

Krankenhaushygienische Leitlinie für die Planung, Ausführung, und Überwachung von Raumluftechnischen Anlagen für OP-Bereiche und Eingriffsräume

Sektion Krankenhausbau und Raumluftechnik der DGKH

Die im Jahr 2020 neu gegründete Sektion „Krankenhausbau und Raumluftechnik“ der DGKH hat entschieden, die krankenhaushygienische Leitlinie zu Raumluftechnischen Anlagen (RLTA) aus dem Jahr 2015 neu zu fassen und in zwei Teile zu gliedern: Der vorliegende Teil 1 befasst sich gezielt mit den Erfordernissen an Raumluftechnische Anlagen in OP-Bereichen und Eingriffsräumen, Teil 2 wird sich auf alle anderen Räumlichkeiten eines Krankenhauses bzw. einer Arztpraxis beziehen. Die Leitlinie versteht sich als Ergänzung und Präzisierung der bestehenden Regelwerke, insbesondere der DIN 1946-4 (09/2018) sowie der VDI 6022 Blatt 1(2018), unter dem Blickwinkel aktueller Entwicklungen. In Ergänzung existiert die Leitlinie der DGKH zu Sekundärluftkühlgeräten.

1 Einleitung

In dieser Leitlinie sind aus krankenhaushygienischer Sicht zu beachtende Aspekte aufgeführt, die für die Planung, Ausführung und den wirtschaftlichen Betrieb von RLTA bedeutsam sind. Die Ausführungen basieren auf der Abwägung des aktuellen Wissens und beinhalten Aspekte der Infektionsprophylaxe für Patienten, des Arbeitsschutzes, des sicheren Betriebs von technischen Geräten und der Behaglichkeit. Da zur Gewährleistung des einwandfreien Betriebs von RLTA die hygienische Prüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagen notwendig ist, wird auch dieser Aspekt behandelt. Darüber hinaus werden für Räume des Gesundheitswesens mit erhöhten lufthygienischen Anforderungen die Zielstellungen, die empfohlenen Lüftungskonzepte und die Prüfmethode aufgeführt. Bedarfsweise werden zusätzliche Hinweise zu bestehenden Leitlinien und Empfehlungen benannt. Die Leitlinie hat zum Ziel, primär zusätzliche Empfehlungen zur Ausgestaltung und Anwendung von ortsfesten RLTA zu geben.

Grundsätzlich sind bei der Planung, Ausführung und dem Betrieb von RLTA für Räume des Gesundheitswesens die geltenden Normen, Richtlinien sowie die Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) zu beachten. Anforderungen an die technische und funktionale Ausstattung von OP-Bereichen finden sich in der KRINKO Empfehlung zur Prävention postoperativer Wundinfektionen (KRINKO 2018). Die Kommission empfiehlt, OP-Säle mit dreifach gefilterter Luft zu versorgen und durch regelmäßige Wartung und Funktionsprüfung sicherzustellen, dass der jeweilige technische Standard, nach dem die RLTA geplant wurde, eingehalten wird. Die OP-Säle sind im Überdruck im Vergleich zu den angrenzenden Räumlichkeiten zu halten und Geräte mit eigenständigen Lüftungen (zum Beispiel Hypothermie Geräte in der Kardiochirurgie) sind so zu positionieren, dass von ihnen keine Kontaminationsgefahr ausgeht. Räumlichkeiten, die durch Überströmung der Luft aus dem OP-Saal versorgt werden, dürfen auf diese Weise nicht kontaminiert werden; dies kann zum Beispiel relevant sein für Sterilgutlager, die unmittelbar an den OP-Saal angrenzen. Für die Versorgung infektiöser Fälle (aerogene Übertragung der Infektion möglich) kann es sinnvoll sein, einen OP-Saal vorzuhalten, bei dem die Möglichkeit eines Betriebs im Unterdruck besteht. Für die Vorhaltung sogenannter „septischer OP-Säle“ nebst den spezifischen zum OP gehörenden Räumlichkeiten wie Personalschleuse, Patientenschleuse, Materialschleuse etc. gibt es keine Evidenz.

Hinsichtlich der Luftführungssysteme lässt die KRINKO es in der Empfehlung von 2018 offen, ob OP-Säle mittels turbulenzarmer Verdrängungsströmung (TAV entsprechend Raumklasse Ia) oder turbulenter

Mischbelüftung (entsprechend der Raumklasse Ib) versorgt werden, da kein signifikanter Unterschied in Bezug auf postoperative Wundinfektionen zwischen beiden Systemen abgeleitet werden konnte.

2 Grundvarianten von Lüftungskonzepten

Hinsichtlich der Art der Luftzuführung in den Raum wird zwischen einer Verdrängungs- und einer Mischbelüftung unterschieden. Sie sind gekennzeichnet durch eine unterschiedliche Wirksamkeit beim Abtransport von Luftverunreinigungen aus dem Raum. Je nach Raumnutzung kann eine unterschiedliche zuluft- oder abluftseitige Filtrierung erforderlich sein. Durch unterschiedlich hohe Zuluft- und Abluftvolumenströme kann eine definierte Überströmung von Raum zu Raum erreicht werden. Raumluft, die einem Raum entnommen und nach Behandlung demselben Raum wieder zugeführt wird, wird nachfolgend gemäß DIN 1946-4 (2018) als „Sekundärluft“ bezeichnet. Die in Tabelle 1 aufgeführten RLTA-Konzepte unterscheiden sich hinsichtlich dieser Aspekte und führen dadurch zu unterschiedlichen lufthygienischen Wirksamkeiten. Die angegebenen Prüfungsmethoden und Zielwerte dienen zur Feststellung der hygienischen Wirksamkeit des Lüftungskonzeptes. Jedes Lüftungskonzept hat seine eigene prinzipielle Wirkung und ist daher aus dieser Sicht auszuwählen.

Tabelle 1: Einteilung, Grundmerkmale und hygienische Prüfung von Lüftungskonzepten (nach DIN 1946-4:2018)

Konzept: RK ¹⁾ Strömungsart und prinzipielle Wirkung		Strömungs- richtung der Luft	Filter		Hygienische Prüfung Zielwerte Fensterlüftung
			Zuluft/ 3. Filter- stufe	Abluft	
RK Ia	TAV ^{2, 4)} Lüftung mit Schutz- bereich	in benachbarte Räume ⁵⁾	H13	mind. ISO ePM1 ≥ 50 % ⁶⁾	Strömungsvisualisierung Schutzgradmessung: SG ⁸⁾ ≥ 2 mit OP-Leuchten und/ oder SG ⁸⁾ ≥ 4 ohne OP-Leuchten im Schutzbereich Nachweis der Grenzen des Schutzbereiches und Markierung auf dem Fußboden Fensterlüftung nicht zulässig
RK Ib	TML ^{3,7)} Lüftung ohne Schutz- bereich	in benachbarte Räume ⁵⁾	H13	mind. ISO ePM1 ≥ 50 % ⁶⁾	native Grundbelastung ≤ 3.520 Partikel /m ³ (0,5 µm) Erholzeitmessung 100:1 Erholzeit innerhalb von 20 min ⁹⁾ Fensterlüftung nicht zulässig
RK II	TML Lüftung ohne Schutz- bereich	nach Nutzung	ggf. H13	ggf. mit Abluft- filter: H13 bei aerogen übertragbaren Infektionen	Mindest-Zuluftvolumenströme personenbezogen oder wärme-, feuchte-, geruchsabhängig Fensterlüftung nutzungsabhängig

Erläuterung:

¹⁾ RK: Raumklasse (siehe auch DIN 1946-4: 2018)

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

³⁾ TML: Turbulente Mischlüftung

- 4) TAV mit ausreichend großem Deckenfeld zur Erzeugung eines Schutzbereiches für den OP-Tisch, das steril eingekleidete OP-Personal sowie an den OP-Tisch anschließende steril abgedeckte Tische und Lagerflächen für sterile Medizinprodukte. Abströmprofil vorzugsweise im Kerngebiet stärker als im Randgebiet (sog. Differentialflow).
- 5) Lediglich die Überströmung von einem direkt angebundenes Instrumentenvorbereitungsraum („Richtraum“, „Rüstraum“) darf in die OP-Räume gerichtet sein.
- 6) Abweichend von DIN 1946-4 (2018): Die ansaugseitige Filtrierung der Sekundärluft dient nur dem Schutz der Sekundärluftkanäle und -ventilatoren, ggf. Kühlregister, Kreuzwärmetauscher und der Schwebstofffilter.
- 7) Raumlüftungsart mit verschiedenen Luftdurchlassprinzipien möglich, z. B. Mischlüftung, Schichtlüftung, kleine TAV-Decke
- 8) Schutzgrad gem. DIN 1946-4 (2018) Anhang C; bei der Abnahme von Neubauten empfiehlt die DGKH die Schutzgradbestimmung mit eingeschwenkten Leuchten.
- 9) Für RLTA, die nach der DIN 1946-4 (2008) geplant wurden und betrieben werden, ist auch eine Erholzeit von 25 min zulässig.

Horizontale TAV-Systeme:

Seit einigen Jahren sind kleine, mobile TAV-Systeme erhältlich, die eine horizontale Abströmung der mit HEPA-Filtern gereinigten Luft ermöglichen. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Systeme in keiner Weise die Ausstattung eines OP-Raums mit einer RLTA ersetzen können. Auch der Einsatz dieser Geräte zum Rüsten von Instrumententischen in Räumlichkeiten, die nicht den hygienetechnischen Anforderungen des OP-Saals, in dem die Instrumente angewendet werden sollen, entsprechen, ist nicht zulässig.

Notwendigkeit der Dampfbefeuchtung:

Aufgrund des hohen Wartungsaufwands wird häufig auf die Installation von Dampfbefeuchtungseinheiten verzichtet. Die Frage der Notwendigkeit einer solchen Befeuchtung kann in Abhängigkeit von spezifischen Anforderungen der technischen Gegebenheiten sowie der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung des Krankenhauses beantwortet werden. Behaglichkeitsparameter in Bezug auf die Luftfeuchtigkeit sind zu berücksichtigen.

Alternative Lüftungssysteme:

Neben den in der DIN 1946-4 (2018) beschriebenen Lüftungskonzepten für OP-Säle sind auch alternative Lösungen vorstellbar. Beispielsweise werden in Schweden seit einigen Jahren Systeme betrieben, die überwiegend über einen Temperaturgradienten arbeiten und dabei die Funktionsweise von turbulenten und gerichteten Lüftungssystemen einer TAV kombinieren (Alsved et al 2018). Hier ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass Abweichungen von der Norm in der hygienischen Bewertung des Lüftungskonzeptes zum Bauvorhaben kenntlich zu machen und der jeweiligen Aufsichtsbehörde zur Genehmigung vorzulegen sind. Auch für dieses Lüftungssystem sind die Abnahmeverfahren der DIN 1946-4 (2018) anzuwenden. Einzelheiten sind mit dem Krankenhaushygieniker abzustimmen.

3 Empfehlungen für Nutzungseinheiten

3.1 OP-Säle

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 einem OP-Saal tätigen Berufsgruppen haben aufgrund ihrer unterschiedlichen Bekleidung und physischen Aktivität erfahrungsgemäß ein unterschiedliches Wärmebedürfnis. Die in der Norm angegebenen Raumtemperaturen können daher nicht dem gesamten OP-Personal gerecht werden, und ein hausspezifischer Konsens zur Temperatureinstellung ist erforderlich. Eingriffe in die Temperaturregulierung der OP-Säle sollten nur zentral über die Technik möglich sein. Mit Ausnahme einer therapeutischen Zielsetzung ist Hypothermie prä-, intra- und postoperativ zu vermeiden, weil sie ein Risikofaktor für postoperative Wundinfektionen ist (Melling et al. 2001, Flores-Maldonado et al. 2011, Brandt et al. 2013). 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, wie z. B. Warmwassersysteme. Aktives Erwärmen, z.B. präoperative Vorerwärmung mit flexiblem Wärmehemd und intraoperative Erwärmung mit einer konvektiven Wärmeeinheit, ist effektiver als passives; für Eingriffe mit besonders hohem Infektionsrisiko kann die Kombination beider Möglichkeiten erwogen werden (Moola u. Lockwood 2013).

Lüftungskonzepte:

Für OP-Räume sind die Lüftungskonzepte RK Ia oder RK Ib erforderlich (siehe DIN 1946-4:2018). 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 (Lidwell et al. 1982, 1987) war durch RLTA mit TAV ein infektionsprophylaktischer Einfluss nachweisbar, der allerdings bei gleichzeitiger perioperativer Antibiotikaphylaxe statistisch nicht mehr sicherbar war (Lidwell et al. 1982, 1987, Nelson 1999). In retrospektiven Fall-Kontroll-Studien konnte dagegen kein infektionsprotektiver Einfluss im Vergleich zu TML gezeigt werden (Miner et al. 2007, Brandt et al. 2008, Breier et al. 2011, Hooper et al. 2011, KRINKO 2018, Zheng et al. 2014). Allerdings sind die zugrunde liegenden Erhebungen durch eine Vielzahl von Limitationen gekennzeichnet (Iudicello u. Fadda 2013). 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 entwickeln (Uckay et al. 2009, Winkler et al. 2014). Eine 2020 publizierte norwegische, retrospektive Studie untersuchte die Rate an infektionsbedingten Revisionseingriffen nach hüftendoprothetischen Operationen. Es zeigte sich eine signifikant niedrigere Wundinfektionsrate, wenn die initiale Operation in einem OP-Saal mit einer großen TAV-Lüftungsdecke durchgeführt wurde im Vergleich zu Operationssälen mit einer kleineren TAV-Decke oder einer turbulenten Mischbelüftung (Langvatn et al. 2020). Insgesamt lässt sich auf Grund der aktuellen Datenlage keine sichere evidenzbasierte Empfehlung hinsichtlich des Lüftungskonzeptes (RK Ia oder RK Ib) in OP-Räumen in Bezug auf infektions-prophylaktische Aspekte aussprechen.

Zweifelsfrei sind dagegen die Vorteile der RK Ia gegenüber einer Mischbelüftung (Raumklasse Ib) physikalisch in Bezug auf die signifikant höhere Reduktion der Erreger- und Partikellast im Bereich des OP-Feldes oder der Instrumententische nachgewiesen (Seropian u. Reynolds 1969, Ritter et al. 1980, van Griethuysen et al. 1996, Hansen et al. 2005, Talon et al. 2006, Aboelela et al. 2007, Knochen et al. 2010, Diab-Elschahawi et al. 2011, Hirsch et al. 2012, Bible et al. 2013, Smith et al. 2013, Erichsen Andersson et al. 2014, Gallus 2019, Benen et al. 2013). Vorteilhaft ist auch, dass mit dieser Technik kanzerogener Rauch aus intraoperativen Verbrennungsvorgängen schneller und effektiver entfernt wird (Külpmann u. Kramer 2012).

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.

Die Eigenschaften des Lüftungskonzepts der RK Ia werden von der Größe des Deckenfeldes zur Erzeugung eines Schutzbereiches, der Verwendung von aerodynamisch optimierten OP-Leuchten und überwiegend im unteren Raum abgeführter Luft (2/3 bodennah und 1/3 deckennah) beeinflusst. Sollte eine abgestimmte Komponentenauswahl nicht möglich sein, können die systembedingten Vorteile verloren gehen. Zum Schutz von neben dem OP-Tisch stehenden Instrumenten-, Implantat- und Probeteiletischen ist eine ausreichende Größe des Deckenfeldes entscheidend, weil sich bei kleiner Abmessung der Schutzbereich vermindert und der verdünnende Lüftungsstrom reduziert wird (Diab-Elschahawi et al. 2011, Benen et al. 2013, Fischer et al. 2015).

In einer aktuellen Studie konnte ein neuer Index unter Hinzunahme der OP-Leuchtenart, Ablufführung, Schürzen, etc. definiert werden, der es erlaubt, den Zusammenhang zwischen postoperativen Wundinfektionen und der Qualität der OP-Lüftung zu bewerten. Dabei konnte ein positiver Einfluss der Lüftungsqualität für orthopädische und herzchirurgische Operationen festgestellt werden. Bei anderen Eingriffen scheint die Lüftungsqualität eine untergeordnete Rolle zu spielen (Surial et al 2022). Eine genauere Analyse der einzelnen Indexfaktoren sollte in weiteren prospektiven Untersuchungen erfolgen.

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 20-30 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.

Raumklasse (RK) Ia:

Mit einer stabilen Verdrängungslüftung wird ein Schutzbereich im Raum erzeugt, in dem sowohl der OP-Tisch als auch das steril eingekleidete OP-Team sowie die Instrumententische und andere sterile Tische angeordnet werden können (Whyte et al 2022). Im Schutzbereich freigesetzte Verunreinigungen werden mit einer gerichteten Strömung auf direktem Weg in den Raumhintergrund abgeführt. Die Verminderung (Verdünnung und Abführung) aller im Raum freigesetzten Verunreinigungen durch Zufuhr eines hohen nahezu erreger- und partikelfreien Zuluftvolumenstromes 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 Sekundärluftfassungen beeinflusst wird, ist als lufthygienische Prüfung die Schutzgradmethode nach DIN 1946-4: 2018 Anhang C unter Einbezug der OP-Leuchten anzuwenden. Luftschleier und H13-Filter: Anstelle eines umlaufenden Strömungsstabilisators in Form einer Kunststoff- oder Plexiglasschürze, kann auch eine Stabilisierung der abströmenden Luft der TAV-Decke durch einen „Luftschleier“ erfolgen. Die Effizienz dieses Luftschleiers muss im Rahmen der Schutzgradbestimmung überprüft werden und darf diese nicht negativ beeinflussen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Zuluft dieses Luftschleiers ebenfalls über die endständigen Filter (in der Regel H13- oder H14-Filter) aufbereitet werden muss.

Raumklasse (RK) Ib:

Bei einer turbulenten Mischbelüftung wird die Zuluft über endständige H13-Luftfilter in den Raum eingebracht und 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 Mischbelüftungskonzept 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). Genau genommen wird bei der Erholzeitbestimmung nicht die Reduktion einer Partikellast, sondern eines Aerosols beurteilt, da als Prüfmittel ein Aerosol (also in Luft schwebende Tröpfchen) eingebracht wird.

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

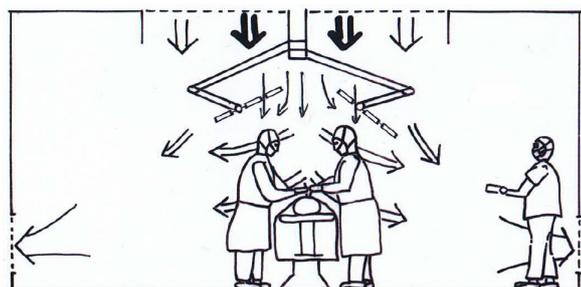


Abb. 1: Gut wirksame Verdrängungsbelüftung; wesentlich ist das Zusammenwirken von Abströmung, OP-Leuchtenform und Lage der Sekundärluftfassungen.



Abb. 2: Fast unwirksame Verdrängungsbelüftung infolge übergroßer OP-Leuchten und Sekundärluftfassungen nahe des TAV-Feldes in der Decke.

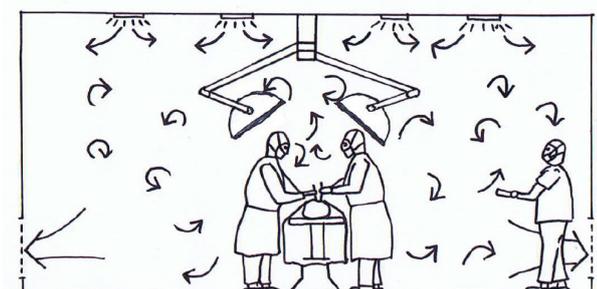


Abb. 3: Mischbelüftung mit überall gleicher Luftqualität

Reduktion des Außenluftanteils bei kleinen OP-Sälen:

Gemäß DIN 1946-4 (2018) Tabelle 1 wird ein Außenluftanteil von $\geq 1200 \text{ m}^3/\text{h}$ für OP-Räume (unabhängig davon, ob es sich um einen Raum der Raumklasse Ia oder Ib handelt) gefordert. Für die Raumklasse Ib wird darüber hinaus ein Zuluftvolumenstrom von $60 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ OP-Grundfläche (entsprechend einem etwa 20-fachen Luftwechsel pro Stunde) festgelegt. Diese Anforderung ist für kompakte RLTA, die z.B. auch als Wandmodule verfügbar sind, in der Regel nicht zu erfüllen. Wandgeräte sind jedoch durchaus geeignet, um einen OP-Raum der Raumklasse Ib lüftungstechnisch sicher zu versorgen. Voraussetzung für die Abnahme ist, dass die Erholzeitbestimmung eine Partikelreduktion um 99% innerhalb von max. 20 Minuten nachweist und der Saal im Überdruck steht. Wird dies erreicht, kann aus hygienischer Sicht auch ein geringerer Außenluftanteil akzeptiert werden. Die Vorgaben der DIN 1946-4 bezüglich der Eingriffsräume mit Narkosegasanwendung (in diesem Fall $\geq 150 \text{ m}^3/\text{h}$ und Patient) oder ohne Narkosegas-Anwendung ($\geq 40 \text{ m}^3/\text{h}$ je Patient) und grundsätzlich $40 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person sollen im OP-Saal eingehalten werden. Abweichungen von der Norm sollten bei Beantragung der Baugenehmigung kenntlich werden.

3.2 Direkt an die OP-Säle angrenzende Räume und Nebenräume

3.2.1 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.

3.2.2 Instrumentenvorbereitungsraum („Richtraum“, „Rüstraum“)

Der Vorbereitungsraum muss die gleiche Raumklasse haben wie der OP-Raum, für den die Instrumente gerichtet werden und darf ansonsten 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. Auch für diese Zonen kann aus krankenhaushygienischer Sicht vom normativen Außenluftanteil von 1200 m³/h, wie er für OP-Säle der RK Ia gefordert wird, abgewichen werden. Es ist jedoch unumgänglich, die Wirksamkeit des Schutzbereichs mittels Schutzgradbestimmung nachzuweisen und die Position des Instrumententisches genau festzulegen.

Für OP-Säle der RK Ib gilt, dass die Vorbereitung der Instrumententische in einem Raum erfolgen muss, dessen Luft den Anforderungen der RK Ib genügt. Konkret bedeutet dies, dass auch in diesem Raum eine Erholzeit von 100:1 innerhalb von 20 Minuten gemäß DIN EN ISO 14644-3 sichergestellt ist.

Die Zwischenlagerung fertig gerichteter Tische erfolgt mit sterilen, rekontaminationssicheren Abdeckungen im Rüstraum. Unter diesen Bedingungen können gerichtete Instrumententische bis zum Ende des Regelbetriebes gelagert werden; die maximale Lagerungsdauer ist mit dem Krankenhaushygieniker abzustimmen. Die Aktivitäten in diesem Raum sind auf ein Minimum zu beschränken. Transporte von gerichteten Instrumententischen dürfen nur durch Bereiche der Raumklasse II innerhalb der OP-Abteilung vorgenommen werden, wenn die Dichtheit der Abdeckung vom Hersteller derselben ausgelobt und durch den Krankenhaushygieniker freigegeben wurde. Der Umgang mit dem Abdeckungsmaterial ist explizit zu schulen, die Mitarbeiter sind durch das Hygienefachpersonal zu auditieren.

3.2.3 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. Dies trifft insb. auf OP-Säle der RK Ib zu, die unmittelbar an Räume der RK II grenzen. Projektspezifisch können zur Erhaltung des Schutzdruckes Vorräume mit endständigen H13-Filtern erforderlich sein.

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

3.2.4 Nachtabsenkung bzw. Nachtabstaltung

Gemäß DIN 1946-4: 2018 ist auch für OP-Räume eine vollständige Anlagen-Abschaltung aus hygienischer Sicht möglich. Nach Betriebsende und Schließen sämtlicher OP-Türen ist eine Nachlaufzeit von ca. 30 min ausreichend. Der rechtzeitige Neustart der Anlagen ist zu gewährleisten (z.B. durch Koppelung an das Einschalten des Lichtes durch die erste Person, die den OP betritt). Die Freispülzeit ist gemäß den Ergebnissen der Qualifizierungsmessungen für jeden OP festzustellen. Es ist sicherzustellen, dass die Freispülzeit bereits beim Richten der Instrumententische erreicht wird. Anlagenspezifisch sind erfahrungsgemäß 15-30 Minuten zu veranschlagen. Für OP-Säle der RK Ia ist zusätzlich noch die Zeit zu

berücksichtigen, die benötigt wird, bis es wieder einen definierten Schutzbereich gibt (s. Einmessen des Schutzbereichs bei der Erstqualifizierung). Aus organisatorischen, technischen und klimatischen Gründen kann es sinnvoll sein, einzelne OP-Räume (falls TAV-belüftet mit dem zugehörigen Instrumentenvorbereitungsraum) als Notfallräume durchgängig lüftungstechnisch zu versorgen.

3.2.5 Eingriffsräume

Operationen mit geringem Risiko für postoperative Wundinfektionen (invasive Eingriffe) können in OP-Bereich integrierten Eingriffsräumen durchgeführt werden. Gemäß KRINKO ist für diese Räume eine RLTA aus infektionshygienischen Gründen nicht erforderlich. Sofern eine mechanische Be- und Entlüftung vorgesehen ist, sind die Anforderungen der DIN 1946-4 (2018) für Raumklasse II zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass das Lüftungsgerät mit den Filterstufen ISO ePM1 \geq 50 % (= vormals F7) und ISO ePM1 \geq 80 % (vormals F9) ausgestattet sein muss. Grundsätzlich ist allerdings auch eine mechanische Lüftung über die Fenster zulässig; in diesem Fall sind reinigungsfähige Insektenschutzgitter vorzusehen. Weitere Hinweise zur (lüftungs)technischen Ausstattung von Eingriffsräumen finden sich in der Leitlinie der DGKH zu baulichen und funktionellen Anforderungen an Eingriffsräume (DGKH 2021).

4 Qualifizierung und periodische Prüfungen

Die nachfolgend aufgeführten Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die Räume, die durch die RLTA zu- und abluftseitig versorgt werden. Darüber hinaus sind die gemäß VDI 6022 Blatt 1 (2018) erforderlichen Prüfungen im Rahmen der Erstabnahme und der routinemäßigen Untersuchungen in vorgegebenen Intervallen (Anlagen ohne Befeuchtung alle 3 Jahre, Anlagen mit Befeuchtung oder erdverlegten Komponenten alle 2 Jahre) sicherzustellen. Der Untersuchungsumfang ist mit dem Krankenhaushygieniker abzustimmen.

Grundlage jeder Erstqualifizierung ist die medizinische Aufgabenstellung. Sie ist deshalb sorgfältig und zukunftsorientiert schriftlich festzulegen und im Planungsauftrag zu vereinbaren. Grundlage von periodischen Hygieneproofungen ist die immer noch unverändert bestehende oder die seitdem möglicherweise veränderte medizinische Aufgabenstellung. 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 dienen dem Nachweis von Dichtsitz und Leckfreiheit der eingebauten H13-Filter (DIN EN ISO 14644-3). Ggf. müssen die Zuluftverteiler (Drallauslässe) 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 und nachzumessen.

Luftströmungsrichtung:

Der OP-Raum muss in dauerhaftem Überdruck zu den angrenzenden Räumen und zum Zwischendeckenbereich stehen. Der Nachweis kann durch Strömungsrichtungsprüfungen mittels Rauchröhrchen erfolgen.

4.1 Erstqualifizierung von OP-Räumen und zugehörigen Rüstäumen nach DIN 1946-4:2018

4.1.1 OP-Räume und zugehörige Rüstäume der Raumklasse Ia

Die zu qualifizierenden OP-Räume (und die ggf. benachbarten Räume) müssen vollständig fertiggestellt und desinfizierend gereinigt sein. Alle gebäudetechnischen und medizintechnischen Ausrüstungen 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 nach der mängelfreien technischen Abnahme mit der visuellen Vorprüfung (DIN 1946-4: 2018, normativer Anhang B) und der Schutzgradmethode (DIN 1946-4: 2018, normativer Anhang C).

Aufwandsreduzierend kann wie folgt vorgegangen werden: Alle Luftströmungsvisualisierungen, Schutzgradmessungen und die Bestimmung der Grenzen des Schutzbereiches 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 können sofort experimentell untersucht werden. Mikrobiologische Verfahren sind zur OP-Raum-Qualifizierung nicht anzuwenden. Didaktisch sehr wirkungsvolle Luftkoloniezahlbestimmungen während des normalen Klinikbetriebes liegen im Ermessen des Krankenhaushygienikers.

Der Instrumentenvorbereitungsraum (Richt-, Rüstraum) entspricht wie die ihm zugeordneten OP-Räume der Raumklasse Ia und ist unter realitätsnahen Lastbedingungen durch videodokumentierte Strömungsvisualisierung zu prüfen (mindestens 2 Tische und eine Instrumentenschwester/-pfleger bzw. ein beheizter Personen-Dummy). In Anlehnung an die Schutzgradmessung ist mindestens $SG \geq 2$ zu fordern.

4.1.2 OP-Räume und zugehörige Rüstäume der Raumklasse 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. Die Messpunkte sollten ca. 30 cm über Mitte OP-Tisch bzw. Instrumententisch sein. Die Messung beginnt mit der Ermittlung der Hintergrund-Partikelkonzentration (Basispegel gemäß DIN 1946-4 (2018) 7.4, Tab. 3), die $\leq 3.520/m^3$ betragen muss. Die Anzahl der Messpunkte* ist unter Berücksichtigung der DIN EN ISO 14644-1 mit dem Krankenhaushygieniker abzustimmen. Zur homogenen Verteilung des Prüfaerosols im Raum während der Anreicherungsphase ist ein leistungsfähiger Umluftventilator zu betreiben und nach Erreichung der Partikel-Ausgangskonzentration von ca. $350.000 P_{\geq 0,5 \mu m}/ft^3$ gleichzeitig mit dem Aerosolgenerator abzuschalten. Gemessen und dokumentiert wird die Erholzeit 100:1 für Partikel $\geq 0,5 \mu m$. Anforderung: Erholzeit innerhalb von 20 Minuten. Für RLTA, die nach der DIN 1946-4 (2008) geplant wurden und betrieben werden, ist auch eine Erholzeit von 25 min zulässig.

**Typischerweise wird die Anzahl der Messpunkte, die gleichmäßig im Raum verteilt werden, anhand der Raumgröße für die Messung der Raumgrundbelastung, bei der Erstqualifizierung, gemäß DIN EN ISO 14644-1, Tabelle A 1 festgelegt. Im Anschluss wird an den zwei Messpunkten mit der höchsten Belastung die Erholzeitmessung durchgeführt.*

4.2 Periodische hygienische Prüfungen nach DIN 1946-4:2018

4.2.1 OP-Räume und zugehörige Rüsträume der Raumklasse Ia

Gemäß DIN 1946-4 (2018) ist folgender Mindestumfang der periodischen hygienischen Prüfung sicherzustellen:

vollständige Strömungsvisualisierung alle 12 Monate

Ermittlung der definierten Luftbilanz/Strömungsrichtung an jeder einzelnen, jeweils 1 cm geöffneten Tür bei sonst geschlossenen Türen sowie Nachweis des Unterdrucks im Zwischendeckenhohlraum alle 12 Monate

Nachweis des Dichtsitzes und der Leckagefreiheit der endständigen Filter mindestens alle 24 Monate und bei Standzeiten > 6 Jahren mindestens alle zwölf Monate

Der genaue Untersuchungsumfang sollte mit dem Krankenhaushygieniker abgestimmt werden.

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

4.2.2 OP-Räume und zugehörige Rüsträume der Raumklasse Ib

Gem. DIN 1946-4 (2018) ist folgender Mindestumfang der periodischen hygienischen Prüfung sicherzustellen:

Ermittlung der definierten Luftbilanz/Strömungsrichtung an jeder einzelnen, jeweils 1 cm geöffneten Tür bei sonst geschlossenen Türen sowie Nachweis des Unterdrucks im Zwischendeckenhohlraum alle 12 Monate

Nachweis des Dichtsitzes und der Leckagefreiheit der endständigen Filter mindestens alle 24 Monate und bei Standzeiten > 6 Jahren mindestens alle 12 Monate

Erholzeitmessung alle 24 Monate an den unter Berücksichtigung der DIN EN ISO 14644-1 vom Krankenhaushygieniker festgelegten Messpunkten. Bei der Requalifizierung muss die Raumgrundbelastung und die Erholzeitmessung an den zwei festgelegten Messpunkten der Erstqualifizierung durchgeführt werden.

4.2.3 Zentralsterilisation

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

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

5 Qualifizierung älterer OP-Räume (vor 2008)

5.1 Qualifizierungsversuch nach DIN 1946-4: 2018

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

RLT-Anlagen und Lüftungskonzepte sind grundsätzlich nach der DIN-Norm abzunehmen, nach der sie geplant wurden. Anlagen, die vor 2008 geplant und in Betrieb genommen wurden, wurden in der Regel

nach der DIN 1946-4:1999 (oder älter) geplant. Hierbei handelt es sich vielfach um TAV-Decken mit kleinen Deckenfeldern, oder Ausführungen mit Stützstrahl oder Schrägschirm.

Auch bei diesen Lüftungskonzepten kann häufig eine Abnahme nach Raumklasse Ib gemäß der DIN 1946-4:2018 erfolgen; ggf. kann dieses Ziel durch eine Erhöhung des Zuluftvolumenstroms erreicht werden. Aus krankenhaushygienischer Sicht kann es sinnvoll sein, diese Abnahme anzustreben, da der jeweilige OP-Saal dann als Raumklasse Ib (2018) qualifiziert werden kann. Voraussetzung ist hierfür in der Regel die hinreichende Versorgung mittels endständig gefilterter Luft und die gute Durchströmung sowie Schutzdruckhaltung des OP-Saals.

Grundsätzlich hat der Nutzer entsprechend der aktuellen medizinischen Aufgabenstellung zu prüfen, ob er die Requalifizierung der Anlage nach der aktuellen Fassung der DIN1946-4 oder der zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung gültigen DIN durchführen lässt.

Wenn die Ausführung eines alten OP-Raumes in wesentlichen Punkten von den Angaben in DIN 1946-4:2018 zu Raumklasse Ia abweicht, ist es nicht sinnvoll, eine Schutzgradmessung durchzuführen, weil nicht davon auszugehen ist, dass diese bestanden wird. In diesem Fall kann eine Erholzeitmessung zur Qualifizierung als RK Ib-OP durchgeführt werden.

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

5.2 Periodische hygienische Prüfung nach DIN 1946-4: 1999

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

Ermittlung der definierten Luftbilanz/Strömungsrichtung an allen Türen alle 12 Monate
Nachweis des Dichtsitzes und der Leckagefreiheit der endständigen Filter alle 12 Monate
Luftkoloniezahlbestimmung je nach Festlegung des Krankenhaushygienikers. Da die Luftkoloniezahlen bei leckagefreien endständigen Schwebstofffiltern maßgeblich durch das OP-Personal und nicht durch die RLT-Anlage beeinflusst werden, kann auf eine periodische Prüfung von Luftkoloniezahlen im Rahmen der periodischen Hygieneprüfung der RLT-Anlage verzichtet werden.

5.3 Empfehlung der DGKH zu Art, Umfang und Frequenz periodischer Hygieneprüfungen von RLT-Anlagen in OP-Bereichen

Um einen einheitlichen Prüfablauf für RLTA von OP-Bereichen unabhängig der Baujahr-abhängigen Prüfvorgaben der DIN1946-4 zu erreichen, empfiehlt die DGKH unter Berücksichtigung der vorbenannten Regelwerke die in Tabelle 2 aufgeführten periodischen Prüfungen. Jährliche Strömungsvisualisierungen bei RK 1a gemäß DIN1946-4:2018 wurden nicht in die Empfehlungen zu den periodischen Hygieneprüfungen mit aufgenommen, da durch diese, bei ansonsten mängelfreiem Prüfablauf, erfahrungsgemäß keine zusätzliche Mängeldetektion erreicht wird. Partikelmessungen zur Prüfung der Filterintegrität können bei den periodischen Routineprüfungen mit oder ohne Aufgabe von Prüfaerosol erfolgen, da Leckagen endständiger Filter erfahrungsgemäß auch ohne Zugabe des Prüfaerosols zuverlässig erkannt werden. Diesbezüglich wird ein jährliches Prüfindervall empfohlen. Bei Strömungsgeschwindigkeitsmessungen und Messungen der Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft orientieren sich Messraster und Grenzwerte an der hygienischen Abnahmeprüfung. Luftkoloniezahlbestimmungen sind als optionale Prüfkomponente aufgeführt, können jedoch etwaige Kontaminationen im Bereich des Zuluftauslasses detektieren und sind unter didaktischen Gesichtspunkten für das OP-Personal ggf. eine wertvolle

Komponente. Differenzdruckmessungen über den endständigen Filtern werden regelmäßig, bei neueren Anlagen kontinuierlich überwacht im Rahmen der technischen Prüfungen.

Tabelle 2 Empfehlung der DGKH zu Art/ Umfang und Frequenz periodischer Hygieneprüfungen von RLTA in OP-Bereichen

	Art der Prüfung	Intervall
RK Ia	Strömungsgeschwindigkeitsmessung	Jährlich
	Zuluft-Raumluft-Temperaturdifferenz	Jährlich
	Partikelmessung/ Dichtsitzprüfung	Jährlich
	Strömungsrichtungsprüfung	Jährlich
	Ggf. Luftkoloniezahlbestimmung*	Jährlich
RK Ib	Partikelmessung/ Dichtsitzprüfung	Jährlich
	Strömungsrichtungsprüfung	Jährlich
	Messung der Erholzeit (Recoverytest) und der nativen Grundbelastung (ab 2008)	Alle 2 Jahre
	Ggf. Luftkoloniezahlbestimmung*	Jährlich

Anmerkung: Regelmäßige mikrobiologische Untersuchungen des Befeuchterwassers sind erforderlich, wenn die Befeuchtung nicht mit Reindampf erfolgt.

*Nur in Abstimmung mit dem Krankenhaushygieniker

6 Periodische Prüfungen der Lüftungsgeräte

Die Lüftungsgeräte einschließlich sämtlicher zu- und abführender Kanäle, Wärmetauscher und weiterer technischer Komponenten sind gem. VDI 6022 (2018) bei Anlagen ohne Dampfbefeuchtung alle 3 Jahre, bei Anlagen mit Dampfbefeuchtung oder erdverlegten Komponenten alle 2 Jahre zu prüfen. Wesentliche Prüfkomponenten sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3 Periodische Hygieneprüfungen der Lüftungsgeräte nach VDI 6022 Blatt 1 (2018)

Art der Prüfung	Intervall
Erweiterte Sichtprüfung	Alle 3 Jahre, bei Befeuchtung oder erdverlegten Komponenten alle 2 Jahre
Mikrobiologische Oberflächenuntersuchung mittels Kontaktkulturen an innseitigen, luftführenden Komponenten der RLTA	
Ggf. Luftkoloniezahlbestimmung	

Anmerkung: erdverlegte Komponenten sind Komponenten der RLTA, bei denen eine thermische Ankopplung an das umgebende Erdreich gegeben ist und eine Wärmedämmung zur Vermeidung der Taupunktunterschreitung nicht zum Einsatz kommt“

7 Empfehlungen zur Schulung

Werden OP-Räume der Raumklasse Ia betrieben, ist eine Personalschulung durch den Krankenhaushygieniker oder adäquates Personal erforderlich. Zum besseren Verständnis der

Wirkungsweise einer Verdrängungsströmung sollte bei der Qualifizierung des OP-Raumes das OP-Personal (Chefärzte, Ärzte, OP- und Anästhesieschwestern/-Pfleger) eingeladen werden. Auch das Reinigungspersonal ist bezüglich der spezifischen Anforderungen an die Reinigung der RLTA im OP zu schulen. Dies trifft insbesondere auf die Reinigung der Öffnungen der Zu-, Ab- und Umluft sowie der des Strömungsstabilisator (umlaufende Schürze) zu. Bei Nutzung von TAV-Deckensystemen ist vor der Inbetriebnahme herstellerseitig die Möglichkeit der Reinigung abzufragen und im Zuge der Inbetriebnahme sicherzustellen. In der Regel sind sichtbare Verschmutzungen kurzfristig zu entfernen, vielfach kommt hier H₂O₂ als 3 %-Lösung in Frage.

Im Rahmen der Personalschulung ist die Bedeutung der Positionierungsanalyse zu erläutern. Es sollte versucht werden, dass alle sensiblen Flächen (also in der Regel der OP-Situs und der Instrumententisch) in OP-Sälen der Raumklasse Ia tatsächlich im Schutzgebiet aufgestellt werden. Häufig wird beobachtet, dass unter TAV-Deckenfeldern der OP-Tisch sowie der Anästhesiearbeitsplatz untergebracht sind, der Instrumententisch jedoch außerhalb des Schutzfelds aufgestellt ist. Diese Positionierung ist unsinnig und macht den Einsatz der TAV-Deckentechnik sowie der Abnahme mittels Schutzgradbestimmung überflüssig.

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 Deckenversorgungseinheiten.

Als Fazit der Personalschulung, insbesondere der Visualisierung, sollte herausgestellt werden, dass auch eine moderne Lüftungstechnik bei Fehlverhalten des Personals sinnlos ist. Unnötiges lautes Sprechen, undichter Sitz des Mund-Nasen-Schutzes (MNS), ständiges Umherlaufen im OP-Saal, hoher Personenverkehr oder Offenhaltung der OP-Türen heben den Nutzen der Versorgung des OP-Saals mit nahezu partikel- und keimfreier Luft praktisch auf.

8 Literatur

Normen und Leitlinien

- Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. (DGKH). Bauliche und funktionelle Anforderungen an Eingriffsräume. *Hygiene & Medizin*, 46: 4/2021.
- Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. (DGKH). Hygiene-Empfehlungen zu dezentralen Sekundärluftgeräten (Umluftkühlgeräten). *Hygiene & Medizin*, 46: online 2021.
- Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. (DGKH). Hygiene bei Baumaßnahmen in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen. *Hygiene & Medizin*, 47: 9/2022.
- DIN 1946-4: 2018-09, Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Berlin: Beuth.
- DIN 1946-4: 2008-12, Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Berlin: Beuth.
- DIN 1946-4: 1999-03, Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 14644-1: 2016-06, Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 14644-3: 2020-06, Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Prüfverfahren. Berlin: Beuth.
- Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO). Prävention postoperativer Wundinfektionen. *Bundesgesundheitsblatt* 2018; 61:448 – 473
- Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO). Anforderungen an die Infektionsprävention bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten. *Bgbl* 2021; 64: 232-64.
- VDI 6022 Blatt 1: 2018-01, Raumluftechnik, Raumlufqualität – Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln). Berlin: Beuth.

Originalarbeiten und Übersichten

- Aboeela 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.
- Alsved M et al Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *Journal of Hospital Infection* 98 (2018) 181-190
- Benen T, Clausdorff L, Wille F. Einfluss von unterschiedlichen Lüftungssystemen auf die mikrobiologische Instrumentenreinheit. *Hyg Med* 2013, 38-4: 142-6.
- 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.
- Brandt C, Hott U, Sohr D, Daschner F, Gastmeier P, Rüden 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.
- 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.
- 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
- 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 Contr Hosp Epidemiol* 2011; 32(11): 1097-102.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Gallus K. Untersuchung des Kontaminationsgrades von medizinischem Instrumentarium in Abhängigkeit von der Gestaltung des OP-Lüftungssystems. Masterthesis an der Technischen Hochschule Mittelhessen 2019.
- Gastmeier P, Brandt C. Raumluftechnik im OP und postoperative Wundinfektionen. Was gibt es Neues? *Krankenhaushyg up2date* 2012; 7: 199-209.
- 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* 1996; 34(2): 99-106.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 Raumluf in Augen-OP-Räumen mit Verdrängungslüftungsbereichen. *Klin Monbl Augenheilkd* 2010; 227(11):871-8.
- 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.
- 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.
- Külpmann R, Kramer A. Raumluftechnische Anlagen. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner NO, Simon A (Hrsg) *Krankenhaus- und Praxishygiene*. München: Urban Fischer; 2012; 448-54.
- Külpmann R, Hildebrand K. OP-Lüftungssysteme im Vergleich. *GI-GebäudeTechn InnenraumKlima* 2013; 134 (01): 12-29.
- Langvatn, H., J. C. Schrama, G. Cao, G. Hallan, O. Furnes, E. Lingaas, G. Walenkamp, L. B. Engesæter, und H. Dale. „Operating Room Ventilation and the Risk of Revision Due to Infection after Total Hip Arthroplasty:

- Assessment of Validated Data in the Norwegian Arthroplasty Register". *Journal of Hospital Infection* 105, Nr. 2 (1. Juni 2020): 216–24. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.010>.
- 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.
 - 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.
 - Lüderitz P. Wie sicher soll Ihr OP-Raum sein? *Krankenhaushygiene up2date* 2008; 3: 373-85.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - 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.
 - Seropian R, Reynolds BM. The importance of airborne contamination as a factor in postoperative wound infection. *Arch Surg* 1969; 98(5): 654-8.
 - Smith EB, Raphael IJ, Maltenfort MG, Honsawek S, Dolan K, Younkins EA. The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination. *J Arthropl* 2013; 28(9): 1482-5.
 - Surial B, Atkinson A, Külpmann R et al. Better Operating Room Ventilation as Determined by a Novel Ventilation Index is Associated With Lower Rates of Surgical Site Infections. *Ann Surg* 2022;276:e353–e360).
 - 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.
 - 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.
 - Whyte W, Mackintosh CA, Whyte WM. The design and testing of unidirectional airflow operating theatres. *International Journal of Ventilation* 2022; 21:3,247-262, DOI:10.1080/14733315.2021.1889104
 - Winkler T, Trampuz A, Hardt S, Janz V, Kleber C, Perka C. Periprothetische Infektion nach Hüftendoprothetik. *Orthopäde* 2014; 43:70–8.
 - 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.