

# Neue Klimatechniken unter dem Aspekt der Schadstoffausbreitung

*New air conditioning concepts for better reduction of air pollution*

R. Külpmann<sup>1</sup> und R. Meierhans<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fachbereich Heizungs- und Klimatechnik, Technische Fachhochschule Berlin

<sup>2</sup> Southern California Institut of Architecture, Los Angeles (USA)

**Zusammenfassung:** Klimaanlage sollen in Krankenhäusern zur Verbesserung der Behaglichkeit in Räumen, der optimalen lufthygienischen Verhältnisse und der sicheren Luftströmung von „reinen“ in „unreine“ Räume dienen. In den letzten Jahrzehnten wurden für diese Anforderungen eine Vielzahl von Konzepten entwickelt und umgesetzt. Dabei ist aber häufig die lufthygienische Effizienz der Anlagen nur unzureichend überprüft worden.

In dem folgenden Beitrag werden die Merkmale von neuen Klimatechniken für OP-Abteilungen aufgezeigt, die auf den Erkenntnissen der Bedeutung der Raumluft bei der Infektionsprophylaxe basieren. Sie ermöglichen eine Minimierung der Ausbreitung von Luftschadstoffen, eine verbesserte Behaglichkeit in der Nähe des OP-Tisches und sind darüber hinaus nicht kostenintensiver als herkömmliche Konzepte.

**Summary:** Air conditioning systems in hospitals are designed to fit the requirements of good thermal comfort in rooms,

optimal air quality in terms of hygienic aspects and a stable air flow direction from rooms with a high level of air quality (e.g. germ-free-air-zone) to rooms with a lower level. To meet this requirements many different air conditioning concepts have been developed and designed in the past. However proper tests for the efficiency in terms of room air quality had been performed rather rarely. This paper explains the characteristics of new air conditioning concept for surgical operation divisions which are based on the latest findings about the role of room air for the prevention of infections. This concept minimizes the spread of air pollution, improves the thermal comfort in operating theatres and is more economic than traditional systems.

**Schlüsselwörter:** Klimatechnik – Krankenhaus, Operationsraum – Luftverschmutzung – DGKH-Hygieneleitlinie

**Keywords:** Air Conditioning Systems – Operating Theatre – Air Pollution – Thermal Comfort – Guidelines.

## Einleitung

Mit der von allen Seiten aus Kostengründen geforderten „Evidence-based Medicine“ mussten auch neue, Evidenzbasierte Hygieneleitlinien als Grundlage für entsprechende Anlagen zur Heizung, Lüftung und Kühlung (HLK-Anlagen) in Spitälern entwickelt werden. Es galt, die verwobenen Argumente der Infektionsprävention und des thermischen Komforts zu entflechten und die Notwendigkeit eingebürgerter Rituale bei der Planung und der späteren Nutzung zu hinterfragen. Solche Vorhaben können nur in interdisziplinären Arbeitsgruppen bearbeitet werden, wo Krankenhaushygieniker für die medizinischen Anforderungen und Ingenieure für die technischen Lösungen zuständig sind. Mediziner beschreiben die geplanten, hygienegerechten Arbeitsabläufe und fordern für definierte Risikobereiche Evidenzbasierte Reinheitsgrade der Luft. Ingenieure nennen die notwendigen betrieblichen Randbedingungen der Nutzung (Art der Kleidung, Einflüsse von Strömungsstörkörpern, notwendige räumliche Abgrenzungen usw.), um den Anforderungen mit möglichst wenig technischem Aufwand gerecht zu werden. Sie klären auch auf, wenn aufgrund fehlender Grundlagenkenntnisse praxis- und theoriefremde Forderungen gestellt werden. Sie planen z.B. keine statischen Schutzdruckstrategien mehr, die im Grunde genommen verlangen würden, nicht nur die Fenster, sondern auch die Türen fest zu verschrauben, damit ihre komplexe Klimatechnik nicht einfach kollabiert, wenn jemand ein Fenster oder eine Tür öffnet. Heutige Konzepte müssen mit klarem Fokus auf das Wesentliche gemeinsam entwickelt werden und mit technisch einfachen und betrieblich praxisnahen Strategien arbeiten können.

Innerhalb der drei Fachgesellschaften DGKH, SGSH und ÖGHMP hat sich daher eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe der Fachgebiete Hygiene, Mikrobiologie und Ingenieurwesen zusammengefunden, um einheitliche Hygieneempfehlungen für raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern und Einrichtungen für ambulante Operationen zu definieren [1]. Krankenhaus-RLT-Anlagen, die nach der neuen Hygieneleitlinie geplant und gebaut werden, unterscheiden sich nur noch in wenigen Bereichen von gut gebauten Anlagen für Wohn- und Geschäftsräume. Erhöhte Hygieneanforderungen und die damit verbunden höheren Ansprüche an die Planung, die Ausführung und den Betrieb beschränken sich auf lokal eng begrenzte Bereiche und sind immer Evidenzbasiert und entsprechend auf ihre Qualität überprüfbar.

## Evidenzbasierte Grundsätze für neue klimatechnische Konzepte

Als Basis für die Beurteilung der Rolle der Raumluft als Infektionsquelle wurde der Stand des Wissens im Rahmen der oben erwähnten Arbeitsgruppe der Hygiene-Fachgesellschaft in einer Übersichtsarbeit über die Fachliteratur der vergangenen vier Jahrzehnte ermittelt [2]. Im Ergebnis gibt es über die Rolle von RLT-Anlagen bei der Prävention postoperativer Infektionen im OP-Gebiet nur wenige verlässliche Daten. Prinzipiell kommen aber für den Patienten vorrangig seine körpereigene Flora (endogene Infektion) und die Keimabgabe vom Personal (exogene Infektion) als Infektionsquellen in Frage.

Unter Berücksichtigung der derzeitigen technischen Möglichkeiten, des Erkenntnisstandes zur Bedeutung von RLT-Anlagen bei der Infektionsprophylaxe und zur Gewährlei-

stung arbeitsmedizinischer Standards an Arbeitsplätzen sind folgende Gesichtspunkte hervorzuheben:

1. Es gibt keine klinischen oder mikrobiologischen Studien, mit denen die Luft als relevantes Erregerreservoir für endemische POI ohne Implantation großer Fremdkörper (z.B. Gelenke) belegt werden könnte.
2. Es gibt hinreichende 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 gibt dafür allerdings nur wenige Publikationen.
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.

In älteren, thermisch noch nicht sanierten Gebäuden hat die herkömmliche Klimatechnik einen ungleich höheren Stellenwert als in einem thermisch zeitgemäß erstellten Gebäude, das nur wenig künstliche Klimatisierung benötigt, um komfortable Verhältnisse sicherzustellen. Zusätzliche Empfehlungen für RLT-Anlagen in Spitälern sollten sich daher nur noch auf Spezialräume beziehen.

Die speziellen Anforderungen sollten möglichst lokal gelöst werden und können so einem zukünftigen Wandel besser angepasst werden. Dies betrifft z.B. lokal erhöhte Luftvolumenströme mit Umluftanteilen und Schwebstofffiltern oder lokal erhöhte Außenluftraten zur Beseitigung von Luftfremdstoffen (wie Narkosegase, Desinfektionsmitteldämpfe oder extreme Geruchsbelästigungen). Auch bei Spitalklimatisierungskonzepten sollte – wie bei der Sanften Klimatechnik – eine konsequente Aufgabentrennung für den jeweiligen Heiz-, Kühl- und Lüftungsbedarf anlagentechnisch umgesetzt werden. Was bisher mit großen klimatisierten Volumenströmen an Heiz- und Kühlarbeit geleistet wurde, kann in vielen Fällen mit dem Ergebnis verbesserter Behaglichkeit durch geheizte und gekühlte Oberflächen ersetzt werden. Dazu können mit wasserführenden Rohrregistern bestückte Decken, Fußböden und teilweise auch Wände benutzt werden.

In diesem Zusammenhang wurden in der Schweiz Begriffe wie „Sanfte Klimatechnik“ (Soft Tec) oder „Schlanke Klimatechnik“ (Lean Tec) geprägt. Ihre Anwendung ist auch im Krankenhausbau möglich und aus vielerlei Gründen dringend geboten. In der neuen Hygieneleitlinie [1] sind daher die diesbezüglichen Aspekte mit integriert [3, 4].

Luft soll primär nur noch zur Sauerstoffversorgung, zum Abtransportieren von Feuchte, Gerüchen und Schadstoffen sowie in bestimmten Bereichen zum Infektionsschutz verwendet werden. Dadurch können in vielen Fällen die Inves-

titionskosten und der Platzbedarf für RLT-Anlagen entscheidend reduziert werden. In jedem Fall werden aber die Betriebskosten deutlich gesenkt; denn es sind die Außenluftraten, die die Investitions- und Betriebskosten von RLT-Anlagen maßgeblich bestimmen [5, 6].

Für Nebenräume von OP-Abteilungen wurde der oft große raumlufthechnische Aufwand schon in den 70er Jahren kritisiert. Nachdem es keine Belege für eine Auswirkung dieser Maßnahmen auf das postoperative Infektionsrisiko gibt, ist es heute nicht mehr zu vertreten, dass ein relativ hoher raumlufthechnischer Aufwand für raumlufthygienisch untergeordnete Räume wie Korridore, Ein- und Ausleitungsräume weiterhin aufrechterhalten wird.

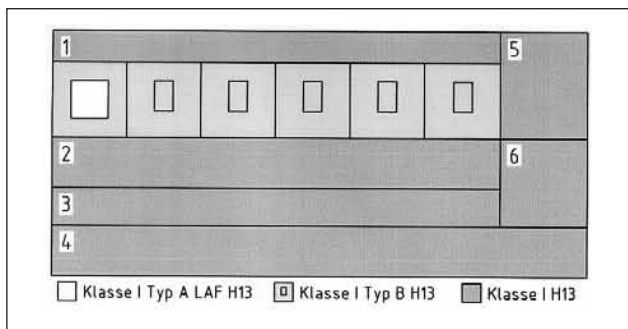
Mit Ausnahme von Räumen mit speziellen Anforderungen an die Lufthygiene kann daher die Lüftung grundsätzlich auf den erforderlichen Außenluftbedarf reduziert werden, weil sie fast keine Heiz- und Kühlfunktionen mehr zu übernehmen hat. Wie bei der zeitgemäßen Sanften Klimatechnik soll mit Luft nur noch gelüftet werden; geheizt und gekühlt wird mit geheizten und gekühlten Bauteilen (Fußböden, Decken, Wände). Zum Beispiel kann schon mit einem auf komfortable 20°C gekühlten Fußboden eine Kühllast bewältigt werden, die bei reinen Lüftungsanlagen einen vierfachen Luftwechsel mit aufwendig klimatisierter Luft notwendig macht. Der bedeutend geringere Platzbedarf für die Bauteilkühlung lässt es zu, die verbleibenden Lüftungsinstallationen ohne platzbedingte Kompromisse auf einem hohen Qualitätsstandard auszuführen.

Räume mit höchsten Anforderungen an die Lufthygiene müssen ebenfalls nur mit dem erforderlichen personen- bzw. flächenbezogenen Außenluft-Volumenstrom versorgt werden. Die Realisierung der erforderlichen Raumzonengröße mit höchster Luftreinheit, also im OP-Raum der OP- und Instrumententischbereich (sog. Schutzbereich), soll dann als dynamische Abschirmung mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung (TAV) und raumweise wirksamen Umluftreinigungssystemen erfolgen. Der hierfür erforderliche Luftstrom setzt sich also aus einer minimalen Außenluftrate und einem erheblichen Teil gefilterter, raumweise getrennter Umluft zusammen.

### Umsetzung in OP-Abteilungen

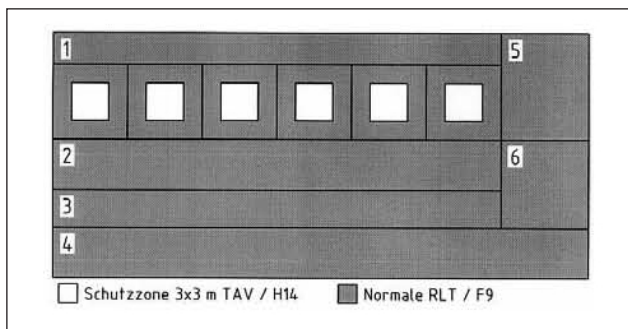
Für OP-Räume wird angestrebt, die mikrobielle Kontamination des OP-Situs durch die Luft so weit wie möglich zu reduzieren. In OP-Räumen soll deshalb der Bereich von OP- und Instrumententisch (= Schutzbereich) durch eine stabile Strömung aus schwebstoffgefilterter Luft gegenüber der übrigen Umgebung separiert werden. Der Schutzbereich wird damit von nahezu keimfreier Luft überflutet und von der übrigen Umgebung dynamisch abgeschirmt, also auch gegen die von den anwesenden Personen abgegebenen mikrobiell besiedelten Hautpartikel. Dieses Prinzip wird im Folgenden als dynamische Schutzbereichshaltung bezeichnet.

Als geeignete Strömungsform ist eine vertikale, turbulenzarme Verdrängungsströmung (TAV) mit einem primären Turbulenzgrad von < 10% anzusehen. Geeignete Luftdurchlässe sind so genannte TAV- bzw. LAF-Decken (nach dem amerikanischen Laminar Air Flow), z.B. mit Gewebe-Laminaratoren, die über dem Schutzbereich angeordnet sind. Die erforderliche Größe der TAV-Decken ergibt sich aus der notwendigen Schutzbereichsgröße und aus den strömungstechnischen Randbedingungen für die kolbenartige Luft-



**Abbildung 1:** Konzept nach DIN 1946/4 mit ca. 18.000 bis 27.000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> Außenluft (je nachdem, ob für die OP-Zuluft 50% Umluft zugelassen wird oder nicht).

1: Reiner Korridor, 2: Ein- und Ausleiten (Raumeinteilungen nach Bedarf), 3: Patientenkorridor, 4: Nebenräume, 5: und 6: Materialräume (Raumeinteilungen nach Bedarf).



**Abbildung 2:** Neues Hygienekonzept (DGKH, SGSH, ÖGHMP) mit ca. 9.000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> Außenluft und 6 TAV-Zuluftdecken mit jeweils ca. 8000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> lokaler Umluft.

1: Reiner Korridor, 2: Ein- und Ausleiten (Raumeinteilungen nach Bedarf), 3: Patientenkorridor, 4: Nebenräume, 5: und 6: Materialräume (Raumeinteilungen nach Bedarf).

strömung der Zuluft. Um einen adäquaten Schutz von OP- und Instrumententisch zu erreichen, soll ein Schutzbereich der Größe von ca. 2,8 x 2,8 Meter angestrebt werden. Das erfordert in der Regel eine TAV-Deckengröße von den Abmessungen 3,2 x 3,2 Meter. Dicht an die aktiven Abströmlächen angrenzende Schürzen von mindestens 5 bis 50 cm (je nach Strömungsgeschwindigkeit) sind dabei unverzichtbar. Innerhalb dieses Schutzbereiches befindet sich in der Regel auch noch der Arbeitsplatz des Anästhesisten. Durch die gleichmäßig ausströmende und insgesamt nicht mehr so unterkühlte Zuluft, wie sie von kleinen Zuluftdurchlässen her bekannt ist, reduzieren sich Zugerscheinungen erheblich.

Mit der Reduzierung auf „das Wesentliche“, nämlich auf die großflächige Herstellung einer dynamischen Abschirmung des Schutzbereiches von den übrigen Räumen, kommt seiner Betriebssicherheit eine erhebliche Bedeutung zu. Folglich besteht auch die Notwendigkeit der Funktionsprüfbarkeit unter realistischen Lastbedingungen. Hierfür ist in der neuen Schweizer Richtlinie SWKI 99-3 (Spitalrichtlinie) [7] bereits ein umfassendes Abnahmeverfahren aufgeführt.

Die Korridore zur Sterilgutversorgung der OP-Räume müssen bei geschlossenen Türen und Fenstern nach außen hin einen statischen Überdruck aufweisen. Den OP-Räumen gegenüber können sie einen Überdruck aufweisen, weil dort die Luftkeimbelastung wegen der höheren Personendichte

wesentlich höher liegt und weil der Schutzbereich innerhalb der OP-Räume durch die dynamische Abschirmung der TAV-Decken gegen eindringende Kontaminationen genügend abgesichert ist.

Schlussendlich garantiert der mittels TAV dynamisch abgeschirmte Schutzbereich im OP-Raum den höchsten Reinheitsgrad der Luft, während die zweithöchste Stufe der Reinheit für die Sterilgutversorgung zur Verfügung steht und sämtliche übrigen Räume der OP-Abteilung untereinander keine Maßnahmen zur Schutzdruckhaltung verlangen.

Da der hohe Außenluftstrom für die Anästhesie (mindestens 800 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> bis 1.200 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>) entweder im OP-Raum oder in der Ein- und Ausleitung benötigt wird, bietet sich eine Zuluftversorgung dieser Vorräume durch einfache Überströmung aus den OP-Räumen an. In den Vorräumen wird sie zum Bilanzausgleich der zugeführten Außenluft als Abluft weggeleitet.

Wenn für die übrigen Räume und Bereiche einer OP-Abteilung RLT-Anlagen vorgesehen werden, genügt ein personen- bzw. prozessbezogener Außenluft-Volumenstrom von 50 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> mit einer zentral angeordneten Endfilterstufe der Klasse F9 als Komfort-bedingte Grundlüftung. Fenster in Aufenthalts- und Arbeitsräumen, die geöffnet werden können, müssen durch Insektengitter gesichert sein.

In den Abbildungen 1 und 2 sind schematisch die bisherigen und die neuen Anforderungen an die einzelnen Raumbereiche skizziert; Abbildung 1: Verhältnisse nach DIN 1946/4, Abbildung 2: Verhältnisse nach der neuen Krankenhaushygieneleitlinie. Der jeweils zu erwartende energetische und flächenbedarfsseitige Aufwand wird durch die Angaben zum erforderlichen Außenluftstrombedarf deutlich.

## Literatur

1. DGKH (Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene), SGSH (Schweiz. Gesellschaft für Spitalhygiene), ÖGHMP (Österreichische Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin). Die Hygieneleitlinie der drei medizinischen Fachgesellschaften kann von folgenden Webseiten kopiert werden: [www.dgkh.de](http://www.dgkh.de), [www.sgsh.ch](http://www.sgsh.ch), [www.oeghmp.at](http://www.oeghmp.at)
2. Kappstein, I., Literaturübersicht über die Bedeutung der Luft als Erregerreservoir im OP-Gebiet, Begleitendes Dokument zur Leitlinie, 2001, [www.dgkh.de](http://www.dgkh.de)
3. Meierhans, R., Radikales Umdenken in der Klimatechnik – auch im Krankenhaus, Hyg Med 24. Jahrgang 1999 – Heft 4
4. Meierhans, R., Zimmermann M. Die Sanfte Klimatechnik setzt sich durch, SIA tec 21, 46/2001
5. Kulpmann, R., Meierhans, R., Wirtschaftlichkeitsvergleich von Operationsraum-Klimatisierungskonzepten, KI Luft- und Kältetechnik 3/2001
6. Disler, R., Garzon, A.: Vergleich SKI 87 – SWKI 99-3: Was ist neu? Beitrag auf der Fachtagung zur neuen SWKI-Richtlinie 99-3, Bern, 23. Mai 2003, Tagungsband, SWKI, CH-3322 Schönbühl-Urlenen.
7. SWKI 99-3: Schweizer Richtlinie für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage in Spitalgebäuden, (Planung, Bau, Betrieb), [www.swki.ch](http://www.swki.ch).

## Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Ing. Rüdiger Kulpmann  
Heizungs- und Klimatechnik (FB IV) / TFH Berlin  
Luxemburger Straße 10  
D-13353 Berlin  
E-Mail: [kulpmann@tfh-berlin.de](mailto:kulpmann@tfh-berlin.de)