

Krankenhaushygienische Leitlinie für die Planung, Ausführung und den Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen in Räumen des Gesundheitswesens



Deutsche Gesellschaft für
Krankenhaushygiene /
German Society of Hospital Hygiene
Joachimstaler Straße 10
10719 Berlin, Germany
Tel: +49 (0)30 8855 1615
Fax: +49 (0)30 88551616
E-Mail: info@krankenhaushygiene.de
Internet:
www.krankenhaushygiene.de

Seit der Herausgabe der ersten „Krankenhaushygienischen Leitlinien für die Ausführung und den Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) in Krankenhäusern“ vor über zehn Jahren führten erweiterte Kenntnisse, neue Regelwerke, verbesserte Anlagen und Prüfverfahren zur Überarbeitung der Leitlinie. Basierend auf einer klaren Beschreibung der Grundmerkmale von Lüftungskonzepten, ihrer hygienischen Prüfung und den nutzungsabhängigen Anforderungen an die Raumlüftung hat die DGKH-Sektion „Klima und Raumluftechnik“ versucht, Antworten zu geben für die wesentlichen lufthygienischen Fragen bei der Planung, Auslegung und dem hygienisch sicheren Betrieb von RLT-Anlagen in Räumen des Gesundheitswesens. Dabei konnte sich die Bearbeitung auf den großen Sachverstand und die Erfahrungen der ordentlichen und kooperativen Mitglieder stützen. Ihnen sei für Ihr Engagement und Ihre Ausdauer herzlich gedankt. Kurz vor der Fertigstellung der Leitlinie ist Dr. med. habil. Peter Lüderitz als langjähriges und überaus engagiertes Mitglied verstorben. Seine immer hoch sachkundigen und konstruktiv kritischen Beiträge trugen erheblich zur Qualität der Leitlinie bei. Als Vorsitzender der Sektion erlaube ich mir daher, ihm diese Version zu widmen. Die DGKH hofft mit dieser Leitlinie einen Beitrag zur Verbesserung der Beurteilung der hygienischen Möglichkeiten und Grenzen von Lüftungskonzepten in Räumen des Gesundheitswesens leisten zu können.

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Külpmann
Vorsitzender der Sektion Klima und Raumluftechnik

1 Einleitung

In dieser Leitlinie sind aus krankenhaushygienischer Sicht zu beachtende Aspekte aufgeführt, die für die Planung, Ausführung und den wirtschaftlichen Betrieb von Raumluftechnischen Anlagen (RLTA) von Bedeutung sind. Die Ausführungen basieren auf der Abwägung des aktuellen Wissens und orientieren sich an einer präventiven Betrachtung von Aspekten zur Infektionsprophylaxe für Patienten, zum Arbeitsschutz und zur Behaglichkeit. Da zur Gewährleistung des einwandfreien Betriebs von RLTA die hygienische Prüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagen notwendig ist, wird auch dieser Aspekt behandelt.

Zunächst sind die Merkmale von Lüftungskonzepten dargestellt, mit denen unterschiedliche lufthygienische Wirksamkeiten erzielt werden können. Dann werden für Räume des Gesundheitswesens mit erhöhten lufthygienischen Anforderungen die Zielstellungen, die empfohlenen Lüftungskonzepte und die Prüfmethoden aufgeführt. Bedarfsweise sind zusätzliche Hinweise zu bestehenden Leitlinien und Empfehlungen aufgeführt.

Grundsätzlich sind bei der Planung, Ausführung und dem Betrieb von RLTA für Räume des Gesundheitswesens die geltenden Normen, Richtlinien sowie Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO)

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Grundvarianten von Lüftungskonzepten
- 3 Empfehlungen für Nutzungseinheiten
 - 3.1 OP-Bereich
 - 3.1.1 OP-Räume
 - 3.1.2 Direkt an die OP-Einheit angrenzende Räume
 - 3.1.3 Nebenräume in einer OP-Abteilung
 - 3.1.4 Nachtabsenkung bzw. Nachtabschaltung
 - 3.2 Zimmer für protektive Isolierung
 - 3.3 Isolierzimmer für Patienten Freisetzung infektiöser Aerosole
 - 3.4 Notaufnahme
 - 3.5 Intensivpflegestation (ITS), Intermediate Care (IMC)
 - 3.6 Zentralsterilisation
 - 3.7 Normalpflegestationen
- 4 Qualifizierung und Requalifizierung
 - 4.1 Dokumentation der Anforderungen
 - 4.2 Erstqualifizierung
 - 4.2.1 OP-Räume Klasse Ia
 - 4.2.2 Instrumentenvorbereitungsräume (Richt-, Rüsträume) für Operationen Klasse Ia
 - 4.2.3 Operationsräume und Instrumentenvorbereitungsräume Klasse Ib
 - 4.3 Requalifizierung
 - 4.3.1 OP-Räume Klasse Ia und ggf. zugehörige Instrumentenvorbereitungsräume (Richt-, Rüsträume)
 - 4.3.2 OP-Räume und Rüsträume Klasse Ib
 - 4.3.3 Zentralsterilisation
 - 4.3.4 Freigabe nach Qualifizierungen
- 5 Qualifizierung älterer OP-Räume
 - 5.1 Qualifizierung nach DIN 1946-4: 2008
 - 5.2 Requalifizierung nach DIN 1946-4: 1999
- 6 Empfehlungen zur Schulung
- 7 Literatur

Tabelle 1: Einteilung, Grundmerkmale und hygienische Prüfung von Lüftungskonzepten.

| Konzept: RK ¹ Strömungsart und prinzipielle Wirkung | | Überströmung der Luft | Raumseitige Filter | | Hygienische Prüfung Zielwerte Fensterlüftung |
|--|---|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|---|
| | | | ZUL | ABL | |
| RK Ia | TAV ^{2,4} Lüftung mit Schutzbereich | in benachbarte Räume ⁵ | H13 | mind. M5 ⁶ | Schutzgradmessung: SG ≥ 2 mit OP-Leuchten und SG ≥ 4 ohne OP-Leuchten im Schutzbereich Nachweis der Grenzen des Schutzbereichs und Markierung auf dem Fußboden Fensterlüftung nicht zulässig |
| RK Ib | TML ^{3,7} Lüftung ohne Schutzbereich | in benachbarte Räume ⁵ | H13 | mind. M5 ⁶ | Erholzeitmessung 100:1 Erholzeit innerhalb von 20 min Fensterlüftung nicht zulässig |
| RK II | TML Lüftung ohne Schutzbereich | nach Nutzung | ggf. H13 | ggf. mit Abluftfilter: H13 | Mindest-Zuluftvolumenströme personenbezo- gen oder wärme-, feuchte-, geruchsabhängig Fensterlüftung nutzungsabhängig |

Erläuterung:

¹ RK: Raumklasse (siehe auch DIN 1946-4: 2008 [1])

² TAV: Turbulenzarme Verdrängungslüftung (frühere Bezeichnung LAF Laminar Airflow)

³ TML: Turbulente Mischlüftung

⁴ TAV mit ausreichend großem Deckenfeld zur Erzeugung eines Schutzbereichs für den OP-Tisch, das steril eingekleidete OP-Personal sowie an den OP-Tisch anschließende sterile Tische und Lagerflächen für Siebe. Ausströmprofil vorzugsweise im Kerngebiet stärker als im Randgebiet (sog. Differenzialflow).

⁵ Lediglich die Überströmung von einem direkt angebundenen Instrumentenvorbereitungsraum („Richtraum“, „Rüstraum“) darf in die OP-Räume gerichtet sein.

⁶ Abweichend von DIN 1946-4 (2008): Die ansaugseitige Filtrierung der Umluft dient nur dem Schutz der Umluftkanäle, Umluftventilatoren, ggf. Kühlregister und der Schwebstofffilter.

⁷ Raumlüftungsart mit verschiedenen Luftdurchlassprinzipien möglich, z. B. Mischlüftung, Schichtlüftung, kleine TAV-Decke (nur bei kleinem Schutzbereichsbedarf geeignet).

beim Robert Koch-Institut (RKI) zu beachten.

Diese Leitlinie hat zum Ziel, zusätzliche Empfehlungen zur Interpretation, Ausgestaltung und Anwendung von ortsfesten RLTA zu geben. Für mobile Luftreinigungs- und Umluftkühlgeräte werden krankenhaushygienische Empfehlungen in einer gesonderten Leitlinie behandelt.

2 Grundvarianten von Lüftungskonzepten

Lüftungskonzepte werden hinsichtlich ihrer hauptsächlichen Luftbewegungsrichtungen unterschieden in Verdrängungs- und Mischlüftung. Sie sind gekennzeichnet von unterschiedlicher Wirksamkeit beim Abtransport von Luftverunreinigungen im Raum. Je nach Raumnutzung kann zudem verschiedene zuluft- oder abluftseitige Filtrierung erforderlich sein und durch unterschiedlich hohe Zuluft- und Abluftvolumenströme kann eine definierte Überströmung von Raum zu Raum erreicht werden. Die in Tabelle 1 aufgeführten RLTA-Konzepte unterscheiden sich hinsichtlich dieser Aspekte und führen dadurch zu unterschiedlichen lufthygienischen Wirksamkeiten. Die angegebene Prüfungsmethoden und Zielwer-

te dienen zur Feststellung der hygienischen Wirksamkeit des Lüftungskonzeptes.

Jedes Lüftungskonzept hat seine eigene prinzipielle Wirkung und ist daher aus dieser Sicht auszuwählen.

3 Empfehlungen für Nutzungseinheiten

3.1 OP-Bereich

3.1.1 OP-Räume Zielstellungen

Zum Schutz des Patienten ist der aerogene Eintrag von luftgetragenen Mikroorganismen in den Bereich des OP-Feldes, auf Instrumententische, Implantate und sterile Probeteile zu minimieren. Das Personal ist vor dem Einfluss von Luftschadstoffen und dem Einatmen von chirurgischem Rauch zu schützen. Verminderungen der Luftreinheit durch Undichtigkeiten und Türöffnungen sind durch gerichtete Überströmung zu minimieren.

Die in der Norm DIN 1946-4:2008 angegebenen Raumtemperaturen können nicht dem gesamten OP-Personal gerecht werden, da sie unterschiedlichen Bekleidungs- und Arbeitsschweren unterliegen [1]. Hausspezifischer Konsens zur Tempe-

atureinstellung ist daher erforderlich. Mit Ausnahme einer therapeutischen Zielsetzung ist Hypothermie prä-, intra- und postoperativ zu vermeiden, weil sie ein Risikofaktor für Surgical Site Infections (SSI) ist [2–4]. Es gibt keine Evidenz dafür, dass bei einem bestimmten Lüftungskonzept die Auskühlung von Patienten begünstigt wird. Zur Vermeidung einer Unterkühlung des Patienten sind medizintechnische Wärmesysteme anzuwenden, die die Luftqualität im OP-Feld nicht verschlechtern, z. B. Warmwassersysteme. Aktives Erwärmen, z. B. präoperative Vorerwärmung mit flexiblem Wärmehemd und intraoperative Erwärmung mit Bair Hugger-Wärmeeinheit ist effektiver als passives; für besonders vulnerable Eingriffe kann die Kombination beider Möglichkeiten überlegen sein [5].

Lüftungskonzepte

Für OP-Räume sind die Lüftungskonzepte Raumklasse (RK) Ia oder RK Ib erforderlich (siehe DIN 1946-4:2008 [1]). Umstritten und bisher nur für die Implantation von alloplastischem Hüft- und Kniegelenkersatz untersucht ist der epidemiologische Nutzen der RK Ia in Bezug auf die SSI-Rate. In prospektiv kontrollierten Studien [6, 7] war durch RLTA mit turbulenzarmer Verdrängungslüftung (TAV) ein infektions-

prophylaktischer Einfluss nachweisbar, der allerdings bei gleichzeitiger perioperativer Antibiotikaprophylaxe statistisch nicht mehr sicherbar war [6–8]. In neueren allerdings retrospektiven nicht kontrollierten Studien konnte dagegen kein protektiver Einfluss im Vergleich zu turbulenter Mischlüftung (TML) gezeigt werden [9–13]. Allerdings sind die zugrunde liegenden Erhebungen durch eine Vielzahl von Limitationen gekennzeichnet, weshalb gegenwärtig keine eindeutige Evidenz abgeleitet werden kann [14].

Hinzu kommt als weitere Einschränkung in allen bisherigen Studien die Nichtberücksichtigung sog. Low Grade Infections, die sich bei bis zu einem Drittel der Hüftendoprothesen erst nach der bisher üblichen Surveillancedauer von einem Jahr, d. h. nach über zwei Jahren, entwickeln [15] und zuvor als aseptische Prothesenlockerung galten [16].

Zweifelsfrei sind dagegen die Vorteile der RK Ia gegenüber einer Mischlüftung (Raumklasse Ib) physikalisch in Bezug auf die signifikant höhere Reduktion der Erreger- und Partikellast (OP-Feld, Instrumententische) nachgewiesen [17–28]. Daher ist aus grundsätzlicher präventiver Sicht für Operationen mit höchsten Anforderungen an die Erregerarmut (z. B. Implantation großer Endoprothesen im Fachgebiet der Orthopädie/Unfallchirurgie) ein RK 1a OP zu empfehlen. Ferner wird kanzerogener Rauch aus intraoperativen Verbrennungsvorgängen schneller und effektiver entfernt [29].

Die sich aus beiden Sachverhalten ergebende präventive Konsequenz wird z. B. bei der aseptischen Herstellung von Zytostatika entsprechend dem Grundsatz der Primärprävention ungeachtet der epidemiologischen Evidenz konsequent umgesetzt. Es ist z. B. in Apotheken undenkbar, eine aseptische Arzneimittelzubereitung nicht unter Reinraumbedingungen herzustellen, obwohl das Kontaminationsrisiko auf Grund der vergleichsweise kurzen möglichen Exposition weit geringer als bei der Implantation einer Hüftendoprothese ist. In Analogie dazu müssen in Anbetracht der Folgen für den Patienten alle Möglichkeiten zur Verhinderung Implantat-assoziiertes Infektionen nach Hüft- und Kniegelenkimplantation ausgeschöpft werden [30].

Die Eigenschaften des Lüftungskonzeptes der Raumklasse 1a werden von der Größe des Deckenfeldes zur Erzeugung eines Schutzbereichs, der Verwendung von

aerodynamisch optimierten OP-Leuchten und überwiegend im unteren Raum abgeführter Luft beeinflusst. Sollte eine abgestimmte Komponentenauswahl nicht möglich sein, können die systembedingten Vorteile verloren gehen. Zum Schutz von neben dem OP-Tisch stehenden Instrumenten-, Implantate- und Probeteiletischen ist eine ausreichende Größe des Deckenfeldes entscheidend, weil sich bei kleiner Abmessung der Schutzbereich vermindert und der verdünnende Lüftungsstrom reduziert wird [24, 31, 32].

Die Entscheidung über die Art des raumlufttechnischen Konzeptes im Operationsraum soll daher basierend auf dem aktuellen Stand des Wissens sowie den aktuellen und zukünftigen Bedürfnissen und Anforderungen aller Nutzergruppen getroffen und dokumentiert werden. Dabei ist insbesondere zu bedenken, dass OP-Abteilungen wenigstens 20 bis 30 Jahre betrieben werden, dass die Anforderungen an die Erregerarmut durch die demografische Entwicklung, die zunehmende Zahl immunsupprimierter Patienten und die Zunahme risikobehafteter Eingriffe steigen werden. Ferner sind OP-Frequenzen und -Typen, Abteilungsstrukturen und Leitungspersonen durch einen dynamischen Wechsel gekennzeichnet. Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen und die o. g. Vorteile wird empfohlen, mehrere OP-Säle in einer neuen OP-Abteilung mit den gleichen lufthygienisch geprüften Lüftungsdecken und OP-Leuchten auszustatten.

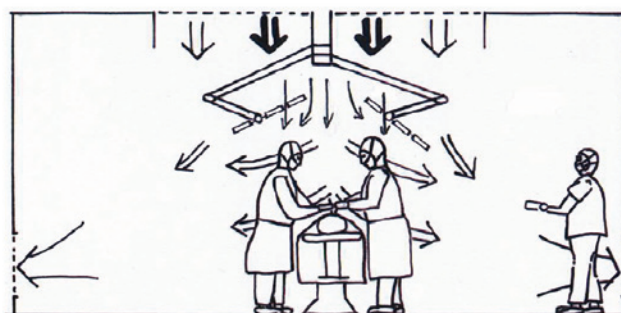


Abbildung 1: Gut wirksame Verdrängungslüftung, wesentlich ist das Zusammenwirken von Abströmung, OP-Leuchtenform und Lage der Umluftfassungen.



Abbildung 2: Fast unwirksame Verdrängungslüftung infolge übergrosser OP-Leuchten und Umluftfassungen nahe des TAV-Feldes in der Decke.



Abbildung 3: Mischlüftung mit überall gleicher Mischluftqualität.

Schließlich ist bei künftigen Planungen zu berücksichtigen, dass sich die Kosten in der Gesamtbilanz nicht wesentlich zwischen Raumklasse Ib und Ia unterscheiden [29, 33].

Raumklasse Ia

Mit einer stabilen Verdrängungslüftung wird ein Schutzbereich im Raum erzeugt, in dem sowohl der OP-Tisch als auch das steril eingekleidete OP-Team und die Instrumenten- und andere sterile Tische angeordnet werden können. Im Schutzbereich freigesetzte Verunreinigungen werden mit einer gerichteten Strömung auf direktem Weg in den Raumhintergrund abgeführt. Das Eintragen von außerhalb des Schutzbereichs freigesetzten Verunreinigungen wird weitgehend verhindert, so dass sogar auf die Fußbodendesinfektion zwischen augenärztlichen Operationen verzichtet werden kann [23]. Die Verminderung (Verdünnung und Abführung) aller im Raum freigesetzten Verunreinigungen durch Zufuhr eines hohen nahezu erreger- und partikelfreien Zuluftvolumenstroms erfolgt bei diesem Lüftungskonzept mit einer hohen Verdünnungsgeschwindigkeit.

Lufthygienische Prüfung

Da eine TAV-Lüftung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit wesentlich von der Strömungsdurchlässigkeit der verwendeten OP-Leuchten und der Anordnung der Umluftfassungen beeinflusst wird, ist als lufthygienische Prüfung die Schutzgradmethode nach DIN 1946-4: 2008 Anhang C bzw. SWKI VA 105-01 (2015) unter Einbezug der OP-Leuchten anzuwenden [1, 34].

Raumklasse Ib

Bei einer turbulenten Mischlüftung wird die Zuluft über endständige H13-Luftfilter in den Raum eingebracht und nahezu homogen im Raum verteilt. Die Verdünnungsgeschwindigkeit hängt von der in den Raum eingebrachten Luftmenge ab. Bei diesem Lüftungskonzept kann kein Schutzbereich ausgebildet werden.

Lufthygienische Prüfung

Beim Mischlüftungskonzept wird im Raum kein Schutzbereich erzeugt, so dass zur lufthygienischen Prüfung die Zeit zu ermitteln ist, bei der eine Partikellast im Raum auf ein Hundertstel des Anfangswertes abgebaut wird (Erholzeit 100:1 nach DIN EN ISO 14644-3) [35].

Die prinzipiellen Strömungsformen einer Verdrängungs- bzw. Mischlüftung sind in den Abbildungen 1 bis 3 dargestellt. Für die Verdrängungslüftung zeigt Abbildung 1 ein gutes Zusammenwirken der Luftströmung aus dem Deckenfeld mit strömungsgünstig geformten OP-Leuchten und unteren Absaugungen. Demgegenüber zeigt Abbildung 2 eine kaum wirksame Verdrängungsströmung, weil das Abströmen der Zuluft von großen OP-Leuchten behindert und infolge der deckenseitig angeordneten Umluftöffnungen frühzeitig aufgefächert wird. Abbildung 3 deutet mit den vielen kleinen Strömungspfeilen im ganzen Raum die Vermischung der Zuluft mit allen freigesetzten Raumlasten an.

3.1.2 Direkt an die OP-Einheit angrenzende Räume

3.1.2.1 Vorräume

Für spezielle Operationen, die unter erhöhten Raumtemperaturen durchgeführt werden (z. B. Operationen an Säuglingen und Brandverletzten), sind auf OP-Temperatur beheizte Vorräume erforderlich, die als Temperaturschleuse wirken.

3.1.2.2 Instrumentenvorbereitungsraum („Richtraum“, „Rüstraum“)

Der Vorbereitungsraum muss die gleiche Raumklasse haben wie der OP-Raum, für den die Instrumente gerichtet werden und darf ausschließlich als Sterilgut-Lagerraum für die ihm zugeordneten OP-Räume genutzt werden. TAV-geschützte Rüstzonen für Operationen in der Raumklasse Ia müssen für die durchzuführenden Arbeiten ausreichend groß sein.

Die Zwischenlagerung fertig gerichteter Tische erfolgt mit sterilen, rekontaminationssicheren Abdeckungen im Rüstraum. Transporte von gerichteten Instrumententischen dürfen nicht durch Bereiche der Raumklasse II vorgenommen werden (außer als Sterilflur genutzte Bereiche mit Zuluftfilter H13). Unter diesen Bedingungen können gerichtete Instrumententische bis zum Ende des Regelbetriebes (maximal 8 Stunden) gelagert werden. Die Aktivitäten in diesem Raum sind auf ein Minimum zu beschränken.

3.1.3 Nebenräume in einer OP-Abteilung

Beim Überströmen von Luft zwischen einzelnen Räumen einer OP-Abteilung ist sicherzustellen, dass dies nur in Richtung der weniger reinen Bereiche erfolgen kann.

Die gesamte OP-Abteilung muss im Überdruck zu den angrenzenden, durch Türen verbundenen Bereichen stehen.

3.1.4 Nachtabenkung bzw. Nachtabstaltung

Abweichend von der DIN 1946-4: 2008 ist auch für OP-Räume eine vollständige Anlagen-Abschaltung aus hygienischer Sicht möglich [1, 36]. Nach Betriebsende und Schließen sämtlicher OP-Türen ist eine Nachlaufzeit von ca. 30 Minuten ausreichend. Der rechtzeitige Neustart der Anlagen ist zu gewährleisten (z. B. durch Kopplung an das Einschalten des Lichts durch die erste Person, die den OP betritt). Die Freispülzeit ist gemäß der Ergebnisse der Qualifizierungsmessungen für jeden OP festzustellen. Es ist sicherzustellen, dass die Freispülzeit vor OP-Beginn erreicht wird.

Aus organisatorischen oder technischen Gründen kann es sinnvoll sein, einzelne OP-Räume (falls TAV-belüftet mit dem zugehörigen Instrumentenvorbereitungsraum) als Notfallräume durchgängig lüftungstechnisch zu versorgen.

3.2 Zimmer für protektive Isolierung

Die Einhaltung der in der medizinischen Aufgabenstellung definierten Luftreinheit ist zu gewährleisten (bei Zimmern für schwerverbrannte Patienten auch die Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte).

Zimmer für die protektive Isolierung immunsupprimierter Patienten sind lüftungstechnisch der Raumklasse II mit folgenden zusätzlichen Anforderungen zuzuordnen: Präzisierend zu den Angaben in DIN 1946-4:2008 sind Zimmer für Patienten der Risikogruppen 2 und 3 gemäß KRINKO-Empfehlung (2010) mit endständigen H13-Filtern auszustatten und im Überdruck gegen alle angrenzenden Räume zu betreiben. Fensterlüftung darf nicht erfolgen [1, 37].

Lufthygienische Prüfung

Eine raumseitige Prüfung der Erholzeit 100:1 ist nicht erforderlich, da von keiner raumseitig erzeugten Verunreinigungslast ausgegangen wird. Ein Erregereintrag von außen ist jedoch zu verhindern. Die Wirksamkeit des Überdrucks ist durch Prüfung der Strömungsrichtung nach DIN 1946-4:2008 jährlich erforderlich [1].

Da immunsupprimierte Patienten selbst infektiös werden können, wird empfohlen, auch Schleusen auszuführen, die grundsätzlich im Unterdruck sowohl zum Patientenzimmer als auch zum Flur zu halten sind.

3.3 Isolierzimmer für Patienten Freisetzung infektiöser Aerosole

Ziel ist der Schutz der Umgebung vor der Ausbreitung von hochkontagiösen, gefährliche Erreger enthaltenden Aerosolen (z. B. hämorrhagisches Fieber, SARS, MDR-Tuberkulose u.a.). Die Zimmer sind der Raumklasse II zuzuordnen und im Unterdruck zu allen anschließenden Räumen zu halten. Fensterlüftung darf nicht erfolgen. Eine vorgelagerte Schleuse ist generell vom Flur zum Patientenzimmer zu durchströmen. Eine alternative Schaltung von Überdruck des Raums gegenüber der vorgelagerten Schleuse (erweiterte Raumnutzungsabsicht) ist im Einzelfall zu prüfen (alternative Nutzung für protektive Isolierung).

Bedarfsweise ist die Abluft aus dem Raum vor Einleitung in ein Sammelabluftnetz durch einen endständigen H13-Filter zu leiten.

Lufthygienische Prüfung: Ein Nachweis der Luftströmungsrichtung ist periodisch vorzunehmen.

3.4 Notaufnahme

Grundsätzlich sind Räume für die Notaufnahme der Raumklasse II zuzuordnen. Es wird empfohlen, Warteräume nach Möglichkeit im Unterdruck zu betreiben, um eine mögliche Ausbreitung von belasteten Aerosolen zu minimieren.

3.5 Intensivpflegestation (ITS), Intermediate Care (IMC)

Grundsätzlich sind die Räume der Raumklasse II zuzuordnen. Es wird empfohlen, die Räume im Unterdruck zu betreiben, wobei die Abführung der Luft aus der Sanitäreinheit genügt, um eine aerogene Verbreitung zwischen den Patientenzimmern zu verhindern. Dazu ist die zentrale Überwachung der Patienten erforderlich, weil andernfalls die Zimmertüren nicht geschlossen werden können. Die Sicherstellung der klimaphysiologischen Anforderungen ist zu gewährleisten. Von erhöhten Geruchsbelastungen in Patientenzimmern ist auszugehen und bei der Auslegung der Lüftung entsprechend zu berücksichtigen. Bei Intensivstationen in Abteilungen, die einen Schwerpunkt bei der Versorgung höhergradig immunsupprimierter oder infektiöser Patienten haben, sind die Ausführungen der Kap. 3.2 und 3.3 zu berücksichtigen.

Unreine Arbeitsräume sind mit einer leistungsfähigen Abluftanlage auszustatten.

3.6 Zentralsterilisation

Nach den Anforderungen der KRINKO/BfArM-Empfehlung zu den hygienischen Anforderungen bei der Aufbereitung von Medizinprodukten gibt es aus hygienischer Sicht keine besonderen Anforderungen an die Raumlufttechnik. Diese Räume sind der Raumklasse II zuzuordnen [38].

Aus klimaphysiologischen Gründen ist allerdings der Einsatz einer raumlufttechnischen Anlage zur Abfuhr der Wärme- und Feuchtelasten aus dem Reinigungsbereich und dem Autoklaven-Entnahmebereich erforderlich.

Die Packzone ist im Überdruck zu unreineren Bereichen zu betreiben.

3.7 Normalpflegestationen

Es bestehen keine besonderen lufthygienischen Anforderungen. Diese Räume sind der Raumklasse II zuzuordnen.

Unreine Arbeitsräume sind mit einer leistungsfähigen Abluftanlage auszustatten.

4 Qualifizierung und Requalifizierung

4.1 Dokumentation der Anforderungen

Grundlage jeder Erstqualifizierung ist die dokumentierte medizinische Aufgabenstellung. Sie ist deshalb sehr sorgfältig und zukunftsorientiert zu verfassen und im Planungsauftrag zu vereinbaren.

Grundlage von Requalifizierungen ist die immer noch unverändert bestehende oder die seitdem möglicherweise veränderte medizinische Aufgabenstellung.

Es ist ein Krankenhaushygieniker als Fachberater einzubeziehen (KRINKO-Empfehlung 2009 [39]).

4.2 Erstqualifizierung

4.2.1 OP-Räume Klasse Ia

Die zu qualifizierenden OP-Räume (und die ggf. benachbarten Räume) müssen vollständig fertiggestellt sein. Alle gebäudetechnischen und medizintechnischen Ausstattungen und Einrichtungen der Räume müssen vollständig vorhanden und betriebsbereit sein, alle gebäudetechnischen Installations- und Funktionsprüfungen (und ggf. Nachbesserungen) müssen abgeschlossen und dokumentiert sein.

Die hygienische Erstqualifizierung von OP-Räumen Klasse Ia erfolgt grundsätzlich mit der visuellen Vorprüfung (DIN 1946-4:2008, normativer Anhang B) und der

Schutzgradmethode (DIN 1946-4:2008, normativer Anhang C) [1].

Aufwandsreduzierend kann wie folgt vorgegangen werden:

Alle Luftströmungsvisualisierungen, Schutzgradmessungen und die Bestimmung der Grenzen des Schutzbereichs erfolgen mit OP-Leuchten, Tischen und Personen-Dummies in den normativ definierten Prüfungspositionen.

Sofern eine summarische Schutzwirkung von $SG \geq 2$ und ein der medizinischen Aufgabenstellung entsprechender Schutzbereich nachgewiesen wurden, erübrigen sich Wiederholungsmessungen mit bestmöglich ausgeschwenkten OP-Leuchten (diese wären nur erforderlich zum Nachweis, ob eine ggf. zu geringe Schutzwirkung durch die Zuluftdecke, die Strömungsführung im Raum oder die OP-Leuchten verursacht wird).

Prüfungen der Schutzwirkung mit kliniktypisch in den Schutzbereich eingeschwenkten Monitoren und Geräteträgern sind mit dem Auftraggeber zu vereinbaren, zumindest sollten entsprechende Strömungsvisualisierungen durchgeführt und dokumentiert werden.

Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise einer Verdrängungsströmung sollte bei der Qualifizierung (nur Luftströmungsvisualisierung) das OP-Personal (Chefärzte, Ärzte, OP-Schwester/Pfleger) eingeladen werden. Eigene Vorschläge zur Positionierung von Personal, OP-Leuchten, Monitoren, Geräteträgern und Tischen könnten sofort experimentell untersucht werden.

Mikrobiologische Verfahren sind zur OP-Raum-Qualifizierung nicht anzuwenden. Didaktisch sehr wirkungsvolle Luftkeimzahlbestimmungen während des normalen Klinikbetriebs liegen im Ermessen des Krankenhaushygienikers.

4.2.2 Instrumentenvorbereitungsräume (Richt-, Rüst Räume) für Operationen Klasse Ia

Der Richtplatz ist unter realitätsnahen Lastbedingungen durch videodokumentierte Strömungsvisualisierung zu prüfen (mindestens zwei Tische und eine Instrumentenschwester bzw. ein beheizter Personen-Dummy).

4.2.3 Operationsräume und Instrumentenvorbereitungsräume Klasse Ib

Die Erstqualifizierung vom OP-Raum und ggf. dem Instrumentenvorbereitungsraum erfolgt in dem mit allem Inventar „klinisch

OP-bereit“ eingeräumten Raum durch Messung der Erholzeit nach DIN EN ISO 14644-3 [35]. Die Messpunkte sollen jeweils 30 cm über Mitte OP-Tisch bzw. Instrumententisch sein.

Zur homogenen Verteilung des Prüf-aerosols im Raum während der Anreicherungsphase ist ein leistungsfähiger Umluftventilator zu betreiben und nach Erreichung der Partikel-Ausgangskonzentration von ca. 350.000 Partikeln $\geq 0,5 \mu\text{m}/\text{ft}^3$ gleichzeitig mit dem Aerosolgenerator abzuschalten.

Gemessen und dokumentiert wird die Erholzeit 100:1 für Partikel $\geq 0,5 \mu\text{m}$. Anforderung: Erholzeit innerhalb von 20 Minuten.

4.3 Requalifizierung

4.3.1 OP-Räume Klasse Ia und ggf. zugehörige Instrumentenvorbereitungsräume (Richt-, Rüsträume)

Eine vollständige Strömungsvisualisierung unter Lastbedingungen ist jährlich durchzuführen.

Eine vollständige Requalifizierung analog der Erstqualifizierung ist nur erforderlich, wenn Veränderungen erfolgten, die eine Auswirkung auf Luftvolumenströme, Luftführung im Raum, Heizung und/oder Kühlung, Einbau von Strömungsstörkörpern in oder unter dem Zuluftverteiler haben könnten. Eine Requalifizierung analog der Erstqualifizierung ist ferner durchzuführen bei Mängeln der Strömungsvisualisierung.

Teil-Requalifizierungen sind erforderlich im Abstand von zwei Jahren, zu den Punkten:

- Dichtsitz- und Leckprüfung der Schwebstofffilter
- Rastermessung Luftaustrittsgeschwindigkeiten aus dem Zuluftverteiler, Berechnung Gesamtzuluftvolumenstrom.
- Messung und Dokumentation des Unterdrucks im Zwischendeckenhohlraum sowohl bei geschlossenen als auch bei allseits geöffneten Türen,
- Prüfung der Strömungsrichtung an jeder einzelnen, jeweils 1 cm geöffneten Tür bei sonst geschlossenen Türen.

4.3.2 OP-Räume und Rüsträume Klasse Ib

Mindestens jährlich sind die Druck- und Strömungsverhältnisse an sämtlichen Türen und zum Zwischendeckenraum zu messen und zu dokumentieren. Teil-Requalifizierungen sind erforderlich im Abstand von zwei Jahren, zu den Punkten:

- Dichtsitz- und Leckprüfung der Schwebstofffilter,
- Unterdruck im Zwischendeckenhohlraum sowohl bei geschlossenen als auch bei allseits geöffneten Türen,
- Prüfung der Strömungsrichtung an jeder einzelnen, jeweils 1 cm geöffneten Tür bei sonst geschlossenen Türen,
- Erholzeitmessung.

4.3.3 Zentralsterilisation

Jährlich zu prüfen sind die Druck- und Strömungsverhältnisse an allen Türen.

Technische Requalifizierungen ohne vorhergehende bauliche, anlagentechnische oder Nutzungsveränderungen sind erforderlich im Abstand von zwei Jahren.

4.3.4 Freigabe nach Qualifizierungen

Bei festgestellten Mängeln oder signifikanten Abweichungen von den bei der Erstqualifizierung festgestellten Werten sind technische Nachbesserungen durchzuführen und deren Ergebnis zu prüfen und zu dokumentieren. Erst danach ist die Nutzung wieder zulässig.

5 Qualifizierung älterer OP-Räume

5.1 Qualifizierung nach DIN 1946-4: 2008

Derzeit werden noch zahlreiche, nach älteren Ausgaben der DIN 1946-4 errichtete OP-Räume betrieben [40].

Grundsätzlich hat der Nutzer entsprechend der aktuellen medizinischen Aufgabenstellung zu prüfen, ob er deren Erst- oder Requalifizierung nach Kapitel 5.1 oder 5.2 dieser Leitlinie durchführen lässt. Aus hygienischer Sicht ist die Anwendung der DIN 1946-4:2008 zu empfehlen, da hier nicht nur der einwandfreie Filterzustand, sondern das gesamte Lüftungskonzept geprüft wird [1].

In jedem Fall gilt die aktuelle medizinische Aufgabenstellung als Grundlage der Qualifizierung und Entscheidung, ob diese OP-Räume unverändert weiter betrieben werden können, saniert werden müssen oder herabzustufen sind.

Wenn die Ausführung eines alten OP-Raums in wesentlichen Punkten von den Angaben in DIN 1946-4: 2008 zur Raumklasse Ia abweicht, ist es nicht sinnvoll, eine Schutzgradmessung durchzuführen, weil nicht davon auszugehen ist, dass diese bestanden wird [1]. In diesem Fall kann eine

Erholzeitmessung gemäß 4.3.2 zur Qualifizierung als Ib-OP durchgeführt werden.

Durch den Krankenhausträger ist in Abstimmung mit dem Krankenhaushygieniker eine Entscheidung über das in diesem Raum durchzuführende Eingriffsspektrum zu treffen.

5.2 Requalifizierung nach DIN 1946-4: 1999

Die Routinekontrollen nach der alten DIN 1946-4:1999 dienen primär dem Nachweis der einwandfreien Funktion der eingebauten Zuluftfilter [40].

Alle Messungen müssen mit geeigneten und kalibrierten Messgeräten durchgeführt werden. Die Partikelmessgeräte müssen pro Minute mindestens 28,3 l (1 ft³) einsaugen. Zur Messung der Partikel-Rohluftkonzentration vor dem Filter ist eine Verdünnungsstufe 100:1 zu verwenden.

Partikelmessungen

Die Partikelmessungen sind gemäß DIN EN ISO 14644-3 durchzuführen und dienen nur dem Nachweis von Dichtsitz und Leckfreiheit der eingebauten HEPA-Filter [35].

Die Zuluftverteiler müssen demontiert werden, um eine Verfälschung der Messergebnisse durch induzierte Raumluft zu vermeiden.

Die Partikelmessungen erfolgen direkt unterhalb des Filters. Dichtsitz und Leckfreiheit im eingebauten Zustand gemäß Filterklasse mindestens H13 sind nachzuweisen. Bei festgestelltem Leck ist der Filter zu erneuern. Danach ist der ausgetauschte Filter nachzumessen.

Luftkoloniezahlbestimmungen

Luftkoloniezahlbestimmungen dienen zur Überprüfung der Reduktion der Luftkoloniezahl im Schutzgebiet. Daher ist eine Luftkoloniezahlbestimmung unterhalb der Zuluftdurchlässe nicht erforderlich.

Luftströmungsrichtung

Der OP-Raum muss in dauerhaftem Überdruck zu den angrenzenden Räumen und zum Zwischendeckenbereich stehen. Der Nachweis kann durch Strömungsvisualisierung erfolgen (siehe Kapitel 4.3).

6 Empfehlungen zur Schulung

Werden OP-Räume der Raumklasse Ia betrieben, ist eine Personalschulung durch den Krankenhaushygieniker oder adäquates Per-

sonal erforderlich. Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise einer Verdrängungsströmung sollte bei der Qualifizierung des OP-Raums das OP-Personal (Chefärzte, Ärzte, OP- und Anästhesieschwester/-Pfleger) eingeladen werden.

Visualisiert werden kann

- der Effekt unterschiedlicher OP-Lampen-Positionierungen,
- die Wirkung von zeitweilig geöffneten OP-Türen,
- die Anordnung von Instrumenten-, Implantate- und Probeteiletischen innerhalb, am Rand und außerhalb vom Schutzbereich,
- die Wirkung von in den Schutzbereich eingeschwenkten Deckenversorgungs-einheiten.

Diese Leitlinie wurde erstellt von der DGKH, Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e. V., Sektion „Klima und Raumlufttechnik“. Mitarbeiter/innen sind Dr. Bärbel Christiansen (DGKH), Prof. Dr. Axel Kramer (DGKH), Prof. Dr. Rüdiger Külpmann (DGKH, Vorsitzender), Dr. Peter Lüderitz (†) (DGKH), Priv.-Doz. Dr. Frank-Albert Pitten (DGKH, AWMF), Dr. Frank Wille (DGKH), Prof. Dr. Klaus-Dieter Zastrow (DGKH).

Kooperative Mitarbeit durch Dr. Friederike Lemm (DGKH), Prof. Dr. Regina Sommer (ÖGHMP), Dr. Milo Halabi (ÖGHMP).

Literatur

1. DIN 1946-4:2008-12, Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Berlin: Beuth.
2. Melling AC, Ali B, Scott EM, Leaper DJ. Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery: a randomised controlled trial. *Arch Med Res* 2001; 32(3):227–31.
3. Flores-Maldonado A, Medina-Escobedo CE, Ríos-Rodríguez HM, Fernández-Domínguez R. Mild perioperative hypothermia and the risk of wound infection. *Int J Evid Based Health* 2011; 9(4):337–45.
4. Brandt S, Mühlsteff J, Imhoff M. (2013) VDE-Positionspapier Akzidentelle Hypothermie – Diagnose, Prävention und Therapie. *Dt Ges Biomed Techn (DGBMT) im VDE*, 2013. http://www.vde.com/de/fg/DGBMT/Arbeitsgebiete/Fachausschuesse/puw/Documents/VDE_PP_Ak.-Hypothermie-_RZ_Web.pdf
5. Moola S, Lockwood C. Effectiveness of strategies for the management and/or prevention of hypothermia within the adult perioperative environment. *Int J Evid-Based Healthcare*, 2011; 9(4):337–45.
6. Lidwell OM, Lowbury EJ, Whyte W, Blowers R, Stanley SJ, Lowe D. Effect of ultraclean air in operating rooms on deep sepsis in the joint after total hip or knee replacement: a randomised study. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1982;285(6334): 10–4.
7. Lidwell OM, Elson RA, Lowbury EJ, Whyte W, Blowers R, Stanley SJ, Lowe D. Ultraclean air and antibiotics for prevention of postoperative infection. A multicenter study of 8,052 joint replacement operations. *Acta Orthop Scand* 1987;58(1):4–13.
8. Nelson JP. The operating room environment and its influence on deep wound infection. In: *The hip. Proc 5th open scientific Meeting of the Hip Society*, St. Louis: Mosby; 1977; zit. Lew DP, Pittet D, Waldvogel FA, Infections that complicate the insertion of prosthetic devices. In: Mayhall CG (ed) *Hospital Epidemiology and Infection Control*. Philadelphia: Lippincott; 1999:1190.
9. Miner AL, Losina E, Katz JN, Fossel AH, Platt R. Deep infection after total knee replacement: impact of laminar airflow systems and body exhaust suits in the modern operating room. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2007;28:222–6.
10. Brandt C, Hott U, Sohr D, Daschner F, Gastmeier P, Rüdén H. Operating room ventilation with laminar airflow shows no protective effect on the surgical site infection rate in orthopedic and abdominal surgery. *Ann Surg* 2008;248:695–700.
11. Breier AC, Brandt C, Sohr D, Geffers C, Gastmeier P. Laminar airflow ceiling size: no impact on infection rates following hip and knee prosthesis. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2011;32(11):1097–102.
12. Hooper GJ, Rothwell AG, Frampton C, Wyatt MC. Does the use of laminar flow and space suits reduce early deep infection after total hip and knee replacement?: The ten-year results of the New Zealand Joint Registry. *J Bone Joint Surg Br* 2011; 93(1): 85–90.
13. Zheng H, Barnett AG, Merollini K, Sutton A, Cooper N, Berendt T, Wilson J, Graves N. Control strategies to prevent total hip replacement-related infections: a systematic review and mixed treatment comparison. *BMJ Open* 2014;4(3):e003978.
14. Iudicello S, Fadda A. A road map to a comprehensive regulation on ventilation technology for operating rooms. *Inf Contr Hosp Epidemiol* 2013;34(8):858–60.
15. Uçkay I, Lübbecke A, Emonet S, Tovmirzaeva L, Stern R, Ferry T, Assal M, Bernard L, Lew D, Hoffmeyer P. Low incidence of haematogenous seeding to total hip and knee prostheses in patients with remote infections. *J Infect* 2009; 59(5):337–45.
16. Winkler T, Trampuz A, Hardt S, Janz V, Kleber C, Perka C. Periprothetische Infektion nach Hüftendoprothetik. *Orthopäde* 2014; 43:70–8.
17. Seropian R, Reynolds BM. The importance of airborne contamination as a factor in postoperative wound infection. *Arch Surg* 1969;98(5): 654–8.
18. Ritter MA, Stringer EA. Laminar air-flow versus conventional air operating systems: a seven-year patient follow-up. *Clin Orthop Relat Res* 1980;150:177–80.
19. Griethuysen van AJ, Spies-van Rooijen NH, Hoogenboom-Verdegaal AM. Surveillance of wound infections and a new theatre: unexpected lack of improvement. *J Hosp Inf* 1969; 34(2):99–106.
20. Hansen D, Krabs C, Benner D, Brauksiepe A, Popp W. Laminar air flow provides high air quality in the operating field even during real operating conditions, but personal protection seems to be necessary in operations with tissue combustion. *J Hyg Environm Health* 2005; 208(6): 455–60.
21. Talon D, Schoenleber T, Bertrand X, Vichard P. Performances of different types of airflow system in operating theatre. *Ann Chir* 2006; 131(5):316–21.
22. Aboelela SW, Stone PW, Larson EL. Effectiveness of bundled behavioural interventions to control healthcare-associated infections: a systematic review of the literature. *J Hosp Inf* 2007;66(2):101–8.
23. Knochen H, Hübner NO, Below H, Assadian O, Külpmann R, Kohlmann T, Hildebrand K, Clemens S, Bartels C, Kramer A. Einfluss der Fußbodendesinfektion auf die mikrobielle und partikuläre Belastung der Raumluft in Augen-OP-Räumen mit Verdrängungslüftungsbereichen. *Klin Monbl Augenheilkd* 2010; 227(11):871–8.
24. Diab-Elschahawi M, Berger J, Blacky A, Kimberger O, Oguz R, Kuelpmann R, Kramer A, Assadian O. Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery. *Am J Inf Contr* 2011;39(7):25–9.
25. Hirsch T, Hubert H, Fischer S, Lahmer A, Lehnhardt M, Steinau HU, Steintraesser L, Seipp HM. Bacterial burden in the operating room: impact of airflow systems. *Am J Infect Contr* 2012; 40(7):e228–32.
26. Bible JE, O'Neill KR, Crosby CG, Schoenecker JG, McGirt MJ, Devin CJ. Implant contamination during spine surgery. *Spine J* 2013;13(6): 637–40.
27. Smith EB, Raphael IJ, Maltentfort MG, Honsawek S, Dolan K, Younkings EA. The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination. *J Arthropl* 2013; 28(9):1482–5.
28. Erichsen-Andersson A, Petzold M, Bergh I, Karlsson J, Eriksson BI, Nilsson K. Comparison between mixed and laminar airflow systems in operating rooms and the influence of human factors: Experiences from a Swedish orthopedic center. *Am J Inf Contr* 2014; 42(6): 665–9.
29. Külpmann R, Kramer A. Raumlufttechnische Anlagen. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner NO, Simon A (Hrsg) *Krankenhaus- und Praxishygiene*. München: Urban Fischer; 2012; 448–54.
30. Spagnolo AM, Ottria G, Amicizia D, Perdelli F, Cristina ML. Operating theatre quality and prevention of surgical site infections. *J Prev Med Hyg*. 2013;54(3):131–7.
31. Benen T, Clausdorff L, Wille F. Einfluss von unterschiedlichen Lüftungssystemen auf die mikrobiologische Instrumentenreinheit. *Hyg Med* 2013;38(4):142–6.
32. Fischer S, Thieves M, Hirsch T, Fischer K-D, Hubert H, Bepler S, Seipp H. Reduction of airborne bacterial burden in the or by installation of unidirectional displacement airflow (UDF) systems. *Med Sci Monit* 2015;21:2367–74.
33. Seipp HM, Bartz H, Hofrichter L, Diemer K. Energie- und Kostenvergleich von Operationsräumen der Raumklasse 1a und 1b. *Gebäudetechn Innenraumklima* 2013;134(6):372–92.

34. Schweizer Leitlinie SWKI VA 105-01: 2015-08, Raumlufttechnische Anlagen in medizinisch genutzten Räumen (Planung, Realisierung, Qualifizierung, Betrieb). Schönbühl: SWKI.
35. DIN EN ISO 14644-3: 2006-03, Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Prüfverfahren. Berlin: Beuth.
36. ÖNORM H 6020: 2015-03 Lüftungstechnische Anlagen für medizinisch genutzte Räume - Projektierung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, technische und hygienische Kontrollen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
37. Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI). Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten. Bundesgesundheitsbl 2010;53:357–388. http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/Immunsuppr_Rili.pdf?__blob=publicationFile.
38. Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) und des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM). Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten. Bundesgesundheitsbl 2012;55:1244–1310. http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/Medprod_Rili_2012.pdf?__blob=publicationFile
39. Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI). Personelle und organisatorische Voraussetzungen zur Prävention nosokomialer Infektionen. Bundesgesundheitsbl 2009;52:951–962. http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/Rili_Hygmanagement.pdf?__blob=publicationFile
40. DIN 1946-4:1999-03, Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Berlin: Beuth.
- F. Külpmann R, Hildebrand K. OP-Lüftungssysteme im Vergleich. GI-GebäudeTechn InnenraumKlima 2013;134(01):12–29.
- G. Lüderitz P. Wie sicher soll Ihr OP-Raum sein? Krankenhaushygiene up2date 2008;3:373–85.
- H. Salvati EA, Robinson RP, Zeno SM, Koslin BL, Brause BD, Wilson Jr PD. Infection rates after 3175 total hip and total knee replacements performed with and without a horizontal unidirectional filtered air-flow system. J Bone Joint Surg Am 1982;64(4):525–35.

Weitere Literatur

- A. Anhang zur Anlage zu Ziffern 5.1 und 4.3.3 Anforderungen der Hygiene beim ambulanten Operieren in Krankenhaus und Praxis. Bundesgesundheitsbl 1997;40:361–5. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/AnhOp_Rili.pdf?__blob=publicationFile
- B. Evans RP. Current concepts for clean air and total joint arthroplasty: laminar airflow and ultraviolet radiation: a systematic review. Clin Orthop Relat Res 2011;469(4):945–53.
- C. Gastmeier P, Brandt C. Raumlufttechnik im OP und postoperative Wundinfektionen. Was gibt es Neues? Krankenhaushyg up2date 2012;7:199–209.
- D. Kramer A, Assadian O, Mittelmeier W, Krüger CM. Hygiene in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Schwerpunkte der Infektionsprävention in Klinik und Praxis. Orthopäd Unfallchir up2date 2012;7: 315–33.
- E. Kramer A, Külpmann R, Wille F, Christiansen B, Exner M, Kohlmann T, Heidecke CD, Lippert H, Oldhafer K, Schilling M, Below H, Harnoss J C, Assadian O. Importance of displacement ventilation for operations and small surgical procedures from the infection preventive point of view. Zbl Chir 2010;135(1):11–7.