

# Hygienisch-mikrobiologischer Vergleich verschiedener Zuluftdecken für Operationsräume in Krankenhäusern

3270

Aus dem Hygiene-Institut der Universität Wien (Vorstand: Univ. Prof. Dr. H. Flamm)

Walter Koller

(Teil 2, Fortsetzung von Heft 5/88)

## Ergebnisse

In *Tab. 1* sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

Die untersuchten Zuluftdecken hatten Flächenausdehnungen zwischen 2,81 und 12,6 m<sup>2</sup>, die geförderten Luftmengen lagen zwischen 1000 und 5600 m<sup>3</sup>/h. Die durch das Verhältnis von Luftdurchsatz zu Auslaßfläche bestimmten Luftgeschwindigkeiten betragen zwischen 0,05 und 0,28 m/s.

Der untersuchte Schrägschirm-Auslaß wurde mit der geringsten Luftmenge von allen untersuchten Auslaß-Systemen betrieben, seine KQ lag erwartungsgemäß bei 100 %.

Die untersuchten Stützstrahldecken besaßen die größten Auslaßflächen und die niedrigsten Luftgeschwindigkeiten. Sie ließen KQ zwischen 46 % und 75 % für Rauchpartikel sowie zwischen 64 % und 200 % für auf Petrischalen sedimentierende Luftkeime zu; der letztgenannte Wert wurde nach Freisetzen des Keimaerosols in der den Stützstrahlen benachbarten Zone des OP-Raumes erhoben.

In *Bild 8* sind die Luftwalzen skizziert, die sich bei dieser Art der Luftzuführung ausbilden. Die exzentrisch in der Zuluftdecke positionierten Stützstrahldüsen saugen große Mengen von Raumluft unter die Auslaßfläche und führen sie in turbulenter Strömung mit Zuluft gemischt ins Operationsfeld.

Bei der Untersuchung der CG-Verteiler-Decke mit breitem Steg war das OP-Feld mit der darin positionierten Partikelzählsonde direkt unter dem Deckensteg und dem Leuchtenfuß situiert (*Bild 9*, rechts). Der OP-Raum besaß nur in einer Ecke Abluftöffnungen (75 % in Boden-, 25 % in Deckennähe). Wie *Tab. 1* zu entnehmen ist, wurden bei dieser Anordnung je nach Position der Kontaminationsquelle im Raum sehr unterschiedliche KQ im OP-Feld gefunden.

Die Ergebnisse des in *Bild 9* dargestellten Experiments lieferten dazu nähere Aufschlüsse: Freisetzen von Rauch an den Positionen 1 bis 3 führte zu keiner größeren Kontamination des OP-Gebietes, während Rauch aus der den Ab-

luftöffnungen gegenüberliegenden Raumecke sehr effektiv ins OP-Gebiet eingetragen wurde.

Vergleichbare Resultate lieferte der Versuch mit Keimaerosol (*Bild 10*): abluftseitig freigesetzte Testkeime gelangten nicht ins OP-Gebiet und waren nur kurz im Raum nachweisbar; gegenüber freigesetzte kontaminierten das OP-Gebiet (KQ = 5,13 %) und waren an den übrigen Positionen des Raumes bis 8 min nach dem Aerosolstoß nachweisbar.

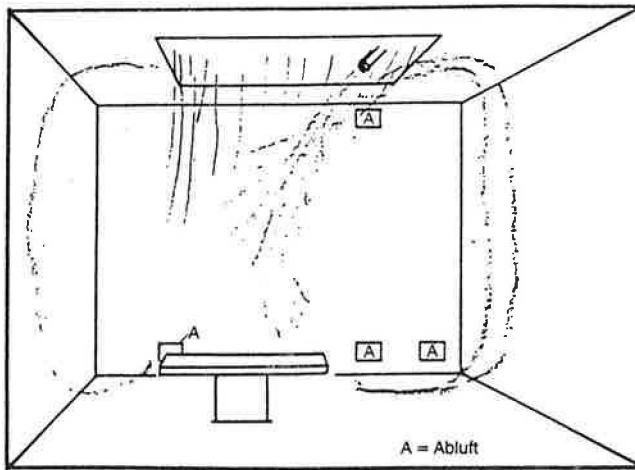
Wie mit Rauch gut nachgewiesen werden konnte, wird auf der Leerseite des durch die Auslaßfläche ziehenden Steges kontaminierte Raumluft angesaugt und dann mit der Zuluft nach unten gezogen (*Bild 11*). Unter diesem Steg entwickelten sich starke Turbulenzen, während sich die Luft unter den freien Deckenfeldern sehr gleichmäßig und fast turbulenzfrei nach unten bewegte. *Bild 12* skizziert die wesentlichen Strömungswege in diesem OP-Raum.

Die Verschmälerung des Steges in derselben Decke führte zu einer substantiellen Verbesserung der Resultate (*Tab. 1*).

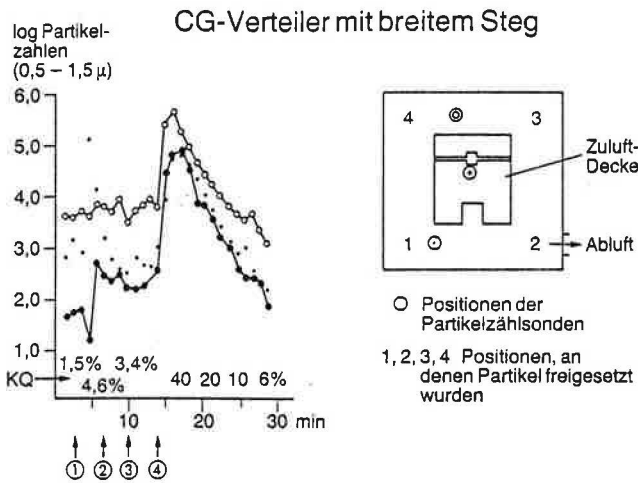
Die kleine CG-Verteiler-Decke (auch mit einem schmalen Steg) lieferte unter dem freien Auslaßfeld KQ von deutlich weniger als 1 %, unter dem Steg betrug aber die Kontamination mit Partikeln oder Testkeimen 5,5 % bzw. 2,75 %. In diesem Punkt wurde die kleine Decke von der analogen größeren nach deren Verbesserung deutlich übertroffen (0,06 % unter dem Steg).

Die KQ unter der Zuluftdecke aus 8 Lochblechkassetten (OPL 2/4) entsprachen etwa derjenigen, die unter dem Steg der kleineren CG-Verteiler-Decke erhoben wurde. Diese beiden Decken waren etwa gleichgroß, letztgenannte lieferte allerdints eine etwas höhere Luftmenge.

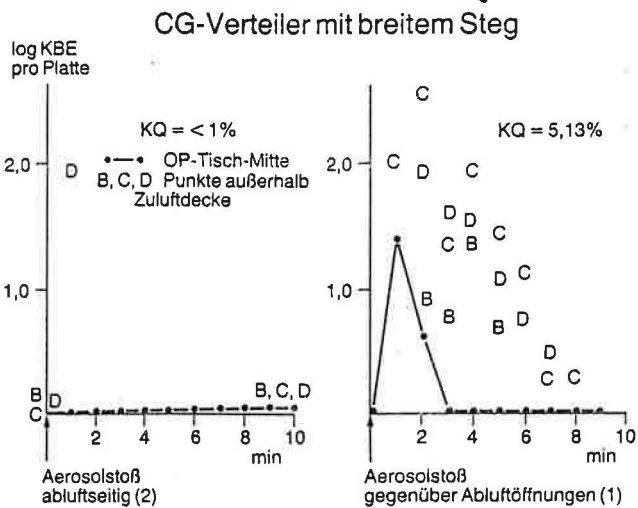
Die OP-Zuluftdecke Typ LC lieferte bei Betrieb mit 2400 m<sup>3</sup> Luft/h und einer Luftgeschwindigkeit von 15 cm/s KQ von 12,0 % und 2,3 %, wobei die Position der OP-Lampen im Verhältnis zu den Abluftöffnungen des Raumes und zur Position des textilen Trennschirmes zum Anästhesisten einen großen Einfluß nahm. Durch Erhöhung des Luftvolumens und damit der Luftgeschwindigkeit um knapp 50 % auf 3400 m<sup>3</sup>/h wurde eine Verbesserung der KQ um den Faktor 10 erreicht. Testkeime konnten im OP-Feld unter dieser Decke in keinem Versuch nachgewiesen werden.



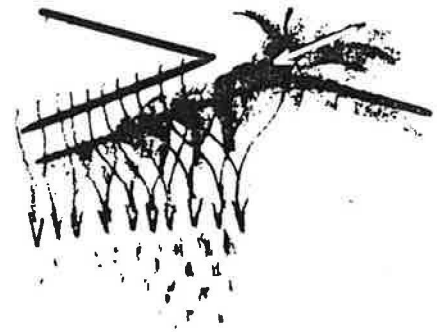
**Bild 8.** Darstellung der durch die Luftführung induzierten Luftwalzen im OP-Raum bei einer Stützstrahldecke.



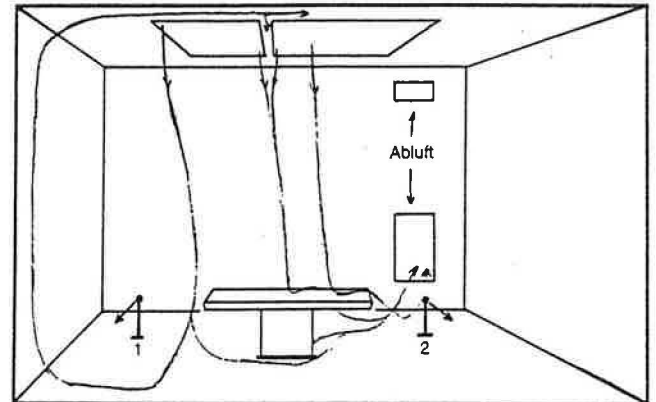
**Bild 9.** Verläufe der Partikelzahlen und der KQ an 3 Positionen im OP-Raum mit unterteilter CG-Verteiler-Decke nach Freisetzen von Rauch in jeweils einer Ecke des OP-Raumes.



**Bild 10.** Verläufe der Koloniezahlen auf Sedimentationsplatten und KQ bei einem Versuch, der analog zu dem in *Bild 9* dargestellten durchgeführt wurde.



**Bild 11.** Darstellung mit Rauch, wie kontaminierte Raumluft an der Leeseite des Steges unter die Zuluftdecke gesaugt und dann in den reinen Luftstrom abgegeben wird.



KQ der OPT-Mitte: gegen 1 = 5,13% (Keimaerosol) gegen 2 = < 1%

$\Delta$  4,2°C

28 cm/s

**Bild 12.** Strömungswege der Luft im OP-Raum mit geteilter CG-Verteiler-Decke und den Abluftöffnungen in nur einer Raumecke.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die hier gewählte Versuchsanordnung ermöglichte es, den Einfluß von stoßweisen Partikelbelastungen der Raumluft auf die Luft des OP-Gebietes zu analysieren. Im Falle der Rauchpartikel war eine klare Zuordnung dadurch möglich, daß diese in Konzentrationen vorgelegt wurden, die um mehrere Zehnerpotenzen über dem Hintergrund des vorhandenen Partikelgehaltes der Raumluft lagen; im Falle der Testkeime war eine klare Abgrenzung gegen in der Raumluft vorhandene Bakterien durch die eindeutige Morphologie der Testkeime (zitronengelbe Kolonien, grampositive Haufenkokken) möglich. Die gewählte Spezies ist außerdem unempfindlich gegen Austrocknen, weshalb ein nennenswertes Absterben während der Beobachtungsdauer von etwa 10 Minuten auszuschließen ist.

Bei den turbulenten Belüftungssystemen lagen die mit Testkeimaerosolen und Rauchpartikeln erhaltenen Kontaminationsquoten etwa gleichhoch, bei den turbulenzarmen Systemen dagegen lagen die mit Testkeimaerosolen festgestellten KQ eher deutlich niedriger als die mit Rauchpartikeln ermittelten. Die Ursache dafür dürfte in den unterschiedlichen Sammelbedingungen sowie im unterschiedlichen Abscheideverhalten von Partikeln in den beiden Strömungsarten zu suchen sein: Bei den Partikelzahlmessungen wurde jeweils ein bestimmtes Volumen Luft durch das Zählgerät gesaugt und der Partikelgehalt

gemessen; Sedimentationsplatten registrieren dagegen Partikel, die aus der an der Oberfläche des Nährbodens vorbeistreichenden Luft niedergeschlagen werden. Die involvierte Luftmenge ist dabei nicht genau erfaßbar und es wird auch nur ein Teil der keimtragenden Partikel der Luft auf der Nährbodenoberfläche deponiert; dieser Teil ist aber größer bei turbulenter und kleiner bei laminarer Strömung. Auf die Partikelzählergebnisse hatte die Strömungsart dagegen keinen Einfluß, weil dabei die Gesamtzahl der erfaßbaren Partikel registriert wurde.

Die verschiedenen untersuchten Deckensysteme zur OP-Feld-Belüftung sind im Hinblick auf die Freihaltung des OP-Gebietes von aerogenen Keimen durchaus unterschiedlich einzustufen, wie aus den in *Tab. 1* zusammengefaßten Ergebnissen klar wird. Die Kriterien Luftdurchsatz, Luftgeschwindigkeit sowie Größe und Gestaltung der Auslaßfläche haben dabei maßgebliche Bedeutung. Großflächige Auslaßsysteme mit niedriger Luftgeschwindigkeit liefern nicht ohne weiteres gleichgute Resultate wie kleinere Decken mit gleichem Luftdurchsatz und daher höherer Luftgeschwindigkeit; zumindest scheint sich der Vorteil der größeren Auslaßfläche gegenüber einer kleineren erst ab einer bestimmten Luftgeschwindigkeit, die über 0,2 m/s liegen dürfte, auf das OP-Feld auszuwirken.

Die niedrigsten KQ wurden mit den Systemen erreicht, deren Auslaßfläche mit einem feinmaschigen Gewebe überspannt war; dies korrelierte deutlich mit der ausgeprägten Laminarität der Luftströmung, die unter solchen Auslässen zu beobachten war. Hindernisse im Auslaßfeld (Stege, Kassettenstöße) führten dazu, daß unter diesen die KQ etwa um den Faktor 50 höher lagen; diese „Störzonen“ konnten unter den Gewebeauslässen auch noch in

OP-Feldhöhe sehr genau lokalisiert werden, nicht aber unter der Decke mit der Lochblech-Abdeckung. Der Grund dafür wird deutlich, wenn man sich die unterschiedliche Abströmcharakteristik von grob- und feinmaschigen Auslaßflächen vor Augen hält (*Bilder 13–15*).

Die großflächigen Auslaßsysteme mit vergleichsweise geringen Luftmengen, großen Lochabständen und zusätzlichen, exzentrisch positionierten Stabilisierungsdüsen erbrachten KQ, die derjenigen von Schrägschirmauslässen am nächsten lagen. Dafür dürfte der langsame, nicht rasch „reinigende“ und leicht störbare Zuluftstrom, die starke Induktion von Raumluft in der Deckenebene zwischen die Düsenreihen sowie die effiziente Induktion von großen Raumluftmengen mit dem Sog des raschen Stützstrahles ins OP-Feld verantwortlich sein. Partikelwolken, die in dem unterhalb der Stützstrahlen gelegenen Teil des OP-Raumes freigesetzt wurden, erschienen auf kurzem Weg und daher ziemlich unverdünnt im OP-Gebiet, was in KQ von über 100% seinen Ausdruck finden kann (*Tab. 1*).

Interessant sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse, die *Blomgren, Hambræus* und *Malmberg* 1982 mit einem ähnlichen Belüftungssystem erhielten, bei dem der zentrale Reinluftkegel durch seitliche Luftstrahlen „stabilisiert“ wird und diese Strahlen im Sinne eines Luftvorhanges das zentrale Arbeitsfeld vor seitlich eindringenden Luftkeimen schützen sollen (*Abel and Allander, 1966*). Die Autoren fanden im OP-Gebiet im Schnitt höhere Luftkeimzahlen als in anderen Bereichen des Raumes; aus ihren Meßergebnissen lassen sich KQ zwischen 98 und 152% errechnen.

Aus den hier geschilderten Resultaten sind unmittelbar 2 *Schlussfolgerungen* zu ziehen:

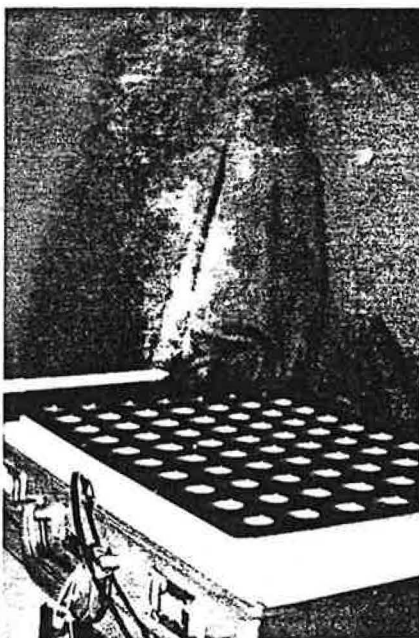


Bild 13.

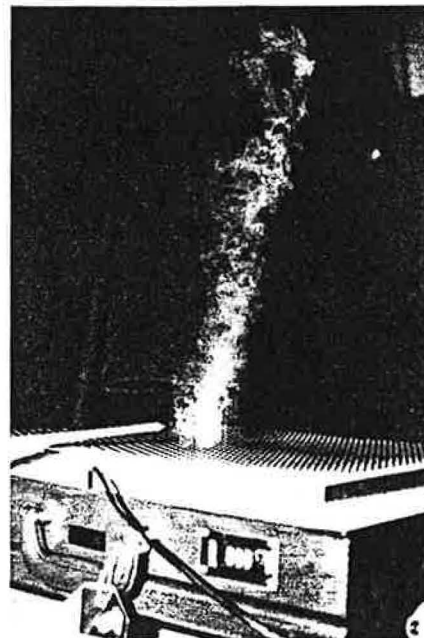


Bild 14.

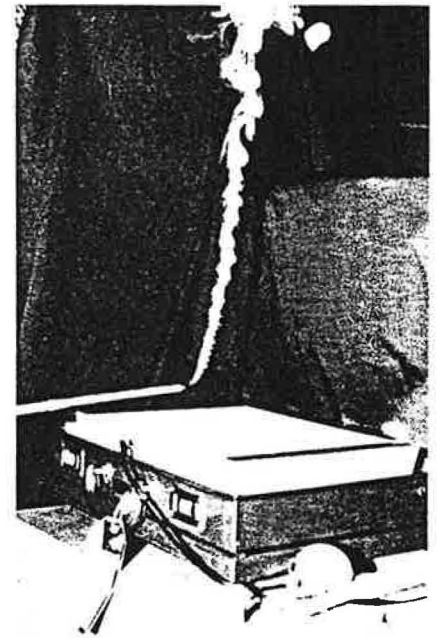


Bild 15.

**Bild 13–15.** Abströmcharakteristik von Ausströmflächen mit grob-, mittel- oder feinmaschig verteilten Austrittsöffnungen; während aus einem feinmaschigen Gewebe (*Bild 15*) die Luft praktisch laminar austritt, kommt es an Lochblechen von Beginn an zu einer Verwirbelung mit Bewegungsimpulsen, die senkrecht auf und auch gegen die Austrittsbahn der Zuluft gerichtet sind (*Bild 13 und 14*). Der Hinweis auf diese Phänomene stammt von Herrn Dr.-Ing. K. *Fitzner*, Betzdorf.

Tabelle 3: Faktoren, die den Turbulenzgrad des das Operationsgebiet anströmenden Luftstromes beeinflussen.

- Gestaltung der Austrittsfläche (Lochblech, Gewebe, Streckmetall; Stege über oder Einsprünge in die Austrittsfläche; Niveaunterschied zur anschließenden Wandfläche; Wände, Vorhänge, Schürzen zur Strömungsführung).
- Luftgeschwindigkeit (hoch oder niedrig? homogen an Austrittsfläche oder nicht?).
- Temperaturgefälle ( $\Delta t$ ) zwischen Zuluft und Raumluft.
- Wärmequellen im Luftstrom (Lampen, Menschen ...).
- Körper, die als Strömungshindernisse in den Luftstrom hineinragen (Lampenarme, C-Bogen, Monitore, Teile von Personen ...).
- Position und Verteilung der Abluftöffnungen im Raum.

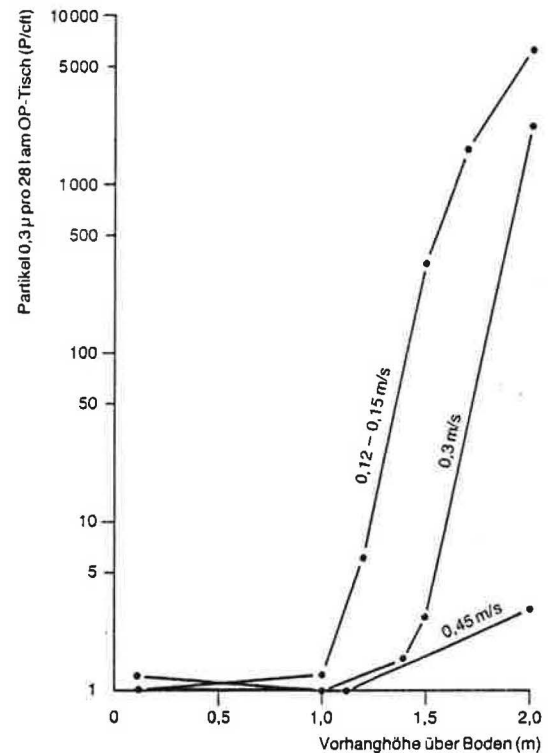
1. Bei Verdünnungslüftung kann man zwar mit großen Luftwechselzahlen den mittleren Keimpegel in der Luft des Raumes niedrig halten, einzelne aerogene Kontaminationseignisse, die ihre Ursache durchaus fernab vom OP-Feld und vom OP-Team haben können und daher kaum kontrollierbar sind, können aber bei dieser Art der Luftführung nachhaltig auf das OP-Feld einwirken;

2. Bei Verdünnungslüftung sollten die Ausblasöffnungen für die Zuluft nicht nahe dem OP-Feld liegen und nicht in dieses gerichtet sein.

Um die Vorteile keimfreier Zuluft tatsächlich zu nutzen, sollte diese daher in turbulenzarmer Verdrängungsströmung an das OP-Gebiet herangeführt werden. Für die im Vertikalstrom geführte Luft mag dabei der Vergleich mit einem Wasserfall, der mit seinem gesamten Querschnitt das OP-Gebiet und die relevanten Randzonen ausspült, zutreffend sein. Um dieses Ziel tatsächlich zu erreichen, muß eine Reihe von Randbedingungen beachtet werden, die teilweise zum Rüstzeug der Reinraumtechnik gehören, aber bei Einrichtung und Betrieb von OP-Räumen häufig nicht beachtet werden. In Tab. 3 sind solche Randbedingungen aufgelistet:

- Gestaltung der Austrittsfläche: Der eben angesprochene Störeinfluß von Strömungshindernissen in der Austrittsebene kann durch Wände, Vorhänge oder Schürzen zur Strömungsführung deutlich gemindert werden. Die Länge solcher Führungen sowie die allseitige Umschließung des Luftstromes tragen sehr zum Effekt auf die KQ bei (Bild 16).
  - Luftgeschwindigkeit: Gute Luftführung, insbesondere bei Belüftungssystemen ohne seitliche Begrenzungsflächen, ist nur bei einer Mindest-Geschwindigkeit der Luft möglich. Sie dürfte nach den hier geschilderten Beobachtungen und nach Aussage von Beckert (pers. Mitt.) bei 0,25 m/s liegen. Ist der Gegenstrom von Wärmequellen zu überwinden, so sind höhere Geschwindigkeiten nötig (s. u.).
- Die Luftgeschwindigkeit sollte über die gesamte Austrittsfläche gleich sein, da andernfalls mit verstärkter Induktion von Umgebungsluft zu rechnen ist.
- Der Temperaturunterschied zwischen Zuluft und Raumluft hat bei Vertikalstrom-Systemen ohne seitliche Begrenzungsflächen sehr großen Einfluß auf das

Gemessen an einer Czech-Sterilluft-OP-Kabine, Type DOP90V, Größe 4 mit einem höhenverstellbaren Vorhang an der Längsseite. Der Versuch wurde ohne Vorfilter bei einer Rohluftbelastung von über 1 Million Partikel/cft durchgeführt.



Die Meßwertkurven verschieben sich nach links, wenn alle Vorhänge hochgezogen werden, da sich der Einfluß der unkontrollierbaren Querströmungen verstärkt.

Bild 16. Einfluß von Luftgeschwindigkeit, Vorhanglänge und Ausmaß der Umschließung des reinen Luftstromes auf die Luftreinheit am OP-Tisch.

Diese Daten stammen von Herrn Dipl.-Ing. G. J. Czecj, Wien.

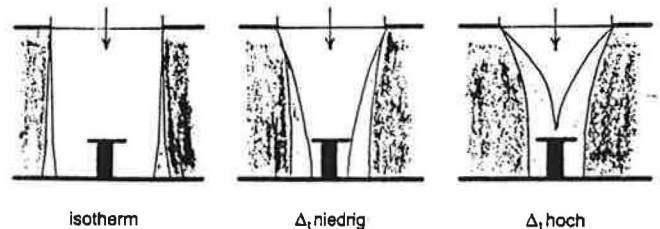


Bild 17. Einfluß des Temperaturgradienten ( $\Delta t$ ) zwischen Zuluft und Raumluft auf das Abströmverhalten eines nach unten gerichteten laminaren Luftstromes.

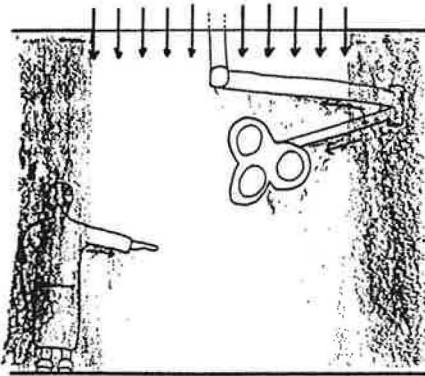
Strömungsbild (Bild 17): bei Temperaturgleichheit sinkt die Zuluft senkrecht nach unten, wobei die nach unten zunehmenden Randwirbel das Reinfeld nur unwesentlich einschränken. Kältere Zuluft ist schwerer und erhält dadurch ein beschleunigendes Moment, das zur Kontraktion des Zuluftstromes und zur Verbreiterung der Randwirbelzone führt. Dadurch wird das Reinfeld in OP-Tischhöhe merklich eingengt. Bei wesentlich kälterer Zuluft kann dies so stark ausgeprägt sein, daß auch im OP-Gebiet nur noch Mischluft zur Verfügung steht.

- Wärmequellen können besonders vertikale Luftströmungen sehr wesentlich beeinflussen (Bild 18). Kühle

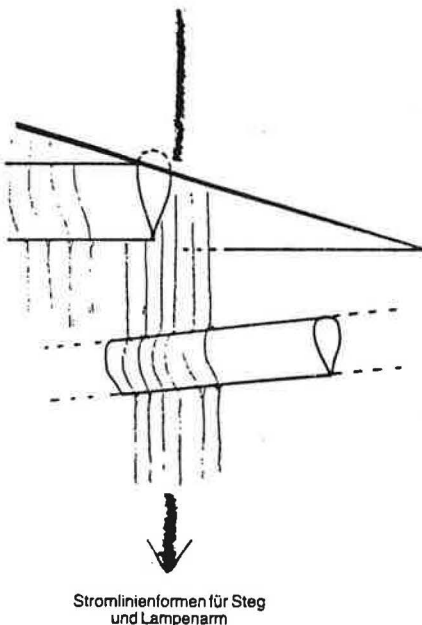




**Bild 18.** Störung eines nach unten gerichteten laminaren Luftstromes durch die Auftriebswirkung der von einem Menschen erwärmten Luft, Darstellung bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Zuluftstromes. Aus einer Informationsschrift der *Waema* GesmbH, Wien.



**Bild 19.** Gegenstände, die in den reinen Luftstrom hineinragen, saugen an ihrer Leeseite kontaminierte Luft in das Reinfeld.



**Bild 20.** Durch stromlinienförmige Gestaltung von Gegenständen, die in den reinen Luftstrom hineinragen, kann das Ausmaß des Ansaugens von Umgebungsluft minimiert werden.

oder gekühlte Lampen sowie die gezielte Wärmeabfuhr von den Personen des OP-Teams (z. B. durch Absaugung) helfen hier.

- Körper, die als Strömungshindernisse in den Luftstrom hineinragen, saugen an ihrer Leeseite Fremdluft und damit Partikel in den reinen Luftstrom (*Bild 19*). Durch geeignete Formgebung (z. B. stromlinienförmiges Profil für Lampenarme, *Bild 20*) kann dieser Störeinfluß minimiert werden, sofern das Überschreiten der Grenze zum Reinluftstrom nicht überhaupt vermieden werden kann.
- Die Position und Verteilung der Abluftöffnungen im Raum ist besonders für Zuluftsysteme kritisch, die von sich aus wenig stabil sind. Bei Zuluftdecken ohne seitliche Wände zur Strömungsführung sollten sich die Abluftöffnungen keinesfalls nur in einer Gegend des Raumes befinden, sondern auf mindestens 2 gegenüberliegende Positionen verteilt sein. Andernfalls machen sich Strömungshindernisse im Reinluftstrom bei Partikelbelastung aus der der Abluftöffnung gegenüberliegenden Raumhälfte sehr stark bemerkbar, wie oben gezeigt werden konnte.

(Fortsetzung auf Seite 305)

(Fortsetzung von Seite 296)

## Zusammenfassung

In einer vergleichenden Studie wurde untersucht, wieweit unterschiedliche Operationsraum-Zuluftdecken in der Lage sind, das Eindringen stoßweiser Kontaminationen der Luft der peripheren Abschnitte des OP-Raumes mit Rauchpartikeln oder Keimaerosolen vom Operationsgebiet abzuwehren. Dabei wurde offenbar, daß turbulente Mischströmungen liefernde Zuluftdecken nicht nur das Operationsgebiet ineffizient vor Kontaminationen durch die Umgebungsluft schützen, sondern aus bestimmten Positionen im Raum stammende Kontaminanten sogar bevorzugt ins Operationsgebiet tragen können. Bei turbulenter Luftführung sollten daher die Zuluftauslässe nicht in der Nähe des Operationsgebietes positioniert und nicht in dieses gerichtet sein.

Die günstigsten Ergebnisse wurden mit Zuluftdecken erhalten, deren Austrittsflächen mit einem feinmaschigen Gewebe überspannt waren und die die Luft mit höheren Geschwindigkeiten förderten; das „schnellste“ hier untersuchte System förderte mit 0,28 m/s. Hindernisse im Luftstrom, insbesondere breite Teilungsstege, führten aber auch bei diesen Systemen in den direkt darunter gelegenen Feldern des OP-Tisches zu verhältnismäßig starken Kontaminationen mit Umgebungsluft. Überdies wird gezeigt, daß sich einseitig im OP-Raum positionierte Abluftöffnungen sehr ungünstig auf den reinigenden Wirkungsgrad des Zuluftstromes auswirken können. Auf andere Störquellen (ungünstige Gestaltung der Austrittsflächen, ungünstige Luftgeschwindigkeit, ungünstige Temperaturgradienten, Wärmequellen und andere Strömungshindernisse im Luftstrom) wird hingewiesen.

## Erratum

Die im Artikel von R. Kryschki über „Chemikalienfreie Trinkwasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung“, Gesundheits-Ingenieur 109 (1988) enthaltene *Tabelle 1* auf S. 193 wurde vom Autor als „nach Gelzhäuser, 1987“ zitiert. Es handelt sich jedoch hierbei um *Tabelle 3* aus der Veröffentlichung von Martiny, H., Wlodavezyk, K., Harms, G. und Rüden, H.: „Anwendung von UV-Strahlen zur Desinfektion von Wasser. 1. Mitteilung: Mikrobiologische Untersuchungen im Trinkwasser“. Zbl. Bakt. Hyg. B 185, 350–367 (1988). Als Vorabveröffentlichung wurde diese *Tabelle 3* auf dem Lehrgang Nr. 9631/11.033 „Desinfektion von Trinkwasser durch UV-Bestrahlung“ der Technischen Akademie Esslingen gezeigt. Diese *Tabelle* wurde lediglich durch Einfügen der Abkürzungen „RF“ in der Legende verändert.

Unter Hinweis auf §10 des Bayerischen Pressegesetzes wird der Abdruck der nachstehenden Gegendarstellung verlangt.

## Gegendarstellung

In der Zeitschrift „Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik“ 109 (1988), Heft 4, ist auf Seite 190 ein Beitrag von R. Kryschki mit der Überschrift „Chemikalienfreie Trinkwasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung“ enthalten. Dieser Beitrag enthält unrichtige Behauptungen, die wie folgt richtigzustellen sind:

1. Auf Seite 193 wird eine „Tabelle 1“ wiedergegeben mit der Überschrift „Bedenklicher Leistungsvergleich zweier UV-Anlagen“ und mit der Angabe „(nach Gelzhäuser, 1987)“. Diese Quellenangabe ist falsch. Vielmehr handelt es sich hier um Ergebnisse, die Frau Dr. Martiny anlässlich einer Tagung „Desinfektion von Trinkwasser durch UV-Bestrahlung“ der Technischen Akademie Esslingen vorgetragen hat.
2. In unmittelbarem Zusammenhang mit dieser *Tabelle* und der falschen Quellenangabe wird auf Seite 193f. das Zitat aus meinem Aufsatz in der Zeitung für kommunale Wirtschaft, Ausgabe Januar 1988, Seite 15, sinnentstellend verkürzt. Richtig muß das Zitat lauten: „Bei richtiger Auslegung der UV-Anlagen wird sowohl bei einer bakteriologischen und chemischen Vorbelastung als auch bei starker Verunreinigung eine Desinfektionsleistung erzielt, die der chemischen Desinfektion mindestens gleichwertig ist.“

Peter Gelzhäuser