

Strömungstechnische Analyse eines High-Tech-Operationssaales mit Star-CCM+

Einleitung

An der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden wurde ein hochmoderner High-Tech-OP mit dem vollen Funktionsumfang eines realen Operationssaales inklusive Lüftungstechnik für Lehre und Forschung etabliert. Dadurch konnte die Hochschule ihre Kompetenz im Studiengang Medizintechnik und als innovatives Zentrum für die Gesundheitswirtschaft in der Region stärken und ausbauen. Im Rahmen von F&E-Aktivitäten werden unterschiedliche Fragestellungen bearbeitet, wie z.B.

- Einsatz und Nutzen intraoperativer Bildgebung
- Technologieintegration
- Medizintechnikplanung
- Ergonomie
- Workflow und Effizienz
- Hygiene und Lüftungstechnik

Da die Anzahl an nosokomialen Infektion in Kliniken in den letzten Jahren rasant gestiegen ist, muss diese Fragestellung geklärt werden, wie man diesem Trend entgegenwirken und damit für mehr Patientensicherheit sorgen. [1]

Hierzu ergeben sich vielfältige Themenfelder in Bezug auf Hygiene in Verbindung mit medizintechnischen Einrichtungen bzw. Ausstattung im Operationssaal. Grundsätzlich ist es wichtig, dass Partikel oder Erreger nicht von außen in den OP-Saal gelangen, damit eine mögliche Kontamination mit Keimen für den Patienten, das OP-Personal oder dem medizinischen Inventar ausgeschlossen werden kann. Speziell bei Operationen, in denen eine großflächige Freile-

gung aseptischer Bereiche, beispielsweise bei Implantationen, Gelenköffnungen oder in der Knochenchirurgie notwendig ist, besteht ein erhöhtes Risiko einer nosokomialen Infektion.

Neben der Betrachtung von Risiken infolge von hygienisch nicht optimalen Bedingungen, kann als weiteres Risiko hinsichtlich hygienerelevanter Themen eine Störung des Luftstroms in einem OP identifiziert werden. Mit speziellen Lüftungssystemen wird eine sogenannte Turbulenzarme Verdrängungsströmung (TAV) generiert. Diese soll sicherstellen, dass im Bereich des OP-Tisches ein keimfreier Schutzbereich ausgebildet wird. Bildgebende Verfahren, OP-Monitore und „strömungsungünstig gestaltete OP-Leuchten (flächenhaft, kaum oder nicht luftströmungsdurchlässig) verschlechtern die Schutzwirkung der TAV-Lüftung.“ [2] Zum Grundverständnis und als Basis für Optimierungsmaßnahmen wurden Modelle generiert, um diese Einflüsse anhand von Strömungssimulationen zu untersuchen.

Lüftungstechnik im Operationssaal

Der Standard-OP (gemäß Raumklasse Ia nach DIN 1946 Teil 4) verfügt über eine raumlufttechnische Anlage (RLT), welche die einströmende Um- und Frischluft vorreinigt, temperiert und im Regelfall befeuchtet. Danach wird sie über einen Schwebstoff-Filter der Filterklasse H 13 zurück in den OP geführt. Die Einleitung der gefilterten Zuluft erfolgt durch ein OP-Deckenfeld direkt über dem Operationsbereich (OP- und Instrumententisch). Dabei wird eine turbulenzarme Verdrängungsströmung erzeugt, welche dafür sorgt, dass ein gewisser Schutzbereich entsteht, in dem die Keimlast nahezu gegen null geht. Das Charakteristische an dieser Art der Strömung sind die Zuluftströme, die mit einer definierten Strömungsgeschwindigkeit nach unten verlaufen und durch seitlich auftreffende Turbulenzen oder Hinder-

nisse, wie OP-Lampen, OP-Team etc., nach unten abgelenkt werden [2].

Mittlerweile existieren mehrere unterschiedliche Ansätze für RLT-Anlagen. Damit eine Aussage über die Effektivität der RLT-Anlagen treffen zu können, ist eine konventionelle laminare Luftströmung (LAF) Decke, die die DIN-konforme Maße von 3200 mm x 3200 mm aufweist, mit einem Konzept (Produktname: Opragon) aus Schweden von der Firma Avidicare AB verglichen worden, welches einen temperaturkontrollierten laminaren Airflow (TLAF) erzeugt.

Strömungssimulation im Operationssaal

Hierzu wurden umfangreiche numerische Strömungssimulationen für jedes Konzept durchgeführt und dessen Ergebnisse durch Luftgeschwindigkeit- und Temperaturmessungen verifiziert. Hauptziel dieser Untersuchungen war es, die entstehenden Luftströmungsphänomene im jeweiligen Operationssaal zu simulieren, um Rückschlüsse über dessen Einfluss auf die Wirksamkeit der Belüftungstechnik ziehen zu können. Mit der CFD-Software STAR-CCM+ (CD-adapco, Melville, NY, USA) [3] werden diese Wechselwirkungen für die Bildgebung im OP analysiert und die Einflüsse aufgezeigt.

In einem ersten Schritt ist der gesamte Operationsraum mit technischer und personeller Ausstattung in Form eines CAD-Modells entworfen worden. Hierfür sind zunächst grundlegende Vereinfachungen angenommen worden: Unnötige Geometrien (u.a. Fasen, Rillen oder Kantenverrundungen) werden negiert, da diese für die Simulation keine große Rolle spielen. Die gesamte Belüftungstechnik ist auf den Ein- und Auslass der Luft reduziert und das OP-Personal ist idealisiert als Zylinder dargestellt worden. Die Abmessungen für Größe und Radius der Zylinder entsprechen den Angaben in der DIN

1946-4:2008-012. Der Einfluss von Fenstern, Türen und sonstigen Wandöffnungen wurden vernachlässigt.

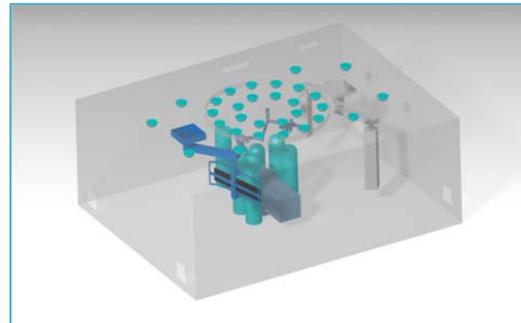


Abb. 1: CAD-Modell des Forschungs-OP

Der Forschungs-OP an der Hochschule in Weiden wird mit einem innovativen Lüftungskonzept aus Schweden betrieben, welches einen Temperaturkontrollierten direktionalen Airflow generiert. Dabei strömt Luft durch halbkugelförmige Einlässe von oben in den OP. Die Temperatur der Einlässe in den beiden Mittelkreisen ist um 2 Kelvin kühler als außen. Erkennbar sind drei Bereiche, in denen unterschiedliche Luftvolumina mit unterschiedlicher Temperatur in den Operationssaal einfließen. Der Innenkreis (B1), der Außenkreis, sowie der Randbereich (B3), wobei der Außenkreis nochmals unterteilt ist (B2.1 & B2.2).

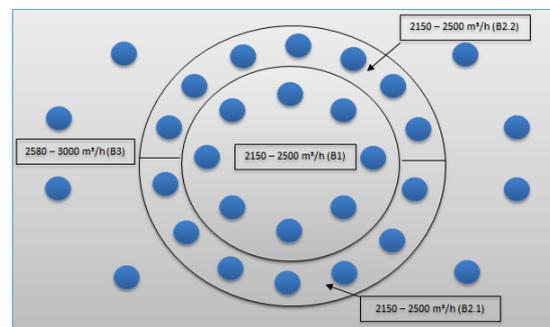


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der einfallenden Luftvolumenströme des OP-Deckenfeldes

Verifizierung der Simulation mit Star-CCM+ durch experimentelle Untersuchungen

Für die CFD-Simulation wurde das κ -Epsilon-Modell verwendet. Ausgewählte Simulationsergebnisse werden nachfolgend dargestellt. Zur Verifizierung der CFD-Simulation wurden sowohl Luftgeschwindigkeits- als auch Temperaturmessungen im Forschungs-OP der Hochschule durchgeführt. Nachfolgend sind die Messpunkte im OP-Saal aufgeführt.

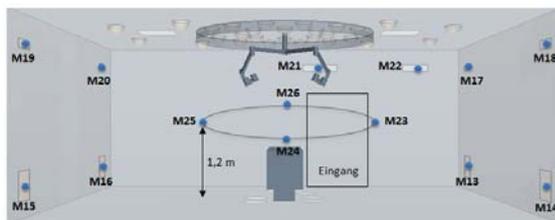


Abb. 3: Position der Messpunkte im OP-Saal

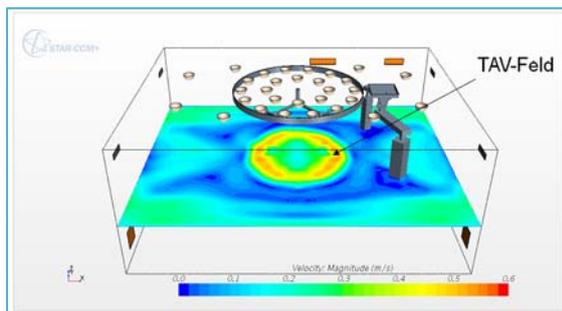


Abb. 4: Simulationsergebnisse für die Strömungsgeschwindigkeit

Simulation:		Messung:	
Luftgeschwindigkeit in m/s	0,030	Luftgeschwindigkeit in m/s	
TAV-Feld: 0,450	Abweichung von ca. 7 %	TAV-Feld: 0,420	

Abb.5: Vergleichstabelle zur Strömungsgeschwindigkeit

Dabei wurde ersichtlich, dass die in der Simulation berechnete Luftgeschwindigkeit von 0,450 m/s mit den Messwerten von 0,420 m/s nahezu identisch ist. Der Vergleich der simulierten und der gemessenen Temperaturverteilung zeigt ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung. Basierend auf diesen Erkenntnissen konnten umfangreiche Grundsatzuntersuchungen und Parameterstudien durchgeführt werden.

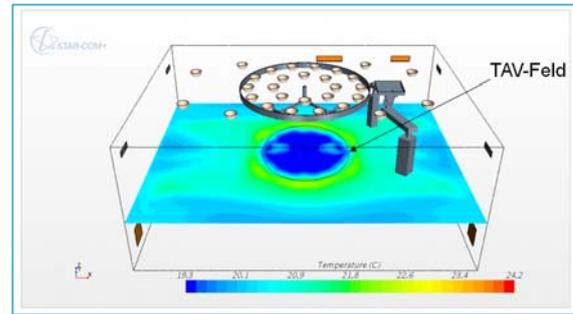


Abb. 6: Temperaturverteilung

Simulation:		Messung:	
Temperatur in °C	0,4	Temperatur in °C	
TAV-Feld: 23,8	Abweichung von ca. 2 %	TAV-Feld: 23,4	

Abb.7: Vergleichstabelle zur Temperaturverteilung

Neben einer Globalbewertung der Strömungs- und Temperaturverteilung wurden auch Detailuntersuchungen zum Einfluss der apparativen Ausstattung im OP-Saal durchgeführt. Exemplarisch wird hierzu das nachfolgende Strömungsfeld dargestellt, in dem Turbulenzen neben dem OP-Tisch erkennbar sind, welche von der TAV-Strömung überlagert wird. Diese Überlagerung verhindert das Aufsteigen von Keimen in den patientennahen Bereich. Konkrete Strömungsvisualisierungen unter Verwendung von Nebel untermauern dieses Ergebnis.

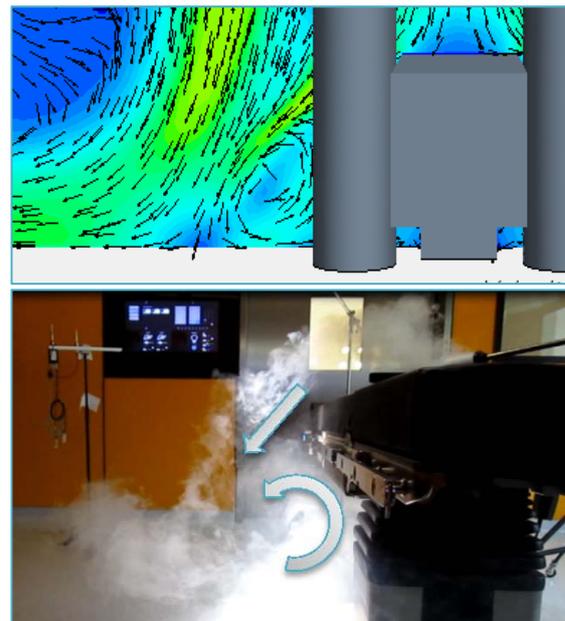


Abb. 7: Vergleich von der Strömungsvisualisierung (unten) mit der Simulation im Forschungs-OP (oben)

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der CFD-Simulation wurden durch umfangreiche Messungen der Strömungsgeschwindigkeit und Temperaturverteilung verifiziert. Basierend auf den Globaluntersuchungen wurde im Detail der Einfluss der apparativen Ausstattung mittels CFD analysiert. Es konnte herausgearbeitet werden, dass medizintechnische Geräte (Röntgen-C-Bogen, OP-Lampen, etc.), welche sich direkt unter dem TAV-Feld befinden, ein erhöhtes Risiko für die Verbreitung der Keime darstellen, sofern die Medizinprodukte bereits keimbelastet sind. Bei der Umströmung der Körper entstehen zusätzliche Turbulenzgebiete, die letztlich bewirken, dass kontaminierte Luft aus dem äußeren Raumbereich in den Schutzbereich gelangen kann. Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen zur Keimbelastung werden in einem nachfolgenden Bericht präsentiert.

Durch den Einsatz der CFD-Simulation können zuverlässige globale und lokale Aussagen über die Strömungs- und Temperaturverteilung im OP-Saal gemacht werden. Es können die optimalen lüftungstechnischen Parameter herausgearbeitet und Optimierungspotentiale bei der medizingerätetechnischen Ausstattung identifiziert und Verbesserungsmaßnahmen empfohlen werden.

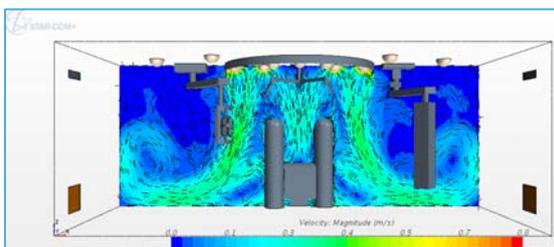


Abb.8: CFD-Simulation des Hybrid-OPs mit einer temperaturkontrollierten direktionalen Luftströmung

Die Ergebnisse aus den CFD-Simulationen verdeutlichen, dass die vorgestellten Lüftungssysteme ein Schritt in die richtige Richtung sind. Allerdings zeigen sie auch, dass

die Lüftungstechnik nur im Zusammenspiel mit einer strömungsoptimierten Geräteausstattung und optimierten Arbeitsabläufen im OP-Saal effizient funktionieren kann.

Referenzen

- [1] Robert Koch-Institut, Krankenhaushygiene Basisdaten stationärer Krankenhausversorgung in Deutschland – nosokomiale Infektionen, Epidemiologisches Bulletin Nr. 36, 13.09.2010
- [2] Rüdiger Külpmann, Kurt Hildebrand, OP-Lüftungssysteme im Vergleich, GI – Gebäude Technik | Innenraum-Klima, Vol. 134, No. 01, pp. 12 – 29, 2013
- [3] CD-adapco (2014), STAR-CCM+ User Guide

Ostbayerische Hochschule Amberg-Weiden
Studiengang Medizintechnik
B.Eng. Benjamin Russwurm
B.Eng. Reinhold Hartwich
Prof. Dr. Franz Magerl
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta