stephan Sängler samt Tochter Catharina, Steffen Ulrichson, Thilo Kerber sowie Frau Monika Artel und Frau Olena Kemper danke ich sehr für die vielen intensiven fachlichen Diskussionen, die sowohl die Formaldehydchemie, dessen Messtechnik und Emissionsvorgänge betrafen. Ganz besonderer Dank an Herrn Ulrichson für das fachkundige Korrekturlesen!

Auch meiner Familie, insbesondere Christoph, Sohn Aaron und meinen Eltern gilt mein Dank für die große Geduld, die sie alle während der Entstehung dieser Arbeit aufgebracht haben.