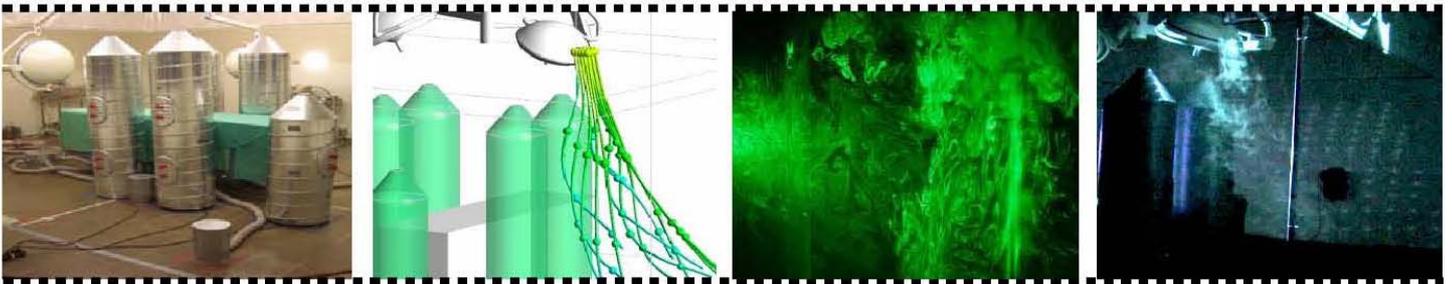


KTI-Projekt 7764.1 EPRP-IW:

Gebäudetechnik im Gesundheitswesen



Ausgearbeitet durch

Hochschule Luzern – Technik & Architektur, HSLU

Technische Fachhochschule Berlin, TFH

Zürcher Hochschule Winterthur, ZHW

AYSID GmbH, Berlin

Im Auftrag des

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie BBT

Förderagentur für Innovation KTI

Dezember 2007

Auftraggeber:

Bundesamt für Berufsbildung und Technologie BBT
Förderagentur für Innovation KTI

Auftragnehmerin:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU)
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21, 6048 Horw

Autoren:

Prof. Kurt Hildebrand, Dominique Helfenfinger, Urs-Peter Menti, Iwan Plüss, Rita Muff Hochschule Luzern –
Technik & Architektur, Horw
Prof. Dr. R. Külpmann, Technische Fachhochschule Berlin, TFH Berlin
Dr. Joachim Borth, Zürcher Hochschule Winterthur, ZHW
Dr. P. Lüderitz, AYSID GmbH, Berlin

Gesuchsteller

Prof. Kurt Hildebrand, Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Dr. Joachim Borth, Zürcher Hochschule Winterthur, ZHW
Dr. Alfred Moser, ETH Zürich, ETHZ

Beirat:

| | |
|-----------------------|--|
| A. Brunner | Schweizerische Gesellschaft für Reinraumtechnik, SRRT |
| A. Cerminara | Association Romande des Agents Techniques Hospitaliers, ARATH Ingenieur Hospital Schweiz IHS Verband Technisches Betriebspersonal im Gesundheitswesen, VTB |
| W. Frei | Verband der Lüftungsapparate-Hersteller, ProKlima |
| Prof. Dr. P. Hartmann | Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima- Ingenieuren, SWKI Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA |
| Prof. Dr. R. Külpmann | Technische Fachhochschule Berlin, TFH Berlin |
| Prof. Dr. Ch. Ruef | Schweizerische Gesellschaft für Spitalhygiene, SGSH |
| Prof. Dr. P. Schwehr | building and renewable energies network of technology, BRENET |
| Prof. M. Trawnika | Hochschule für Technik+Architektur Luzern, HTA Luzern |

Projektpartner:

P. van den Wildenberg, Admeco AG
R. Zimmermann, Atel Gebäudetechnik AG
B. Hagger, Axima AG
M. Bohren, Barcon GmbH
A. Freitag, Belimo AG
K. Zimmerli, Carbamed AG
A. Dellenbach, Clean-Air Service AG
R. Kummerfeld, Dräger AG
A. Materna, Elevite AG
R. Hohl, Hotec Systems GmbH
Dr. P. Lüderitz, Hygiene-Institut Aysid GmbH
H. Knuchel, Knuchel Dämmtechnik AG
M. Hurschler, Lindab AG
H. Zingre, MBV AG
L. Mölter, Palas GmbH
E. Piscitelli, ScanAir plus GmbH
M. Moser, Schmidt Technology GmbH
H. Zingre, Schweiz. Gesellschaft für Reinraumtechnik SRRT
J. Willers, Schweiz. Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren SWKI
T. Meyer, Seven-Air Gebr. Meyer AG
Dr. J. Tödtli, Siemens Schweiz AG
M. Bittner, Skan AG
G. Kobrin, Techniserv SA
M. Boner, Tecnofil AG
A. Rudolph, Topas GmbH
Dr. G. Gottschalk, TROX HESCO Schweiz AG
W. Frei, Unifil AG
F. Zimmermann, Zimmermann Messtechnik AG

Dezember 2007

Dieser Forschungsauftrag wurde durch die KTI mitfinanziert. Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Danksagung

Wir danken zuallererst der KTI für die finanzielle Unterstützung. Der Dank gilt darüber hinaus allen Projekt- und Wirtschaftspartnern für die gute Zusammenarbeit, für die finanzielle und materielle Unterstützung sowie für die geleistete Arbeit. Insbesondere auch dem Rektorat der HSLU T & A danken wir herzlich für die Förderung unseres Projektes. Dem Beirat danken wir für die kritische Hinterfragung unseres Vorhabens und den abgegebenen Empfehlungen. Der Diplomandin Frau Merl und den Diplomanden Caduff, Maurer, Pandurevic, Stuwe, Hengesbach, Bunge, Weber, Mai, Brezinski, Sigg, Lang, Fuchs, Rigo und Dumeng danken wir für die Erarbeitung von wichtigen Grundlagenthemen. Ein ganz spezieller Dank geht an das gesamte ZIG-Team, das uns in unserem Vorhaben immer unterstützt hat. Ihren Einsatz für die Umsetzung unsere Ideen für Neu- und Umbauten haben Sie immer klaglos hingenommen und auf direktem Wege umgesetzt, wenngleich andere wichtige Arbeiten anstanden.

Zusammenfassung

Ausgangslage

Unter den für die Gebäudetechnik im Gesundheitswesen zuständigen Fachleuten herrscht grosse Unklarheit und die heutige Situation ist geprägt von Vorurteilen. Es besteht ein Spannungsfeld zwischen ungenügenden Kenntnissen über Notwendigkeit und Wirksamkeit von lufttechnischen Schutzkonzepten (mit ihren Investitions- und Betriebskosten) und der Wirtschaftlichkeit von Antibiotikaphylaxe sowie den Folgekosten von Infektionen als Folge einer medizinischen Behandlung. Aus medizinischer Sicht empfiehlt sich die Reduktion des Einsatzes von Antibiotika in Spitälern. Eine zentrale Voraussetzung hierfür ist, dass Operationen in einer äußerst keimarmen Umgebung durchgeführt werden. Dazu ist die Turbulenzarme Verdrängungslüftung (TAV) in OP-Räumen ein bewährter Ansatz. Das zu ihrer richtigen Konzeption erforderliche Wissen ist aber noch sehr lückenhaft.

Mit dem KTI-Forschungsprojekt „Gebäudetechnik im Gesundheitswesen“ (GIG) hat die Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU) in Zusammenarbeit mit ausländischen Institutionen und Fachleuten die heute vielerorts unqualifizierten und unkontrollierbaren Verhältnisse bei der Lüftung in Operationsräumen untersucht.

Projektziele

Ziel des Projektes war es, durch optimierte lufthygienische Bedingungen einen möglichst minimalen Eintrag von Mikroorganismen über den Luftweg in Wunden zu gewährleisten. Gleichzeitig sollten aber auch Investitions- und Betriebskosten für den Betrieb der Anlagen reduziert werden. Im Weiteren sollten Massnahmen zur Reproduzierbarkeit von Versuchs- und Abnahmeergebnissen entwickelt werden. Durch Öffentlichkeitsarbeit und Schulungsmassnahmen ist das erworbene Wissen zu verbreiten und in Normen sowie Richtlinien einzubringen.

Erkenntnisse und Resultate

Das KTI-Projekt „Gebäudetechnik im Gesundheitswesen“ bearbeitete folgende Themenfelder:

- Lüftungstechnik
- Komponenten (Beleuchtung)
- Messverfahren
- Strömungssimulationen
- Qualifizierung von Operationsräumen

Grundsätzlich konnte das Projekt erfolgreich abgeschlossen und die Ziele mehrheitlich erreicht werden.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den einzelnen Teilprojekten sind nachfolgend zusammengefasst:

- Der Differentialflow weist gegenüber dem homogenen TAV Vorteile auf
- Mit Umluft-Fassungen primär im unteren Bereich kann ein höherer Schutzgrad erreicht werden
- Bei den Leuchten im Operationssaal ist der strömungstechnische Verbesserungsbedarf mindestens so wichtig wie die Verminderung der thermischen Last
- Die Oberflächentemperaturen der den Raum umschliessenden Flächen sollten möglichst homogen sein, da sonst die Entstehung von unerwünschten Horizontalwalzen der Luft begünstigt wird
- Das in der SWKI 99-3 definierte Messverfahren erfüllt die Anforderungen und weist die für eine Qualifizierung nötige Stabilität auf
- Mittels ausführlichen Validierungen konnte gezeigt werden, dass CFD-Simulationen (Luftströmungssimulationen) heute bei der Konzeptentwicklung und Planung von Operationssälen eingesetzt werden können und neue Erkenntnisse ermöglichen
- Aufgrund der Bedeutung des Themas und der viel versprechenden Erkenntnisse wird eine SIA Norm erarbeitet (SIA 382/8 „Lüftungs- und Klimaanlage in Spitalbauten“). Diese Norm wird einen starken Bezug zum Projekt haben.

Das Teilprojekt 2 „Komponenten“ konnte nicht befriedigend aufgearbeitet werden. Dagegen konnte das Projekt mit der Erarbeitung einer Prüfmethode für Lufthygienegeräte im Isolierzimmer erweitert werden. Darüber hinaus wurden ergänzend mikrobiologische Untersuchungen im OP durchgeführt.

Wissenstransfer

Die Umsetzung der Erkenntnisse und der Wissenstransfer verlief parallel zum Projekt. So konnten verschiedene Spitäler (Vergleich Bericht Kapitel 6 ff) im Rahmen ihrer Bauprojekte umgehend von den Erkenntnissen aus dem Projekt profitieren. Ebenfalls hatten vor allem die am Projekt beteiligten Hersteller, Planer und Unternehmer die Möglichkeit das neue Wissen laufend in ihrer eigenen Tätigkeit umzusetzen. Die Implementierung manifestiert sich:

- in neuen Produkten der Messtechnik (Aerosolverteiler, Aerosolverdünnung, Partikelzählung)
- in neuen Produkten der TAV-Auslässe (hin zum Differenzialflow)
- in neuen Erkenntnissen der Luftströmung im OP: Planungsverbesserung
- in der Anwendung von CFD-Simulationen bei der Forschung und Entwicklung (z.B. Variantenstudien) und in der Planung (z.B. Kostenoptimierung)
- in verschiedenen Schulungsveranstaltungen für Ingenieure und Spitalhygieniker
- durch Generierung einer neuen Spitalnorm (Lüftungs- und Klimaanlage) in der Schweiz
- durch die Erarbeitung eines Prüfverfahrens von Lufthygienegeräten in Isolierzimmern

Fazit

Im Projekt konnten wichtige Grundlagen erarbeitet und wichtige Erkenntnisse gesammelt werden. Die Umsetzung dieser Erkenntnisse braucht Zeit, da die Entscheidungswege bei den involvierten Instanzen komplex und entsprechend lang sind. So werden sich die Verbesserungen aufgrund dieses Projektes erst mit der Zeit zeigen. Das Projekt hat aber gezeigt, dass das Thema von hoher Wichtigkeit und grossen Interesse seitens aller Beteiligten ist, dies zeigt sich nicht zuletzt in der Ausarbeitung einer neuen Norm (SIA 382/8 „Lüftungs- und Klimaanlage in Spitalbauten“) zu diesem Thema.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINFÜHRUNG..... | 10 |
| 1.1 | AUSGANGSLAGE..... | 10 |
| 1.2 | PROJEKTZIELE | 12 |
| 2 | TEILPROJEKT 1: HLK-TECHNIK | 13 |
| 2.1 | ZIELSETZUNG | 13 |
| 2.2 | OP-RAUM | 13 |
| 2.2.1 | <i>Variation der raumseitigen Abströmöffnungen und Zuluftprofile</i> | <i>14</i> |
| 2.2.2 | <i>Einfluss von OP-Lampen und OP-Tischposition auf die Schutzwirkung</i> | <i>15</i> |
| 2.2.3 | <i>Schutzwirkung von OP-Räumen mit Quellluftströmung.....</i> | <i>16</i> |
| 2.3 | LUFTREINIGUNGSGERÄTE FÜR PATIENTENZIMMER ZUR ISOLIER- ODER STERILPFLEGE | 17 |
| 2.3.1 | <i>Prüfraum, Lastanordnung und Prüfverfahren</i> | <i>17</i> |
| 2.3.2 | <i>Effizienz von Umluftreinigungsgeräten</i> | <i>17</i> |
| 2.4 | MIKROORGANISMEN IM OP | 18 |
| 2.5 | FELDMESSUNG IM KANTONALEN SPITAL SURSEE | 20 |
| 2.6 | „STATE-OF-THE-ART“ IN BEZUG AUF LAMINARFLOW-STRÖMUNG IN ANDEREN WIRTSCHAFTSBEREICHEN | 21 |
| 2.7 | EMPFEHLUNGEN FÜR OPTIMALE HLK-TECHNIK IM OP | 22 |
| 2.7.1 | <i>OP-Raum.....</i> | <i>22</i> |
| 2.7.2 | <i>Zuluftdecken</i> | <i>22</i> |
| 2.7.3 | <i>Zuluftverteiler und Luftgeschwindigkeiten.....</i> | <i>23</i> |
| 2.7.4 | <i>Strömungsleiteinrichtungen</i> | <i>23</i> |
| 2.7.5 | <i>Luftführung im OP-Raum.....</i> | <i>23</i> |
| 2.7.6 | <i>OP-Leuchten</i> | <i>24</i> |
| 3 | TEILPROJEKT 2: OP-KOMPONENTEN | 25 |
| 3.1 | ZIELSETZUNG | 25 |
| 3.2 | GRUNDLAGENUNTERSUCHUNGEN | 25 |
| 4 | TEILPROJEKT 3: QUALIFIZIERUNG / MESSUNG..... | 27 |
| 4.1 | ZIELE..... | 27 |
| 4.2 | RINGVERSUCH VON MESSUNTERNEHMEN | 27 |
| 4.3 | ÜBERPRÜFUNG DER ABNAHMEMESSUNG NACH SWKI 99-3..... | 28 |
| 4.3.1 | <i>Überprüfung der Partikelauflagetechnik und Quellstärke</i> | <i>28</i> |
| 4.3.2 | <i>Untersuchung zum Einfluss der Musterlastanordnung</i> | <i>29</i> |
| 4.4 | VERGLEICH DER ABNAHMEVERFAHREN NACH SWKI 99-3 UND DIN 1946/4 ENTWURF | 29 |
| 4.5 | VERBESSERUNGSVORSCHLÄGE IN DEN RICHTLINIEN..... | 30 |
| 4.5.1 | <i>Zusätzliche Rastermessung</i> | <i>30</i> |
| 4.5.2 | <i>Behaglichkeitskriterien.....</i> | <i>30</i> |
| 4.5.3 | <i>Deckenständige Versorgungseinheiten (DVE).....</i> | <i>30</i> |
| 4.6 | ABNAHMEMESSUNGEN | 31 |
| 4.7 | PATENTIERUNG DES AEROSOLVERTEILSYSTEMS | 31 |
| 4.8 | SCHAFFUNG EINER INSPEKTIONSSTELLE | 32 |
| 5 | TEILPROJEKT 4: CFD-SIMULATIONEN | 35 |
| 5.1 | ZIELSETZUNG | 35 |
| 5.1.1 | <i>Einsatzmöglichkeiten von Computational Fluid Dynamics (CFD).....</i> | <i>35</i> |
| 5.1.2 | <i>Dienstleistung für andere Teilprojekte.....</i> | <i>35</i> |
| 5.1.3 | <i>Grundlagen für weiterer Einsatz.....</i> | <i>35</i> |
| 5.2 | VORGEHEN | 36 |
| 5.3 | VALIDIERUNG | 36 |
| 5.3.1 | <i>Fragestellung</i> | <i>36</i> |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.3.2 | Modellierung..... | 37 |
| 5.3.3 | Auswertung und Resultate..... | 38 |
| 5.3.4 | Fazit..... | 40 |
| 5.4 | SCHUTZGRADBESTIMMUNG MIT CFD..... | 41 |
| 5.4.1 | Fragestellung..... | 41 |
| 5.4.2 | Modellierung..... | 42 |
| 5.4.3 | Auswertung..... | 42 |
| 5.4.4 | Resultate des berechneten Schutzgrades im „Original“ OP..... | 43 |
| 5.4.5 | Vergleich des Schutzgrads der CFD-Simulation und der durchgeführten Messungen..... | 45 |
| 5.4.6 | Fazit..... | 45 |
| 5.5 | VARIANTENSTUDIEN MIT BEZUG ZU DEN ANDEREN TEILPROJEKTEN..... | 46 |
| 5.5.1 | Variation Geometrie (Umluftöffnung an der Wand unten)..... | 46 |
| 5.5.2 | Fragestellung..... | 46 |
| 5.5.3 | Modellierung..... | 47 |
| 5.5.4 | Auswertung..... | 47 |
| 5.5.5 | Resultate..... | 48 |
| 5.5.6 | Fazit..... | 49 |
| 5.6 | VARIATION DER UMLUFT-ABSAUGUNG AM BODEN..... | 50 |
| 5.6.1 | Fragestellung..... | 50 |
| 5.6.2 | Modellierung..... | 50 |
| 5.6.3 | Auswertung..... | 51 |
| 5.6.4 | Resultate..... | 51 |
| 5.6.5 | Fazit..... | 53 |
| 5.7 | SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK..... | 53 |
| 5.8 | BEST PRACTICE GUIDELINE..... | 54 |
| 5.8.1 | Geometrie..... | 54 |
| 5.8.2 | Netzgenerierung..... | 54 |
| 5.8.3 | Unstrukturiert..... | 55 |
| 5.8.4 | Modellierung /Randbedingungen..... | 57 |
| 5.8.5 | Simulation..... | 59 |
| 5.8.6 | Auswertung..... | 61 |
| 6 | TEILPROJEKT 5: WISSENSTRANSFER..... | 64 |
| 6.1 | ZIEL..... | 64 |
| 6.2 | BAUEN NACH DEN NEUSTEN ERKENNTNISSEN..... | 64 |
| 6.3 | KONZEPTIDEEN FÜR DEN WISSENSTRANSFER..... | 65 |
| 6.3.1 | Weiterbildungsveranstaltungen von Fachpersonal..... | 65 |
| 6.3.2 | Öffentlichkeitsarbeit..... | 66 |
| 6.3.3 | 1.Variante: Virtuelle Dienstleistungen der einzelnen Projektpartner..... | 67 |
| 6.3.4 | 2.Variante: Virtuelle Dienstleistungen als Gesamtprojektteam..... | 67 |
| 6.3.5 | Kreieren des Labels/Brand „HSLU“..... | 68 |
| 6.4 | PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGEN..... | 69 |
| 6.5 | SEMESTER- / DIPLOMARBEITEN..... | 72 |
| 6.6 | NORMENARBEITEN..... | 73 |
| 7 | ZUKUNFTSPERSPEKTIVE / NÄCHSTE SCHRITTE..... | 74 |
| 8 | SCHLUSSBEMERKUNGEN..... | 76 |
| 9 | ANHANG..... | 77 |
| 9.1 | LITERATURVERZEICHNIS..... | 78 |

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

„GIG“ Gebäudetechnik im Gesundheitswesen ist ein interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungsprojekt. Die von der Gesundheitspolitik angestrebte Kostentransparenz und Fallpauschalen für Behandlungseinheiten führen zu neuen Strategien und Kosten/Nutzenbetrachtungen. Es wird interessant, den Kunden (Patienten) möglichst kurze Zeit betreuen zu müssen. Um dies zu erreichen müssen die Gebäudetechnischen Ausrüstungen mit den klinisch-medizinischen und den Hygieneanforderungen, in der Gesamtheit betrachtet, übereinstimmen.

Die weitere Ausbreitung von multiresistenten Keimen und der entsprechend zunehmende Einsatz von immer teureren Antibiotika in Spitälern und anderen Gesundheitseinrichtungen muss nachhaltig reduziert werden.

Im Gebäudetechnischen Bereich leisten wir mit diesem Projekt Beiträge in Forschung und Entwicklung mit dem Ziel, die Kosten im Gesundheitswesen sowie im Gebäudetechnischen Bereich um jährlich min. 24 Mio SFr. zu senken:

Medizinisch-chirurgische Eingriffe stellen höchste Anforderungen an die Keimarmut der Luft in den Operationssälen, nicht jedoch in den Vorräumen. Heute fokussieren wir uns darauf, im Bereich des Wundfeldes und der Instrumententische die bestmöglichen Voraussetzungen (Asepsis) für das Interventionsteam zu schaffen.

Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage sind notwendig aus Gründen

- der Physiologie / Behaglichkeit (Wohlbefinden),
- der spitalspezifischen Raumlufthygiene (Infektionsprophylaxe),
- der technischen Prozesse (Anforderungen an Funktionalität und Sicherheit).

Die Klimatechnik dient in erster Linie zur Sicherung von physiologisch und arbeitsmedizinisch optimalen Bedingungen. Dieser Aspekt ist in Zukunft vermehrt in den Vordergrund zu stellen. Der derzeit ausserhalb der Operationsräume betriebene Lüftungstechnische Aufwand zur Keimzahlreduktion in der Raumluft erscheint unter Würdigung aller zum Infekt führenden Wege in vielen Fällen zu hoch, besonders was die Investitions- und Folgekosten anbelangt.

Die neuen Konzepte der Klimatechnik sind auch im Spitalbereich sinnvoll anzuwenden. Grundlage dazu sind die von den Hygienikern neu formulierten Anforderungen an die spitalhygienische Beschaffenheit der Luft und die damit verbundenen Vereinfachungen für die Klima- und Lüftungstechnik aus spitalhygienischer Sicht. Hohe Anforderungen an die Keimarmut und an die Schutzwirkung der Luft betreffen nur die unmittelbare Umgebung bei invasiven Eingriffen, bei der Pflege von immunsupprimierten Patienten, bei Behandlungen mit gefährlichen luftgetragenen Stoffen und bei der Isolierpflege. Die moderne Spitalhygiene konzentriert damit ihr Interesse an

möglichst keimfreier Luft oder gerichteten Luftströmungen auf genau definierte Bereiche. Die Anforderungen sind funktionsabhängig und von Raum zu Raum verschieden.

Es scheint daher zweckmässig, bezüglich Charakterisierung der erforderlichen raumluftechnischen Ausstattung nach komforttechnischen und nach infektionsprophylaktischen Merkmalen zu unterscheiden.

Davon ausgehend, dass die Zuluft nach den endständigen Filtern keimfrei in die Räume eingeblasen wird, sind als Emittenten von Mikroorganismen vor allem das Operationsteam, das Pflegepersonal und der Patient selbst zu beachten. Medizintechnische Einrichtungen und Ausstattungen wirken vorwiegend als thermische Belastung. Neben den spitalspezifischen Anforderungen müssen die RLT-Anlagen auch die "normalen" Bedingungen erfüllen.

Auf Grund von Evaluationen, Diplomarbeiten von Studierenden und Laborversuchen konnte festgestellt werden, dass der fehlende gesamtheitliche Ansatz bisheriger Konzepte offensichtlich wurde. Die Ergebnisse und Messresultate befriedigen in keiner Weise.

Unsere Arbeit hatte zum Ziel hier die richtigen Arbeiten zu leisten und Inputs für die Planung, Betrieb, Qualifizierung und Unterhalt zu liefern. Das Ziel konnte erreicht werden. Zusätzlich wurde ausgelöst, dass der Schweizerische Verein für Ingenieure und Architekten (SIA) eine Norm zum Thema Lüftungs- und Klimaanlage in Spitälern erarbeitet. Die Normenarbeit wurde bereits aufgenommen.

1.2 Projektziele

Der derzeitige Zustand der Gebäudetechnik im Gesundheitswesen ist gekennzeichnet von Unklarheiten und Vorurteilen. Es besteht ein Spannungsfeld zwischen ungenügenden Kenntnissen über die Notwendigkeit und Wirksamkeit von lufttechnischen Schutzkonzepten – mit ihren Investitions- und Betriebskosten bei integraler Betrachtung – auf der einen Seite und der Wirtschaftlichkeit von Antibiotikaphylaxe und Infektionsbehandlungskosten auf der anderen Seite. Aus medizinischer Sicht muss der Einsatz von Antibiotika in Spitälern möglichst reduziert werden. Eine zentrale Voraussetzung dafür ist, dass Operationen in einer sehr keimarmen Umgebung durchgeführt werden. Die Verdrängungslüftung ist hierzu ein viel versprechender Ansatz. Der Wunsch nach einer gesamtheitlichen Betrachtung der Gebäudetechnik und der Hygiene und somit nach einer funktionierenden OP-Einheit, wird somit auch gleichzeitig zur Fragestellung. Wie kann ein Konzept erarbeitet werden, das den hygienischen sowie den üblichen gebäudetechnischen Ansprüchen genügt. Wie sieht das zukünftige Hygiene- und Gebäudetechnik – Schutzkonzept, unter Erreichung der vorgeschriebenen Kennwerte, aus.

Ziel des Projektes ist es, bei optimierten lufthygienischen Bedingungen einen verminderten Eintrag von Bakterien in Wunden über die Luft zu erreichen. Gleichzeitig sollen Kosten und Energieverbrauch reduziert werden. Für praktische Versuche gibt es an der HTA Luzern einen realen Operationssaal. Parallel dazu werden mit Simulationsprogrammen die Luftströmungen in einem OP berechnet und analysiert. Zudem werden Verbesserungsmaßnahmen zur genaueren Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen entwickelt. Durch Öffentlichkeitsarbeit und Schulungsmaßnahmen wird das erarbeitete Wissen in der Fachöffentlichkeit verbreitet und in Normen und Richtlinien einfließen.

Die Ziele sind, des besseren Verständnisses und der einfacheren Koordination wegen, in fünf Teilprojekte (TP 1 – TP 5) gegliedert. Diese werden im Einzelnen bearbeitet und übergeordnet interdisziplinär zusammengeführt.

Folgende Teilprojekte führen zu einem gesamtheitlichen Hygiene- und Gebäudetechnik- Schutzkonzept:

- **TP 1 HLK-Technik:** Energieeffizienz, Behaglichkeit und Hygieneoptimierung
- **TP 2: OP-Komponenten:** Strömungsoptimierung, Neuentwicklung
- **TP 3 Qualifizierung / Messung:** Qualitätskontrolle, Qualitätssicherung, Inspektionsstelle
- **TP 4 CFD-Simulationen:** Anwendung von CFD, Aufbau eines Leitfadens
- **TP 5 Wissenstransfer:** Vertrauen der Bauherren in die Planungssicherheit).

2 Teilprojekt 1: HLK-Technik

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Resultate aus den verschiedenen Arbeiten zusammengefasst. Detailinformationen können in den einzelnen Arbeiten nachgelesen werden.

2.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Teilprojektes war die vorhandene Luftströmung und die wesentlichen Einflussfaktoren in einem OP zu kennen. Von diesen Erkenntnissen ausgehend, wurden Massnahmen zur effektiven Kontrolle der Luftströmungen im Raum getroffen und damit eine definierte Schutzwirkung entsprechend der geforderten Hygieneanforderungen erreicht. Am Schluss sollte ein Gebäudetechnikkonzept vorliegen, welches eine optimale Schutzwirkung garantiert.

2.2 OP-Raum

Nachdem Mitte 2005 das Forschungsvorhaben startete, konnten die ersten systematischen Untersuchungen zur Stabilisierung der Anlagentechnik und zum Aufbau der Messtechnik im neu errichteten Prüfstands-OP-Raum der Hochschule Luzern - Technik & Architektur (nachfolgend nur noch HSLU genannt) beginnen. Mit dieser Thematik beschäftigten sich die Semester- bzw. Diplomarbeiten [1] und [2]. Der durch diese Arbeiten erreichte praktisch störungsfreie Betrieb der Anlagen und der Messtechnik sowie die schon bei der Planung vorgesehene Ausführungsvariabilität der Versuchseinrichtungen waren die ursächlich, dass die nachfolgenden Arbeiten stets zügig und problemlos durchgeführt werden konnten.

Weiterführende Literatur:

- [1] *Caduff / Maurer; Prüfstand OP-Qualifizierung nach Spitalrichtlinie 99-3. Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2004*
- [2] *Pandurevic / Stuwe; Vorbereitung und Durchführung von Abnahmen bei Raumluft-technischen Anlagen für OP-Räume, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2005*

2.2.1 Variation der raumseitigen Abströmöffnungen und Zuluftprofile

Für eine gute Schutzwirkung kommt es unter anderem auf eine „passende“ Lage der Abluft- und Rückluftöffnungen an, bezogen auf die Ausführung des Zuluftdurchlasses und der Raumgeometrie. In diesem Forschungsvorhaben wurde nur eine Raumgeometrie L x B x H: 7,2 x 6.5 x 3.2 m vom OP-Raum und eine Größe und Position vom Zuluftdurchlass untersucht. Der Durchlass war in der Raummitte angeordnet und hatte eine Bruttofläche von 3,2 x 3,2 m. Hauptsächlich bei den Diplomarbeiten [3] und [4] wurden zwei verschiedene Geschwindigkeitsprofile verwendet: eine gleichmäßige Ausströmung der Zuluft sowie ein profilierte Ausströmung, bei der im Zentrum des Durchlasses die Zuluft über eine breite Fläche (3.1 x 0,6 m) mit etwa einer doppelt so hohen Geschwindigkeit ausströmte als aus den Randbereichen des Zuluftdurchlasses (im folgenden als Differenzialflow bezeichnet). Bei diesen Zuluftprofilen wurden die Abluft- und Rückluftdurchlässe an den Wänden und Decken des OP-Raumes hinsichtlich ihrer Lage variiert und der Einfluss auf die Schutzwirkung jeweils bei SWKI-Musterlastanordnung messtechnisch ermittelt. Generell zeigte sich, dass die erreichbare Schutzwirkung bei einem gleichmäßigen Ausströmprofil sehr schlecht ist, so lange der Einfluss von OP-Lampen gegeben ist (Werte um 1, je nach OP-Leuchtenart). Erst beim Ausschwenken der OP-Lampen aus dem Schutzbereich wurden recht gute Schutzwirkungen erreicht. Diese Art der Versuchsanordnung ist aber praxisfremd und sollte nur die Ursache für die schlechten Schutzwirkungen ergründen.

Erst bei dem Differenzialflowprofil konnten insgesamt besserer Schutzgradwerte erreicht werden, die mit dem Werten um mindestens 2,5 auch dem Anspruch einer lufthygienisch mindestens erforderlichen Schutzwirkung nachkamen. Wiederum war der grosse Einfluss der OP-Lampen zu erkennen und zusätzlich der Einfluss der Lage der Abströmöffnungen. Es zeigte sich, dass die besten Schutzwirkungen erreicht werden können, wenn mindestens die Rückluftfassungen in Fußbodennähe angeordnet sind. Dann können Schutzwirkungen trotz strömungstechnisch schlecht geformter OP-Lampen von über Drei erreicht werden.

In der Diplomarbeit [7] wurde ein weiterer Differenzialflow mit einem Kernfeld von 2 x 1 m untersucht. Mit ihm konnten die Schutzwirkungen zum einen noch einmal wesentlich verbessert werden (Schutzwirkung mindesten 4 bei allen Lastvarianten im Schutzfeld), zum anderen zeigte sich bei der Variation der Rückluftöffnungen von der Position in Fußbodennähe gegenüber der Anordnung in Deckennähe, dass sich die Schutzwirkungen praktisch nicht verschlechterten.

Es sei angemerkt, dass alle Versuche mit einer bis auf Türhöhe heruntergezogenen, umlaufenden Strömungsschürze, deren Notwendigkeit bekannt ist, gefahren wurden.

Aus früherer Literatur ist bekannt, dass die Umströmung von Strömungsstörkörpern (z.B. OP-Lampe) in einer Verdrängungsströmung günstiger ist, wenn die Zuluft eine mässige statt eine sehr niedrigen Grundturbulenz

aufweist. Vor dem Hintergrund, dass ein Gleichstromprofil der Zuluft insgesamt unbefriedigend niedrige Schutzwirkungen erzielt, wurde für diese Profilart noch die Grundturbulenz variiert, indem verschiedene Zuluftdurchlässe geformt wurden. Es wurde deutlich, dass sich die Schutzwirkung um 100% steigern lässt, wenn man ein Lochblech statt eines Gewebeverteilers als Zuluftdurchlass verwendet. Dabei wurde die Schutzwirkung bei den Bedingungen nach SWKI 99-3 [9] von knapp 1 auf knapp 2 gesteigert, wenn das Lochblech installiert wurde. Insgesamt ist diese Optimierung der Zuluftströmung aber nicht zu empfehlen, da mit einem Differenzialflow noch erheblich bessere Schutzwirkungen erreichbar sind.

Weiterführende Literatur:

- [3] *Hengesbach, Christian; Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung (homogene Geschwindigkeitsverteilung), Diplomarbeit, FH Köln, August 2006*
- [4] *Bunge / Weber; Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung (Differential-Flow), Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2006*

2.2.2 Einfluss von OP-Lampen und OP-Tischposition auf die Schutzwirkung

Der große Einfluss der OP-Lampen auf die Schutzwirkung ist seit langem bekannt. Bei der Diplomarbeit [7] wurden daher differenzierte Messungen vorgenommen, um getrennt den thermischen und den geometrischen Einfluss der OP-Lampen auf die Schutzwirkung feststellen zu können. Hierzu wurden bei verschiedenen Zuluftströmungsprofilen, Zuluftvolumenströmen und Lastanordnungen die Positionen der OP-Lampen variiert und bei schlechten Schutzwirkungen ausgeschaltet, um die mögliche Verbesserung der Werte infolge des entfallenden thermischen Auftriebes über den Lampen festzustellen. Es zeigte sich, dass herkömmlich gestaltete OP-Lampen (in der o.g. Diplomarbeit als Standardleuchten bezeichnet) einen so erheblichen geometrisch bedingten Störeinfluss haben, dass ihre thermische Verbesserung durch Leuchtmittel mit weniger Stromaufnahme von weniger Wert ist, als sie geometrisch zu verbessern.

Insgesamt konnten mit strömungstechnisch optimierten OP-Leuchten und noch herkömmlichen Leuchtmitteln beim Einbau unter Differenzialflows sehr gute Schutzwirkungen erreicht werden. So ergab sich sogar noch bei einem Zuluftstrom von etwa 7.500 m³/h und einem Differenzialflow mit einem Kernfeld von 2 x 1 m eine Schutzwirkung nach SWKI-Bedingungen von 4,5. Selbst bei Positionierung einer OP-Leuchte über Messpunkt Zwei (Tischmitte) erreicht der Differenzialflow 2 x 1 m noch eine Schutzwirkung von 3,3.

Im Rahmen der Diplomarbeit von [7] wurde auch noch die Musterlastanordnung unter dem Differenzialflow 2 x 1 m so verändert, dass der OP-Tisch mit dem Kopfende über den Rand des Schutzbereiches hinaus verschoben und ein Anästhesietuch in Verlängerung zur Strömungsschürze erprobt wurde. Es wurde zum einen

deutlich, dass die Schutzwirkungen im üblichen OP-Feld (zwischen den Operateuren) sowie auf den Instrumententischen am Fußende des OP-Tisches unverändert sehr gut blieben. Zum anderen konnte aber auch eine deutliche Auftriebsströmung am Anästhesietuch nachgewiesen werden, solange das Tuch mit dem unteren Ende den OP-Tisch berührte und so die Abströmmöglichkeit der Verdrängungsströmung behindert wurde. Diese auf Video festgehaltenen Versuche können auch für die Schulung von OP-Personal verwendet werden. Die zuletzt durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die Kombination aus Differenzialflow 2 x 1 m Gewebeverteiler und optimierten OP-Leuchten der momentane Stand der Technik sein sollte. Nur bei sehr ungünstiger Positionierung der optimierten OP-Leuchten stößt der Differenzialflow 2 x 1 m Gewebeverteiler an seine Grenzen. Es sollte in der Praxis darauf geachtet werden, dass die OP-Leuchten nicht direkt über dem Wundfeld positioniert werden.

Da mit dem Differenzialflow 2 x 1 m Gewebeverteiler sehr gute Ergebnisse nach SWKI 99-3 [9] erreicht wurden, wurde hier eine Behaglichkeitsmessung nach SWKI 99-3 [9] durchgeführt. Die Ergebnisse lagen hier im Grenzbereich der Behaglichkeit. Es ist jedoch davon auszugehen, dass nur die in der Regel leicht bekleideten Anästhesisten eher frieren werden, während es für schwer arbeitende Operateure mit flüssigkeitsdichtem Kittel möglicherweise noch zu warm ist.

Weiterführende Literatur:

[7] *Brezinski / Mai; Prüfung der Wirksamkeit von Luftführungskonzepten in Operationsräumen, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2007*

2.2.3 Schutzwirkung von OP-Räumen mit Quellluftströmung

Bei der letzten Diplomarbeit wurde der OP-Raum dahingehend umgebaut, dass die Zuluft im bodennahen Bereich eingebracht und die Ab- und Umluft an der Decke abgesaugt wurde. Es ergab sich eine Quellluftströmung im Raum. Auch diese Form der Luftströmung sollte auf ihre Schutzwirkung in OP-Räumen in Anlehnung an das Abnahmeverfahren nach SWKI 99-3 [9] bzw. VDI 2167-1 [11] untersucht werden. Die mit dieser Strömung erreichte Schutzwirkung betrug jedoch nur etwa Eins. Quelllüftung kann daher nicht als Ersatz für eine Verdrängungslüftung im OP-Raum angesehen werden, wohl aber als eine Alternative für Mischlüftung in OP-Räumen der Raumklasse 1b.

Weiterführende Literatur:

[7] *Brezinski / Mai; Prüfung der Wirksamkeit von Luftführungskonzepten in Operationsräumen, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2007*

2.3 Luftreinigungsgeräte für Patientenzimmer zur Isolier- oder Sterilpflege

2.3.1 Prüfraum, Lastanordnung und Prüfverfahren

Vor dem Hintergrund, dass es derzeitig noch kein festgelegtes Abnahmeverfahren gibt, um die Effizienz von Luftreinigungsgeräten festzustellen, wurde an der HSLU im Rahmen des Forschungsvorhabens ein Musterraum aufgebaut, der einem üblichen Patientenzimmer als Einzelraum gleicht. Er besteht aus einer Nasszelle und dem Patientenzimmer. Ausgestattet wurde der Raum mit einem Patientenbett sowie einer Tisch- und Stuhlkombination. Der Raum war gegenüber der Umgebung lufttechnisch an allen Wänden versiegelt und die Oberflächen lackiert, so dass keine Partikel undefiniert frei gesetzt werden konnten.

Im Rahmen einer ersten Versuchsreihe [5] wurden die ersten Fragestellungen zur Festlegung eines standardisierten Abnahmeverfahrens untersucht. Zusätzlich wurde ein Prüfling mehrmals so verändert, dass er schließlich eine gute Lüftungseffizienz erreichte.

In der Semesterarbeit [8] wurde dann das Abnahmeverfahren weiter präzisiert. Nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse kann das so genannte Abklingverhalten einer Anfangspartikelkonzentration im Musterraum reproduzierbar gemessen werden. Als Versuchsparameter sollte die geöffnete bzw. geschlossene Tür zur Nasszelle einbezogen werden, um die Lüftungseffizienz unter realitätsnahen Lastveränderungen für den Prüfling festzustellen.

Weiterführende Literatur:

- [5] *Fuchs / Giston / Rigo; Hygienegerät Luftreiniger zum Personenschutz bei der Isolierpflege gemäss Einschliessungsverordnung, Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2006*
- [8] *Merl Daniela; Untersuchung der Wirksamkeit von Umluftreinigern in der Isolierpflege, Semesterarbeit Juli 2007 und Diplomarbeit Januar 2008, HTA Luzern, Juli 2007*

2.3.2 Effizienz von Umluftreinigungsgeräten

Insgesamt zeigte sich, dass eine bisher in der Diskussion befindliche Abklingzeit von maximal 15 Minuten zumindest vom dem in der oben genannten. Diplomarbeit genannten Baumuster erreichbar ist. Weitere Prüflinge sind zur Zeit anlässlich der Diplomarbeit [8] in Arbeit.

Weiterführende Literatur:

- [8] *Merl Daniela; Untersuchung der Wirksamkeit von Umluftreinigern in der Isolierpflege, Semesterarbeit Juli 2007 und Diplomarbeit Januar 2008, HTA Luzern, Juli 2007*

2.4 Mikroorganismen im OP

Mikroorganismen können in Operationssälen zu Infektionskrankheiten wie zum Beispiel zu Gelenkentzündungen führen. Aus diesem Grund muss die Luftkeimbelastung in Operationssälen auf ein Minimum reduziert werden. Deshalb ist ein zuverlässiges Lüftungssystem von grosser Bedeutung. Nicht nur das Operationsfeld, sondern auch der Instrumententisch mit den sterilen Instrumenten muss vor Bakterien geschützt werden.

Während eines simulierten Operationsbetriebes (zählen von sterilen Schrauben) im Labor-OP an der HTA Luzern wurden Keim- und Partikelmessungen unter dem TAV-Auslass durchgeführt. Bei den Messungen sollte aufgezeigt werden, dass im Operationsfeld bei normalen Betriebsbedingungen bzw. Operationssimulationsbedingungen eine geringe Keimbelastung, die kleiner als 10 KBE/m^3 ($\text{KBE/m}^3 = \text{Koloniebildende Einheiten pro m}^3 \text{ Luft}$) sein soll. Als Vergleich wurde die Studie von Junghanns e.a. "Experimentelle Untersuchungen zur Keim- und Partikelbelastung in einem Operationsraum mit laminarer Verdrängungsströmung" herbeigezogen.

Während der detaillierten und genauen Vorbereitung legten die Verantwortlichen grossen Wert auf einen Besuch im Spital Sursee- Wolhusen, um den Ablauf einer Operation und die Bewegungen des OP-Teams bei einer solchen genau zu analysieren.



Abbildung 1 „OP-Team“ während einer Messung beim Zählen von Schrauben

Die bisherigen Ergebnisse der Messungen ergaben, dass der Schutz bei einer gleichmässigen Ausströmung der Zuluft (homogene Geschwindigkeitsverteilung) von 0.24 m/s nur beschränkt wirksam ist. Am Boden beim

Operationstisch wurde bis 263 KBE/m³, auf dem Operationstisch von 3 bis 119 KBE/m³ und auf dem Instrumententisch von 19 bis 68 KBE/m³ gemessen. Dabei fielen die Luftkeim- und Partikelmessungen höher aus als bisher angenommen wurde. Die Ursache der hohen Keimanzahl ist auf das OP-Team zurückzuführen, da von der Zuluftdecke praktisch keine Partikel und somit auch keine Keime ausgehen. Die wenigen Messungen zeigen ausserdem, dass die Partikelanzahl zwar ungefähr gleich bleibt oder abnimmt, während zunehmender Versuchszeit die Keimzahl aber z. T. extrem ansteigt. Dies kann auf unregelmässige Keimfreisetzung und/oder eventuell auf die Handhabung der Nährböden beim Wechseln der Platten zurückzuführen sein.

Weiterführende Literatur:

[6] Lang / Sigg; *Mikroorganismen im Operationssaal, Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2006*

2.5 Feldmessung im kantonalen Spital Sursee

Die HTA Luzern hat den Auftrag erhalten, die Abnahmemessungen für die neu erstellten Operationssäle im kantonalen Spital Sursee durchzuführen. Die ersten Messungen ergaben Schutzgrade von kleiner 0.5. Zusammen mit der Herstellerfirma wurden die Operationssäle und die TAV mit den ersten Erkenntnissen aus dem Projekt (Differenzialflow, Overflow im Bodenbereich, etc.) modifiziert. Dadurch konnten Schutzgrade grösser Vier erreicht werden.



Abbildung 2 Messeinrichtung im kantonalen Spital Sursee

Diese umfassende Verbesserung der Ergebnisse zeigt eindrücklich, dass sowohl das in der SWKI 99-3 [9] dargestellte Abnahmeverfahren für die Suche nach selektiven Verbesserungen verwendet werden kann, als auch, dass anlagentechnische Verbesserungen mit relativ geringem zeitlichen Aufwand umzusetzen sind.

2.6 „State-of-the-art“ in Bezug auf Laminarflow-Strömung in anderen Wirtschaftsbereichen

Die industrielle Reinraumtechnik wird sehr stark von der Microelektronik-Produktion geprägt – die in diesem Gebiet wegen der hohen Integrationsdichte und den daraus resultierenden Reinheitsanforderungen eine eigentliche Schrittmacherfunktion innehält. Bezogen auf die installierte Reinraumfläche ist dieser Industriezweig jedoch weniger bedeutend. Wesentlich für den Bereich der Reinraumtechnik sind Räume der ISO-Klassen 5 (sterile Bedingungen) und die ISO-Klasse 7 (reine Bedingungen). Diese Reinräume werden in grossem Stil in der Pharma- und Medizintechnik-Produktion aber auch in der Lebensmittelverarbeitung eingesetzt.

Auch die Operationssäle fielen in diese Reinheitsklasse, könnten diese nach den bekannten ISO-Richtlinien klassiert werden. Dies ist jedoch nur bedingt möglich, bestehen doch wesentliche Differenzen in Konzept und Betrieb. Ist es in der reinen Produktion oberstes Ziel, alle Kontaminanten aus dem kritischen Bereich zu eliminieren und Eingriffe im laufenden Prozess am Produktionsort wenn immer möglich zu vermeiden, emittieren bei einer Operation sowohl der Patient selbst als auch das OP-Team wesentliche Mengen an Mikroorganismen in unmittelbarer Nähe zum kritischen Bereich – dem Eingriffsort. Bei der reinen Produktion wird die Raumluftechnik, d.h. die Luftströmung zur Erreichung der drei Schutzziele „Personen-, Produkt- und Umweltschutz“ eingesetzt. Dazu sind verschiedene Schutzkonzepte entwickelt worden. Im Operationsaal sind jedoch weitere Kriterien zu berücksichtigen, was eine Ergänzung der klassischen Reinraumkonzepte bedingt.

Folgende zwei wesentliche Differenzen zur klassischen Reinraumtechnik sind hervorzuheben:

Erstens: Da im kritischen Bereich gearbeitet werden muss, sind physikalisch Barriertechniken (Einhausungen) nicht oder nur bedingt möglich. Daraus folgend ist eine neue Schutztechnik zu etablieren – die frei strömende, turbulenzarme Verdrängungsströmung (f-TAV).

Zweitens: Patient und Team emittieren Keime in unmittelbarer Nähe des Eingriffortes. Diese sind mit der gerichteten Luftströmung so schnell wie möglich aus dem kritischen Bereich zu entfernen bzw. so zu lenken, dass diese in entferntere Bereiche des Raumes gespült werden.

Um dieses Ziel, die Etablierung der f-TAV voranzubringen, sind umfangreiche, die klassische Reinraumtechnik ergänzende Forschungsaufwendungen nötig. Das Grundwissen, wie dieses z.B. in den ISO-Normen 14644 „Reinraumtechnik“ [13] oder der VDI-Richtlinienfamilie 2083 „Reinraumtechnik“ [14] niedergeschrieben ist, wird selbstverständlich in die Arbeit miteinbezogen. Möglicherweise können Erkenntnisse aus dieser Forschung in der industriellen Reinraumtechnik bei zukünftigen Einsatzfeldern von Nutzen sein.

Weiterführende Literatur: [12] **Helpenfinger Dominique; „State-of-the-art“ in Bezug auf Laminarflow-Strömung in anderen Wirtschaftsbereichen, Horw Dezember 06**

2.7 Empfehlungen für optimale HLK-Technik im OP

2.7.1 OP-Raum

Der Raum als Ganzes mit allen lüftungstechnisch wirksamen Eigenschaften und Komponenten

- Größe und Geometrie,
- Zuluftverteiler mit oder ohne Strömungsleiteinrichtungen,
- Ort und Größe von Umluftfassungen, Abluftfassungen und Überströmöffnungen,
- medizintechnischen in der TAV-Strömung montierten oder einschwenkbaren Ausrüstungen hat eine komplexe Schutzwirkung gegen luftgetragene Keime durch
- Verdünnung, Vermischung und Abführung, bevor die Kontaminanten in die Nähe des Schutzbereiches gelangen können, und
- Verdrängung an der Grenze des Schutzbereiches.

Die komplexe Schutzwirkung eines individuellen OP-Raumes mit seinen individuellen Gegebenheiten kann nur mit einer individuellen Leistungsprüfung nach SWKI 99-3 [9] / VDI 2167-1 [11] festgestellt werden. Alle durch das deutsche DIN im Normenentwurf E DIN 1946-4: 2007-06 [15] geschriebenen voneinander unabhängigen "Typprüfungen" einzelner Komponenten sind ungeeignet.

2.7.2 Zuluftdecken

Es werden zwei Typen von Zuluftdecken unterschieden:

- nur filtrierende (H13) Zuluftauslässe und -verteiler mit einem in einem separaten Technikraum aufgestellten Umluftgerät, in dem die Umluft aus dem OP-Raum filtriert (üblich F7), mit einem Anteil aufbereiteter Außenluft gemischt und ggf. gekühlt wird,
- filtrierende Mischluftdecken und -verteiler mit im OP-Zwischendeckenraum oder in den OP-Ecken oder zwischen den OP-Räumen installierten Umluftmodulen mit den Funktionen Filtrieren (F7) und Kühlen („trockene“ Kühlung mit Sicherheits-Kondensatableitung)

Die zweite Version ist hygienisch ebenso sicher wie die erste Version, beansprucht aber wesentlich weniger baulich-investitionskritisches „umbautes Raumvolumen“. Als Mindestgröße der Luftaustrittsfläche sind 9 m² allgemein anerkannt.

2.7.3 Zuluftverteiler und Luftgeschwindigkeiten

Die thermische Aufwärtsströmung an der Bekleidungsfläche der am OP-Tisch stehenden Personen beträgt bei einer Zulufttemperatur von 22°C etwa 0,26 m/s aufwärts. Die Vertikalstromgeschwindigkeit in Höhe OP-Tisch muss also mindestens 0,27 m/s betragen. Die aus der traditionellen Reinraumtechnik bekannten Zuluftverteiler („Homogenflow“) bräuchten dazu bei 3,1 x 3,1 m Netto-Austrittsfläche einen Zuluftvolumenstrom von mindestens 9'400 m³/h. Die seit etlichen Jahren von wenigen Herstellern angebotenen Differentialflow-Verteiler mit im Zentrum höheren Austrittsgeschwindigkeiten (>0,35 m/s im Zentrum, >0,20 m/s im Randbereich) sind den traditionellen Verteilern hinsichtlich der Schutzwirkung um Größenordnungen überlegen.

2.7.4 Strömungsleiteinrichtungen

Feste oder flexible Strömungsleiteinrichtungen („Schürzen“) verlagern den Beginn der turbulenten Randauflösung des TAV-Stromes nach unten. Der effektive Schutzbereich wird dadurch vergrößert.

Nicht wenige Chirurgen lehnen Strömungsleiteinrichtungen grundsätzlich mit kaum nachvollziehbaren Begründungen wie

- man fühle sich beengt
- man könne sich den Kopf stoßen
- die lieb gewordenen DVE's könnten nicht beliebig eingeschwenkt werden
- die auf frei beweglichen Geräteträgern von Medienbrücken abgestellten Apparate wären „unerreichbar fern“

ab. Wichtig ist, dass die Chirurgen über die Notwendigkeit der Strömungsleiteinrichtung informiert werden. So kann die Akzeptanz erhöht werden.

2.7.5 Luftführung im OP-Raum

Die komplexe Schutzwirkung ist größer, wenn kontaminierte Luft durch fußbodennahe Umluftfassungen in den Wänden unmittelbar aus dem OP-Raum abgesaugt wird. Deckenständige Umluftfassungen führen zur Entstehung von Raumluftwalzen und können insbesondere bei beengter Raumgröße die TAV-Strömung deformieren (starke seitliche Auslenkung der Strömung zu den Umluftfassungen, Einschnürung an den anderen Seiten).

2.7.6 OP-Leuchten

Die innerhalb des Schutzbereiches von Vertikalstrom-TAV-Bereichen angeordneten OP-Leuchten beeinflussen abhängig von ihren mechanisch-geometrischen Eigenschaften die Schutzwirkung:

- Flächenhafte (schüsselförmige und kleeblattförmige) OP-Leuchten erzeugen in Lee eine erhebliche Auftriebswirkung, die in Zusammenwirkung mit dem thermischen Auftrieb an den Personen am OP-Tisch zur Förderung kontaminierter Luft aus dem Fußbodenbereich und kontaminierter Luft aus dem Kopfbereich der Personen direkt in das OP-Feld führt.
- Strömungsdurchlässige (z.B. in Einzelprojektoren aufgelöste) OP-Leuchten haben einen wesentlich geringeren Auftrieb in Lee (unterhalb).

3 Teilprojekt 2: OP-Komponenten

3.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Teilprojektes war die Entwicklung von neuen OP-Leuchtenkonzepten vor allem in Bezug auf die thermischen Lasten (z.B. Kaltlicht) und die geometrische Beeinflussung der Raumluftrömung. Es sollten strömungstechnisch optimierte OP-Leuchten entwickelt werden.

3.2 Grundlagenuntersuchungen

Mit zahlreichen empirischen Untersuchungen wurde der Einfluss der verschiedenen OP-Leuchten-Typen auf den Schutzgrad untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die mechanisch-geometrischen Eigenschaften der OP-Leuchten den Schutzgrad sehr stark beeinflussen:

- Flächenhafte (schüsselförmige und kleeblattförmige) OP-Leuchten erzeugen in Lee eine erhebliche Auftriebswirkung, die in Zusammenarbeit mit dem thermischen Auftrieb an den Personen am OP-Tisch zur Förderung kontaminierter Luft aus dem Fußbodenbereich und kontaminierter Luft aus dem Kopfbereich der Personen direkt in das OP-Feld führt.
- Strömungsdurchlässige (z.B. in Einzelprojektoren aufgelöste) OP-Leuchten haben einen wesentlich geringeren Auftrieb in Lee (unterhalb).

Um neue OP-Leuchtenkonzepten zu erarbeiten müssen die nachfolgend aufgeführten arbeiten durchgeführt werden:

1. Arbeitspositionen in Spitälern (Leuchtenoptimierung)

Während realer Operationen sollten in mehreren Spitälern je nach OP Fotos von den dort verwendeten Lampenpositionierungen gemacht werden, so dass anhand der Bilder eine statistische Auswertung (Lampenposition versus Operation) hätte erfolgen sollen. Hierzu wären folgende Spitäler in Frage gekommen: USZ, Insel, Hirslanden, KSSW, Basel, KiSpi, UKBB.

2. Zusammenstellung von Leuchtengeometrien

Die handelsüblichen Leuchtengeometrien sollten beim Hersteller (Maquet, Brandon, Trumpf-Kreuzer, Mach, Dräger, Admeco, Berchtold) direkt oder aus den Herstellerunterlagen abgefragt und anschliessend zusammengestellt werden.

3. CFD-Formen-Evaluation

Um den Einfluss der Leuchtengeometrien, Armgeometrien und Armanordnungen auf den Schutzgrad zu untersuchen, sollten die unter Punkt 2 enthaltenen Formen mit Hilfe von CFD-Berechnungen untersucht werden. Dabei sollten die folgenden Leuchtenanordnungen simuliert werden:

- klinische Position, welche im Punkt 1 festgelegt wurden
- Leuchtenposition nach SWKI 99-3 [9]
- Vergleich mit oberer zu unterer Absaugung
- Armgeometrie und Armanordnung

Als Resultat sollten die optimalen Leuchtengeometrien, Armgeometrien und Arm- und Leuchtenanordnungen und dessen Bewegungsraum erfolgen.

Erfahrungen mit CFD-Simulationen und Abklärungen haben ergeben, dass diese Untersuchungen den Rahmen im KTI-Projekt sprängen würden. Weiter hat sich gezeigt, dass die momentane Entwicklung der OP-Leuchtentechnik immer mehr in Richtung LED-Leuchten geht. Die LED-Leuchte als Punktlichtquelle sei zukunftsweisend und immer weniger Hersteller würden auf Dauer in „alte“ Leuchtensysteme investieren.

Für die Themen „Arbeitspositionen in Spitälern (Leuchtenoptimierung)“ und „Zusammenstellung von Leuchtengeometrien“ konnte ein Student von der FH in Yverdon gewonnen werden, der als Semester- und Diplomarbeit diese wichtigen Grundlagen erarbeiten wird.

4 Teilprojekt 3: Qualifizierung / Messung

4.1 Ziele

Beabsichtigt wurde die Ausarbeitung eines klar definierten und praxistauglichen Messverfahrens, welches – bei gleich bleibenden Rahmenbedingungen – die Reproduktion von Messresultaten ermöglichen sollte. Zusätzlich sollte an der HSLU eine europäisch anerkannte Inspektionsstelle geschaffen werden.

4.2 Ringversuch von Messunternehmen

Zunächst wurde in dem fertig gestellten OP-Raum ein sogenannter Ringversuch durchgeführt, an dem Acht Messfirmen aus der Schweiz und Deutschland teilnahmen. Sie sollten die Schutzwirkung des OP-Raumes nach den Angaben der SWKI 99-3 [9] für eine immer gleiche Anlageneinstellung und Raumgestaltung ermitteln, wobei jeweils die eigenen Musterlasten und die eigene Messtechnik zu verwenden waren. Im Ergebnis zeigten sich teilweise erhebliche Unterschiede in den gefundenen Werten. Bei allen gleich war jedoch der Umstand, dass die Schutzwirkung der untersuchten Anlagenkonzeption insgesamt schlecht war (Schutzwirkung meist um Eins). Darüber hinaus zeigten sich Abweichungen in Einzelergebnissen, woraus zu schliessen war, dass eine systematische Schulung von Messfirmen (inklusive Zertifizierung) sinnvoll wäre sowie weitere Untersuchungen erforderlich wären, um den Einfluss von kleinen Variationen der Musterlastanordnung (z.B. Position der OP-Lampen und OP-Dummies) auf die Beeinflussung des Messergebnisses zu erkennen.

Weiterführende Literatur:

[2] *Pandurevic / Stuwe; Vorbereitung und Durchführung von Abnahmen bei Raumlucht-technischen Anlagen für OP-Räume, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2005*

Im kantonalen Spital Sursee konnte die HSLU zusammen mit dem Prüfinstitut AYSID GmbH die Abnahmemessungen durchführen. Dabei bot sich die Gelegenheit, die Messresultate zu vergleichen. Es stellte sich heraus, dass einerseits das Messverfahren sehr sensitiv ist und andererseits, dass mit gut geschulten Messingenieuren mit unterschiedlicher Messausrüstung die identischen Resultate erreicht werden können.

4.3 Überprüfung der Abnahmemessung nach SWKI 99-3

4.3.1 Überprüfung der Partikelaufgabetechnik und Quellstärke

Die drei Hauptmerkmale der SWKI-Partikellastquelle zur Bestimmung der Schutzwirkung bestehen darin, dass die Partikelquellstärke zeitlich konstant gehalten werden kann, die sechs Ausströmer immer an den in der SWKI 99-3 [9] vorgegebenen Orten stehen und dabei jede Ausströmleistung 1/6 der Gesamtquellstärke aufweist. Die gleichmäßige Ausströmleistung der Komponenten der HSLU wurde von einem am Forschungsvorhaben beteiligten Industriepartner (Fa. Palas) mit Hilfe hochsensibler Messtechnik überprüft. Es zeigte sich, dass die Quellstärke über einen langen Zeitraum (mehrerer Stunden) konstant auf einen gewünschten Wert einstellbar ist. Auch der Verteiler und die Ausströmer erfüllen in hohem Masse die Bedingungen, konstante Ausströmenteile zu haben und dass dabei keine Veränderungen in der Partikelzusammensetzung aufgrund von Entmischungs- oder Agglomerationseffekten auftreten. Die an der HSLU verwendete Partikelaufgabetechnik ist damit nachgewiesenermaßen in hohem Masse als Partikelquelle nach SWKI 99-3 [9] geeignet. Außerdem wurden die in der SWKI zu diesem Thema gemachten Angaben als ausreichend exakt für einen geeigneten Nachbau eingestuft.

Weiterführende Literatur:

[10] *Mölter, Kulpmann, Hildebrand; Zuverlässige Bestimmung des Schutzgrades für OP-Räume; VDI-Tagung Basel, Oktober 07*

Im Rahmen der Diplomarbeit [7] wurde bei einer Versuchsreihe die Position der Ausströmer stark verändert, bei der die Schutzwirkung aufgrund von ungünstigen OP-Lampenpositionen sehr gemindert war (erkennbar am erheblichem Partikeleintrag auf den OP-Tisch). Dabei sollte festgestellt werden, ob die nach SWKI angegebenen Positionen der Ausströmer repräsentativ sind, um alle Hauptströmungen mit Partikeln zu kennzeichnen, die für die Minderung der Schutzwirkung verantwortlich sind. Einmal wurden die Ausströmer um ca. 70 cm erhöht und bei einem weiteren Versuch wurden zwei von sechs Ausströmern oberhalb von den Endkanten der Strömungsschürze montiert. Bei keinem dieser veränderten Positionen wurde die Schutzwirkung gegenüber der SWKI-Anordnung noch weiter verschlechtert. Aus diesen Ergebnissen kann gefolgert werden, dass die in der SWKI angegebenen Aufstellorte für die Ausströmer als kritische Variante besonders geeignet sind, um die Schutzwirkung repräsentativ nachweisen zu können.

Schließlich ergaben Untersuchungen mit reduzierter Partikelauflast, dass sich erst ab einer Reduzierung um mehr als 40 % der Referenz-Quellstärke eine Rückwirkung auf die Schutzwirkung zeigt.

Weiterführende Literatur:

[7] *Brezinski / Mai; Prüfung der Wirksamkeit von Luftführungskonzepten in Operationsräumen, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2007*

4.3.2 Untersuchung zum Einfluss der Musterlastanordnung

In analoger Weise wie die Partikelauflagetechnik abgewandelt wurde, erfolgte auch eine Variation der Musterlastanordnung, um festzustellen, ob die Musterlastanordnung nach SWKI repräsentativ ist und wie sich kleine Positionsveränderungen auswirken. Die Untersuchungen erfolgten bei drei verschiedenen Zuluftströmungsprofilen. Von der totalen Entfernung der Dummies aus dem Schutzbereich bis zur einseitigen oder bündigen Anordnung der Dummies am OP-Tisch wurden Versuche durchgeführt. Wiederum konnte gezeigt werden, dass abgesehen von der praxisfernen Aufstellung vom OP-Team nur auf einer Seite vom OP-Tisch die SWKI-Musterlastanordnung die höchsten Herausforderung an die Luftströmung stellt, um noch eine Schutzwirkung zu erhalten.

Weiterführende Literatur:

[7] *Brezinski / Mai; Prüfung der Wirksamkeit von Luftführungskonzepten in Operationsräumen, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2007*

4.4 Vergleich der Abnahmeverfahren nach SWKI 99-3 und DIN 1946/4 Entwurf

Während bei dem Abnahmeverfahren nach SWKI 99-3 [9] eine Partikelmessung bei Musterlastanordnung durchgeführt wird, reicht nach dem Entwurf DIN 1946-4 [15] eine Abnahme, die sich auf eine Turbulenzgradmessung konzentriert und das noch im leeren Raum. Es wurden daher Vergleichsmessungen durchgeführt, um ggf. substantiell verbesserte Einsprüche gegen den DIN-Entwurf geltend machen zu können. Abgesehen vom grundsätzlichen Zweifel, dass Turbulenzgradmessungen repräsentativ sind zur Feststellung von einer genügenden Schutzwirkung eines OP-Raumes wurde bei den Messungen festgestellt, dass praktisch keiner der im Rahmen des Forschungsvorhabens als besonders effizient erkannten Zuluftdurchlässe eine Abnahme nach dem DIN-Entwurf erreichen könnte. Ursache sind die im Entwurf angegebenen Grenzwerte für die Turbulenzgrade, die praktisch immer überschritten wurden.

Weiterführende Literatur:

[7] *Brezinski / Mai; Prüfung der Wirksamkeit von Luftführungskonzepten in Operationsräumen, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2007*

4.5 Verbesserungsvorschläge in den Richtlinien

Die Untersuchungen haben ergeben, dass das in der SWKI-Richtlinie 99-3 [9] beschriebene Messverfahren zur Qualifizierung von OPs ein sehr sensibles Verfahren ist, welches auf alle die Raumdruckströmung beeinflussenden Parameter reagiert. Daher verlangt dieses Messverfahren enormes „Know-How“, um die Richtigkeit der Ergebnisse einordnen zu können. Orientierende Strömungsvisualisierungen sollten zumindest als Empfehlung aufgenommen werden.

4.5.1 Zusätzliche Rastermessung

Zusätzlich zur Rastermessung der Austrittsgeschwindigkeit 10 cm unter Gewebeverteilern bzw. 30 cm unter Lochblechverteilern sollte zukünftig auch eine Rastermessung der Luftgeschwindigkeiten und -strömungsrichtungen in einer Ebene 2,0 m über Fußboden in die technische Abnahmeprüfung aufgenommen werden.

4.5.2 Behaglichkeitskriterien

Bei den Behaglichkeitskriterien in SWKI 99-3 [9] und VDI 2167-1 [11], Verweis auf VDI 2083-5 [16] ist ein Fehler zu beklagen. Die Arbeit von (zumindest an der Vorderseite) flüssigkeitsdicht bekleideten Chirurgen entspricht mindestens 1.2 clo und ihr interner Energieaufwand (leichte bis mittelschwere Arbeit im Stehen, teilweise in Zwangshaltung) mindestens 1.5 bis 2 met. Die „Behaglichkeitskriterien“ müssen korrigiert werden.

4.5.3 Deckenständige Versorgungseinheiten (DVE)

DVE wurden bei Schutzgradmessungen nach SWKI 99-3 [9] bisher nicht berücksichtigt, sondern ausgeschwenkt. Die massiven Tragearme 30 bis 60 cm unter der Decke führen eingeschwenkt zu erheblichen Störungen der TAV-Strömung. Bei klinisch relevanten messtechnischen Bestimmungen der Größe des effektiven Schutzbereiches und der Schutzwirkung sollten DVE zukünftig berücksichtigt werden.

4.6 Abnahmemessungen

Das in der SWKI 99-3 [9] beschriebene Messverfahren wird bereits rege von qualifizierten Messfirmen angewendet, auch häufig zur Abnahme von OP-Räumen in Spitälern, die noch nicht nach den Empfehlungen in der Richtlinie gebaut werden konnten. Beispiele sind:

- Kantonales Spital Sursee
- Spital Sanitas
- Spital Wetzikon
- Spital Winterthur
- Universitätsspital Zürich
- Klinik Sommerfeld, Berlin
- Universitätsklinik Greifswald, D
- Universitätsklinik Bremen, D
- Spital Chuv, Lausanne
- Werksmessungen in Tecnair LB, Uboldo (Italien)
- Spital Thun
- Liste unvollständig

4.7 Patentierung des Aerosolverteilsystems

Die Firma BDC – The Business Development Company GmbH, Basel führte eine Erfindungsevaluation für unser Aerosolverteilsystem durch. Es stellte sich heraus, dass unser Aerosolverteilsystem patentiert werden kann, wobei von einem Alleingang bei der Patentierung aufgrund des begrenzten Marktes abgeraten wird. Es ist jedoch sinnvoll, wenn die HSLU bzw. das ZIG mit einem Projektpartner gemeinsam versucht, das Aerosolverteilsystem patentieren zu lassen. Die Firma Palas GmbH, Karlsruhe hat Interesse bekundet, das Aerosolverteilsystem in Lizenz zu bauen und zu vertreiben. Die HSLU wird zusammen mit einem Patentanwalt eine Europäische Patentanmeldung Anfangs 2008 starten.

4.8 Schaffung einer Inspektionsstelle

Das in der SWKI-Richtlinie 99-3 [9] beschriebene Messverfahren zur Qualifizierung von OPs ist ein sehr sensibles Verfahren. Daher verlangt dieses Messverfahren ein enormes „Know-How“, um die Richtigkeit der Ergebnisse einordnen zu können. Es geht hier um rein messtechnische Vorgehensweisen, die reproduzierbar und nachvollziehbar gestaltet sein sollen, so dass genügend Spielraum für Interpretationen der Ergebnisse gewährleistet werden kann. Diese Richtlinie und ihre Handlungsweisungen richten sich vor allem an Klimatechniker und Messfirmen. Das Pflichtenheft regelt die Verantwortungsbereiche bei der Planung und dem Bau von Operationssälen und legt die Anforderungen fest, die für den jeweiligen Verwendungszweck erfüllt sein müssen. Leider hat die Vergangenheit gezeigt, dass Gesamtzusammenhänge dieses reproduzierbaren Messverfahrens (Vorgaben sind z.B. Lampenstellung, Position und Wärmeabgabe der Dummies, etc.) von vielen Messfirmen nicht nachvollzogen werden. Messprotokolle namhafter Messfirmen weisen auf nicht verstandene Zusammenhänge und ein stupides Abarbeiten der einzelnen Schritte des Verfahrens hin. Hierbei wird das Ergebnis weder interpretiert, noch gedeutet.

Genau an dieser Stelle soll eine Akkreditierung ansetzen: Es ist die Idee entstanden, an der HSLU eine Zertifizierungsstelle zu schaffen, mit dem Ziel, Personen, Firmen oder andere Stellen zu qualifizieren (Kompetenznachweis), das Messverfahren nach SWKI 99-3 [9] korrekt anzuwenden und zu interpretieren. Mit einer Zertifizierung von Personen aus den Bereichen Planung und Messtechnik kann einem Bauherrn garantiert werden, die „richtigen“ Projektpartner engagiert zu haben. Durch einen solchen Kompetenznachweis wird den zertifizierten Personen die Möglichkeit geboten, sich durch Engagement gegenüber anderen Planern und Messtechnikern abzuheben. Zugleich hätten die Bauherren einen Nachweis über die Fähigkeiten der zertifizierten Personen. Anhand der Zertifizierung einzelner Firmen und Planungsbüros oder auch einzelner Personen könnte dann eine Art Liste entstehen, auf der alle Personen aufgeführt werden, die sich sowohl mit der Planung und dem Bau von OPs als auch mit Abnahmeprüfungen nach SWKI 99-3 [9] auskennen und hierüber ein Zeugnis führen. Zusammen mit Fachleuten der Schweizerischen Akkreditierungsstelle SAS wurden hierzu verschiedene Möglichkeiten erörtert. Hierbei ging es vor allem darum, herauszuarbeiten, wo innerhalb dieser Struktur eine Zertifizierungsstelle im Zusammenhang mit dem OP-Prüfstand angemessen wäre. Das folgende Diagramm zeigt die Organisation der SAS und die Möglichkeiten einer Zertifizierungsstelle:

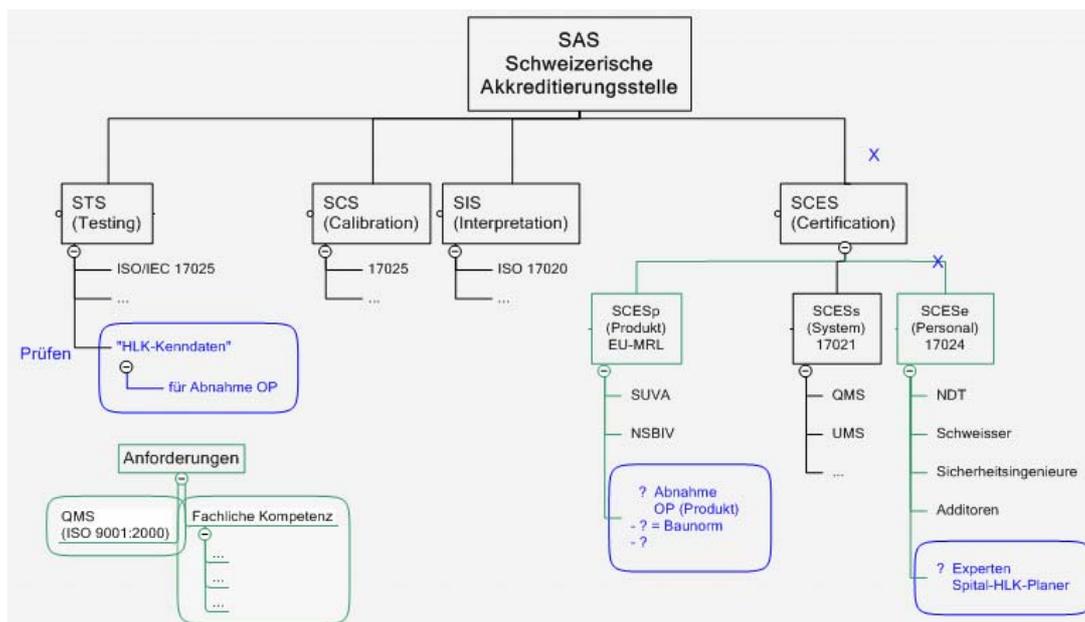


Abbildung 3 Organisation der SAS und die Möglichkeiten einer Zertifizierungsstelle

In einem zweiten Schritt wurde mit der SAS die SWKI Richtlinie 99-3 [9] im Detail durchgesprochen. Dabei ergaben sich folgende Möglichkeiten:

| Akkreditierungsverfahren | | Phasen der HLK im Spital gemäss SWKI 99-3 | | | | |
|-------------------------------------|------------------|---|-----------------|------------|------------------|------------|
| Art | Normen | 1. Analyse | 2. Projektziele | 3. Planung | 4. Realisierung | 5. Betrieb |
| Produktezertifizierung SCESp | EN 45011 | | | | x x x | x |
| Prüfen und Kalibrieren STS / SCS | EN ISO/IEC 17025 | | x | | x x x | x |
| Managementsystem SCESs | EN ISO/IEC 17021 | x | x x x x | x | x x x | x x x |
| Inspektion SIS | EN ISO/IEC 17020 | | | | x x x x x x x | x x |
| Personalzertifizierung SCESe | EN ISO/IEC 17024 | | | | | x |

Abbildung 4 Analyse der SWKI 99-3

Dabei kommen nur die nachfolgend aufgeführten Akkreditierungsverfahren in Frage:

- Typenprüfung: Scope-Erweiterung bei der bestehenden Prüfstelle HLK
- Scope-Erweiterung der SWKI-Richtlinie im Managementsystem bei sämtlichen nach ISO 9001 [18] zertifizierten Firmen, welche im Spitalbau tätig sind
- Schaffung einer Inspektionsstelle

Die nachfolgende Grobkostenschätzung zeigt, wie teuer die einzelnen Akkreditierungsverfahren in etwa sein werden:

| Akkreditierungsverfahren | | Grobkostenschätzung in kFr | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------|------------|--------------|------------------------------------|---|
| Art | Normen | Kosten SAS | Kosten Fachexperte | Kosten HTA | Kosten Total | Folgekosten pro Jahr (SAS und HTA) | Bemerkungen |
| Produktezertifizierung SCESp | EN 45011 | 15 bis 25 | 10 bis 15 | 55 bis 75 | 80 bis 115 | 5 bis 8 | Neue Akkreditierung an der HTA |
| Prüfen und Kalibrieren STS / SCS | EN ISO/IEC 17025 | 5 bis 8 | 4 bis 6 | 10 bis 15 | 19 bis 29 | 2 bis 3 | Scoperweiterung STS 179 (Prüfstelle HLK) |
| Managementsystem SCESs | EN ISO/IEC 17021 | | | 5 | 5 | | Scoperweiterung durch eine bereits akkreditierte Stelle |
| Inspektion SIS | EN ISO/IEC 17020 | 15 bis 25 | 10 bis 15 | 55 bis 75 | 80 bis 115 | 5 bis 8 | Neue Akkreditierung an der HTA |
| Personalzertifizierung SCESe | EN ISO/IEC 17024 | 15 bis 25 | 10 bis 15 | 55 bis 75 | 80 bis 115 | 5 bis 8 | Neue Akkreditierung an der HTA |

Abbildung 5 Kosten für die möglichen Zertifizierungsstellen

Eine spezifische Typenprüfung eines TAV-Auslasses unter rein HLK-technischen Gesichtspunkten ist leicht realisierbar. Eine solche Typenprüfung ist im Bereich der STS (Testing) einzuordnen, in deren Bereich bereits die Prüfstelle HLK der HSLU nach ISO/IEC 17025 [17] akkreditiert ist. Danach kann durch eine Scope-Erweiterung eine TAV-Prüfung, ähnlich wie eine Prüfung herkömmlicher Auslässe, einfach durch die Prüfstelle im Norm-OP vorgenommen werden. Diese Prüfung beschränkt sich ausschliesslich auf die HLK-Technik resp. den Auslass und ergibt keine Aussage zur Erreichung der Schutzziele eines OPs.

Eine Scope-Erweiterung im Management-Bereich ist aus unserer Sicht ebenfalls einfach durch eine bereits akkreditierte Stelle zu realisieren. Dadurch wird für alle Firmen, welche nach ISO 9001 [18] zertifiziert sind und im Spitalbereich Planungen oder Messungen durchführen, die SWKI 99-3 [9] zur Pflicht.

Die Schaffung einer Inspektionsstelle ist für die Durchführung von Abnahmemessungen von geschulten Personen von grosser Bedeutung. Anfangs 2008 wird bei Krankenhausbetreibern, Planern, Messfirmen, Herstellern, Generalunternehmern etc. abgeklärt, ob der Bedarf an einer Inspektionsstelle vorhanden ist. Falls dies so ist, wird die Finanzierung angegangen. Die Scope-Erweiterung bei der Prüfstelle HLK und im Management-Bereich soll ebenfalls 2008 realisiert werden.

5 Teilprojekt 4: CFD-Simulationen

5.1 Zielsetzung

5.1.1 Einsatzmöglichkeiten von Computational Fluid Dynamics (CFD)

Experimentelle Verfahren (Messungen) zur Optimierung der Lüftung / der Luftströmungen in Operationssälen sind aufwändig, teuer und zudem nicht frei von Messungenauigkeiten. Weiter kommt dazu, dass während Messungen in realen Operationssälen der Raum nicht für seinen eigentlichen Zweck verfügbar ist, was zu einem finanziellen Ausfall führt. Eine Ausweichmöglichkeit sind Operationssäle bei den Herstellern von OP-Equipement oder z.B. der Operationssaal im Gebäudetechnik-Labor an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur. Solche Anlagen sind aber selten.

Aus diesem Grund sollen in diesem Teilprojekt die Einsatzmöglichkeiten und das Einsatzpotential von CFD-Simulationen im Zusammenhang mit der Optimierung der Lüftung von Operationsräumen (Reinräumen) überprüft werden. Dies im Wissen, dass in vielen anderen Bereichen (Maschinenbau, Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau, Raumluftrömungen etc.) solche Instrumente seit längerem erfolgreich eingesetzt werden.

5.1.2 Dienstleistung für andere Teilprojekte

Strömungstechnisch ungünstig konstruierte oder falsch positionierte Komponenten (wie beispielsweise ein Teil der heute verwendeten Leuchten) haben – zusammen mit dem Einfluss der Wärmeabgabe z.B. von Geräten oder Leuchten – einen extrem starken Einfluss auf die Luftströmung im Operationsraum. Mit herkömmlichen Messmethoden können die bei diesen Komponenten auftretenden Phänomene nicht oder nur schlecht aufgezeigt und analysiert werden. Bei der Frage der Komponenten-Optimierung ist zu erwarten, dass CFD-Simulationen für spezifische Fragestellungen erfolgreich eingesetzt werden können.

5.1.3 Grundlagen für weiterer Einsatz

Luftströmungssimulationen werden in der Gebäudetechnik, erst seit kurzem eingesetzt, während sie z.B. im Maschinenbau schon seit 15 Jahren und mehr gang und gäbe sind. Zudem ist die (natürlich induzierte) Raumluftrömung deutlich komplexer als eine erzwungene Strömung, wie sie in den meisten Aufgabenstellungen des Maschinenbaus auftritt. Für den Bereich Maschinenbau gibt es bereits diverse spezifische Leitfäden für jedes spezielle Strömungsproblem. Für den Bereich Operationsraum werden diese allgemeinen Grundlagen für den korrekten Einsatz von CFD-Simulationen in projektspezifischen Fragestellungen in diesem Projekt erarbeitet.

5.2 Vorgehen

Zum Erreichen der definierten Ziele muss zuerst eine gute Akzeptanz für die CFD- Simulation von Operationsräumen geschaffen werden. Den beteiligten Projektpartnern wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten und welchen Nutzen eine CFD- Simulation haben kann. Um die z.T. offensichtlich vorhandenen Zweifel am Instrument „CFD- Simulation“ aus der Welt zu schaffen, wird in einer ersten Phase wie folgt vorgegangen:

- ❑ Durchführen von Simulationen von Standardsituationen durch die Hochschule Luzern - Technik & Architektur (HSLU – T&A) und die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)
- ❑ Vergleich von Resultaten aus CFD- Simulationen mit Messergebnissen aus dem Labor-OP
- ❑ Bearbeiten von konkreten Fragestellungen mit Hilfe von Luftströmungssimulationen
- ❑ Erstellen einer „Best practices guideline“

5.3 Validierung

5.3.1 Fragestellung

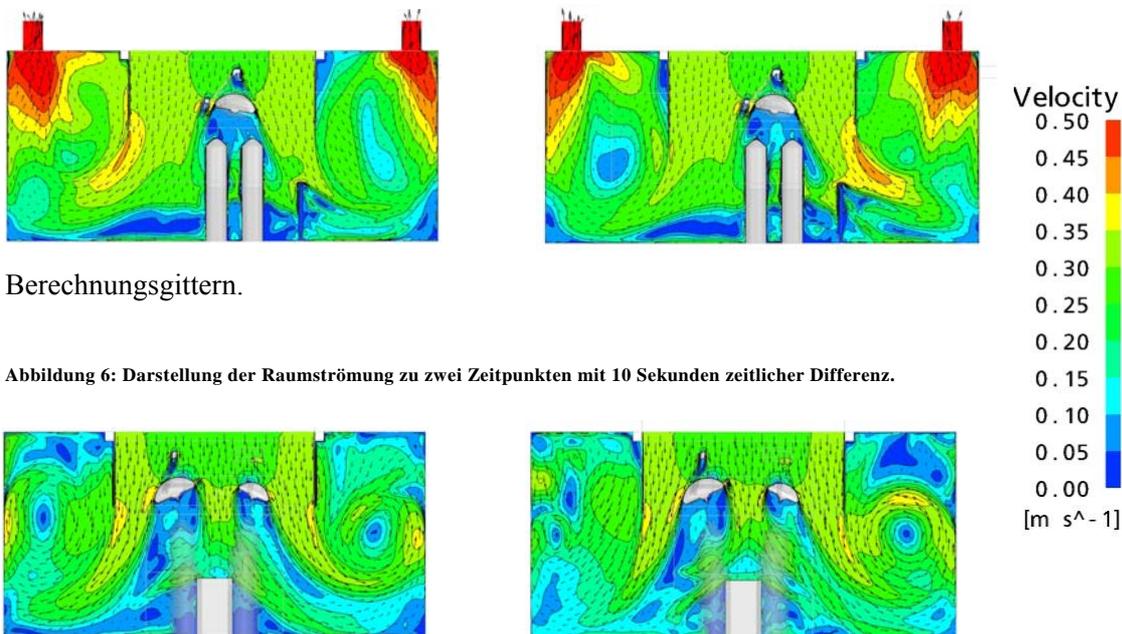
In einer ersten Phase wird die Validierung der Strömungssimulation durchgeführt. Die Validierung ist notwendig, um verschiedene verfügbare Simulationsmodelle anhand von Messungen zu überprüfen und zu vergleichen. Das Ziel ist mit wissenschaftlichen Methoden die Einsatzmöglichkeiten von CFD- Simulationen im vorliegenden spezifischen Bereich unter Beweis zu stellen.

5.3.2 Modellierung

Bereits bei den ersten Simulationen wird festgestellt, dass sich die Strömung instationär, gar chaotisch verhält und somit transiente (instationäre) Simulationen unbedingt erforderlich sind. Das Geschwindigkeitsfeld kann innerhalb weniger Sekunden jeweils am gleichen Ort völlig anders aussehen (siehe dazu Abbildung 6). Damit diese Simulationen mit den Messungen verglichen werden können, werden unter anderem statistische Auswertungsmethoden eingesetzt.

Zuerst wird die Validierung mit einem reinen Strömungsmodell ohne thermische Energien gemacht (isothermal, Kaltsimulation). Nach erfolgreicher Validierung der Kaltsimulationen wird die Validierung mit einem Simulationsmodell gemacht, bei dem neben der Luftströmung auch die thermische Energie berücksichtigt wird (Warmsimulation). Alle hier dokumentierten Validierungsergebnisse basieren auf dem warmen Fall.

Das Rechengitter für die Validierung besteht aus 7 Millionen Elementen, was sich als äusserst ressourcenintensiv erweist, weshalb parallel dazu mit einem gröberen Gitter (2 Millionen Elemente) gerechnet wird. Abbildung 7 zeigt einen Vergleich des Strömungsfeldes bei den beiden verschiedenen feinmaschigen



Berechnungsgittern.

Abbildung 6: Darstellung der Raumströmung zu zwei Zeitpunkten mit 10 Sekunden zeitlicher Differenz.

Abbildung 7: Vergleich des Geschwindigkeitsfeldes zwischen grobem (links) und feinem Gitter (XZ-Ebene).

Wie in den beiden Strömungsbildern in Abbildung 6 zu sehen ist, ist die Geschwindigkeitsverteilung und somit die Raumluftströmung sehr vom Zeitschritt der Auswertung abhängig. Je nachdem welcher Zeitschritt

betrachtet wird können unterschiedliche Strömungsbilder herrschen. In Abbildung 7 wird der Vergleich der Simulation mit zwei unterschiedlich grossen Rechengittern gemacht. Die beiden Strömungsbilder sind einander sehr ähnlich. Und die kleinen Unterschiede zwischen den beiden Abbildungen sind auf die unterschiedlichen Zeitschritte zurückzuführen. Weiter werden die Simulationen auch statistisch über eine gewisse Zeit ausgewertet und bei dieser Auswertung stimmen die beiden Simulationsresultate gut über ein. Fazit aus dem Vergleich der beiden Rechengitter ist, dass auch ein gröberes Netz (2 Millionen Volumenelemente) bei diesem OP die gleich guten Resultate liefert.

5.3.3 Auswertung und Resultate

5.3.3.1 Qualitative Auswertung

Der qualitative Vergleich basiert auf Rauchversuchen im Versuchs- OP und optischem Vergleich mit den Simulationsergebnissen. Dazu werden im OP Videoaufnahmen von Rauchversuchen gemacht und mit sich zeitlich ändernden Stromlinien aus der Simulation verglichen. Obschon es sich dabei um Strom- und keine eigentlichen Bahnlinien handelt, lassen sich die charakteristischen Phänomene auf diese Weise vergleichen (Abbildung 8).

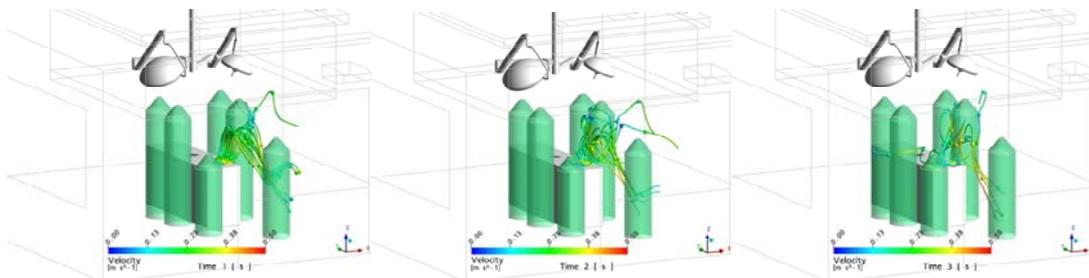


Abbildung 8: Stromlinien mit Startpunkt auf dem OP-Tisch, stark ausgeprägte instationäre Strömung

Auf Auszüge aus den Filmen vom realen OP mit Rauch wird an dieser Stelle verzichtet, da die Bildqualität der Screenshots zu schlecht ist, um die Strömung zu erkennen. Die Visionierung der Aufnahmen am Bildschirm lässt aber den Schluss zu, dass die Simulationen die Rauchversuche im OP gut wiedergeben.

5.3.3.2 Quantitative Auswertung

Bei der quantitativen Auswertung wird unterhalb der Lüftungsschürzen das Geschwindigkeitsprofil erfasst und dieses mit den Simulationsergebnissen verglichen. Dafür fährt man an der Grenze zwischen TAV-Zone und übrigem Raum (konkret in der Verlängerung der TAV-Schürze) mit 10 Dantec-Sonden an einem Messstativ eine grosse Menge an Messpunkten ab. Dabei werden pro Messpunkt während 10 Minuten die Luftgeschwindigkeit und Temperatur aufgezeichnet.

Besonderes Augenmerk liegt auf der exakten Musteranordnung nach SWKI-Richtlinie 99-3, besonders auch was die Positionierung der OP-Leuchten angeht. Dadurch ist auch die Vergleichbarkeit mit der Simulation gewährleistet.

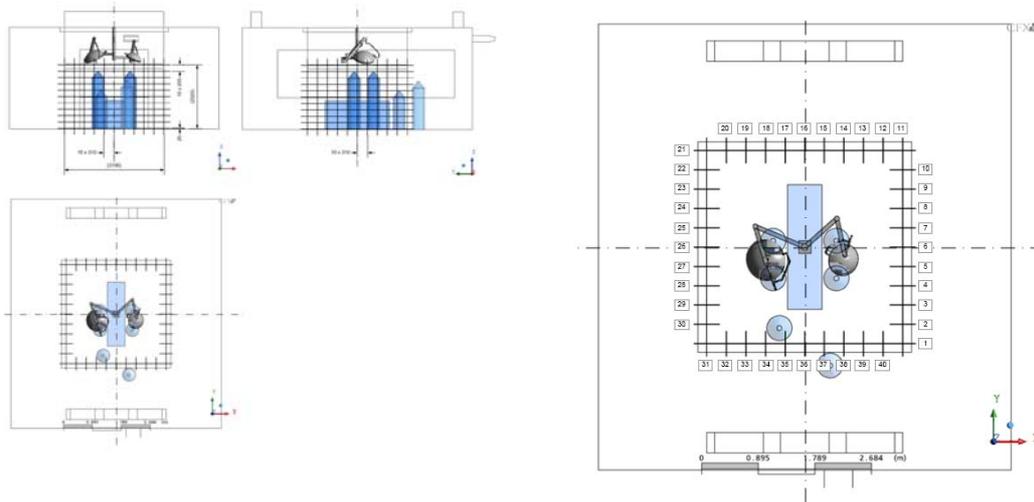


Abbildung 9: Geschwindigkeitsmesspunkte für die Validierung, rechts mit Nummerierung.

Für den Vergleich wird im Folgenden für den nicht- isothermen Fall an vier ausgewählten Mess-Standorten die Geschwindigkeitsverteilung über die Raumhöhe demjenigen der Simulationen gegenübergestellt. Die Diagramme zeigen den zeitlich gemittelten Betrag der Geschwindigkeit sowie die Standardabweichung als Mass für die Strömungsschwankung.

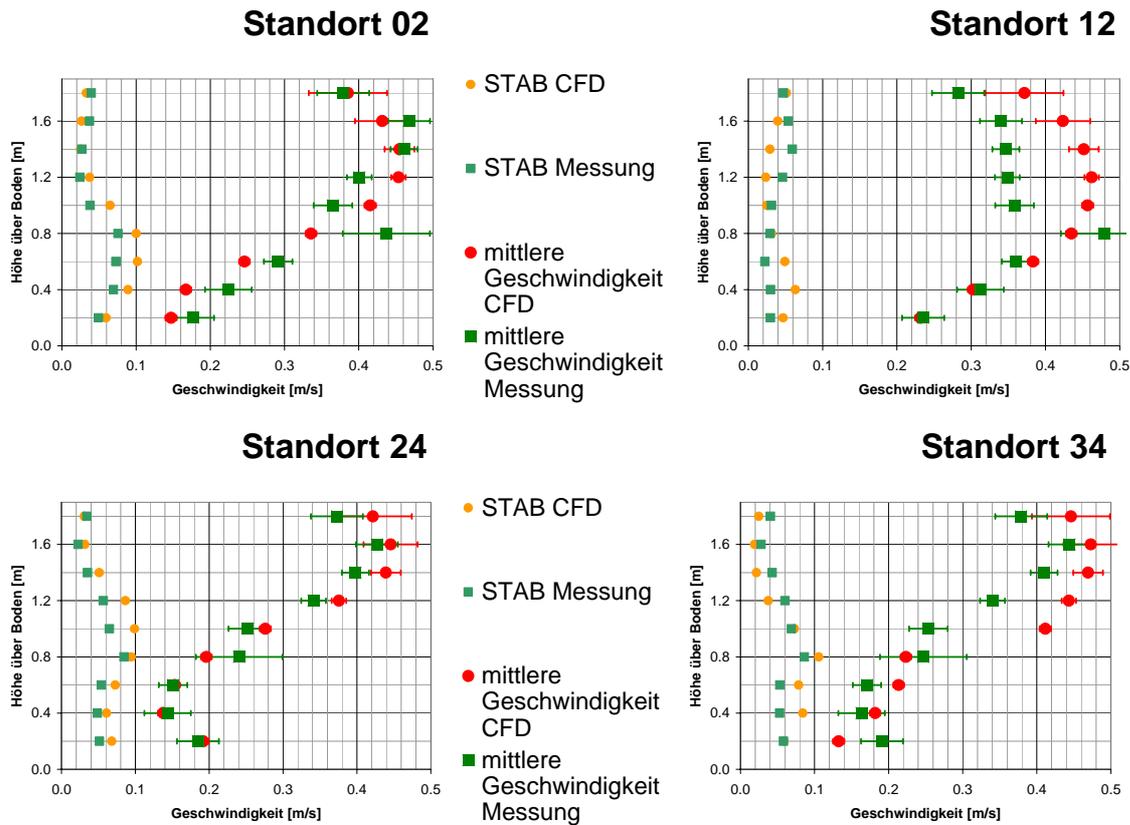


Abbildung 10 Auswertung der quantitativen Validierung

Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, stimmen die Simulationen an den hier ausgewerteten Stellen sehr gut mit der Geschwindigkeitsmessungen überein. Vor allem die Standorte 02 und 24 stimmen sehr gut überein. Bei den Standorten 12 und 34 gibt es beim Betrag der Geschwindigkeiten besonders bei den oberen Messpunkten Unterschiede zwischen Messung und Simulation. Der Verlauf des Geschwindigkeitsprofils ist jedoch auch an diesen Standorten ähnlich.

Aufgrund der quantitativen Auswertung kann man festhalten, dass die Simulation genügend gut mit der Messung übereinstimmt.

5.3.4 Fazit

Sowohl die quantitative als auch die qualitative Auswertung führen zum Schluss, dass die eingesetzte Simulationsmodelle geeignet sind, die vorherrschenden und entscheidenden Phänomene in einem Operationssaal abzubilden.

Für die weitergehenden Arbeitsschritte wie die Bestimmung der Schutzklasse mittels CFD oder bei der Ermittlung des Einflusses sich ändernder Randbedingungen (z.B. Änderung der Geometrie), kann auf dem gewonnenen Erfahrungsschatz aufgebaut werden.

5.4 Schutzgradbestimmung mit CFD

In der Reinraumtechnik hat sich zur Bezifferung der Qualität eines Operationsssaales betreffend Luftthygiene im Bereich des Operationsfeldes (Infektionsrisiko!) der sogenannte Schutzgrad durchgesetzt (negativer Logarithmus des Verhältnisses zwischen Partikelkonzentration im Operationsfeld und einer idealisierten „Referenzpartikelkonzentration“ bei Belastung des Raumes mit einer konstanten Quellstärke von $6.3 \cdot 10^9 P/min$). Obwohl Simulationen bei der Planung und Optimierung der Lüftung eines Operationsssaales schon verschiedentlich eingesetzt wurden, war die rechnerische Ermittlung des Schutzgrades bisher noch kaum ein Thema. Da der Schutzgrad das zentrale Qualitätskriterium ist, wird im Rahmen dieses KTI-Projekts in der zweiten Phase der Schutzgrad mittels CFD (Computational Fluid Dynamics)-Simulationen ermittelt.

5.4.1 Fragestellung

Inwiefern kann man mit einer CFD- Simulation den Schutzgrad nach SWKI 99-3 rechnerisch ermitteln? Kann das Vorgehen der Messung des Schutzgrades ins Simulationsmodell übertragen werden? Weitere Fragen sind: Welche Daten müssen generiert werden um den Schutzgrad bestimmen zu können? Welche weiteren Kriterien müssen beachtet werden um zum Ziel zu gelangen? Kann die Simulation mit Partikeln durchgeführt werden? Erfahrungen mit Partikeln die bei Simulationen mitgerechnet werden hat man bereits aus Brandsimulationen (Rauch). Hier sind die Randbedingungen zwar anders, die Art der Simulation ist aber vergleichbar.

5.4.2 Modellierung

Für die Berechnungen wird das bereits für die vorgängig durchgeführten Validierungen erstellte Simulationsmodell (Abbild des Labor- OPs) verwendet. Zusätzlich wird die Luftströmung nun aber mit Partikeln ausgestattet, damit eine Schutzgradbestimmung überhaupt möglich wird. Die Partikelquellen und die Messstellen sind entsprechend der SWKI 99-3 (Messung des äusseren Schutzgrades) angeordnet.

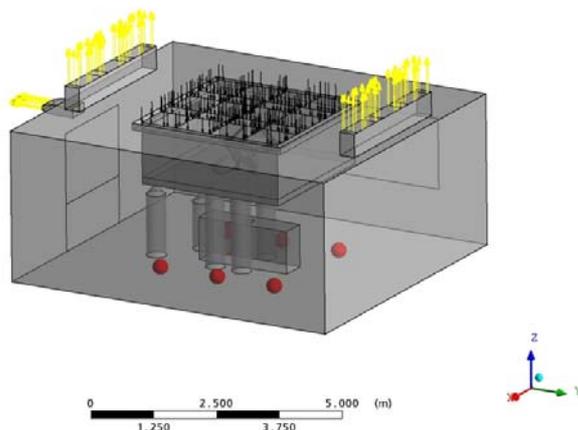


Abbildung 11: Anordnung der Partikelquellen („additional Variables“)

Um die Partikel aufzugeben werden so genannte „Additional Variables“ definiert. Dabei handelt es sich um einen passiven Skalar, also eine Variable, welche mitgerechnet wird ohne dabei das Strömungsfeld zu beeinflussen. Jede Partikelquelle hat eine eigene unabhängige Definition des Partikelstroms. Dadurch erhält man zusätzliche Informationen zur Verteilung der Partikel aus den verschiedenen Partikelquellen.

Gemäss Definition des äusseren Schutzgrades sind sechs Partikelquellen entlang des OP-Tisches nötig (siehe Abbildung 11, Partikelquellen als grosse rote Punkte dargestellt).

5.4.3 Auswertung

Um den Schutzgrad zu bestimmen, werden drei Messpunkte auf dem OP-Tisch (sogenannte Monitor Points) gemäss SWKI 99-3 platziert. An diesen Punkten wird die Partikel-Konzentration ausgewertet und analog zur Messung kann daraus der Schutzgrad berechnet werden¹.

Während der Simulation auftretende negative Werte der Partikelzahlen führten anfänglich zu Problemen bei der Interpretation der Ergebnisse. Additional Variables können per Definition positive wie auch negative Werte

¹ Siehe Definition des Schutzgrades [9]

annehmen, die Numerik hat hier keine Einschränkung. Negative Partikelzahlen machen aber in der Praxis keinen Sinn.

Die negativen Partikel sind in der Summe zur Gesamtanzahl Partikel sehr klein, was dazu führt, dass diese negativen Partikel keinen Einfluss auf den Schutzgrad, bzw. dessen Bestimmung haben.

Das Verhältnis der Summe der negativen zu positiven Partikeln ist ≤ 0.001 .

5.4.4 Resultate des berechneten Schutzgrades im „Original“ OP

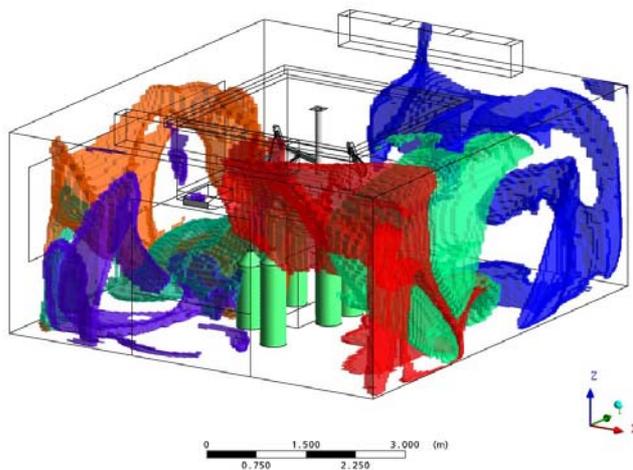


Abbildung 12: Partikelverteilung ausgehend von der einzelnen Partikelauflagestellen $\leq 1.7 \cdot 10^6$ Partikel pro kg

In Abbildung 12 ist die Verteilung der Partikel ($\leq 1.7 \cdot 10^6$ Partikel /Massenstrom) aus den einzelnen Partikelquellen im Raum ersichtlich. Die Partikel im Raum sind je nach Partikelquelle anders eingefärbt. Durch diese Einfärbung können nun Rückschlüsse gezogen werden, wie sich die Partikel von ihrem Ursprung im Raum verteilen.

Die Verteilung der Partikel ist jedoch nur eine Momentaufnahme. Durch die sehr instationäre, chaotische Strömung in diesem OP-Typ kann die Verteilung der Partikel, je nach ausgewähltem Zeitschritt, auch deutlich anders aussehen.

Das Ziel dieser CFD-Simulationen ist fokussiert auf die Bestimmung des Schutzgrades, welcher anhand von Partikelmessungen an den drei Messpunkten auf dem OP-Tisch bestimmt wird. Die Raumluftrömung und die Partikelverteilung im OP sind hier von sekundärem Interesse.

Schutzgrad "Original OP"

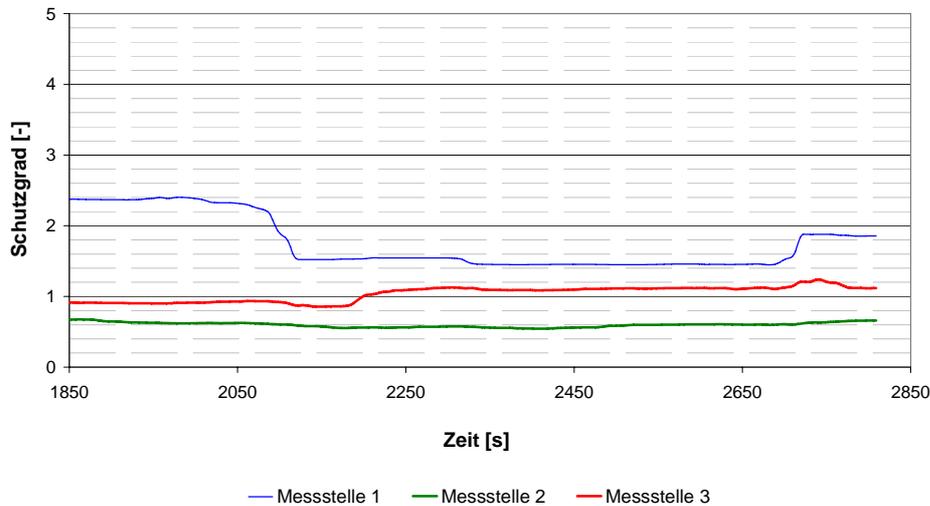


Abbildung 13: Gemittelter Schutzgrad (während jeweils 10 min)

In der Simulation wird für jeden gerechneten Zeitschritt die momentan herrschende Partikelkonzentration auf den drei Messstellen auf dem Tisch in einem Monitor Point verfolgt. Für die Bestimmung des Schutzgrades, werden aus den momentanen Partikelkonzentrationen 10 Minuten Mittelwerte der Partikelkonzentrationen an den drei Messstellen ermittelt. Aus diesen gemittelten Partikelkonzentrationen wird nun der Schutzgrad bestimmt (Siehe Abbildung 13). Wie in der Abbildung 13 zu sehen ist, schwankt der Schutzgrad.

Nach Definition SWKI 99-3 ist jene Messstelle für den Schutzgrad relevant, an welcher der schlechteste Schutzgrad ermittelt wird. Die Schwankung an jener Messstelle, an welcher der schlechteste Schutzgrad ist (Messstelle 2), ist minim. Somit kann hier von einem Eingeschwungenen Zustand gesprochen werden. Aus der Simulation ergibt sich für den Original OP einen Schutzgrad von 0.6

5.4.5 Vergleich des Schutzgrads der CFD-Simulation und der durchgeführten Messungen

Die Messdaten für den Vergleich stammen aus einer Diplomarbeit². Die Hauptaufgabe dieser Diplomarbeit war, die Ergebnisgleichheit des in der SWKI 99-3 und der gleich lautenden VDI 2167 beschriebenen Messverfahrens zur hygienischen Abnahme von OP-Räumen zu beurteilen. Hierzu wurden insgesamt acht Messfirmen beauftragt, bei jeweils vier gleichen Versuchsanordnungen Messungen durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Schutzgradbestimmung dienen hier als Referenz für die CFD-Simulation. Der OP-Typ entspricht dem hier bezeichneten „Original-OP“, mit den gleichen Randbedingungen wie in den Messungen.

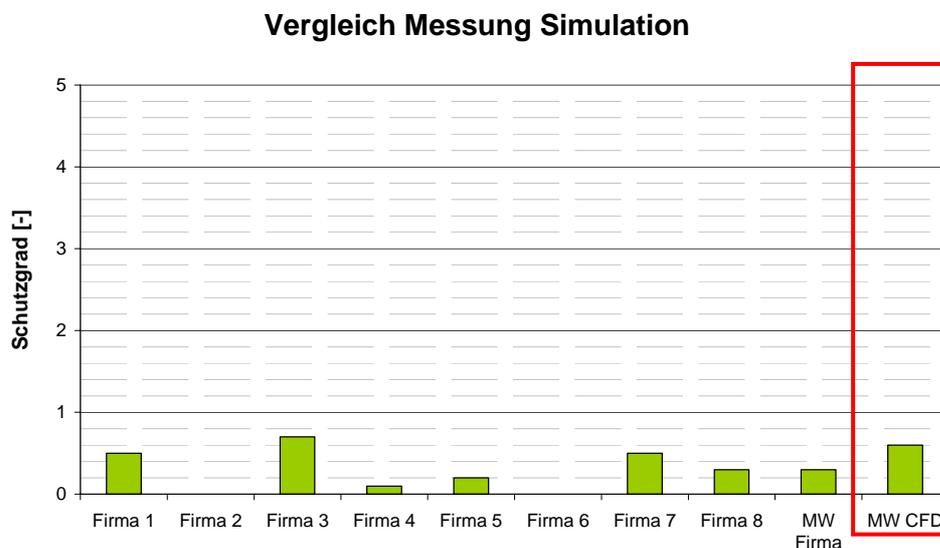


Abbildung 14: Vergleich Schutzgrad: Gemessen (8 Firmen) vs. CFD-Simulation

Bei der Messung des Schutzgrades des Labor- OPs an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur durch verschiedene Firmen werden ähnliche Schutzgrade ermittelt. Die effektiven Schutzgrad Werte schwanken zwischen 0.0 und 0.7, der Mittelwert liegt bei 0.3. Der Schutzgrad wird von null bis fünf in halb Schritten angegeben, so haben wir bei der Messung einen Schutzgrad von 0.5. Der Mittelwert (gemittelt über 10 min im eingeschwungenen Zustand) bei der CFD- Simulation liegt bei 0.6, somit auch hier einen Schutzgrad von 0.5.

5.4.6 Fazit

Wie die Schwankungen der Messwerte zeigen, ist die Bestimmung des Schutzgrades mit einer hohen Messungenauigkeit verbunden. Diese Messungenauigkeiten können auf unsauberes Arbeiten, ungenaue Messgeräte, instabile Zustände etc. zurückgeführt werden. Das Ergebnis aus der Simulation liegt innerhalb des

² Vorbereitung und Durchführung von Abnahmen bei Raumluftechnischen Anlagen für OP-Räume, B. Pandurevic, A. Stuwe (2005).

Streubereiches der Messungen. Aufgrund dieser Ergebnisse ist zwar nicht schlüssig belegbar, dass der Schutzgrad mittels Simulationen bestimmt werden kann – es ist aber auch nicht so, dass der Schutzgrad offensichtlich nicht mit Simulationen bestimmt werden kann. Hier besteht sicher weiterer Forschungsbedarf, die ersten Ergebnisse lassen aber positive Ergebnisse erwarten.

Hinweis: Bei der Simulation wird erst nach rund 30-40 Minuten einen Eingeschwungenen Zustand erreicht und erst dann kann in einer 10-minütigen Messphase der Schutzgrad ermittelt werden. Bei der Messung im Labor-OP dauert die Einschwingphase bis zu einem (subjektiv beurteilten) Eingeschwungenem Zustand, der aber nicht in absoluten Zahlen beziffert werden kann. (Beim Versuchs OP im Labor, als Anhaltspunkt, dauerte die Einschwingphas gut 15 min). Hier ist die Erfahrung des Messtechnikers sehr entscheidend, da er mit der Messung so lange wartet, bis das System eingeschwungen ist.

5.5 Variantenstudien mit Bezug zu den anderen Teilprojekten

5.5.1 Variation Geometrie (Umluftöffnung an der Wand unten)

Als Ausgangslage für die Parameterstudie „Variation der Geometrie“ werden die Umluft-Öffnungen (UML-Öffnungen) seitlich an der Wand unten gewählt (siehe Abbildung 15). In einer vorhergegangenen Diplomarbeit³ wurde nämlich herausgefunden, dass diese Anordnung der UML-Öffnungen bei den Schutzgradmessungen bessere Resultate ergeben, als wenn die UML-Öffnungen oben sind.

5.5.2 Fragestellung

Um bauliche Veränderungen wie z.B. eine andere Raumgrösse betreffend ihres Einflusses auf den Schutzgrad vorab zu testen, sind CFD- Simulationen ein geeignetes Mittel. Änderungen vor oder z.T. auch noch während der Planung sind wesentlich einfacher vorzunehmen als nach Fertigstellung des OPs.

Bei der Variation der Raumgeometrie liegt der Fokus der Untersuchung auf dem Verhalten der Strömung und des daraus resultierenden Schutzgrades.

Die Wahl der Basis-Geometrie mit den UML-Öffnungen unten nutzt man, um die Erkenntnis des bei dieser Anordnung besseren Schutzgrades mittels Simulationen zu belegen. Gleichzeitig ist diese Variante Ausgangslage der Parameterstudie betreffend Raumgeometrie. Konkret möchte man wissen, welchen Einfluss die Vergrößerung der Grundfläche des OPs auf den Schutzgrad hat.

³ Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung, C. Hengesbach (2006)

5.5.3 Modellierung

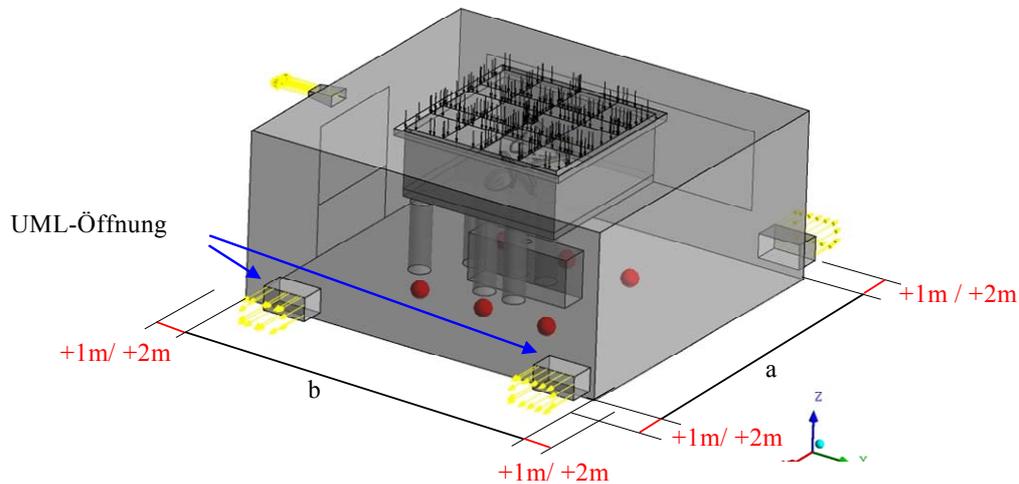


Abbildung 15: Situation mit Positionierung der UML-Öffnungen unten

Verändert wird die Grundfläche des OPs (siehe Abbildung 15): Beide Seitenlängen (a, b) werden um jeweils einen Meter (bei Variante 1; bei Variante 2 sind es zwei Meter) auf beiden Seiten erweitert (um die Symmetrie beizubehalten). Die Höhe des OP- Raumes bleibt in allen drei Varianten konstant.

5.5.4 Auswertung

Wie schon bei den vorangegangenen CFD-Simulationen wird auch bei den drei hier durchgeführten Simulationen der Schutzgrad ermittelt. Die drei Varianten sind:

- Labor-OP, UML unten (Basis)
- Vergrösserte Grundfläche (Variante 1, +1m), UML unten
- Vergrösserte Grundfläche (Variante 2, +2m), UML unten

5.5.5 Resultate

Bestimmung des Schutzgrades in Abhängigkeit der Raumabmessung

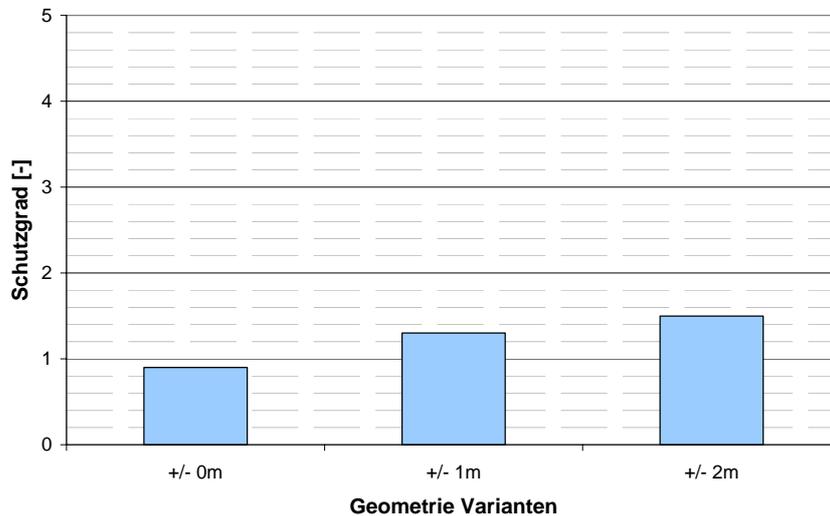


Abbildung 16: Schutzgrad für verschiedene OP-Dimensionen

In Abbildung 16 ist ersichtlich, dass der Schutzgrad bei Vergrößerung der Grundfläche besser wird. Die Verbesserung des Schutzgrades kann im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückgeführt werden: Einerseits wird die Luftgeschwindigkeit im Raum kleiner und somit werden weniger Partikel transportiert bzw. aufgewirbelt. Andererseits bildet sich in einem grösseren Raum eine viel kleinere Raumluftwalze (Abbildung 17). Die TAV-Strömung (TAV = **T**urbulenzarme **V**erdrängungsströmung) wird zunehmend dominant. Dies führt dazu, dass die Partikel aus der Hintergrundströmung nicht mehr in den TAV-Bereich transportiert werden (Abbildung 18).

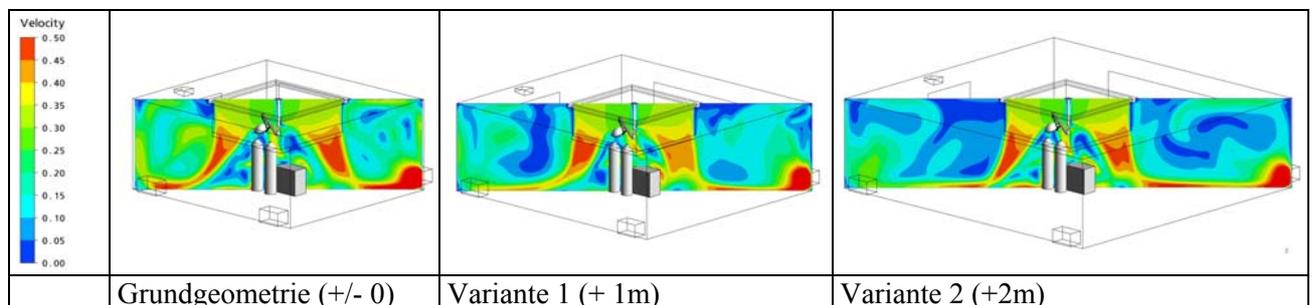


Abbildung 17: Vergleich der Raumluftgeschwindigkeit der drei Varianten mit unterschiedlichen Raumdimensionen

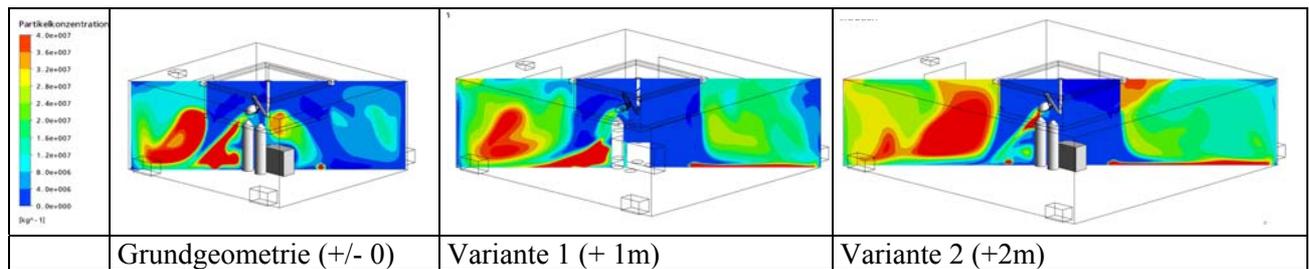


Abbildung 18: Vergleich der Partikel-Konzentration bei 3 Varianten mit unterschiedlichen Raumabmessungen

Betrachtet man die Konzentrations-Verteilung im OP fällt auf, dass die Partikelverteilung im Hintergrund bei der Basis-Variante relativ gering ist im Vergleich zur Variante 2. Durch die „stehende“ Luft, in den oberen Ecken des OPs in der Variante 2 sammeln sich die Partikel an, was zu einer hohen Hintergrundkonzentration an jenen Stellen führt. Bei der Basis-Variante liegt jedoch ein grosser Anteil der Partikel im TAV-Bereich, was Ursache für den schlechten Schutzgrad ist.

5.5.6 Fazit

Für diese Raumgeometrie kann festgehalten werden, dass eine grössere Raumdimension sich positiv auf den Schutzgrad auswirkt. Die TAV-Strömung wird bei grossen Räumen weniger durch eine Hintergrundwalze gestört.

5.6 Variation der Umluft-Absaugung am Boden

Direkten Einfluss auf die Raumluftrömung hat die Anordnung der UML-Öffnungen (wie bereits aus der zitierten Diplomarbeit³ bekannt ist). Wie muss man nun aber die UML-Öffnungen platzieren, um eine optimale Raumluftrömung zu erhalten? Wie sieht eine optimale Raumluftrömung aus? Gibt es neue Ansätze der UML-Absaugung. Ist eine UML-Absaugung am Boden besser (unabhängig von der Frage, ob diese überhaupt aus betrieblichen Gründen möglich wäre)?

Um diese Fragestellungen zu beantworten, hat man sich hier als Basisgeometrie auf die Variante 2 geeinigt (Umluft-Öffnungen seitlich unten an der Wand).

5.6.1 Fragestellung

Welche Konsequenzen hat es auf den Schutzgrad, wenn zusätzlich zu den bestehenden UML-Öffnungen an der Wand eine UML-Öffnung am Boden eingesetzt wird? Wie muss der verfügbare Volumenstrom auf die Öffnungen verteilt werden? Gibt es ein Optimum in der Verteilung der Umluftvolumenströme?

5.6.2 Modellierung

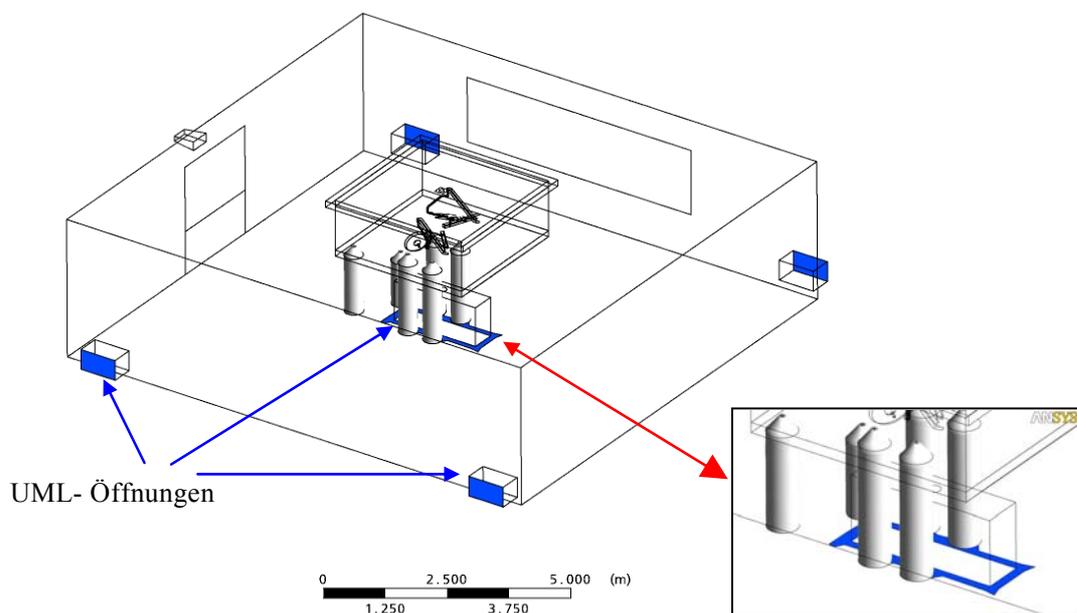


Abbildung 19: Anordnung Umluft seitlich an der Wand und am Boden

Zusätzlich zu den vier Öffnungen an der Wand wird nun eine UML- Öffnung im Boden direkt beim OP-Tisch platziert (Abbildung 19, blau eingefärbt, Zoom Ausschnitt). Der gesamt UML-Volumenstrom bleibt sich gleich.

5.6.3 Auswertung

Wie schon bei den vorangegangenen CFD-Simulationen wird auch bei den hier durchgeführten Simulationen der Schutzgrad ermittelt. Der UML-Volumenstrom wird prozentual zwischen der Öffnung im Boden und den Öffnungen in der Wand aufgeteilt. Untersucht wird die Abhängigkeit des Schutzgrades von einer variierenden Verteilung der Umluft zwischen Boden und Wand.

5.6.4 Resultate

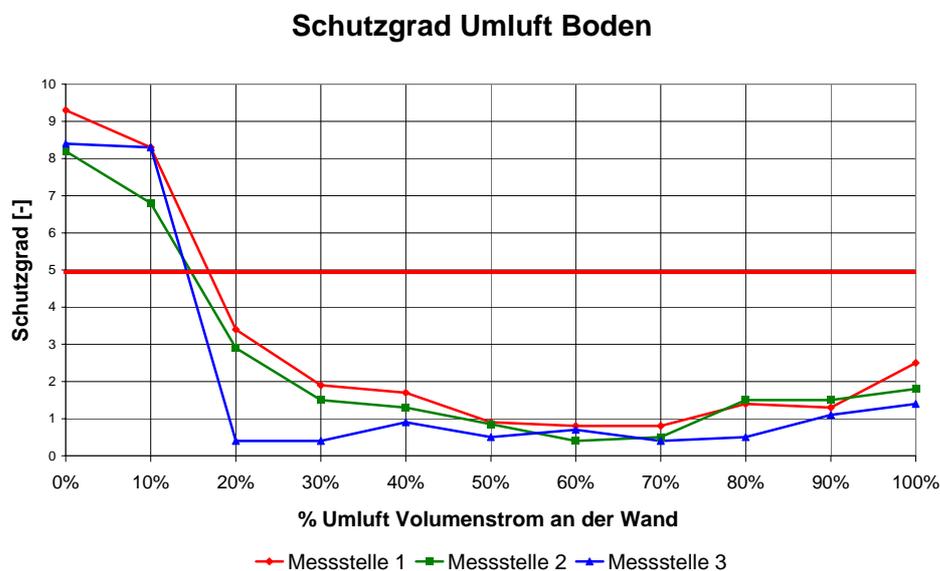


Abbildung 20: Schutzgrad für unterschiedliche Aufteilungen der Umluftmenge zwischen Wand und Boden

Wird die Umluft zu 100% zentral am Boden abgesaugt, erreicht man einen Schutzgrad fünf (theoretisch mehr, messtechnisch ist jedoch kein höherer Schutzgrad erreichbar). Je höher der Anteil der an der Wand abgesaugten Umluftmenge ist, umso schlechter wird der Schutzgrad. Analysiert man die Kurven der einzelnen Messstellen etwas genauer, erkennt man, dass an der Messstelle 3 bereits bei 20% Umluft via Wand der tiefste Schutzgrad erreicht wird. Bei der Messstelle 1 hingegen entsteht der tiefste Schutzgrad erst bei 60% Umluft via Wand.

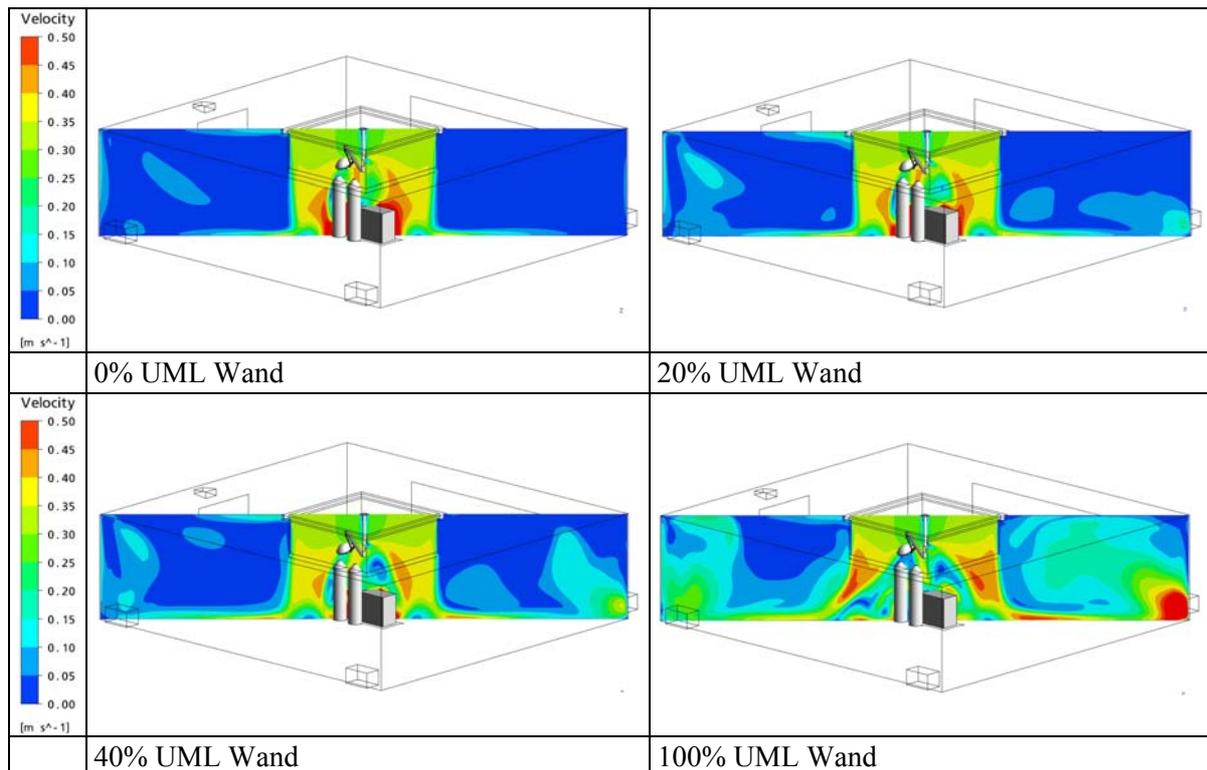
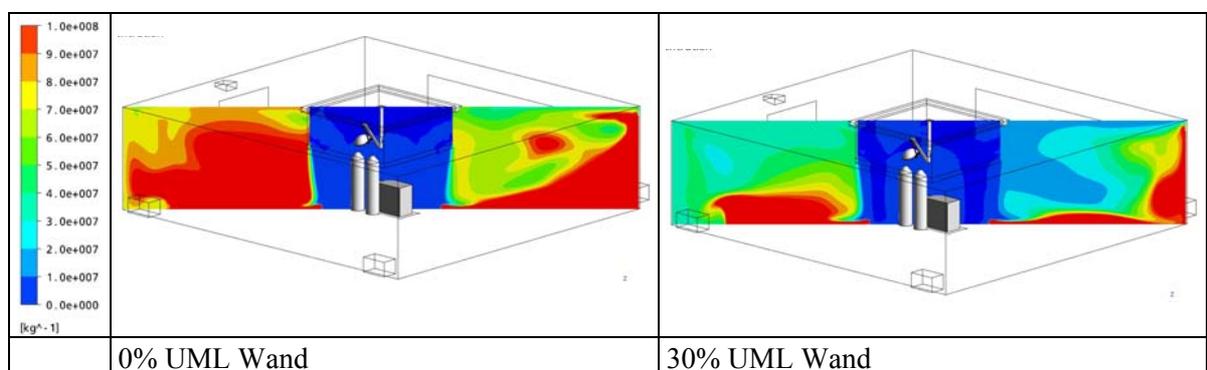


Abbildung 21: Geschwindigkeitsverteilung bei unterschiedlicher Verteilung der Umluft zwischen Wand und Boden

Bei der Variante mit 100% UML-Volumenstrom am Boden, ist die Raumlufgeschwindigkeit im Hintergrund sehr klein. Der TAV-Bereich wird sehr gut durchströmt (Abbildung 21), was dazu führt, dass die Partikel gar keine Chance haben auf den OP-Tisch zu gelangen (Abbildung 22).

Die sehr hohe Hintergrundkonzentration bei 0% UML an der Wand, ist aber trotzdem schlecht, da Personen die sich zwischen dem Sauber- und dem Schmutzbereich hin- und herbewegen die TAV-Strömung durchbrechen und so Partikel aus dem Hintergrund in den TAV-Bereich schwappen, bzw. Partikel durch die Person in den TAV- Bereich geschleppt werden.



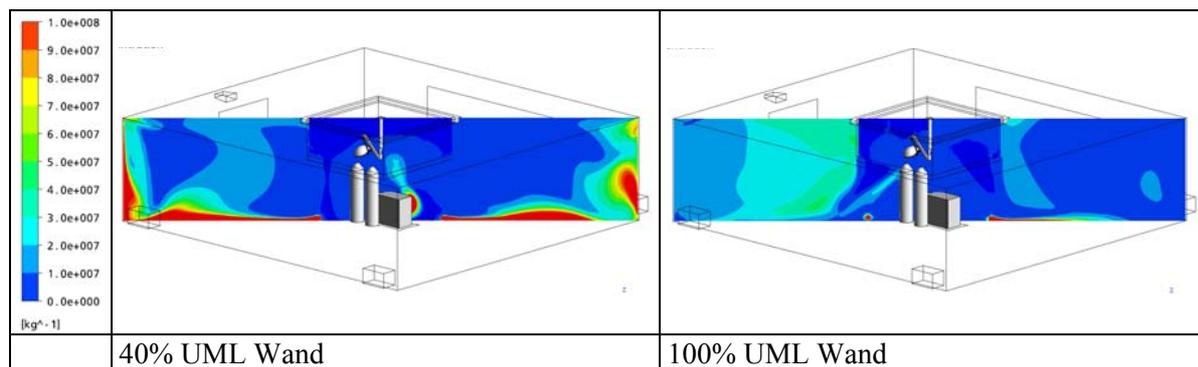


Abbildung 22: Partikelkonzentrationen bei unterschiedlicher Umluftmengen aufteilung zwischen Wand und Boden

Die Variante 20% UML-Volumenstrom an der Wand hat den Vorteil, dass die meisten Partikel durch die Umluft via Boden dem Raum entzogen werden. Der Schutzgrad ist in diesem Fall jedoch viel schlechter als jener bei 0% UML-Volumenstrom an der Wand. Die Umluft beim Tisch hat nur eine positive Wirkung auf den Schutzgrad, wenn man fast den gesamten Umluftvolumenstrom absaugt.

5.6.5 Fazit

Die Positionierung der UML beim Tisch hat noch nicht zu 100% die gewünschten Ergebnisse geliefert. Der Schutzgrad wird erst bei mehr als 90% UML am Boden deutlich besser. Interessant wäre weiter zu untersuchen wie sich der Schutzgrad verändert wenn die UML an einer anderen Position in der Nähe des Tisches abgesaugt wird. Interessant ist wie sich die Hintergrundkonzentration, je nach UML Absaugung, doch erheblich verändert.

5.7 Schlussfolgerung und Ausblick

Diese Versuchsanordnung zeigt, dass bereits durch die Wahl der UML-Öffnungen und der Verteilung des Volumenstromes ein besserer Schutzgrad erzielt werden kann. Hier liegt auch ein Potenzial für ältere, zu sanierende OPs. Weiter untersuchen sollte man die einzelnen Parameter der UML-Öffnungen wie die Öffnungsfläche für die Umluftabsaugung, die Volumenstromverteilung auf verschiedene Umluftöffnungen oder auch diverse Anordnungen der Umluft-Öffnungen. Erste Erkenntnisse waren in diesem Projekt möglich, diese sollten aber in weiteren Arbeiten vertieft werden. Das Augenmerk soll dabei auf konzeptionellen Lösungsansätzen beruhen, welche sowohl für neue, vor allem aber auch für bestehende OPs machbar sind.

5.8 Best practice guideline

5.8.1 Geometrie

Bei der Erstellung der Geometrie sollte diese so weit wie möglich vereinfacht werden; es sind nur die für die Strömung relevanten Teile zu modellieren.

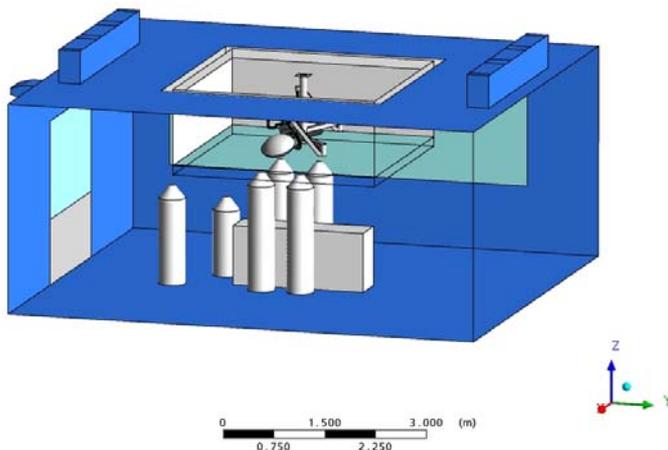


Abbildung 23: Geometrie Original-OP

In Abbildung 23 ist der für die Simulationen verwendete Operationssaal dargestellt. Wie auf der Abbildung zu erkennen ist, wird das Modell so weit wie möglich vereinfacht.

Je einfacher die Geometrie, desto einfacher wird das Rechenetz, entsprechend weniger Rechenelemente werden benötigt und dies wirkt sich direkt auf die nötigen Rechenzeiten aus.

5.8.2 Netzgenerierung

Nach der Geometrieerstellung (Flächenmodell) wird das Luftvolumen vernetzt. Bei der in diesem Forschungsprojekt vorliegenden Geometrie drängt sich eine Kombination von strukturierter und unstrukturierter Vernetzung auf. Im Bereich der komplexen Lampengeometrie ist es einfacher und schneller, ein unstrukturiertes Netz zu erstellen.

5.8.3 Unstrukturiert

Der Bereich unterhalb der Zuluftdecke hinab bis an die Kante der Schürzen wird unstrukturiert vernetzt, um der komplexen Geometrie im Bereich der Lampen Rechnung zu tragen (Abbildung 24).

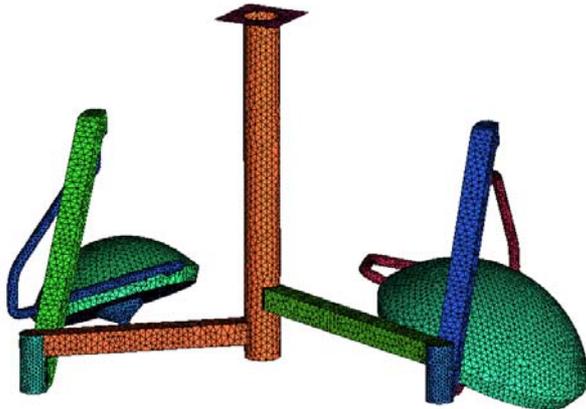


Abbildung 24: Oberflächen-Netz für Lampen und Gestänge (unstrukturiert)

Der Vorteil dieses unstrukturierten Netzes (Tetraeder-Netz) ist, dass man ein Netz automatisch auf komplexen Geometrien erstellen kann. Wo nötig kann anschliessend das Netz verfeinert werden.

Um die Randschicht im Schürzenbereich detailliert aufzulösen, wurde eine Verfeinerung mit den sogenannten prismatischen Elementen erzeugt. Der Nachteil dieses unstrukturierten Netzes liegt bei der grossen Anzahl Elementen und der entsprechend höheren Rechenzeit.

Beim unstrukturierten Netz ist mindestens eine $Quality^4 \geq 0.25$ zu erreichen. Das maximale Volumenelement sollte nicht grösser als 0.2 dm^3 sein.

Die Grösse der einzelnen Elemente sollte sinnvoll gewählt werden, so dass die Geometrie durch das Netz gut nachgebildet wird (d.h. dass z.B. eine Kurve auch annähernd eine Kurve bleibt). Die Netzgrösse liegt in den hier gerechneten Beispielen bei 550'000 Elementen.

5.8.3.1 Strukturiert

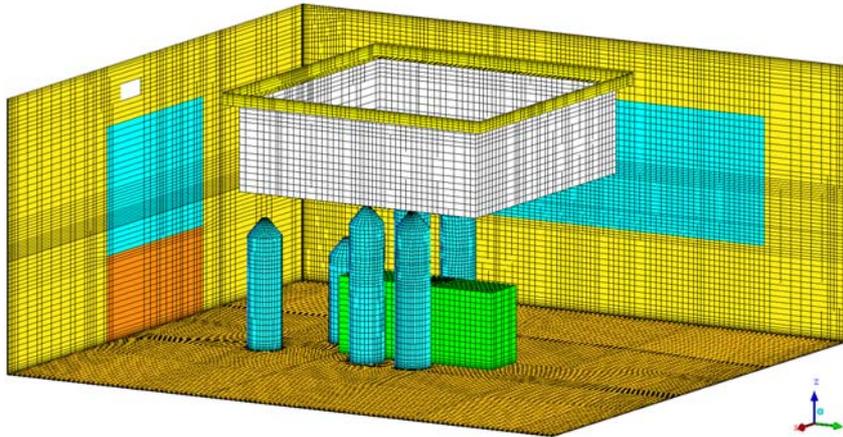


Abbildung 25: Auszug strukturiert vernetzter Teil des OP-Raumes

Die strukturierte, hexagonale Vernetzung hat den Vorteil, dass die Elemente nicht willkürlich sondern gezielt verteilt werden. So entsteht ein Gitternetz mit deutlich weniger Elementen als beim unstrukturierten Netz.

Auf folgende Kriterien ist beim strukturierten, hexagonalen Netz zu achten:

Volume Change⁴ ≥ 20

Min Angle⁴ $\geq 20^\circ$

Maximales Volumenelement = 1 dm³

Die Netzgrösse liegt bei dem hier verwendeten strukturierten Netz bei 750'000 Elementen. Somit beträgt die gesamte Netzgrösse bei diesem OP etwa 1'300'000 Elemente. Die Anzahl der Elemente dient als Anhaltspunkt und ist objekt- und aufgabenspezifisch. Wird im Lampenbereich vereinfacht lassen sich schnell viele Elemente sparen. Das Augenmerk soll sich eher auf die Qualitätsanforderung denn auf die Grösse des Netzes richten.

⁴ Definition siehe Manuel ANSYS ICEM CFD

5.8.4 Modellierung /Randbedingungen

5.8.4.1 Isotherme Simulation

Bei der isothermen Simulation (auch Kaltsimulation genannt) sind alle thermischen Faktoren nicht inbegriffen (Temperaturenrandbedingungen und/oder Wärmequellen). Die Randbedingungen sind in diesem Fall relativ einfach:

Inlet: konstante Zuluft-Geschwindigkeit aus TAV (v_{TAV}), Referenz Temperatur $\vartheta = 20^{\circ}C$

Outlet 1: entspricht der Umluft mit Geschwindigkeitsvorgabe (Normal speed): $v_{UML} = \frac{(A_{TAV} \cdot v_{TAV} - \dot{V}_{Abluft})}{A_{UML}}$

Outlet 2: entspricht der Abluft/Überströmung, Average Statistic Pressure $p = 0Pa$

Aufgrund des instationären, chaotischen Strömungsverhaltens der Luft im OP wird mit dem SST- Turbulenz-Modell gerechnet. Das k-ε Modell eignet sich in diesem Fall nicht, da dieses Modell stark dämpfend wirkt. Das SST-Turbulenzmodell wird in allen Simulationen als Standarteinstellung verwendet.

Bei den Simulationen wird zuerst eine stationäre Simulation gemacht. Da die Strömungsphänomene jedoch instationär sind, muss die Simulation anschliessend transient durchgeführt werden. Für die transiente Simulation wird das Resultat aus der stationären Simulation vorgegeben, um schneller gut konvergierende Resultate zu bekommen.

5.8.4.2 Thermische Simulation

Bei der thermischen Simulation werden aus den Messungen des Labor-OPs die Randbedingungen übernommen (z.B. Oberflächentemperaturen der Wände). Diese Randbedingungen dienen auch für weitere Simulationen, so lange nichts anderes vorgegeben wird.

- Die Oberflächentemperaturen der Wände können mit Hilfe des jeweiligen U-Wertes und den zu erwartenden Temperaturen vorgängig berechnet werden und für die Simulation als fixe Temperaturrandbedingung vorgegeben werden.
- Bei den Lampen muss die Oberflächentemperatur aufgrund von Herstellerangaben zur Leistung der Lampe errechnet werden..
- Die Randbedingungen der Zu- und Abluft entsprechen jenen der Kaltsimulationen.

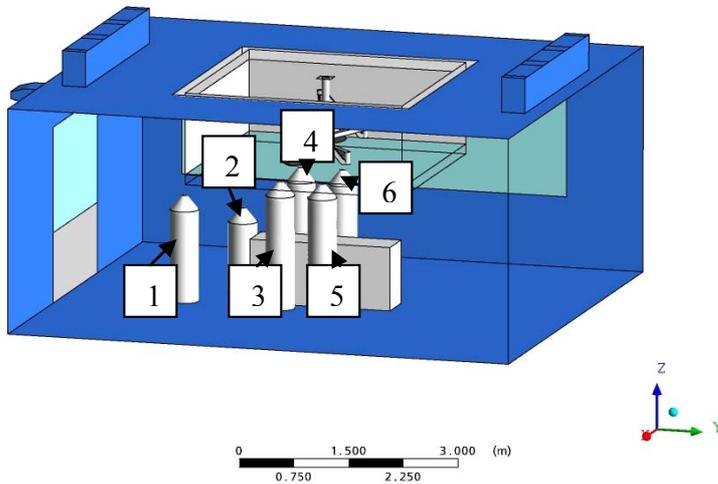


Abbildung 26: Nummerierung der Dummies

Die Leistungen der Dummies sind in der SWKI 99-3 definiert. Die Oberflächentemperaturen dieser Dummies bei der SWKI 99-3-Anordnung wurden an der Hochschule Luzern im Detail ausgemessen und können für die Simulation wie folgt angenommen werden Hinweis: Die Austrittsgeschwindigkeit des TAV beträgt $v_{TAV}=0.3\text{m/s}$:

- Dummy 1: $\vartheta_1 = 28.3 + 20.3 \cdot \frac{z}{1.5}$
- Dummy 2: $\vartheta_2 = 24.8 + 9.7 \cdot \frac{z}{1.2}$
- Dummy 3(4/5/6): $\vartheta_{3456} = 25 + 6 \cdot \frac{z}{1.8}$

z = Höhe ab Boden

Wie bei der isothermen Simulation muss auch hier zuerst eine stationäre Simulation durchgeführt werden, deren Ergebnisse als Startbedingung für die transiente Simulation vorgegeben werden.

5.8.4.3 Berechnung des Schutzgrades

Für die Berechnung des Schutzgrades werden die Partikel als Additional Variablen simuliert. Die Partikel werden durch die Source Points mit einem konstanten Partikelstrom aufgegeben.

- Additional Variablen: Specific/ Units [1/kg]/ Scalar

5.8.5 Simulation

5.8.5.1 Stationär

Mit folgenden Einstellungen konnten die Simulationen erfolgreich durchgeführt werden und es resultierten zufrieden stellende Ergebnisse:

- Für die Wärmeübertragung wird das „**Thermal Energy**“-Modell verwendet
- Bei der Turbulenz empfiehlt sich das **SST-Turbulenz** Modell. Das k, ϵ -Modell hat eine zu stark dämpfende Wirkung auf die Strömung.
- Für die Additional Variables wird als Berechnungsverfahren „**Transport Equation**“ gewählt.
- Bei der Partikelsimulation ist „**High Resolution**“ von Vorteil (bessere Konvergenz der Simulationen als mit dem spezifischen BlendFactor).
- Der Zeitschritt für die Simulation („**Physical Timescale**“) entspricht der Länge des Luftweges (l) durch die Luftgeschwindigkeit (v) mal ein Faktor (x), x liegt typischerweise im Bereich von 5 bis 10.
$$t = \frac{l}{v \cdot x}$$
- Die grosse Anzahl von Partikeln erfordert das Einschalten des Double-Precision-Version. Dadurch werden nochmals sechs Kommastellen mehr berechnet als bei einer normaler Simulation.

Für die Dauer der Simulation sollte man sich an Kapitel 5.8.5.3 halten.

5.8.5.2 Instationär

Bei der transienten Rechnung wird als Startwert die Lösung der stationären Rechnung vorgegeben, wobei die Parameter aus der stationären Rechnung nicht verändert werden dürfen. Der Zeitschritt, hier Time Step, ist auch bei der instationären Simulation gleich wie bei der stationären Rechnung.

Für die Dauer der Simulation sollte man sich an Kapitel 5.8.5.3 halten.

5.8.5.3 Optimale Simulationsdauer/-zeit

Die Dauer der Simulation ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Zum einen sollten sowohl die RMS-Werte als auch die MAX-Werte in einem akzeptablen Bereich liegen. Zum anderen sollten die Imbalances der Rechnung stimmen. Ein weiteres Ziel ist bei den Monitor Points einen Beharrungszustand zu erreichen. Es empfiehlt sich, folgende Monitor Points zu setzen:

- Je ein Monitor Point an den drei Messstellen für den Schutzgrad; hier muss die Partikelkonzentration für die Auswertung herausgeschrieben werden. Und die Partikel sollten Beharrung erreichen. Mit Hilfe der Mittelung der Partikel an den Messstellen über die 10 min (Abbildung 27), kann der Zeitpunkt ermittelt werden, wann die Simulation abgeschlossen werden kann.
- Einige Punkte im Raum anordnen zur Überprüfung des stationären Zustandes für Temperatur, Geschwindigkeit und Druck). Damit kann festgestellt werden, ob der OP im Eingeschwungenen Zustand ist.
- Je ein Monitor Point sollte in der ABL und UML gesetzt werden (Beharrung für Temperatur und Geschwindigkeit). Es rät sich, die Partikelzahlen hier zu beobachten, auch wenn nicht erwartet werden kann, dass diese Zahlen auf einem konstanten Wert verharren, da ein plötzlicher Partikelschwall in die UML- oder ABL-Öffnung gelangen kann und so die Werte der Partikel empor schnellen.
- Zur Kontrolle der negativen Partikel empfiehlt es sich eine Expression zu definieren, um den Verlauf der negativen Partikel während der Simulation zu verfolgen. Zu Beginn ist deren Wert im Normalfall extrem hoch. Die negativen Werte sollten im Verlauf der Simulationen aber kontinuierlich gegen Null tendieren.
- Die Partikel sind zu verfolgen. Kleinere Schwankungen sind zulässig, extreme Schwankungen sind zu hinterfragen. Die Werte sollten in etwa im Bereich der Werte des zuvor definierten Partikelstroms liegen.

Die erwähnten Simulations-Kriterien (RMS/MAX/Imbalance) zusammengefasst:

- $RMS \leq 10^{-4}$
- $MAX \leq 10^{-2}$
- $Imbalance \leq 10^{-2}$

5.8.6 Auswertung

5.8.6.1 Qualitätskontrolle

Zur Qualitätskontrolle (Plausibilitätscheck) der Simulation sollten jeweils folgende Punkte überprüft werden:

- Verhältnis der Summe der negativen/positiven Partikel ≤ 0.001 .
- y^+ Werte ≤ 100

5.8.6.2 Schutzgradauswertung

Die Schutzgradbestimmung wird nach der Richtlinie SWKI 99-3 durchgeführt. Damit dieser Schutzgrad ermittelt werden kann, braucht es je einen Monitor Point an einer der drei Messstellen um die Partikelkonzentration herauszulesen. Aus diesen Werten wird über 10 min ein Mittelwert gebildet, welcher zur Berechnung des Schutzgrades gebraucht wird.

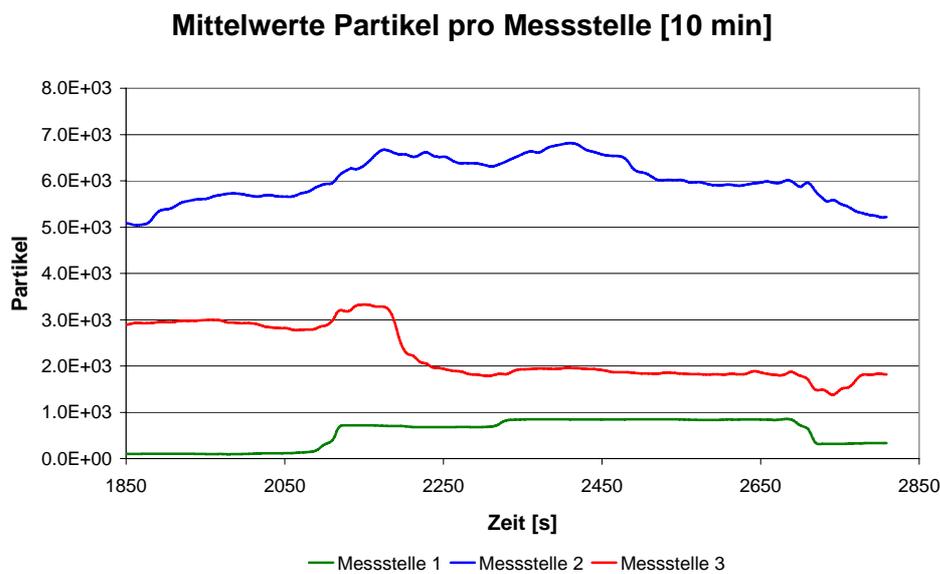


Abbildung 27: 10min Mittelwert der Partikel für die drei Messstellen

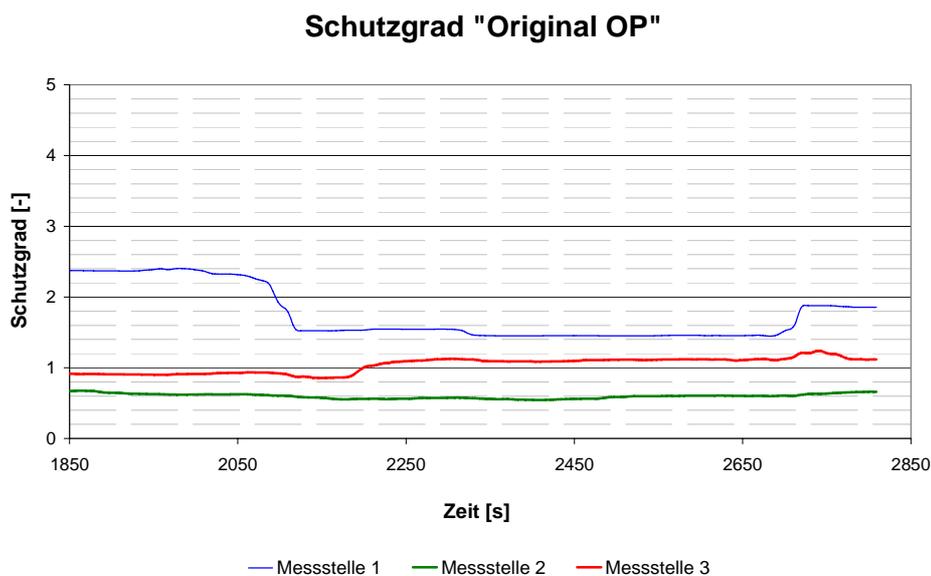


Abbildung 28: Aufgrund der 10min Mittelwerte gerechneter Schutzgrad für die drei Messstellen

In Abbildung 27 ist der Mittelwert (der Summe der Partikeln (A-F)) über 10 min kontinuierlich abgebildet. Durch diesen Wert kann nun der Schutzgrad, gemäss SWKI 99-3 ermittelt werden, siehe Abbildung 27.

Es ist sinnvoll den Mittelwert des Schutzgrads kontinuierlich immer wieder neu zu berechnen, gemäss Abbildung 27, bis der Schutzgrad sich nur noch um ± 0.1 verändert.

5.8.6.3 Weitere Auswertung

Auswertungen wie Temperaturplot, Geschwindigkeitsplot und ein Plot der Konzentration der Partikel visualisieren das Verhalten der Strömung/Partikelverteilung im OP.

6 Teilprojekt 5: Wissenstransfer

6.1 Ziel

Das im Projekt erworbene Wissen soll den interessierten Fachleuten (Planer, Hersteller, Messfirmen, Hygieniker, Betreiber, Behörden, etc.) zur Verfügung gestellt werden.

6.2 Bauen nach den neusten Erkenntnissen

Die nachfolgend aufgeführten Spitäler, welche nach den neusten Erkenntnissen (SWKI 99-3 [9], VDI 2167 [11]) geplant und eventuell schon gebaut wurden, haben sich demzufolge an das GIG-Team gewandt:

| Spital | Ort | Sanierung | Neubau | Provisorium | Anzahl OP-Säle |
|-------------------------------|--------------|-----------|--------|-------------|----------------|
| Kant. Spital Sursee | Sursee | | X | x | 3 |
| Kant. Spital Luzern | Luzern | X | X | x | 6 |
| Uni-Spital Zürich | Zürich | X | | | > 20 |
| Schulthess Klinik | Zürich | | X | | 3 |
| Spital Wetzikon | Wetzikon | X | | | 5 |
| Kant. Spital Baar | Baar | | X | | 4 |
| Inselspital / INO Neubau | Bern | | X | | 18 |
| Kant. Spital Schwyz | Schwyz | X | | | 4 |
| Spital Sanitas Kilchberg | Kilchberg | X | | | 5 |
| CHUV | Lausanne | X | | | 4 |
| Spital Gümligen | Gümligen | | X | | 1 |
| Spital Wolhusen | Wolhusen | X | | | 1 |
| Spital Beau Site | Bern | X | | | 3 |
| Kant. Spital Winterthur | Winterthur | | X | | 3 |
| Spital Balgrist | Zürich | X | | | > 4 |
| Spital Hirslanden | Zürich | X | X | | > 4 |
| Spital Mustair | Mustair (GR) | X | | | 1 |
| Uni.-Klinik Hamburg | Hamburg | X | X | | > 11 |
| Klinik Sommerfeld | Berlin | X | | | > 5 |
| Universitätsklinik Greifswald | Greifswald | X | X | | > 5 |
| | | | | | |
| <i>Liste unvollständig</i> | | | | | |

In der Schweiz erfolgen Neu- und Umbauten von OP-Räumen zunehmend nach der SWKI-Richtlinie 99-3 [9]. In Diskussion steht immer wieder die mikrobiologische Überprüfung mit Sedimentationsplatten „IMA-Methode“ (IMA = Index of Microbial content of Air). Diese Methode hat nichts mit unserer Arbeit vom effizienten Lüftungs- und Klimaanlage, welche wir im „GIG“-Projekt untersucht haben, zu tun. Das „GIG“-Projekt erarbeitete neue Lösungen im Umgang mit den Raumluftechnischen-Anlagen und deren Qualifizierung. Die IMA-Methode richtet sich nach der Keimmessung im Raum.

Mit Weiterbildungsveranstaltungen sollen die verschiedenen Abnahmemöglichkeiten mit den Vor- und Nachteilen aufgezeigt werden.

6.3 Konzeptideen für den Wissenstransfer

Aus dem Workshop vom 13.09.06 sind die nachfolgend aufgeführten Konzeptideen entstanden, wie der Wissenstransfer aussehen soll.

6.3.1 Weiterbildungsveranstaltungen von Fachpersonal

Weiterbildungsveranstaltungen auf nationaler wie auf EU-Ebene werden geplant und durchgeführt.

Für wen: **chirurgisch tätige Ärzte, OP-Schwestern, Hygieniker, etc.:** Infektionsrisiko bei Operationen und hygienisch-technische Möglichkeiten zur Verringerung der Keimübertragung im OP
Architekten: OP-Räume und -Abteilungen, Raumgestaltung und Lüftungstechnische Konzepte, gemeinsame Verantwortung mit den Gebäudetechnikplanern und Medizintechnikplanern
Generalplaner: Gemeinsame Verantwortung mit dem Architekten, den Technik- und Medizintechnikplanern, Pflicht zum Hinweis auf funktionell-hygienisch nicht sinnvolle Architekten-Vorstellungen
Gebäudetechnik- (Lüftungs-) Planer: Der OP-Raum als Einheit von Geometrie, Luftführung (Zuluftdecken, Umluft- und Überströmöffnungen) und medizintechnischen Einbauten, Pflicht zum Hinweis auf funktionell hygienisch nicht sinnvolle Architekten-Vorstellungen
Komponenten-Lieferanten (Lüftungstechnik, OP-Leuchten, Deckenversorgungsampeln, etc.): Wechselwirkung von Einbauten und Raum, Pflicht zum Hinweis auf mögliche Störwirkungen

- Wie: Die Weiterbildungsveranstaltungen werden in Tagesseminaren durchgeführt. Diese werden von der HSLU organisiert. Die Durchführung kann durch die HSLU und/oder durch die Projektpartner erfolgen.
- Ziel: Das Fachpersonal lernt einerseits die SWKI 99-3 [9] kennen, andererseits lernt dieses den OP als eine Einheit zu betrachten und kennt die Auswirkungen der verschiedenen Einrichtungen auf den Schutzgrad. Wichtig ist, dass man die Erkenntnisse aus dem „GIG“-Projekt im OP eins zu eins übertragen kann. Im vorhanden real nachgebauten OP an der HSLU können Übungen mit den Auszubildenden durchgeführt werden. Somit kann die Theorie vertieft werden.
- Umsetzung:** *Seit Projektbeginn werden die chirurgisch tätige Ärzte, OP-Schwestern, Hygieniker, etc. durch gezielte Vorträge, Fachartikel sowie Radiointerviews informiert.*

6.3.2 Öffentlichkeitsarbeit

- Für wen: Allgemeinheit, Baubranche, Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, etc.
- Wie: Die Öffentlichkeitsarbeit soll gezielt in Tageszeitungen und in Fachzeitschriften erfolgen. Es muss ein Marketingexperte gesucht werden, der einerseits über die notwendigen Branchenkenntnisse verfügt und andererseits die Allgemeinheit informieren kann und auch Zugang zu den Medien hat. Aus der Sicht des Beirates und der Projektleitung kommt nur die Markom AG mit Hans-Peter Läng in Frage, der über diese Kenntnisse verfügt. Momentan läuft eine Anfrage durch die Projektleitung an die Markom AG.
- Ziel: Die Allgemeinheit soll über die Problematiken in einem OP, die Auswirkungen eines schlecht funktionierenden OP und die daraus resultierenden Folgen (Infektionen, Antibiotika, längere Liegezeiten, etc.) und über die Verbesserungsmassnahmen informiert werden. Es ist wichtig, dass Entscheidungsträger rechtzeitig fachkompetente Partner sprich Projektpartner vom „GIG“-Projekt für ein Projekt aufsuchen. Somit ist eine korrekte INTERDISZIPLINÄRE Planung, Ausführung, Inbetriebnahme und Abnahme gewährleistet. Ein weiteres Ziel ist, dass Fachkompetenz ein sehr wichtiges Vergabekriterium von Arbeiten wird.
- Umsetzung:** *Seit Projektbeginn werden die Projektpartner, die Allgemeinheit, die Baubranche, die Hochbauämter, die Spitäler, die Planungsunternehmen, die Generalunternehmen durch gezielte Vorträge, Fachartikel sowie Radiointerviews informiert.*

6.3.3 1.Variante: Virtuelle Dienstleistungen der einzelnen Projektpartner

- Für wen:** Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, etc.
- Wie:** Einzelne im Projekt beteiligte Partner bieten ihr Fachwissen direkt den Hochbauämtern, Spitälern, Planungsunternehmen, Generalunternehmern, etc. an.
- Ziel:** Die Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, etc. können je nach Bedarf von einzelnen GIG-Projektpartnern Leistungen einkaufen. So können sie vom erworbenen Fachwissen durch das „GIG“-Projekt profitieren. Ein weiteres Ziel ist, dass Fachkompetenz ein sehr wichtiges Vergabekriterium für Bauherren und Investoren wird. Das erworbene Wissen wird damit in richtiges Handeln umgesetzt.
- Umsetzung:** *Da sämtliche Erkenntnisse seit Projektbeginn permanent den Projektpartnern mitgeteilt wurden, konnten diese das erworbene Wissen in ihrer täglichen Arbeit integrieren und auf direktem Wege umsetzen.*

6.3.4 2.Variante: Virtuelle Dienstleistungen als Gesamtprojektteam

- Für wen:** Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, etc.
- Wie:** Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, etc. können aus den nachfolgend aufgeführten GIG-Projektpartnern ein gesamtes Projektteam aus Planer, Hersteller, Installateure, Abnahmespezialisten zusammenstellen.

| <u>Planung</u> | <u>Hersteller</u> | <u>Ausführung</u> | <u>Abnahme</u> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| HTA Luzern | Admeco AG | Admeco AG | HTA Luzern |
| Admeco AG | Axima AG | Axima AG | Clean-Air System |
| Axima AG | Atel AG | Atel AG | Hotec GmbH |
| Atel AG | Barcon GmbH | Barcon GmbH | AYSID GmbH |
| Brunner HT AG | Knuchel AG | Knuchel AG | MBV AG |
| Barcon GmbH | Siemens AG | Siemens AG | ScanAir GmbH |
| Knuchel AG | Tecnofil AG | Tecnofil AG | Techniserv GmbH |
| Siemens AG | Unifil AG | Unifil AG | USZ Zürich |
| Tecnofil AG | TROX HESOC Schweiz AG | TROX HESOC Schweiz AG | Zimmermann Messtechnik |
| Unifil AG | 7-Air AG | 7-Air AG | Palas GmbH |
| TROX HESOC Schweiz AG | Lindab AG | Lindab AG | |
| 7-Air AG | Schmidt Technology | | |
| Lindab AG | Palas GmbH | | |
| TFH Berlin | | | |
| ZHW Winterthur | | | |
| Air Flow Consulting | | | |

- Ziel:** Die Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, etc. können von einem gesamten OP-Team profitieren, das auf dem neusten Stand der Technik ist. Somit können OPs geplant, gebaut und betrieben werden, wie es in der SWKI-Richtlinie 99-3 beschrieben ist. Ein weiteres Ziel ist,

dass Fachkompetenz ein sehr wichtiges Vergabekriterium für Bauherren und Investoren wird. Das Planungsteam garantiert die Umsetzung der Projekte nach dem neusten Wissensstand und kann dafür auch die Garantie übernehmen.

Umsetzung: *In der Hirslanden-Klinik in Zürich wurde dieser Versuch gestartet. Leider bestand kein Interesse seitens der Bauherren und den beteiligten Projektpartnern. Daher wurde die virtuelle Dienstleistung gestoppt und nicht weiter verfolgt.*

6.3.5 Kreieren des Labels/Brand „HSLU“

Für wen: Hochbauämter, Spitäler, Planungsunternehmen, Generalunternehmer, Planer, etc.

Wie: Es soll das Label oder Brand „HSLU“ geschaffen werden. Die Vergabe wird dann gemacht, wenn die Planung, Bau, Inbetriebnahme, Abnahme, Qualifizierung, etc. nach der SWKI-Richtlinie 99-3 [9] erfolgt ist. Zusätzlich müssen die beteiligten Firmen am KTI-Projekt dabei gewesen sein oder ihre Fachkompetenz über Referenzobjekte für den OP-Bau nachweisen. Weiter müssen die eingesetzten Komponenten im OP der HSLU einzeln oder als gesamte Einheit (OP, Leuchte, Schürze, etc.) geprüft worden sein und ein vorgeschriebener Schutzgrad muss erreicht werden. Firmen und Fachplaner müssen sich durch Schulungen im OP-Bereich, welche von der HSLU organisiert und durchgeführt werden, periodisch weiterbilden. Weiter muss die HSLU im OP-Bereich Forschungsarbeiten durchführen.

Ziel: Es soll das Label oder Brand „HSLU“ („HSLU“-geprüft oder ähnliches) geschaffen werden. Die HSLU soll für die Vergabe des Brands „HSLU“ zuständig sein.

Umsetzung: *Das Kreieren eines Labels respektive die Schaffung eines Brands wird im Zusammenhang mit der Schaffung der Inspektionsstelle (vergleiche Kapitel 4.8) im neuen Jahr angegangen.*

6.4 Publikationen und Vorträgen

In der nachfolgend aufgeführten Tabelle sind sämtliche Publikationen und Vorträge, welche im Rahmen des KTI-Projektes verfasst respektive gehalten wurden, aufgeführt:

| Name, Vorname | Publikationstitel bzw. Vortragstitel | Publikationsorgan bzw. Vortragsort | Vortrag | Fachartikel |
|---|--|--|---------|-------------|
| Jahr 2005 | | | | |
| Hildebrand Kurt | GiG Gebäudetechnik im Gesundheitswesen | Fachartikel im Installateur 2/2005 | | x |
| Hildebrand Kurt | Patient Krankenhaus Gebäudetechnik im Gesundheitswesen | Klimakongress VDI Düsseldorf 15./16. Feb. 2005 | x | x |
| Hildebrand Kurt | CFD - Strömungssimulationen im OP Labor | HTA Seminar "Neues zu Raumlufströmungen und Komfort" | x | |
| Hildebrand Kurt | H+ Bildung HLK Technik für Spitäler | H+ Bildung 21. März 05 | x | |
| Hildebrand Kurt | VTB Verein Technischer Betriebsdienste der Spitäler | Schweizerische GV im KKL Luzern | x | |
| Hildebrand Kurt | Spitalluft auf dem Prüfstand | Interview an der HTA Luzern SR DRS Zentralschweiz und Radio Pilatus | x | |
| Hildebrand Kurt Meierhans Robert | Indoorair Peking | 7.9.05 New hospital hygiene guidelines, new hospital HVAC concepts, past, proven, and future strategies | x | x |
| Hildebrand Kurt Läng Hanspeter | "Kickoff" - Das KTI-Projekt "Gebäudetechnik im Gesundheitswesen" | Planer Installateur 09-2005 | | x |
| Hildebrand Kurt | Clima 2005 Lausanne | BUILDING SERVICES ENGINEERING IN HEALTH FACILITIES 09.10.2005 | x | x |
| Kramer Axel, Hildebrand Kurt, Külpmann Rüdiger, Lüderitz Peter | RLT-Anlagen zur Prävention postoperativer Wundinfektion – Konflikt zwischen hygienischen Grundsätzen, Evidenz und Ökonomie | Hygienekongress Berlin 10-05 | x | |
| Hildebrand Kurt | Hygiene und Raumlufttechnik im Spital | Spital Swchwyz 29.11.05 | x | |
| Hildebrand Kurt | Der OP auf dem Prüfstand, Hygiene im grünen Bereich | Spital Baar / HTA Luzern | x | |
| Külpmann Rüdiger | VDI 2167/1 – Technische Gebäudeausrüstung von Krankenhäusern – Inhalt und Neuerungen | HLH 08/2005, S. 59-63 sowie im Tagungsband zur VDI-Tagung: Patient Krankenhaus, Febr. 2005, Düsseldorf | x | x |
| Brunner Arnold | Ventilation and air quality in hospitals | Rehva Seminar, Brüssel/Belgien (16.12.2005) | x | |
| Brunner Arnold | Luftfiltertechnik – Stiefkind der Reinraumtechnik? | VDI-RRT Fachtagung, Wiesloch/Heidelberg (15.-16.11.2005) | x | |
| Brunner Arnold | Neue Krankenhausrichtlinien in der Schweiz und in Deutschland: Grundlagen und Umsetzung in einem Projektbeispiel aus der Schweiz | Forum CleanRooms Europe 2005, Stuttgart (29.06.2005) | x | |
| Brunner Arnold | Current hospital guidelines in Switzerland and in Germany | The Architecture of Hospitals, Conference, Groningen/Netherlands (13.-15.04.2005) | x | |
| Brunner Arnold | Neue Krankenhausrichtlinien in der Schweiz und in Deutschland | VDI-TGA Fachtagung, Düsseldorf (15.-16.02.2005) | x | |
| Brunner Arnold | Luftfiltertechnik – Stiefkind der Reinraumtechnik? | VDI-Berichte 1910, 2005 | | x |
| Brunner Arnold | Neue Krankenhausrichtlinien zur Raumlufttechnik, Teil 2: Die Qualifizierung neuer Operationsräume | GIT SterilTechnik 02/2005 | | x |
| Brunner Arnold | Neue Krankenhausrichtlinien zur Raumlufttechnik, Teil 1 | GIT SterilTechnik 01/2005 | | x |
| Brunner Arnold | New guidelines for hospitals in Switzerland and in Germany | | | x |
| Brunner Arnold | Nieuwe ziekenhuis richtlijn in Zwitserland en Duitsland | TVVL magazine 02/2005 (Netherlands) | | x |
| Brunner Arnold | Neue Krankenhausrichtlinien in der Schweiz und in Deutschland: Grundlagen und Umsetzung in einem Projektbeispiel aus der Schweiz | HLH – Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 02/2005 | | x |
| Lüderitz Peter | Hygienische Anforderungen an und Abnahmeprüfungen von OP Räumen | VDI-Wissensforum "Patient Krankenhaus", Düsseldorf 15./16.02.2005 | x | |
| Lüderitz Peter | Hygienic requirements to operations and other invasive measures | CEN TC156 WG13, 12.04.2005 | x | |
| Lüderitz Peter | Neue Richtlinie für Krankenhauslüftung: E VDI 2167-1:2004-12 | VMLP Verband Unabhängiger Medizin- und Labortechnik-Planer, Symposium Visionen in der Medizin- und Labortechnikplanung, Hamburg 22.04.2005 | x | |
| Lüderitz Peter | Neue Richtlinie für Krankenhauslüftung: E VDI 2167-1:2004-12 | Brandenburgische Ingenieurkammer und Fachhochschule Lausitz, Cottbus, 08.06.2005 | x | |

| Jahr 2006 | | | | |
|--|--|--|---|---|
| Hildebrand Kurt | Sinnvolle Haustechnikplanung im Spitalwesen | Baublatt 16 / 2006 | | x |
| Hildebrand Kurt | KTI Projekt - Gebäudetechnik im Gesundheitswesen | Planer + Installateur März 06 | | x |
| Axel Kramer Greifswald, Kurt Hildebrand Luzern, Rüdiger Külpmann Berlin, Peter Lüderitz Berlin, Robert Meierhans Beijing | RLT-Anlagen zur Prävention postoperativer Wundinfektion – Konflikt zwischen hygienischen Grundsätzen, Evidenz und Ökonomie | DGKH Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene, Kongress Berlin April 2006 | x | x |
| Kurt Hildebrand, Luzern Rüdiger Külpmann, Berlin | Erfahrungsbericht KTI Projekt GIG; Der OP auf dem Prüfstand | DGKH Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene, Kongress Berlin April 2006 | x | x |
| Kurt Hildebrand | OP neue Standard's - Umgang in der Praxis - Forschung an der HTA Luzern | Kantonales Spital Sursee (16. und 30. Mai 06) | x | |
| Hildebrand Kurt Dominique Helfenfinger | Ventilation Concepts in Operating Rooms an Innovative Research Project | Internationaler Klimakongress Lissabon, Juni 06 | x | x |
| Kurt Hildebrand | Lüftungs- und Klimatechnik: Energie - Technik - Gesundheit | Weiterbildungszentrum TFB (8. Juni 06) | x | |
| Kurt Hildebrand | Gebäudetechnik im Gesundheitswesen □ Angewandte Forschung und Entwicklung für die Praxis – ein <i>brenet</i> Projekt | Statusseminar ETHZ -- Brenet 7./8. September 06 | x | |
| Hildebrand Kurt | GIG HTA Brenet | HTA Luzern, EMPA unterwegs 19.10.06 | x | |
| Hildebrand Kurt, Külpmann Rüdiger | GIG Der OP auf dem Prüfstand Teil 2 | Baublatt | | x |
| Hildebrand Kurt | Lüftung im OP; Geschichte der OP-Lüftung bis heute | Universitätsspital Zürich Hygiene-Kreis Zürich | x | |
| Hildebrand Kurt | OP neue Standard's - Umgang in der Praxis - Forschung an der HTA Luzern | Hirslanden Klinik Zürich | x | |
| Hildebrand Kurt | Angewandte Forschung für die Spital - Praxis | Schweizer Energiefachbuch 2007 | | x |
| Plüss Iwan | OP- CFD-Simulation | BAUSIM 2006 | x | x |
| Meierhans Robert | Indoor Air Conference 2005, Beijing | New hospital hygiene guidelines, new hospital HVAC concepts, past, proven, and future strategies | x | x |
| Külpmann Rüdiger | VDI 2167/1 – Technische Gebäudeausrüstung von Krankenhäusern – Inhalt und Neuerungen | HLH 08/2005, S. 59-63 sowie im Tagungsband zur VDI-Tagung: Patient Krankenhaus, Febr. 2005, Düsseldorf | x | x |
| Külpmann Rüdiger | Stand und Perspektiven zur Neubearbeitung von Normen, Richtlinien zur RLT in Krankenhäusern. | Vortrag und Sektionsleitung: 8. Int. DGKH-Kongress, 03.04.2006, Berlin | x | |
| Külpmann Rüdiger | Neue Normen und Richtlinien für RLT-Anlagen in Krankenhäusern | Jahrestagung der Gesundheitstechnischen Gesellschaft Berlin, Oktober 2006, Berlin | | x |
| Külpmann Rüdiger | Neue Klimatechnik in Krankenhäusern. | Tagungsband zur Weiterbildungsveranstaltung im Haus der Technik, Essen, Juni 2005, Mai 2006 | | x |
| Külpmann Rüdiger | Verbesserung der Schutzwirkung von gerichteten Raumluftrömungen in OP-Räumen | Forschungsbericht 2006, TFH-Berlin, ISBN: 3-938576-05-7 | | x |
| Külpmann Rüdiger | Verbesserung der Raumluftechnik in OP-Räumen | Zeitschrift Baublatt CH, 11/2006, S. 14 - 17 | | x |
| Külpmann Rüdiger Hildebrand Kurt | Raumluftechnik in Krankenhäusern- Aktueller Stand der Richtlinienarbeit, Forschungsergebnisse zu Luftführung in OP-Räumen | VDI-Bericht 1938, ISBN: 3-18-091938-8, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2006 | | x |
| Külpmann Rüdiger, Meierhans Robert | Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern. | Krankenhaus-Hygiene-up2date, Juli 2006, Thieme-Verlags GmbH, Stuttgart | | x |
| Brunner Arnold | Neue Krankenhausrichtlinien in der Schweiz und in Deutschland (russisch) | Technology of Cleanliness. The magazine of the Association of Engineers for Microcontamination Control (ASENMCO) 01/2006 | | x |
| Brunner Arnold | Hygiene Guidelines in Hospital Architecture | The Architecture of Hospitals. Amsterdam 2006. (University Medical Center of Groningen, NL) | | x |
| Brunner Arnold | Mikroorganismen im Operationssaal | Hygiene-Kreis Zürich, USZ-Hygienseminar 2006, Universitätsspital Zürich (08.12.2006) | x | |
| Brunner Arnold | Moderation Stand der Technik (Patient Krankenhaus – Technische Lösungen); Referat: Mikroorganismen im Operationssaal | VDI-RRT Fachtagung, Frankenthal bei Ludwigshafen/Mannheim (28.-29.11.2006) | x | |

| Jahr 2007 | | | | |
|--|--|---|---|---|
| Hildebrand Kurt, Helfenfinger Dominique | Ventilation Concepts in Operating Rooms an Innovative Research Project | WellBeing Indoors, CLIMA 2007, Helsinki Juni 2007 | x | x |
| Hildebrand Kurt, Külpmann Rüdiger, Helfenfinger Dominique | Impact of operation lamps and extraction outlets on the effectiveness of laminar air flow systems in operating theatres | Roomvent 2007 10th International Conference on Air Distribution in Rooms, Helsinki, Finland Juni 2007 | x | x |
| Möller Leander, Hildebrand Kurt, Külpmann Rüdiger | Zuverlässige Schutzgradbestimmung eines OP-Raumes | VDI Tagung; Reinraumtechnik; Innovative Verfahren zum Schutz von Produkten und Personen Oktober 2007 | x | x |
| Hildebrand Kurt, Rüdiger Külpmann, Peter Lüderitz | Abnahmen von OP Räumen im Spannungsfeld der regelwerke | HLH Ausgabe 12 - 07 | | x |
| Hildebrand Kurt Külpmann Rüdiger | Verbesserung der Raumluftechnik in OP-Räumen | Planer + Installateur 10-2007, S. 22-23 | x | |
| Külpmann Rüdiger | Aktueller Stand der Normen DIN 1946/4 und VDI 2167/1 | Vortrag auf dem 7. Ulmer Symposium Krankenhausinfektionen, Ulm, 18.04.2007 | | x |
| Külpmann Rüdiger Brunner Arnold | Fachforum Normen und Richtlinien: RLT-Anlagen in Krankenhäusern: DIN 1946/4 E und VDI 2167/1 | Sept. 2007, Promotor-Verlag, Karlsruhe | | x |
| Brunner, Arnold | Krankenhäuser: Heiz- und raumluftechnische Anlagen in Sonderräumen | Vortragsreihe am Institut für Gebäudeenergetik (IGE), Universität Stuttgart (13.02.2007) | x | |
| Brunner Arnold | Normen-Antrag SIA 382/8 "Lüftungs- und Klimaanlage in Spitalbauten" | Präsentation in der SIA-Kommission "Haustechnik und Energie", Zürich (10.05.2007) | x | |
| Brunner Arnold Külpmann Rüdiger | Neue Anforderungen an Planung und Betrieb von raumluftechnischen Anlagen in Krankenhäusern auf Basis der neuen DIN 1946-6 und VDI 2167-1 | cci-Fachforum zu Krankenhausklima-Normen, Dortmund (29.08.2007) | x | |
| Brunner Arnold | Raumluftströmung in Krankenhäusern | Diskussionsleitung und Chair an der 12. VDI-Fachtagung, Basel (24.10.2007) | x | |
| Lüderitz Peter | Abnahmeprüfungen von OP-Räumen | Weiterbildungsveranstaltung Haus der Technik Essen, 09.05.2007 | x | x |
| Lüderitz Peter | Anforderungen und Abnahmeprüfungen von OP-Räumen | Weiterbildung für Fachplaner, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein, 13./14.06.2007 | x | |
| Lüderitz Peter | OP-Lüftungskomponenten: Stand der Technik | HTA GIG, | x | |
| Menti Urs-Peter, Plüss Iwan Mennel Stefan | CFD simulations to optimise ventilation of operating theatres | Clima 2007, Helsinki | x | x |
| Menti Urs-Peter Plüss Iwan | Lüftung von OP-Sälen ist eine Herausforderung | Haustech, Oktober 2007, Nr. 10 | | x |

6.5 Semester- / Diplomarbeiten

- Caduff / Maurer, Prüfstand OP-Qualifizierung nach Spitalrichtlinie 99-3. Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2004
- Pandurevic / Stuwe; Vorbereitung und Durchführung von Abnahmen bei Raumluft-technischen Anlagen für OP-Räume, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2005 unveröffentlicht
- Hengesbach, Christian; Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung (homogene Geschwindigkeitsverteilung), Diplomarbeit, FH Köln, August 2006, unveröffentlicht
- Bunge / Weber; Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung (Differential-Flow), Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2006, unveröffentlicht
- Fuchs / Giston / Rigo; Hygienegerät Luftreiniger zum Personenschutz bei der Isolierpflege gemäss Einschliessungsverordnung, Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2006, unveröffentlicht
- Lang / Sigg; Mikroorganismen im Operationssaal, Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2006, unveröffentlicht
- Merl Daniela; Untersuchung der Wirksamkeit von Umluftreinigern in der Isolierpflege, Semesterarbeit Juli 2007 und Diplomarbeit Januar 2008, HTA Luzern, Juli 2007

6.6 Normenarbeiten

Es zeigte sich, dass die Spitalrichtlinie SWKI 99-3 [9] ist von grossem öffentlichem Interesse und soll deshalb nicht vom SWKI sondern vom SIA vertreten werden. Ein entsprechender Antrag an den SIA wurde gutgeheissen. Nun wird auf der Basis der SWKI 99-3 [9] und der VDI 2167 [11] eine neue SIA Norm erarbeitet „Lüftungen in Spitälern“. Die Startsitung fand am 21.11.2007 statt. Es wurde festgelegt, dass die neue Norm im Jahr 2009 veröffentlicht wird.

Die „Richtlinie für den Bau, Betrieb und Überwachung von raumlufttechnischen Anlagen in Spitälern“ wurde vom SKI, dem Schweizerischen Institut für Gesundheits- und Krankenhauswesen im Jahr 1975 veröffentlicht. In der Folge wurde diese Richtlinie im Jahre 1987 überarbeitet und erneut unter dem Namen des SKI veröffentlicht. Das SKI hatte sich von Anfang an für den interdisziplinären Weg entschlossen und alle wichtigen Partner (Verbände und Vereine – SIA, SRRT, SGSH, SVSI - heute IHS, SWKI, VSHL heute suissetec) mit einbezogen. Der SIA war seit Beginn einer der wichtigen Partner.

Die Richtlinie wurde von 1997 bis 2003 unter der Obhut des SWKI erneuert und im Namen aller beteiligten Vereinigungen neu auf den Markt gebracht – also wieder von einem interdisziplinären Team von Fachverbänden: Hygiene, Betrieb, Planung und Bau (ARATH, IHS, SGSH, SRRT, SWKI, VTB, SIA).

Die Richtlinie wurde vorgeschlagen als Grundlagenpapier im CEN einzubringen, was auch akzeptiert und gemacht wurde. Die WG 13 im TC 156 wurde gegründet.

Für die Projektpartner bedeutet die Übernahme der Schweizer-Grundlagen und in Deutschland einen enormen Benefit, da sie ja bereits von Beginn (auch in Deutschland) mit uns an der Richtlinie arbeiteten und somit aufgrund ihres Projektwissens und inhaltlich einen Vorsprung gegenüber der Mitkonkurrenz haben. Der dadurch entstandene finanzielle Vorteil wird als hoch eingeschätzt.

7 Zukunftsperspektive / nächste Schritte

Aus medizinischer Sicht muss der Einsatz von Antibiotika in Spitälern dringend reduziert werden. Denn auch die jüngste Studie von der EU vom Juni diesen Jahres zeigt (Presseerklärung der deutschen Fachgesellschaften für Hygiene und Krankenhaushygiene „Dringende Notwendigkeit zur grundlegenden Reform der Krankenhaushygiene in Deutschland“), dass trotz zahlreicher Erfolge bei der Bekämpfung von Infektionskrankheiten als wichtigste humane Gefahr die Zunahme von im Krankenhaus erworbenen (nosokomialen) Infektionen einzuordnen ist. Nosokomiale Infektionen werden verursacht durch Antibiotika resistente Mikroorganismen, die nur im Krankenhaus auftreten, weil sie dort durch den übermäßigen und teilweise falschen Gebrauch von Reinigungsmitteln und Antibiotika entstehen konnten. Diese Bedrohung rangiert noch vor der einer pandemischen Influenza und der durch HIV. Zusätzlich zur Gefährdung für die öffentliche Gesundheit sind damit erhebliche finanzielle Belastungen für das Gesundheitswesen verbunden. In den 25 Staaten der Europäischen Union treten jedes Jahr ca. 3 Millionen nosokomiale Infektionen mit zwischen 50.000 und nach Schätzungen der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene DGKH bis zu 100.000 Todesfällen auf. Diese Tendenzen können auch in der Schweiz immer noch festgestellt werden.

Eine zentrale Voraussetzung dafür, dass Operationen in einer sehr keimarmen Umgebung durchgeführt werden können, sind effiziente OP-Raum-Lüftungskonzepte. Das zu beantragende KTI-Projekt ist als Folgeprojekt zum ersten zu sehen, in dem die Themenfelder Lüftungstechnik, Verbesserung von medizintechnischen Einrichtungen, Messverfahren und Schulungen/Akkreditierung vertieft werden sollen. Vor der Tatsache, dass jedes Jahr Millionen von Menschen eine nosokomiale Infektion erleiden und in den knapp zwei Jahren Laufzeit des ersten KTI-Projektes nicht alle Fragen zur Wirksamkeit von Lüftungstechnischen Maßnahmen in Räumen des Gesundheitswesens beantwortet sind, soll kurzfristig das Folgeprojekt beantragt werden.

In dem KTI-Projekt sollen unter anderem folgende Themen bearbeitet werden:

OP-Räume

- Untersuchung der Schutzwirkung von bestehenden kleinen Zuluftdeckenfeldern (1.2 x 2.4 m)
- Untersuchung von OP-Leuchtenpositionen und Deckenversorgungseinheiten (DVE) im TAV-Bereich während den Eingriffen
- die Ergonomie im OP
- Zusammenstellung von Einzelmaßnahmen, die hohe Steigerung der Schutzwirkung ermöglichen, aber recht preiswert und schnell umsetzbar/nachrüstbar sind (z.B. Differenzialflow-Einsätze, Verlegung der deckenahen Umluftdurchlässe in den fußbodennahen Bereich durch Kanalformstücke für Raumecken o.ä.).

- Entwicklung eines Schulungskonzeptes für OP-Teams (schutzwirkungsrelevantes Verhalten im OP-Raum. U.a. Positionierung vom A-Tuch, Tischen, Lampen, DVEs etc.)
- Entwicklung eines „Standard-OP-Raumes“ für Neu- und Umbauten mit Angabe, in welchen geometrischen Größenänderungen er gilt und welche Einrichtungen (Leuchten, DVE etc.) im Bezug auf einen guten Schutzgrad brauchbar sind (Besprechungen sind mit einem potenziellen Projektpartner gegenwärtig am laufen).
- Optimierung von Mischlüftungskonzepten für OP-Räume

Luftqualität in Isolierbereiche:

- Erarbeitung eines Standardprüfverfahren bis zur Umsetzung in einer Norm für mobile Luftreinigungsgeräte
- Erarbeitung von Empfehlungen für Standardanwendungen für die üblichen Fälle wie Isolierzimmer, Sterilpflegezimmer, Warteräume, Luftreinigungsbedarf bei Umbaumaßnahmen etc.
- Erstellung Publikationen und Durchführung von Schulungen

Was wird neu sein am KTI-Projekt?

Im ersten KTI-Projekt wurden die Grundlagen erarbeitet, um die Phänomene und die Eigenschaften in einem OP zu verstehen. Neu am KTI-Folgeprojekt ist, dass eine verbesserte gesamtheitliche Betrachtung der Gebäudetechnik, der Lufthygiene, der OP-Einrichtungen möglich wird und somit nach besser funktionierende OP-Einheiten für Neu- und ganz speziell für Umbauten erreicht werden können.

Dieses Gesamtziel wird durch Gliederung in vier Teilprojekte strukturiert erarbeitet und schließlich interdisziplinär zusammengeführt. Im Moment sind folgende Teilprojektschwerpunkte überlegt:

Teilprojekt 1: Lüftungskonzepte und Raumgeometrien (Effizienzsteigerung, Prüfverfahren, Planungshilfen)

Teilprojekt 2: OP-Einrichtungen (Strömungsoptimierung, Neuentwicklungen mit Hilfe von Messungen und CFD-Simulationen)

Teilprojekt 3: Sanierungskonzepte (Aufbau eines Leitfadens)

Teilprojekt 4: Wissenstransfer und Umsetzung (Vertrauen der Bauherren in die Planungssicherheit)

Der Antrag für die Erarbeitung eines KTI-Antrages für ein neues KTI-Projekt wurde von der Hochschule Luzern genehmigt mit Fr. 45'000.- bewilligt.

8 Schlussbemerkungen

Die von uns gesetzten Projektziele konnten mit Ausnahme von der Entwicklung von neuen OP-Leuchtenkonzepten vor allem in Bezug auf die thermischen Lasten (z.B. Kaltlicht) und die geometrische Beeinflussung der Raumluftrömung (Teilprojekt 2) erfolgreich erreicht werden. Die Entwicklung von neuen OP-Leuchtenkonzepten konnten nur punktuell durchgeführt werden, weil der finanzielle und zeitliche Aufwand in Relation zum Gesamtprojekt nicht im Verhältnis stand. Die Entwicklung einer neuen OP-Lampe war bei den Projektpartnern nur von sekundärer Bedeutung. Weiter hat sich gezeigt, dass die momentane Entwicklung der OP-Leuchtentechnik immer mehr in Richtung LED-Leuchten geht. Die LED-Leuchte als Punktlichtquelle sei zukunftsweisend und immer weniger Hersteller würden auf Dauer in „alte“ Leuchtensysteme investieren.

Da in dieser Zeit die Problematik der Vogelgrippe weltweit in Erscheinung trat und kurzfristig zahlreiche Isolierzimmer geschaffen werden mussten, wurden Luftreinigungsgeräte gebaut. Für diese existieren bisher noch keine Abnahmeverfahren. Zusätzlich zum Projekt wurde an der HSLU ein Isolierzimmer nachgebaut, um diese Geräte auf ihre Hygiene-Tauglichkeit zu prüfen. Darüber hinaus wurden die Grundlagen für eine normierte Abnahme geschaffen. Aktuell wird diesbezüglich wissenschaftlich noch geforscht.

Im KTI-Projekt wurden die Grundlagen erarbeitet, um die Phänomene und die Eigenschaften in einem OP zu verstehen. Im, von der HSLU befürworteten, Folgeprojekt soll eine Vertiefung der gesamtheitlichen Betrachtung der Gebäudetechnik, der Lufthygiene, der OP-Einrichtungen etc. möglich sein. Somit sollen besser funktionierende OP-Einheiten für Neu- und ganz speziell für Umbauten erreicht werden können.

Horw, 13. Dezember 2007



Prof. Kurt Hildebrand
Dozent für Gebäudetechnik



Dominique
Bereichsleiter

Helfenfinger

9 Anhang

- Literaturverzeichnis

9.1 Literaturverzeichnis

- [1] Caduff / Maurer; Prüfstand OP-Qualifizierung nach Spitalrichtlinie 99-3. Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2004
- [2] Pandurevic / Stuwe; Vorbereitung und Durchführung von Abnahmen bei Raumluft-technischen Anlagen für OP-Räume, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2005
- [3] Hengesbach, Christian; Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung (homogene Geschwindigkeitsverteilung), Diplomarbeit, FH Köln, August 2006
- [4] Bunge / Weber; Untersuchungen zum Einfluss der Lage der Abströmöffnungen in Operationsräumen auf die Schutzwirkung für das Operationsfeld bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung (Differential-Flow), Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2006
- [5] Fuchs / Giston / Rigo; Hygienegerät Luftreiniger zum Personenschutz bei der Isolierpflege gemäss Einschliessungsverordnung, Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2006
- [6] Lang / Sigg; Mikroorganismen im Operationssaal, Diplomarbeit, HTA Luzern, November 2006
- [7] Brezinski / Mai; Prüfung der Wirksamkeit von Luftführungskonzepten in Operationsräumen, Diplomarbeit, TFH Berlin, August 2007
- [8] Merl Daniela; Untersuchung der Wirksamkeit von Umluftreinigern in der Isolierpflege, Semesterarbeit Juli 2007 und Diplomarbeit Januar 2008, HTA Luzern, Juli 2007
- [9] SWKI 99-3; Heiz- und Raumlufttechnische Anlagen in Spitalgebäuden; Schönbühl, Schweiz (05/2002, Beiblatt: 05/2003)
- [10] Mölter, Külpmann, Hildebrand; Zuverlässige Bestimmung des Schutzgrades für OP-Räume; VDI-Tagung Basel, Oktober 07
- [11] VDI 2167-1:Technische Gebäudeausrüstung von Krankenhäusern, (08/2007), Beuth-Verlag, Berlin
- [12] Helfenfinger Dominique; „State-of-the-art“ in Bezug auf Laminarflow-Strömung in anderen Wirtschaftsbereichen, Horw Dezember 06
- [13] SN EN ISO 14644; Teil 1 bis 8: Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche; Klassifizierung der Luftreinheit, Mai 1999.
- [14] VDI 2083, Blatt 4(Vorentwurf); Reinraumtechnik, Planung, Ausführung und Erst-Inbetriebnahme von Reinräumen, April 2005

- [15] E DIN 1946-4: 2007-06; Raumluftechnik – Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern, Juni 2007
- [16] VDI 2083-5; Reinraumtechnik - Thermische Behaglichkeit, Februar 1996
- [17] ISO/IEC 17025; Allgemeine Anforderung an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, August 2005
- [18] ISO 9001; Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen, Oktober 2007
- [19] Kugler, Jens; „Simulation und Messungen von störenden Einflüssen auf die Ausbildung von Verdrängungsströmungen in Operationsräumen“, Fortschr.-Ber. VDI Reihe 17 Nr. 188, Düsseldorf: VDI Verlag 1999
- [20] Ivan D.A. Johnston, Andrew R. Hunter; “The Design and Utilization of Operating Theatres”, The Royal College of Surgeons 1984, ISBN 0-7131-4422-X