



■ Wasser-Aerosole sind kleinste, in der Luft schwebefähige Wasser-Tröpfchen. Wegen ihrer geringen Größe verdunsten sie schlecht, werden von Tropfenabscheidern je nach Größe nicht zurückgehalten und können tief in die Atemwege eindringen.

Luftbefeuchtungsanlagen hygienegerecht planen

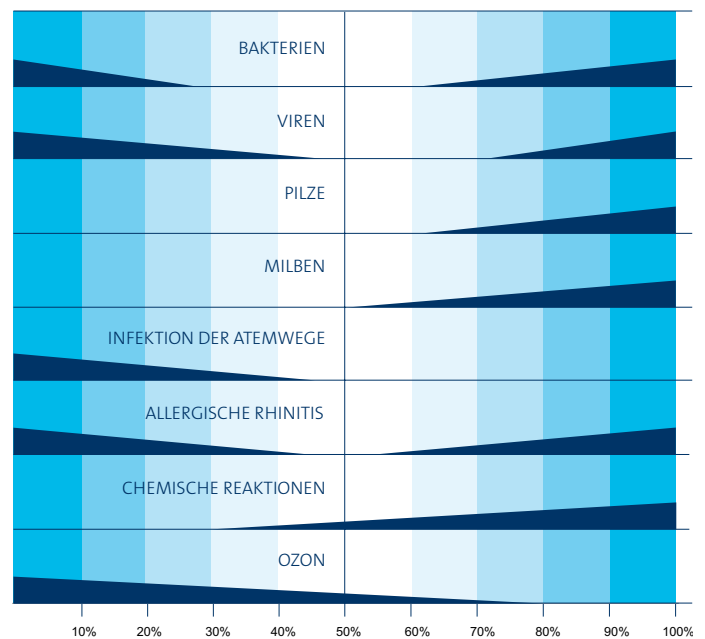
Dipl.-Ing. Christian Bremer*

Atemluft ist unser wichtigstes Lebensmittel. Für Behaglichkeit, Gesundheitsschutz und Immunabwehr ist ein angemessener Feuchtegehalt der Atemluft unerlässlich. Dabei spielt die Hygiene bei der Luftbefeuchtung eine wichtige Rolle. Aktuelle Regelwerke wie die VDI 6022 geben wertvolle Hinweise zu Konstruktion, Planung, Herstellung und Anlagenbetrieb. Einerseits ist bei der Gebäudeklimatisierung die Luftbefeuchtung nicht wegzudenken, andererseits gilt es, grundlegende mikrobiologische Zusammenhänge zu beachten.

Durch die Beheizung der Außenluft während der kalten Jahreszeit kann die Luftfeuchtigkeit in Innenräumen unter 30% relative Feuchte absinken. Personen, welche über längere Zeit solch trockener Raumluft ausgesetzt sind, leiden dann häufig unter Austrocknungserscheinungen. Dabei kommt es hauptsächlich zur Austrocknung der

Atemwegschleimhäute, die dann Staub, Schmutz und Krankheitserreger nicht mehr schnell genug aus den Atemwegen abtransportieren können. Durch ihre längere Verweildauer im Atemtrakt steigt somit die Gefahr von Atemwegserkrankungen. Typische Folgen sind Husten, Schnup-

■ Das Scofield/Sterling-Diagramm zeigt für Behaglichkeit und Gesundheitsschutz relevante Wechselwirkungen bei unterschiedlichen Raumluftfeuchten. Im optimalen Bereich zwischen 40 u. 60% relativer Feuchte ist die Gefährdung durch unerwünschte Mikroorganismen sowie das Auftreten spezifischer Krankheitssymptome minimal.



fen, Bronchitis und Nebenhöhlenentzündungen.

Bereits vor dem Auftreten von akuten Erkrankungen führt zu trockene Raumluft oft zu Sekundär-Erscheinungen wie unbehaglichem Empfinden des Raumklimas, verminderter Leistungsfähigkeit, Abgeschlagenheit, Augenbrennen oder dem typischen Kratzen im Hals. Während ungünstige Lufttemperaturen von Personen sehr sensibel wahrgenommen werden, fällt zu geringe Luftfeuchtigkeit zunächst meist nur durch diese Sekundär-Erscheinungen auf. Optimale Luftzustandswerte für Behaglichkeit und Gesundheitsschutz liegen im Bereich von 21 bis 22°C und relativen Luftfeuchten zwischen 40 und 60%. Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, dass das individuelle Empfinden des Raumklimas persönlichen Präferenzen unterliegt und scharfe Abgrenzungen nicht vorgenommen werden können. Insbesondere ist ein Zusammenhang der als behaglich empfundenen Luftfeuchte und dem Staubgehalt der Raumluft vorhanden. Dieser Staubgehalt lässt sich durch die Wahl der Einrichtungsgegenstände zwar in gewissen Grenzen beein-

*) Dipl.-Ing. Christian Bremer, Spartenleiter Befeuchtung, Prokurist und Mitglied der Geschäftsleitung der Walter Meier (Klima Deutschland) GmbH



■ Mehrfach-Dampfverteilsysteme wie das „Condair OptiSorp“ von Walter Meier verteilen den Dampf gleichmäßig über den gesamten Luftstrom und erzielen dadurch sehr kurze Befeuchtungsstrecken.

flussen, Reinraum-Luftqualitäten sind jedoch in den üblichen Aufenthaltsbereichen naturgemäß nicht zu erreichen. Angemessene Luftbefeuchtung während der Heizperiode führt deshalb zu behaglicher Raumluftqualität und dient dem Gesundheitsschutz.

Geforderte Luftfeuchte

Bei den geforderten Werten für die Mindestluftfeuchtigkeit in Komfortbereichen wird zwischen theoretischer Annahme und tatsächlichen Praxiserfahrungen unterschieden. Hier stellt sich sehr schnell heraus, dass dabei nur vordergründig Widersprüche vorhanden sind, wenn man sich einmal das individuelle Behaglichkeitsempfinden vor Augen führt. Der Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit ist offensichtlich.

Das Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. legt den unteren Grenzwert für die relative Luftfeuchtigkeit in Komfortbereichen mit 40% fest. Dieser Wert wurde nach aller Erfahrung aus Hygiene-, Behaglichkeits- und Produktivitätsgründen als richtig einge-

stuft und stützt sich auf umfangreiche Grundlagen aus Wissenschaft und Arbeitsmedizin.

Bei der Lüftung von Nichtwohngebäuden fordert die DIN EN 13779: „Im Bereich üblicher Raumlufttemperaturen zwischen 20 und 26°C entstehen in der Regel kaum Behaglichkeitsprobleme wenn die re-

lative Feuchte zwischen 30 und 70% liegt.“ Einerseits wird damit der Zusammenhang zwischen Temperatur und relativer Feuchte dokumentiert, andererseits sind die Werte gleichen Behaglichkeitsempfindens exakt in dem genannten Wertebereich enthalten.

Methoden der Luftbefeuchtung

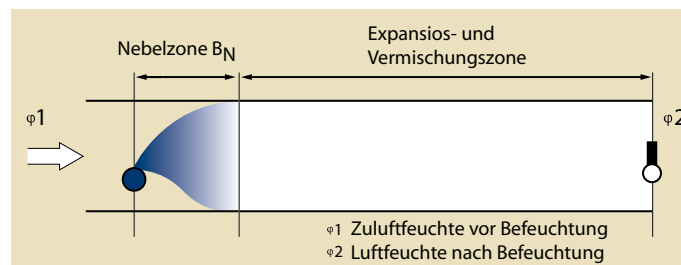
Luftbefeuchtung erfolgt nach den drei physikalischen Methoden Verdampfen, Zerstäuben und Verdunsten. Es hängt vom jeweiligen Einsatzfall ab, welches System zu optimalen Ergebnissen führt. Aus hygienischer Sicht stellen die drei Verfahren jedenfalls unterschiedliche Anforderungen an die gewählte Befeuchtungstechnik.

Die Dampf-Luftbefeuchtung bietet aufgrund des hohen Temperaturniveaus von vorne herein die größte Hygienesicherheit. Probleme können allerdings entstehen, wenn Dampfverteiler falsch platziert oder Be-

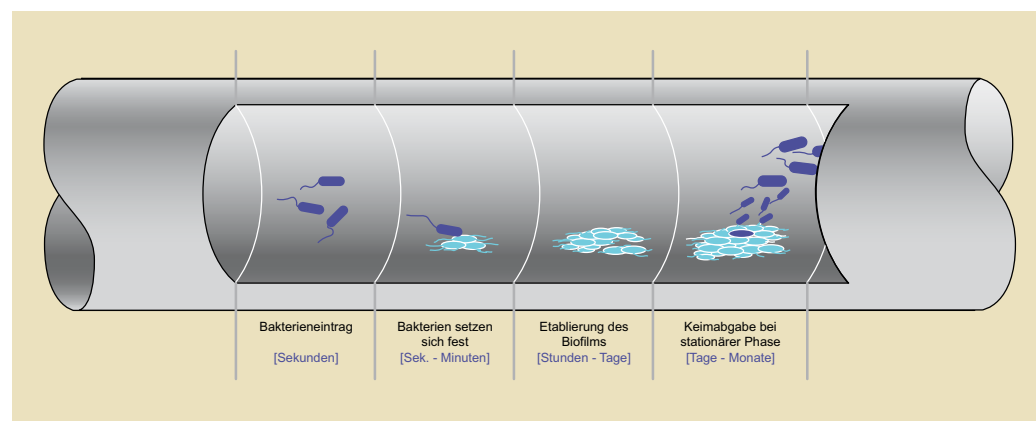
feuchtungsstrecken nicht richtig bemessen sind. Bei sehr kurzen vorhandenen Befeuchtungsstrecken sind Mehrfach-Dampfverteilsysteme das Mittel der Wahl. Wegen der schnelleren Durchmischung der Anlagenluft durch die homogene Dampfverteilung werden erhebliche Reduzierungen der Befeuchtungsstrecken erreicht.

Bei Verdunstungs-Luftbefeuchtern ist die Befeuchtungsstrecke bauartbedingt festgelegt. Es ist jedoch darauf zu achten, dass es nicht zu mikrobiologischer Belastung der Anlagenluft durch Biofilm-Wachstum auf den Verdunstungskörpern kommen kann.

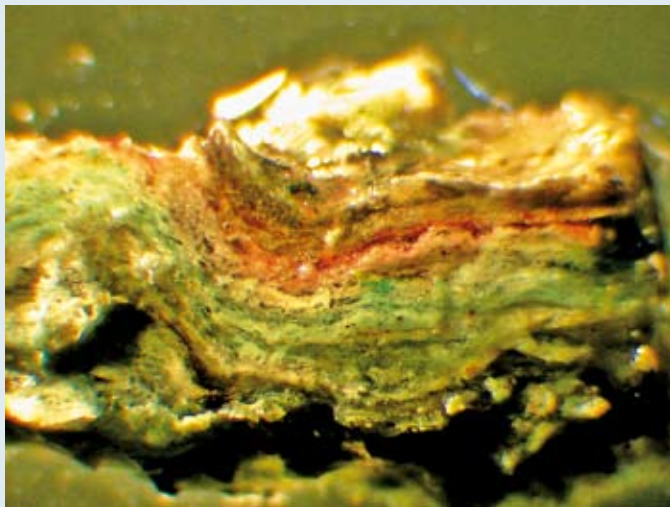
Reine Zerstäubungs-Luftbefeuchter stellen aus hygienischer Sicht die größte Herausforderung dar. Die erforderlichen Befeuchtungsstrecken können stark variieren. Die wichtigsten Einflussgrößen sind Feuchteerhöhung, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Strömungsprofil und Aerosolgröße des zerstäubten Befeuchtungswassers. Das schwebefähige Verhalten von Wasser-Aerosolen, die damit verbundene schlechte Abscheidemöglichkeit und ihre langsame Verdunstung machen eine zuverlässige Bestimmung der Befeuchtungsstrecken außerordentlich schwierig.



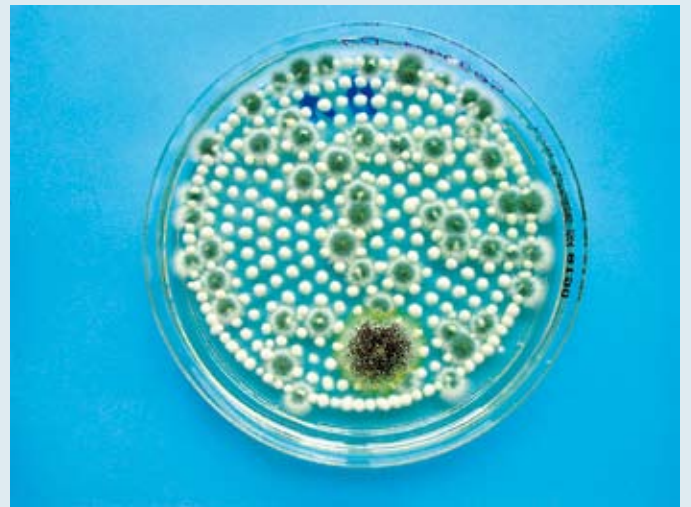
■ Bei der Dampf-Luftbefeuchtung lassen sich Befeuchtungsstrecken eindeutig bestimmen.



■ Mikroorganismen siedeln sich auf nassen Oberflächen an und bilden dort im Lauf der Zeit einen Biofilm aus. Bereits nach einigen Tagen kann ein Biofilm seine stationäre Phase erreicht haben, bei der eine kontinuierliche Keimabgabe erfolgt.



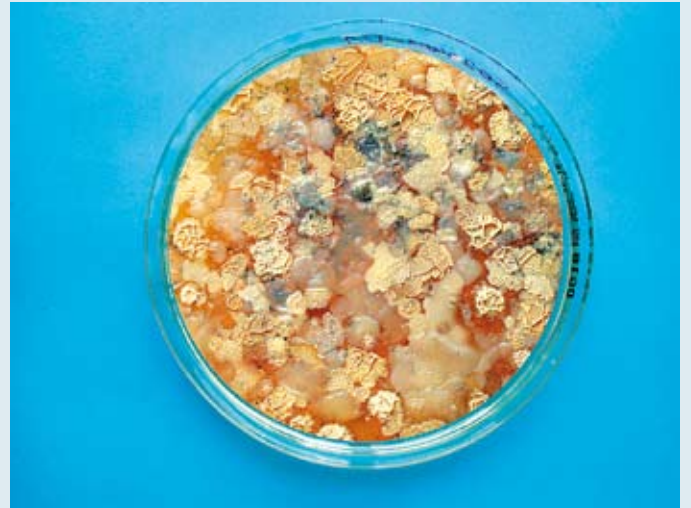
■ Schnitt durch einen zu Analyse Zwecken tiefgefrorenen Biofilm aus einem untersuchten Hochdruckbefeuchter.



■ Luftgetragene Schimmelpilzsporen von *Penicillium* und *Aspergillus niger* aus einer verkeimten Klimaanlage.



■ Massives Biofilmwachstum (ebenfalls aus einem untersuchten Hochdruckbefeuchter).



■ Überwiegend Sporenbildner und schleimbildende Bakterien nach Kondensation in einem Luftkanal.

Befeuchtungsstrecken richtig dimensionieren

Die Befeuchtungsstrecke setzt sich zusammen aus der Nebelzone und der anschließenden Expansions- und Vermischungszone. Als Nebelzone bezeichnet man den Weg hinter der Luftbefeuchtungsanlage – von der Einbringung bis zur vollständigen Aufnahme der Dampfmenge durch die Anlagenluft. Daran anschließend folgt die Expansions- und Vermischungszone. In diesem Streckenabschnitt vermischt sich die eingebrachte Feuchtigkeit gleichmäßig mit dem Luftstrom. Die Länge der erforderlichen

Befeuchtungsstrecke hängt jeweils von dem in Luftrichtung folgenden Bauteil ab. Zur Vermeidung von Kondensationserscheinungen innerhalb der Luftleitungen ist die richtige Bemessung der Befeuchtungsstrecke außerordentlich wichtig. Auch für die richtige Feuchteregelung ist ihre Kenntnis von grundlegender Bedeutung, da die Platzierung der Regelfühler erst dort erfolgen soll, wo ausgeglichene Feuchtwerte vorliegen.

Bei der Dampf-Luftbefeuchtung können die Befeuchtungsstrecken ausreichend genau bestimmt werden. Häufig stehen aber

aufgrund beengter Platzverhältnisse – insbesondere bei Nachrüstungen – nur kurze Befeuchtungsstrecken zur Verfügung. Bei der Dampf-Luftbefeuchtung bieten sich hier Mehrfach-Dampfverteilssysteme an. Aufgrund der schnelleren Durchmischung der Anlagenluft durch die großflächige Dampfeinbringung werden erhebliche Reduzierungen der Befeuchtungsstrecken erreicht. Gleichzeitig werden Forderungen einer homogenen Dampfverteilung aus VDI 6022 Blatt 1 erfüllt.

Bei adiabaten Befeuchtungssystemen wie Hybrid-Luftbefeuchtern oder verschie-

denen Verdunstern ist die Befeuchtungsstrecke bauartbedingt festgelegt. Wesentlich schwieriger ist ihre Bestimmung bei Hochdruck- und Ultraschall-Zerstäubern. Die wichtigsten Einflussgrößen sind Feuchteerhöhung, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Strömungsprofil und vor allem die Aerosolgrößen des zerstäubten Befeuchtungswassers. Gerade die schlechte Abscheidemöglichkeit und langsame Verdunstung von Wasser-Aerosolen machen die Bestimmung der Befeuchtungsstrecken außerordentlich schwierig. Für eine verbindliche Beurteilung lie-

gen praktisch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Nur wenn aus einem adiabaten Befeuchtungssystem keine Wasser-Aerosole ausgetragen werden, ist die zuverlässige Befeuchtungstreckenbestimmung möglich.

Bildung von Biofilmen unterbinden

Das Zulaufwasser zu Luftbefeuchtern soll die mikrobiologische Qualität von Trinkwasser aufweisen. Deshalb sind maximal 100 KBE/ml zulässig. Auch diese geringe Anzahl von Mikroorganismen siedelt sich in Wasserleitungen, auf Verdunstungskörpern oder im Nassbereich von Luftbefeuchtern an und kann dort im Lauf der Zeit einen massiven Biofilm ausbilden. Dies geschieht so lange unbemerkt, bis der Biofilm im Verlauf von einigen Tagen bis Monaten entsprechend dick angewachsen ist und seine stationäre Phase erreicht. Von diesem Zeitpunkt an gibt der Biofilm kontinuierlich Keime ab, und es erfolgt unkontrollierte Kontamination des Befeuchtungswassers bzw. der Anlageluft.

Wie können Biofilme bei der Luftbefeuchtung verhindert werden?

Die Bildung von Biofilmen kann mit geeigneten Maßnahmen eingedämmt bzw. verhindert werden. Dabei sind Einzelmaßnahmen nicht zielführend, vielmehr ist nur die Kombination aller hygienerelevanten Maßnahmen schlussendlich von Erfolg gekrönt. Wesentliche Bedeutung haben dabei:

- hygienisches Befeuchtungswasser,
- keine Stagnation in den Wasserleitungen,
- Hygienemaßnahmen zur Keimminderung,

- regelmäßige Reinigung mit Desinfektion.

Um das Wachstum von Biofilmen zu unterbinden, sind zwingend geeignete keimmindernde Maßnahmen zu ergreifen. Dabei kommt es darauf an, dass gesundheitlich unbedenkliche Verfahren angewandt werden und für ausreichende Wirksamkeit oder zum Schutz vor Überdosierung eine genaue Regelung entsprechend der jeweiligen Befeuchtungsleistung möglich sein muss. Eine zusätzliche automatische Kapazitätskontrolle zur Überwachung der Standzeit ist ebenfalls unabdingbar.

Eintrag von Wasser-Aerosolen verhindern

Wasser-Aerosole in Klimaanlagen sind generell problematisch. Sie können ein Gesundheitsrisiko darstellen und dürfen deshalb nicht in das Luftleitungssystem eingetragen werden:

- Wasser-Aerosole können sich in Luftleitungen niederschlagen und hygienisch problematische Feuchtflächen bilden.
- Bei mikrobiologischer Belastung des Befeuchtungswassers gelangen mit den Aerosolen Keime in die Atemluft.
- Wasser-Aerosole können wegen ihrer geringen Größe nur sehr schwer und teilweise überhaupt nicht abgeschieden werden. Aufgrund ihres typisch schwebefähigen Verhaltens werden sie, ohne vollständig zu verdunsten, über weite Strecken durch die Lüftungskanäle getragen und können schließlich in die Atemluft gelangen.

Luftbefeuchter sind nach VDI 6022 Blatt 1 so auszulegen und zu betreiben, dass Wasser-Aerosole nicht in das Luftleitungssystem gelangen können.

Handelsübliche Tropfenabscheider versagen meist wenn es darum geht, kleine Wasser-Aerosole aus dem Luftstrom abzuscheiden. Wegen ihrer geringen Masse passen sie sich Lüftrichtungsänderungen sehr leicht an und können durch Fliehkraftwirkung nicht abgeschieden werden. Auf jeden Fall besteht bei allen Abscheidervorrichtungen ein Gefährdungspotenzial durch Biofilm-Wachstum.

Systemgerechte Feuchteregelung vorsehen

Aus hygienischer Sicht kommt der richtigen Regelung von Luftbefeuchtungssystemen eine große Bedeutung zu. Taupunkt-Unterschreitungen im laufenden Anlagenbetrieb sind zu vermeiden, und es soll sich kein Kondensat im Luftleitungssystem niederschlagen. Ein Blick auf das h,x-Diagramm verdeutlicht die unterschiedlichen thermodynamischen Verläufe der einzelnen Befeuchtungsverfahren. Angesichts dieser verschiedenen Verläufe ist eine Universallösung bei der Regelung von Luftbefeuchtern nicht möglich.

Die Dampf-Luftbefeuchtung ist ein nahezu isothermer Vorgang. Es findet nur eine sehr geringe Erhöhung der Lufttemperatur durch den Befeuchtungsvorgang statt. Deshalb sind bei der Feuchteregelung üblicherweise nur die Feuchtwerte der Anlagen- bzw. Raumluft zu berücksichtigen.

Bei den adiabaten Befeuchtungsverfahren Zerstäuben und Verdunsten erfolgt eine beträchtliche Abkühlung der befeuchteten Luft. Deshalb kann die Feuchteregelung in diesen Fällen nur in Verbindung mit der Regelung der Lufttemperatur erfolgen.

Hygienenaachweis

Baumusterprüfungen, welche lediglich die technisch-

konstruktive Übereinstimmung von Geräten und Komponenten mit bestimmten Richtlinien o. Ä. bestätigen, stellen noch keinen Nachweis für hygienische Arbeitsweise dar. Eine wesentliche Voraussetzung für die Hygienesicherheit ist, dass alle mikrobiologischen und hygienerelevanten Erfordernisse umfassend betrachtet und bewertet werden. Hierzu gehören auch präventive Maßnahmen zur Eindämmung von Keimwachstum sowie gewissenhafte und nach dem heutigen Kenntnisstand vorgenommene Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen. Eine Beurteilung der Hygienequalität von Befeuchtungssystemen ist deshalb nur möglich, wenn alle erforderlichen Hygienemerkmale betrachtet und erfüllt werden.

Fazit

Für hygienische Luftbefeuchtung muss Keimbildung im Luftbefeuchter und Keimeintrag in die Anlagen- bzw. Atemluft verhindert werden. Unabhängig vom Befeuchtungsverfahren müssen dafür die zuvor beschriebenen Hygienekriterien erfüllt werden. Bei der Entscheidung für eine bestimmte Befeuchtungstechnik empfiehlt es sich, die geplante Gerätetechnik und die Hygienemaßnahmen gewissenhaft zu überdenken. Schließlich können seröse Hygienenaachweise zur Beurteilung der hygienischen Arbeitsweise von Luftbefeuchtungssystemen herangezogen werden. ■

Bilder: Walter Meier (Klima Deutschland) GmbH, Garching-Hochbrück

@ Internetinformationen:
www.waltermeier.com