

Gesundheitsrisiko

# Schlecht gewartete Klimaanlage (Teil 1)

Peter E. Häfliger ASHRAE / Dr. Ulrich Thies

Klimaanlagen stehen immer wieder in der Kritik für Gesundheitsgefährdung und Befindlichkeitsstörungen verantwortlich zu sein. Dies überträgt für den Betreiber von Klimaanlagen die Verantwortung, die Klimaanlage nach bestem Stand des Wissens und der Technik zu betreiben und zu warten. Häufig fehlt aber sowohl den Verantwortlichen als auch dem Wartungspersonal das notwendige Fachwissen, um einen hygienisch einwandfreien Zustand der Klimaanlagen zu gewährleisten.

Diese Artikelserie versucht daher die Hygieneproblematik von Klimaanlagen ausführlich darzustellen und dem Leser das einschlägige Fachwissen der Hygienetechnik zu vermitteln. Es wird sowohl auf die von Klimaanlagen verursachten Krankheiten und ihre Ursachen als auch auf die Problembereiche in den RLT-Anlagen eingegangen. Es wird weiterhin ein Überblick über vorhandene Richtlinien sowie Inspektions- und Analysemethoden gegeben. Ein kurzer Bericht über die Erfahrungen der Autoren mit der Wartung und Inspektion von Klimaanlagen liefert schliesslich einen Einblick in die Praxis. Viele der in diesen Artikeln behandelten Themen sind der VDI-Richtlinie 6022 entnommen, insbesondere die Abschnitte über Inspektion und Wartung von RLT-Anlagen lehnen sich stark an diese Richtlinie an.

## Einleitung

Über 80 % der Lebenszeit verbringt ein Mitteleuropäer in geschlossenen Räumen, einen Grossteil davon am Arbeitsplatz. Die Luft, die in diesen Räumen herrscht, ist – vergleichbar mit Nahrungsmitteln – ein «Über-Lebensmittel», das einen grossen Einfluss auf unser Wohlbefinden hat. Seit den Sechzigerjahren, insbesondere durch den Einzug der Grossraumbüros in die Arbeitswelt, sind immer mehr Arbeitsplätze klimatisiert. Die Klimaanlage oder allgemein ausgedrückt, die Raumlufttechnische Anlage (RLT-Anlage), die für die Luftversorgung dieser Räume zuständig ist, ist in hohem Masse verantwortlich für den Zustand des «Über-Lebensmittels Raumluft».

Das Bewusstsein für diese Bedeutung der RLT-Anlage und insbesondere ihres hygienetechnischen Zustandes hat sich aber erst in letzter Zeit entwickelt. Vollerorts sind daher Klimaanlagen nur hinsichtlich des technischen Zustandes geprüft und gewartet worden. Reinigungen fanden, wenn überhaupt, nur aus Brandschutzgründen statt. Eine Überprüfung der Hygiene und die daraus resultierende Reinigung beziehungsweise Desinfektion wurde dagegen sträflich vernachlässigt.

Dabei sind Krankheiten, die durch den Aufenthalt an Arbeitsplätzen hervorgerufen werden, seit langem bekannt. So ist die sogenannte Befeuchterlunge, die durch mit Bakterien und Schimmelpilzen verseuchten Luftbefeuchter und Klimaanlagen hervorgerufen wird, eine anerkannte und meldepflichtige Berufskrankheit. Auch die Legionellose, die als Legionärskrankheit immer wieder für Schlagzeilen sorgt, hat häufig ihren Ursprung in RLT-Anlagen. Nicht selten leiden die Nutzer von klimatisierten Räumen aber unter Symptomen, die nicht eindeutig einer Krankheit zuzuordnen sind. Vielmehr scheint das Gebäude die Menschen krank zu machen. Dieses Phänomen wird als «Sick Building Syndrom» bezeichnet [SMA].

Diese Artikelreihe gibt einen Überblick über die Hygieneproblematik von RLT-Anlagen. Im vorliegenden ersten Teil wird die Verantwortung mangelhafter Hygiene von RLT-Anlagen für die unterschiedlichen, gesundheitlichen Probleme dargestellt. Zum besseren Verständnis der Problematik erfolgt zuerst ein kurzer Exkurs in die Mikrobiologie. In den beiden folgenden Kapiteln werden dann die Anforderungen an die Hygiene von Klimaanlagen sowie die bestehenden Möglichkeiten, einen ordnungsgemässen, kontrollierten Hygienezustand zu erreichen, formuliert. Hierbei wird insbesondere auf die in Deutschland geltende VDI-Richtlinie 6022 eingegangen. Im letzten Teil wird dann auf die zukünftigen Entwicklungen sowohl hinsichtlich der Vorschriften als auch hinsichtlich der Technik zur Einhaltung eines einwandfreien Hygienezustandes eingegangen.

## Die Hygienesituation bei RLT-Anlagen in der Schweiz

Je nach Branche und Hygienevorschriften wird in Abhängigkeit des zu erzeugenden Produktes und der entsprechenden Funktionen am Arbeitsplatz sowie dem Ausbildungsstand der Anlagebetreiber die Instandhaltung mehr oder weniger professionell ausgeführt. Während zur Aufrechterhaltung der Anlagefunktionen und der rein technischen Betriebssicherheit alles notwendige unternommen wird, werden Ablagerungen bei den Luftaufbereitungselementen bis zu einem gewissen Grad in Kauf genommen und nur sporadisch beseitigt. Schmutzablagerungen in den Lüftungskanälen werden jedoch kaum beachtet, weil häufig die Meinung vorherrscht, die Wirkung der Filter genüge als Schutz vor Verunreinigungen.

Die Kontrolle des Luftkanalnetzes wird in den Wartungsvorschriften immer noch untergeordnet behandelt und bei der Reinigung kaum erwähnt. Ausnahmen bestehen häufig nur bei Anlagen von Kliniken und Krankenhäusern sowie bei Produktionsanlagen für Nahrungsmittel und pharmazeutische Produkte, wobei auch hier in eigenen Untersuchungen erschreckende Zustände entdeckt wurden.

Dem hygienischen Zustand einer Raumlufttechnischen Anlage wird generell zu wenig Beachtung geschenkt. Weil Kontrollmöglichkeiten relativ aufwändig durchzuführen sind, zumal für die Durchführung spezifisches Fachwissen erforderlich und vorgeschrieben ist, beschränken sich Inspektionen häufig nur auf den technischen Bereich. Die Folge dieser einseitigen Wartungstätigkeit führt zu hygienischen Mängeln der RLT-Anlagen. Gesundheitliche Beeinträchtigungen können die Folge sein.

Hygienische Mängel bei RLT-Anlagen sind in der Zukunft ernst zu nehmen, da die Folgen der Beeinträchtigungen am Arbeitsplatz letztlich zu Arbeitsausfällen und zu Qualitätseinbussen beim Produkt und damit zu wettbewerbsverzerrenden Kostensteigerungen führen.

## Intervention infolge auftretender Mängel oder Beschwerden am Arbeitsplatz

In den meisten Fällen wird immer erst gehandelt, wenn die Probleme eskalieren. Die beauftragten Firmen, welche die Reinigung von Raumlufttechnischen Anlagen durchführen, stellen oftmals fest, dass die Wartung der Anlagen mangelhaft oder gar nicht erfolgt ist. Häufig sind Anlagen mehrere Jahre in Betrieb, ohne dass im nicht

sichtbaren beziehungsweise zugänglichen Bereich eine Reinigung durchgeführt wird. Unter anderem entsteht dadurch für Abluftanlagen ein erhöhtes Brandrisiko; Zuluftanlagen, gegebenenfalls Umluftkomponenten beziehungsweise -kanäle, entwickeln sich infolge mangelhafter Hygiene zu einem begünstigten Nährboden für Krankheitserreger.

Um die Problematik der mangelhaften Hygiene von RLT-Anlagen richtig zu verstehen, wird nachfolgend dargestellt, wie eine mikrobiologische Belastung der Luft entsteht. Anschliessend wird auf die wichtigsten Krankheitsbilder eingegangen, welche durch luftgetragene Aerosole und damit durch Klimaanlage hervorgerufen werden können.

### Krank durch Klimaanlage?

Scheint morgens das Sonnenlicht durch die Fenster eines im Dunkeln liegenden Raumes, so sieht man im Lichtkegel hunderte kleine Staubfäden und Partikel, die in der Luft schweben. Diese feinst verteilten festen oder flüssigen Stoffe werden als Aerosole bezeichnet. Mit blossen Augen sind dabei nur die grösseren Partikel sichtbar. Kleinere Aerosole treten etwa mit einer Anzahl von  $10^7/m^3$  Partikel in der städtischen Aussenluft auf. Diese Bestandteile kön-



Dampfbefeuchter mit stehendem Kondensat bilden eine ideale Brutstätte für Mikroorganismen.



Solche Mängel, die auch bei neuen Anlagen auftreten, werden bei einer regelmässigen Inspektion frühzeitig erkannt und können mit geringem Aufwand beseitigt werden, bevor grösserer Schaden entsteht.

nen Krankheiten oder Allergien hervorgerufen, denn mit einer Oberfläche von zirka  $130 m^2$  bietet die menschliche Lunge eine sehr grosse Angriffsfläche. Da Aerosole überall anzutreffen sind, ist der menschliche Organismus mit seinem Abwehrsystem im Normalfall auf diese eingestellt. Steigt die Konzentration bestimmter Stoffe jedoch über ein zulässiges Mass an oder ist die Expositionsdauer, das heisst die Dauer, die der Organismus einem bestimmten Stoff ausgesetzt ist, zu lang, so besteht die Gefahr von Allergien und Krankheiten.\* Die Bedeutung von Klimaanlage beruht darauf, dass sie für die Luftversorgung von geschlossenen Räumen verantwortlich sind. Dies soll darauf hindeuten, dass der Nutzer der Räumlichkeiten den Partikeln, die durch die Klimaanlage in den Raum eingebracht werden, über eine längere Zeit ausgesetzt ist und das häufig bei einer deutlich höheren Partikelkonzentration als in der Aussenluft. Dabei können die Stoffe sowohl aus der Aussenluft in die Klimaanlage eingebracht werden, als auch in der Klimaanlage selbst, bedingt durch mangelhafte Hygiene, entstehen.

### Biologische Belastung der Raumluft – Entstehung und Wirkung

Überall dort, wo Ablagerungen vorhanden sind und sich Staub und Feuchtigkeit ansammeln, können sich, je nach Temperatur und Luftbewegung, auch Mikroorganismen ansiedeln und vermehren.

#### Unterscheidung der Mikroorganismen

Für die Lufthygiene sind vor allem Bakterien, Schimmelpilze und Hefen interessant. Bakterien haben eine nur wenig differenzierte Morphologie, die sich hauptsächlich von dem Stäbchen und der Kugel ableitet. Der Durchmesser der Bakterien beträgt durchschnittlich  $0,5$  bis  $1 \mu m$ . Die stäbchenförmigen Bakterien sind bis zu  $3 \mu m$ , sogenannte Langstäbchen bis zu  $15 \mu m$  lang. Bakterien haben unter optimalen Bedingungen eine Generationszeit von zirka 20 Minuten. Ein weiteres Ordnungskriterium von Bakterien ist die Gramfärbung. Sie lassen sich unterteilen in gram-positive und gram-negative Bakterien\*\*. Einige pathogenen (krankmachenden) gram-positiven Bakterien sind kugelförmig und werden abhängig ihrer Anordnung als Kokken bezeichnet, ein Grossteil der gram-negativen eingestuften Bakterien weisen eine längliche Form auf und werden als Stäbchen bezeichnet.

Schimmelpilze und Hefen gibt es wiederum in zahlreichen Formen, die mehr oder weniger schädlich für den menschlichen Organismus sind. Dabei spielt die Gattung Aspergillus eine bedeutende Rolle. Der Schimmelpilz «Aspergillus flavus» ist für die Bildung des Mykotoxins (Pilzgift) Aflatoxins verantwortlich; einem Stoffwechselprodukt, das hinsichtlich der Giftigkeit mit Zyankali gleichgesetzt werden kann und eine stark krebserregende (kanzerogene) Wirkung besitzt.

Bakterien und Schimmelpilze können in ihrer eigentlichen Lebensform, als auch durch Sporenbildung sowie ihrer Ausscheidungsprodukte unterschiedliche Krankheitssymptome beim Menschen hervorrufen. In letzter Zeit sind auch die Zerfallsprodukte von gram-negativen Bakterien, die sogenannten Endotoxine in Verdacht geraten, allergische Reaktionen bei sensibilisierten Menschen hervorrufen zu können. Endotoxine sind natürliche Komponenten der Zellwand gram-negativer Bakterien. Beim Absterben der Zellen werden die Endotoxine freigesetzt. Insbesondere werden sie verantwortlich für das Organic Dust Toxic Syndrom (ODTS) gemacht.

### Quellen, Arten, Konzentrationen und Verbreitung der Mikroorganismen

Die Luft ist ein Medium, in dem sich Mikroorganismen weder vermehren noch für eine unbefristete Zeit aufhalten können. Ursprung und Ansiedlungsort luftgetragener Mikroorganismen sind immer Boden, Wasser oder belebte Organismen. Die Anzahl und Art dieser Mikroorganismen hängt von der Menge ab, in der sie an die Luft abgegeben werden, von der Partikelgrösse, von der Zeit, die sie in der Luft verbringen, von der Sedimentation, der schädigenden Wirkung infolge Austrocknung, UV-Licht und antimikrobiellen Substanzen, wie Ozon sowie von ihrer Resistenz gegenüber schädlichen Einflüssen. Die Mikroorganismen gelangen als Bioaerosole (luftgetragene Partikel biologischer Herkunft) wie folgt in die Luft:

\* Die Entstehung von Aerosolen, insbesondere von Bioaerosolen sowie deren Verbreitung in Klimaanlage wird im Kapitel «RLT-Anlagen und Hygiene» im 2. Teil im nächsten Spektrum<sup>ST</sup> beschrieben.

\*\* Die Begriffe «gram-positiv» bzw. «gram-negativ» beschreiben, dass die so bezeichneten Bakterienarten im getrockneten Zustand auf einem Objektträger bestimmte Farbstoffe bei der «Gram-Färbung» annehmen (gram-positiv) oder nicht (gram-negativ). Durch diese Einfärbung lassen sich dann die Bakterienarten unter dem Mikroskop leicht auseinanderhalten.

- als isolierte Partikel ohne wesentlichen Anteil von Begleitsubstanzen;
- an festen Teilchen haftend wie Hautschuppen, Pflanzenteilen oder Bodenpartikel;
- in Tröpfchen.

Grösse und Art der Partikel sind charakteristisch für die Herkunft der Keime und für ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

#### *Mikroorganismen als freie einzelne Keime*

Als freie einzelne Keime werden vor allem Pilzsporen freigesetzt. Die mikroskopische Betrachtung des verspornten Pilzfadens (Luftmyzels) wie beispielsweise bei *Penicillium spec.* zeigt, wie sich die Konidien im Luftzug bewegen und beim geringsten Anlass sofort ablösen. Diese Eigenart in Verbindung mit der Lichtresistenz und der Fähigkeit, sich auf relativ trockenen beziehungsweise hochosmolaren Nährböden zu vermehren, verleiht den Schimmelpilzen eine ausserordentlich leichte Verbreitung über die Luft.

#### *Staub und biologische Bestandteile*

Bakterien und Hefen gelangen häufig zusammen mit Teilen eines Substrates in die Luft, wie zum Beispiel an Hautschuppen, Staub vom Erdboden, Pflanzenteilen, Haaren und Federn, Kotpartikeln und Fasern von den Bekleidungsstücken.

Die Sedimentationsgeschwindigkeit (Sinkgeschwindigkeit) bei kleinen Partikeln, wie zum Beispiel kleinen Bakterien (0,2–2 µm) liegt bei ca. 0,01 mm/s, grössere Pollen (20–100 µm) sedimentieren dagegen mit einer Geschwindigkeit von 10–100 mm/s. Dies bedeutet, dass kleinere Partikel zum Teil erhebliche Strecken zurücklegen können. Selbst 1000 km westlich der USA wurden über dem Pazifik noch drei Sporen/Pollen pro m<sup>3</sup> vorgefunden. Grampositive Kokken, die unter anderem auch auf der Haut vorkommen, sind, infolge ihrer längeren Überlebensfähigkeit, auch häufig in der Luft vorhanden. Die Verweilzeit gramnegativer Erreger hingegen, im luftgetragenen Zustand, reicht für weitreichende Verschleppungen und Kontaminationen innerhalb von Gebäuden nur, wenn sie in grösserer Menge versprüht werden. Absterbevorgänge von Mikroorganismen im Staub sind, wie Untersuchungen zeigen, ausserordentlich langsam, so dass von dort immer eine Remobilisierung zu er-

warten ist, sofern keine zusätzlichen Schadfaktoren einwirken.

#### *Tröpfchen als Mikroorganismusträger*

Tröpfchen sind als Träger von Mikroorganismen besonders wichtig. Fast alle natürlich vorkommende Feuchtigkeit ist mikrobiell besiedelt, ob bei Wasser oder Körpersekreten, letztere oft mit hohen Keimzahlen (bei Speichel zwischen 10<sup>7</sup> und 10<sup>8</sup> Mikroorganismen/ml). Besonders durch stark bewegte Wasseroberflächen, wie zum Beispiel Meeresbrandung, Abwasserkanalstufen, Kühltürmen und Luftbefeuchtern von RLT-Anlagen werden diese Tröpfchen freigesetzt. Eine sprudelnde Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> setzt durch zerplatzende Blasen zirka 3 x 10<sup>6</sup> Tröpfchen pro Sekunde frei. Die grossen Tropfen werden in RLT-Anlagen meist durch Tropfenabscheider zurückgehalten, jedoch nicht die feinen Partikel.

In den Tröpfchen sind die Keime zunächst vor Austrocknung geschützt, so dass ihre Vitalität erhalten bleibt. So können durch die Luft auch gramnegative Bakterien übertragen werden, wie zum Beispiel Legionellen. Daher wird die Tröpfcheninfektion besonders gefürchtet. Die Tröpfchen unterliegen der Schwerkraft (Sedimentation) und der Verdunstung, solange die relative Feuchte der Luft unter 100 % liegt. Verdunstet das Wasser, so bleiben die festen Bestandteile des Tröpfchenaerosols als Tröpfchenkerne bestehen. Diese Tröpfchenkerne können ebenfalls sehr klein sein und aus einzelnen Bakterien mit sehr wenig Trockenrückstand bestehen.

#### **Mikroorganismen in der Aussenluft**

In der Aussenluft befinden sich vor allem pigmentierte Kokken, *Bacillus*-Arten und Schimmelpilze sowie deren Sporen, Stoffwechselprodukte und Zerfallsprodukte. Sie stammen überwiegend vom Boden und von Pflanzen, die sehr dicht mit Bakterien und Pilzen besiedelt sind.

In Abhängigkeit der Witterungsverhältnisse, der Sonneneinstrahlung, der Luftgeschwindigkeit, der Turbulenz und der Höhe über dem Erdboden entstehen mikrobielle Konzentrationen zwischen 10 und 10 000 KBE<sup>\*\*\*</sup>/m<sup>3</sup>. Unter bestimmten Gegebenheiten können diese Keimzahlen auch wesentlich höher sein, besonders wenn pflanzliches Material durch Wind oder menschliche Aktivitäten aufgewirbelt wird wie zum Beispiel im Herbst, durch verrottetes Laub oder

Pflanzenteile beziehungsweise beim Mähreschen und Heuwenden. Die dabei freiwerdenden Mikroorganismen, überwiegend Schimmelpilze, führen nur in seltenen Fällen zu Infektionen, können aber Allergien sowie Verderbvorgänge bewirken.

Auch bestimmte technische Einrichtungen können grosse Mengen von Mikroorganismen an die Aussenluft abgeben, namentlich durch Freisetzung feiner Tröpfchen, die in der Luft verdunsten, wobei der getrocknete Anteil als Tröpfchenkerne sehr lange in der Luft schweben kann und Mikroorganismen mit sich führt. Beispiele hierfür sind Kühltürme von Kraftwerken oder grösseren Kälteanlagen, Kläranlagen usw.

Die mikrobielle Emission solcher Anlagen ist häufiger Gegenstand von Untersuchungen und kann in einem gewissen Umfang in der Umgebung der Anlagen nachgewiesen werden, bei bodennahen Quellen bis zu einer Entfernung von 1000 m.

#### **Mikroorganismen in der Raumluft**

Völlig anders ist die Situation im Innern von Gebäuden. Bei fehlender Verdünnung durch Zufuhr frischer Luft, bei geringen Entfernungen und beim Fehlen von UV-Strahlung sowie anderen Einflüssen können auch kleine Emissionsquellen hohe Konzentrationen von Mikroorganismen in der Luft erzeugen. Bei fehlender Turbulenz der Luft kann es aber auch zu schnellerer Sedimentation kommen als in der Aussenluft. Die Konzentration in der Raumluft liegt häufig zwischen 100 und 1000 Mikroorganismen pro m<sup>3</sup>, bei grösserer Aktivität kann es aber auch höher sein.

#### *Vom Menschen abgegebene Mikroorganismen*

Von Menschen werden im allgemeinen um 1000 Mikroorganismen/min, überwiegend *Staphylococcus epidermidis* und coryneforme Bakterien entsprechend der Mikroflora der Haut, abgegeben. Die Zahl ist abhängig vom Geschlecht, vom Zustand der Haut von der Bewegungsaktivität und von der Kleidung. Der Partikeldurchmesser von Hautschuppen, einer wichtigen Fraktion der keimtragenden Partikel in der Raumluft, beträgt zirka 14 µm. Im Innern bewohnter Räume kommen pathogene Mikroorganismen, also Mikroorganismen, die zu Erkrankun-

\*\*\* KBE = Kolonie bildende Einheiten.

gen führen können, viel häufiger vor, als in der Aussenluft.

Wenn in Innenräumen Aerosole mit hohen Keimkonzentrationen erzeugt werden, können auch Arten, die normalerweise in der Luft nicht vorhanden sind, zum Spektrum von Mikroorganismen gehören wie beispielsweise Flavobakterien, Pseudomonaden, Enterobakterien und Legionellen, die Infektionen oder Verderbvorgänge bewirken können, während die gleichen Vorgänge in der Aussenluft infolge der grossen Verdünnung, der Lichteinwirkung und anderer Einflüsse nur eine geringe Auswirkung haben.

**Wirkung auf den Menschen**

Im Normalfall werden Partikel mit einem Durchmesser grösser 8 µm bereits in der Nase herausgefiltert. Teilchen kleiner 8 µm gelangen in den inneren Lungenbereich (thorakale Bereiche) und nur Teilchen kleiner 4 µm bis in die Lungenbläschen (Alveolen). Die Alveolen sind kleine von Blut umflossenen Bläschen, an deren Wand der Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid zwischen Lunge und Blutkreislauf stattfindet. Der Durchmesser der Alveolen beträgt 0,2–0,3 mm. Ihre Zahl wird auf 300 Millionen geschätzt.

Dringen pathogene Keime bis in die Alveolen vor, so können Sie durch die Zellmembran in den Blutkreislauf gelangen und dort ihre schädigende Wirkung entfalten.

Die Tabelle gibt einen Überblick über den Durchmesser von relevanten Bioaerosolen. Bioaerosole können grundsätzlich Infektionen, Allergien und toxische Wirkungen beim Menschen hervorrufen. Die Symptome reichen von verstärktem Husten über chronische Bronchitis, allergischem Asthma, den verschiedenen Formen der exogen-allergischer Alveolitis (EAA) über toxische Syndrome (Organic Dust Toxic Syndrom, ODTs) bis hin zu Krebs und Infektionskrankheiten. Auf die wichtigsten Befindlichkeitsstörungen und Krankheiten, die in Zusammen-

Partikeltyp	Durchmesser [µm]
Viren	0,02–0,3
Bakterien	0,2–10
Bakteriensporen	0,5–1,5
Pilzzellen, Pilzfäden	10
Pilzsporen	2–8
Moossporen	5–30
Pollen	5–250

Durchmesser unterschiedlicher Bioaerosole [Gli-01]

hang mit Raumluft und Klimaanlage gebracht werden, wird im Kapitel «Das Sick Building Syndrom und Building Related Illness» in Teil 2 eingegangen.

Erwähnt werden muss, dass über die Wirkung von Bioaerosolen auf den Menschen noch umfangreichere Untersuchungen stattfinden müssen. Insbesondere sind für viele Stoffe noch immer keine Grenzwerte definiert. Auch sind die pathogenen Mechanismen häufig ungeklärt und auch Erfahrungen zur Expositionsdauer und Konzentration, die zu Krankheiten führen, sind noch nicht ausreichend vorhanden. Ein wichtiger Schritt wäre zudem die Standardisierung von Messmethoden zur Erfassung von Bioaerosolen [Gli-01]. (Fortsetzung folgt)

**Bezugsquellen / Literaturhinweise**

- Lehrbuch der Hygiene von Grundmann, Rüden, Sonntag, G. Fischer Verlag Stuttgart und New York, Ausgabe 1991
- Taschenbuch Heizung und Klimatechnik von Recknagel, Sprenger, Schramek, Oldenburg Verlag München und Wien
- Hygiene, Präventivmedizin, Umweltmedizin systematisch von K. Fiedler, UNI-MED Verlag Lorch/Württemberg, Ausgabe 1995
- Raumlufttechnik, Zwischenbericht zum ProKlima Projekt von W. Schmid, Heizung Klima, 5/99 und Spektrum<sup>GT</sup> 11/2000
- Hygieneverbesserung in Lüftungsanlagen von H. P. Läng, Heizung Klima, 7/96
- Hygienische Anforderungen an die RLT-Anlagen von H. P. Läng, Heizung Klima, 11/2000
- Zielwerte für Lüftungsanlagen von B. Wahlen, Spektrum<sup>GT</sup>, 3/98
- Gebäudemonitoring, ein Qualitätssicherungsinstrument von P. E. Häfliger, Novartis Services AG, Publikation Robe Verlag AG, 1998
- Betreuung von Reinräumen durch eine virtuelle Gebäudeorganisation, von P. E. Häfliger, Novartis Services AG, Publikation Robe Verlag AG, 1998, [www.gbt.ch/knowhow/Doc500029/virtuell.htm](http://www.gbt.ch/knowhow/Doc500029/virtuell.htm)
- Airless, Wartung von RLT Anlagen von B. Müller und K. Fitzer, Heizung Klima, 4/2000
- Luftkanalreinigung, Stiefkind der Gebäudetechnik von U. Sterkle, Robe Verlag AG, Spektrum<sup>GT</sup>, 3/2001
- Reinigung und Desinfektion von Klimaanlage von Hr. Thibaut, Klima Becker, [www.klima-becker.de/thibaut.html](http://www.klima-becker.de/thibaut.html), Letzte Aktualisierung 6/2001
- [SMA] – Sylvia Mackensen von Astfeld «Das Sick-Building-Syndrom unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses von Mobbing, Hamburg 2000
- [Gli-01] – Dr. Gunter Linsel: «Bioaerosole – Entstehung und biologische Wirkung», Informationsschrift der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin 2001.

**Autoren**

- P. E. Häfliger ASHRAE, [haefliger@balcab.ch](mailto:haefliger@balcab.ch)
- Dr. U. Thies, [thies@atw-ivensys.de](mailto:thies@atw-ivensys.de)