

Innovatives Reinraumkonzept in OP-Bereichen

Prof. Dr. Ing. Rüdiger Detzer, Leiter Forschung und Entwicklung

In allen Bereichen, in denen Störungen oder Komplikationen durch luftgetragene Partikel oder vermehrungsfähige Keime erwartet werden, sind raumluftechnische Maßnahmen erforderlich, um diese Störkörper zu erfassen und abzuführen. Die Effektivität

dieser Maßnahmen hinsichtlich der Verdrängung und Beseitigung von Verunreinigungen sowie der Verhinderung von Kontaminationen hängt weitestgehend von der Art und Ausführung des Konzeptes zur Luftzuführung und damit dem Strömungsmuster im Raum ab.

STRÖMUNGSMUSTER UND REINHEITSKLASSEN IN DER RAUMLUFTECHNIK

Grundsätzlich werden in der Raumluftechnik vier verschiedene Strömungsmuster eingesetzt (Abb.1):

- ▶ Mischströmung,
- ▶ Örtliche Mischströmung,
- ▶ Verdrängungsströmung,
- ▶ Schichtenströmung.

in vielen Fällen eine echte Alternative zu den zuvor erwähnten Strömungsmustern bieten können.

So werden für Reinheitsklassen < Klasse 4 gem. VDI 2083 und DIN EN 14646-1 (Abb.2) im Allgemeinen Verdrängungsströmungen gewählt, während für Reinheitsanforderungen, definiert durch Reinheitsklassen > Klasse 4 im Allgemeinen Mischströmungen eingesetzt werden. Hier überwiegen die Partikelausbrei-

mungsenergie wird dadurch abgebaut, dass Umgebungsluft aus dem Raum angesaugt und dem Luftstrahl beigemischt wird, d.h. der Luftstrahl nimmt auf seinem Weg durch den Raum an transportiertem Luftvolumen zu und verliert dabei an Geschwindigkeit. Basis hierfür ist der Impulsaustausch am Strahlrand. Durch überlagerte turbulente Bewegungen innerhalb des Strahles erfolgt eine intensive Vermischung von Zuluft und Raum-

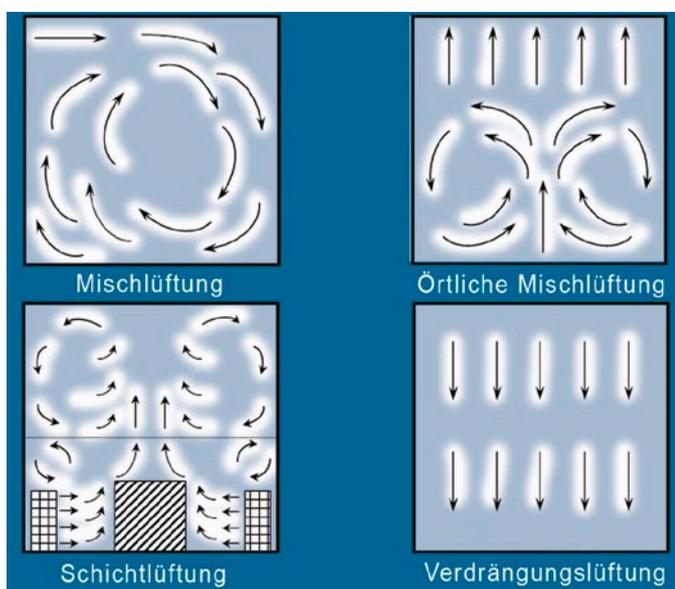


Abb. 1: 4 verschiedene Strömungsmuster

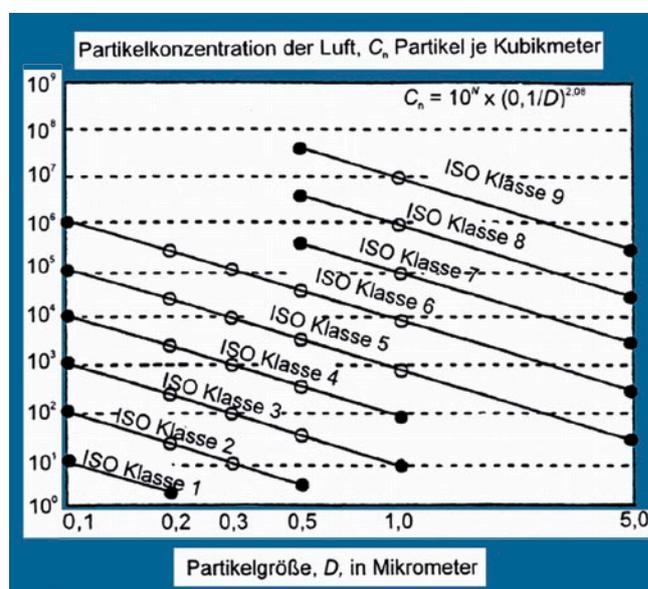


Abb. 2: Partikelverteilung für verschiedene Reinheitsklassen nach ISO

In der Reinraumtechnik werden fast ausschließlich Mischströmungen und Verdrängungsströmungen gewählt. Das Auswahlkriterium erfolgt über die Anforderungen an die Reinheit des Raumes. Wenig Beachtung finden hierbei meist die Schichtenströmungen, obwohl diese

tungen, die sich durch turbulente Austauschvorgänge ergeben. Alle anderen Mechanismen sind nur von untergeordneter Bedeutung.

Bei Mischströmungen wird die Zuluft über Luftdurchlässe in den Raum eingebracht. Die im Luftstrahl enthaltene Strö-

luft. Der Induktionsanteil als sekundär bewegter Luftanteil ist um ein Vielfaches größer als der am Auslass eingebrachte Primärluftanteil und strömt aus anderen Raumbereichen nach, was zu einer Raumdurchspülung und damit verbundenen gleichförmigen Verteilung von Partikeln

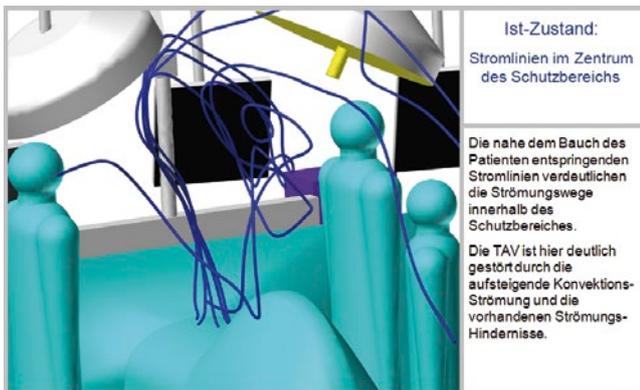
im Raum führt, die über die Zuluft eingetragen oder im Raum generiert sind. Dies betrifft insbesondere alle Teilchen, die als schwebefähig gekennzeichnet sind, d.h. alle Teilchen im Größenordnungsbereich ≤ 10 Mikrometer. Größere Teilchen unterliegen aufgrund ihres Eigengewichtes

STÖRFAKTOREN IN OP-RÄUMEN

Insbesondere in OP-Räumen, in denen aseptische Eingriffe vorgenommen werden, fordert die aktuelle DIN 1946 Teil 4 eine lufttechnische Versorgung des OP-Bereiches über Zuluftfelder, über die eine großflächige, turbulenzarme Verdrän-

Für die Ausbreitung von Partikeln in derartigen Strömungen sind folgende Vorgänge maßgeblich:

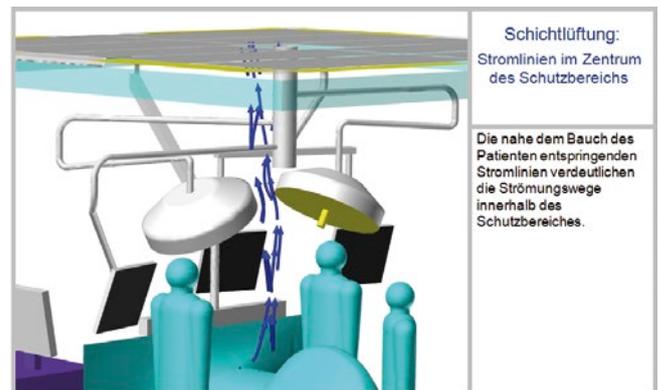
- ▶ Wirbelschleppen hinter bewegten Körpern,
- ▶ Turbulente Austauschvorgänge,



Ist-Zustand:
Stromlinien im Zentrum des Schutzbereichs

Die nahe dem Bauch des Patienten entspringenden Stromlinien verdeutlichen die Strömungswege innerhalb des Schutzbereiches.

Die TAV ist hier deutlich gestört durch die aufsteigende Konvektionsströmung und die vorhandenen Strömungshindernisse.



Schichtlüftung:
Stromlinien im Zentrum des Schutzbereichs

Die nahe dem Bauch des Patienten entspringenden Stromlinien verdeutlichen die Strömungswege innerhalb des Schutzbereiches.

Abb.3: Störfaktor Wärmequellen

Abb.4: Strömung der erwärmten Luft zur Raumdecke (Thermikstrahl)

einer Eigenbewegung und können am Fußboden oder auf Oberflächen sedimentieren. Schwebefähige Teilchen lagern sich dann auf Oberflächen ab, wenn sie mit diesen in unmittelbare Berührung kommen; hierbei spielen Vorgänge wie Anströmgeschwindigkeit, Anströmrichtung, Turbulenzgrade in der Strömung, Thermophorese, Elektrostatik und Ähnliches eine maßgebliche Rolle. Ein Vorteil der Mischlüftungssysteme besteht auch darin, dass bei Kenntnis der in den Raum eingetragenen und der im Raum generierten Partikel eine rechnerische Bestimmung des erforderlichen und notwendig einzusetzenden Luftstromes möglich ist, um die gewünschte Reinheit in der Raumluft sicherzustellen.

Ein weiterer Vorteil der Mischströmung gegenüber der Verdrängungsströmung ergibt sich aus dem erheblich geringeren Zuluftstrom, der zur Partikelkontrolle genutzt wird. Der Partikelaustrag erfolgt dabei ausschließlich durch Verdünnungseffekte. Neben der Wahl des Konzeptes zur Luftzuführung ist jedoch der eingesetzte, bzw. gewählte Luftstrom eine die Effektivität der Anlage bestimmende Größe. Er ist auch bestimmender Faktor für die erforderlichen Investitions- und Betriebskosten.

ungsströmung aufgebaut werden soll. Die Ausströmfläche beträgt dabei ca. $3,2 \times 3,2 \text{ m}^2$. Hierdurch soll verhindert werden, dass aufgrund von Induktionsprozessen an den Randbereichen der Verdrängungsströmung vermehrungsfähige Keime in das OP-Feld eingetragen werden. Dem Einsatz einer Verdrängungsströmung liegt die Überlegung zugrunde, dass bei dieser Art der Strömung im Raum freigesetzte Partikel von der Luftströmung unmittelbar erfasst und zur Abluftstelle transportiert werden. Die Abluftentnahme erfolgt in jedem Fall über Luftdurchlässe, die im unteren Raumbereich angeordnet sind.

Der mit der Vergrößerung des turbulenzarmen Strömungsfeldes gegenüber dem bisherigen Stand der Technik vorhandene Nachteil liegt darin, dass relativ große Luftströme bewegt werden müssen, während der Temperaturabstand zwischen Raumluft- und Zuluft sehr gering bleibt, was durchaus zu Instabilitäten im Strömungsfeld führen kann.

Der Zuluftstrom liegt bei üblichen Abströmgeschwindigkeiten von ca. $0,25 \text{ m/s}$ bei ca. $9.000 \text{ m}^3/\text{h}$, der sich aus dem Außenluftanteil und einem recht hohen Anteil an Umluft zusammensetzt.

- ▶ Strömungsvorgänge an Raumumschließungsflächen,
- ▶ Konvektionsströmungen an Wärmequellen,
- ▶ Einflüsse der Abluftentnahme.

Zusätzliche Störungen ergeben sich durch die im Luftstrom befindlichen luftundurchlässigen Störstellen, wie sie zum Beispiel durch die OP-Leuchten oder im Luftstrom befindliche Monitore hervorgerufen werden. Trifft die Strömung auf ein Hindernis, so entsteht ein Aufstaugebiet, um das herum die ankommende Strömung abgelenkt wird. Hinter – und in gewissem Umfang neben der Störstelle – treten Rückströmgebiete auf, die dadurch gekennzeichnet sind, dass Rückströmungen bis an die Ablösestelle der Grenzschicht entstehen. Die Längserstreckung des Rückstromgebietes hinter der Störstelle ist abhängig von der Breite und beträgt im Mittel den drei- bis vierfachen Wert der Störstellenbreite. An dieses Rückstromgebiet schließt sich das Gebiet der Nachlaufströmung an, das durch den Impulsaustausch zwischen dem Windschattenbereich und der Außenströmung gekennzeichnet ist. Demzufolge sind auch die Transportvorgänge von Partikeln, die in dem Bereich

der Störstelle freigesetzt werden, von den Strömungsverhältnissen geprägt. Befinden sich Emissionsquellen im Rückströmwirbelgebiet können freigesetzte Stoffteilchen bis an die Ablösestelle der Grenzschicht entgegen der Strömungsrichtung zurück transportiert werden.

Einen weiteren Störfaktor bilden im Luftstrom befindliche Wärmequellen, wie sie zum Beispiel OP-Personal oder wärmeabgebende Geräte darstellen (z.B. Abb.3).

An diesen Wärmequellen entstehen Auftriebsströmungen, die der turbulenzarmen Luftströmung über dem OP-Feld entgegengerichtet sind. Die hieraus resultierende Kraftkomponente steht in funktionalem Zusammenhang zur Wärmeübertragungsleistung und zur Oberflächentemperatur des wärmeabgebenden Körpers.

Durch die Anströmung beheizter Körper entgegen der Konvektionsströmung

rekt analytisch lösbar, sodass zur Überprüfung der Strömungsverhältnisse an beheizten Körpern in Reinräumen Strömungsversuche oder numerische Simulationsberechnungen eingesetzt werden müssen. Dabei werden die Strömungsverhältnisse beeinflusst durch folgende Parametergrößen:

- ▶ Luftgeschwindigkeit in der Verdrängungsströmung,
- ▶ Temperaturabstand zwischen Oberfläche des Körpers und der Raumluft,
- ▶ Lage der wärmeabgebenden Flächen zur Anströmrichtung,
- ▶ Größe der wärmeabgebenden Flächen.

SCHICHTENSTRÖMUNGEN IN OP-RÄUMEN

Aufgrund der zuvor beschriebenen Störeinflüsse bei turbulenzarmen Verdrängungsströmungen über OP-Decken konnten in mehreren Studien und Mes-

einen Thermikstrahl. Dieser Thermikstrahl induziert analog zu einem Luftfreistrahl Raumluft aus der Umgebung und vergrößert dabei mit größerer Lauflänge sein Volumen. Diese Volumenzunahme verläuft deutlich überproportional.

Wird nun die durch Thermik nach oben bewegte und die bis zu einer entsprechenden Raumhöhe durch Induktion in den Thermikstrahl eingemischte Luft abgesaugt und durch nachströmende Luft im unteren Raumbereich ersetzt, bilden sich zwei durchaus voneinander getrennte Luftschichten aus. Die im unteren Raumbereich befindliche Luftschicht besitzt nahezu Zuluftqualität, während die unterhalb der Raumdecke entstehende Schicht höhere Temperaturen und auch eventuell im Raum freigesetzte vermehrungsfähige Keime, Staub etc. enthalten kann. Unterhalb einer Partikelgröße von 10-15 μ sind Partikel und Keime schwebefähig. Es ist daher keine Tendenz zur

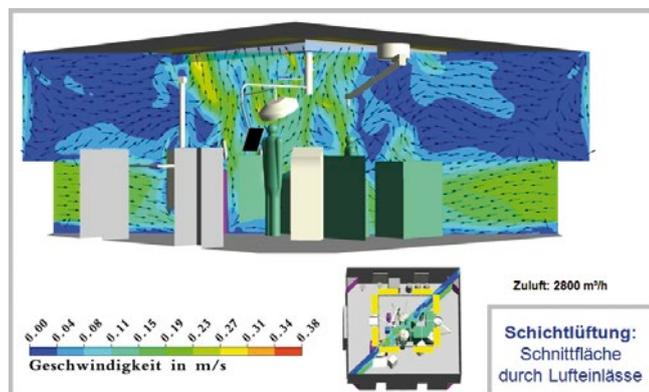


Abb.5: Geschwindigkeit der Luftströmungen

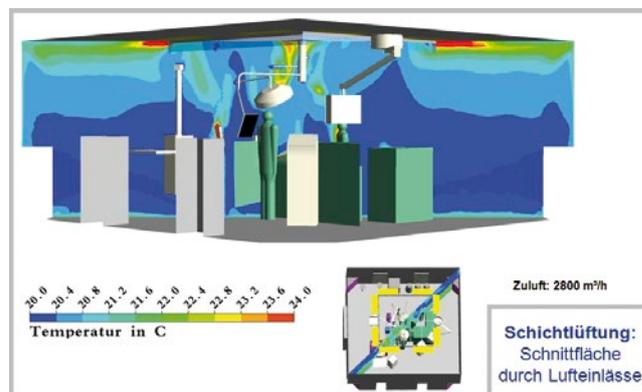


Abb.6: Temperatur der Luftströmungen

ergeben sich Überlagerungen von freier und erzwungener Konvektion, wobei je nach Anströmgeschwindigkeit auf den Körper die erzwungene oder die freie Konvektion überwiegt.

Um stabile Strömungsverhältnisse zu erreichen, ist es erforderlich, dass der Anteil der erzwungenen Konvektion höher ist. Hierdurch wird es möglich, Dimensionierungsunterlagen für Reinräume mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung zu entwickeln.

Die Gesetzmäßigkeiten der Wärmeübertragung bei freier Konvektion als auch bei überlagerter und erzwungener Konvektion sind in den wenigsten Fällen di-

sungen in den vergangenen Jahren gezeigt werden, dass ausreichende Schutzwirkungen unter realen OP-Bedingungen im Schutzbereich nur schwer zu erreichen sind. So entstand die Überlegung, die in zahlreichen anderen Anwendungsfällen sich bestens bewährte Schichtenströmung auch in OP-Bereichen zu erproben.

Schichtenströmungen im Raum entstehen durch natürliche Thermikströmungen an wärmeabgebenden Quellen. Die an den Wärmequellen erwärmte Luft strömt aufgrund ihrer geringeren Dichte nach oben in Richtung zur Raumdecke (Abb.4) und bildet oberhalb der Wärmequelle

Sedimentation erkennbar, sodass ein Rücktransport in die untere Raumschicht ausgeschlossen werden kann (Abb.5 und 6).

Wird der oben abgesaugte und der im unteren Raumbereich nachgeführte Luftstrom so gewählt, dass sich die Schichtgrenze oberhalb des OP-Bereiches einstellt, lässt sich die erforderliche Schutzwirkung gemäß DIN 1946 Teil 2 (Schutzgrad > 2 mit eingeschwenkten OP Leuchten) mit einem um ca. 30 % geringeren Zuluftstrom erreichen.

Auch der thermische Komfort für das OP-Personal ist deutlich verbessert, dadurch, dass die Raumluftgeschwin-

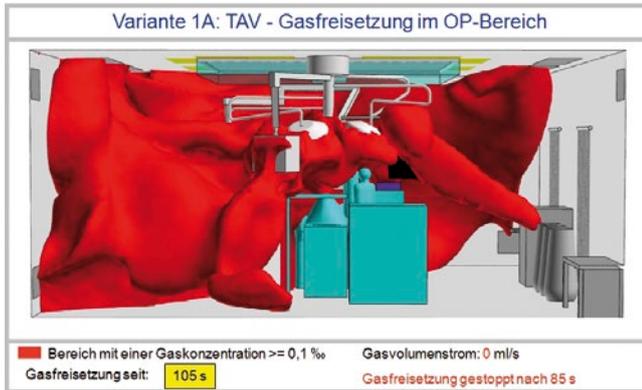


Abb. 7: Gasverteilung im Raum bei Luftzuführung über TAV 105 s nach Freisetzung



Abb. 8: Gasverteilung im Raum bei Luftzuführung über Schichtdurchlässe 105 s nach Freisetzung

digkeiten sehr geringe Werte annehmen und die Höhe der Raumlufttemperatur im Arbeitsumfeld ausschließlich durch die Zulufttemperatur bestimmt ist. Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass während des OP-Vorganges freiwerdende geruchsintensive Stoffe unmittelbar nach oben abgeführt und aus dem Raum abtransportiert werden, ohne dass sie erst sich großflächig im Raum verteilen (Abb.7 und 8). Nach einer konzeptionellen Vorplanungsphase wurde in einem

für Forschungszwecke bereitstehenden OP-Raum in Tübingen eine Schichtluftanlage integriert und messtechnisch begleitet sowie Parameterstudien durchgeführt. Des Weiteren erfolgten bei F&E in Hamburg numerische Strömungssimulationen, die einen Systemvergleich unter identischen Randbedingungen zuließen. Die zu erreichenden Energie- und Kosteneinsparungen wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit untersucht. Die Betrachtung zeigte ein mögliches Energie-

einsparpotential von rund 30 - 40 % auf. Hinzu kommen aufgrund des einfachen Anlagenaufbaus noch signifikante Einsparungen bei den Investitions- und Wartungskosten, über deren Umfang jedoch noch keine genauen Zahlen vorliegen.

Autor
 Prof. Dr. Ing. Rüdiger Detzer,
 Leiter Forschung und Entwicklung
 Imtech, 22041 Hamburg
 Fotos / Grafiken: Imtech
www.imtech.de

TOPAZ, Trockenkühler mit adiabatischer Vorkühlung

TOPAZ ist ein adiabatischer Rückkühler, der die Wärmeenergie trocken an die Atmosphäre abgibt. **Ohne Wasseraufbereitung** und **ohne Wasserversprühung** in den Luftstrom wird das Kühlmedium vollkommen keimfrei auf Temperaturen abgekühlt, die niedriger als die Umgebungslufttemperatur sind.



GOHL
 Auf Dauer gut gekühlt

E.W. GOHL GmbH
 Pfaffenhäule 28
 78224 Singen
 Phone +49 7731 - 88 06 0
info@gohl.de . www.gohl.de