

# Innovatives Lüftungskonzept für den OP

## *Erfahrungen aus dem Lehr- und Forschungsoperationssaal der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden*

B. Rußwurm, F. Magerl, S. Buhl, C. Bulitta

*Die DIN 1946/4 (2008) unterscheidet zwei Raumklassen von Operationsräumen Ia und Ib sowie zwei Verfahren zur Abnahme der Räume: Turbulenzgrad und Schutzgradmessung. Die „richtige“ raumluftechnische Lösung für den Operationssaal ist aber nach wie vor ein kontrovers diskutiertes Thema. Ein international einheitlicher Standard liegt bisher nicht vor. Räume der Klasse Ia sind mit einer turbulenzarmen Verdrängungsströmung (TAV) ausgestattet, wohingegen Räume der Klasse Ib mit einer turbulenten Mischlüftung betrieben werden. Neben den konventionellen Zuluftdecken für die TAV ist mittlerweile ein innovatives Lüftungssystem von der schwedischen Firma Avidicare AB mit dem Produktnamen Opragon auf dem Markt. Dieses System, welches auf Basis eines temperaturkontrollierten Luftstroms funktioniert, wird in Skandinavien bereits in zahlreichen klinischen Installationen eingesetzt. Erfahrungen mit diesem System liegen in Deutschland bislang nicht vor. Im Rahmen des Aufbaus des Lehr- und Forschungsoperationssaals an der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden konnte dieses System integriert werden. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Anforderungen der Schutzgradmessung nach der DIN 1946/4 und des schwedischen Standards für die Lüftung in Operationsräumen erreicht werden. Darüber hinaus sind weitere Vorteile bezüglich des Raumklimas und der Schutzwirkung in der Betriebssituation gegenüber klassischen TAV-Decken gegeben.*

**Dokumentation:** Bulitta, C., Rußwurm, B., Magerl, F., Buhl, S.: *Innovatives Lüftungskonzept für den OP: Erfahrungen aus dem Lehr- und Forschungsoperationssaal der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden. mt-medizintechnik 1 (2015), Seite 24, 4 Tabellen, 14 Bilder, 14 Lit.-Ang.*

**Schlagwörter:** Lüftungskonzept/Forschungsoperationssaal/Opragon

### **Einführung und Prinzipien**

Verschiedene Studien aus der Zeit vor dem standardisierten Einsatz perioperativer Antibiotikaprophylaxe zeigen Zusammenhänge zwischen Keimen in der Luft und Wundinfektionen. Untersuchungen von Isolaten in infizierten Wunden zeigen häufig als Keimspektrum Enterobakterien. Dies sind wiederum klare Hinweise für eine aerogene Keimverschleppung [1]. Laut einer Studie der *Technischen Hochschule Mittelhessen in Giessen-Friedberg* konnte die intraoperative Kontami-

nation durch ein geeignetes Lüftungssystem in einem OP erheblich gesenkt werden [2]. Eine weitere Studie zeigt einen signifikanten Einfluss hinsichtlich Luftstrom und Partikelverfolgung bei Variation der Deckenhöhe eines Operationssaals. Insbesondere im Betriebszustand mit Einbezug von Personal und medizintechnischen Gerätschaften wird dies deutlich [3]. Zusammenfassend kann aus der Literatur gefolgert werden, dass es derzeit noch keine hinreichenden Daten aus Studien gibt, mit denen die Luft als wesentliches Erregerreservoir für Operationen ohne Implantation großer Fremdkörper zweifelsfrei belegt werden könnte [4,5,6]. Demgegenüber gibt es überzeugende Daten, dass eine Kontamination der Luft im unmittelbaren Bereich von OP- und Instrumententisch eine direkte oder indirekte Kontamination des OP-Feldes zur Folge haben kann, wodurch aerogene Wundkontaminationen nicht ausgeschlossen werden können [7]. Im Interesse der Prävention ist es sinnvoll, Empfehlungen von Maßnahmen erst aufzuheben, wenn ihre Nutzlosigkeit eindeutig erwiesen ist, sofern sie keinen Schaden verursachen. Der fehlende Nachweis von klinischem Nutzen sollte nicht das alleinige Kriterium sein [8]. Auf

Basis der derzeitigen Erkenntnisse wird daher deutlich, dass der Raumluftechnik auch zukünftig eine wichtige Rolle bei der Infektionsprävention, insbesondere im Operationssaal zukommt. Es gibt aber nach wie vor erheblichen Forschungsbedarf, insbesondere auch um neue raumluftechnische Konzepte zu entwickeln, die bestmöglich zur Infektionsprävention beitragen.

### Der Lehr- und Forschungs-Operationssaal

Im vollständig eingerichteten Lehr- und Forschungs-OP an der *Ostbayerischen Technischen Hochschule* in Weiden werden moderne OP-Technologien, Medizin- und Gebäudetechnik im Sinne eines effizienten und sicheren Systems getestet und weiterentwickelt. Ein komplettes System kann in verschiedenen Funktionszuständen untersucht werden. Forschung und Entwicklung neuer Produkte und die Simulation und Optimierung von Arbeitsprozessen sind ebenfalls möglich. Der Forschungs-OP verfügt dazu auch über eine raumluftechnische (RLT) Anlage. Als RLT-Anlage an der Hochschule wird ein innovatives System mit dem Namen *Opragon* von der schwedischen Firma *Avidicare AB* verwendet.

### Das Opragon System

Das im Forschungs-OP eingesetzte *Opragon System* basiert auf der TAF-Technologie (*temperaturgesteuerter Laminar-Airflow*). Diese Technologie ermöglicht es, eine sichere Funktion mit einer komfortablen Arbeitsumgebung zu kombinieren. Während konventionelle LAF-Decken (*Laminar-Airflow*) hohe Luftgeschwindigkeiten benötigen, um den Konvektionsströmen des Personals, OP-Leuchten und so weiter entgegenzuwirken, basiert das *Opragon System* auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Somit kann eine ausgewogene Balance zwischen einer ausreichend hohen Luftgeschwindigkeit der Zuluft geschaffen werden, die einerseits die körpereigene Konvektion von Personal und Patienten bricht und andererseits das Entstehen von unnötigen Turbulenzen verhindert. Die Funktionsweise dieses Lüftungssystems lässt sich wie folgt beschreiben: Die Anlage wird mit gekühlter, HEPA-gefilterter Luft (Filterklasse H14) von einer externen Luftbehandlungseinheit mit einer Heizen-/Kühlen-Batterie versorgt. Die temperierte und gereinigte Luft strömt durch 8 bzw. 22 halbkugelförmige Auslässe (Air-Shower = Luftduschauslässe) von oben in den OP und generiert einen Schutzbereich. Der Schutzbereich umfasst in der Regel den OP-Tisch und die Instrumen-

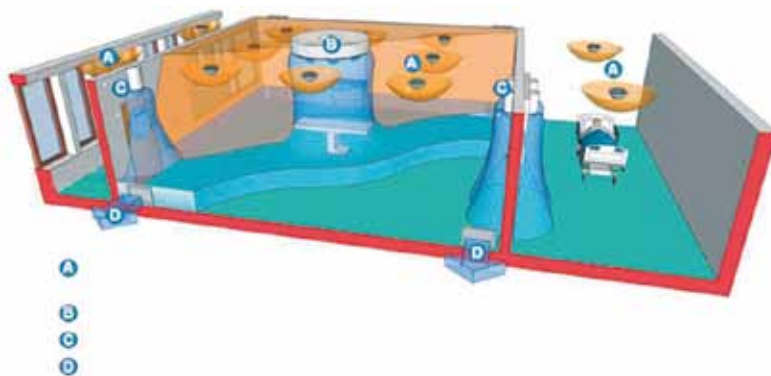


Bild 2: Beispiel einer TLA-Installation in einem Operationssaal (Quelle: Avidicare AB)

tentische (vergleiche *KRINKO*). Durch die Installation von separaten Air-Shower außerhalb der Schutzzzone wird die Raumtemperatur konstant gehalten (Bild 2). Wichtig hierbei ist, dass die Temperatur der Zuluft (der Auslässe) über dem Schutzbereich um 1,5 bis maximal zwei Grad Celsius kühler ist als die der äußeren Raumluft. Die Luftgeschwindigkeit kann eingestellt werden und hängt vom Temperaturgradienten ab. Ein höheres Delta-T erhöht und ein niedrigeres senkt die Luftgeschwindigkeit. Dadurch entsteht ein Dichteunterschied, welcher dafür verantwortlich ist, dass die einströmende kühlere Luft auf den Boden fällt und seitlich abgesaugt werden kann. Die Raumtemperatur wird durch zwei Temperatursensoren an den Wänden bestimmt, welche sich auf Höhe des OP-Tisches befinden. Der Durchschnitt der beiden Sensoren wird berechnet und spiegelt die Raumtemperatur wider. Die Temperaturdifferenz zwischen der Luft im Schutzbereich und der Raumtemperatur ist somit der entscheidende Faktor für eine zufriedenstellende Funktionsweise. In Kombination mit den Luftauslässen für die Abluft am Boden und entsprechenden Hygienemaßnahmen können Bedingungen geschaffen werden, die für eine ultrasaubere Luft im gesamten Operationsraum sorgen [9].

### Literaturrecherche, Erfahrungen und Ergebnisse

Zunächst wurde eine ausgiebige Literaturrecherche durchgeführt, um sich einen detaillierten Überblick über derzeit auf dem Markt befindliche RLT-Anlagen zu verschaffen. Ferner wurde auch nach Indizien gesucht, wie erfolgreich ihre Verwendung in Bezug auf den Umgang mit Sicherheitsaspekten in verschiedenen Betriebssituationen ist. Dabei stellte sich heraus, dass sich vier Konzepte für den Bereich OP etabliert haben [10]:



Bild 1: Forschungs-OP an der Ostbayerischen Technischen Hochschule in Weiden

- A) Turbulenzarme Verdrängungsströmung – TAV-Lüftungsdecke – Homogenflow
- Der Zuluftvolumenstrom liegt zwischen 8.000 m<sup>3</sup>/h und 9.000 m<sup>3</sup>/h und einer Zuluftgeschwindigkeit von 0,23 m/s.
  - Strömungsschürze und strömungsoptimierte OP-Leuchten mit geringer Wärmeabgabe sind erforderlich.
  - Das Einfahren von Geräten oder anderen Störquellen in den Schutzbereich kann die Schutzwirkung verschlechtern oder sogar aufheben.
- B) Turbulenzarme Verdrängungsströmung – TAV-Lüftungsdecke – Differenzialflow
- Der Zuluftvolumenstrom ist zwischen 8.000 m<sup>3</sup>/h und 9.000 m<sup>3</sup>/h. Im Kernfeld beträgt die Zuluftgeschwindigkeit 0,4 m/s und im Randfeld 0,2 m/s.
  - Strömungsoptimierte OP-Leuchten mit geringer Wärmeabgabe sind erforderlich.
  - Verändert die Schutzwirkung durch das Einbringen von Geräten oder anderen Störquellen in den Schutzbereich nur gering.
- C) Temperaturkontrollierter Airflow – TAF-Lüftungsdecke
- Einzelne Zuluftauslässe (Luftduschauslässe/Airshower) befinden sich an der Decke. Der Zuluftvolumenstrom schwankt zwischen 2.400 m<sup>3</sup>/h und 4.000 m<sup>3</sup>/h – je nach Betriebsbelastung (siehe *Opragon System*) für das *Opragon 8 System* und zwischen 5.600 m<sup>3</sup>/h und 10.500 m<sup>3</sup>/h für das in Weiden eingesetzte *Opragon 22 System*. In der Regel sollte mit ca. 350 m<sup>3</sup>/h pro Luftauslass (Airshower) gerechnet werden.
  - Es ist noch wenig Erfahrung vorhanden in Bezug auf Störquellen.
- D) Schichtlüftung
- Ein Zuluftauslass lässt in jeder Raumecke in ca. 1 m Höhe Luft horizontal einströmen, die wieder an der OP-Decke abgesaugt wird. Der Zuluftvolumenstrom ist mit 2.900 m<sup>3</sup>/h vorgegeben.
  - Voraussetzung für dieses Konzept ist, dass im Betrieb nahezu keine Luftverschmutzungen in Fußbodennähe erzeugt werden.
  - Die Schichtlüftung ist empfindlich bei sich öffnenden Türen. Die Schichtlüftung ist laut *DIN 1946-4* nur für die Raumklasse 1b vorgesehen.

Aus der Gegenüberstellung der unterschiedlichen Lüftungsvarianten geht hervor, dass die Schichtlüftung nur für Operationssäle der Raumklasse 1b zulässig und somit begrenzt einsetzbar ist. Die klassische und mittlerweile oft verwendete TAV-Lüftungsdecke mit Homogenflow zeigt gute Ansätze und konnte durch das Generieren eines Differenzialflows verbessert werden [11].

Nach Recherche in der Literatur wurden in einem nächsten Schritt Experimente in Form von Temperatur- und Luftgeschwindigkeitsmessungen sowie Strömungsvisualisierungen mit Nebel im Forschungs-OP durchgeführt. Ziel war es zunächst, erste Erfahrungen und Ergebnisse über die Funktionsweise und Effektivität der schwedischen RLT-Anlage zu erhalten. Im Anschluss daran wurde eine *Computational-Fluid-Dynamics-Simulation (CFD-Simulation)* erstellt, die einen detaillierteren Blick auf Strömungsphänomene im Operationssaal erlaubt. Zusammen mit DIN-Messungen der akkreditierten Hygienefirma *Hybeta*

inneren Bereich auch von einem *Opragon-22*- auf einen *Opragon-8*-Betrieb umgeschaltet werden. So sollen verschiedene Szenarien bezüglich der Energieeffizienz und Raumluftqualität in weiteren Untersuchungen



Bild 3: Universalmessgerät der Firma Ahlborn (ALMEMO® Serie 2590A) mit einem Thermoanemometer (Typ FV A935-TH4)



Bild 4: Thermoanemometer unterhalb der Luftauslässe im Opragon

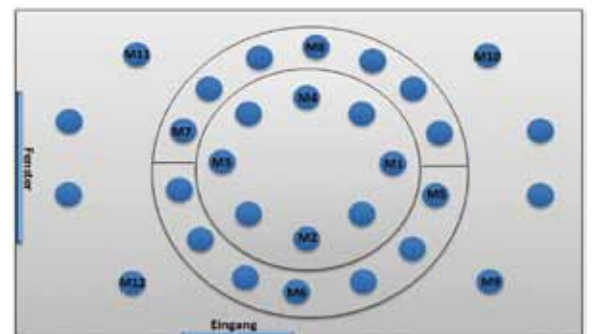


Bild 5: Anordnung der Messpunkte in der Draufsicht

konnten in einem letzten Schritt die gewonnenen Ergebnisse verglichen werden.

Das *Opragon System* im Lehr- und Forschungs-OP in Weiden ist ein *Opragon 22*, das heißt, es besteht im inneren Bereich (Schutzbereich) aus 22 Luftauslässen, die mit etwa 7500 m<sup>3</sup>/h betrieben werden. Die Größe wurde gewählt, um eine Fläche von ca. 3,2 x 3,2 m Schutzbereich zu erreichen. Für die externen 8 Luftauslässe stehen ca. 3000 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung. Eine entsprechende Anpassung kann über die raumlufttechnische Anlage erfolgen. Grundsätzlich kann das System im

analysiert und bewertet werden. [Siehe auch **Bild 5** und **Bild 6**.]

**Temperatur- und Luftgeschwindigkeitsmessungen**

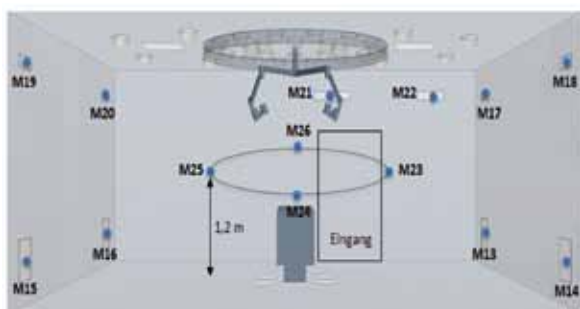
Als Messinstrument diente das Universalmessgerät (ALMEMO® Serie 2590A) der Firma Ahlborn mit einer Systemgenauigkeit bei 2,5 Messungen/Sekunde von 0,03 % vom Messwert ± 3 Digits. Der Temperaturdrift beträgt 0,003 %/K (30 ppm). Mit diesem Instrument kann sowohl die Luftgeschwindigkeit als auch die Temperatur erfasst werden. Der verwendete Strömungssensor mit Temperaturmessfunktion umfasst einen Messbereich von 0,080 bis 2,000 m/s und hat eine Auflösungsgenauigkeit von 0,001 m/s. Die Messgenauigkeit des Gesamtsystems wird ausschließlich vom AD-Wandler im ALMEMO® D6-Fühler bestimmt [12] (**Bild 3**).

Gemessen wurde sowohl die Luftgeschwindigkeit als auch die an den Messpunkten herrschende Temperatur (**Bild 4**).

**Bild 5** zeigt die Anordnung der Messpunkte an der OP-Decke. Der Sensor befand sich dabei im Abstand von 1 cm unterhalb der Luftauslässe.

Die in **Tabelle 1** erkennbaren Messwertschwankungen ergeben sich aufgrund des permanenten Regelvorgangs des Lüftungssystems. Aus diesem Grund sind sowohl der Maximalwert als auch der Minimalwert bei Messaufzeichnungsdauer von 1 min protokolliert worden. Daraus errechnet sich der Durchschnittswert. Um Durchschnittswerte für den Innen- und Außenkreis sowie für die Luftauslässe außerhalb der Schutzzone zu erhalten, wurde nochmals der Mittelwert errechnet (**Tabelle 2**).

Anschließend wurden noch Messwerte an den Abluftschächten und im Schutzbereich erfasst. **Bild 6** veranschaulicht die Anordnung der Messpunkte.



**Bild 6:** Anordnung der Messpunkte in der Seitenansicht. Die Messwerte sind nachfolgend in **Tabelle 3** dargestellt.

Im Schutzbereich des OP konnten homogene Luftgeschwindigkeiten von etwa 0,42 m/s gemessen werden. An den Messpunkten M17 bis M20 konnten keine Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden, da diese Abluftschächte geschlossen sind, um die Abluft auf Bodenhöhe gleichmäßig abzusaugen. Für zukünftige Untersuchungen sollen auch Effekte unterschiedlicher Abluftkonzepte untersucht werden, weshalb auch im Deckenbereich Abluftschächte installiert wurden.

**CFD-Simulation**

Für die Simulation wurde die Software STAR-CCM+ von der Firma CD-adapco verwendet [13]. Zur Definition der Inlet-Spezifikationen sind die Werte aus **Tabelle**

**Tabelle 1:** Messwerttabelle Decke

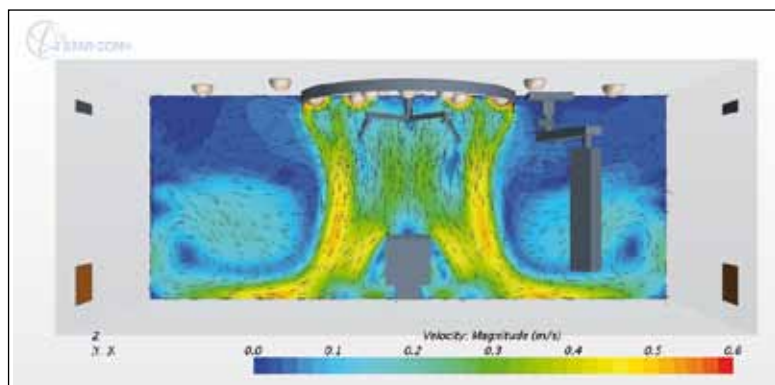
Messpunktbezeichnung	Luftgeschwindigkeit in m/s			Temperatur in °C		
	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø
M1	0,332	0,438	0,385	19,6	19,8	19,7
M2	0,323	0,431	0,377	19,3	19,8	19,6
M3	0,340	0,430	0,385	19,5	19,7	19,6
M4	0,309	0,404	0,357	19,3	19,4	19,4
M5	0,363	0,501	0,432	19,2	19,7	19,5
M6	0,310	0,516	0,413	19,5	19,7	19,6
M7	0,355	0,502	0,428	19,4	19,5	19,5
M8	0,375	0,474	0,425	19,5	19,7	19,6
M9	0,338	0,403	0,371	23,1	23,6	23,4
M10	0,321	0,372	0,347	23,6	23,9	23,8
M11	0,355	0,425	0,390	24,2	24,5	24,4
M12	0,408	0,415	0,412	24,2	24,4	24,3

**Tabelle 2:** Durchschnittswerte für die Luftauslässe

	Luftgeschwindigkeit in m/s	Temperatur in °C
Innenkreis:	0,376	19,7
Außenkreis:	0,425	19,7
Wand:	0,380	24,1

**Tabelle 3:** Messwerte an den Abluftschächten und im Schutzbereich

Messpunktbezeichnung	Luftgeschwindigkeit in m/s			Temperatur in °C		
	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø
M13	2,110	2,110	2,110	20,5	20,5	20,5
M14	2,110	2,110	2,110	20,5	20,6	20,6
M15	2,110	2,110	2,110	20,5	20,5	20,5
M16	2,110	2,110	2,110	20,5	20,5	20,5
M17	0,0	0,0	0,0	22,7	22,6	22,7
M18	0,0	0,0	0,0	22,7	22,7	22,7
M19	0,0	0,0	0,0	22,6	22,6	22,6
M20	0,0	0,0	0,0	22,7	22,6	22,7
M21	0,623	0,631	0,627	22,7	22,8	22,8
M22	0,704	0,714	0,709	22,6	22,6	22,6
M23	0,404	0,424	0,414	21,5	21,6	21,6
M24	0,409	0,427	0,418	21,5	21,5	21,5
M25	0,412	0,427	0,420	21,4	21,5	21,5
M26	0,420	0,438	0,429	21,4	21,5	21,5



**Bild 7:** Strömungsbild – Vorderansicht

**le 3** herangezogen worden. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Die Strömungsgeschwindigkeit (Velocity) ist in der Einheit m/s angegeben, die Temperaturwerte werden in Grad Celsius abgebildet.

Im Strömungsbild des Forschungs-OP der *Ostbayerischen Technischen Hochschule in Weiden* ist ein homogener Abfall der Strömung mit einer Geschwindigkeit

von 0,35 bis 0,45 m/s seitlich in Richtung Fußboden erkennbar. Dabei werden Störkörper wie zum Beispiel OP-Lampen elliptisch umströmt – es entstehen keine Turbulenzen unterhalb der Lampen (**Bild 7**). Im Schutzbereich, speziell an den Messpunkten M23 bis M26, liegen die berechneten Luftgeschwindigkeiten bei ca. 0,45 m/s (**Bild 8**) – gemessen wurden hier 0,42 m/s. Im Randbereich der Schutzzone werden Temperatur-

werte von 21,2 bis 21,8 °C erreicht (**Bild 9**) – gemessen wurden zwischen 21,4 und 21,6 °C. In dem nachfolgenden Bild (**Bild 10**) wird ersichtlich, dass die kühlere Zuluft des *Opragon* nach unten strömt und so den Schutzbereich erzeugt, in dem sich OP- und Instrumententisch befinden. Die um zwei Grad Celsius wärmere Luft, welche aus den externen Air-Shower (außerhalb des Schutzbereiches) in den OP strömt und auf die kühlere Luft trifft, sorgt zusätzlich für eine Turbulenzarmut außerhalb des Schutzbereiches. Die Simulation stimmt mit den Messungen gut überein und kann somit als Ansatzpunkt für weitere Betriebssituationen genutzt werden.

### Strömungsvisualisierung mit einem Nebelgenerator

Um einen genaueren Einblick auf die Strömungsphänomene am OP-Tisch zu erhalten, wurde ein Nebelgenerator eingesetzt. Mit dessen Hilfe konnte bewiesen werden, dass das simulierte Strömungsprofil mit dem realen beziehungsweise visualisierten Strömungsprofil übereinstimmt. Es ist ersichtlich, dass das Aufwirbeln von Keimen auf den OP-Tisch durch die laminare Luftströmung von oben verhindert wird (**Bild 11**).

### Luftkeimsammlung

Für die Luftkeimsammlung wurde der *Impaktor FH6* der *Markus Klotz GmbH* verwendet. Dabei werden Keime, die sich in der Raumluft befinden, aktiv bei einem definierten Probenvolumen auf einem Nährmedium (Agarplatten) eingesammelt. Die Fließgeschwindigkeit ist dabei auf 100 l/min gesetzt worden, das heißt, dass ein Quadratmeter Luft durch den Schlitz-Sampler gesaugt wurde. Die Messzyklusdauer beträgt zehn Minuten. Während dieser Zeit wird die Agarplatte um 360 ° ge-



Bild 12: Der „In-Operation-Betrieb“ wird nachgeahmt.

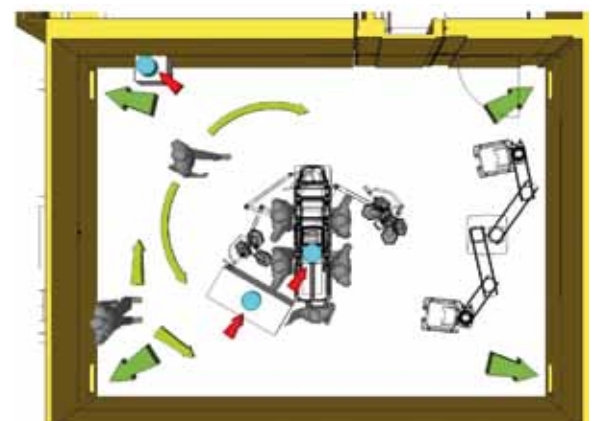


Bild 13: Schemaskizze des Raums

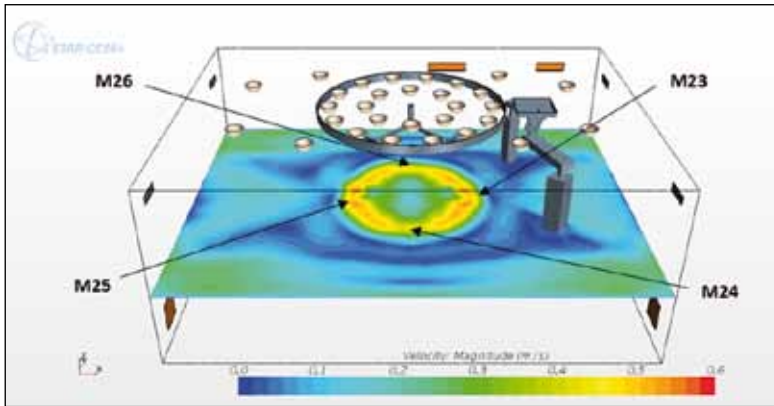


Bild 8: Strömungsbild – Draufsicht 1,20 m Bodenhöhe

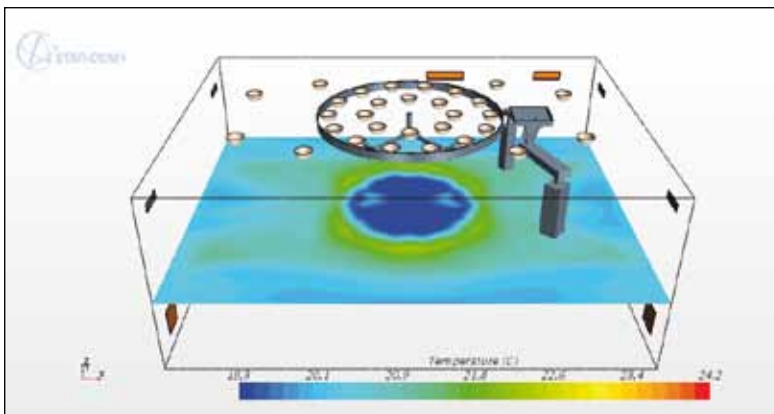


Bild 9: Temperaturbild – Draufsicht 1,2 m Bodenhöhe

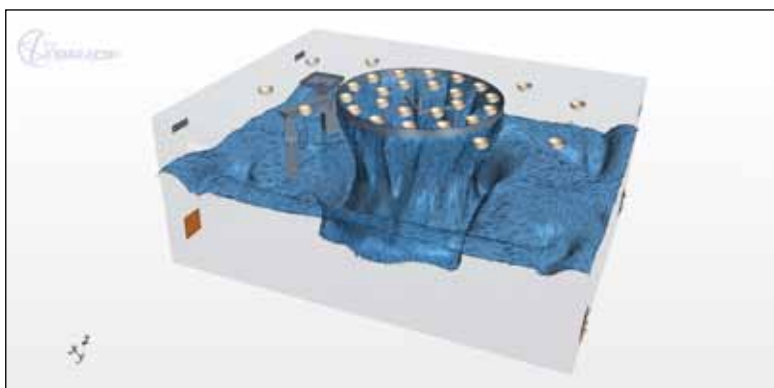


Bild 10: Strömungsbild – Zuluft des *Opragon* (Isosurface)

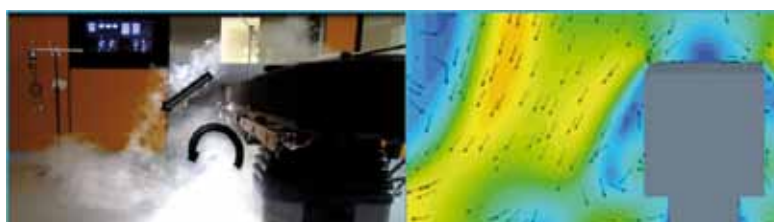


Bild 11: Vergleich der Strömungsvisualisierung (links) mit der Simulation (rechts)

dreht. Anschließend wurden die Agarplatten im Labor kultiviert, die koloniebildenden Einheiten ausgezählt und über das Probeluftvolumen hochgerechnet. Insgesamt sind hierfür drei Messpunkte ausgewählt worden (OP-Tisch, Instrumententisch und Peripherie). Die Luftkeimsammlung ist nach schwedischem Standard [14] während dem normalen Operationsbetrieb ausgeführt worden. Das gesamte Personal im OP (7 Personen) trug Einweg-OP-Kleidung (*Clean Air Suite*) der Firma *Mölnlycke Schweden* aus Polypropylen. Als OP-Haube wurde die sogenannte „*Glenn Hood*“ verwendet. Es wurden keine sterilen OP-Mäntel oder sterilen Handschuhe vom virtuellen „Operationsteam“ getragen, um das System maximal zu belasten. Alle Personen trugen einen Mundschutz (siehe auch **Bild 12**).

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse eingetragen. Es wurden jeweils sechs Messungen durchgeführt. Während der Messungen unterhielt sich das Operationsteam wie bei einer normalen Konversation. Die Personen bewegten kleine Gegenstände in einem zufälligen Muster untereinander. Die Gegenstände wurden ebenso auch zufällig auf dem Instrumententisch abgelegt und von ihm wegbewegt, um einen Operationsablauf nachzuahmen.

In **Bild 13** ist die Versuchsanordnung schematisch dargestellt:

- Abluft: Grüne Pfeile: 100 % der Abluft werden über die Abluftschächte auf Bodenhöhe in den Ecken des Raumes entfernt.
- Die Luftkeimsammelgeräte-Positionen sind mit den roten Pfeilen markiert: OP-Tisch, Instrumententisch und in der Nähe eines Abluftschachtes.
- Vier Personen des OP-Teams und eine Person für die Anästhesisten in der Nähe des OP-Tisches, zwei weitere Personen bewegen sich im Raum.

Die Ergebnisse auf dem OP-Tisch mit  $< 1$  KBE/m<sup>3</sup> sowie am Instrumententisch sind hervorragend. Der Luftkeimsammler, welcher in der „Peripherie“ positioniert war, befindet sich in der Nähe eines Luftauslasses. Dieser Aufstellort ist bewusst gewählt worden, da am Luftauslass der „schmutzigste“ Platz im System ist, an dem alle Bakterien aus dem Raum gesaugt werden. Hier waren es ebenfalls weniger als fünf KBE/m<sup>3</sup>. Im Durchschnitt waren es 1,3 KBE/m<sup>3</sup> während der „Operation“.

### Schutzgradmessung

Die akkreditierte Hygienefirma *Hybeta* untersuchte den Forschungs-OP hinsichtlich Turbulenz- und Schutzgradbestimmung und kam zu folgenden Ergebnissen: Die normativen Vorgaben mit eingeschwenkten OP-Leuchten (Firma *Admecco*) der DIN 1946/4 2008 wurden erfüllt. Es konnte ein Schutzgrad größer zwei nach Anhang C der DIN 1946/4 2008 nachgewiesen werden. Anbei ein Auszug aus dem Messprotokoll der Firma *Hybeta* (**Bild 14**).

### Schlussfolgerungen und Diskussion

Eine RLT-Anlage basierend auf der Differenzialflow-Technologie ist nachweislich effektiv in der Reduktion der Keim- und Partikellast. Diese Tatsache wird auch durch einschlägige Literatur aufgezeigt. Das vorgestellte neue System aus Schweden erzielt vergleich-

Tabelle 4: Auswertung der Luftkeimsammlung

CFU result				
Nr.	Measuring point	CFU/plate	CFU/m <sup>2</sup>	Observations
Ref-	Not exposed	0		Reference plate negative cultivation, ok
Ref+		2		Positive reference plate only displaying 2 cfu, OK
OP 1	OR table	0	<1	
OP 2	OR table	0	<1	
OP 3	OR table	0	<1	Door opens
OP 4	OR table	0	<1	Door opens x3
OP 5	OR table	0	<1	Door opens
OP 6	OR table	0	<1	
	<b>Mean value</b>	0	0,1	
IB 1	Instrument table	1	1	
IB 2	Instrument table	0	<1	
IB 3	Instrument table	0	<1	Door opens
IB 4	Instrument table	0	<1	Door opens x3
IB 5	Instrument table	0	<1	Door opens
IB 6	Instrument table	0	<1	
	<b>Mean value</b>	0,2	0,2	
P 1	Periphery	6	6	Location deliberately chosen close to one air exhaust
P 2	Periphery	2	5	
P 3	Periphery	5	5	Door opens
P 4	Periphery	5	5	Door opens x3
P 5	Periphery	4	4	Door opens
P 6	Periphery	0	<1	
	<b>Mean value</b>	3,7	3,7	
	<b>Mean value in the whole OR</b>	1,3	1,3	

	Schutzgrad Mittelwert	Schutzgrad Minimalwert	Prüfergebnis Schutzwirkung OP-Raum	normativer Mindestwert	Bewertung
Schutzwirkung OP-Tisch mit OP-Leuchten	2,1	1,8	2,1	2,0	in Ordnung*
Schutzwirkung Instrumententisch mit OP-Leuchten	3,0	2,7	3,0	2,0	in Ordnung*

Bild 14: Schutzgradwerte aus dem Messprotokoll

bare Resultate. Konkrete Luftgeschwindigkeits- und Temperaturmessungen sowie die Ergebnisse aus der Simulation und Schutzgradmessung laut *DIN 1946 Teil 4* bestätigen dies. Erste Ergebnisse insbesondere der CFD-Simulation geben Hinweise, dass das System weniger anfällig für Interferenzen mit Geräten ist, die in die Strömung eingebracht werden. Auch bezüglich Personen, die sich im „Schutzbereich“ aufhalten, scheint es weniger „störanfällig“ zu sein. Zudem bietet das *Opragon*-System einige weitere Vorteile. Beispielsweise kann die Raumtemperatur mit diesem System durch die zusätzlichen externen Lüftungsauslässe (Air-Shower) exakt gesteuert werden und Luftschleusen innerhalb des OP beziehungsweise im Türbereich können realisiert werden. Weiterhin können die Größe und Form des Schutzbereichs durch die Anordnung der Luftauslässe variiert werden. Damit kann der OP-Raum als ein Gesamtsystem betrachtet und entsprechend optimiert werden. Der Schwerpunkt liegt nicht mehr auf einem isolierten Schutzbereich. Diese ersten Ergebnisse geben Hinweise, dass das System in Betriebssituationen Vorteile gegenüber anderen Konzepten wie zum Beispiel der turbulenzarmen Verdrängungsströmung hat. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um dies genauer zu untersuchen. Allerdings zeigen die Ergebnisse

bereits, dass das System neben den Anforderungen der *SIS-TS 39: 2012* auch die Anforderungen der *DIN 1946/4: 2008* erfüllt und somit als gleichwertig zu den bisherigen *TAV*-Systemen für die Raumklasse 1a bezeichnet werden kann.

#### Weiterführende Literatur

- [1] Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2007 50: 377–393
- [2] Hirsch T., Hubert H., Fischer S., Lahmer A., Lehnhard M., Steinau H., Steintraesser L., Seipp H., Bacterial burden in the operating room: Impact of airflow systems, *American Journal of Infection Control* (2012) e1–e5
- [3] Memarzadeh F., Jiang Z., Effect of Operation Room Geometry and Ventilation System Parameter Variations on the Protection of the Surgical Site – Policies and Guidelines, Office of Research Facilities at National Institute of Health (2004)
- [4] Kappstein I. Literaturübersicht über die Bedeutung der Luft als Erregerreservoir für postoperative Infektionen im OP-Gebiet (2007)
- [5] Kappstein I. Nosokomiale Infektionen, ISBN 3-88603-838-6. 3. Auflage (2004) S. 294 ff.
- [6] Kappstein I., Aerogene Erregerübertragung im OP – KH-Leitlinie, Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. (2001)
- [7] Benen T., Wille F., Clausdorff L. *Hyg Med* 2013; 38 – 4 S. 142–146 (2013)
- [8] Kramer, A et al. Infektiologische Bedeutung von Raumlufttechnischen Anlagen (RLTA) in Operations- und Eingriffsräumen. *Zentralbl Chir* 135(1): 11–17 (2010)
- [9] Avidicare, Opragon for operating theaters (2014), <http://avidicare.se/en/products-solutions/opragon-for-operating-theaters/> (aufgerufen am 9.10.2014)
- [10] Bauministerkonferenz Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (ARGEBAU), Ausschuss

- für Staatlichen Hochbau, Fachkommission Bau- und Kostenplanung – Netzwerk Krankenhausbau – (2013)
- [11] Friberg B., Friberg S., Burman L., Zoned vertical ultraclean operating room ventilation, *Acta Orthop Scand* 1996; 67 (6): 578–582
  - [12] Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, ALMEMO® Messgeräte und Sensoren Katalog, <http://www.ahlborn.de/getfile.php?2030.pdf> (aufgerufen am 9.10.2014)
  - [13] CD-adapco (2014), STAR-CCM+ User Guide
  - [14] SIS-TS 39: 2012



*Prof. Dr. med. Clemens Bulitta  
Institut für Medizintechnik  
Lehrgebiet Diagnostische Systeme und  
Medizintechnik Management  
Ostbayerische Technische Hochschule  
Amberg-Weiden  
Hetzenrichter Weg 15  
92637 Weiden i. d. Oberpfalz*

*E-Mail: [c.bulitta@oth-aw.de](mailto:c.bulitta@oth-aw.de)  
Web: [www.oth-aw.de](http://www.oth-aw.de)*



#### Liebe Leser der mt-medizintechnik,

ich möchte Sie noch einmal darauf aufmerksam machen, dass die mt auch online verfügbar ist.

Unter [www.mt-medizintechnik.de](http://www.mt-medizintechnik.de) informieren wir Sie über Neuigkeiten aus der Branche und Termine der für Sie relevanten Events, Sie können in der Marktübersicht nach Bezugsquellen für benötigte Medizinprodukte suchen oder nach zuständigen Verbänden recherchieren. Unser Newsletter hält Sie ebenfalls regelmäßig auf dem Laufenden.

Als Abonnent haben Sie Zugriff auf alle Fachartikel seit 1999 und die Hefte der letzten Jahre als Flipbook. Sie können die

mt so auch auf Ihrem PC oder dem Tablet lesen. Melden Sie sich dazu einmalig mit Ihrer Kundennummer an. Wenn Sie noch kein Abonnent der mt sind, haben Sie die Möglichkeit, die Fachartikel der mt kostenpflichtig über die Genios Datenbank herunterzuladen.

Melden Sie sich noch heute an unter [www.mt-medizintechnik.de](http://www.mt-medizintechnik.de) oder sprechen Sie mich an!  
Cindy Bouchagiar