

Neues lufttechnisches Konzept zur Reduzierung der Formaldehydbelastung im anatomischen Praktikum



Dipl.-Ing. Peter Thiel,
Leiter Labor,
Forschung und
Entwicklung,
Rud. Otto Meyer
Technik Ltd. & Co. KG
(ROM Technik),
Hamburg

Formaldehyd ist eine Grundchemikalie, die breite Anwendung in der Human- und Veterinär Anatomie zur Fixierung, Konservierung und Lagerung von humanem oder tierischem Gewebe beziehungsweise von Körperspenden findet. Neben den vielen positiven Eigenschaften für die genannten Anwendungsgebiete ist Formaldehyd europaweit seitens des Chemikalienrechts in die Gefahrenklassen „Karzinogen/Kategorie 1B“ und „Keimzellmutagen/Kategorie 2“ eingestuft. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat daher für Formaldehyd einen Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) in Höhe von 0,37 mg/m³ beziehungsweise 0,3 ml/m³ (ppm) – Spitzenbegrenzung Überschreitungsfaktor 2 – festgelegt. [1]

Umfangreiche Untersuchungen verschiedener gesetzlicher Unfallversicherungsträger (UVT) der öffentlichen Hand gemeinsam mit dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) an Hochschulinstituten und Universitäten haben gezeigt, dass die Einhaltung des AGW im anatomischen Praktikum eine große Herausforderung darstellt. [2]

Im Auftrag der IFA hat die Forschungs- und Entwicklungsabteilung der Firma Rud. Otto Meyer Technik Ltd. & Co. KG (ROM Technik) ein schlüssiges Konzept zur effektiven Reduzierung der Formaldehydkonzentration im anatomischen Praktikum entwickelt. Seitens der Nutzer wurde die Studie vom Institut für Anatomie und Zellbiologie der Universität Marburg und von der Anatomischen Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München begleitet, um die Erfordernisse der Praxis zu berücksichtigen.

Das Ziel bestand darin, eine maximale Formaldehydkonzentration von 0,20 ppm

beziehungsweise 0,25 mg/m³ bei allen bestimmungsgemäßen Tätigkeiten im anatomischen Praktikum sicherzustellen. Ein kurzzeitiger Anstieg des Konzentrationswertes für maximal 15 Minuten auf 0,40 ppm beziehungsweise 0,50 mg/m³ bis zu viermal pro Schicht war dabei zulässig (Überschreitungsfaktor 2).

Bestandsaufnahme

In den meisten Präparier Sälen der untersuchten 22 anatomischen Institute und Universitäten wird die Zuluft oberhalb der Präpariertische zu- und die Abluft bodennah abgeführt. [2] Diese Art der Luftführung folgt dem Ansatz, dass Formaldehyddämpfe schwerer als Luft sind und in Richtung Bo-



Abbildung 1: Blick in den Versuchsraum

Alle Abbildungen: ROM Technik

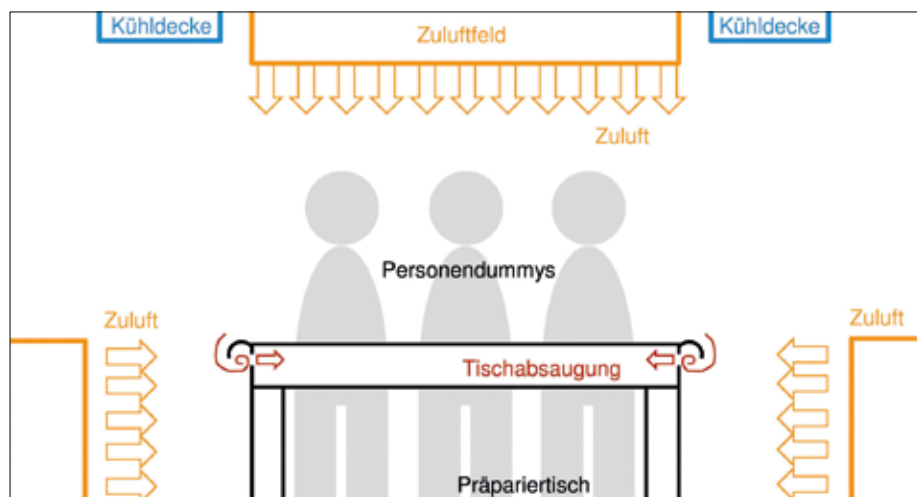


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau des Versuchsraumes



Abbildung 3: Körperspendenattrappe

den sinken. Im Rahmen des Projektes konnte hingegen festgestellt werden, dass aufgrund der thermischen Auftriebsströmung an den Personen ein mit Formaldehyd belasteter Teilluftvolumenstrom in die Atemluft gelangt. Dadurch wird die Formaldehydexposition der anwesenden Personen häufig in unzulässiger Weise erhöht. Dieses Phänomen konnte in unterschiedlicher Ausprägung in Präpariersälen sowohl mit als auch ohne direkte Absaugung (Erfassung) an den Präpariertischen festgestellt werden. [2]

Konzeptentwicklung im wärme- und strömungstechnischen Labor

Für das Forschungsvorhaben wurde im Labor ein Teilbereich eines Präpariersaales (Grundfläche: 34 m²; Raumhöhe: 3,10 m) mit seinen luft- und wärmetechnisch relevanten Bauteilen nachgebildet (Abbildung 1 und 2).

Als Emissionsquelle diente eine Körperspendenattrappe (Abbildung 3), über die eine flächige Freisetzung eines konstanten N₂O-Massenstromes erfolgte. Abweichend zur Realität wurde zum qualitativen und quantitativen Vergleich der Systeme¹ aus Gründen des Gesundheitsschutzes im Versuchsraum Lachgas (N₂O) als Tracer gas verwendet.

Die N₂O-Massenkonzentrationen sowie die Lufttemperaturen wurden zur Bewertung der Systeme an relevanten Sensorpositionen im Versuchsraum erfasst.

Konzeptentwicklung

Im ersten Schritt wurden die lufttechnischen Systeme in ausgewählten Präpariersälen unter vergleichbaren Randbedingungen (sechs Personendummies am Tisch, Beleuchtung) zur Generierung von Referenzwerten untersucht und messtechnisch bewertet. Betrieben wurden die Systeme entsprechend den technischen Angaben der jeweiligen

anatomischen Institute, aus denen die Systeme stammen. Alle betrachteten Bestandlösungen (Abbildung 4 bis 6) zeichneten sich durch einen aktiv abgesaugten Präpariertisch aus, der mit unterschiedlichen Luftführungs- und Temperierungssystemen kombiniert wurde.

Folgende Erkenntnisse konnten gewonnen werden:

- Die Bestandssysteme berücksichtigen nur unzureichend die Notwendigkeit der thermischen Lastabfuhr.
- Die Erfassungswirkung der abgesaugten Präpariertische ist entweder unzureichend oder sie korrespondiert nicht ausreichend mit der Zuluft einbringung.
- Störeinflüsse durch die Tischbeleuchtung werden nicht berücksichtigt.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde im Anschluss ein lufttechnisches Konzept entwickelt, welches die zuvor definierten Zielwerte sicherstellen sollte.

Konzeptbeschreibung

Um eine effektive Erfassung am Präpariertisch mit größtmöglicher Tiefenwirkung zu erhalten, wurden ROM-Drall®-Elemente [4] als Linienabsaugung am Umfang des Präpariertisches installiert. Diese patentierte Entwicklung setzt das Strömungsprinzip von Wirbelstürmen in eine gerichtete Absaugströmung um (Abbildung 7).

Die Zuluftführung erfolgt zweistufig über ein impulsarmes Zuluftfeld ($q_{v,zu} = 650 \text{ m}^3/\text{h}$) oberhalb der Körperspende sowie Schicht-

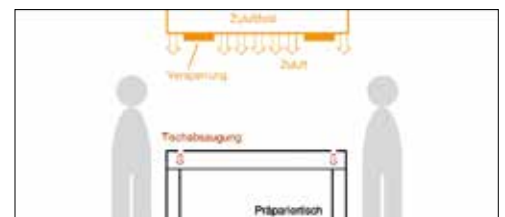
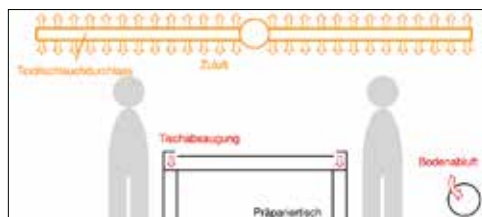
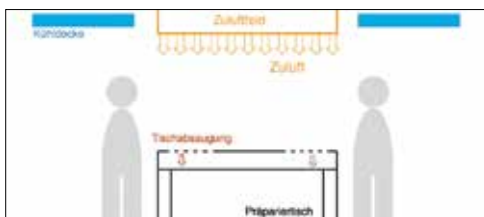


Abbildung 4: System „Z“



Abbildung 5: System „O“



Abbildung 6: System „P2“

luftdurchlässe ($q_{V,ZU} = 1.350 \text{ m}^3/\text{h}$) in den Ecken des Versuchsraumes. Die charakteristische Strömung ist in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt.

Die Visualisierung der Luftströmung zeigt, dass die Präpariertischabsaugung ($q_{V,AB} = 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$) und die Zuluftführung optimal aufeinander abgestimmt sind. Es kommt zu keinen sichtbaren Ausspülungen aus dem mit Formaldehyd belasteten Tischbereich.

Auswertung

Der quantitative Vergleich der Systeme erfolgte anhand des örtlichen Stoffbelastungsgrades $\mu_s(i)$, der für verschiedene Positionen im Raum ausgewertet wurde. Der Stoffbelastungsgrad ist in der VDI 2262 Blatt 3 wie folgt definiert [5]:

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

mit: $\mu_s(i)$ örtlicher Stoffbelastungsgrad der Position i in -

$c(i)$ örtliche Stoffkonzentration der Position i in $\frac{\text{mg}_s}{\text{m}^3}$

c_{ZU} Stoffkonzentration der Zuluft in $\frac{\text{mg}_s}{\text{m}^3}$

c_{AB} Stoffkonzentration der Abluft in $\frac{\text{mg}_s}{\text{m}^3}$

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

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

Der Stoffbelastungsgrad stellt somit vereinfacht ein Maß für die örtliche stoffliche Belastung im Verhältnis zur Abluftkonzentration dar. In Tabelle 1 sind die örtlichen Stoffbe-

System	μ_s (Person)	μ_s (Raum)
System „Z“	0,045	0,09
System „P ₁ “	0,071	0,19
System „P ₂ “ (mit Versperrung)	0,233	0,33
System „O“	0,31 (0,048 - 1,75)	0,05
System „ROM“	0,006	0
System „ROM“ (12 Personen)	0,004	0,002 ^{1,7m} 0,001 ^{0,5m}

Tabelle 1: Vergleich der örtlichen Stoffbelastungsgrade $\mu_s(i)$ an der Person und in der Raumluft

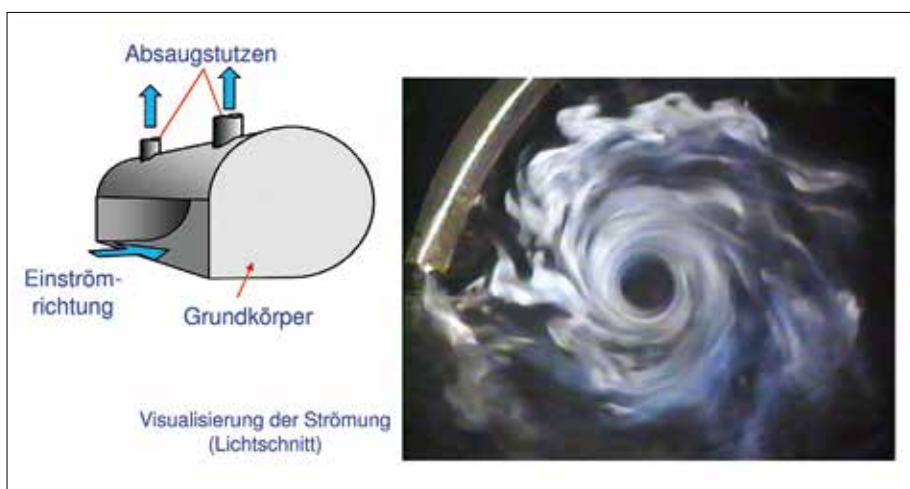


Abbildung 7: Darstellung des Prinzips der Wirbelströmung in einem ROM-Drall®-Element

lastungsgrade für die untersuchten Systeme zusammengefasst.

Die Ergebnisauswertung zeigt, dass mit dem neu entwickelten lufttechnischen Konzept sehr geringe Formaldehydbelastungen im Aufenthaltsbereich von Personen erreichbar sind. Die gemessenen Konzentrationen

unterschreiten deutlich die Werte der untersuchten Bestandssysteme (Faktor: ca. 10 bis 50). Auch eine höhere thermische Belastung im Tischbereich (zwölf Personendummies) führte zu keiner Verschlechterung der Stoffbelastungsgrade. Das System arbeitet stabil.



Abbildung 8: Lufteinbringung über das Zuluftfeld



Abbildung 9: Lufteinbringung über Schichtluftdurchlässe

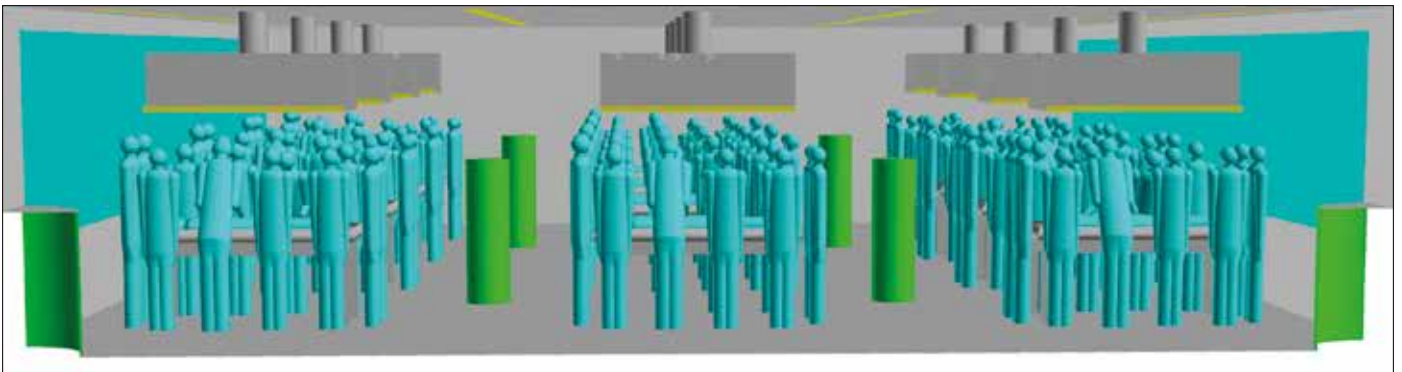


Abbildung 10: CFD-Modell des Präpariersaales

Konzeptüberprüfung durch Strömungssimulation

Die bislang beschriebenen Ergebnisse resultierten ausschließlich aus Laborversuchen an nur einem Präpariertisch inklusive Zuluftsystem. Um die Ergebnisse besser auf die Praxis übertragen zu können, erfolgte im Anschluss nach erfolgreicher Modellvalidierung eine numerische Strömungssimulation² für einen fiktiven großen Anatomiesaal mit zwölf Präpariertischen. Bei diesem Modell wurden das zuvor erläuterte System entsprechend weiterentwickelt und realitätsnahe thermische Randbedingungen³ implementiert. Die Formaldehyd-Freisetzung wurde auf $600 \text{ mg}_{\text{CH}_2\text{O}}/(\text{h} \cdot \text{KS})$ festgelegt und erfolgte über die gesamte Oberfläche der Körperspende (KS).

Ergebnisse

Die Zielwerte für die Formaldehydkonzentrationen können auch in einem großen Anatomiesaal unter realitätsnahen Randbedingungen eingehalten werden (Abbildungen 11 und 12). Die Strömungsmuster

und Konzentrationswerte der Laborstudie konnten sehr gut reproduziert werden. Insbesondere gilt das für das Phänomen temporär auftretender Auftriebsluftballen an den Personen (Abbildung 13), die für zeitlich begrenzte Expositionsspitzen sorgen. Im zeitlichen Mittel sind diese Expositionen aber als unkritisch einzustufen.

Die Luftgeschwindigkeiten (Abbildung 14) und die Temperaturen (Abbildung 15) im Präpariersaal liegen nur leicht unter den Anforderungen der Technischen Regeln für Arbeitsstätten – ASR A3.5 „Raumtemperaturen“ [7] beziehungsweise der ASR A3.6 „Lüftung“ [8]. Eine exakte Einhaltung der dort geforderten Werte ist nur schwer realisierbar. Die Raumlufttemperaturen im Bereich der Körperspende (ca. 17°C) müssen niedrig gehalten werden, da die Formaldehydemission der Körperspende bei höheren Temperaturen signifikant ansteigt.

Fazit und Ausblick

Die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen für die Formaldehydexposition im

anatomischen Praktikum hinsichtlich des Gesundheitsschutzes sowie der Gefahrstoffverordnung [9] stellt eine große Herausforderung für Nutzer, Planer und Bauherrn dar. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes [3] zeigen, dass nur ein abgestimmtes Gesamtkonzept unter Berücksichtigung aller Einflussparameter (Emissionsquelle, Luftführung, Erfassungstechnik, Wärmelasten, organisatorischer Ablauf) zielführend ist.

Der beschriebene umfassende lufttechnische Lösungsansatz basiert auf der direkten Erfassung der Gefahrstoffemission an einem im Rahmen des Forschungsprojektes neu entwickelten Präpariertisch in Kombination mit einem effektiven Luftführungssystem. Die Wirksamkeit des Konzeptes konnte sowohl im Technikum als auch im Rahmen von Strömungssimulationen bei allen bestimmungsgemäßen Tätigkeiten im anatomischen Praktikum nachgewiesen werden (Zielwert im Projekt: $0,25 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Auf bestehende Präpariersäle mit ihren jeweils speziellen Gebäudeeigenschaften muss das System allerdings jeweils adaptiert werden.

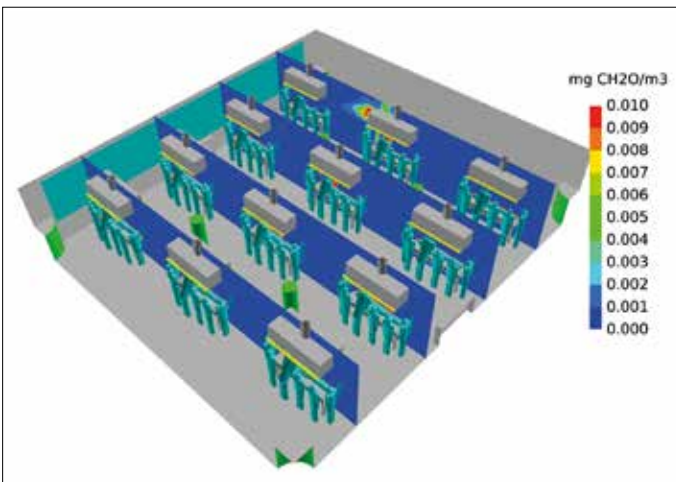


Abbildung 11: Schnittebenen der Formaldehyd-Konzentration (CH_2O) längs zum Tisch

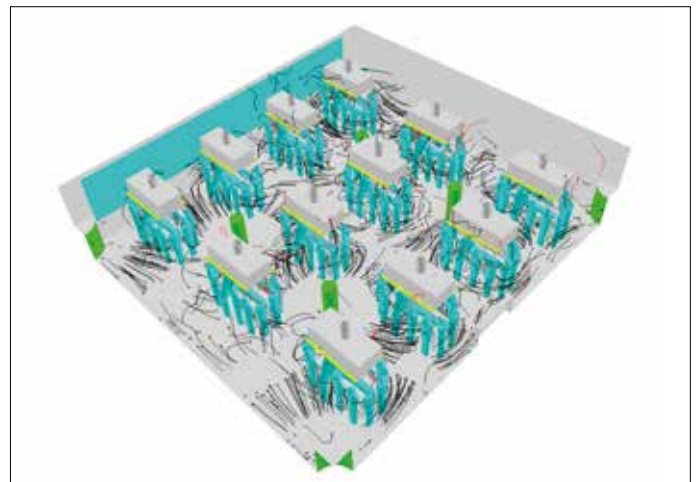
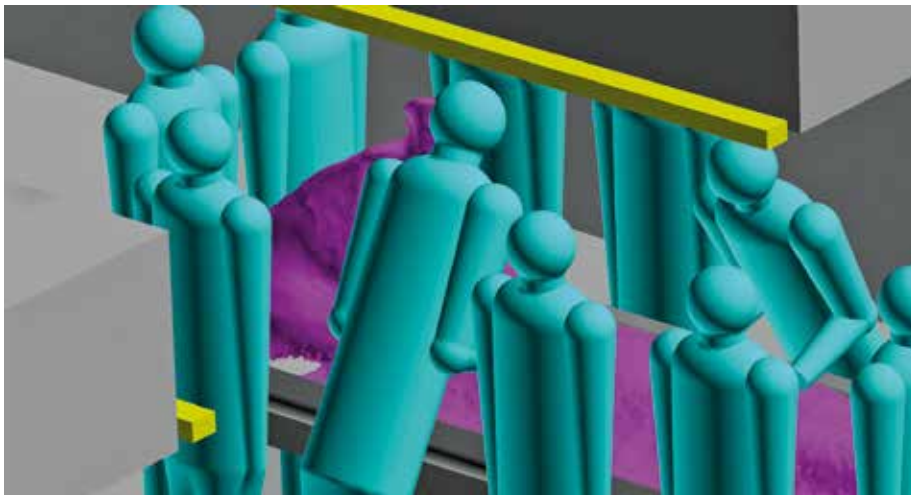


Abbildung 12: Stromlinien der Raumströmung



Abschließende Validierungsmessungen des Systems unter realen Bedingungen mit sich bewegenden Personen sollen in einer Anatomie im Frühjahr 2017 erfolgen. ◀

Abbildung 13: Ausspülung an einer vorgebeugten Person (violette Isofläche mit einer Formaldehydkonzentration von 0,25 mg/m³ als Momentanwert)

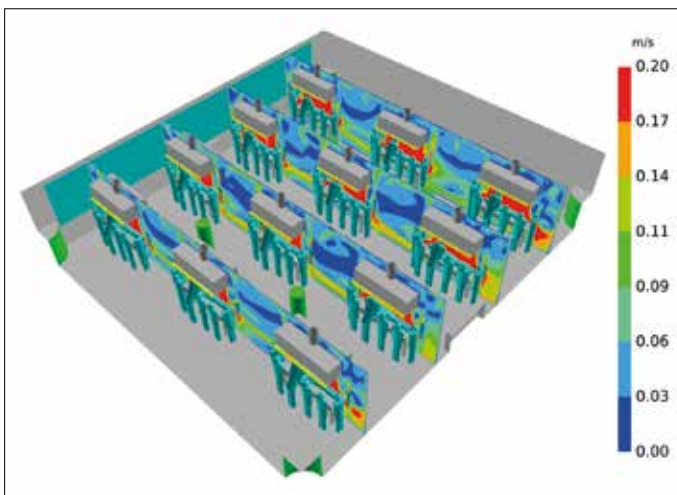


Abbildung 14: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten im Saal

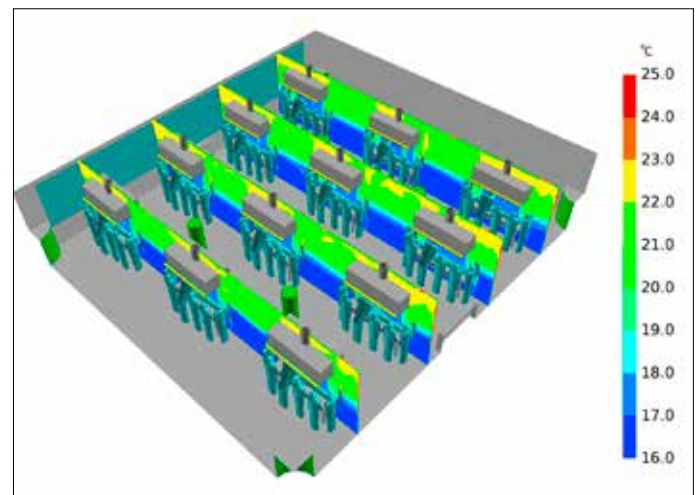


Abbildung 15: Temperaturverteilung als Längsschnitt über den Präpariertischen

Literatur

- [1] TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ BArbBl. Heft 1/2006 S. 41-55, zuletzt geändert und ergänzt GMBI 2015 S. 139-140 v. 2.3.2015 [Nr. 7].
- [2] I. Thullner, R. Stockmann, L. Hohenberger: Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie). Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 75 (2015), Nr. 6, S. 219 ff.
- [3] M. Dahncke, L. Hohenberger, H. Klusmann, R. Stockmann, P. Thiel, I. Thullner: Formaldehyd in der vorklinischen medizinischen Ausbildung (Anatomie): Lüftungstechnische Maßnahmen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 76 (2016), Nr. 10, S. 387-397.
- [4] Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Detzer, „Drallströmung in der Lüftungstechnik“ ihks-Fachjournal 2012, München.
- [5] VDI 2262 Blatt 3 „Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen“, Beuth Verlag, Ausgabe Juni 2011.
- [6] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), 24.07.2007 zuletzt geändert 24.10.2015.
- [7] ASR A3.5 „Raumtemperatur“, Ausgabe: Juni 2010, zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287.
- [8] ASR A3.6 „Lüftung“, Ausgabe: Januar 2012, geändert GMBI 2013, S. 359.
- [9] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010 (BGBl. I S 1643) geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S 1622), durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. April 2013 (BGBl. I S 944) und Artikel 2 der Verordnung vom 15. Juli 2013 (BGBl. I S 2514).

¹ Nachfolgend wird die Kombination aus Präpariertischabsaugung, Luftführungs- und Temperierungssystem mit dem Begriff „System“ abgekürzt.

² Softwarepaket: Ansys Fluent 16.1; 120 Millionen Kontrollvolumina

³ Gebäudestandard nach aktueller Energieeinsparverordnung – EnEV 2014 [6]

IKZ_{plus} – das neue Mehrwert-Konzept



IKZ-ENERGY berichtet über den Einsatz von Erneuerbaren Energien und Energieeffizienz in Gebäuden. Dabei stehen insbesondere die ganzheitliche Betrachtung der Gebäude und deren Nachhaltigkeit im Vordergrund.

Das Themenspektrum reicht von der Photovoltaik über die Solarthermie, Bioenergie, Geothermie, energieeffiziente Heiztechnik bis hin zur Systemintegration, Gebäudeautomation und weiteren EE-Themen.

Erscheinungsweise: 6 x jährlich



IKZ-KLIMA informiert nicht nur über die zentralen und dezentralen Kälte- und raumlufttechnischen Lösungen. Der technischen Entwicklung und den Markttrends folgend werden auch alternative Raumkonditionierungskonzepte aufgezeigt, beispielsweise die Kühlung über Raumflächen mittels reversibler Wärmepumpen, die adiabatische Kühlung oder die Erzeugung von Kälte mittels Solarenergie oder industrieller Abwärme.

MSR, Anlagen-Monitoring sowie Möglichkeiten der Anlagenoptimierung runden die Themenbereiche inhaltlich ab.

Erscheinungsweise: 3 x jährlich



IKZ-LEBEN trägt dem großen Informationsbedarf in den Bereichen „Leben im Alter“ und „Aktives assistiertes Leben“ Rechnung. Dabei stehen insbesondere die Themen generationengerechtes, vernetztes Bauen und Wohnen sowie mobiles Leben im Mittelpunkt.

Das redaktionelle Spektrum reicht von barrierefreiem Bauen und Sanieren über innovative Wohn- und Lebenskonzepte, Technische Assistenzsysteme, Smart Home und AAL (Ambient Assisted Living) bis hin zur Stadt- und Quartiersentwicklung.

Erscheinungsweise: 3 x jährlich

Das kleine *plus* mit großem Mehrwert.



STROBEL VERLAG GmbH & Co KG
Leserservice IKZplus
Zur Feldmühle 9-11, 59821 Arnsberg
Tel. 02931 8900 0, Fax 02931 8900 38
www.strobel-verlag.de

Jetzt kostenlose
Ansichtsexemplare
anfordern!