

Literaturübersicht

über die Bedeutung der Luft als Erregerreservoir für postoperative Infektionen im OP-Gebiet

Ines Kappstein

Adresse:

PD Dr. med. Ines Kappstein
Institut für Medizinische Mikrobiologie,
Immunologie und Hygiene
Technische Universität München
Trogerstraße 32

81675 München

E-Mail: ines.kappstein@lrz.tu-muenchen.de

Einleitung

Die Rolle der Luft als Erregerreservoir für postoperative Infektionen im OP-Gebiet (POI) ist seit langer Zeit Gegenstand von Diskussionen. In der infektiologischen und krankenhaushygienischen Fachliteratur wird die Luft zwar konstant als Übertragungsweg für POI genannt, letztlich bleibt aber unklar, bei welchen Operationen sie, wenn überhaupt, tatsächlich relevant ist. Trotz allem scheint für medizinisches Personal meist kein Zweifel daran zu bestehen, daß Luftkeime für die Entstehung von POI große Bedeutung haben. Im allgemeinen Bewußtsein von Ärzten und Pflegepersonal - und deshalb auch von Krankenhausarchitekten und Ingenieuren - kommt der Luft im OP also aus hygienischer Sicht ein hoher Stellenwert zu.

Aufgabe der vorliegenden Literaturübersicht war die Bearbeitung der Frage, ob die Fachliteratur Fakten liefert, die diese Einschätzung stützen, oder ob vielleicht die Tatsache, daß die Luft konstant als potentiell Erregerreservoir erwähnt wird, dazu geführt hat, daß man es letztlich einfach deshalb geglaubt hat, weil man es immer wieder gehört hat [1]. Die Beantwortung dieser Frage gibt direkt Aufschluß darüber, welche Anforderungen an raumluftechnische (RLT-)Anlagen im OP gestellt werden müssen.

Die im folgenden ausgewertete Literatur wurde sowohl via MEDLINE als auch konventionell über die in Fachbüchern und Publikationen in Fachzeitschriften angegebenen Literaturhinweise gefunden und über Universitätsbibliotheken sowie über die Zentralbibliothek für Medizin in Köln besorgt. Es handelt sich jedoch nicht um eine lückenlose Übersicht der Arbeiten zu diesem Thema; sie kann aber trotz dieser Einschränkung sicherlich als eine – bisher nicht vorhandene – umfassende Übersicht über die relevanten Arbeiten zum Thema bezeichnet werden. Mit hinreichender Sicherheit kann behauptet werden, daß wesentliche Arbeiten nicht fehlen werden.

Die vorliegende Arbeit gibt eine Übersicht über klinische und mikrobiologische Studien, die jeweils in chronologischer Folge besprochen werden. Die klinischen Studien werden getrennt nach Eingriffen mit und ohne Fremdkörperimplantation dargestellt. Untersuchungsgegenstand der mikrobiologischen Arbeiten war, welche Keime unabhängig von der Art der Belüftung überhaupt in der Luft von OP-Sälen vorkommen und welchen Einfluß die OP-Kleidung und die Art der RLT-Anlagen auf Qualität und Quantität der Luftkeime haben. Im Anschluß daran wird die Problematik aerogener Erregerübertragung vor dem Hintergrund von Trägern bzw. Dispersern angesprochen und die Tatsache herausgestellt, daß wiederholt über Ausbrüche von POI mit Erregern berichtet wurde, die bei Berücksichtigung der gegebenen epidemiologischen Umstände nur eine aerogene Übertragung ausgehend von – meist asymptomatisch – besiedelten Personen zulassen.

Klinische Studien

In den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts herrschte offenbar die Auffassung, daß die Ursachen für POI gut bekannt seien: Erregerreservoirs seien zum einen der Nasen-Rachenraum des OP-Teams und zum anderen die Luft im OP-Saal [2]. ‚Aseptisches‘ Operieren sei somit mit den klassischen Regeln der Asepsis nicht realisierbar, und es entstand z.B. die Idee, das Prinzip der keimfreien Laboratorien aus der tierexperimentellen Forschung auf die Situation im OP zu übertragen.

Der bekannteste Exponent dieser Forschungsrichtung war der britische Orthopäde *Charnley*. Er hatte 1958 nach Einführung einer neuen OP-Technik mit Totalendoprothese des Hüftgelenks mit 9,5% eine ungewöhnlich hohe POI-Rate zu verzeichnen [3-5]. Auffallend war für ihn, daß die POI-Inzidenz nach Arthrodesese des Hüftgelenks wesentlich niedriger war, obwohl

die technischen Anforderungen dieser OP ebenso hoch waren wie beim Hüftgelenkersatz, der Eingriff ebenfalls die Implantation eines Fremdkörpers (allerdings in Form einer Metallschraube) einschloß und darüberhinaus von den gleichen Operateuren in den gleichen OP-Sälen durchgeführt wurde.

Da die aseptischen Standardmaßnahmen im OP die Luft nicht berücksichtigten, ließ er eine Reinraum-OP-Kammer konstruieren, die mit - allerdings zunächst nur relativ grob gefilterter (Rückhaltefähigkeit der Filter für Partikel $\geq 10\mu\text{m}$) - Luft hoher Strömungsgeschwindigkeit versorgt wurde [3, 4]. Obwohl also Bakterien, deren Größe $< 5\mu\text{m}$ liegt, mit diesem System nicht gefiltert wurden, war durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit der Luft und die laminare Strömung (LAF = laminar air flow) quasi eine mechanische Reinigung und damit eine Keimzahlreduktion zu erreichen. Erst in den letzten 15 Monaten seiner Studie (siehe unten) war auch eine Filterung für Partikel bis zu $2\mu\text{m}$ möglich. Allerdings muß man berücksichtigen, daß *Charnley* ursprünglich in einem OP mit - im Vergleich zu damaligen Standards in US-amerikanischen OPs - nahezu unbehandelte Luft operierte [6]. Mit der Reinraumkammer wollte *Charnley* die Frage klären, ob die Luft als Erregerreservoir in Frage kommt oder ob die Ursache der Infektionen im Kunststoffmaterial gesucht werden mußte. Die Studie, die 1969 abschließend publiziert wurde, erfaßte den Zeitraum von Januar 1959 bis September 1967 mit insgesamt 2.085 aufeinanderfolgenden Hüftgelenkersatz-Operationen und war in vier Phasen unterteilt [5]:

In **Phase 1** (2 Jahre, 11 Monate; 190 Eingriffe) wurde in einem OP mit einer einfachen Lüftungsanlage operiert, die Luft aus den angrenzenden Fluren ansaugte. Die mittels Sedimentationsplatten ermittelte Keimzahl betrug 80-90 KBE (= Kolonie-bildende Einheiten) pro Platte und Stunde. In dieser Phase lag die POI-Inzidenz bei 8,9 %. In **Phase 2** (7 Monate; 108 Eingriffe) wurde erstmals mit einem Prototyp einer Reinraum-Kammer operiert, die jedoch nicht den beabsichtigten unidirektionalen (= laminaren) Luftstrom erzeugte und nur etwa 10 Luftwechsel pro Stunde bewirkte. Die durchschnittliche Keimzahl auf den Sedimentationsplatten pro Stunde lag bei 25 KBE. Die POI-Inzidenz betrug in dieser Phase 3,7 %. In **Phase 3** (3 Jahre, 9 Monate; 1079 Eingriffe) wurde mit einem verbesserten Prototyp einer Reinraum-Kammer gearbeitet, mit der 130 Luftwechsel pro Stunde und eine durchschnittliche Keimzahl von 1,8 KBE pro Platte und Stunde erreicht werden konnten. Die POI-Inzidenz war mit 2,2 % noch niedriger. Schließlich konnte in **Phase 4** (1 Jahr, 3 Monate; 708 Eingriffe) die endgültige aus den beiden Prototypen hervorgegangene Reinraum-Kammer überprüft werden, mit der ein Luftwechsel von 300 pro Stunde erreicht werden konnte. Ferner war damit eine Filterung bis zu einer Partikelgröße von $2\mu\text{m}$ möglich, und die Luft war nahezu steril. Die POI-Inzidenz betrug 1,3 %. Insgesamt dominierte bei den POI-Erregern in allen Phasen der Studie *Staphylococcus aureus* (mehr als die Hälfte aller Fälle von POI). Ein wesentlicher Rückgang (insgesamt 1/5) war bei klinischen Infektionen zu verzeichnen, die kein Wachstum von Bakterien zeigten. An vierter Stelle der häufigsten Erreger stand *Proteus mirabilis* (früher: '*Bacillus proteus*'), und erst danach kamen Koagulase-negative Staphylokokken (KNS; früher: *S. albus*).

Charnley war davon überzeugt, daß dieser eindrucksvolle Rückgang der POI-Inzidenz auf den Einsatz der Reinraum-Kammer zurückgeführt werden kann, daß also die Luft als Erregerreservoir für POI nach Hüftgelenks-Totalendoprothesen eine maßgebliche Rolle spielt, obwohl auch andere Faktoren, wie z.B. eine kontinuierlich verbesserte OP-Technik, bei dieser über nahezu 9 Jahre dauernden Studie sicher einen wesentlichen Einfluß gehabt haben, wie auch selbst die Autoren schon in der Originalarbeit in Hinsicht auf eine Änderung in der Technik des Wundverschlusses beginnend im zweiten Teil von Phase 3 der Studie konstatierten [5]. Schon damals wurde aber in der Fachwelt auch kritisiert, die Studie würde einige wesentliche Einschränkungen aufweisen, weil zeitgleich mit dem Einsatz der Reinraum-Kammer sowie

auch noch im Verlauf der Studie andere Parameter geändert wurden, deren Einfluß auf den Rückgang der POI-Inzidenz nicht unberücksichtigt bleiben könne [5-9]. Dazu gehörten zusätzlich zu den Änderungen in der chirurgischen Technik folgende Maßnahmen: Vollständige Bedeckung der Köpfe des OP-Teams anstelle von Kopfschutz und Maske, OP-Kittel aus undurchlässigem Material anstelle von Baumwolle, Absaugung der Körperluft unter der OP-Kleidung incl. der Kopfbedeckung, zwei Paar OP-Handschuhe, extreme Sorgfalt in der Praktizierung der klassischen OP-Asepsis, Unterbindung jedes Personalwechsels in der OP-Kammer während der Operation, keine Zulassung von Besuchern während der Operation. Darüberhinaus stellten damals viele Orthopäden fest, daß sie anfangs beim Einsatz der neuen OP-Technik mehr POI zu verzeichnen hatten als später, nachdem sie damit vertrauter waren. Sie führten die Reduktion z.B. auf eine schnellere, weniger traumatische und zunehmend sorgfältigere OP-Technik zurück, ferner auf die Verwendung von doppelten Handschuhen und auf organisatorische Maßnahmen, die die Zahl der anwesenden Personen einschränkte.

Bereits 1970 äußerte sich *Charnley* in einer Korrespondenz im *Lancet* aufgrund seiner praktischen Erfahrung der vergangenen Jahre wesentlich zurückhaltender dahingehend, daß der LAF für OPs keine Bedeutung mehr habe [10]. Die LAF-Theorie sei vielmehr aus verschiedenen Gründen ein Trugschluß gewesen. Vor allem folgende Punkte hat er als bedeutsam herausgestellt: 1) Die Kontamination der Luft im OP müsse durch eine undurchlässige Kleidung mit Körperluftabsaugung für das OP-Team verhindert werden. 2) Die OP-Kammer muß nur so konstruiert sein, daß sie das OP-Team vom übrigen Raum isoliert. Die gefilterte Luft könne dann auch turbulent strömen, weil sie sauber sei. 3) Eine Filterung der Luft für Partikel < 1-2µm sei nicht erforderlich, weil Bakterien größer seien. Damit seien nur noch vergleichsweise kleine Lüftungsanlagen erforderlich und der finanzielle Aufwand wesentlich geringer. Diese Einschätzung des ehemaligen Vorreiters vom Operieren im Reinraummilieu erreichte jedoch trotz Publikation im *Lancet* keine größere Öffentlichkeit mehr.

Keinen Aufschluß konnte naturgemäß *Charnley's* klinisch-orthopädische Untersuchung [5] darüber geben, ob und, wenn ja, inwieweit die Luft als Erregerreservoir für POI außerhalb der Implantations-Chirurgie von Bedeutung ist. Vom Erregerspektrum bei Eingriffen ohne Implantation von Kunststoffen, also bei der überwiegenden Zahl von Operationen aller Kategorien von ‚aseptisch‘ bis ‚septisch‘, gab und gibt es keinen Hinweis dafür, daß auch bei diesen Eingriffen die normalerweise in der Luft vorkommenden Keime, wie KNS oder Corynebakterien, für POI verantwortlich sind, weil sie nur in Ausnahmefällen als Erreger von POI identifiziert werden können. Vielmehr wurde bereits in den 60er Jahren die Auffassung vertreten, daß die meisten POI aus dem endogenen Erregerreservoir der Patienten stammen [11]. Trotzdem kam es dazu, daß sich in der Folgezeit die routinemäßige Installation von RLT-Anlagen mit extrem hohen Anforderungen an die Reinheit der Luft für die Prävention endemisch auftretender POI in der Chirurgie allgemein etablieren konnte. Seither gibt es die Differenzierung zwischen ‚konventionellen‘ (zweifach bzw. - mit Schwebstofffilter, engl. HEPA = high efficiency particulate air - dreifach gefilterte Luft; turbulente Mischströmung) und ‚LAF‘-OPs (HEPA-gefilterte Luft: turbulenzarme Verdrängungsströmung, sog. laminare Strömung) [6-9].

Nur in wenigen klinischen, meist aber nicht kontrollierten und randomisierten Studien wurde als Antwort auf die Studie von *Charnley* [5] der Einfluß der Luft auf die Inzidenz postoperativer Infektionen im OP-Gebiet untersucht. Insbesondere gering ist die Zahl solcher Studien außerhalb der orthopädischen Implantations-Chirurgie.

Allgemeine Chirurgie ohne Fremdkörperimplantation (incl. Knochen/Gelenke und offene Herzchirurgie)

Von *Seropian* und *Reynolds* wurde 1969 eine Untersuchung veröffentlicht, bei der die postoperativen Wundinfektionsraten nach Eingriffen in baulich-technisch nicht vergleichbaren OP-Abteilungen zweier Krankenhäuser verglichen wurden, in denen aber dasselbe OP-Personal tätig war [12]. Das eine war ein 1907 gebautes Krankenhaus mit einer vom Publikumsverkehr nicht abgeschlossenen OP-Abteilung mit Fensterlüftung. In diesem Krankenhaus mußte das OP-Personal nach dem Umkleiden und sogar nach der chirurgischen Händedesinfektion den öffentlichen Verkersweg queren, um in die OP-Abteilung zu gelangen. Das andere war ein damals neues Gebäude mit moderner abgeschlossener OP-Abteilung und eigener, nicht näher beschriebener RLT-Anlage. Die Tatsache, daß in beiden Krankenhäusern sowohl dasselbe OP-Personal arbeitete als auch die gleichen prä- und postoperativen Maßnahmen bei der Patientenversorgung und bei der Ermittlung der postoperativen Infektionen etabliert waren, stellte eine einzigartig kontrollierte Situation dar und wurde genutzt, um den baulich-technischen Einfluß - und damit auch die unterschiedliche Kontamination der Luft in den OPs - auf die Inzidenz postoperativer Wundinfektion zu untersuchen. Erwartungsgemäß waren die Luftkeimzahlen in der modernen OP-Abteilung in allen Bereichen deutlich (4-8-fach) niedriger als die vergleichbaren Zahlen in der alten OP-Abteilung. Nicht erwartungsgemäß waren aber die Infektionsraten im alten Krankenhaus signifikant niedriger als im neuen Krankenhaus. Dies galt durchgehend für alle OP-Kategorien (große bzw. kleine Eingriffe, Eingriffe bei Erwachsenen oder Kindern, Kontaminationsklassen, Notfall- oder elektive Eingriffe) und galt auch nach Adjustierung der Raten entsprechend OP-Kategorie. Insgesamt lag die Wundinfektionsrate im neuen Krankenhaus bei 3,5%, im alten Krankenhaus aber bei 1,8%. Dieses Ergebnis war umso überraschender, als in dem alten Krankenhaus die Patientenpopulation mit dem höheren Allgemein-Risiko versorgt wurde: ökonomisch benachteiligte Bevölkerungsschicht, höheres Lebensalter, höhere Zahl von Patienten mit chronischen Krankheiten, schlechterem Ernährungszustand und Anämie. Dennoch waren in dieser Institution trotz höherer Luftkontamination im OP die Infektionsraten niedriger, ein Ergebnis, für das keine Erklärung gefunden werden konnte, das aber auch schon in anderen Untersuchungen beobachtet worden war [13, 14].

In einer kleinen orientierenden Untersuchung bei offener Herzchirurgie fanden *Blakemore et al.* 1971 bakterielle Kontaminationen des Blutes aus der Herz-Lungen-Maschine (HLM) in 75% der Fälle [15]. Außerdem wurden Keime, die in der Luft nachweisbar waren, auch im Blut der HLM sowie einiger Patienten gefunden wurden. Bei zwei dieser Patienten war dies mit einer klinisch relevanten Infektion verbunden. Als Hauptursache wurde die - bei diesen Operationen streckenweise kontinuierlich angeschaltete - Absaugung angesehen, über die nicht nur Blut, sondern auch Luft angesaugt und in die HLM geführt wird.

Shaw et al. berichteten 1974 über die Untersuchung der Frage, welche Rolle die Kontamination der Luft bei der Entstehung postoperativer Wundinfektionen in der Allgemeinchirurgie spielt [16]. Die OP-Säle waren mit einer konventionellen RLT-Anlage ausgestattet. Luftkeimzahlbestimmungen vor, während und nach OP-Ende zeigten sehr niedrige Werte, die auch nach aufeinanderfolgenden OPs nicht erhöht waren. Die dominierenden Erreger von Wundinfektionen waren Gram-negative Keime. Damit vereinbar ist die Tatsache, daß die meisten Wundinfektionen im Bereich der Leiste, des proximalen Oberschenkels und des Perineums lagen. Daraus schlußfolgerten die Autoren, daß in der Allgemeinchirurgie das postoperative Wundinfektionsrisiko abhängig ist von der Art der Operation und damit von der Lokalisation der Inzision. Ein Einfluß der Luft als Erregerreservoir sei mit diesen Ergebnissen nicht vereinbar. Man müsse sich also in der Allgemeinchirurgie offenbar auf die Kontrolle der endogen verursachten Infektionen konzentrieren.

Clark et al. berichten 1976 über eine Untersuchung in der Herzchirurgie, die aus einem retrospektiven und einem prospektiven Teil bestand [17]. Retrospektiv wurden für die Jahre von 1966 bis 1970 alle oberflächlichen und tiefen Wundinfektionen sowie Kunstklappen-Infektionen ausgewertet und mit den zwischen 1970 und 1974 erhobenen prospektiven Daten verglichen. 1970 war zum einen ein moderner OP mit vertikalem LAF in Betrieb genommen worden; zusätzlich wurden aber verschiedene andere Maßnahmen eingeführt, und zwar insbesondere die Verwendung von OP-Kleidung und Abdeckmaterial aus impermeablen Stoffen, die routinemäßige perioperative Antibiotikaphylaxe bei Klappenersatz-OP mit einem gegen Staphylokokken wirksamen Antibiotikum (beginnend am Abend vor der OP bis insgesamt 10 Tage postoperativ) sowie ein Schulungsprogramm des OP-Personals mit unangemeldeten mikrobiologischen Kontrollen der Hände (vor oder nach chirurgischer Händedesinfektion) sowie Abstrichen von Nase und Rachen. Die OP-Technik wurde im gesamten Zeitraum von acht Jahren nicht geändert. Die Wundinfektionsraten lagen in der retrospektiven Periode bei insgesamt 6,6% im Vergleich zu 3,3% in der prospektiven Phase, bei den Klappeninfektionen waren die analogen Werte 5,6% bzw. 1,4%. Die Luftkeimzahlen waren im neuen LAF-OP um das 10-fache niedriger als in den konventionell belüfteten OP-Sälen der Klinik. Das Schulungsprogramm hatte eine verbesserte Händehygiene zur Folge; außerdem wurde die Zahl der im OP-Saal anwesenden Personen reduziert. Zusammengenommen wurden mit Beginn der prospektiven Phase in dieser Studie so viele Faktoren geändert, daß es nicht möglich ist, auch nur eine vage Aussage über den tatsächlichen Einfluß der modernen Raumklimatisierung zu machen, ganz abgesehen davon, daß als Kontrolle eine retrospektive Auswertung verwendet wurde.

Drake et al. stellten 1977 eine prospektive konsekutive Kohorten-Studie mit 156 Patienten vor, von denen 83 in einem alten OP mit einfacher Belüftung und minimaler Filtration der Luft (Phase 1) operiert wurden [18]. In Phase 2 wurde in einem neu in Betrieb genommenem OP mit HEPA-gefilterter Luft gearbeitet. Die operativen Eingriffe waren in beiden Phasen folgendermaßen verteilt: Aseptische Eingriffe 69% (Phase 1) bzw. 71% (Phase 2), bedingt-aseptische OPs 17% bzw. 19% und septische OPs 14% bzw. 10%. Umfangreiche Umgebungsuntersuchungen zeigten zwar eine geringere Kontamination in dem neuen OP, aber der Effekt war wesentlich geringer als erwartet. Kein Einfluß war bei der Inzidenz postoperativer Infektionen im OP-Gebiet zu beobachten. Diese Untersuchung ist vom Studiendesign und vom Umfang der eingeschlossenen Operationen natürlich nicht geeignet, weitreichende Schlußfolgerungen zu ziehen. Bei den wenigen Daten aber, die insgesamt zu dieser Frage zur Verfügung stehen, tragen die Ergebnisse jedoch wenigstens etwas zur Bewertung der Frage bei, ob die Luft als Erregerreservoir im OP eine wesentliche Bedeutung hat.

Von *Bengtsson et al.* wurde 1979 eine weitere prospektive Studie publiziert [19]. Sie erstreckte sich über drei Jahre und umfaßte nahezu 3.000 allgemeinchirurgische und orthopädische Eingriffe in einer neu in Betrieb genommenen Operationsabteilung mit konventioneller Belüftung der OP-Säle. Die Untersuchung wurde in vier OP-Sälen durchgeführt, von denen einer mit einem Deckenauslaß für die zugeführte Luft über dem OP-Tisch ausgestattet war. Umfangreiche mikrobiologische Umgebungsuntersuchungen mit wöchentlichen Nasen-Rachen-Abstrichen beim Personal, präoperativen Abstrichen von Nasen, Rachen, Haut und Perineum bei den Patienten und Sedimentationsplatten zur Untersuchung der Luft wurden durchgeführt. Dabei fanden sich geringe Gesamtluftkeimzahlen (9-15 KBE/m³/min) mit durchschnittlichen Keimzahlen von *S. aureus* zwischen 0,03 und 0,06 KBE/m³/min. Bei Eingriffen der verschiedenen Kontaminationsklassen (kontaminierte Eingriffe an Kolon und Rektum einerseits und saubere bzw. sauber-kontaminierte Eingriffe an Gallenblase und Niere andererseits) gab es keine Unterschiede in der Luftkeimzahl. Außerdem fand sich keine Korrelation zwischen der Luftkeimzahl insgesamt und der Inzidenz von POI einerseits bzw. zwi-

schen der Konzentration von *S. aureus* in der Luft und der Inzidenz von POI verursacht durch *S. aureus*. Durch Vergleich der aus der Luft isolierten *S. aureus*-Isolate mit den Patientenisolaten bei POI mittels Phagentypisierung wurde in ca. 13% der Fälle von POI eine Übereinstimmung festgestellt. In diesen Fällen habe es sich möglicherweise um exogene Erregerübertragungen aus der Luft gehandelt. Zu welchen Ergebnissen man heute mit den modernen molekularbiologischen Typisierungsmethoden käme, muß offenbleiben. Die Schlußfolgerung der Autoren war, daß die Zahl der möglicherweise aerogen erworbenen POI gering war, daß diese geringe Zahl aber natürlich bei orthopädischen Eingriffen mit Fremdkörperimplantation eine andere Bedeutung hat. Andererseits seien die meisten POI nach allgemein chirurgischen Eingriffen endogenen Ursprungs, und es wäre sehr teuer und kompliziert, alle aerogenen POI mit speziellen Belüftungsanlagen zu eliminieren.

Desweiteren berichten *Everett* und *Kipp* 1991 über ihre Beobachtung, daß die Zahl von POI in einem Krankenhaus mit zunehmender Insuffizienz der RLT-Anlage (erkennbar an hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der warmen Jahreszeit) anstieg und nach Erneuerung der RLT-Anlage mit verbesserten raumklimatischen Bedingungen wieder deutlich rückläufig war [20]. Allerdings heben die Autoren auch hervor, daß selbst in der Phase erhöhter POI-Inzidenz die Infektionsraten im nationalen Vergleich unterhalb der publizierten Raten lagen. Sie führen jedoch nicht aus, ob sie die in ihrem Krankenhaus beobachteten erhöhten POI-Inzidenzen auf eine erhöhte Kontamination der OP-Luft bedingt durch die unzureichend ausgelegte RLT-Anlage zurückführen oder ob sie dafür eher eine direkte bzw. indirekte Kontamination des OP-Feldes durch das vermehrte Schwitzen des OP-Teams verantwortlich machen. Insofern trägt diese Arbeit wenig dazu bei, eine Aussage über das aerogene Infektionsrisiko im OP zu machen.

Duhaime et al. fanden in einer 1991 publizierten prospektiven Studie bei 111 konsekutiven Ventrikelshunt-OPs eine Korrelation zwischen dem Auftreten positiver Umgebungskulturen und positiver Liquorkulturen, obwohl die Isolate nicht immer identisch waren [21]. Die positiven Liquorkulturen waren allerdings nicht mit symptomatischen Shuntinfektionen assoziiert. Am häufigsten wurden KNS isoliert, und zwar waren die Keimzahlen in unmittelbarer Nähe der Inzision, d.h. auch des Operateurs, am höchsten. Ob man dies allerdings als aerogene Übertragung bezeichnen kann, wie die Autoren es tun, ist zweifelhaft; eher scheinen diese Kontaminationen doch durch direkte Sedimentation von dem mit seinem Gesicht sehr nah am OP-Gebiet arbeitenden Operateur zu stammen.

In einer anderen Untersuchung aus dem Jahre 1996 wurde von *van Griethuysen et al.* der Effekt einer nach moderner architektonischer und Lüftungstechnischer Konzeption geplanten OP-Abteilung auf die Inzidenz von POI im Vergleich zu den entsprechenden Zahlen in der Zeit davor, als die OP-Abteilung in einem alten 1926 in Betrieb genommenem Krankenhaus untergebracht war, geprüft [22]. Personelle Veränderungen bei den Operateuren waren mit dem Umzug nicht verbunden. Sämtliche Daten wurden prospektiv während jeweils neun Monaten vor und nach dem Umzug erhoben. Erfaßt wurden dabei 2.905 im alten Krankenhaus und 2.935 in der neuen OP-Abteilung vorgenommene allgemein chirurgische (incl. Gefäß- und Thorax-Operationen) und orthopädische Eingriffe. Patienten nach Gelenk-Implantationen wurden ein Jahr beobachtet, alle anderen Patienten bis vier Wochen postoperativ. Die Luftkeimzahlen (RCS-Luftkeimsammler) waren in den neuen OP-Sälen signifikant niedriger als in den alten. Trotz dieser Reduktion der Luftkeimzahlen in der neuen OP-Abteilung (und der anderen Verbesserungen, die mit der baulich-technischen Konzeption des Neubaus verbunden waren) fand sich kein Unterschied in der Inzidenz von POI. Dies galt auch für die orthopädischen Eingriffe mit Gelenk-Implantation, obwohl in der neuen OP-Abteilung für diese Operationen nicht nur ein LAF-System installiert war, sondern bei den Operateuren auch eine partielle Körperluftabsaugung (ohne Helmabsaugung) durchgeführt wurde. Nach Ansicht der

Autoren weisen ihre Ergebnisse darauf hin, daß die baulich-technischen Veränderungen in der neuen OP-Abteilung, die sämtlich nur auf die Reduktion von POI aus exogenen Erregerreservoirs abzielen, wenig zu deren Reduktion beitragen; wichtig sei, die etablierten Maßnahmen zur Prävention von endogenen und exogenen POI (vor allem präoperative Desinfektion des OP-Feldes, Antibiotikaprophylaxe, sorgfältige und schonende OP-Technik, chirurgische Händedesinfektion, sterile OP-Kleidung, sichere Instrumentensterilisation) zu beachten.

Ebenfalls 1996 berichteten *Brown et al.* in einer prospektiven offenen, über 4,5 Jahre dauernden Studie, in die insgesamt 1.717 Patienten nach offener Herzchirurgie eingeschlossen waren, über ihre Ergebnisse mit einer direkten intraoperativen UV C - Bestrahlung des OP-Feldes [23]. Die Mediastinitis-Rate lag danach bei 0,23% und die Rate der tiefen Infektionen im Bereich der Inzision ohne Mediastinitis bei 0,12% [24]. Nach Stratifizierung in Risikogruppen entsprechend CDC-Risiko-Index [25] waren die in dieser Studie beobachteten Infektionsraten in den Risikogruppen 0 – 1, in die die Mehrzahl der Patienten sowohl nach koronarer Bypass-Op als auch nach Klappenersatz-OP fallen, im Vergleich zu den US-amerikanischen NNIS-Raten von 1987 – 1994 [26] signifikant niedriger. Auch für diese Studie gilt aber einschränkend, daß wegen der fehlenden Kontrolle keine Aussage darüber möglich ist, ob die guten Operationsergebnisse auf die Verwendung der UV C – Strahlen oder auf eine außerordentlich gute OP-Technik und –Disziplin des Personals zurückgeführt werden können.

Fremdkörper-Implantationen

Zur gleichen Zeit wie *Charnley's* Studie (1959 – 1969) [5] wurde von *Wiley* und *Barnett* eine Untersuchung durchgeführt und 1973 publiziert, bei der u.a. auch der Einfluß der bakteriellen Kontamination der Luft auf die POI-Inzidenz untersucht wurde [27]. Es handelte sich um eine retrospektive Untersuchung bei insgesamt 364 Hüftgelenks-Endoprothesen nach Oberschenkelhalsfraktur. Im Verlauf der Studie wurden verschiedene Hygienemaßnahmen neu eingeführt bzw. von neuem betont, die das Risiko einer exogenen Wundkontamination verringern (Reduktion unnötiger körperlicher Aktivität und Gespräche des Personals, verbesserte OP-Kleidung, zwei Paar Handschuhe etc.). Es zeigte sich eine kontinuierliche Reduktion der POI-Inzidenz schon allein durch die Beobachtung und die Hervorhebung der aseptischen Standardmaßnahmen von anfangs 5% auf zunächst 2%. In der letzten Phase der Studie (218 OPs) wurde zusätzlich unter Reinraumbedingungen bei horizontalem LAF operiert, wobei eine weitere Senkung der POI-Inzidenz auf 0,5% beobachtet wurde. Die Autoren betonen an einer Stelle, daß die Luftkeimzahlen bei und nach septischen Eingriffen nicht erhöht waren. Auch in dieser Studie also wurde, wie bei *Charnley's* Untersuchung [5], nicht nur der Einfluß der Luftkontamination auf die POI-Inzidenz geprüft, sondern es wurde ebenfalls eine Reihe anderer für die Reduktion exogener Wundkontaminationen wichtiger Maßnahmen eingeleitet bzw. dem Personal gegenüber erneut in ihrer grundlegenden Bedeutung für die Prävention von POI betont. Außerdem muß, wie bereits oben an anderer Stelle erwähnt, berücksichtigt werden, daß im selben Zeitraum auch die OP-Technik durch größere Vertrautheit mit der neuen OP-Methode kontinuierlich verbessert werden konnte.

Fitzgerald et al. berichteten in einer 1979 publizierten prospektiven Multicenterstudie über den Einfluß der raumluftechnischen Ausstattung des OP-Saales auf die postoperative Wundinfektionsrate bei Hüftgelenksendoprothesen [28]. In den vier beteiligten Zentren wurde entweder in OP-Sälen mit vertikalem oder horizontalem LAF mit oder ohne Helmabsaugung oder in konventionell belüfteten OP-Sälen operiert, und in drei der vier Zentren wurde routinemäßig eine perioperative Antibiotikaprophylaxe verabreicht. Die Dauer der Nachbeobachtung der Patienten erstreckte sich von weniger als einem Jahr auf bis zu vier Jahre. Die Inzidenz tiefer Infektionen variierte in den beteiligten Zentren zwischen 0,5% und 2,3% und war

nach Eingriffen in OPs mit vertikalem LAF und Helmabsaugung am niedrigsten. Die Ergebnisse der Studie wurden aber auch bereits von den Autoren nur sehr vorsichtig dahingehend interpretiert, daß die Rate tiefer Infektionen nach Hüftgelenksersatz möglicherweise durch den Einsatz einer RLT-Anlage mit LAF reduziert werden kann. Eine Nachbeobachtungszeit von fünf Jahren wäre jedoch erforderlich, um die Ergebnisse zu bestätigen.

In einer retrospektiven, 1980 publizierten Studie von *Ritter* und *Stringer* wurden 176 Patienten nach Hüftgelenksimplantation zwischen 1970 und 1971 für insgesamt sieben Jahre postoperativ beobachtet [29]. 87 dieser Patienten waren unter LAF-Bedingungen operiert worden, 89 in konventionell belüfteten OP-Räumen. Die Autoren wollten der Frage nachgehen, ob LAF-Systeme tatsächlich erforderlich seien, um die Inzidenz von POI zu reduzieren oder ob nicht die sorgfältige Beachtung der aseptischen Maßnahmen im OP ausreichend sei, um die Patienten vor POI zu bewahren. Die Ergebnisse zeigten zwar keine statistisch signifikanten Unterschiede, waren aber doch beträchtlich. Bei einer größeren Fallzahl wären die gleichen Ergebnisse allerdings von größerer Bedeutung. Die Autoren ziehen den Schluß, daß mit einem LAF-System, das das OP-Feld quasi vor den Einflüssen in der Umgebung abschirmt, die Tagesschwankungen der Luftkontamination (bedingt durch Anzahl und körperliche Aktivität des Personals, Anwesenheit von asymptomatischen Streuern etc.) auf ein Minimum reduziert werden können.

Ebenfalls retrospektiv werteten 1980 *Nelson et al.* eine konsekutive Serie von insgesamt 711 Hüftgelenksimplantationen aus, die von vier Operateuren zwischen 1969 und 1975 durchgeführt wurden [30]. Bei 511 Erst-OPs kam es in 1,8% zu einer Infektion und bei 200 Re-OPs in 3,5% (Nachbeobachtung zwischen weniger als einem Jahr und sieben Jahren). Ein OP-Saal hatte eine konventionelle RLT-Anlage, der andere einen horizontalen LAF. Das Personal trug im konventionell belüfteten OP nur Baumwoll-Kleidung, im LAF-OP entweder Baumwollkleidung oder Einmal-OP-Kittel mit Körperluftabsaugung. Eine perioperative Antibiotikaprophylaxe wurde nicht bei allen OPs durchgeführt. Am niedrigsten war die postoperative Infektionsrate mit 0,6% bei den Eingriffen, die im LAF-OP mit Körperluftabsaugung und perioperativer Antibiotikagabe vorgenommen wurden, am höchsten im konventionellen OP mit 7,6%. Die Ergebnisse der Studie sind aber wegen zahlreicher offener Fragen keineswegs als Beleg dafür anzusehen, daß die Reinraumsituation ein maßgeblicher Faktor für die niedrige Infektionsrate war. Die Autoren bezeichneten deshalb ihre Ergebnisse auch nur als vorläufig.

Salvati et al. fanden in ihrer zwischen 1972 und 1978 durchgeführten und 1982 publizierten prospektiven Studie, bei der ein Matching-Verfahren zum Vergleich der POI-Inzidenzen angewendet wurde, statistisch signifikante Unterschiede zwischen OP-Sälen mit horizontalem LAF-System und solchen mit konventioneller Belüftung [31]. Auffällig war in dieser Untersuchung, daß zwar die Zahl an POI nach Hüftgelenksersatz-OPs, die in dem OP-Saal mit horizontalem LAF durchgeführt wurde, signifikant niedriger war (2,0 % von 765 OPs vs 1,2 % von 1.524 OPs). Jedoch traten nach Kniegelenksersatz signifikant häufiger Infektionen auf, wenn die OP in dem OP-Saal mit horizontalem Flow durchgeführt worden war (3,9 % von 310 OPs vs 1,9 % von 576 OPs). Dies wurde auf die Position des OP-Teams in Hinsicht auf den Luftstrom beim Kniegelenksersatz zurückgeführt, wobei aus operationstechnischen Gründen im Gegensatz zum Hüftgelenksersatz das OP-Team zeitweise im Luftstrom steht, so daß Keime von unsterilen Körperstellen des Personals mit dem Luftstrom in die Wunde gelangen können. Insofern haben die Autoren geschlußfolgert, daß ein LAF-System sowohl Vorteile (Hüftgelenksersatz), aber auch Nachteile (Kniegelenksersatz) haben kann, wenn nämlich die übliche Position des OP-Teams mit dem optimalen Luftstrom nicht in Einklang zu bringen ist.

Die erste, aber auch einzige randomisierte kontrollierte Studie wurde von *Lidwell et al.* 1982 publiziert [32]. Es war eine Multicenterstudie, die an insgesamt 19 Kliniken in Großbritannien

und Schweden durchgeführt wurde und ca. 8.000 Gelenkersatz-OPs einschloß. Die Eingriffe wurden entweder in OP-Sälen mit LAF-Anlage oder als Kontrolle in OP-Sälen mit konventioneller Belüftung durchgeführt. Zusätzlich wurde in einzelnen Kliniken - aber nur in den LAF-OPs - verglichen, ob die Körperluftabsaugung einen weiteren reduzierenden Effekt auf die Inzidenz von POI haben würde. Somit wurde in dieser Studie zum einen das Operieren bei konventioneller Belüftung und bei LAF-Installation verglichen, und zum anderen wurde beim Operieren mit LAF-System zusätzlich der Effekt der Körperluftabsaugung untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie sind hinreichend bekannt: In der Kontroll-Gruppe fand sich eine POI-Inzidenz von 1,5%, in der LAF-Gruppe war dagegen die POI-Inzidenz mit 0,6% signifikant geringer. Die Körperluftabsaugung reduzierte die POI-Inzidenz zusätzlich auf ca. 0,4%. Da der Einfluß der Körperluftabsaugung nur in den LAF-OP-Sälen untersucht wurde, ist es nicht möglich, eine Aussage darüber zu machen, ob nicht vielleicht die Körperluftabsaugung in einem konventionell belüfteten OP-Saal auch schon zu einer signifikanten Reduktion der POI-Inzidenz führen könnte. Schließlich war die Studie auch nicht dafür geplant, eine Aussage über den Effekt einer perioperativen Antibiotikaphylaxe zu machen. Dennoch wurden die verfügbaren Daten ausgewertet und gaben einen deutlichen Hinweis darauf, daß auch die perioperative Gabe von Antibiotika einen wesentlichen Einfluß auf die POI-Inzidenz hat.

Die Auswertung der bakteriologischen Ergebnisse der begleitend durchgeführten Untersuchungen von Luft und Wunden zeigte ebenfalls einen signifikanten Unterschied zugunsten der LAF-Systeme [33]: Danach stammte der größte Teil der Bakterien, die man in den OP-Wunden nachweisen konnte, aus der Luft des OP-Saales. In 13 der 19 Zentren wurde ferner versucht, die Quelle von POI verursacht durch *S. aureus* zu eruieren [34]. Der Vergleich der Isolate aus der Luft, aus Nasen-Rachen- bzw. Perinealabstrichen von Personal und Patienten sowie aus den postoperativen Infektionsherden der betroffenen insgesamt 68 in diese Auswertung einbezogenen Patienten wurde mit Hilfe des Antibiogramms sowie mit Phagentypisierung vorgenommen. Aufgrund der geringen Anzahl postoperativer *S. aureus*-Infektionen ($n = 14$), die in dieser Studie auswertbar war, konnte lediglich geschlußfolgert werden, daß bei einem Teil der Patienten mit gewisser Wahrscheinlichkeit die Stämme aus der Umgebung des OP-Saales stammten, daß aber nicht nur der LAF, sondern auch die perioperative Antibiotikaphylaxe die POI-Inzidenz reduzierten.

Die Studie von *Lidwell et al.* [32-34] wird immer dann zitiert, wenn es um die Frage geht, welche Rolle die Luft bei der Entstehung von POI spielt, obwohl dies eine Studie bei Implantation künstlicher Gelenke war, aus der man wegen der Besonderheiten, die die Implantation von Kunststoffmaterialien mit sich bringt, keine Schlußfolgerungen für alle anderen operativen Eingriffe der verschiedenen Kontaminationsklassen ohne Fremdkörperimplantation ziehen kann. Dies stellten auch die Autoren der Studie bereits in ihrer ersten Publikation fest [32]. Dennoch aber haben die Ergebnisse dieser Studie wesentlich dazu beigetragen, der Luft als Erregerreservoir für POI bei operativen Eingriffen generell eine hohe Bedeutung zuzumessen: Wann immer nämlich die Luft als potentielles Erregerreservoir für POI angesprochen wird, werden sozusagen im selben Atemzug die Ergebnisse der Lidwell-Studie angeführt. Damit ging die Differenzierung verloren, daß die operativen Eingriffe der verschiedenen Kontaminationsklassen mit und ohne Fremdkörperimplantation unterschiedliche endogene und exogene Infektionsrisiken haben. Übrig blieb, daß die Luft einen entscheidenden Beitrag zum postoperativen Infektionsrisiko liefern würde, ob es sich nun um orthopädische Gelenkoperationen oder Eingriffe in der Allgemein-Chirurgie usw. handelt. Diese Vereinfachung der Zusammenhänge bzw. unzulässige Extrapolierung der Ergebnisse aus der Lidwell-Studie bezüglich ihrer Gültigkeit für andere operative Eingriffe als der Fremdkörperimplantation, die auch von den Autoren der Studie keineswegs postuliert wurde, hat z.B. dazu geführt, daß in Deutschland die DIN 1946/4 zum einen absolut die Raumklasse I in der gesamten OP-

Abteilung fordern [35] und zum anderen eine so hohe Bedeutung erlangen konnte, daß Planer und Kliniken bzw. deren Träger meinten, die Gesundheit der Patienten zu gefährden, wenn die Forderungen der DIN 1946/4 nicht umgesetzt werden und teilweise heute noch Angst davor haben, davon abzuweichen.

Mikrobiologische Studien

Es gibt eine Vielzahl mikrobiologischer Studien, mit denen direkt oder indirekt die Qualität und Quantität der Luftkontamination im OP untersucht wurde. Diese Untersuchungen lassen zwar keine Aussage über das tatsächliche aerogene Infektionsrisiko im OP zu, sie liefern aber wichtige Hinweise dafür, welche Faktoren die Luftkeimzahl und die Zusammensetzung der Luftkeime im OP beeinflussen. Die Studien lassen sich in drei Fragestellungen unterteilen: 1) Welche Keime sind unter verschiedenen Bedingungen unabhängig von der Art der RLT-Anlage in der OP-Luft nachweisbar? 2) Welchen Einfluß hat die Kleidung des OP-Personals? 3) Welche Auswirkungen haben verschiedene RLT-Anlagen-Konzeptionen, einschließlich unterschiedlicher Luftwechselraten, auf die Kontamination der Luft im OP-Saal?

Kontamination der Luft im OP

Howe und *Marston* stellten 1962 eine Studie vor, mit der sie die Quellen postoperativer *S. aureus*-Infektionen eruieren wollten [14]. Sie untersuchten die Kolonisierung von Patienten (präoperativ) und von Stations- sowie OP-Personal und ferner die Kontamination der unbelebten Umgebung auf der Station und im OP, incl. Luft. Die Luft im OP wurde bei 327 OPs untersucht; bei 22 OPs wurde *S. aureus* nachgewiesen. Bei 5 der 22 Patienten, bei deren OP *S. aureus* in der Luft nachgewiesen wurde, kam es zu einer POI, aber nur in einem Fall fand sich ein identischer Phagentyp in der Luft und als Erreger der Wundinfektion. Der Patient war aber bereits präoperativ Träger dieses Phagentyps, und außerdem war nur eine Kolonie in der Luftprobe nachweisbar gewesen; deshalb nahmen die Autoren an, daß der Patient die Luft kontaminiert hat und nicht umgekehrt die Wunde intraoperativ aus der Luft kontaminiert wurde. Bei den restlichen vier Patienten stimmten die Phagentypen aus der Luft und aus den Wunden nicht überein. Somit stellte sich in dieser Studie die Luft nicht als ein relevantes Erregerreservoir für POI dar.

Burke berichtete 1963 ebenfalls über die Ergebnisse bei der Identifizierung der Quellen von postoperativen *S. aureus*-Infektionen bei 50 OPs [36]. Bei den Patienten wurden präoperativ Nasen-Rachen-Abstriche sowie Hautabstriche im Bereich des OP-Feldes und intraoperativ Wundspülungen mit Kochsalzlösung nach Faszienverschluß durchgeführt. Beim Personal wurden am Ende der OP Abstriche von den Innenseiten der Masken genommen, außerdem wurden die Hände unmittelbar nach Ausziehen der OP-Handschuhe in steriler NaCl-Lösung ‚gewaschen‘ und diese Lösung anschließend filtriert. Luftproben wurden intraoperativ in der Nähe des OP-Situs genommen (Sedimentationsplatten und zwei an unterschiedlichen Stellen positionierte Luftkeimsammler). Mit 68% am häufigsten stimmten die Isolate aus der Luft mit denen in der Wunde am Ende der OP überein, und in 50% fand sich in der Wunde derselbe Phagentyp, der bei dem Patienten schon bei den präoperativ Untersuchungen nachgewiesen worden war. Die Ergebnisse legten den Schluß nahe, daß die Luft in der Nähe der Wunde ein wesentlicher Faktor bei der intraoperativen Kontamination von OP-Wunden ist. Da die Patienten nicht hinsichtlich POI beobachtet wurden, macht die Studie keine Angaben über eine evtl. Übereinstimmung von Luftkeimen und POI-Erregern.

Henderson untersuchte 1967 während 100 OPs die Quellen von *S. aureus*, ebenfalls mit umfangreichen Patienten- und Personal- sowie mit intraoperativen Luftuntersuchungen mittels Sedimentationsplatten [37]. Bei 16 OPs war *S. aureus* in der Luft nachweisbar, und in 10

Fällen fand sich ein identischer Phagentyp bei einem Mitglied des OP-Personals, nur einmal aber stimmten das Luftisolat und der Erreger der POI überein.

Fitzgerald und *Washington* faßten 1975 ihre an der Mayo-Klinik ermittelten Ergebnisse zusammen [38]. Danach war der Grad der Luftkontamination nicht nur abhängig von der Zahl der anwesenden Personen und deren Bewegung innerhalb des OP-Saales, sondern auch von der körperlichen Aktivität des OP-Teams in verschiedenen Phasen der OP. Außerdem betonen sie, daß ein Helm, der Kopf und Hals einschließt, die Kontamination des sterilen Feldes durch direkte Sedimentation von Bakterien reduziert. Obwohl theoretisch überzeugend, sind die Zahlen, die sie dazu vorlegen aber widersprüchlich. Eine weitere Diskussion dieser Ergebnisse erübrigt sich jedoch an dieser Stelle.

Von *Hambraeus* und *Benediktsdóttir* wurde 1980 eine Studie publiziert, in der die Autorinnen das Vorkommen von nicht-sporenbildenden anaeroben Bakterien (z.B. *Propionibacterium* spp., Peptostreptokokken, Peptokokken) in der Luft des OP-Saales und deren mögliche Übertragungswege während der OP untersucht hatten [39]. Im Gegensatz zu aeroben Bakterien hielt man nämlich damals bei anaeroben Erregern eine endogene Infektionsentstehung für den wahrscheinlichsten Weg. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß anaerobe Bakterien ebenfalls in der Luft nachweisbar waren und ihre Absterberate sich ebenso verhielt, wie dies von aeroben Bakterien bekannt war, so daß für diese potentiell pathogenen Keime intraoperativ ein aerogener Übertragungsweg ebenfalls möglich ist.

Letts und *Doermer* berichteten 1983 über den Einfluß von Gesprächen des OP-Teams auf die Luftkontamination [40]. In einem Versuchsmodell verwendeten sie ein Spray aus Mikrokügelchen von Humanalbumin. Dabei handelt es sich um kugelförmige Aggregate von Albuminmolekülen mit einem Durchmesser zwischen 10µm und 35µm, die Bakterien-tragende Partikel simulieren sollten. Das Spray aus diesen winzigen Albumin-Partikeln wurde dem ‚OP-Team‘ im Gesicht und in der Nase aufgetragen wurde. Die Autoren konnten zeigen, daß durch Gespräche die Zahl von Partikeln, die in der simulierten OP-Wunde nachweisbar waren, deutlich anstieg. Es zeigte sich aber auch, daß die Zahl der freigesetzten Partikel entscheidend reduziert werden konnte, wenn eine Kopfbedeckung getragen wurde, die die seitlichen Ränder und den unteren Rand der Maske überdeckte. In derselben Untersuchung wurde auch die bereits seit langem bekannte Tatsache nochmals bestätigt, daß die Luftkontamination maßgeblich von der Anzahl und der körperlichen Aktivität der im OP anwesenden Personen beeinflusst wird. Obwohl in der Arbeit nicht ausdrücklich ausgeführt, konnte aber eine Erhöhung der Luftkeimzahl im OP-Saal nicht nachgewiesen werden. Vielmehr ist der Nachweis der Partikel in der simulierten OP-Wunde als Ausdruck einer direkten Sedimentation aus dem Nasen-Rachenraum des OP-Teams zu verstehen. Allerdings liefert auch diese Untersuchung eine weitere Bestätigung für die ebenfalls bekannte Tatsache, daß Gespräche des OP-Teams zu einer Freisetzung von Keimen der Nasen-Rachen-Flora führen und deshalb auf das für die jeweilige OP notwendige Maß reduziert werden sollen, um einer vermeidbaren Kontamination der OP-Wunde mit u.U. potentiell pathogenen Keimen, wie z.B. *S. aureus* oder *A-Streptokokken*, die asymptomatisch im Nasopharynx gesunder Personen vorkommen können, vorzubeugen.

Rüden et al. zeigten 1980 in einer Untersuchung, bei der die Luftkontamination bei sog. septischen (n = 6) und aseptischen (n = 53) Eingriffen verglichen wurden, daß es bei septischen Operationen nicht zu einer erhöhten Keimzahl potentiell pathogener Keime in der Luft des OP-Saales kommt [41]. Die Autoren zogen den Schluß, daß quantitative Luftuntersuchungen allein keinen Rückschluß auf das postoperative Infektionsrisiko zulassen würden, sondern daß neben der Bestimmung der Zahl an Luftkeimen auch untersucht werden müsse, um welche Keime es sich dabei handelt.

Von *Benediktsdóttir* und *Kolstad* wurde 1984 eine weitere Studie über den Nachweis von anaeroben nicht-sporenbildenden Bakterien in der Luft des OP-Saales und OP-Wunden vorgelegt [42]. Ebenso wie in der früheren Studie aus dieser Arbeitsgruppe [39] konnten anaerobe Keime nachgewiesen werden und zwar in ca. 30% der Luftproben. Vorwiegend (ca. zwei Drittel der Proben) handelte es sich um *Propionibacterium* spp., seltener um Pepto- und Peptostreptokokken. Dieses Ergebnis hat die Auffassung der Autoren bestätigt, daß eine aerogene Übertragung anaerober Keime während operativer Eingriffe ebenfalls möglich ist und ihr Nachweis bei postoperativen Infektionen im OP-Gebiet deshalb nicht nur mit einer endogenen Infektionsentstehung erklärt werden kann.

Van Oeveren et al. berichteten 1986 von einer tierexperimentellen Studie, in der die Kontamination der OP-Wunden und des extrakorporalen Kreislaufs der Herz-Lungen-Maschine (HLM) bei Herzoperationen nach Kontamination der Luft im OP-Saal mit *S. aureus* und *Serratia marcescens* bei Einsatz unterschiedlicher Absaugsysteme untersucht wurde [43]. Insbesondere sollte untersucht werden, ob die Kontaminationsrate des extrakorporalen Kreislaufs durch Einsatz von Saugern, die mit dem Blut gleichzeitig auch Luft ansaugen, und von anderen Saugern, bei denen eine Ansaugung von Luft nicht möglich war, beeinflusst werden konnte. Die im Vergleich zu anderen OPs relativ hohen postoperativen Infektionsraten nach offenen Herz-Operationen wurden nämlich auf das Ansaugen von Luft und damit auch der in der Luft vorhandenen Bakterien zurückgeführt. Es zeigte sich jedoch, daß unabhängig von der Art des verwendeten Saugers Kontaminationskeime im Blut der HLM nachweisbar waren. Daraus folgerten die Autoren, daß das eigentliche Problem die Kontamination der Thoraxöffnung durch sedimentierende Luftkeime sein muß, wodurch es zu einer Kontamination des Blutes kommt, das dann in den extrakorporalen Kreislauf gesaugt wird. Die Keimzahl der Luft im Bereich des OP-Gebietes müsse deshalb so niedrig wie möglich gehalten werden.

Von *Weist et al.* aus der Arbeitsgruppe von Rüden wurde 1988 eine weitere, größer angelegte Untersuchung zu diesem Thema vorgelegt [44], in der die Ergebnisse der früheren Studie [41] nochmals bestätigt werden konnten. Es konnte wieder gezeigt werden, daß die Kontamination der OP-Luft mit potentiell pathogenen Keimen eine untergeordnete Rolle spielt und daß außerdem die Gesamtkeimzahl im septischen OP-Saal sogar geringer war als im aseptischen, wie dies auch schon 1984 von *Daschner et al.* gezeigt werden konnte [45]. Die Autoren leiteten aus ihren Ergebnissen die Schlußfolgerung ab, daß die – vom damaligen BGA in der BRD noch geforderte – strikte bauliche Trennung septischer und aseptischer OP-Abteilungen nicht gerechtfertigt sei.

Whyte et al. haben 1992 die relative Bedeutung der Luftkontamination für die Wundkontamination während Gallen-Operation untersucht [46]. War die Gallenflüssigkeit keimfrei, stammten die im OP-Gebiet nachgewiesenen Keime hauptsächlich von der Haut des Patienten. Das aerogene Kontaminationsrisiko konnte nur bei (wenigen) Wunden mit Nachweis von < 100 KBE berechnet werden. Daraus ergab sich die Schätzung, daß eine Keimzahlreduktion in der Luft des OP-Saales um das 13-fache die Wundkontamination (an der Leberoberfläche) um ca. 50% reduzieren würde. Der Anteil einer aerogen bedingten Wundkontamination, die sich postoperativ in der Entstehung einer Infektion im OP-Gebiet auswirkt, ist demnach bei Gallen-Operationen im Gegensatz zu orthopädischen Implantations-Operationen sehr gering.

In einer 1993 publizierten Studie an freiwilligen Testpersonen wurde von *Zink* und *Iaizzo* darüber berichtet, inwieweit Systeme zum intraoperativen Wärmen der Patienten, die mit Freisetzung warmer Luft geringer Strömung arbeiten, zu einer erhöhten Kontamination des ‚OP-Feldes‘ führen [47]. Dazu wurden die Testpersonen auf einen OP-Tisch gelegt und am Unterkörper mit den Wärmedecken zugedeckt, wobei der obere Rand in Nabelhöhe mit Pflaster an der Haut festgeklebt wurde. Über die Testperson wurde anschließend ein vom Hals bis zu den Füßen reichendes OP-Abdecktuch gelegt, das auf Thoraxhöhe ein ‚OP-Feld‘ freiließ. Dort

wurden Sedimentationsplatten deponiert, die für zwei Stunden exponiert blieben. Während dieser Zeit sollte der Unterkörper möglichst nicht bewegt werden. Im Anschluß an diese Studien-Phase wurde dasselbe Szenario mit neuen Sedimentationsplatten für weitere zwei Stunden ohne die Wärmedecken aufrechterhalten. Die Auswertung der Agarplatten ergab keinen Unterschied zwischen beiden Phasen. Daraus wurde geschlossen, daß diese Form der Wärmerotherapie das Risiko der intraoperativen Wundkontamination nicht erhöht.

In einer anderen Untersuchung wurde von *Mackrodt* 1994 überprüft, ob das morgendliche feuchte Aufwischen der Böden vor Beginn des täglichen OP-Programms einen Einfluß auf die Luftkeimzahl im OP-Saal hat [48]. Die Ergebnisse wiesen - wie bereits frühere Untersuchungen zu dieser Fragestellung - darauf hin, daß im Gegenteil die Maßnahme des feuchten Wischens eher zu einer erhöhten Luftkeimzahl führt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß mit dem Wischen der Böden auch die Anwesenheit und Aktivität einer Person im OP-Saal verbunden ist, die ihrerseits bekanntermaßen aus der körpereigenen Flora Bakterien an die Umgebung abgibt und damit zu einer erhöhten Luftkeimzahl beiträgt. Man kann daraus aber auch allgemein folgern, daß eine Zwischenreinigung im OP-Saal immer nur dann vorgenommen werden soll, wenn der Boden tatsächlich verschmutzt ist. Dies ist nicht nach jeder Operation der Fall, so daß man auf routinemäßige Zwischenreinigungen verzichten kann und dadurch sogar dazu beitragen würde, daß die Luft im OP-Saal nicht unnötig durch die Anwesenheit und körperliche Aktivität einer an sich zu diesem Zeitpunkt überflüssigen Person kontaminiert wird. Ist der Boden aber bei der OP kontaminiert worden, muß er gereinigt werden, wobei dann die mit dieser Maßnahme vorübergehend verbundene erhöhte Luftkontamination gerechtfertigt ist.

OP-Kleidung

Die Kontamination der Luft durch Abgabe von bakterientragenden Hautschuppen ist schon seit langem Gegenstand mikrobiologischer Untersuchungen. Beispielsweise zeigten *Duguid* und *Wallace* 1948, daß bei starker körperlicher Aktivität ca. 10.000 Partikel pro Minute, bei geringer Aktivität dagegen nur ca. 1.000 Partikel pro Minute (von denen ca. 10% länger als eine halbe Stunde in der Luft nachweisbar blieben) von der Körperhaut freigesetzt werden [49]. Weiterhin wiesen sie schon damals nach, daß die üblichen (lose gewebten) Baumwollkittel die Freisetzung von Partikeln nur um etwa die Hälfte reduzierten. Bei Verwendung eines staubdichten Overalls aus sehr dicht gewebter Baumwolle, bei dem elastische Bündchen an Armen, Beinen und Halsauschnitt für ein festes Anliegen am Körper sorgten, konnte im Vergleich zum Standard-Kittel die Partikelfreisetzung auf ca. 12% bei geringer körperlicher Aktivität und sogar auf 4% bei starker körperlicher Aktivität gesenkt werden. Die Untersuchungen von *Bernard et al.* konnten ebenfalls zeigen, daß bei Verwendung einer OP-Kleidung aus fest gewebter Baumwolle mit einem Porendurchmesser von ca. 10µm die Partikelfreisetzung wesentlich reduziert werden konnte [50]; OP-Kleidung aus undurchlässigem Polyethylen war dagegen nahezu okklusiv, jedoch nicht längere Zeit tragbar und muß deshalb aus praktischen Gründen ausgeschlossen werden. Diese Versuche wurden ohne Masken durchgeführt, so daß die Ergebnisse auch einen Hinweis darauf geben, daß bei Personen, die nicht reden, husten oder niesen, die Haut die wichtigste Quelle für die Freisetzung von Mikroorganismen ist.

Insofern kann der in dem vier Jahre später publizierten Artikel von *Beck* und *Collette* geäußerten Sicherheit, OP-Kittel und -Tücher würden, solange sie trocken sind, eine effektive Barriere gegen einen Durchtritt von Keimen darstellen, nur bedingt zugestimmt werden [51]: Ein feuchter Stoff stellt zwar unbestritten überhaupt keinen Schutz dar, ein trockener Stoff ist jedoch auch kein absoluter Schutz.

Charnley und *Eftekhar* zeigten 1969 bei Verwendung einer fest gewebten Baumwolle mit einer Porengröße von ca. 50µm, daß mikrobiell beladene Hautpartikel den Stoff penetrieren können [52]. Sedimentationsplatten waren zwar nur in 11% mit 1-2 Kolonien pro Stunde positiv; die Bedeutung der Ergebnisse sahen die Autoren aber insbesondere darin, daß bei orthopädischen Operationen ein häufiger enger Körperkontakt des Operateurs mit der Gegend des OP-Situs stattfindet, so daß durch diesen direkten Kontakt während der OP eine Kontamination der Wunde mit Hautkeimen des Operateurs zustandekommen kann, auch wenn die Luft nahezu steril gehalten werden kann.

1974 stellten *Hill et al.* eine Studie vor, mit der sie zeigten, daß die Abgabe von *S. aureus* fast ausschließlich von der Perinealregion erfolgt und daß Unterwäsche aus einem bakteriendichten Stoff die Freisetzung verhinderte [53]. Da aber das Ausmaß der Abgabe bei perinealen Trägern auch mit normaler Unterwäsche nur sehr gering war, äußerten die Autoren ihre Skepsis darüber, ob die vollständige Eliminierung der Freisetzung von *S. aureus* die Sicherheit des Patienten überhaupt erhöhen könnte. Sie sprachen deshalb keine Empfehlung für OP-Personal aus, die spezielle Unterwäsche routinemäßig zu tragen.

Whyte und *Bailey* konnten in einer 1985 veröffentlichten Studie [54] die Ergebnisse von *Du-guid* und *Wallace* [50] bestätigen und erweitern: Ein Material mit einer Porengröße von ca. 20µm reduzierte die mikrobielle Streuung um 90% verglichen mit lockerer gewebten Stoffen. Die eng gewebten Stoffe waren jedoch auch für Luft relativ undurchlässig. Der ungestörte Luftaustausch ist allerdings eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz durch den Träger. Ein anderer Nachteil der Materialien mit mangelhaftem Luftaustausch ist bei konventionellem Design der OP-Kleidung (d.h. Kittel, die über einer Bereichskleidung getragen werden), daß die körpernahe Luft unter der Kleidung durch die Bewegungen des Trägers an den Öffnungen des Kittels (z.B. Saum) herausgepreßt wird, weil sie durch den Stoff nicht entweichen kann. Dadurch kommt es sogar zu einer stärkeren Dispersion mikrobiell beladener Hautpartikel als bei Kitteln aus weniger dichten Stoffen, weil sich unter den konventionellen Stoffen wegen ihrer relativen Durchlässigkeit nicht ein so hoher Druck aufbaut. OP-Kleidung aus höhergradig impermeablen Stoffen (mit einem Schutz gegen das Herauspumpen der körpernahen Luft) konnte zwar die mikrobielle Streuung auf 1% im Vergleich zu konventioneller OP-Kleidung reduzieren; aber auch mit einem Overall aus normalem Stoff, Haube und Stiefeln konnte die Freisetzung mikrobiell beladener Hautpartikel auf 4% reduziert werden. Prinzipiell dieselben Resultate wurden in anderen Studien ermittelt [55-60].

1996 wurde von *Bohn et al.* die Effektivität eines tragbaren Körperluftabsaugungssystems wegen des positiven Effekts dieser Maßnahme in der Lidwell-Studie (dort allerdings fest installiert) untersucht [61]. Die Untersuchung zeigte keine Reduktion der (ohnehin sehr niedrigen) Luftkeimzahlen bei Einsatz des Systems. Möglicherweise lag der fehlende Effekt an einer weniger kräftigen Absaugung durch das batteriebetriebene System; nicht ganz klar wird aber auch aus der Beschreibung des Systems, ob es sich bei der tragbaren Apparatur wirklich um eine vollständige Körperluft- oder nur um eine Helmabsaugung gehandelt hat. In einer anderen Studie wurde explizit eine Helmabsaugung im Vergleich zum normalerweise verwendeten Kopf- und Mundschutz untersucht [62]. Bei wundnah durchgeführten Luftkeimzahlbestimmungen zeigte sich kein größerer Schutz der OP-Wunde durch die Helmabsaugung.

Hubble et al. untersuchten in einer 1996 publizierten Studie bei simuliertem OP-Betrieb den Einfluß der Kleidung in OP-Sälen mit vertikalem LAF-System und mit konventioneller Belüftung [63]. Luftkeimzahlen wurden mittels Sedimentationsplatten - aufgestellt in Kopf- und Taillenhöhe - in der Umgebung des OP-Teams sowie in der Raumluft 2 m entfernt vom OP-Team mit einem Zentrifugal-Sammler bestimmt. Das OP-Team trug eine Bereichskleidung (Kasak und Hose mit elastischen Bündchen) aus Mischgewebe (65% Polyester und 35% Baumwolle) und darüber OP-Kittel aus 100% Kunstfaser. In einer zusätzlichen Untersu-

chungsserie war das OP-Team nur in eine Bereichskleidung aus normal gewebter reiner Baumwolle gekleidet. Außerdem wurden Kopfbedeckung und Maske oder nur eines von beidem getragen. Die Keimzahlen blieben bei konventioneller Belüftung des OP-Saales durchweg unbeeinflusst von der Art der Kleidung. Unter LAF-Bedingungen dagegen kam es (im Vergleich zur Kontrolle mit vollständiger Bekleidung) zu einer Keimzahlerhöhung auf den Sedimentationsplatten in Taillenhöhe um das 22-fache, wenn weder Kopf- noch Mundschutz, um das 15-fache, wenn ein Kopf-, aber kein Mundschutz und um das 4-fache, wenn ein Mund-, aber kein Kopfschutz getragen wurde. Gleichzeitig aber blieben die mittels Zentrifugal-Sammler bestimmten Luftkeimzahlen im Raum entfernt vom OP-Team von der Art der Kleidung unbeeinflusst. Trug das OP-Team nur die reine Baumwollkleidung (und zusätzlich Maske und Kopfschutz), waren die Luftkeimzahlen um das 6-fache erhöht. Die Autoren ziehen aus diesen Ergebnissen den Schluß, daß in einem OP-Saal mit vertikalem LAF neben einer für die Körperflora möglichst undurchlässigen Kleidung sowohl Kopf- als auch Mundschutz wichtig sind, um das OP-Gebiet vor sedimentierenden Keimen zu schützen, wobei aufgrund ihrer Ergebnisse der Mundschutz die größere Bedeutung hat. In konventionell belüfteten OP-Sälen hingegen gäbe es auch aufgrund ihrer Ergebnisse wenig gute Gründe, das Tragen von Kopf- und Mundschutz zu fordern.

Konzeption von RLT-Anlagen

Cole et al. berichteten 1965 über experimentelle Untersuchungen in einem Modell-OP, mit denen sie zeigen konnten, daß die damals gültigen offiziellen Richtlinien mit acht Luftwechseln pro Stunde für die Eliminierung von Luftkeimen ebenso ineffektiv seien wie gar kein Luftwechsel [64]. Luftwechselraten zwischen 20 und 40 pro Stunde waren wesentlich effektiver; insgesamt aber schlußfolgerten die Autoren, daß Luftwechsel und Filtrierung bei der Reduktion der Luftkeime deutlich weniger wirksam seien als eine okklusiv wirkende Kleidung des OP-Personals. Die meisten Keime in der Luft eines OP-Saales stammten von den dort anwesenden Personen und hauptsächlich von deren Körperoberfläche, wesentlich seltener aus dem Nasen-Rachenraum.

Scott et al. zeigten 1971 bei einem Vergleich der Luftqualität von OP-Sälen mit der von Räumen in der Elektronik-Industrie, daß die OP-Säle sowohl höhere Partikel- als auch Keimzahlen aufwiesen als die industriellen Herstellungsräume, in denen noch dazu mehr Personal und damit auch mehr körperliche Aktivität vorhanden waren, und dies während 24 Stunden pro Tag [65]. Dies galt auch für Räume mit vergleichbarer, nämlich turbulenter Belüftung. Da die etablierten Reinheitsrituale in OP-Abteilungen offenbar relativ ineffektiv seien, müsse man dringend überprüfen, ob das Prinzip aus der Reinraum-Industrie auf OPs anwendbar sei, so die Schlußfolgerung der Autoren.

Clark und Amos verglichen 1973 den Effekt einer konventionellen Belüftung mit einem LAF-System auf die Luftkeimzahl im OP und konnten dabei natürlich die Überlegenheit des LAF demonstrieren [66]. Sie konnten aber auch zeigen, daß eine Luftwechselrate von 500 pro Stunde keine Vorteile gegenüber niedrigeren Luftwechselraten von 100 pro Stunde bietet. Vergleichbare Ergebnisse waren in anderen Untersuchungen beobachtet worden [67, 68].

Ritter et al. prüften 1976 abhängig von der Art der OP-Belüftung die Kontamination von Gegenständen, die auf dem Instrumententisch während der OP exponiert waren [69]. Offene Herz-OPs wurden in einem Saal mit konventioneller Belüftung (Schwebstofffilter, 10-15 Luftwechsel pro Stunde), Hüftgelenksimplantationen in einem OP mit horizontalem LAF durchgeführt. Kontaminationen waren signifikant häufiger bei konventioneller Belüftung und setzten sich aus Keimen der typischen Hautflora, vorrangig *S. epidermidis*, zusammen.

Hambraeus et al. berichteten 1977 über einen Vergleich der Luftkeimzahlen in einer neuen OP-Abteilung zwischen konventioneller turbulenter Belüftung des gesamten OP-Saales mit

17-20 Luftwechseln pro Stunde und Belüftung des zentralen Bereichs um den OP-Tisch mittels Luftauslaß durch ein Deckenfeld mit ca. 80 Luftwechseln pro Stunde in dieser Zone [70]. Außerdem wurde untersucht, ob es zu einem Transfer von Luft (und damit potentiell von Keimen) zwischen benachbarten OP-Sälen kommt. Bei Verwendung inerter Partikel konnte gezeigt werden, daß unabhängig von der Art der Belüftung ein Lufttransfer nur in einem so geringem Umfang stattfindet, daß selbst prinzipiell aerogen übertragbare Erreger via Luft nicht in die angrenzenden OP-Säle gelangen könnten. In ihren Experimenten konnten die Autoren ferner demonstrieren, daß - im Vergleich zur Peripherie des OP-Saales - bei spezieller Belüftung der OP-Zone im Zentrum des Saales dort nur ca. die Hälfte der durch körperliche Aktivität vorhandenen Partikelkonzentration, nachzuweisen war. Bei konventioneller Belüftung der Säle waren die Partikelkonzentrationen im gesamten OP-Saal gleich.

Franco et al. stellten 1977 eine kontrollierte Studie - durchgeführt im klinisch-orthopädischen OP-Betrieb - vor, mit der zum einen der Effekt eines (horizontalen) LAF und von Körperluftabsaugung auf die Wundkontamination (quantitativ und qualitativ) untersucht und zum anderen geklärt werden sollte, ob es eine positive Korrelation zwischen dem Kontaminationsgrad der Luft und der Wunde gibt, oder mit anderen Worten, ob eine niedrigere Luftkeimzahl auch eine geringere Wundkontamination zur Folge hat [71]. Es gab drei Studien-Gruppen: Gruppe 1 (n = 37 Patienten) LAF + Körperluftabsaugung, Gruppe 2 (n = 41) nur LAF und als Kontrolle Gruppe 3 (n = 30) bei Nutzung desselben OP-Saales mit ausgeschalteter LAF-Anlage und ohne Körperluftabsaugung. Die Verteilung auf die Gruppen war nicht randomisiert, weil man Gelenkimplantationen nicht ohne LAF durchführen wollte. Diese OPs waren deshalb alle in Gruppe 1 oder Gruppe 2, während die allgemein-orthopädischen Eingriffe auf Gruppe 2 oder 3 verteilt waren. Es zeigte sich bei Benutzung des LAF-Systems eine Reduktion der Partikelzahl um das fünffache und der Anzahl von Mikroorganismen in der Nähe der Wunde etwa um das zwölffache. Durch die Körperluftabsaugung wurde zusätzlich die Partikelzahl um das vierfache und die Bakterienzahl um das zweifache reduziert. Letzteres wurde experimentell in einer Reinraumkammer untersucht, wo die Abgabe von Bakterien bei Standardbekleidung des Personals sowie bei Tragen der speziellen Absauganzüge verglichen wurde. Hinsichtlich der quantitativen Wundkontamination gab es keinen Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2, aber einen signifikanten Unterschied zwischen beiden und der Kontrollgruppe, vor allem bedingt durch die höhere Zahl von Wunden ohne Keimnachweis in den LAF-Gruppen. Eine positive Korrelation zwischen Luft- und Wundkeimzahl fand sich nicht, unabhängig davon, welchen Zeitpunkt der OP die Auswertung berücksichtigte, und unabhängig vom Einsatz von LAF und Körperluftabsaugung. Dieses Ergebnis wurde noch gestützt durch die qualitative Auswertung von Luft- und Wundkontamination: Abgesehen von *S. epidermidis* und *Corynebacterium* spp. wurden selten dieselben Spezies aus der Luft und aus der Wunde isoliert. Klassische potentiell pathogene Keime wurden in der Luft selten, in Wunden dagegen häufiger nachgewiesen, woraus die Autoren geschlossen haben, daß die Kontamination der Wunden auf anderem Wege als durch die Luft zustande gekommen sein muß. Abschließend stellten die Autoren fest, daß sie auf der Basis der Studienergebnisse keine definitive Aussage darüber machen können, ob LAF und Körperluftabsaugung für die Prävention postoperativer Infektionen geeignete Maßnahmen seien; denn dafür wäre eine große kontrollierte klinische Studie erforderlich. Die bis dahin publizierten wie auch die eigenen Daten würden stattdessen darauf hinweisen, daß in der modernen Medizin die Luft für die Wundkontamination nur geringe Bedeutung hat und daß der Grad der Wundkontamination nicht notwendigerweise den Grad der Luftkontamination widerspiegelt. Sie kommen zu dem Schluß, daß aufgrunddessen zu diesem Zeitpunkt weder LAF noch Körperluftabsaugung gerechtfertigt seien. Andererseits aber würden sowohl LAF als auch Körperluftabsaugung notwendigerweise ein sehr diszipliniertes Verhalten des Personals zur Folge haben, und diese dadurch forcierte Disziplin mag

durchaus auch in ihrer Studie eine signifikante Reduktion der Zahl intraoperativ positiver Wundkulturen verursacht haben.

Hambraeus et al. veröffentlichten 1978 eine weitere Untersuchung, mit der das Ausmaß der Redisperktion von Bakterien, die auf den Fußboden sedimentiert waren, geprüft werden sollte [72]. Dazu wurde ein moderner OP-Saal bei ausgeschalteter RLT-Anlage mit *S. aureus* kontaminiert, indem z.B. Bettdecken von Verbrennungspatienten ausgeschüttelt wurden. Danach ließ man den OP-Saal bis zu 12 Stunden ruhen, damit die Bakterien-tragenden Partikel sedimentieren konnten. Anschließend wurde mit verschiedenen Methoden versucht, eine Redisperktion zu erreichen: 1) 10 Minuten systematisches Blasen mit einem Föhn über den gesamten Fußboden, 2) Reinigung des Fußbodens während 10 Minuten mit einem feuchten Mop und 3) Herumlaufen von vier Personen (in OP-Kleidung) während 30 Minuten. Aus dem Verhältnis der *S. aureus*-Konzentration in der Luft (KBE/m³) und auf dem Fußboden (KBE/m²) während der Redisperktionsversuche wurde jeweils ein Redisperktionsfaktor berechnet. Die durchschnittliche Kontamination des Fußbodens lag zwischen $1,5 \times 10^3$ KBE/m² und $3,4 \times 10^4$ KBE/m². Der Redisperktionsfaktor war beim Herumgehen der Versuchspersonen am höchsten und beim Reinigen des Fußbodens am geringsten, insgesamt aber bei allen Experimenten sehr gering. Die Schlußfolgerung der Autoren war, daß die Redisperktion von an Staubpartikel gebundenen Bakterien ausgehend vom Fußboden kaum zur Erhöhung des aerogenen Risikos von postoperativen Infektionen im OP-Gebiet beitragen würde. Außerdem wurde in dieser Arbeit untersucht, wie lange *S. aureus* nach experimenteller Kontamination der Luft des OP-Saales (bei aus- bzw- eingeschalteter RLT-Anlage mit 12 Luftwechseln pro Stunde) nachweisbar ist. Bei ausgeschalteter RLT-Anlage war die Sedimentationsrate sehr niedrig, was die Autoren auch auf die Art der experimentellen Kontamination der Luft zurückführten. Denn Verbrennungspatienten würden eine Vielzahl von sehr kleinen Partikeln zwischen 3 und 6 µm abgeben, die wegen ihres extrem geringen Gewichts auch nur sehr langsam sedimentieren. Dagegen waren bei eingeschalteter RLT-Anlage bei einer Ausgangskeimzahl von ca. 10^3 KBE/m³ nach knapp 40 Minuten alle Bakterien eliminiert.

Thomas und Meierhans bestimmten in einer 1979 publizierten umfangreichen Untersuchung die Luftkeimzahlen in OP-Sälen mit unterschiedlichsten Lüftungssystemen (von der Fensterlüftung bis hin zum LAF-System) bei laufendem OP-Betrieb [73]. Erwartungsgemäß fanden sich die höchsten Luftkeimzahlen (im Mittel $1,2 \times 10^3$ KBE/m³) in OP-Sälen ohne mechanische Lüftungsanlage, die auf Fensterlüftung angewiesen waren. Bei turbulenzreicher Verdünnungslüftung nach DIN 1946/4 [35] lagen die mittleren Keimzahlen bei 200 KBE/m³ Luft. Bei der gleichen Lüftungsart, jedoch mit eingezogener Trennwand zwischen OP- und Anästhesieteam war die Luftkeimzahl auf maximal 50 KBE/m³ reduziert. Schließlich waren sowohl beim horizontalen und mehr noch beim vertikalen LAF-System mit Abstand die niedrigsten Luftkeimzahlen von bis zu weniger als 10 KBE/m³ beim vertikalen LAF nachweisbar. Unabhängig vom Belüftungssystem waren jedoch immer auch Keimzahlspitzen zu verzeichnen, die mit vermehrter Aktivität während des Eingriffs oder bei dessen Vorbereitung zusammenfielen. Die Autoren stellten deshalb auch die Personaldisziplin als wesentlichen Einflußfaktor heraus, der nicht außer Betracht bleiben darf.

Wanner et al. stellten 1980 eine Untersuchung vor, in der vier OP-Säle mit unterschiedlichem Lüftungsstandard hinsichtlich der Luftkeimzahlen bei normalem Betrieb verglichen wurden [74]. Es handelte sich um eine LAF-Kabine und drei OP-Säle mit turbulenter Mischströmung, die jeweils mit 2.000 m³ pro Stunde belüftet wurden. In einem dieser drei Säle war das OP-team durch eine Wand vom Anästhesiebereich abgetrennt (siehe auch [73]). Die Luftwechselrate betrug in den beiden klassischen Sälen 15-17 Luftwechsel pro Stunde; in dem OP-Saal mit Trennwand wurde innerhalb des abgegrenzten Bereichs eine Verdoppelung der Luftwechselrate erreicht. Während in der LAF-Kabine keine Luftkeime nachweisbar waren, lag die

Luftkeimzahl in dem OP mit Trennwand durchschnittlich bei 45 KBE/m³ und in den anderen beiden Sälen bei 270 KBE/m³ bzw. 230 KBE/m³. Allein durch die Trennwand konnte demnach ohne Veränderung der Luftzufuhr oder der Filter die Luftkeimzahl deutlich reduziert werden. Dieser Effekt der Trennwand wurde von derselben Arbeitsgruppe in einer 1981 publizierten Untersuchung von *Thomas et al.* bestätigt [75].

Soots et al. verglichen in ihrer 1982 publizierten Untersuchungen die POI-Raten bei Patienten nach offener Herz-OP, die über einen Zeitraum von vier Jahren in OP-Sälen mit unterschiedlichem Lüftungsstandard operiert wurden [76]. Es handelte sich um zwei OP-Säle A und B mit turbulenter Mischlüftung ohne Filtrierung der Zuluft mit 10 bzw. 21 Luftwechseln pro Stunde, um einen OP-Saal C mit einem horizontalen LAF ohne Abluft auf der gegenüberliegenden Seite des OP-Saales (330 Luftwechsel/h) sowie um einen OP-Saal D mit regelrechtem horizontalen LAF (ca. 200 Luftwechsel/h). Die beiden LAF-OPs waren mit Schwebstofffiltern ausgestattet. In den OP-Sälen A – D wurden 274, 166, 233 bzw. 151 Patienten am Herzen operiert, insgesamt 824 OPs. Luftkeimzahlmessungen wurden in jeder Gruppe bei einem Teil der OPs durchgeführt. Die höchsten Keimzahlen fanden sich in OP-Saal A mit Spitzenkonzentrationen bis zu 1.400 KBE/m³. Diese Lüftungsanlage stammte aus dem Jahre 1965 und war somit zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits 10 Jahre alt. OP-Saal B hatte eine 1976 erneuerte Lüftungsanlage, und die Keimzahlen lagen mit Spitzenkonzentrationen unter 200 KBE/m³ wesentlich niedriger. Die Keimzahlen in den Sälen C und D lagen gleichbleibend bei 50 KBE/m³ bzw. 15 KBE/m³. Unterschiede in den POI-Raten fanden sich nur zwischen den Patienten der Gruppe 1 (OP-Saal A) und den Patienten der Gruppen 2 - 4 (OP-Säle B – D). Die POI-Raten in den Gruppen 2 – 4 waren dagegen ungefähr gleich, obwohl durch die LAF-Systeme die Luftkeimzahlen deutlich niedriger lagen als in dem turbulent belüfteten OP-Saal B ohne jede Luftfilterung. Die Ergebnisse zeigen, daß über die Luftreinheit hinaus andere Faktoren bei der Entstehung von POI eine wichtige Rolle spielen.

Whyte et al. untersuchten 1982, in welchem Maße eine aerogene Kontamination von OP-Wunden stattfindet [77]. Dazu führten sie während orthopädischer Implantationen an Hüft- und Kniegelenken, die randomisiert entweder in einem OP-Saal mit konventioneller Belüftung oder mit vertikalem LAF durchgeführt wurden, Luftkeimzahlmessungen durch und bestimmten die Keimzahl auf der Haut im OP-Gebiet vor der OP - und zwar noch vor der chirurgischen Hautdesinfektion - sowie in den OP-Wunden am Ende des Eingriffs kurz vor dem Wundverschluß. Die Luftkeimzahlmessungen ergaben eine mittlere Keimzahl von 4,3 KBE/m³ mit dem LAF-System bzw. 413 KBE/m³ mit der konventionellen Belüftung. Die Keimzahl in den OP-Wunden war bei konventioneller Belüftung des OP-Saales 35 x höher als bei Nutzung des LAF-OPs. Da die OP-Säle abgesehen von der Art der Belüftung sowie das OP-Personal, die Ausstattung und die operativen Eingriffe identisch waren, schlossen die Autoren, daß dieser Unterschied nur durch die unterschiedliche Raumluftkontamination verursacht sein konnte. Die Ergebnisse ihrer Berechnungen weisen darauf hin, daß ca. 98% der Bakterien, die in den Wunden nachgewiesen werden konnten, direkt oder indirekt aus der Luft stammen und davon wiederum ca. 30% durch direkte Sedimentation. Das bedeutet, daß der größere Teil der Wundkontamination auf indirektem Wege in die Wunde gelangt, vor allem durch ständige Berührung der OP-Tücher und der Instrumente durch die Operateure, d.h. von Flächen und Gegenständen, die während der OP ebenso wie die OP-Wunde für sedimentierende Partikel erreichbar sind. Eine Kontamination der OP-Wunden durch die Flora der Hände des OP-Teams war dagegen eher unwahrscheinlich, weil routinemäßig doppelte Handschuhe getragen wurden. Dagegen scheint das Ausmaß der präoperativen Besiedlung der Haut der Patienten – trotz Durchführung der chirurgischen Desinfektion des OP-Feldes – einen Einfluß auf die Wundkontamination zu haben: zwei Patienten der Studie hatten ungewöhnlich hohe Keimzahlen auf der Haut und am Ende der OP eine erhebliche Wundkontamination.

Wurden diese beiden Patienten aber bei der Auswertung nicht berücksichtigt, hatte die Hautflora keinen Einfluß auf die Wundkontamination. Die Autoren schlußfolgerten, daß LAF-Systeme prinzipiell in der Lage sind, die Wundkontamination zu reduzieren. Die Schutzzone muß aber dafür groß genug sein, damit nicht nur die Wunde, sondern das gesamte sterile Feld eingeschlossen ist, weil nur der geringere Teil der Wundkontamination durch direkte Sedimentation aus der Luft stattfinden würde.

Seipp und Barth zeigten 1992, daß nach experimenteller Kontamination der Raumluft in OP-Sälen abhängig von der Art der RLT-Anlage nach entsprechend unterschiedlichen Eliminationszeiten keine Partikel bzw. Keime mehr nachweisbar sind [78]. Partikel und/oder Keime, die im Rahmen sog. Hygieneuntersuchungen außerhalb des OP-Betriebs gemessen werden, scheinen aber aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung nur auf die Person des Untersuchers zurückgeführt werden zu können. Mit anderen Worten: Die Partikel- und Keimzahlen, die bei solchen Untersuchungen nachweisbar sind, werden vom Untersucher freigesetzt und lassen keine Aussage über die Effektivität der RLT-Anlage zu.

Lüderitz et al. berichteten 1992 über den Einfluß von luftgekühlten Großgeräten auf die Funktion von RLT-Anlagen im OP [79]. Dabei zeigte sich, daß Großgeräte mit Kühlluftgebläse, die bei OPs zum Einsatz kommen können, bei einer RLT-Anlage mit turbulenter Mischströmung zu einer verstärkten Turbulenz im gesamten OP-Saal führten. Dadurch wurde Raumluft in den Zuluftstrom hineingezogen. Die Keimzahlen im OP-Feld erreichten währenddessen das zwei- bis dreifache der Ausgangswerte. Bei einer RLT-Anlage mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung wurde durch die Kühlgebläse sowohl eine Einengung als auch eine Instabilität des vertikalen Luftstroms in der Schutzzone registriert. Gelegentlich wurden auch erhöhte Partikel- und Keimzahlen im Schutzbereich gemessen.

Kruppa und Rüden stellten 1993 eine in zwei getrennten Mitteilungen publizierte Untersuchung vor, bei der verglichen wurde, ob bei turbulenter Mischlüftung ebenso wie bei turbulenzarmer Verdrängungslüftung eine relevante Reduktion der Partikel- und Keimzahlen bei hohen Luftwechselraten zu beobachten ist [80, 81]. Dieselbe Untersuchung wurde ebenfalls 1993 kürzer gefaßt an anderer Stelle [82] und zusätzlich 1996 in englischer Sprache nochmals publiziert [83]. Verglichen wurden Luftwechselraten von 7,5, 10, 15 und 20 pro Stunde. Relevante Unterschiede fanden sich, wenn überhaupt, nur bei den Partikelkonzentrationen ohne OP-Betrieb. Bei laufendem OP-Betrieb jedoch hatten die verschiedenen Luftwechselzahlen weder auf die Partikel- noch auf die Keimzahlen einen Einfluß. Die Partikelzahlen wurden dagegen am deutlichsten von der Anzahl der anwesenden Personen bestimmt, während die OP-Betriebsphasen keinen wesentlichen Einfluß hatten. Die Keimzahlen wurden weder durch den einen noch den anderen Faktor beeinflusst. Die Autoren schlußfolgerten aus ihren Ergebnissen, daß für konventionelle Belüftungssysteme hohe Luftwechselzahlen nicht gefordert werden können, daß sie die turbulenzarme Verdrängungsströmung jedoch nicht ersetzen könnten, die für spezielle Operationen (Implantation von Gelenken, Transplantationen) unverzichtbar seien, weil bei diesen Systemen hohe Luftwechselzahlen zu einer relevanten Keimreduktion im Bereich des OP-Feldes führen.

Bischoff et al. berichteten 1994 über den Einfluß der Klimaanlagekonzeption einerseits und den Faktoren der Alltagssituation im OP andererseits auf Partikel- und Keimzahlen in der Luft des OP-Saales [84]. Lieferten die modernen RLT-Anlagen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung erwartungsgemäß gute Ergebnisse, fanden sich jedoch unter den Bedingungen des OP-Betriebs erhöhte Werte, die maßgeblich auf ein ungünstiges Personalverhalten zurückgeführt wurden. Die Ergebnisse bestätigen somit die bekannte Tatsache, daß die mikrobiologische Qualität der Raumluft im OP trotz optimaler RLT-Systeme wesentlich von einer adäquaten Nutzung der Räume durch das Personal abhängig ist.

In einer weiteren Studie aus dem Jahre 1995 untersuchten *Bischoff et al.* die wundnahen Partikel- und Keimzahlen unter OP-Bedingungen abhängig von der Art der Lüftungsdecken [85]. Verglichen wurden mehrere OP-Säle mit Stützstrahl- und Gewebedecken sowie ein Saal mit Lochblechdecke, der zusätzlich mit einer Trennwand zwischen OP- und Anaesthesie-Bereich ausgestattet war und in dem das OP-Team mit einer Helmabsaugung arbeitete. Die Schutzwirkung der Gewebedecken war trotz eines in diesen Sälen beobachteten schlechteren Personalverhaltens (mehr Personen, doppelt so häufige Türbewegungen) deutlich besser als bei den Stützstrahldecken. Die geringsten Partikel- und Keimzahlwerte fanden sich in dem OP-Saal mit Trennwand. Ob zu dieser günstigen Wirkung auch die in diesem OP-Saal verwendete Helmabsaugung beigetragen hat, kann nicht beurteilt werden, weil beide Faktoren nicht getrennt untersucht wurden.

Babb et al. zeigten 1995, daß ein großer orthopädischer OP-Saal mit vier jeweils mit einem eigenen Lüftungssystem ausgestatteten LAF-Kabinen eine adäquate Option sein kann, um einerseits aus mikrobiologischer Sicht optimale OP-Bedingungen zu schaffen und andererseits trotz hohem lüftungstechnischen Standard die damit verbundenen Kosten vergleichsweise gering zu halten, weil der Flächenbedarf niedriger ist, da die räumliche Infrastruktur gemeinsam genutzt werden kann [86]. Die Autoren schließen nicht aus, bei einer derartigen räumlich-technischen Ausstattung gleichzeitig aseptische und kontaminierte Eingriffe durchzuführen, solange Kontaktübertragungen via Personal oder Gegenstände durch entsprechende organisatorische Maßnahmen ausgeschlossen werden können.

Friberg et al. stellten 1996 eine Studie vor, in der eine konventionelle RLT-Anlage mit turbulenter Mischlüftung mit dem neuen Lüftungssystem der Quelllüftung verglichen wurde [87]. Dabei wird relativ kalte HEPA-gefilterte Luft mit sehr niedriger Strömungsgeschwindigkeit auf Fußbodenebene in den Raum geführt, wo sie aufgrund der von Personen, Geräten und Lampen abgegebenen Wärme durch Konvektion nach oben steigt und schließlich auf Deckenebene wieder abgeführt wird. Die Untersuchungen wurden unter streng standardisierten Bedingungen im Rahmen von simulierten Operationen durchgeführt. Die Messungen der Partikelzahlen zeigten, daß die Quelllüftung sehr feine Partikel - zu klein, um Bakterien zu tragen - effektiver eliminierte als die konventionelle Belüftung. Auf der anderen Seite jedoch waren die Luft- und Oberflächen-Keimzahlen - und insbesondere die Zahl sedimentierender Partikel - in Bereichen, die für die chirurgische Asepsis von Bedeutung sind (Wunde, Instrumentiertisch) zwei- bis dreifach höher als beim konventionellen System. Die hauptsächliche Einschränkung des neuen Systems bestand demnach in der unzureichenden Elimination größerer, also potentiell Bakterien-tragender Partikel. Bei allen Tests hatte die Art der Kleidung (OP-Bereichskleidung mit Bündchen und OP-Kittel jeweils entweder aus Baumwolle oder Einweg-Material) keinen Einfluß auf die gemessenen Werte. Die Autoren kamen zu dem Schluß, daß die Quelllüftung zu erhöhten Luftkeimzahlen und damit einer größeren Zahl sedimentierender, potentiell Bakterien-tragender Partikel in der Raumluft führt, wodurch das postoperative Infektionsrisiko im Vergleich zu einer turbulenten Mischlüftung prinzipiell erhöht ist, dies vermutlich deshalb, weil der Luftstrom zu schwach ist, um die größeren Partikel bis an die Luftauslässe an der Decke zu transportieren. Außerdem wird bei dieser Art der OP-Raum-Belüftung der Luftstrom insbesondere durch das OP-Team und den OP-Tisch daran gehindert, bis zum aseptischen Bereich (OP-Feld und Instrumentiertisch) vorzudringen und dort mit seiner aufwärts gerichteten Strömung wirksam zu werden.

Chosky et al. zeigten 1996 bei Verwendung von Sedimentationsplatten, daß durch Abdeckung der OP-Instrumente nach deren Vorbereitung in einem konventionell belüfteten Nebenraum die Kontamination durch Sedimentation aus der Luft um das vierfache (im Vergleich zu nicht abgedeckten Instrumenten) reduziert wurde [88]. Bei Richten der Instrumente in einem LAF-OP mit anschließender Abdeckung während der OP-Vorbereitungen (Hereinbringen und Ia-

gern des Patienten) fand sich eine 28-fach geringere Kontamination (im Vergleich zur Vorbereitung bei konventioneller Belüftung). Eine meßbare Sedimentation von Bakterien war nur in der Phase der OP-Vorbereitung vorhanden, nicht jedoch während der OP. Die Ergebnisse zeigen, daß die Instrumentenkontamination wesentlich durch die Art der Belüftung des Raumes beeinflusst wird.

Ebenfalls von *Friberg et al.* wurde 1999 eine weitere experimentelle Studie veröffentlicht, in der die Abhängigkeit der Oberflächenkontamination im Bereich der OP-Wunde und am Instrumententisch von der Luftkeimzahl in diesen Bereichen bei turbulenter Lüftung untersucht wurde [89]. Dabei fand sich unabhängig vom Typ des Belüftungssystems (konventionelle turbulente Mischströmung versus Quelllüftung) und von der Art der OP-Kleidung (ebenso wie in [87] beschrieben) eine lineare Korrelation: Die Keimzahl auf den Sedimentationsplatten war direkt abhängig von der Luftkeimzahl in der Umgebung der Platten. Die Autoren stellten deshalb eine Gleichung vor, mit deren Hilfe aus der Keimzahl auf einer für eine Stunde exponierten Sedimentationsplatte (Durchmesser: 14cm) die Luftkeimzahl/m³ berechnet werden kann [89].

Aerogene Übertragung von Erregern im OP

Übertragungsmechanismus

Damit eine Erregerübertragung bei einer Operation auf aerogenem Wege zustandekommen kann, muß sich der Erreger in Form schwebender Partikel (= Aerosol) mit dem Luftstrom vom Erregerreservoir entfernen können und Gelegenheit haben, im Bereich des OP-Situs bzw. auf die Instrumente zu sedimentieren. Im OP-Saal können bei einwandfrei arbeitender RLT-Anlage potentiell pathogene Keime nur auf zwei Wegen in die Luft gelangen: als Tröpfchenkerne aus dem Nasen-Rachenraum [90, 91] und als Bakterien-tragende Hautschuppen von der Körperhaut des Personals [92]. Prinzipiell kommt auch der Patient selbst als Streuquelle in Betracht; jedoch ist dies weniger wahrscheinlich, weil er intraoperativ unbeweglich auf dem OP-Tisch liegt und mit Tüchern nahezu vollständig abgedeckt ist. Eine Freisetzung von Hautschuppen in die Luft ist dadurch herabgesetzt. Erhält er eine Regionalanaesthesie, wird er zwar einige Worte mit dem Anaesthetikerteam wechseln können, aber - im Gegensatz zum OP-Team - entsteht dabei aus seinem respiratorischen Sekret mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nur eine minimale Zahl von Tröpfchenkernen, die wegen der geringen Anzahl den OP-Situs vermutlich nicht erreichen können. Zu dieser Frage aber gibt es keine Untersuchungen, weshalb die Aussage notgedrungen vage ist.

Dagegen ist das OP-Personal körperlich aktiv, spricht nicht selten viel, ist meist recht zahlreich vorhanden, und das OP-Team steht noch dazu direkt neben bzw. über dem offenen OP-Situs; deshalb ist die Wahrscheinlichkeit, daß von einer dieser Personen Bakterien in die Luft abgegeben werden, unvergleichlich höher. Jeder Mensch setzt täglich eine Vielzahl von Hautschuppen frei [93]. Die meisten sind so klein und leicht, daß sie nicht sedimentieren, sondern in der Luft schweben (Durchmesser ca. 14µm). Da die Haut mikrobiell besiedelt ist, werden häufig, aber nicht durchweg mit den abgeschilferten Epithelien auch Mikroorganismen in die Luft freigesetzt [94].

Träger und Disperser

Neben der normalen Hautflora mit in aller Regel wenig virulenten Keimen kommen bei manchen Personen auch auf intakter Haut potentiell pathogene Keime, wie *S. aureus* und A-Streptokokken, vor; bei chronischen Hautveränderungen, z.B. Ekzemen, ist eine pathologische Besiedlung häufiger [95]. Die mikrobielle Besiedlung der Haut ist jedoch nicht gleich-

mäßig, und man kann davon ausgehen, daß nur ca. 10% der Hautschuppen überhaupt Bakterien tragen, wovon aller Wahrscheinlichkeit nach noch dazu der überwiegende Teil apathogen bzw. wenig virulent ist [94]. Wie aber durch die Implantations-Chirurgie bekannt ist, kann ein Teil dieser Keime postoperative Infektionen auslösen. Infektionen im OP-Gebiet mit Vertretern der normalen Hautflora sind aber ohne Implantation großer Fremdkörper sehr selten.

Die potentiell-pathogenen Keime aber, die manche Personen mehr oder weniger dauerhaft - bevorzugt im Nasopharynx und vaginal bzw. perineal oder anal - besiedeln, sind dagegen aufgrund ihrer natürlichen Virulenz imstande, auch in normalen OP-Wunden (ohne Vorhandensein von mehr als dem üblichen Fremdmaterial in Form von z.B. Nähten oder Drähten) Infektionen hervorzurufen [95]. Meist handelt es sich dabei um *S. aureus*, seltener um A-Streptokokken. Werden diese Keime im selben Maße freigesetzt wie die normale Hautflora, stellen derart besiedelte Personen wahrscheinlich kein erhöhtes Risiko dar, wenn sie im OP tätig sind. Manche Personen sind aber nicht nur Träger potentiell pathogener Keime, sondern sie setzen diese Keime darüberhinaus in vermehrtem Maße frei: sie streuen. Die Tatsache der Kolonisierung (Träger bzw. Carrier) mit potentiell pathogenen Keimen und der vermehrten Abgabe dieser Keime an die Umgebung (Disperser) bleibt aber in aller Regel asymptomatisch [95].

Vor mehr als 50 Jahren zeigten *Hamburger et al.* mit im Bett der Personen exponierten Baumwolläppchen, daß Träger von A-Streptokokken, die nur im Rachen mit hohem Keimzahlen besiedelt sind, diese in einem Zeitraum von 24 Stunden in wesentlich geringerer Zahl ($< 10^3$ KBE) in die Umgebung abgeben als Personen, die zusätzlich auch nasal hohe Keimzahlen aufweisen; bei letzteren („heavy disperser“ oder „dangerous carrier“) liegt die Zahl der während 24 Stunden freigesetzten Streptokokken bei $> 10^3$ KBE bis $> 10^5$ KBE [96]. Die Autoren konnten diese Ergebnisse in einer klinischen Untersuchung untermauern [97]. Darin bestätigte sich, daß Personen mit ausgeprägter nasaler Besiedlung häufiger Ausgangspunkt von Übertragungen, die zu Infektionen bei Kontaktpersonen führten, und damit sog. gefährliche Träger waren als nur pharyngeal besiedelte Personen. Eine wesentliche Schwierigkeit ist jedoch zu unterscheiden, ob eine besiedelte Person ein gefährlicher oder ein ungefährlicher Träger ist.

Bøe et al. untersuchten zwischen 1961 und 1963 3.508 konsekutive Patienten (meist innerhalb einer Stunde nach Einweisung in eine internistische Abteilung) mit Abstrichen an Nase, Rachen und Perineum, um die Häufigkeit einer perinealen Besiedlung zu eruieren [98]. Man hatte damals Hinweise darauf, daß perineal besiedelte Personen ein größeres Problem bei der Streuung von potentiell pathogenen Bakterien sein könnten als pharyngeal oder nasal besiedelte Individuen. Fast die Hälfte (48%) aller Patienten war an einer der drei Körperstellen mit *S. aureus* besiedelt; davon waren 13% perineal (2,6% nur dort), 34% nasal und/oder 31% pharyngeal besiedelt [98]. Ob unter den perineal besiedelten Personen prozentual mehr „gefährliche Träger“ waren, wurde jedoch nicht untersucht.

Walter et al. führten 1963 eine Untersuchung durch, in der Daten über das Ausmaß der bakteriellen Exposition von Patienten während der OP gesammelt werden sollten [99]. Unter den Mitarbeitern, die im Rahmen dieser Studie für die bakteriologischen Untersuchungen verantwortlich waren, war – wie sich im weiteren Verlauf herausstellte – zufällig eine Person, die Träger und Disperser eines bis dahin in dieser Klinik unbekanntes *S. aureus*-Phagentyps war. Von 169 Patienten, bei deren Operation dieser Mitarbeiter als Untersucher des OP-Saales anwesend war, entwickelten zwei Patienten eine postoperative Wundinfektion mit diesem speziellen Stamm. Die weiteren Untersuchungen zeigten, daß dieser Mitarbeiter ein nasaler Träger war, der seinen Stamm aus dem Nasen-Rachenraum streute, und daß der Stamm nur auf aerogenem Weg in die OP-Wunden der beiden Patienten gelangen konnte, weil er immer nur in

der Peripherie des OP-Saales stand. Zum damaligen Zeitpunkt sei dies die erste Beschreibung einer aerogenen Übertragung während einer OP gewesen [99, 100].

Bethune et al. berichteten 1965 nach Untersuchung von freiwilligen Testpersonen über das Ausmaß der Abgabe von *S. aureus* bei Männern und Frauen [101]. Sie konnten anhand von Luftkeimzahlmessungen in einer Testkammer zeigen, daß die Keimabgabe a) bei Männern ausgeprägter ist als bei Frauen, b) bei beiden Geschlechtern unterhalb der Taille stärker ist als oberhalb, c) durch körperliche Aktivität und – in einigen Fällen – unmittelbar vorheriges Duschen gesteigert sowie d) durch Baumwoll-OP-Kleidung bzw. –Abdeckmaterial nicht reduziert wird.

Ausbrüche

Es gibt zahlreiche Berichte über Ausbrüche postoperativer Infektionen im OP-Gebiet, die in epidemiologischem und mikrobiologischem Zusammenhang mit Trägern und Dispersern potentiell pathogener Keime stehen und in deren Mehrzahl die Entstehung der Infektionen allein durch aerogene Übertragung während der Operation plausibel erklärt werden konnte [z.B. 102-109]. Die meisten dieser Berichte behandeln A-Streptokokken-Infektionen [103, 104, 106-109]. Überwiegend handelte es sich um anal und/oder vaginal besiedelte Träger; sehr viel seltener wurden nasal bzw. pharyngeal oder an der Haut besiedelte Personen als Quelle für die postoperativen Infektionen eruiert [Übersicht in 108]. Häufiger als Mitglieder des unmittelbaren OP-Teams waren andere Mitarbeiter im OP (Anaesthetist, Springer) die Träger der Ausbruchsstämme, einmal auch eine Person, die nie während der Operation im Op-Saal anwesend war, sondern nur während der Vorbereitungen für die OP [100, 101, 107]. In den meisten Fällen waren die Träger lediglich asymptomatisch besiedelt. Erst der epidemiologische Zusammenhang zwischen den infizierten Patienten und bestimmten Mitgliedern des medizinischen Personals und/oder bakteriologische Untersuchungen durch Abstriche der typischen Körperzonen sowie durch Umgebungsuntersuchungen im OP, z.B. mit Hilfe von Sedimentationsplatten, brachten die entscheidenden Hinweise auf die Personen, die schließlich als Streuquelle identifiziert werden konnten.

Da Kontaktübertragungen als Ursache für die Ausbrüche in allen Berichten für unwahrscheinlich gehalten wurden bzw. sogar durch die involvierten Träger ohne Kontakt zum OP-Situs ausgeschlossen werden konnten, kommt für diese Fälle der aerogenen Erregerübertragung vor allem via abgeschilferte und Bakterien-tragende Hautschuppen große Bedeutung zu. Bei konventioneller Belüftung der OP-Säle können infolge der turbulenten Mischströmung sogar die von Personen in der Peripherie des OP-Saales abgegebenen Bakterien in die Wunde gelangen, und dies um so eher, je länger die OP dauert, d.h. je länger die Wunde exponiert ist. Diese zwar insgesamt sehr seltenen Ereignisse konnten also offenbar weder durch die etablierten aseptischen Maßnahmen noch durch die in den meisten OP-Sälen installierten (konventionellen) RLT-Anlagen (mit turbulenter Mischströmung) verhindert werden.

Schlußfolgerungen

Auf der Basis dieser zwar nicht systematischen, aber doch umfassenden und umfangreichen Auswertung der Fachliteratur, die in vergleichbarer Form bisher noch nicht vorgelegen hat, kann die eingangs gestellte Frage nach der Bedeutung der Luft als Erregerreservoir für postoperative Infektionen im OP-Gebiet erstmals mit großer Sicherheit beantwortet werden:

1. Es gibt keine Daten aus klinischen oder mikrobiologischen Studien, mit denen die Luft als relevantes Erregerreservoir für *endemische* POI ohne Implantation großer Fremdkörper (wie also z.B. Gelenke) belegt werden könnte.
2. Es gibt hinreichende, wenn auch nicht beweisende Daten dafür, daß die Luft bei Operationen mit Implantation großer Fremdkörper als Erregerreservoir für *endemische* POI von Bedeutung ist. Wie groß die Bedeutung der Luft bei diesen Eingriffen im Vergleich zu endogenen Erregerreservoirs ist, kann aus den vorhandenen Studienergebnissen nicht abgeleitet werden.
3. Es gibt überzeugende Daten dafür, daß eine Kontamination der Luft im unmittelbaren Bereich von OP- und Instrumententisch eine direkte oder indirekte Kontamination des OP-Feldes zur Folge hat.
4. Es gibt eine Vielzahl dringender Hinweise dafür, daß die Luft bei der Erregerübertragung während der OP im Zusammenhang mit *epidemischen* POI von großer Bedeutung sein kann; es handelt sich dabei allerdings um seltene Ereignisse.
5. Es gibt weder aus klinischen noch aus mikrobiologischen Studien einen einzigen Hinweis darauf, daß die Luft in den an den OP-Saal angrenzenden oder sogar in den entfernter liegenden Räumen der OP-Abteilung einen Einfluß auf das postoperative Wundinfektionsrisiko hat, mit anderen Worten: wenn die Luft für die Entstehung von POI - unabhängig davon, ob endemisch oder epidemisch - eine Rolle spielt, dann handelt es sich lediglich um die Luft im OP-Saal selbst während der Operation.

Aus diesen Schlußfolgerungen können die medizinisch-hygienischen Anforderungen an RLT-Anlagen im OP abgeleitet werden:

1. RLT-Anlagen müssen den Bereich von OP- und Instrumententisch mit keimarmer Luft versorgen.
2. Das Prinzip der Luftströmung muß eine stabile turbulenzarme Verdrängungsströmung sein über eine Fläche, die groß genug ist, um den Schutzbereich von OP- und Instrumententisch vor einer Vermischung mit der angrenzenden Raumluft zu schützen.
3. Dieser zentrale Schutzbereich muß bei den üblichen unvermeidbaren Personalbewegungen in der Peripherie des OP-Saales, incl. gelegentliches Öffnen und Schließen der Türen, stabil bleiben.
4. Alle anderen Räume der OP-Abteilung außer den OP-Sälen können mit den heute in Bürogebäuden üblichen RLT-Anlagen ausgestattet werden, wenn sie mechanisch klimatisiert werden sollen, das bedeutet, daß insbesondere Schwebstofffilter (HEPA-Filter) außerhalb der OP-Säle nicht erforderlich sind.

Die Realisierung dieser Vorgaben bei der Konzeption von RLT-Anlagen in OP-Abteilungen bedeutet einerseits die Schaffung eines optimalen Schutzbereichs für den Patienten bestehend aus einem großen quasi LAF-Bereich, der nicht nur das OP-Feld, sondern den gesamten OP- sowie den Instrumententisch einbezieht, wodurch direkte oder indirekte aerogene Wundkontaminationen ausgeschlossen werden können; dies gilt auch für den Fall, daß sich unter dem OP-Personal ein Disperser eines potentiell pathogenen virulenten Stammes befindet. Andererseits führt eine solche RLT-Anlagen-Konzeption zu beträchtlichen finanziellen Einsparungen

beim Bau und Betrieb der Anlagen, weil die Dimension der gesamten RLT-Anlage, der für die Beförderung der Luft erforderlichen Ventilatoren sowie der luftführenden Kanäle wesentlich reduziert werden kann. Diese Einsparungen gelten explizit auch angesichts der per se relativ kostenintensiven Installation eines LAF in den OP-Sälen. Ein Kostenvergleich zwischen einer konventionellen RLT-Anlage nach DIN 1946/4 [35] und dem neuen RLT-Anlagen-Konzept hat bereits gezeigt, daß die großen LAF-Schutzbereiche ohne Mehrkosten zu realisieren sind, selbst wenn man dabei nur die Investitionen für den Bereich der OP-Säle betrachtet [110]. Das bedeutet natürlich, daß der Verzicht auf das Konzept der DIN 1946/4 bezogen auf die vollständige OP-Abteilung zu beträchtlichen Einsparungen führen wird.

Ein wesentlicher Vorteil der neuen Konzeption in der klinischen Praxis ist die Gleichstellung der verschiedenen operativen Fächer hinsichtlich der hygienischen Anforderungen beim Operieren: Jede Operation kann in jedem OP-Saal durchgeführt werden, weil alle Säle raumlufttechnisch identisch ausgestattet sind, und kein Fachgebiet braucht höhere hygienische Anforderungen zu beanspruchen, weil in jedem Saal die höchsten Anforderungen realisiert sind. Dies ist auch in Hinsicht auf eine fachübergreifende Nutzung der OP-Säle von großer praktischer Bedeutung.

Das neue RLT-Anlagen-Konzept erleichtert darüberhinaus die Mitarbeiterschulung, weil man sich nur noch auf den OP-Saal konzentrieren muß. Dabei behält allerdings weiterhin der Aspekt eines angemessenen Personalverhaltens während der OP eine hohe Bedeutung, weil natürlich auch eine stabile turbulenzarme vertikale Verdrängungsströmung durch ungünstiges Personalverhalten gestört und damit in ihrer prinzipiellen Effektivität reduziert werden kann.

Die Ergebnisse dieser Literaturübersicht zeigen schließlich auch, daß das Konzept der DIN 1946/4 [35] nie auf einer rationalem Basis stand; vielmehr hat sich darin wohl der damalige Zeitgeist unreflektiert niedergeschlagen. Die heutige Zeit ist jedoch in hohem Maße dem Prinzip der ‚Evidence-based Medicine‘ verpflichtet. Deshalb müssen auch die RLT-Anlagen-Konzepte an diese Entwicklung angepaßt werden.

Literatur

1. Meers P, McPherson M, Sedgwick J. Infection Control in Healthcare. 2. Auflage, Stanley Thornes Publishers Ltd., Cheltenham, 1997
2. Levenson SM, Trexler PC, Malm OJ, Horowitz RW, Moncrief WH Jr. A disposable plastic isolator for operating in a sterile environment. *Surgical Forum* 1960; 11: 306-308
3. Charnley J. A sterile-air operating theatre enclosure. *British Journal of Surgery* 1964; 51: 195-202
4. Charnley J. A clean-air operating enclosure. *British Journal of Surgery* 1964; 51: 202-205
5. Charnley J, Eftekhar N. Postoperative infection in total prosthetic replacement arthroplasty of the hip joint with special reference to the bacterial content of the air of the operating room. *British Journal of Surgery* 1969; 56: 640-649
6. Laufman H. Current status of special air-handling systems in operating rooms. *Medical Instrumentation* 1973; 7: 7-15
7. Laufman H. What's wrong with our operating rooms? *American Journal of Surgery* 1971; 122: 332-343
8. Laufman H. Surgical hazard control – Effect of architecture and engineering. *Archives of Surgery* 1973; 107: 552-559
9. Laufman H. The operating room. In: Bennett JV, Brachman PS (Hrsg.) *Hospital Infections*. Little, Brown and Company, Boston, 1979, S. 129-137
10. Charnley J. Operating-theatre ventilation. *Lancet* 1970; 1: 1053-1054
11. Altemeier WA, Culbertson WR, Hummel RP. Surgical considerations of endogenous infections – Sources, types, and method of control. *Surgical Clinics of North America* 1968; 48: 227-240
12. Seropian R, Reynolds BM. The importance of airborne contamination as a factor in postoperative wound infection. *Archives of Surgery* 1969; 98: 654-658
13. Bernard HR, Cole WR. Bacterial air contamination and its relation to post-operative sepsis. *Annals of Surgery* 1962; 156: 12-18
14. Howe CW, Marston AT. A study on sources of postoperative staphylococcal infection. *Surgery in Gynecology and Obstetrics* 1962; 115: 266-275
15. Blakemore WS, McGarrity GJ, Thurer RJ, Wallace HW, MacVaugh III H, Coriell LL. Infection by air-borne bacteria with cardiopulmonary bypass. *Surgery* 1971; 70: 830-838
16. Shaw D, Doig CM, Douglas D. Is airborne infection in operating-theatres an important cause of wound infection in general surgery? *Bulletin de la Société Internationale de Chirurgie* 1974; 33: 35-41
17. Clark RE, Amos WC, Higgins V, Bemberg KF, Weldon CS. Infection control in cardiac surgery. *Surgery* 1976; 79: 89-96
18. Drake CT, Goldman E, Nichols RL, Piatruszka K, Nyhus LM. Environmental air and airborne infections. *Annals of Surgery* 1977; 185: 219-223

19. Bengtsson S, Hambræus A, Laurell G. Wound infections after surgery in a modern operating suite: clinical, bacteriological and epidemiological findings. *Journal of Hygiene, Cambridge* 1979; 83: 41-57
20. Everett WD, Kipp H. Epidemiologic observations of operating room infections resulting from variations in ventilation and temperature. *American Journal of Infection Control* 1991; 19: 277-282
21. Duhaime A-C, Bonner K, McGowan KL, Schut L, Sutton LN, Plotkin S. Distribution of bacteria in the operating room environment and its relation to ventricular shunt infections: a prospective study. *Child's Nervous System* 1991; 7: 211-214
22. Griethuysen AJA van, Spies-van Rooijen NH, Hoogenboom-Verdegaal AMM. Surveillance of wound infections in a new theatre: unexpected lack of improvement. *Journal of Hospital Infection* 1996; 34: 99-106
23. Brown IW, Jr, Moor GF, Hummel BW, Marshall WG Jr, Collins JP. Toward further reducing wound infections in cardiac operations. *Annals of Thoracic Surgery* 1996; 62: 1783-1789
24. Horan TC, Gaynes RP, Martone WJ, Jarvis WR, Emori TG. CDC definitions of nosocomial surgical site infections, 1992: a modification of CDC definitions of surgical wound infections. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1992; 13: 606-608
25. Culver DH, Horan TC, Gaynes RP, Martone WJ, Jarvis WR, Emori TG, Banerjee SN, Edwards JR, Tolson JS, Henderson TS, Hughes JM and the National Nosocomial Infection Surveillance System. Surgical wound infections rates by wound class, operative procedure, and patient risk index. *American Journal of Medicine* 1991; 91, Suppl. 3B: 152S-157S
26. Centers for Disease Control and Prevention. National nosocomial infections surveillance (NNIS) report, data summary from October 1986 – April 1997, issued May 1997. *American Journal of Infection Control* 1997; 25: 477-487
27. Wiley AM, Barnett M. Clean surgeons and clean air. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1973; 96: 168-175
28. Fitzgerald RH, Jr, Bechtol CO, Eftekhari N, Nelson JP. Reduction of deep sepsis after total hip arthroplasty. *Archives of Surgery* 1979; 114: 803-804.
29. Ritter MA, Stringer EA. Laminar air-flow versus conventional air operating systems: a seven year patient follow-up. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1980; 150: 177-180
30. Nelson JP, Glassburn AR, Talbott RD, McElhinney JP. The effect of previous surgery, operating room environment, and preventive antibiotics on postoperative infection following total hip arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1980; 147: 167-169
31. Salvati EA, Robinson RP, Zeno SM, Koslin BL, Brause BD, Wilson PD Jr. Infection rates after 3175 total hip and total knee replacements performed with and without a horizontal unidirectional filtered air-flow system. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1982; 64-A: 525-535
32. Lidwell OM, Lowbury EJJ, 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. *British Medical Journal* 1982; 285: 10-14

33. Lidwell OM, Lowbury EJJ, Whyte W, Blowers R, Stanley SJ, Lowe D. Airborne contamination of wounds in joint replacement operations: the relationship to sepsis rates. *Journal of Hospital Infection* 1983; 4: 111-131
34. Lidwell OM, Lowbury EJJ, Whyte W, Blowers R, Stanley SJ, Lowe D. Bacteria isolated from deep joint sepsis after operation for total hip or knee replacement and the sources of the infections with *Staphylococcus aureus*. *Journal of Hospital Infection* 1983; 4: 19-29
35. Deutsches Institut für Normung: Raumluftechnik - Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern (VDI-Lüftungsregeln) DIN 1946 Teil 4. Beuth Verlag, Berlin, 1989
36. Burke JF. Identification of the sources of staphylococci contaminating the surgical wound during operation. *Annals of Surgery* 1963; 158: 898-904
37. Henderson RJ. Staphylococcal infection of surgical wounds: the source of infection. *British Journal of Surgery* 1967; 54: 756-760
38. Fitzgerald RH Jr, Washington JA II. Contamination of the operative wound. *Orthopedic Clinics of North America* 1975; 6: 1105-1114
39. Hambraeus A, Benediksdóttir E. Airborne non-sporforming anaerobic bacteria. *Journal of Hygiene (Cambridge)* 1980; 84: 181-189
40. Letts RM, Doermer E. Conversation in the operating theater as a cause of airborne bacterial contamination. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1983; 65-A: 357-362
41. Rüdén H, Wullenweber M, Leberl C, Metzger K. Luftmikrobiologische Untersuchungen in einem Krankenhaus. II. Chirurgische Operationsabteilung. *Hygiene & Medizin* 1980; 5: 446-452
42. Benediksdóttir E, Kolstad K. Non-sporforming anaerobic bacteria in clean surgical wounds – air and skin contamination. *Journal of Hospital Infection* 1984; 5: 38-49
43. Oeveren W van, Dankert J, Boonstra PW, Elstrodt JM, Wildevuur CRH. Airborne contamination during cardiopulmonary bypass: the role of cardiotomy suction. *Annals of Thoracic Surgery* 1986; 41: 401-406
44. Weist K, Krieger J, Rüdén H. Vergleichende Untersuchungen bei aseptischen und septischen Operationen unter besonderer Berücksichtigung von *S. aureus*. *Hygiene & Medizin* 1988; 13: 369-374
45. Daschner F, Bassler M, Bönig G, Langmaack H, Brobmann G. Luft- und Bodenkeimpektrum in einer septischen und aseptischen Operationseinheit. *Aktuelle Chirurgie* 1984; 19: 17-20
46. Whyte W, Hambraeus A, Laurell G, Hoborn J. The relative importance of the routes and sources of wound contamination during general surgery. II. Airborne. *Journal of Hospital Infection* 1992; 22: 41-54
47. Zink RS, Iaizzo PA. Convective warming therapy does not increase the risk of wound contamination in the operating room. *Anesthesia and Analgesia* 1993; 76: 50-53
48. Mackrodt K. Damp dusting in the operating theatre: implications for bacteria counts. *British Journal of Theatre Nursing* 1994; 4: 10-13
49. Duguid JP, Wallace AT. Air infection with dust liberated from clothing. *Lancet* 1948; 2: 845-849

50. Bernard HR, Speers R, O'Grady F, Shooter RA. Reduction of dissemination of skin bacteria by modification of operating-room clothing and by ultraviolet irradiation. *Lancet* 1965; 2: 458-461
51. Beck WC, Collette TS. False faith in the surgeon's gown and surgical drape. *American Journal of Surgery* 1952; 83: 125-126
52. Charnley J, Eftekhari N. Penetration of gown material by organisms from the surgeon's body. *Lancet* 1969; 1: 172-174
53. Hill J, Howell A, Blowers R. Effect of clothing on dispersal of *Staphylococcus aureus* by males and females. *Lancet* 1974; 2: 1131-1133
54. Whyte W, Bailey PV. Reduction of microbial dispersion by clothing. *Journal of Parenteral Science and Technology* 1985; 39: 51-60
55. Blomgren G, Hambraeus A, Malmberg A-S. The influence of the total body exhaust suit on air and wound contamination in elective hip-operations. *Journal of Hospital Infection* 1983; 4: 257-268
56. Bergmann BR, Hoborn J, Nachemson AL. Patient draping and staff clothing in the operating theatre: a microbiological study. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* 1985; 17: 421-426
57. Blomgren G, Hoborn J, Nyström B. Reduction of contamination at total hip replacement by special working clothes. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1990; 72-B: 985-987
58. Scheibel JH, Jensen I, Pedersen S. Bacterial contamination of air and surgical wounds during joint replacement operations. Comparison of two different types of staff clothing. *Journal of Hospital Infection* 1991; 19: 167-174
59. Lippert S, Gutschik E. Bacterial sedimentation during cardiac surgery reduced by disposable clothing. *Scandinavian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 1992; 26: 79-82
60. Verkkala K, Eklund A, Ojajärvi J, Tiittanen L, Hoborn J, Mäkela P. The conventional ventilated operating theatre and air contamination control during cardiac surgery – bacteriological and particulate matter control garment options for low level contamination. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 1998; 14: 206-210
61. Bohn WW, McKinsey DS, Dykstra M, Koppe S. The effect of a portable HEPA-filtered body exhaust system on airborne microbial contamination in a conventional operating room. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1996; 17: 419-422
62. Shaw JA, Bordner MA, Hamory BH. Efficacy of the steri-shield filtered exhaust helmet in limiting bacterial counts in the operating room during total joint arthroplasty. *Journal of Arthroplasty* 1996; 11: 469-473
63. Hubble MJ, Weale AE, Perez JV, Bowker KE, MacGowan AP, Bannister GC. Clothing in laminar-flow operating theatres. *Journal of Hospital Infection* 1996; 32: 1-7
64. Cole WR, Bernard HR, Gravens DL. Control of airborne bacteria in operating rooms. *Hospitals, JAHA* 1965; 39: 79-84
65. Scott CC, Sanderson JT, Guthrie TD. Choice of ventilation system for operating-theatres – comparison of turbulent versus laminar/linear flow systems in operating-rooms and industrial clean rooms. *Lancet* 1971; 1: 1288-1291

66. Clark RE, Amos WC. Laminar flow vs conventional ventilation in operating rooms: results of a 3-yr study of airborne bacteria in a large hospital. *Surgical Forum* 1973; 24: 33-35
67. Botzenhart K, Hoppenkamps G. Vergleich der Wundkontamination in konventionell und turbulenzarm belüfteten Operationsräumen. *Zentralblatt Bakteriologie und Hygiene, I. Abt. Orig. B* 1978; 167: 29-37
68. Knapp U, Ullmann U. Ergebnisse bakteriologischer Untersuchungen von Operationswunden im konventionellen und im Laminar-Flow-Operationsraum. *Hefte Unfallheilkunde* 1978; 132: 144-146
69. Ritter MA, Eitzen HE, French MLV, Hart JB. The effect that time, touch and environment have upon bacterial contamination of instruments during surgery. *Annals of Surgery* 1976; 184: 642-644
70. Hambræus A, Bengtsson S, Laurell G. Bacterial contamination in a modern operating suite. 1. Effect of ventilation on airborne bacteria and transfer of airborne particles. *Journal of Hygiene, Cambridge* 1977; 79: 121-132
71. Franco JA, Baer H, Enneking WF. Airborne contamination in orthopedic surgery. Evaluation of laminar air flow system and aspiration suit. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1977; 122: 231-243
72. Hambræus A, Bengtsson S, Laurell G. Bacterial contamination in a modern operating suite. 3. Importance of floor contamination as a source of airborne bacteria. *Journal of Hygiene, Cambridge* 1978; 80: 169-174
73. Thomas G, Meierhans R. Hygienestatus der Raumluft in Operationssälen. Luftkeimzahlmessungen in Operationsräumen mit unterschiedlicher Raumlufttechnik. *Medizinisch-orthopädische Technik* 1979; 99: 216-227
74. Wanner HU, Huber G, Meierhans R, Weber BG. Optimale Nutzung der Lüftung zur Reduktion des Keimgehalts in Operationssälen. *Helv. chir. Acta* 1980; 47: 493-504
75. Thomas G, Thomas A, Meierhans R. Das Keimstoppsystem von Meierhans-Weber als raumluftechnische Alternative zum Laminar-air-flow und seine lufthygienische Wirksamkeit. *Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery* 1981; 98: 173-181
76. Soots G, Leclerc H, Pol A, Savage C, Fieve R. Air-borne contamination hazard in open heart surgery. Efficiency of HEPA air filtration and laminar flow. *Journal of Cardiovascular Surgery* 1982; 23: 155-162
77. Whyte W, Hodgson R, Tinkler J. The importance of airborne bacterial contamination of wounds. *Journal of Hospital Infection* 1982; 3: 123-135
78. Seipp H-M, Barth U. Zur Korrelation der Keim- und Partikelelimination in aseptischen OP-Räumen mit unterschiedlichen Zuluftsyste men. *HLH* 1992; 43: 500-505
79. Lüderitz P, Timmermann U, Liebetru th J. Zum Einfluß luftgekühlter Großgeräte auf die Schutzwirkung von Systemen zur keimarmen Belüftung in Operationsräumen. *Hygiene & Medizin* 1992; 17: 545-551
80. Kruppa B, Rüden H. Der Einfluß der Luftwechselzahl auf Luftpartikel- und Luftkeimkonzentrationen in Operations-Räumen mit konventioneller Belüftung – 1. Mitteilung: Messungen ohne Operations-Betrieb. *Zentralblatt für Hygiene* 1993; 194: 236-246
81. Kruppa B, Rüden H. Der Einfluß der Luftwechselzahl auf Luftpartikel- und Luftkeimkonzentrationen in Operations-Räumen mit konventioneller Belüftung – 2. Mitteilung:

- Messungen mit Operations-Betrieb unter Einbeziehung der OP-Personenzahl und OP-Betriebsphasen. Zentralblatt für Hygiene 1993; 194: 247-261
82. Kruppa B, Rüden H. Luftpartikel- und Luftkeimkonzentrationen in Zu- und Raumluft von Operationsräumen mit konventioneller Belüftung bei verschiedenen Luftwechselfrequenzen. Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 1993; 114: 74-78
 83. Kruppa B, Rüden H. The influence of various air exchange rates on airborne particles and microorganisms in conventionally ventilated operating rooms. Indoor Air 1996; 6: 93-100
 84. Bischoff WE, Sander U, Sander J. Raumlufotechnische Anlagen im Operationsalltag – eine praxisnahe Untersuchung. Zentralblatt für Hygiene 1994; 195: 306-318
 85. Bischoff WE, Kindermann, A, Sander U, Sander J. Vergleich von Lochblechdeckensystemen (Stützstrahldecken) mit Gewebedeckensystemen in OP-Räumen des Typs A (DIN 1946 T. 4) unter Operationsbedingungen. Zentralblatt für Hygiene 1995; 198: 84-95
 86. Babb JR, Lynam P, Ayliffe GAJ. Risk of airborne transmission in an operating theatre containing four ultraclean air units. Journal of Hospital Infection 1993; 31: 159-168
 87. Friberg B, Friberg S, Burman LG, Lundholm R, Östensson R. Inefficiency of upward displacement operating theatre ventilation. Journal of Hospital Infection 1996; 33: 263-272
 88. Chosky SA, Modha D, Taylor GJS. Optimisation of ultraclean air – the role of instrument preparation. Journal of Bone and Joint Surgery [Br] 1996; 78-B: 835-837
 89. Friberg B, Friberg S, Burman LG. Correlation between surface and air counts of particles carrying aerobic bacteria in operating rooms with turbulent ventilation: an experimental study. Journal of Hospital Infection 1999; 42: 61-68
 90. Wells WE. On air-borne infection – Study II. Droplets and droplet nuclei. American Journal of Hygiene 1934; 20: 611-618
 91. Duguid JP. The size and duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet nuclei. Journal of Hygiene (Cambridge) 1946; 44: 471-479
 92. Noble WC, Lidwell OM, Kingston D. The size and distribution of airborne particles carrying micro-organisms. Journal of Hygiene, Cambridge 1963; 61: 385-391
 93. Noble WC. Dispersal of skin microorganisms. British Journal of Dermatology 1975; 93: 477-485
 94. Montes LF, Wilborn WH. Anatomical location of normal skin flora. Archives of Dermatology 1970; 101: 145-159
 95. Casewell MW, Hill RLR. The carrier state: methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 1986; 18, Suppl. A: 1-12
 96. Hamburger M Jr, Green MJ, Hamburger VG. The problem of the ‚dangerous carrier‘ of hemolytic streptococci. Part I. Number of hemolytic streptococci expelled by carriers with positive and negative nose cultures. Journal of Infectious Diseases 1945; 77: 68-81
 97. Hamburger M Jr, Green MJ, Hamburger VG. The problem of the ‚dangerous carrier‘ of hemolytic streptococci. Part II. Spread of infection by individuals with strongly positive

- nose cultures who expelled large numbers of hemolytic streptococci. *Journal of Infectious Diseases* 1945; 77: 96-108
98. Bøe J, Solberg CO, Vogelsang TM, Wormnes A. Perineal carriers of staphylococci. *British Medical Journal* 1964; 1: 280-281
 99. Walter CW, Kundsinn RB, Brubaker MM. The incidence of airborne wound infection during operation. *Journal of the American Medical Association* 1963; 186: 908-913
 100. Kundsinn RB. Documentation of airborne infection during surgery. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1980; 353: 255-261
 101. Bethune DW, Blowers R, Parker M, Pask EA. Dispersal of *Staphylococcus aureus* by patients and surgical staff. *Lancet* 1965; 1: 480-483
 102. Sompolinsky D, Hermann Z, Oeding P, Rippon JE. A series of postoperative infections. *Journal of Infectious Diseases* 1957; 100: 1-11
 103. McIntyre DM. An epidemic of *Streptococcus pyogenes* puerperal and postoperative sepsis with an unusual carrier site – the anus. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 1968; 101: 308-314
 104. Schaffner W, Lefkowitz LB, Goodman JS, Koenig MG. Hospital outbreak of infections with group A streptococci traced to an asymptomatic anal carrier. *New England Journal of Medicine* 1969; 280: 1224-1225
 105. Dineen P, Drusin L. Epidemics of postoperative wound infections associated with hair carriers. *Lancet* 1973; 2: 1157-1159
 106. Berkelman RL, Martin D, Graham DR, Mowry J, Freisem R, Weber JA, Ho JL, Allen JR. Streptococcal wound infections caused by a vaginal carrier. *Journal of the American Medical Association* 1982; 247: 2680-2682
 107. Mastro TD, Farley TA, Elliott JA, Facklam RR, Perks JR, Hadler JL, Good RC, Spika JS. An outbreak of surgical wound infections due to group A *Streptococcus* carried on the scalp. *New England Journal of Medicine* 1990; 323: 968-972
 108. Kolmos HJ, Svendsen RN, Nielsen SV. The surgical team as a source of postoperative wound infections caused by *Streptococcus pyogenes*. *Journal of Hospital Infection* 1997; 35: 207-214
 109. Centers for Disease Control and Prevention. Nosocomial group A streptococcal infections associated with asymptomatic health-care workers – Maryland and California, 1997. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 1999; 48: 163-166
 110. (Külpmann)