



Raumlufttechnische Anlagen in OP-Räumen

Im folgenden Artikel werden die beiden Konzepte «Mischlüftung» und «Lüftung mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung» in Operationssälen verglichen. Dabei schneidet letzteres sowohl bei den Investitions- als auch bei den Betriebskosten eher besser ab. Welches System schliesslich gewählt wird, hängt von den projektspezifischen Gegebenheiten ab.

Autor



Arnold Brunner, Consultant,
Brunner Haustechnik AG

Noch vor wenigen Jahren waren sich alle Beteiligten einig, dass das primäre Bedürfnis in medizinisch genutzten Räumen die Lüfthygiene ist. Das heisst mit Hilfe der Raumlufttechnik (RLT) soll während der Raumnutzung ein sehr tiefer Luftkeimpegel garantiert werden, um im Krankenhaus erworbene Infekte möglichst ausschliessen zu können. Diese einseitige Betrachtung ist aus heutiger Sicht nicht mehr nachvollziehbar. So ist doch bekannt, dass vor allem die Wärmelasten, die von den gesteigert eingesetzten Medizingeräten abgegeben werden, zur grossen Herausforderung für die Raumlufttechnik geworden sind. Heute ist bei einer anspruchsvollen Operation mit Wärmelasten von bis zu 8000 Watt zu rechnen – das sind rund 200 W/m² Kühlleistung, die durch die Raumlufttechnik zu erbringen sind, und das möglichst ohne Beeinträchtigung der Behaglichkeit.

Die Aufgabe der raumlufttechnischen Anlagen in Operationssälen ist, neben den physiologischen Bedürfnissen (Behaglichkeit), der Zufuhr von Aussenluft und dem Abtransport von allenfalls belasteter Luft (Anästhesiegase, chirurgischer Rauch), einen Beitrag zur Prävention postoperativer

Wundinfektionen zu leisten. Aufgrund der Tatsache, dass jene Keime, die postoperative Wundinfektionen verursachen, meistens von der Haut oder Schleimhaut des Patienten selbst stammen, ist die korrekte Durchführung anderer hygienischer Massnahmen (wie z. B. präoperative Antibiotikaprophylaxe, korrekte Haut-/Schleimhautdesinfektion, Verhalten im OP, Wahrung der Asepsis), welche bewiesenermassen die Infektionsrate stark beeinflussen, von weitaus grösserer Bedeutung. Auch ist es in klinischen Studien sehr schwierig, ausschliesslich den Effekt raumlufttechnischer Anlagen zu untersuchen, weil es schlicht unmöglich ist, die anderen etablierten Präventionsmassnahmen nicht einzusetzen. Der gültige Nachweis, welchen Beitrag die Raumlufttechnik zur Infektionsprävention leistet, kann deshalb kaum erbracht werden.

Spezifische Bedürfnisse in medizinisch genutzten Räumen

Auch wenn nun in einem Operationsaal die Lüfthygiene, also ein tiefer Luftkeimpegel, nicht mehr erste Priorität hat, so sind die übrigen lufttechnischen Parameter für die Festlegung des RLT-Konzeptes erst recht zu beachten – sie bekommen ein grösseres Gewicht. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, luftgetragene Raumlasten (thermische und stoffliche Lasten) mit Hilfe einer Raumlufttechnischen Anlage (RLT-Anlage) zu reduzieren: Verdünnung oder Verdrängung.

– **Merkmale einer Mischlüftung:** Durch eine allgemeine Vermischung von belasteter Raumluft mit reiner Zuluft wird eine Verdünnung und somit eine Reduktion der Raumluftbelastung erreicht. Ein abgegrenzter Schutzbereich mit definierter Luftqualität entsteht nicht, da die Zuluft diffus, das heisst ungerichtet in den Raum eingebracht wird. Die Effizienz (Wirksamkeit) einer Mischlüftung hängt im We-

sentlichen von der Art und Lage der Zu- und Abluftdurchlässe, dem Lüftungsvolumenstrom und der Reinheit der Zuluft ab.

– **Merkmale einer Verdrängungslüftung:** Die Zuluft wird über einen grossflächigen Zuluftdurchlass kontinuierlich und gerichtet (meist von der Decke) in den Raum eingebracht. In dem so geschaffenen Schutzbereich herrscht praktisch Zuluftqualität. Im Schutzbereich freigesetzte Raumlasten werden auf direktem Weg in den Raumhintergrund verdrängt. Die lufthygienische Wirksamkeit einer Verdrängungslüftung hängt im Wesentlichen von der Grösse, Gestaltung und Betriebsweise des Zuluftdurchlasses, der Art und Anzahl von Strömungshindernissen im Schutzbereich und der Lage der Rückluftdurchlässe ab.

Betrachtungen zu Kühllast und Behaglichkeit

In der DIN-Norm 1946-4:2008 «Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens» werden zwei Raumlufttechnische Konzepte für Operationsräume beschrieben.

– **OP 1a:** Turbulenzarme Verdrängungsströmung (TAV) ca. 3,2 x 3,2 m² über dem Schutzbereich, gegebenenfalls mit umlaufendem, festem Strömungsstabilisator bis etwa 2,10 m über Boden. Der Zuluftluftvolumenstrom bei einer mittleren Zuluftgeschwindigkeit von typischerweise 0,27 m/s beträgt rund 10'000 m³/h.

– **OP 1b:** Turbulente Misch- oder Verdrängungsströmung, Vorräume mit Luftschleusenfunktion gegenüber Flur empfohlen. Um die Prüfzeit der Erholzeit (Lüftungseffizienztest) im turbulent belüfteten OP-Raum bestehen zu können, ist ein Zuluftluftvolumenstrom von typischerweise 2500 bis 3000 m³/h notwendig.



Die optimale Raumlüftungstechnik in einem Operationssaal ist für die Luftreinheit, aber auch für die Behaglichkeit von Operationsteam und Patient sehr wichtig.

Die beiden grundsätzlich verschiedenen Lüftungskonzepte haben auch bezüglich Kühlleistung stark abweichende Werte. Bei einer Internlast von 8000 W stellt sich beim OP 1a ein Temperaturunterschied von Zuluft zu Abluft von rund 2,4 Kelvin ein. Will man nun im Schutzbereich eine Temperatur von zum Beispiel 20 °C, so kann diese mit der Zuluftregulierung eingestellt werden. Im Raumhintergrund wird sich nun eine um 2,4 Kelvin höhere Temperatur einstellen, also 22,4 °C. Demgegenüber resultiert bei einem OP Klasse 1b bei 2500 m³/h Zuluftmenge (einem Viertel der Klasse 1a) eine viermal grössere Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft, also fast 10 Kelvin. Um im Aufenthaltsbereich wiederum die 20 °C realisieren zu können, muss bedingt durch die turbulente Mischlüftung die Zuluft mit 10 °C in den OP eingeblasen werden. Jeder kann sich nun vorstellen, dass das Durchmischen der Raumlüftung mit 10 °C kalter Zuluft eine

starke Beeinträchtigung der Behaglichkeit nach sich zieht.

Weitere Vorteile der Verdrängungslüftung

Davon ausgehend, dass die Zuluft nach den endständigen HEPA-Filtern rein und keimfrei in die Räume eingeblasen wird, stehen vor allem die im OP-Raum anfallenden Emissionen im Fokus: das Operationsteam und der Patient selbst (Mikroorganismen, Geruchsbelastungen), die medizinischen Geräte (hohe thermische Belastungen) sowie Emissionen dieser Geräte (Narkosegase, chirurgischer Rauch). Gasförmige Belastungen können unabhängig vom gewählten Lüftungssystem nur mit Aussenluft und dem daraus resultierenden Abluftvolumenstrom abgeführt werden. Die SUVA verlangt, gestützt auf eigene Untersuchungen (Umgang mit Anästhesiegasen – Gefährdung, Schutzmassnahmen; 2000), für Operationsräume

einen minimalen Aussenluftanteil von 800 m³/h. Die Frage stellt sich nun: Können mit diesem Aussenluftanteil auch die gasförmigen Anteile des chirurgischen Rauches abgeführt und somit das OP-Team vom schädigenden Einfluss dieser Emission geschützt werden? In der einschlägigen Publikation der SUVA kommen die Autoren zu einem positiven Schluss.

In der gleichen Publikation werden die Belastungen durch Partikel jedoch als wesentlich bedenklicher eingestuft. Die Belastungen der Beschäftigten bestehen zum grossen Teil aus sehr feinen, nanoskaligen Partikeln, welche auch mehrheitlich für die Geruchsbelastung verantwortlich sind. Betrachtet man die Leistungsfähigkeit der beiden oben beschriebenen Raumlüftungstechnischen Systeme, so ist es konzeptbedingt, dass die turbulente Mischlüftung (TML) die Emissionen im Raum verteilt, die turbulenzarme Verdrängungslüftung (TAV) die Partikel jedoch sofort und auf dem kürzesten Weg aus dem Raum verdrängt und in den Schwebstoff-Filtern abscheidet. Eine Kontamination kann mit einem TAV-System also sehr effizient eliminiert werden.

Lebenszykluskosten: Investitions- und Betriebskosten

In neueren Publikationen werden folgende Empfehlungen abgegeben: Für OP-Räume mit sehr hohen Wärmelasten und hohen Anforderungen an die Keimarmut der Luft wird die OP-Raumklasse 1a definiert, die mit einer Verdrängungslüftung auszuführen ist. Für Operationsarten mit tieferen Wärmelasten und geringer Freisetzung von gesundheitsgefährdenden, prozessbedingten Emissionen sowie geringer Gefahr von postoperativen Wundinfektionen ist die Raumklasse 1b (Mischlüftung) ausreichend. Um jedoch dem zukunftsweisenden Einsatzmanagement, das heisst der flexiblen Belegung der



Operationssäle gerecht zu werden, ist es erforderlich, dass die lufttechnische Schutzwirkung aber auch die Kühlleistung aller Räume für den Eingriff mit den höchsten Anforderungen ausreichend sein muss. Auch ist die identische Ausrüstung aller OP-Räume eine Frage der Arbeitssicherheit sowohl für die Mitarbeitenden als auch für den Patienten. Wenn jeder Handgriff in jedem Raum identisch ist, so kann dank der Routine das Fehlerisiko und auch die Fehlerhäufigkeit gesenkt werden.

Wenn man die Aussenluftaufbereitung für alle Lüftungskonzepte als identisch annimmt, so ergibt sich folgender Investitionskostenvergleich: Bei der TAV-Lüftung sind die Installationskosten im OP-Raum im Vergleich zum Mischlüftungskonzept etwas erhöht. Es ist erfahrungsgemäss gegenüber einer turbulenten Mischlüftung mit ca. CHF 25'000 bis 35'000.– für die Umluft-TAV-Decke zu rechnen. Betrachtet man dagegen die konzeptbedingten Kosten der vermeintlich günstigen Mischlüftung, so sticht in erster Linie das zusätzlich notwendige Umluftgerät ins Auge. Für die Förderung der Umluft ist pro OP-Raum ein eigenständiges Gerät notwendig. Rund 2200 m³/h Umluft sind aus dem OP-Raum zum Gerät und zusammen mit dem Aussenluftanteil (UML 2200 m³/h und AUL 800 m³/h) wieder durch

die endständig eingebauten HEPA-Filter zurück in den OP-Raum zu fördern. Ein in der OP-Abteilung aufgestelltes Gerät kostet rund CHF 25'000.– und beansprucht ca. 3 m² Nutzfläche, was zusätzliche Baukosten von ca. CHF 13'000.– bedeutet. Wird nun für dieses Gerät über der OP-Abteilung Technikraum generiert, so ist wegen der zusätzlich notwendigen Revisions- und Verkehrsfläche sogar mit doppelt so hohen Baukosten zu rechnen.

Gegenüber dieser Mischlüftung kann jedoch mit einer Umluft-TAV-Decke bei den Betriebskosten mit wesentlichen Einsparungen gerechnet werden. Die Energiekosten für die Luftförderung sind beim TAV-System (In-Raum-Rezirkulation), trotz wesentlich höherem Luftvolumenstrom, nicht einmal halb so hoch, wie bei einer turbulenten Mischlüftung. Eine weitere erhebliche Reduktion der Energiekosten kann durch eine nächtliche Volumenstromreduktion oder Systemabschaltung erreicht werden.

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten sind bei einer TAV-Lüftung geringfügig höher, da mehr Filterfläche eingebaut ist und die zweijährliche Prüfung der HEPA-Filter etwas mehr Zeit in Anspruch nimmt. Dieser Aspekt wird jedoch um ein Vielfaches durch die tieferen Luftförderkosten kompensiert. Zusammenfassend kann also dargelegt wer-

den, dass trotz wesentlich höheren Umluft-Volumenströmen ein TAV-Lüftungssystem in den Investitionskosten sicher nicht teurer ist und die Betriebskosten wesentlich günstiger ausfallen, als bei einem turbulenten Mischlüftungssystem.

Literatur

- [1] DIN-Norm 1946-4:2008 «Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens» erhältlich unter www.beuth.de
- [2] SUVA 2869/29 Arbeitsmedizin; Umgang mit Anästhesiegasen – Gefährdung, Schutzmassnahmen; Luzern 2000, erhältlich unter www.suva.ch
- [3] SUVA-Factsheet; Chirurgische Rauchgase – Gefährdungen und Schutzmassnahmen: Merz B.; Rüeeggler M.; Käslin E.; Eickmann U.; Falcy M.; Fokuhl I.; Bloch M.; Luzern 2011, erhältlich unter www.suva.ch
- [4] Chirurgische Rauchgase – Gefährdungen und Schutzmassnahmen; IVSS, Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten im Gesundheitswesen: Eickmann U.; Falcy M.; Fokuhl I.; Rüeeggler M.; Bloch M.; Hamburg 2010, erhältlich unter www.issa.int oder www.suva.ch

Weitere Informationen

Arnold Brunner
Consultant
Brunner Haustechnik AG
Bahnhofplatz 1c
CH-8304 Wallisellen
info@bht.ch