

U. Junghannß, C. Sacré, H. Röhrich und E. Rohrmüller

Experimentelle Untersuchungen zur Keim- und Partikelbelastung in einem Operationsraum mit laminarer Verdrängungsströmung*

Die Funktion und Wirkung eines Belüftungssystems mit Laminar-Air-Flow-Zuluftdecke wurde in einem Muster-OP-Raum getestet. In drei unterschiedlichen Prüfverfahren mit Keim- und Partikelzahlmessungen zeigte sich, daß unter der Zuluftdecke unter normalen Betriebsbedingungen bzw. Operationssimulationsbedingungen ein sicherer Schutzbereich mit sehr geringer Keimbelastung (bis zu 0 KBE/m³) aufrechtzuerhalten war.

Die Ergebnisse zeigen deutlich den gravierenden Unterschied zu den bisher verwendeten turbulenzbehafteten konventionellen Zuluftdecken mit Lochkassetten.

Es wurde versucht, die Prüfvorschrift gem. DIN 4799 für OP-Luftführungssysteme zu vereinfachen, indem ein Test mit einem OP-Team durchgeführt wurde. Dieser Test ist unseres Erachtens praxisbezogener und einfacher als die DIN-Empfehlung durchführbar und reproduzierbar.

Experimental studies of germ and particle pollution in a hospital operating room with laminar displacement air flow

The operation and effectiveness of a ventilating system based on a laminar air flow intake ceiling were tested in a model hospital operating room (OR). Three separate sets of measurements of germ and particle distribution taken under simulated normal OR working conditions showed that it was possible to maintain a protected secure area with a level of germ density as low as zero (0 KBE/m³). The results clearly show a significant difference from those obtained with conventional turbulence-causing intake ceilings with perforated grilles. An attempt was made to simplify test procedures prescribed in DIN 4799 for OR ventilating systems by conducting the tests in the presence of an actual OR surgical team. Such a test better approximates real-world conditions and is simpler to conduct and replicate than is the DIN recommendation.

Analyses expérimentales sur la charge en germes et en particules dans une salle d'opération avec écoulement de régime laminaire

Le fonctionnement et l'action d'un système d'aération avec un plafond d'air amené de type laminaire («Laminar-Air-Flow») ont été testés dans un bloc opératoire type. Trois méthodes d'essai différentes portant sur des mesures du nombre de germes et de particules, ont révélé que, sous le plafond d'air amené et dans des conditions normales d'utilisation, c'est-à-dire dans une simulation d'opération chirurgicale, on obtenait une zone de protection sûre avec une charge en germes très faible (ne dépassant pas 0 KBE/m³).

Les résultats ont nettement fait apparaître l'énorme différence qui existe par rapport aux plafonds conventionnels avec cassettes à trous et à régime turbulent utilisés jusqu'à maintenant.

On a essayé de simplifier les instructions d'essai prescrites par la DIN 4799 concernant les systèmes de conduite d'aération dans les salles d'opération, en effectuant un test avec une équipe chirurgicale. Ce test est, à notre avis, beaucoup plus proche de la réalité et plus simple à exécuter que la recommandation DIN.

Schlüsselwörter

Luftführung in OP-Räumen, LAF (Laminar-Air-Flow), Zuluftdecke, Kontaminationsgrad, Luftkeimmessungen, Partikelzahlmessungen.

Key Words

air movement in operating theatres, LAF (laminar-air-flow), op supply air ceiling, contamination factor, air borne germ-measurements, air particle-measurements.

Einleitung

Luftkeime im Operationssaal stellen eine mögliche Quelle für Wundinfektionen dar. Um die Luftkeimzahl im OP-Bereich zu reduzieren und das Infektionsrisiko hierdurch zu vermindern, sind RLT-Anlagen erforderlich. Publikationen beweisen, daß ohne RLT-Anlage

- die Luftkeimzahlen während des Arbeitens in einem OP-Raum ständig zunehmen,
- eine Elimination von freigesetzten Keimen nur ungenügend gegeben ist,
- der Zustrom keimhaltiger Luft in den Operationsbereich nur ungenügend verhindert werden kann.

Aus diesem Grund ist hygienisch einwandfreies Arbeiten im OP an die Ausrüstung mit raumluftechnischen Anlagen gebunden. Dies gilt insbesondere für Operationen, die ein hohes Maß der Keimarmut (wie z. B. Knochen- und Gelenkoperationen) erfordern.

In diesem Fall muß die Luftkeimbelastung, vor allem im Operationsfeld, auf ein Minimum reduziert werden. Dabei ist noch zusätzlich zu beachten, daß freigesetzte Keime durch Luftturbulenzen und Sedimentation nicht nur in das eigentliche Operationsfeld gelangen, sondern auch ein freiliegendes, sterilisiertes Instrumentarium durch Sedimentation kontaminieren können. Bei Operationen mit besonders hohen Anforderungen an die Keimarmut wird zunehmend das Laminar-Air-Flow-System (LAF) im Sinne der Reinraumtechnik angewandt oder Zuluftdecken eingesetzt, die für den Bereich des engeren Operationsarbeitsraumes niedrige Luftkeimzahlen erreichen.

Bei all diesen Systemen geht es darum, daß der eigentliche Arbeitsbereich im Operationssaal durch die Wahl eines geeigneten Luftführungssystems und die Zuführung keimfreier Luft besonders geschützt wird. Da der gesamte Operationsraum bei Einsatz von Zuluftdecken nicht erfaßt wird, beschränkt man sich auf eine mehr oder weniger große Fläche innerhalb des eigentlichen OP.

Untersuchungen erbrachten, daß bei Anwendung laminar strö-

* Manuskript eingereicht im Mai 1991

RLT-System	Ausführung	erreichbarer Reinheitsgrad in KBE/m ³
a	Turbulenzreiche Verdünnungslüftung Einzelauflage oder Schrägschirm	≤250
b	Turbulenzreiche Verdünnungslüftung OP-Zuluftdecke mit stabilisierter Abwärtsströmung	≤90
c	Turbulenzreiche Verdünnungslüftung Abgegrenzter Reinbereich im OP über Vorhang	≤50
d	Turbulenzarme Verdrängungslüftung Horizontalstrom	≤25
e	Turbulenzarme Verdrängungslüftung Vertikalstrom mit Vorhang	≤1

Bild 1 Übersicht OP-Klimasysteme

mender Reinluftzonen (LAF) über dem OP-Tisch die Infektionsrate um bis zu 50% im Verhältnis zu normalen konventionell belüfteten OPs gesenkt werden kann. Trägt hierbei das OP-Team noch spezielle keimdichte Schutzkleidung, ist sogar eine Reduktion um mehr als 75% möglich [1]. Auch wenn diese Untersuchungen nur als tendenziell angesehen werden können, so wird jedoch deutlich, daß die Anwendung laminar strömender Reinluftfelder, die eine sehr effiziente Keimzahlreduktion im Luftstrom sicherstellen, ein Schutz für Patient und Instrumentarium sein kann.

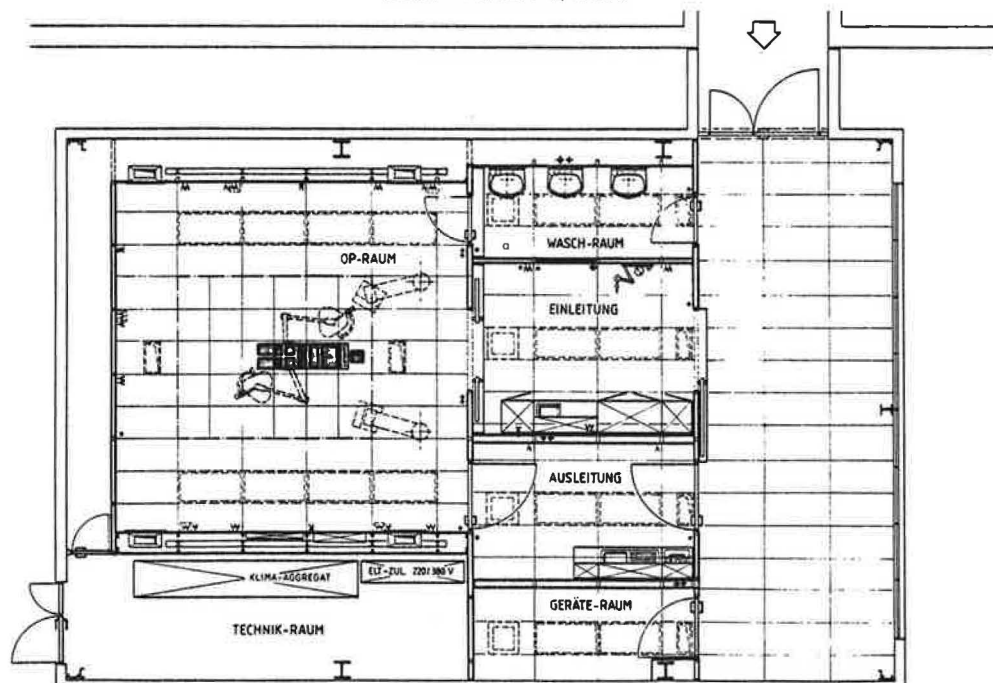
Die neuesten Entwicklungen von OP-Belüftungssystemen unter Anwendung der Laminar-Air-Flow-Technik zeigen, daß heute Operationsräume auch ohne besondere Mehrkosten damit ausgestattet werden können. Die höheren Betriebskosten (infolge größerer Luftmenge) können, wenn mit Umluftanteil gefahren wird, deutlich gesenkt werden.

Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß durch die Verwendung von Umluft keine rückwirkende Gefährdung für den OP-Raum gegeben sein darf und daß diese Anlagen einer einwandfreien hygienisch-mikrobiologischen Überprüfung und Überwachung zu unterziehen sind.

Der mitunter aus Kostengründen praktizierte Einsatz sehr kleiner Reinluftfelder von z. B. 1,2 m Breite ist insbesondere wegen des kleinen Reinluftfeldes und des nicht erfaßten Instrumententisches als problematisch anzusehen. Ihr Einsatz sollte speziellen Fällen (z. B. Verbrennungseinheiten, Intensivpflege) vorbehalten bleiben.

Bild 1 gibt eine Übersicht über heute verfügbare Luftführungssysteme und zeigt, welche Keimkonzentrationen im Operationsbereich bei günstigen Randbedingungen zu erreichen sind [2].

Bild 2
Lageplan Versuchs-OP mit dezentraler Klimatisierung



System b zeigt das bisher sehr häufig verwendete schwach turbulente Verdünnungssystem (Lochkassettendecken mit Strömungsstabilisierung durch Düsen bzw. Quellaftauslaß).

System e zeigt den heute möglichen Schritt in Richtung zum örtlich begrenzten Reinraum unter Anwendung der Laminar-Air-Flow-Technik.

Versuchs-Operationsraum, Aufbau und Ausstattung

Zur Durchführung der hygienisch-bakteriologischen Untersuchungen stand ein funktionsfähiger Muster-OP¹ im Maßstab 1:1 zur Verfügung. Bild 2 ist zu entnehmen, daß dem OP noch drei Vorräume, ein Technikraum für dezentrale Klimatisierung und ein Flurbereich zugeordnet sind.

Der gesamte OP-Trakt befindet sich als „Raum im Raum“ in einer isolierten Leichtbauhalle. Die notwendige Abschirmung gegen unerwünschte Störungen, wie Temperatur, Sonnenstrahlung und Windeinflüsse, ist dadurch gegeben.

Der grundsätzliche Aufbau des Fertig-OP-Raumes geht aus Bild 3 hervor.

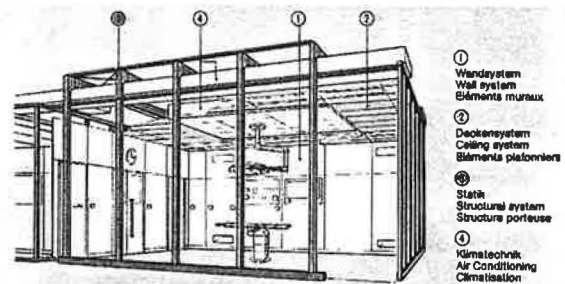


Bild 3 Prinzipaufbau des untersuchten Operationsraumes

Als Hauptbauteile sind zu nennen:

- Statik-Tragegerüst, an dem alle Festeinbauten, wie Wände, Decke, Beleuchtung, Geräte usw., befestigt werden.
- Fertigwandsystem Edelstahl lackiert mit Türen, Einbauten und Abluftkanälen.
- Kassettendecke verz. Stahl lackiert mit Reinraumleuchten, Zuluftdecke und Geräteadapter.

1 Muster-OP-Raum Typ VARIOP. Aufgestellt auf dem Werksgelände der Firma Stierlen-MAQUET AG, Rastatt

In Bild 4 ist eine Innenansicht des Raumes dargestellt. Der verwendete OP-Raum mit dem Rastermaß 6,6 m × 6,6 m, Höhe 3 m, war folgendermaßen ausgestattet:

Grundbeleuchtung 8 Stück Reinraumleuchten, deckenbündig
Zuluft-Deckenfeld 1,8 m × 2,4 m
2 Abluft-Wandkanäle mit unterer und oberer Ansaugöffnung
2 Abluft-Deckenelemente
Duo-OP-Leuchte Hanau-London
OP-Tisch Maquet 1120
Instrumentenzureichetisch und div. kleineres Inventar
Patientenüberwachungssystem, Siemens-Deckenampel
Elektrochirurgiegerät, Deckenampel.

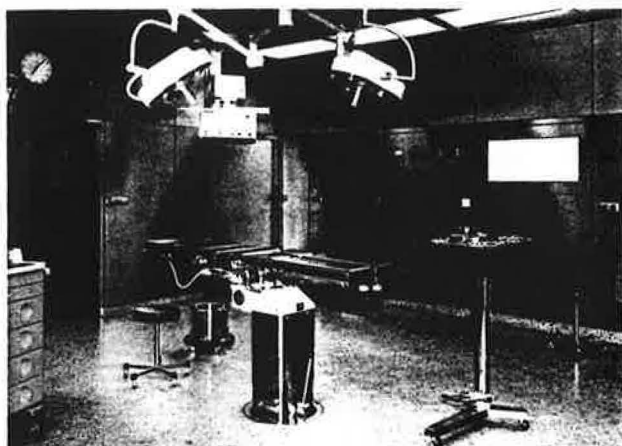


Bild 4 Versuchs-OP Innenansicht

Klimatechnische Ausstattung

Der gesamte OP-Trakt mit Operationsraum und Vorräumen wird durch eine dezentrale RLT-Anlage klimatisiert. Hierzu ist dem OP ein Technikraum zugeordnet, in dem ein Hygiene-Klimakompaktgerät aufgestellt ist (s. Bild 2). In diesem Klimagerät wird die angesaugte Außenluft mit Filtern der Klasse EU 3 und EU 6 vorgelüftet und entsprechend den eingestellten Temperatur- und Feuchtedaten aufbereitet. Die konditionierte Außenluft wird über ein Kanalsystem dem OP-Bereich mit Zuluftauslässen zugeführt. In diesen Auslässen befinden sich endständig Schwebstofffilter der Klasse S DIN 24184.

Alle Schwebstofffilter wurden vor dem eigentlichen Meßprogramm auf Funktion getestet:

1. Filter – Dichtsitzprüfung
2. Filter – Lecktest mit Partikelzähler

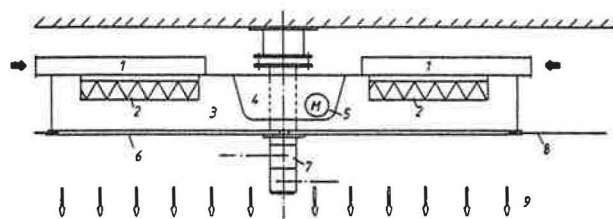
Das Abluftsystem besteht überwiegend aus unteren und oberen Ansaugstellen mit Mengenregulierung. Die unteren Öffnungen sind mit Flusensieben ausgestattet.

Die Zu- und Abluftmengen waren derart eingestellt, daß stets ein Druckgefälle vom Operationsraum über die Vorräume zum Flurbereich hin vorhanden war. Die Vorräume konnten damit eine Schleusenfunktion übernehmen [3].

Technische Daten der OP-Zuluftdecke:

Typ	: Maquet ZLD – LF 1824
Luftströmung	: vertikaler Laminarstrom
Abmessung B × L	mm : 1800 × 2400
Zuluftmenge	m ³ /h : 2260 ... 3140
bei Austrittsgeschwindigkeit	cm/s : 18 ... 25
Schwebstofffilter Klasse S	mm : 4 Stück 610 × 610 H = 65
Kanalanschluß	mm : 4 × 600 × 100
OP-Leuchte	: luftdichte Durchführung
Luftverteiler	: Laminarisorator, motorisch abklappbar
Material Druckkammer etc.	: Edelstahl DIN 59382

Bild 5 zeigt einen Schnitt durch die Zuluftdecke.



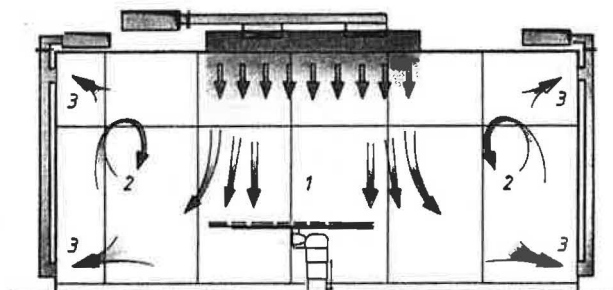
- | | |
|--|-------------------------|
| 1 Luftanschlüsse | 6 Laminar-Luftverteiler |
| 2 Schwebstofffilter | 7 Stativ OP-Leuchte |
| 3 Druckkammer | 8 Zwischendecke |
| 4 luftdichte Stativdurchführung | 9 Luftaustritt |
| 5 Stellmotor zum autom. Öffnen der Zuluftdecke | |

Bild 5 Zuluftdecke ZLD – konstruktiver Aufbau

Funktion

Die gemäß [3] zweifach vorgefilterte und konditionierte Außenluft gelangt über die Anschlußkanäle zu den endständigen Schwebstofffiltern. Die Zuluft wird hier hochgradig gereinigt und tritt als extrem partikelarme Sterilluft in die Druckkammer der Zuluftdecke ein. In dieser Kammer erfolgt eine gleichmäßige Verteilung auf den nun wesentlich größeren Austrittsquerschnitt. Über speziell ausgebildete Laminar-Luftverteiler gelangt die reine Luft turbulenzarm in den Raum und bildet hier eine vertikale Verdrängungsströmung (Schutzbereich).

Kontaminationen im reinen Bereich werden damit auf kürzestem Wege und schnellstmöglich ausgetragen, gleichzeitig besteht ein wirksamer Schutz gegen eindringende Verunreinigungen aus den Sekundärzonen des OP-Raumes. Bild 6 veranschaulicht schematisch die Strömungsverhältnisse. In Bild 7 und 8 ist die Luftströmung am OP-Tisch und Instrumententisch mittels Rauchversuch dargestellt.



- 1 vertikale Laminarströmung (Schutzbereich)
- 2 Sekundärzonen (unreiner Bereich)
- 3 Abluftabsaugung

Bild 6 Strömungsverhältnisse im OP-Raum



Bild 7 Strömungsnachweis über horizontal ausströmenden Rauch. Die vertikale Abwärtsströmung ist deutlich sichtbar



Bild 8 Strömungsnachweis am OP-Tisch. Der mit hohem Impuls nach oben gerichtete Rauch gelangt nicht auf die OP-Tischplatte

Das endständige Anordnen der Schwebstofffilter hat den Vorteil, daß danach keine weiteren Luftkanäle erforderlich sind. Diese würden gemäß [3] einer ständigen Prüf- und Reinigungspflicht unterliegen. Ein weiterer Vorteil ist durch die natürliche Barrierefunktion der Filtermembrane zum übrigen Klimasystem hin gegeben.

Nach neueren Untersuchungen kann diese Barriere jedoch dann unsicher werden, wenn im Filter länger andauernd ein keimförderndes Mikroklima herrscht, z. B. relative Luftfeuchten von 90 % [4, 5]. Es ist daher zu fordern, daß die Feuchte an den beiden letzten Filterstufen und im dazwischenliegenden Kanalnetz auf max. 80 % begrenzt wird.

Prüfung eines Luftführungssystems

Die Luftführung in einem Operationsraum wird wesentlich durch die Art der Zuluftzuführung bestimmt.

In DIN 1946 Teil 4 wird zur qualitativen Beurteilung eines Systems mit Verdrängungsströmung ein Kontaminationsgrad μ_s definiert. Dieser soll nach einem Prüfverfahren, welches in DIN 4799 beschrieben ist, experimentell nachgewiesen werden [3, 6].

Es gilt:

$$\mu_s = \frac{\text{Keimzahl-Schutzzone}}{\text{Keimzahl-Raum}}$$

Für ein Luftführungssystem mit $\mu_s = 1$ ergibt sich im Raum überall die gleiche Keimzahl, d. h. keine Schutzzone (ideale Mischlüftung mit Einzelauslässen in der Decke).

Dieser als „Impfgas-Konzentrationsmeßverfahren“ bekannte Test benutzt beheizte Puppen (z. T. mit Bewegungsprogramm) zur Simulation des OP-Teams. Diese sind mit exakt dosierten Gasquellen zu bestücken. Zur Auswertung der Konzentrationen sind Gasanalysegeräte erforderlich.

Da die Durchführung eines solchen Versuchs sehr kostenintensiv und zeitaufwendig ist sowie ein erfahrenes Meßteam erfordert, sind alle bisher bekannten Tests unseres Wissens nur in vereinfachter Form durchgeführt worden. Das bisher am meisten verwendete Impfgas ist Lachgas N_2O . Inwieweit jedoch von einer festgestellten Gaskonzentration auf das Verhalten bei Partikel- bzw. Keimausbreitung geschlossen werden kann (und das unter vereinfachten Randbedingungen), ist bisher ungesichert. Zumindest können sedimentierende Teilchen $> 10 \mu m$ nur unzureichend genau nachgebildet werden, da die Sinkgeschwindigkeit gegenüber von Gasen nicht mehr vernachlässigbar ist [7]. Die real existierenden elektrostatischen und adhäsiven Wechselwirkungen zwischen Partikeln und festen Oberflächen bei Bewegung sind ebenfalls unberücksichtigt.

Als wesentliche Schwäche dieses Tests erweist sich das Fehlen des sich bewegenden OP-Teams.

Die nachstehend beschriebenen Versuche und Prüfungen, welche sich nicht an der oben zitierten Test-Methode orientierten, hatten in unserem Fall somit auch den Zweck, die vorgenannten Nachteile auszuschalten und ein praxisorientiertes Ergebnis zu bekommen. Darüber hinaus sollte das angewandte Verfahren vor Ort in jedem OP reproduzierbar und von jedem Krankenhaushygieniker mit den standardmäßig vorhandenen Meßgeräten durchführbar sein.

Zur Absicherung der gefundenen Ergebnisse wurden mehrere Meßreihen mit unterschiedlichem Belastungsgrad durchgeführt.

Meßergebnisse lagen danach in Form von Keim- und Partikelzahlen vor. Ein Kontaminationsgrad im vorgenannten Sinn konnte damit ebenfalls definiert werden.

Bild 9 zeigt den geprüften OP mit geöffneter Zuluftdecke.

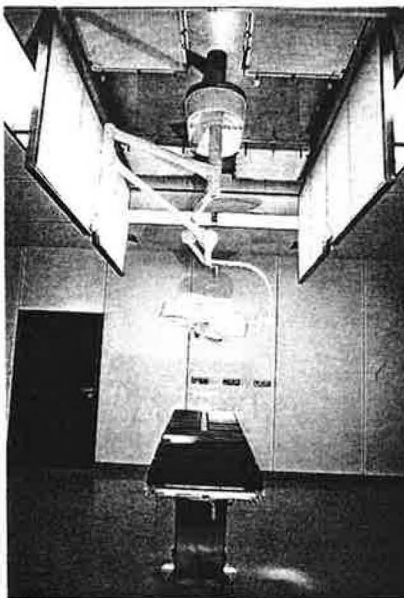


Bild 9 OP-Zuluftdecke in geöffnetem Zustand

Meßmethode und Meßergebnisse

Es wurden im einzelnen folgende Meßreihen durchgeführt:

I. Luftkeim- und Partikelzahlmessung (simulierter OP-Betrieb mit OP-Team)

Im OP waren vorhanden:

- Ausstattung wie zuvor beschrieben
- Luftkeim- und Partikelzählgeräte
- OP-Team, 4 Personen, bekleidet mit OP-Schuhen, Hose, Kasack, sterilisiertem Mantel (Gore-Tex), Handschuhen (ohne Talkum), Vollhaube, Mundschutz
- OP-Meßteam, 2 Personen, w. v., jedoch ohne Mantel
- Patientenpuppe, abgedeckt mit Tüchern.

Kleidungswechsel im OP-Einleitungsraum.

Es wurden die Bewegungsabläufe eines operativen Eingriffs im Bauchraum nachvollzogen. Hierzu wurden sterile Edelstahlschrauben an der Operationswunde gezählt, umgefüllt und in DIN-Containern angeliefert und weggetragen.

Die Keimzahlmessungen wurden mit Admeco-Slit-Sampler durchgeführt (Nährböden Hammelblutagar).

Bebrütung der Kulturen: 48 Stunden bei $36^\circ C \pm 1^\circ C$, danach Auswertung.

Die vorangegangene Scheuer-Wisch-Desinfektion des kompletten OP-Bereiches wurde hinsichtlich des Desinfektionserfolges mit Rodacplatten überprüft.

Für die Partikelzahlungen wurde ein PMS-Laserzählgerät Typ ULPC-500 verwendet.

Alle Luftkeimmessungen wurden an vier fixierten Stellen vorgenommen (s. Bild 10):

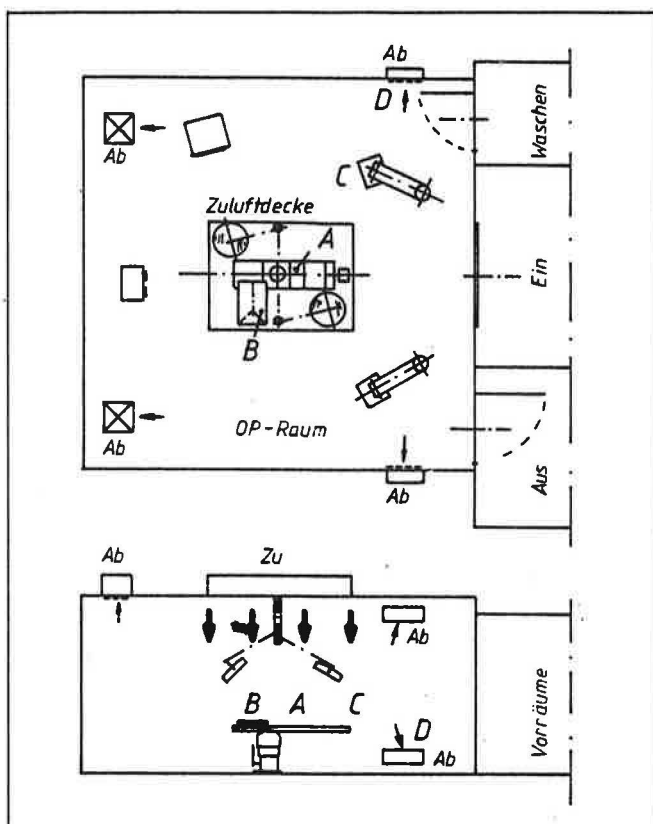


Bild 10 Messpunkte Luftkeim- und Partikelzahlmessungen

Messpunkt A Operateur Höhe 1,2 m über Fußboden
 Messpunkt B Instrumente Höhe 1,5 m über Fußboden
 Messpunkt C Raumluft Höhe 1,8 m über Fußboden
 Messpunkt D Abluft Höhe 0,3 m über Fußboden

Die Partikelzahlungen erfolgten an den Messstellen A und B.

a) Luftaustrittsgeschwindigkeit 23,5 cm/s

Zuluftmenge : 2876 m³/h
 Luftwechsel Raum : 22,1 h⁻¹
 interne Kühllast : 2180 W
 Temp.-Differenz : 0,5 ... 1,1 K (zwischen Abluft und Zuluft)

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle A I und B I dargestellt.

Die Luftkeimmessungen, im OP-Feld und auf dem Instrumententisch (über dem Fußende des OP-Tisches angeordnet) s. Messpunkt A, B, erbrachten Ergebnisse mit max. 7 KBE/m³.

Stand jedoch der Instrumententisch nicht über dem, sondern neben dem OP-Tisch, d. h. am Rand bzw. außerhalb der Zuluftdecke, konnten, wie zu erwarten war, höhere Luftkeimwerte nachgewiesen werden (Messpunkt B 5, 6, 7). Hier zeigt sich deutlich, daß es vorteilhaft ist, nicht zu kleine Zuluftdecken auszuwählen.

Die Ergebnisse an den Messpunkten C und D zeigen einen typischen Belastungsgrad im übrigen Raumbereich (Sekundärzone).

Die Partikelzahlen innerhalb der Schutzzone lagen mit Werten von 0–1 Part./l sehr niedrig. Hier konnte die Reinheitsklasse 3 gem. VDI 2083 [8] während der Operation erreicht und gehalten werden. Sinngemäß zu den Werten der Keimzahlen ergaben sich im Randbereich der Zuluftdecke ebenfalls höhere Partikelzahlen (s. letzte Meßreihe). In Bild 11 ist das OP-Team während des Meßprogramms dargestellt.



Bild 11 OP-Team während der Versuche. Meßstelle A Operateur mit Keim- und Partikelzählung

Tabelle A I Luftkeime in KBE/m³ Austrittsgeschw. 23,5 cm/s

Meß-Nr.	Meßpunkt			
	A	B	C	D
1	0	7 ¹	46 ¹	99 ¹
2	7 ¹	0	46 ¹	99 ¹
3	0	0	33 ¹	92 ¹
4	0	0	80 ¹	145 ¹
5	7 ¹	106 ²	73 ²	92 ¹
6	–	40 ²	–	–
7	–	26 ²	–	–

¹ Staphylococcus epidermis

² apathogene Mikrokokken + Staphylococcus epidermis

Kontaminationsgrad

Die Messungen gem. Tabelle A I Nr. 1 ... 4 Meßstelle A+B ergeben eine mittlere Keimzahl von 1,75 im Schutzbereich der OP-Zuluftdecke. Im Raum ergibt sich eine mittlere Keimzahl von 80.

Somit wird $\mu_s = 1,75/80 = 0,02$, d. h., im Schutzbereich der Zuluftdecke waren im Mittel nur 2% der Keime, welche im übrigen Raum anzutreffen waren, nachweisbar. Die Messungen gem. Tabelle C I bestätigen diese Größenordnung ebenfalls.

Die gravierenden Unterschiede werden klar, wenn man bedenkt, daß konventionelle Zuluftdecken mit Lochauslässen innerhalb des Schutzbereiches erfahrungsgemäß nur Kontaminationsgrade von bestenfalls 50% erreichen.

Der Schutzbereich der getesteten Zuluftdecke mit laminarer Austrittsströmung war demnach weit weniger von den Kontaminationen im Randbereich des OP-Raumes abhängig, als dies bei einem konventionellen Belüftungssystem gewesen wäre.

Tabelle B I Partikel/Liter Austrittsgeschw. 23,5 cm/s Mittelwerte aus mehreren Meßreihen

Meßpunkt	Partikel-Größen in µm			Bemerkung
	> 0,5	> 1,0	> 5,0	
A	0	0	0	Nullmessung
A	0	0	0	
B	1	0	0	
B	1	1	0	
B	14	9	1	am Rand ZLD

b) Luftaustrittsgeschwindigkeit 15,6 cm/s

Zuluftmenge : 1910 m³/h
 Luftwechsel Raum : 14,7 h⁻¹
 interne Kühllast : 2080 W
 Temp.-Differenz : 0,5 ... 1,1 K (zwischen Abluft und Zuluft)

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle C I und D I dargestellt. Die Luftkeimwerte und Partikelzahlen Meßstelle Operateur (A) und Instrumententisch (B) zeigten sehr niedrige Werte. Das Absenken der Austrittsgeschwindigkeit aus der Zuluftdecke (Verringerung der Zuluftmenge) auf diesen Minimalwert hatte demnach keine hygienisch relevanten Auswirkungen.

Tabelle C I Luftkeime in KBE/m³ Austrittsgeschw. 15,6 cm/s

Meß-Nr.	Meßpunkt		
	A	B	C
1	0	0	20 ¹
2	0	0	53 ¹
3	0	0	86 ¹
4	0	0	92 ¹
5	0	0	40 ¹

¹ Staphylococcus epidermis

Tabelle D I Partikel/Liter Austrittsgeschw. 15,6 cm/s
 Mittelwerte aus mehreren Meßreihen

Meßpunkt	Partikel-Größen in µm			Bemerkung
	> 0,5	> 1,0	> 5,0	
A	0	0	0	
B	0	0	0	
B	0	0	0	
B	13	7	1	am Rand ZLD

II. Luftkeimmessung mit Zusatz-Keimbelastung

Als weitere Untersuchung wurde ein Testprogramm gefahren, bei welchem gezielt Testkeime mittels Ventilatoren in Richtung auf den OP-Tisch geblasen wurden.

Die Versuchsanordnung zeigt Bild 12:

Dünne Textilstreifen wurden als Keimträger kontaminiert. Testkeim *Micrococcus luteus* (Laborstamm MLUA) 10⁷ KBE/ml, bei 36 °C ± 1 °C im Umluftbrutschrank ca. 1 h angetrocknet.

Diese Keimträger wurden jeweils am Kopf- und Fußende des OP-Tisches aufgestellt. Zwei Ventilatoren wurden so eingerichtet,

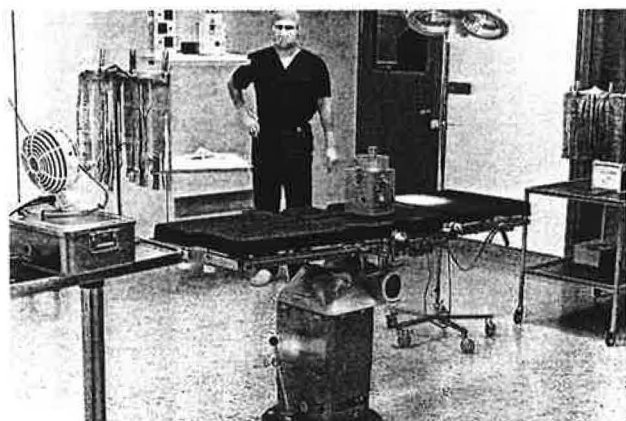


Bild 12 Versuchsanordnung Keimzahlmessung mit Zusatzbelastung

daß diese diffus durch die Keimträger hindurch in Richtung Mitte OP-Tisch blasen. Die Luftgeschwindigkeit nach den Keimträgern und bei abgeschaltetem OP-Belüftungssystem betrug ca. 0,1 m/s. Null-Testreihe bei abgeschalteter OP-Belüftung zur Ermittlung des Keimeintrags der Versuchsanordnung (Keimzahlmessung Mitte OP-Tisch).

Danach wurde die OP-Belüftung mit zwei unterschiedlichen Austrittsgeschwindigkeiten in Betrieb genommen.

Nach zwei vorangestellten Nullmessungen erfolgte jeweils Abschaltung der Ventilatoren an den Keimträgern, anschließend wurde die Abklingkurve in 5-min-Abständen an den Meßstellen A, C und D gemessen. Verwendet wurden wiederum Admeco-Slit-Sampler w. v.

Luftaustrittsgeschwindigkeit 23,5 und 15,6 cm/s

Ergebnisse s. Tabelle A II. Meß-Nr. 1+2 bei laufenden Ventilatoren an den Keimträgern, alle anderen Werte bei abgeschalteten Ventilatoren.

Tabelle A II Test-Luftkeime in KBE/m³
 Austrittsgeschw. 23,5 und 15,6 cm/s

Meß-Nr.	Zeit min	Meßpunkt und Austrittsgeschw. cm/s					
		A		C		D	
		23,5	15,6	23,5	15,6	23,5	15,6
1	5	26	20	66	7	86	60
2	10	0	0	106	14	106	20
3	15	0	0	145	14	132	33
4	20	0	0	46	26	53	33
5	25	0	7	139	20	92	20
6	30	0	0	132	7	119	14
7	35	0	0	92	0	80	7

Meßstelle A Operateur zeigt deutlich die Verdrängungscharakteristik der laminaren Luftströmung aus der Zuluftdecke. Die künstlich eingebrachte und auf den OP-Tisch gerichtete Keimbelastung führte zu keiner Kontamination. Dies bei beiden Luftaustrittsgeschwindigkeiten.

Im übrigen Raumbereich (Meßpunkt C+D) war dagegen bei hoher Austrittsgeschwindigkeit eine zeitlich fast konstante Keimenge vorhanden. Ein Hinweis, daß das Ausspülen eines Raumes von Partikeln und Aerosolen doch längere Zeit in Anspruch nehmen kann. Die noch sehr oft verwendete Luftwechselzahl (in diesem Fall 22,1 h⁻¹) zeigt hiermit keine hygienisch wertbare Eigenschaft, sondern führt eher zum Irrtum.

Im Gegensatz dazu konnte bei geringer Austrittsgeschwindigkeit ein zeitlicher Konzentrationsabbau festgestellt werden. Inwieweit hier die Strömungsgeschwindigkeiten von Sekundärwalzen im Raum einen Einfluß haben, müßte noch näher untersucht werden.

III. Luftkeimmessung mit Zusatz-Keimbelastung (Aerosol)

In Anlehnung an Versuch II wurden hier bei abgeschalteter OP-Belüftung Testkeime als Aerosol im OP vernebelt. Zur Überprüfung der Kontaminationen wurden an verschiedenen Oberflächen Abklatschproben genommen.

Nach Einschalten der Belüftung (1 bis 2 min nach Versprühen) wurden an den Meßpunkten A, C und D die Keimkonzentrationen gemessen.

Testkeim *Micrococcus luteus* 10⁷ KBE/ml.

Luftaustrittsgeschwindigkeit 23,5 cm/s.

Ergebnisse siehe Tabelle A III und Diagramm 1.

In nachfolgendem Diagramm sind die Werte der Tabelle A III graphisch dargestellt.

Wegen der sehr hohen Luft- und Oberflächenkontaminationen infolge von versprühtem Keimaerosol war im Schutzbereich der

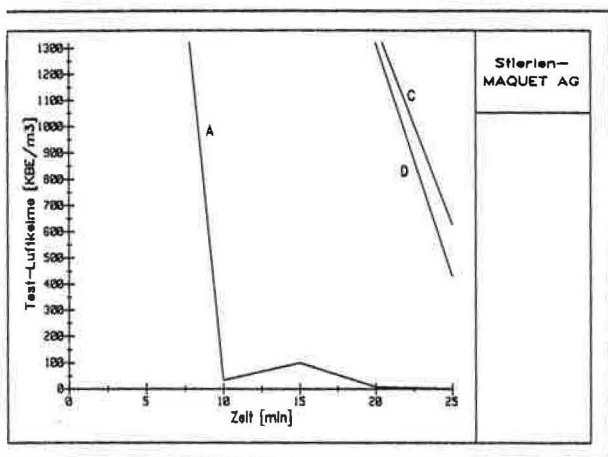


Diagramm 1 zeitliche Luftkeimelimination, Meßstelle A = Operateur, C = Raumluft, D = Abluft. Werte s. Tabelle A III

Tabelle A III Test-Luftkeime in KBE/m³
Austrittsgeschw. 23,5 cm/s

Meß-Nr.	Zeit min	Meßpunkt		
		A	C	D
1	5	2970	Rasen	Rasen
2	10	33	Rasen	Rasen
3	15	99	Rasen	Rasen
4	20	7	1386	1320
5	25	0	627	429

Zuluftdecke an der Meßstelle A (Operateur) nicht mit einem sofortigen Keimaustrag zu rechnen.

Es wird aber aufgrund der Messungen deutlich, daß schon nach relativ kurzer Zeit von ca. 10 min innerhalb eines sehr stark kontaminierten Raumes eine hochwirksame Schutzzone ausgebildet wurde. Diese Zeit war offensichtlich erforderlich, um Aerosol an Oberflächen zu verdunsten und die sich daraus lösenden Keime abzuspielen. Die Umgebung, Meßstelle C und D, blieb hingegen noch lange Zeit stark belastet.

Der in Diagramm 1 fast senkrechte Verlauf der Kurve A zeigt eine typische Charakteristik von laminar strömenden und induktions-schwachen Luftfeldern, nämlich schnellstmöglicher Austrag von Kontaminationen aus dem reinen Bereich bei gleichzeitigem Schutz vor Rekontamination aus dem Außenbereich.

Die Effektivität und Sicherheit einer laminaren Vertikalströmung in einem Raum wird bei diesem Versuch besonders deutlich.

Literatur

- [1] Lidwell, O. M.: Eine britisch-skandinavische multizentrische Studie (MRC/DHSS) über „ultrareine“ Luft und Infektionen nach totalen Hüft- oder Kniegelenkoperationen. Hyg. + Med. 9 (1984), 13-18
- [2] Merö, A., Steuer, W., Schnelle, E., Rohrmüller, E.: Hygienische Untersuchungen in einem vorgefertigten Operationsraum mit Deckenzuluftfeld. Hyg. + Med. 5 (1982), 197-204
- [3] DIN 1946 Teil 4: Raumlufttechnische Anlagen in Krankenhäusern. Beuth-Verlag, Berlin, Dezember (1989)
- [4] Elixmann, J. H.: Pilze in Filtern von RLT. Klima Commerce International 7 (1990), 47-48
- [5] Schicht, H. H., Wepfer, R.: Aktuelles zur Luftfiltrierung in Klimaanlagen. Ki Klima-Kälte-Heizung 7-8 (1990), 318-323
- [6] DIN 4799: Luftführungssysteme für Operationsräume, Prüfung. Beuth-Verlag, Berlin, Juni (1990)
- [7] Detzer, R.: Partikelverbreitung in Reinräumen. VDI-Berichte Nr. 783 (1989)
- [8] VDI 2083 Blatt 1: Reinraumtechnik; Grundlagen, Definitionen und Festlegung der Reinheitsklassen. VDI-Verlag, Düsseldorf, Dezember (1976)

MAQUET OP-ZULUFTDECKE-LF Die Sicherheit für Ihren OP



- Turbulenzfreie Abwärtsströmung
- Geringstmöglicher Kontaminationsgrad nach DIN 1946 Teil 4
- Extrem niedrige Keim- und Partikelzahlen für OP-Feld
- Stabile Abgrenzung zu kontaminierten Sekundärbereichen
- Problemlose Reinigung und Wartung
- Hygiene-Gutachten

MAQUET

Stierlen-MAQUET AG
Produktbereich MAQUET
Postfach 21 62 · D-7550 Rastatt
Tel. (0 72 22) 9 32-0

