

## White Paper



## Die Luftbefeuchtung in Krankenhäusern

### Balance zwischen Gesundheit und Nachhaltigkeit

Die Luftfeuchteregelung ist in Krankenhaus-einrichtungen von grundlegender Wichtigkeit. Sie beeinflusst den Gesundheitszustand der Patienten, die Funktionstüchtigkeit der medizinischen Geräte, die thermische Behaglichkeit des Krankenhauspersonals und der Besucher sowie die Gesundheitskosten.

Dieses Dokument erklärt, warum Krankenhaus-umgebungen befeuchtet werden müssen und welche Gesetzesvorschriften bei der Wahl der richtigen Lösung für eine anwendungsspezifische Befeuchtung zu beachten sind.

Natürlich. Hygienisch. Gesund.




# Inhalt

Warum muss die Luftfeuchte in Krankenhäusern geregelt werden? . . .	5
1. Luftbefeuchtung zum Schutz der Patientengesundheit . . . . .	7
2. Luftbefeuchtung zur Sicherung des Gerätebetriebs . . . . .	11
3. Luftbefeuchtung zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit. . . . .	12
Was trennt uns von den optimalen Feuchtebedingungen? . . . . .	15
Befeuchtungssysteme für Krankenhäuser. . . . .	19
4. Isotherme Befeuchter . . . . .	21
5. Adiabatische Befeuchter. . . . .	22
6. Anforderungen an das Befeuchtungssystem . . . . .	23
7. Verteilungssysteme für Dampf/Wasserdampf . . . . .	27
8. Wasseraufbereitungssysteme . . . . .	28
9. Befeuchterauswahlkriterien. . . . .	28
Gesetzesgrundlagen. . . . .	31
10. Deutsche Gesetzgebung . . . . .	34
11. Schlussfolgerungen . . . . .	35

Für weitere Details kontaktieren Sie uns gerne.



HygroMatik GmbH      T +49 4193 895-0  
Lise-Meitner-Str. 3    F +49 4193 895-33  
24558 Henstedt-Ulzburg    hy@hygromatik.de  
Germany                    www.hygromatik.com



## Warum muss die Luftfeuchte in Krankenhäusern geregelt werden?

Die Luftfeuchteregelung ist in Krankenhausumgebungen von absoluter Wichtigkeit. In erster Linie schützt sie Patienten vor Krankenhausinfektionen. Der Einfluss der Feuchteregelung auf den Entwicklungskreislauf der Bakterien – vom Wachstum über die Verbreitung bis zur Infektion eines Patienten – wird in der Folge erläutert.

Zweitens gewährleistet die richtige relative Feuchte die Funktionstüchtigkeit der medizinischen Geräte, was im Krankenhausbetrieb unerlässlich ist.

Außerdem dient sie dazu, trockene Luft zu vermeiden, um die thermische Behaglichkeit für alle anwesenden Personen zu gewährleisten und die Produktivität des Krankenhauspersonals zu verbessern.

## 1. Luftbefeuchtung zum Schutz der Patientengesundheit

Die größte Auswirkung der Luftbefeuchtung auf Einrichtungen im Gesundheitswesen ist sicherlich der Schutz der Patienten vor verschiedensten Arten von Bakterien und Mikroben.

Krankenhäuser sind Umgebungen mit Krankheitserregern, die zum Teil resistent gegenüber antibakteriellen Behandlungen und normalen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren sind. Außerdem reproduzieren sich diese Mikroorganismen extrem schnell und finden in den Patienten geeignete Wirte.

Die Patienten selbst sind aufgrund ihrer geschwächten Abwehrkräfte und durch den direkten Kontakt ihres Körperinneren mit der Umgebung infolge von Operationen und Verletzungen besonders anfällig für Infektionen.

Luftfeuchte beeinträchtigt die Bakterienwachstumsfähigkeit. Eine angemessen geregelte Feuchte ist ein optimales Mittel, um Infektionen im Krankenhaus einzuschränken, die Gesundheit zu schützen und Kosten zu reduzieren.

### Die Luftfeuchte und das bakterielle Wachstum

Eine korrekte Luftfeuchteregelung verhindert in erster Linie **bakterielles Wachstum** im Gebäude. Bakterien brauchen zur Vermehrung Wasser und Nährstoffe. Es gilt also zu vermeiden, dass die in der Luft enthaltene Feuchte kondensieren und zur Wasserstagnation führen kann, zum Beispiel in Luftkanälen.

Beträgt die relative Luftfeuchte über einen längeren Zeitraum hinweg mehr als 80%, kann sich neben Oberflächenkondensat auch Schimmel bilden. Schimmelsporen sind gesundheitsschädlich, wenn sie eingeatmet werden.

Für Krankenhausumgebungen muss die Luftfeuchte also nach oben begrenzt werden. Dies allein reicht jedoch nicht aus, um eine gesunde Umgebung zu gewährleisten und das Infektionsrisiko zu reduzieren.

Krankenhäuser sind Bakterienherde, die aufgrund der Anwesenheit von Kranken nicht vollständig beseitigt werden können. Die Herausforderung der Feuchteregelung besteht also darin, die Vermehrung von Krankheitserregern zu minimieren, Übertragungen zu verhindern und die natürlichen Abwehrkräfte unseres Körpers zu stärken.





## Die Luftfeuchte und die Ausbreitung von Krankheiten

Die meisten modernen Krankenhäuser sehen sehr strenge Reinigungsverfahren für Oberflächen und medizinische Geräte vor. Raumluftanalysen zufolge reichen diese Verfahren aber nicht aus, um die Anzahl der Bakterien zu reduzieren. Die korrelierten Infektionen nehmen sogar zu [1]. Unmengen von Mikroben werden auch schon durch Sprechen, Atmen oder Husten, eingebettet in Tausende kleinster schwebender Wassertröpfchen, in Umlauf gesetzt. Schätzungen zufolge verbreiten sich 10 bis 33 % aller für Krankenhausinfektionen verantwortliche Krankheitserreger über die Luft.

Werden diese Tröpfchen in eine Umgebung mit weniger als 40 % relative Feuchte eingeführt, verlieren sie schnell bis zu 90 % ihres Volumens. Sie verkleinern sich und sind imstande, für lange Zeit in der Luft schwebend beträchtliche Distanzen zurückzulegen. Dies erhöht natürlich die Wahrscheinlichkeit, dass sie einen anderen Wirt erreichen, sich rehydratisieren und ihn infizieren.

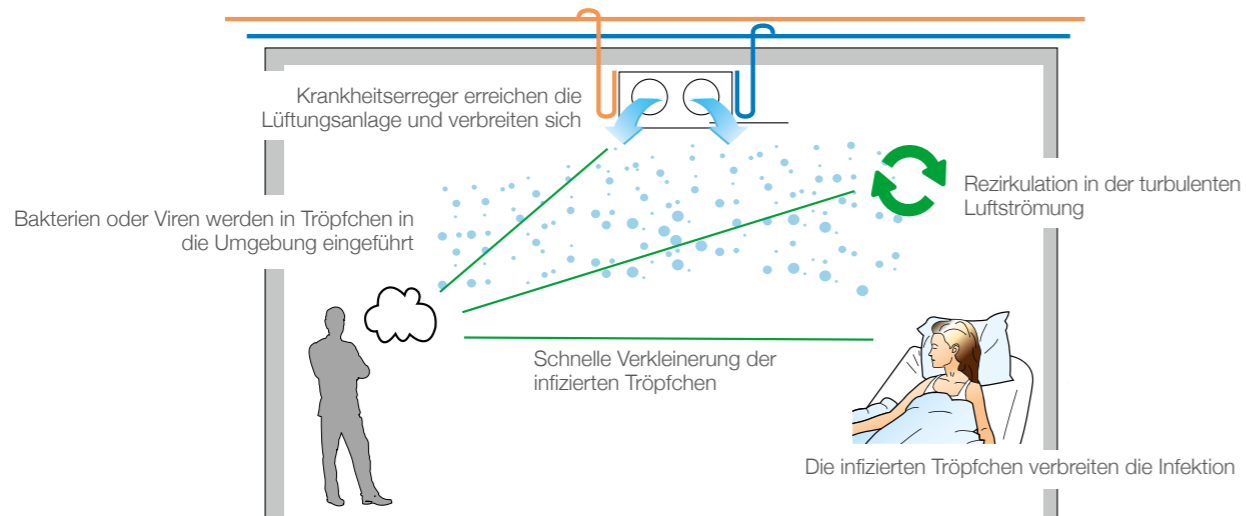


Abbildung 1. Hohe Übertragbarkeit bei r.F. < 40 %

Hat diese Umgebung jedoch eine relative Feuchte zwischen 40 und 60 %, behalten die Tröpfchen ihre Größe bei ( $\approx 100 \mu\text{m}$ ) und sinken nach 1 - 2m von der Verbreitungsquelle zu Boden. Dort können sie mit den konventionellen Oberflächenreinigungsverfahren viel wirksamer beseitigt werden [2].

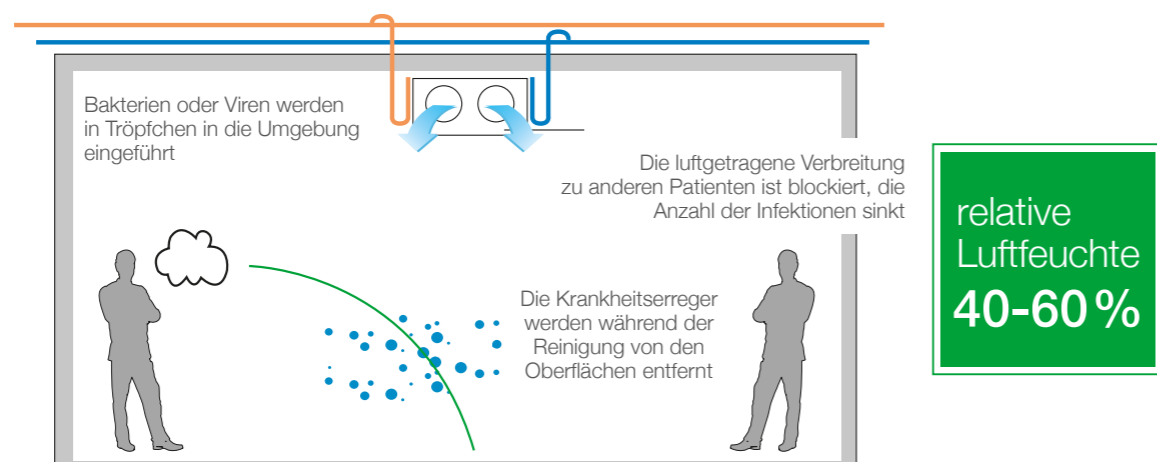


Abbildung 2. Stark reduzierte Übertragbarkeit bei 40 % < r.F. < 60 %

Zahlreiche Studien belegen, dass gerade die relative Feuchte der ausschlaggebende Faktor für die Kontrolle der **Übertragung von Bakterien und Viren** durch die Luft ist.

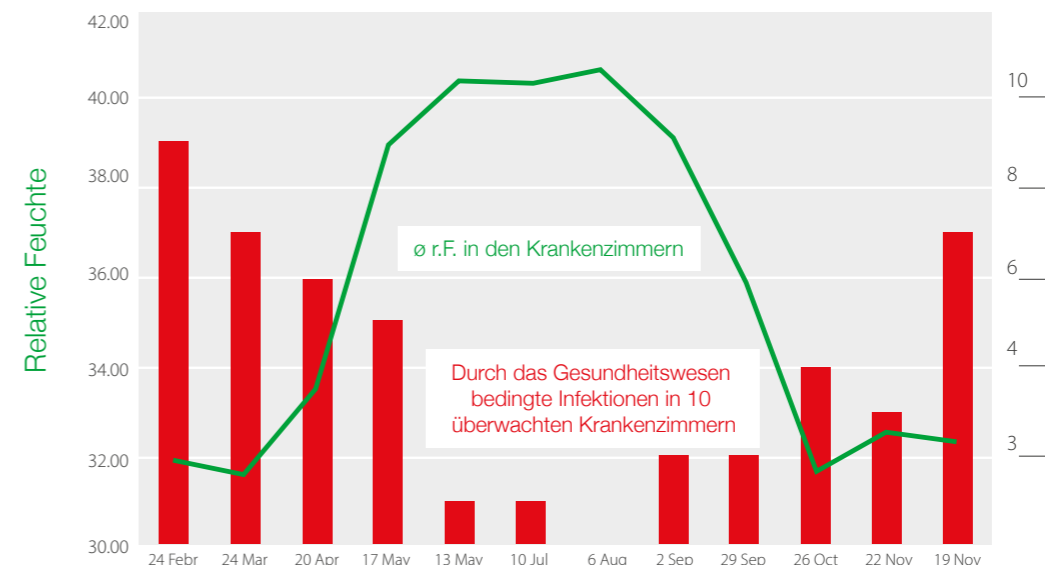


Abbildung 3. Die relative Feuchte ist der wichtigste Parameter zur Reduzierung der Krankenhausinfektionen

In einer ersten amerikanischen Studie, die über ein ganzes Jahr in einem Krankenhaus durchgeführt wurde, wurden alle Umgebungsparameter in zehn Krankenzimmern sowie die medizinischen Zustände der sich darin aufhaltenden Patienten gemessen [2]. Unter den erfassten Variablen stand die relative Feuchte im engsten Zusammenhang mit der Anzahl neuer Infektionen. Bei über 40 % relative Feuchte reduzieren sich die Infektionen vom Höchstwert von 9/Monat bis auf Null!

Eine weitere Studie wurde mit adaptierten Prüfpuppen durchgeführt, um den Hustenanfall einer an Grippe erkrankten Person und die Einatmung eines Empfängers auf zwei Meter Abstand zu simulieren [3]. Durch die Luftprobenentnahmen in Mundnähe des Empfängers zu unterschiedlichen Zeitpunkten und durch die Messung der Infektiosität der Proben ergaben sich folgende Resultate.

Die Infektiosität sinkt von 80 auf 20 %, wenn sich die relative Feuchte zwischen 40 und 70 % hält! Das ist darauf zurückzuführen, dass das Grippevirus nicht mehr für längere Zeit schwebend in der Luft verweilen kann, und dass die Überlebensfähigkeit vieler durch die Luft übertragener Bakterien und Viren im besagten Intervall stark reduziert ist.

Eine angemessene Feuchteregelung ist nicht nur wachstumshemmend für Mikroben und Bakterien, sondern vermindert deutlich ihr Übertragungspotenzial. In einer Krankenhausumgebung, wo unzählige Krankheitserreger vorhanden und die Patienten infektionsanfällig sind, ist dies absolut unerlässlich.

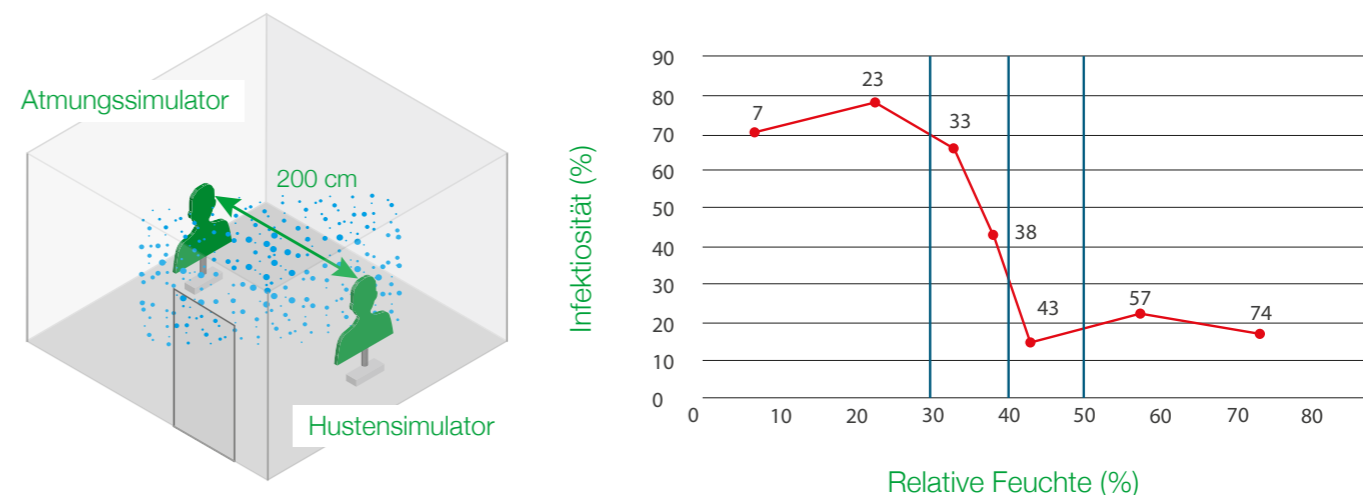


Abbildung 4 und 5. Die Infektiosität und die Übertragungsfähigkeit des Grippevirus brechen zwischen 40 und 70 % r.F. ein.

## Die Luftfeuchte und die körperlichen Abwehrkräfte

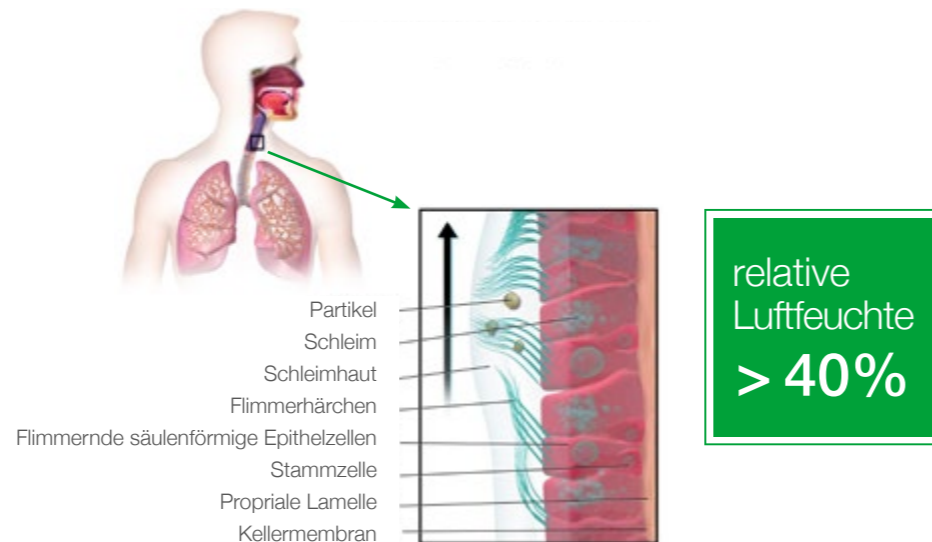


Abbildung 6. Der Prozess der Mukoziliären Clearance beseitigt die Krankheitserreger, die in das Atmungssystem eindringen. Für seine Funktionstüchtigkeit ist jedoch die richtige relative Feuchte erforderlich [10].

Bei durch die Luft übertragenen Infektionen werden die Bakterien eingeatmet, sie gelangen in die Atemwege und lagern sich auf den Atemwegswänden oder in den Lungenbläschen ab. Dort können Lungenentzündungen oder Infektionen des Blutkreislaufs entstehen. Die letzte Abwehr unseres Körpers gegen diese Angriffe liefern die Wände des Atemapparates selbst: Von der Nase bis zur Luftröhre und zu den Bronchien sondern sie ständig eine dünne Schleimschicht ab, welche die eingeatmete Luft befeuchtet und erwärmt und die transportierten Bakterien gefangen hält. Diese Schleimschicht wird durch die rhythmische Bewegung der unzähligen Flimmerhärchen, welche die Wände der Atemwege auskleiden, fortwährend nach oben geschoben. Der Schleim erreicht die Mundhöhle und die darin enthaltenen Bakterien werden geschluckt. Durch die Magensäuren werden sie außer Gefecht gesetzt und werden Teil der Darmflora. Dieser Reinigungsprozess, **Mukoziliäre Clearance** genannt, ist von grundlegender gesundheitlicher Wichtigkeit. Unter normalen Umständen blockiert er den Großteil der eingeatmeten Krankheitserreger. Seine Funktionstüchtigkeit wird allerdings stark von der relativen Luftfeuchte beeinflusst. Sinkt die relative Feuchte unter 40%, trocknet die Schleimschicht aus. Die Flimmerhärchen komprimieren sich und stoppen ihre Bewegung. Dadurch können Viren und Bakterien die Zellen der Atemwege durchdringen und sie infizieren [1].

Gerade deshalb spielt die Feuchteregelung bei der Prävention der meisten Krankenhausinfektionen eine primäre Rolle: Eine relative Feuchte zwischen 40 und 60% verhindert die Bildung von Bakterienkolonien und Schimmel, reduziert vor allem aber ihre Übertragbarkeit und unterstützt die natürlichen Abwehrsysteme unseres Körpers.

## Wirtschaftliche Vorteile

Wirtschaftlich wirkt sich die Feuchteregelung in den Krankenhäusern indirekt aus und lässt sich damit nur schwer abschätzen. Die untersuchten Daten und die enormen Kosten im Zusammenhang mit den Krankenhausinfektionen lassen jedoch mit Sicherheit annehmen, dass der Nutzen für die Bilanz der gesundheitlichen Einrichtungen erheblich ist.



Jedes Jahr infizieren sich in Deutschland 3,6% der Krankenhauspatienten während ihres Aufenthaltes. Das sind insgesamt 400.000 bis 600.000 Infektionen pro Jahr, 10.000 bis 20.000 davon mit tödlichem Ausgang. Der EU-Durchschnitt liegt bei 5,5%.

Studien besagen, dass Lungenentzündungen, Harnwegsinfektionen, Wundinfektionen, Clostridium difficile-Infektionen und Blutstrominfektionen fast 80% der im Krankenhaus erworbenen Infektionen ausmachen [4].

Die Kosten für das Gesundheitssystem durch die verlängerten Krankenhausaufenthalte und die Rechtsstreitigkeiten der betroffenen Patienten sind enorm. Durch eine angemessene regulierte Raumluftfeuchtigkeit könnte die Anzahl der Infektionen über die Atemwege deutlich reduziert werden und somit auch die enormen Kosten, die sie für die Gesellschaft nach sich ziehen.

## 2. Luftbefeuchtung zur Sicherung des Gerätebetriebs

Luftbefeuchtung ist ein Mittel zum Schutz der Anlagen gegen elektrostatische Entladungen [5] [6].

**Elektrostatische Entladungen**, auch **ESD** (Electrostatic Discharges) genannt, sind Spannungsdurchschläge, die auftreten können, wenn zwei Körper mit großer Potentialdifferenz sich annähern. Hierbei überwindet der Strom den Widerstand, der üblicherweise von einem zum anderen Körper vorhanden ist und über Abstands- und Isolierstoffbedingungen definiert ist.

Ein in einer Krankenhausumgebung konkret anzutreffendes Beispiel ist ein Bediener eines Analysegerätes, der Gummischuhe trägt. Durch das Gehen auf einer isolierenden Kunststoffoberfläche, zum Beispiel auf einem Vinyl-Bodenbelag, geben die Gummischuhe durch Reibung eine bestimmte Menge an Elektronen ab und laden sich positiv auf, während der Boden negativ geladen bleibt. Dieses Verhalten wird von der triboelektrischen Reihe beschrieben, die einige Isoliermaterialien auflistet, die durch Reibung eher Elektronen abgeben als aufnehmen [7].

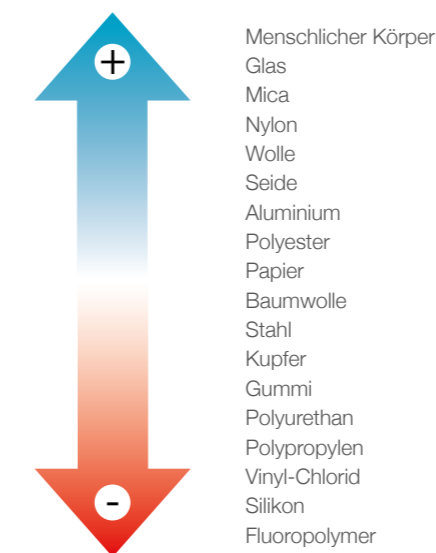


Abbildung 7. Triboelektrische Reihe: Im Beispiel geben die Gummischuhe Elektronen an den Vinylboden ab.

Der Körper des Bedieners ist somit elektrostatisch aufgeladen. Fasst er mit seinen Händen das Analysegerät an, kann es dazu kommen, dass:

- das durch die statische Ladung erzeugte elektrostatische Feld geräteinterne Potentialdifferenzen erzeugt, die das Gerät schädigen können.
- es zu einer elektrischen Entladung durch die Luft zwischen den Fingern und dem Gerät kommt. Die Spannung kann weitgehend variieren und sogar zig Tausend Volt erreichen. Aber auch eine Spannung unter 3500 V, die nicht einmal von der Person selbst wahrgenommen wird, kann schwerwiegende Schäden am Gerät verursachen!

Die Schäden reichen von der Zerstörung einiger Bauteile über das Ausschalten des Gerätes bis hin zu Messfehlern, zur Löschung der gespeicherten Daten, zur Ansammlung von statischer Elektrizität auf den Röntgenaufnahmen und beeinträchtigen jedenfalls – auch unumkehrbar – die Funktionstüchtigkeit von teuren Maschinen.

Ausreichend hohe Luftfeuchtigkeit unterstützt den Prozess, dass überschüssige Ladungen von der menschlichen Haut an die Luft abgegeben werden. So wird eine elektrostatische Aufladung des Menschen auf gefährlich hohe Werte verhindert.

Aufgrund der lebenswichtigen Funktion vieler Geräte in Krankenhäusern ist es absolut wichtig, mögliche Fehlstörungen durch trockene Luft zu verhindern. Zur Vermeidung des Problems der elektrostatischen Entladungen empfiehlt es sich, die relative Feuchte über 40% zu halten, ohne jedoch die anderen ESD-Schutzmaßnahmen zu vernachlässigen, vor allem in Bezug auf die Gerätebautechniken.

### 3. Luftbefeuchtung zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit

Die Hauptgründe, weshalb die Feuchteregelung in Krankenhäusern unerlässlich ist, sind die Verminderung der Infektiosität, die Reduzierung der Übertragbarkeit der Bakterien sowie der Geräteschutz.

Außerdem ist die Luftbefeuchtung für das Wohlbefinden und die thermische Behaglichkeit der anwesenden Personen genauso wie zur Vermeidung neuer Erkrankungen maßgebend, die mit zu trockener Luft in Zusammenhang gebracht werden.

#### Die Luftbefeuchtung und die Behaglichkeitsbedingungen

Die Behaglichkeitsbedingungen beinhalten das Gefühl des körperlichen und geistigen Wohlbefindens, das eine Person in einer bestimmten Umgebung empfindet. Zum Gefühl des allgemeinen Wohlbefindens tragen bei:

- thermische Behaglichkeit, definiert über Temperatur, relative Feuchte und Luftgeschwindigkeit
- Luftqualität, definiert über Frischluftanteile, CO<sub>2</sub>-Konzentration und VOC- und Mikroorganismenkonzentration
- Geräuschpegel

Gemäß der europäischen Norm EN 15251 ist die thermische Behaglichkeit in Krankenhäusern (Kategorie II) akzeptabel, wenn der Prozentsatz unzufriedener Personen (PPD) unter 10 % liegt. Außerdem regeln verschiedene nationale und internationale Vorschriften (Kapitel 3) die zu erreichenden Temperatur-, Feuchte- und Luftqualitätsbereiche in verschiedenen Umgebungen.

Die Umgebungstemperatur ist der Kennwert, der Unbehaglichkeitsbedingungen verursacht. Aber auch die relative Feuchte spielt dabei eine ausschlaggebende Rolle. Sie ändert unsere Wahrnehmung der Lufttemperatur, beeinflusst die Transpiration der Haut und den internen Energiehaushalt.

Eine angemessene relative Feuchte vermeidet das Austrocknen der Haut, der Augen und der Atemwege. Sie vereinfacht das Atmen und die Transpiration. Auf diese Weise wird das Wärmeregulierungssystem unseres Körpers nicht übermäßig beansprucht, und es entsteht keine Unbehaglichkeit.

Eine korrekte Feuchteregelung minimiert außerdem den Luftstaub, der in einer trockenen Umgebung viel länger in der Luft vorhanden bleibt und das Gefühl der Trockenheit und des Unbehagens verstärkt.

Hält der Zustand von trockener Luft zu lange an, können häufige Gebäudebesucher eine Reihe damit zusammenhängender Symptome entwickeln, sogar das Sick-Building-Syndrom. All diese Probleme beeinträchtigen die Raumluftqualität, was sich auf die Gesundheit der dort anwesenden Personen auswirkt.



### Sick-Building-Syndrom

Die Gebäudekrankheit, englisch „Sick Building Syndrome (SBS)“, beschreibt eine Situation, in der Bewohner eines Gebäudes Symptome von Krankheiten aufweisen, die von der Aufenthaltsdauer im Gebäude abzuhängen scheinen, aber für die keine spezifischen Ursachen identifiziert werden können.

Die Ursachen dieser Pathologie stehen oft im Zusammenhang mit Störungen oder falschen Verwendungen des raumlufttechnischen Systems, mit Frischluftmangel, mit vorhandenen flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), mit Schimmel und Materialien oder Substanzen, die Schadstoffe freisetzen.

Einige Tests haben ergeben, dass die SBS-Symptome auf eine zu niedrige relative Feuchte zurückzuführen sind oder sich dadurch verschlechtern. Dazu gehören der Abbau des Tränenfilms, trockene Augen, die Reizung von Nase und Hals, Asthma, spröde Haut, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Gereiztheit.

Allein zu niedrige Feuchtwerte ergeben nachweislich Leistungsverluste in 3-7 % der im Bürobereich tätigen Personen, zum Beispiel beim Lesen oder Bearbeiten von Dokumenten oder bei der Ausführung einfacher Rechenoperationen. Kommen zur niedrigen Feuchte weitere Faktoren wie hohe Temperaturen und Luftverschmutzung hinzu, verschärfen sich diese Symptome [7].

Das für die Behaglichkeit optimale relative Luftfeuchteintervall liegt zwischen 40 und 60 % r.F. Es stimmt mit dem Wertebereich überein, der Krankenhausinfektionen reduziert (40 und 60 % r.F.) und überlagert sich mit jenem zur Vermeidung von elektrostatischen Entladungen (r.F. > 35 %) und Schimmelbildung (r.F. < 80 %).

Berücksichtigt man alle Auswirkungen der relativen Feuchte auf den menschlichen Körper und auf den Krankenhausbetrieb, kann behauptet werden, dass das ideale Anwendungsintervall auch für Behaglichkeitsbedingungen zwischen 40 und 60 % liegt.

Damit drängt sich die Frage auf, wann diese idealen Bedingungen eingehalten werden oder welche Faktoren uns von diesen Bedingungen trennen und somit eine konstante Feuchteregelung erfordern.

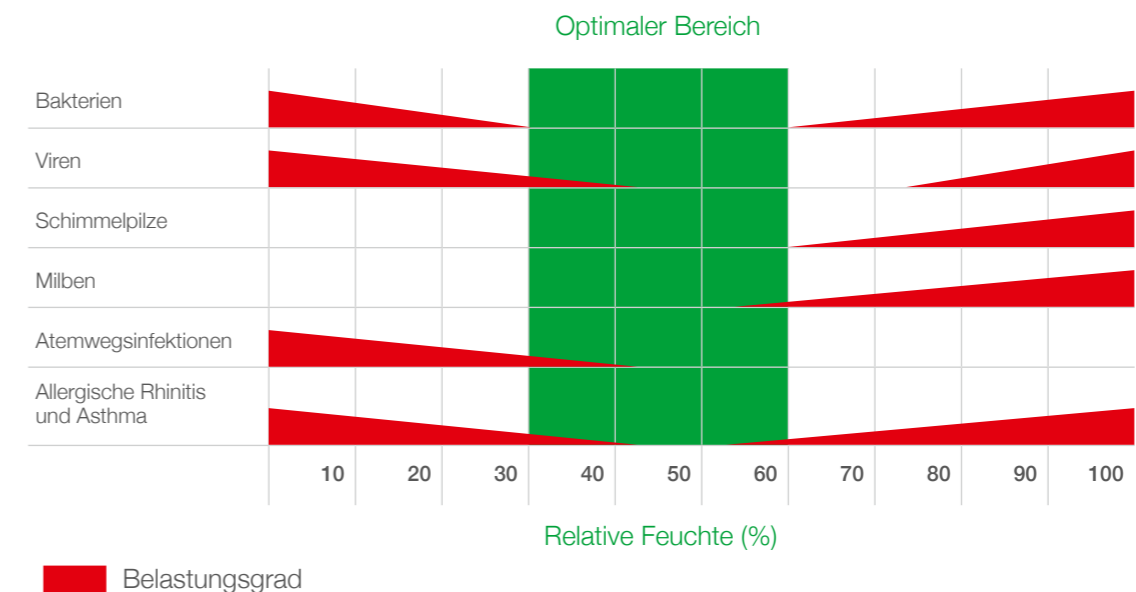


Abbildung 8. Optimaler Bereich der relativen Feuchte für die thermische Behaglichkeit und die menschliche Gesundheit.



## Was trennt uns von den optimalen Feuchtebedingungen?

Nach dem Verständnis des unverzichtbaren Nutzens der Luftbefeuchtung für Krankenhäuser und somit der idealen Feuchtebedingungen soll untersucht werden, ob und warum die Umgebung ständige andere Bedingungen als die idealen aufweist, und ob die Installation eines Befeuchtungssystems schlussendlich zwingend erforderlich ist.



## Regelmäßiger Luftaustausch senkt die relative Luftfeuchte

In Krankeneinrichtungen muss zur Erreichung der empfohlenen Luftqualität die Innenluft regelmäßig ausgetauscht werden. Diese enthält Schadstoffe, die von Personen und Materialien oder Narkosegasen während OPs produziert werden und nicht gefiltert werden können. Die Innenluft muss anhand großer Mengen frischer **Außenluft** erneuert werden. Bevor die Frischluft jedoch in die Umgebung eingeführt werden kann, muss sie auf eine akzeptable Temperatur, allgemein zwischen 20 und 24 °C, erwärmt werden.

Im Winter ist die Außenluft beispielsweise sehr kalt und feucht (Punkt A, Temperatur -5 °C, **relative Feuchte 80 %**). Sie wird von einem Heizregister in einer der RLT-Zentralen des Krankenhauses erwärmt. Die Temperatur steigt, die spezifische Feuchte (absoluter Wassergehalt in einer bestimmten Menge Luft) bleibt dabei konstant (Punkt B, Temperatur 22 °C, **relative Feuchte 12 %**).

Die relative Feuchte der erwärmten Luft (relativer Wassergehalt am maximal möglichen Wassergehalt in der Luft, nach dessen Überschreiten eine Kondensation stattfindet) sinkt dabei von 80 % der Außenluftbedingungen auf rund 12 % der Innenluftbedingungen, ohne dass Wasser entfernt wurde! Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Luft bei ansteigender Temperatur mehr Wasserdampf aufnehmen kann.

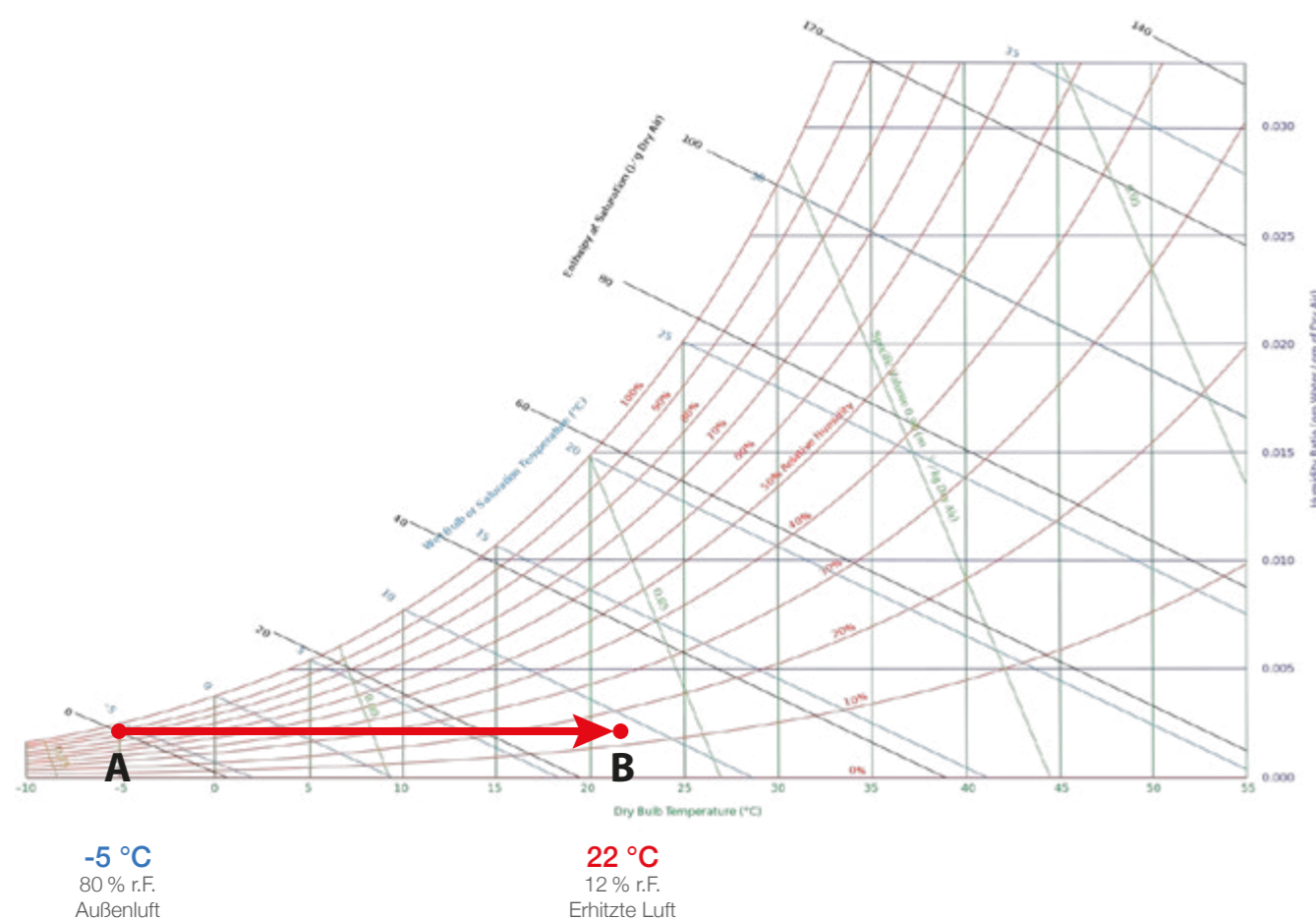


Abbildung 9. Das psychrometrische Diagramm zeigt, warum erhitzte Luft zu trocken für Krankenhausanwendungen ist.

Aufgrund der Wichtigkeit, einen angemessenen relativen Feuchtegehalt zu gewährleisten, muss ein Befeuchtungssystem installiert werden, das die relative Feuchte (und die Temperatur) wieder in die korrekten Wertebereiche zurückführt. Die eingesetzte Technik kann eine adiabatische Befeuchtung (1) durch die Zerstäubung feinsten Wassernebels in der Luft oder eine isotherme Befeuchtung (2) durch Sieden des Wassers und direkte Produktion von Dampf sein, der von der Luft absorbiert wird.

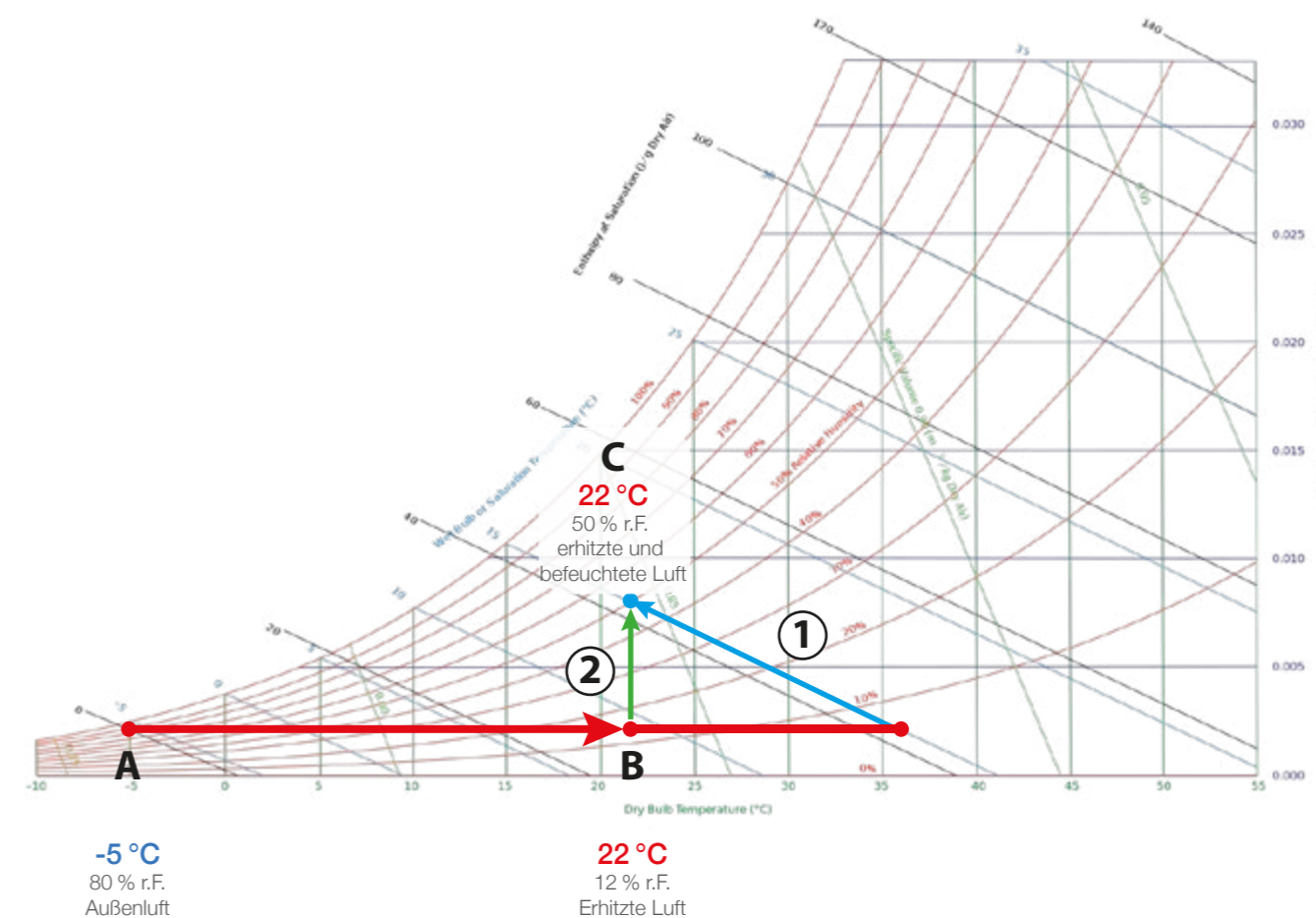


Abbildung 10. Nach dem Heizen muss die Luft befeuchtet werden, um optimale Bedingungen von ≈ 22 °C, 50 % r.F. zu gewährleisten.

Unabhängig von der gewählten Befeuchtungstechnik (siehe Kapitel 4) arbeitet das Befeuchtungssystem aufgrund der durch die Heizung ausgetrockneten Luft mehr im Winter und weniger im Sommer.



## Befeuchtungssysteme für Krankenhäuser

Befeuchtungssysteme für Krankenhäuser verwenden vorzugsweise die Befeuchtung über Luftkanäle und weniger die direkte Raumluftbefeuchtung.

Aufgrund der heiklen und lebenswichtigen Prozesse müssen in gesundheitlichen Einrichtungen häufig bautechnische Spezialmaßnahmen vorgesehen werden, um die Hygienesicherheit und die Zuverlässigkeit der Installation zu wahren.

Für die Befeuchtung in Krankenhäusern eignen sich verschiedene Techniken. Jede davon besteht aus den folgenden Elementen:

- **Befeuchter**

Er kann adiabatisch (Wasserebelproduktion) oder isotherm (Dampfproduktion) sein.

- **Verteilungssystem**

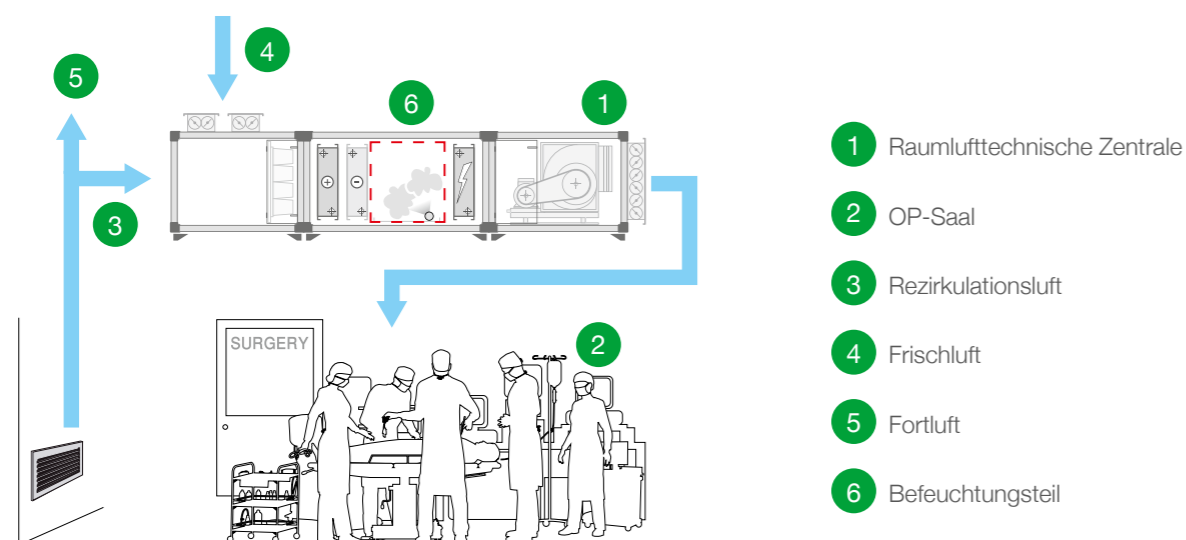
Für die Verteilung der produzierten Feuchte. Fast immer wird in Krankenhäusern die Luft von außen eingeführt, aufbereitet und über Luftkanäle in den verschiedenen Umgebungen verteilt. Die Verteilungssysteme des Befeuchters werden den Heizregistern nachgeschaltet und in den Luftkanälen positioniert. Diese Systeme sind an den Befeuchter angeschlossen und können zum Beispiel perforierte Verteilerrohre mit kleinen Düsen sein, die das druckbeaufschlagte Wasser zerstäuben, oder große perforierte Leitungen, die den Dampf direkt im Luftkanal freisetzen. In anderen Fällen wird der Befeuchter direkt im Luftkanal installiert.

- **Tropfenabscheider**

Er wird nur von adiabatischen Befeuchtern verwendet und im Luftkanal am Ende des Befeuchtungsteils positioniert. Er fängt die Tröpfchen ab, die nicht von der Luft absorbiert werden und verhindert, dass Wasser stagnieren kann.

- **Wasseraufbereitungssystem**

Für die Aufbereitung des Speisewassers am Befeuchtereinlass. Es ist zwar kein Pflichtbauteil, wird aber für Krankenhausanwendungen sehr empfohlen.



- 1 Raumluftechnische Zentrale
- 2 OP-Saal
- 3 Rezirkulationsluft
- 4 Frischluft
- 5 Fortluft
- 6 Befeuchtungsteil

## 4. Isotherme Befeuchter

Isotherme Befeuchter befeuchten die Umgebung mit Dampf. Der Dampf entsteht durch siedendes Wasser und wird in die Umgebung eingeführt. Die Energie für die Zustandsänderung, rund 750 W pro Liter verdunstetes Wasser, liefert der Befeuchter selbst (über seine Stromversorgung). Der Begriff isotherm bedeutet, dass die Lufttemperatur bei der Befeuchtung unverändert bleibt.

Isotherme Befeuchter sind einfach zu installieren. Der Dampf garantiert Hygienesicherheit, weshalb sie sowohl für die direkte Raumbefeuchtung als auch für die Luftkanalbefeuchtung in einer raumluftechnischen Anlage verwendet werden können. Sie eignen sich auch für sehr kleine Produktionsmengen.

Das größte Limit der Dampftechniken liegt im hohen Energieverbrauch. Bei sehr großen Befeuchtungslasten könnten die Betriebskosten hoch werden.

Im Wesentlichen gibt es drei Arten von isothermen Befeuchtern:

- Elektroden-Dampfluftbefeuchter
- Heizkörper-Dampfluftbefeuchter
- Druckdampfsysteme

### Elektroden-Dampfluftbefeuchter

Elektroden-Dampfluftbefeuchter sind günstige und einfache Befeuchter. Elektroden erhitzen das Wasser bis zum Siedepunkt. Die Regelgenauigkeit der Elektroden-Dampfluftbefeuchter liegt bei  $\pm 5\%$  r.F. Sie arbeiten mit leitfähigem Wasser (Trinkwasser) von 200 - 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und einer möglichst geringen Gesamthärte. Ihr Wartungsbedarf nimmt mit steigendem Salzgehalt im Trinkwasser zu.

### Heizkörper-Dampfluftbefeuchter

Die elektrischen, mit Wasser bedeckten Heizelemente werden erhitzt und bringen das Wasser zum Sieden. Die Befeuchter erreichen sehr gute Präzisionswerte (bis zu  $\pm 0,5\%$  r.F.) und arbeiten im gesamten Nennleistungsbereich, weil die Leistungsabgabe der Heizelemente genau moduliert werden kann. Sie können sowohl mit normalem Leitungswasser als auch mit aufbereitetem Wasser gespeist werden. Mit aufbereitetem Wasser sind sie besonders gut für den 24/7-Betrieb geeignet und wartungsarm.

### Druckdampf befeuchter

Das Druckdampfsystem wird an ein vorhandenes Dampfnetz angeschlossen und macht den Dampf für die Luftbefeuchtung nutzbar. Das Druckdampfsystem bringt kondensatfreien Sattdampf in die Lüftungsanlage ein. Druckdampfsysteme haben eine große Leistungsbandbreite, sind sehr ökonomisch im Betrieb und der Anschaffung und zusätzlich wartungsarm.



## 5. Adiabatische Befeuchter

Adiabatische Befeuchter bewirken eine direkte Verdunstung des Wassers in der Luft ohne Energiezufuhr von außen. Die für die Verdunstung nötige Wärme wird von der befeuchteten Luft bereitgestellt, die dadurch abkühlt.

Diese Geräte schaffen eine große Kontaktfläche zwischen der Luft und dem Wasser im flüssigen Zustand, das spontan verdunstet. Der größte Vorteil der adiabatischen Befeuchtung liegt im extrem geringen Stromverbrauch: Energie ist nur für die Zerstäubung/Vernebelung des Wassers in kleinste Tröpfchen (in Mikrongröße) erforderlich.

Im Winter muss das Heizregister die Luft stärker vorwärmen, als es bei der Dampfbefeuchtung der Fall ist. Dies ist erforderlich, um den Effekt der Verdunstungskühlung zu kompensieren. Der Gesamtverbrauch bleibt aber dennoch extrem niedrig und zählt zu den günstigsten unter allen Techniken. Im Sommer kann dieser Verdunstungskühlungseffekt für eine zusätzliche Energieeinsparung genutzt werden, wenn die Luft gleichzeitig gekühlt und befeuchtet werden muss.

Die meist verbreiteten adiabatischen Befeuchtungstechniken sind:

- Sprühdüsenysteme
- Ultraschallvernebler

### Sprühdüsenysteme

Die Sprühdüsenysteme (Nieder- und Hochdrucksysteme) sind mit einer Pumpe für den Druckaufbau im Wasser auf Werte im Niederdruck von 5 bis 15 bar und im Hochdruck von 25 bis 75 bar ausgestattet. Das Wasser wird über ein im Luftkanal untergebrachtes Verteilungssystem mit kleinen Düsen in feinsten Nebel zerstäubt, der von der Luft absorbiert wird.

Diese Befeuchter erreichen einen ausgezeichneten Präzisionsgrad (bis zu  $\pm 1\%$  r.F.) bei sehr großen Befeuchtungslasten. Sie haben einen extrem geringen Stromverbrauch. Das Wasser wird nicht umgewälzt. Es handelt sich um eine hygienische, chemiefreie und VDI 2022 zertifizierte Lösung. Bei der Befeuchtung mit vollentsalztem Wasser ist der Wartungsbedarf minimal.

### Ultraschallvernebler

Durch die Wirkung der Hochfrequenzschwingungen von piezoelektrischen Elementen vernebeln die Ultraschallvernebler das Wasser in noch kleinere Tröpfchen als die Hochdruckzerstäuber.

Die Ultraschallvernebler können Präzisionswerte bis zu  $\pm 1\%$  r.F. erreichen. Sie modulieren die Produktion im gesamten Nennleistungsbereich. Diese Befeuchter eignen sich sowohl für die direkte Raumbefeuchtung als auch für die Luftkanalbefeuchtung. Sie haben eine hohe Absorptionseffizienz und versorgen kleine und mittlere Installationen.

Trotz der höheren Beschaffungskosten gegenüber anderen Kleinbefeuchtern gewährleisten sie durch ihr Leistungslevel, ihren niedrigen Energieverbrauch und den geringen Wartungsaufwand schnelle Amortisationszeiten, vor allem bei Retrofit-Installationen als Ersatz von Dampfanlagen.

## 6. Anforderungen an das Befeuchtungssystem

Alle Komponenten des Befeuchtungssystems und insbesondere die Befeuchter müssen spezielle Voraussetzungen erfüllen, damit sie in einem kritischen und heiklen Anwendungsbereich wie in Krankenhäusern eingesetzt werden können. Diese Voraussetzungen sind:

- Hygienesicherheit
- Zuverlässigkeit
- Energieeinsparung
- Konnektivität

### Hygienesicherheit

Das Befeuchtungssystem muss gewährleisten, dass sich in der Umgebung weder Bakterien noch Schadstoffe ansammeln beziehungsweise verbreiten können.

Diese Vorschrift ist für Krankenhäuser besonders wichtig, weil Patienten geschwächt und anfällig für neue Infektionen sind.

Besondere Vorkehrungen sind gegen die Legionella-Bakterien zu treffen, die sehr hohe Mortalitätsraten verursachen und in der Vergangenheit für zahlreiche Todesfälle im Zusammenhang mit Krankensepidemien verantwortlich waren.

Aus diesem Grund sind die isothermen Befeuchter die bevorzugte Wahl. Sie sieden Wasser auf  $100^\circ\text{C}$ , um Dampf zu produzieren, der praktisch keimfrei und somit hygienisch sicher ist. Für einige Krankenhausbereiche, zum Beispiel OP-Säle, sind isotherme Befeuchter gesetzlich vorgeschrieben. Sie verhindern, dass über das Befeuchtungssystem Krankheitserreger wie Legionellen verbreitet werden können. Die Legionella-Bakterien werden bei Temperaturen über  $70^\circ\text{C}$  unmittelbar inaktiviert und von den isothermen Befeuchtern [8] vollständig beseitigt.



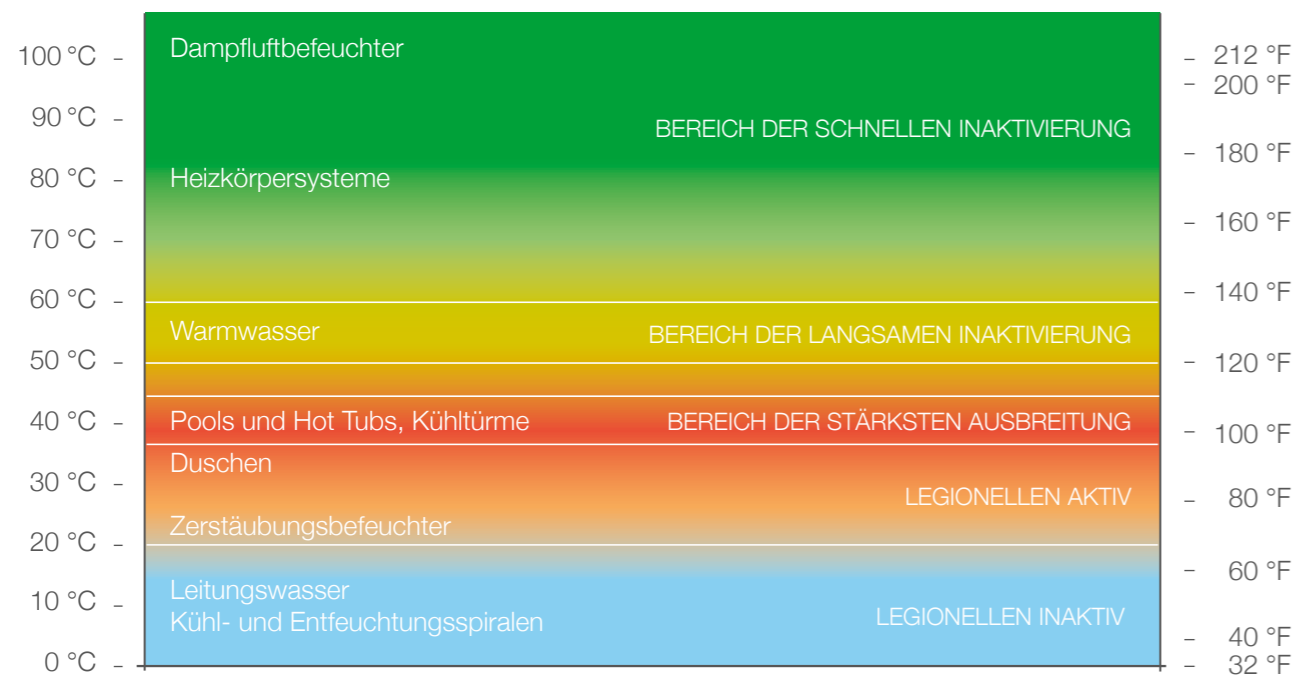


Abbildung 11. Das Diagramm erläutert das Verhalten des Legionella-Bakteriums bei verschiedenen Temperaturen von 0 bis 100°C.

Auch einige adiabatische Befeuchtungstechniken, zum Beispiel Hochdruckzerstäuber oder Ultraschallvernebler, können in Krankenhausumgebungen eingesetzt werden, sofern bautechnische Maßnahmen zur Gewährleistung der Hygienesicherheit getroffen werden.

Kein Befeuchter darf stagnierendes Wasser aufweisen, und muss während Untätigkeitszeiten abgeschlänmt und periodisch gespült werden, weil ansonsten bakterienwachstumsfördernde Zonen entstehen könnten.

Außerdem muss die Leitungswasserqualität überprüft werden. Zu viele Mineralsalze und darin vorkommende Mikroorganismen können in der Umgebung verbreitet werden, wenn sie nicht vorab gefiltert werden. Es empfiehlt sich somit die Speisung von mit Umkehrosmose-Anlagen demineralisiertem Wasser. Diese kommerziell entwickelte Technik gewährleistet optimale Filtrationsleistungen.

Einen weiteren Vorteil bieten die Befeuchter, die aus korrosionsbeständigem und schmutzabweisendem Material gebaut sind.

Ebenso sollten Behandlungen mit UV-Desinfektor vorgesehen werden, der die den Umkehrosmose-Prozess überlebenden Bakterien definitiv eliminiert. Als Alternative zur UV-Desinfektion können chemische Biozide eingesetzt werden. Diese sind jedoch sehr teuer und erfordern Spezialmaßnahmen bei der Wasserentsorgung sowie häufige Keimzahl-Analysen. Im Falle einer Funktionsstörung des Biozid-Regelungs- und Verteilungssystems könnte der Befeuchter mit hygienisch unreinem Wasser gespeist werden: Es handelt sich also **nicht** um eine **intrinsisch sichere** und jedenfalls nicht für Krankenhausanwendungen geeignete Lösung.

Eine weitere Systemsicherheitsvorkehrung ist die Möglichkeit, einen Begrenzungsfühler zu verwenden. Dieser im Luftkanal oder im Raum zu positionierende Sensor erfasst, wann die Feuchte einen vordefinierten Grenzwert überschreitet. Bei Überschreiten stoppt er die Produktion und beugt dadurch der Kondensatbildung vor. Kondensat birgt hygienisch-gesundheitliche Risiken, wenn es eine Wasserstagnation verursacht. Die fortschrittlichsten Modelle unterstützen eine modulierende Messung; bei der Annäherung an den Grenzwert reduzieren sie die Feuchteproduktion in feinen Schritten und verhindern dadurch ein hartes Abschalten der Anlagen. Einige Befeuchter sind zur Vermeidung von Kondensatbildung mit einer Fern-EIN/AUS-Funktion ausgestattet. Die Funktion stoppt die Feuchteproduktion bei funktionsgestörtem Lüftungssystem im Luftkanal.

Außerdem müssen die bautechnischen Lösungen auf das Vorhandensein von fachspezifischen Zertifizierungen (wie die deutsche VDI 6022) zur Gewährleistung der herstellerseitigen Systemhygienesicherheit geprüft werden.

## Zuverlässigkeit

Krankenhäuser sind Einrichtungen von primärer Wichtigkeit, auf die auch bei Funktionsstörungen, Wartungsarbeiten oder besonderen Klimabedingungen Verlass sein muss. Im Winter genügt schon eine stündliche Lüfterneuerung ohne Befeuchtung, um die relative Feuchte unter die Alarmschwelle sinken zu lassen. Das Befeuchtungssystem muss zuverlässig sein und die Anlagenstillstände so weit wie möglich minimieren, um eine absolute Unterbrechungsfreiheit des Betriebs zu gewährleisten.

Die Wahl sollte auf Systeme fallen, die imstande sind, Anlagenstillstände wegen Instandhaltung zu minimieren. Allgemein gilt, dass Befeuchter mit demineralisiertem Speisewasser einen geringeren Wartungsaufwand erfordern, weil Kalkablagerungen vermieden werden, die periodisch beseitigt werden müssen und/oder den Austausch von Bauteilen bedingen.

Eine hohe Zuverlässigkeit bedeutet, dass der Befeuchter eine größere Unterbrechungsfreiheit gewährleistet. Im Falle der isothermen Befeuchter sind Lösungen nennenswert, die eine Vorerwärmung des Wassers im Dampfzylinder ermöglichen.

Zusätzlich wirkt es sich positiv aus, wenn Rotations- und Redundanzfunktionen in den Befeuchtern implementiert sind. Die Rotationsfunktion ermöglicht einen Betriebswechsel unter den teilnehmenden Befeuchtern, um die Betriebsstunden auszugleichen und Instandhaltungsintervalle zu verlängern. Die Redundanzfunktion gewährleistet Unterbrechungsfreiheit: Beim Ausfall eines Befeuchters wegen Instandhaltung oder Störung wird die Befeuchtung nicht unterbrochen, weil ein anderer Befeuchter den fehlenden Anteil kompensiert.

Ein Befeuchtungssystem mit beiden Merkmalen (Betrieb mit demineralisiertem Wasser und Rotations-/Redundanzfunktion) ist sicherlich die zuverlässigste Lösung: Die Feuchteproduktion wird auch nicht im Falle von kleinen Instandhaltungseingriffen unterbrochen.







## Energieeinsparung

Effiziente Systeme, die weniger Energie verbrauchen, lassen die Betriebskosten reduzieren und gleichzeitig die neuesten Richtlinien über die Gebäudeklimatisierung einhalten. Einige Techniken und einige Befeuchter am Markt implementieren Spezialmaßnahmen, welche höhere Investitionskosten durch eine langfristig größere Kosteneinsparung rechtfertigen. Energieverbrauchstechnisch sind die isothermen Befeuchter gegenüber anderen Techniken benachteiligt. Ihr Funktionsprinzip sieht siedendes Wasser vor, für welches sie 750 W pro Liter verdunstetes Wasser bereitstellen müssen.

Die Befeuchter mit elektrischen Heizelementen oder Tauchelektroden liefern die Leistung über Strom und haben bei großen Befeuchtungslasten somit sehr hohe Betriebskosten.

Die adiabatischen Befeuchter sind verbrauchstechnisch die besten, weil der Stromverbrauch für die Versorgung der Pumpen der Hochdruckzerstäuber (< 4 W) und für die Vibration der Piezoelemente der Ultraschallvernebler (< 80 W) extrem gering ist und im Winterbetrieb die Energie für die Verdunstung aus der Heizenergie ebenfalls verwendet werden kann.

Soll im Sommer die Wirkung der Verdunstungskühlung genutzt werden, kann die Wahl nur auf einen adiabatischen Befeuchter fallen. Diese Anwendung bietet in warmen und trockenen Klimazonen das größte Potenzial, weil die Luft gleichzeitig befeuchtet und gekühlt wird und sich die Energieeinsparung maximiert. Die Kühlwirkung beträgt 0,7 kW pro Liter verdunstetes Wasser, der Energieverbrauch ist extrem gering.

Durch die indirekte Verdunstungskühlung wird der Stromverbrauch im Sommer zusätzlich gesenkt: Denn durch die Befeuchtung und Kühlung der Abluft, bevor diese durch einen rekuperativen Wärmetauscher fließt, wird die RLT-Anlage weniger in Anspruch genommen.

## Konnektivität

Konnektivitätsfeatures sind im Befeuchtungssystem zwar nicht zwingend erforderlich, gewinnen jedoch zunehmend an Bedeutung und kommen dem Bedarf an Erfassung, Überwachung und Verwaltung der Daten in komplexen Systemen mit verschiedenen Sollwerten – wie in Krankenhäusern – nach.

Aus diesem Grund sind BMS-gestützte HLK-Systeme mit zentraler Multi-Site-Verwaltung und Befeuchtungssystem-Steuerung immer häufiger anzutreffen. Grundlegend ist es also, dass die Befeuchter die meist verbreiteten Kommunikationsprotokolle wie Modbus und BACnet integrieren.

HygroMatik Befeuchter können über einen Gateway im lokalen Netzwerk oder über LTE fernüberwacht werden. Dadurch wird die Bedienung und Konfiguration des gesamten Befeuchtungssystems über PC oder Tablet ermöglicht. Angebunden an einen Überwachungsleitnehmer kann das System auch im Fernbetrieb gemanagt werden. Dies vereinfacht die Verwaltung der zahlreichen, in den Krankenhauseinrichtungen vorhandenen Einheiten.

Hygienesicherheit	Zuverlässigkeit	Energieeinsparung	Konnektivität
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dampfbefeuchtung</li> <li>• keine Wasserstagnation</li> <li>• periodische Spülungen</li> <li>• demineralisiertes Wasser</li> <li>• korrosionsbeständiges Material</li> <li>• UV-Desinfektion</li> <li>• Begrenzungsfühler</li> <li>• Freigabesignal vom Ventilator der RLT-Anlage</li> <li>• Hygienezertifizierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotations- und Redundanzfunktionen</li> <li>• weniger Anlagenstillstände wegen Wartung</li> <li>• demineralisiertes Wasser</li> <li>• Wasservorwärmung und weniger Abschlämmungen zwecks Verdünnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• adiabatische Befeuchtung</li> <li>• Verdunstungskühlung</li> <li>• geringere Betriebskosten für Gasbefeuchter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• integrierte Kommunikationsprotokolle (Modbus, BACnet)</li> <li>• BMS-Kompatibilität und Fernsteuerung</li> </ul>

## 7. Verteilungssysteme für Dampf/Wasserdampf

Die Systeme für die Feuchteverteilung sind in Krankenhausanwendungen im Luftkanal positioniert. Sie bestehen aus perforierten Verteilerrohren und unterscheiden sich im Wesentlichen danach, ob sie mit Hochdruckwasser oder Dampf gespeist werden.

Ihre Wirksamkeit drückt sich in der Absorptionseffizienz aus. Dieser Grundparameter misst die effektiv von der Luft absorbierte Wassermenge im Verhältnis zur insgesamt in den Luftkanal eingeführten Wassermenge. Vernebelte Tröpfchen, die nicht vollständig absorbiert werden, oder Dampf, der im Kontakt mit Oberflächen kondensiert, tragen zur Energieverschwendung bei und sind eine Gefahr für die Hygienesicherheit des Luftkanals.

Die Hochdruckwasser-Verteilungssysteme müssen aus rostfreiem Stahl gebaut sein und an die Größe des Luftkanals angepasst werden. Die Düsen sollten klein, in ausreichender Anzahl und gut distanziert sein, um den Großteil des Abschnittes abzudecken, ohne übermäßig lange Absorptionsstrecken vorzusehen.

Die Dampfverteilungssysteme haben typischerweise höhere Absorptionseffizienzwerte. Sie verursachen jedoch eine Neukondensierung des Dampfes, wenn dieser mit den kalten Metalloberflächen des Verteilers in Berührung kommt. Zur Begrenzung des Phänomens werden einige Vorkehrungen getroffen: Kondensatabscheider am Dampfverteiler einlass; Düsen, die den Dampf aus der Lanzenmitte entnehmen, Isolierschichten oder Luftkissen, welche die Außenflächen vor einer übermäßigen Temperaturabsenkung schützen.

Eine weitere Komponente des Verteilungssystems ist der Tropfenabscheider, der nur bei Vorhandensein von adiabatischen Befeuchtern verwendet wird. Für Krankenhausanwendungen sollte er aus rostfreiem Stahl bestehen und muss auf einfache Weise abgenommen und gereinigt werden können.

Der Luftkanal muss einen geeigneten Sammelbehälter mit Abfluss vorsehen, damit kein Wasser stagnieren kann. Außerdem können eine Reihe von bautechnischen Lösungen in Erwägung gezogen werden, damit die raumluftechnische Anlage „desinfizierbar“ wird: Verteilungsracks und Paneele, die Infiltrationen vermeiden und den Luftkanal thermisch und akustisch isolieren, oder aber spezielle antibakterielle Oberflächenbehandlungen.



## 8. Wasseraufbereitungssysteme

Wasseraufbereitungssysteme haben die Aufgabe, die Qualität des Befeuchterspeisewassers zu verbessern, um den Befeuchterbetrieb zu optimieren und die Luftqualität in der befeuchteten Umgebung zu erhöhen. Aus diesem Grund müssen die adiabatischen Befeuchter und einige isotherme Befeuchtertypen in Krankenseinrichtungen immer mit einem Wasseraufbereitungssystem kombiniert werden.

Die befeuchtungstechnische Wasseraufbereitung besteht vorwiegend in der Enthärtung und in der Umkehrosmose.

### Enthärtung

Bei der Wasserenthärtung wird die temporäre Härte des Wassers reduziert; das Wasser wird jedoch nicht gereinigt: Die kalksteinbildenden Calcium- und Magnesiumsalze werden durch Natrium regeneriert. Dadurch vermindert sich die Kalksteinbildung in den isothermen Befeuchtern, die mit Wasser auf hoher Temperatur arbeiten. Der Salzgehalt wird dabei nicht reduziert. Enthärtetes Wasser wird empfohlen für den Betrieb von Heizkörper-Dampfluftbefeuchtern.

### Umkehrosmose

Die Umkehrosmose reduziert die Wasserleitfähigkeit durch Verminderung der darin enthaltenen Menge an gelösten Salzen. Diese Behandlung verhindert nicht nur Kalksteinbildung im Befeuchterinneren, sondern reinigt auch das Wasser. Durch die Umkehrosmose können Befeuchter unter den besten Bedingungen arbeiten; die Luftqualität in der befeuchteten Umgebung steigt, zum Vorteil für Personen und Geräte.

Wasseraufbereitungssysteme sollten unbedingt folgende Merkmale aufweisen: einfache Instandhaltung, integrierte UV-Desinfektionsfunktion zur Beseitigung aller Bakterien, hohes Entsalzungsverhältnis (besagt, wie viel „Reinwasser“ im Verhältnis zum verbrauchten Wasser produziert wird).

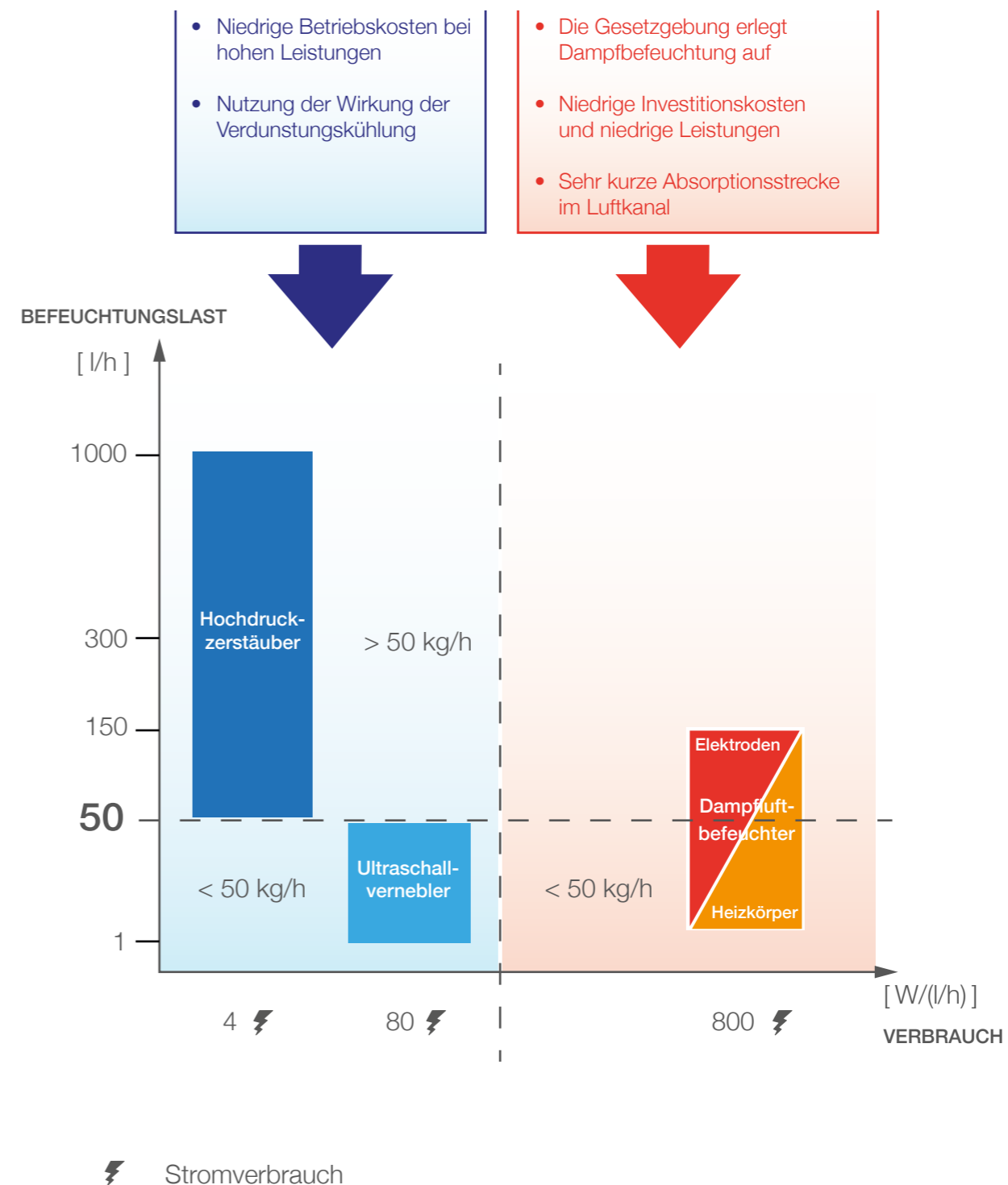
## 9. Befeuchterauswahlkriterien

Welches das beste Befeuchtungssystem für jeden Krankenhausbereich ist, hängt von den Merkmalen der einzelnen Installation ab. Dabei können einige generelle technischen Auswahlkriterien berücksichtigt werden.

Wie im nachfolgenden Kapitel erläutert wird, kann die Gesetzgebung in bestimmten Krankenhausbereichen die Dampf-befeuchtung vorschreiben. Andernfalls können die Kriterien der erforderlichen Befeuchtergröße, des Platzbedarfs im Luftkanal, der Betriebskosten und der Investitionskosten verwendet werden.

Allgemein haben die adiabatischen Befeuchter sehr niedrige Betriebskosten, höhere Anschaffungskosten und erfordern längere Absorptionsstrecken im Luftkanal. Die Hochdruckzerstäuber eignen sich mit ihren Stundenkosten pro Liter Wassernebel für höhere Befeuchtungslasten als die Ultraschallvernebler. Einige Modelle sind außerdem mit einer einzigen Pumpe imstande, für die direkte Befeuchtung der Zuluft (im Winter) und für die indirekte Befeuchtung der Abluft (im Sommer) zu sorgen.

Die isothermen Befeuchter haben niedrigere Investitionskosten, aber höhere Betriebskosten. Sie sind idealer für mittel-kleine Befeuchtungslasten oder dort, wo es die Gesetzgebung vorschreibt. Ganz unabhängig von der gewählten Technik sollte sichergestellt werden, dass die Lösungen bautechnisch die Anforderungen an die Hygienesicherheit und Zuverlässigkeit erfüllen, und dass es sich um krankenhaushausgerechte Energiespar- und Konnektivitätslösungen handelt.



## Gesetzesgrundlagen

Die Merkmale der raumluftechnischen Anlagen und Befeuchtungssysteme sind sowohl in Deutschland als auch im Ausland durch regionale, nationale und internationale Gesetze geregelt.

Das Legionella-Risikomanagement ist aufgrund seiner Wichtigkeit separat geregelt.

## Parameter für Reglementierung

Die Luftbehandlung und insbesondere die Befeuchtung sind von regionalen, nationalen und internationalen Gesetzen streng geregelt und hängen von der Art der Krankenhausumgebung ab. OP-Säle erfordern strengste thermohygrometrische und luftqualitätstechnische Bedingungen. In Krankenstationen, Visitenräumen, Umkleieräumen und Medikamentenstauräumen herrschen andere Vorschriften.

Es werden zahlreiche Parameter reglementiert. Die Wichtigsten sind:

- der im Raum akzeptable Temperatur- und Feuchtebereich
- Anzahl der stündlichen Lüfterneuerungen von besetzten Räumen

Weitere Parameter betreffen die akzeptierte Kontaminationsklasse, den Filtertyp, die Filtereffizienz, die Dekontaminationszeit, den Luftströmungstyp, die Art und Anordnung der Luftdurchlässe, die Luftgeschwindigkeit, die maximale Differenz zwischen Zulufttemperatur und Raumtemperatur, das Vorhandensein von Narkosegasen, den zulässigen Geräuschpegel.

Oft variieren die Vorschriften von Land zu Land. Die aktuellsten und strengsten Bestimmungen stimmen jedoch mit den thermohygrometrischen Vorgaben des gegenständlichen Dokuments überein.

Das Legionella-Risikomanagement wird von jedem Land mit einer eigenen Gesetzgebung geregelt. Es umfasst:

- die Anlagenkonstruktionsvorschriften gegen das Legionella-Risiko
- die Elemente, welche die Legionella-Bakterienproliferation fördern (Wassertemperaturen 20 bis 50 °C, Leitungen mit niedrigem Wasserdurchsatz, saisonale oder gelegentliche Verwendung der Anlagen, Speisewasserbeschaffenheit, Verwendung von Gummi in Verbindungsstücken, etc.)
- in welchen Anlagen und wann Legionella-Risikobewertungen durchgeführt werden müssen
- Probeentnahme- und Analysemethoden
- Desinfektionen
- Reinigung und periodische Instandhaltungen

Diese Parameter definieren die Sollwerte und die Merkmale der Raumluftechnik. Sowohl die internationalen als auch deutschen Normen erlegen Einschränkungen in Bezug auf die in bestimmten Umgebungen zulässigen Befeuchtertypen auf. Die OP-Säle sind die am strengsten kontrollierten Umgebungen. Sie dürfen üblicherweise nur über RLT-Zentralen mit ausschließlich isothermen Befeuchtungssystemen versorgt werden. Die aktuellen Bezugsvorschriften werden durch DIN 1946-4, VDI 6022-3 (2002) und Bericht Legionellen und Legionellose (05/2005) für den deutschen Markt definiert [Quelle: AiCARR].

In Amerika ist seit 2013 in OP-Sälen der Einsatz von adiabatischen Hochdruckzerstäubern zugelassen, sofern einige zwingende Vorkehrungen für die Gewährleistung der Hygienesicherheit der Installation getroffen werden. Dazu gehören der Einsatz von Umkehrosmoseanlagen mit UV-Desinfektoren für die Wasseraufbereitung, die Verwendung von Tropfenabscheidern und Begrenzungsfühlern, das Verbot des Wasserumlaufs, die konditionierte Freigabe des Befeuchterbetriebs nur bei freigegebenem Luftkanalventilatorbetrieb. Viele der hier als hygienisch sicher beschriebenen Merkmale werden von der Gesetzgebung als Mindestanforderung vorgeschrieben.



## 10. Deutsche Gesetzgebung

Parameter für Reglementierung	DIN 1946-4	
Thermohygrometrische Bedingungen	Zulufttemperatur, relative Feuchte	19-26 °C, regelbar, r.F. gemäß DIN 13779
	Max. Δt zwischen Lulufttemperatur und Raumtemperatur	Nicht spezifiziert
Kontaminationsklasse	Vorgeschriebene ISO-Klasse	Klassifizierung nach RKI: Klassen Ia,Ib,II
	Kontaminationsmessung	Bakterienkeimzahl und Partikelzahlen
Mindestbodenfläche OP-Saal		Nicht spezifiziert
Frischluf und Rezirkulationsluft	Rezirkulation zulässig?	Ja, mit Luft aus derselben Raumgruppe
	Stündliche Außenluftzufuhr	1200 m³/h Außenluft
Filter	Filtervorschriften	1. Stufe F5 (empfohlen F7) 2. Stufe F9 3. Stufe H13 innerhalb 0,5 m von den Räumen
	Filterposition	1. Stufe der RTL-Anlage vorgeschaltet 2. Stufe in Zuluft 3. Stufe in Zuluft
Dekontaminationszeiten		Nicht spezifiziert
Strömungsarten	Empfohlene Strömung	Verdrängungsströmung für Säle Typ A, Verdrängungs- oder Mischströmung für Säle Typ B w
	Dedizierte Geräte	Nicht spezifiziert
Luftgeschwindigkeit	Max. zulässiger Turbulenzgrad in OP-Sälen	Nicht spezifiziert
	Luftgeschwindigkeitsgrenze in OP-Sälen	Nicht spezifiziert
	Luftgeschwindigkeit im Düsen-/Verteilerauslass	Mindestens 0,23 m/s nach Filter
Raumunterteilung	Unterteilung der OP-Abteilung	Bezug auf Tabelle 2 der Norm
	Räume mit unterschiedlicher Kontamination	Raumklasse I, hohe Keimzahl-Kontrollanforderungen (OP-Säle)
	Kontaminationskontrollmethoden	Luftströmung zwischen Räumen mit Kreuztabelle für die Festlegung der Strömungsrichtung
Anordnung der Luftdurchlässe	Zuluft	Nicht spezifiziert
	Abluft	Oben (Umluft) und unten (Fortluft)
Narkosegase	Konzentrationsgrenzwerte OP-Saal	N <sub>2</sub> O = 25 ppm; halogeniert = 2 ppm; Obergrenze (NIOSH-Werte)
Minstdurchsatz in Standby		im Standby min. 2m/s in Kanälen vor HEPA-Filtern
Max. zulässiger Geräuschpegel		48dB(A)

Datenquelle: AiCARR

## 11. Schlussfolgerungen

Befeuchten ist in Krankenhausbetrieben wichtiger, als es den Anschein hat. Die Befeuchtung beeinflusst:

- die Entwicklung von Krankheitserregern und die Übertragung der Infektionen zwischen Patienten
- den Schutz der medizinischen Geräte gegen elektrostatische Entladungen
- die thermische Behaglichkeit für die Patienten und das Leistungsniveau des ärztlichen Personals

Unzählige Studien beweisen, dass der optimale Bereich der relativen Feuchte zwischen 40 und 60 % liegt. Dieselben Vorschriften, welche die Planung und den Bau der raumluft- und befeuchtungstechnischen Anlagen für Krankenhäuser regeln, machen die Gewährleistung dieser Werte zur Auflage.

Aus diesem Grund ist das Befeuchtungssystem in Krankenhäusern eine Pflichtinstallation. Seine Bauteile müssen die anwendungsspezifischen Anforderungen an Hygienesicherheit, Zuverlässigkeit und Konnektivität erfüllen. Die Wahl von – bei Möglichkeit – hochleistungsfähigen adiabatischen oder isothermen Befeuchtern lässt den Befeuchtungsbedarf mit den Energiesparzielen in energieintensiven Umgebungen wie in Krankenhäusern kombinieren.

Diese Entscheidungen beeinflussen maßgebend sowohl den medizinischen Zustand der Krankenhauspatienten als auch die damit für die Gesellschaft einhergehenden Kosten.

### Literaturverzeichnis

1. Taylor S. (2016), „Breathe Easy: two basic steps to improve patient outcomes and healthcare reimbursement“
2. Taylor S., Hugentobler W. (2016), „Is low indoor humidity a driver for healthcare-associated infections?“
3. Noti J.D., Blachere F.M., McMillen C.M., Lindsley W.G., Kshon M.L., Slaughter D.R., et al. (2013), „High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs“
4. Robert Koch Institut, Pressemitteilung 2019, Neue Schätzung zur Krankheitslast durch Krankenhaus-Infektionen, [https://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2019/14\\_2019.html](https://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2019/14_2019.html)
5. John M Kolyer, Donald E Watson (1999), „ESD from A to Z : electrostatic discharge control for electronics“
6. U.S. Department of Defense, Military Handbook 263B (1994), „Electrostatic discharge control handbook for protection of electrical and electronic parts, assemblies and equipment“
7. Wyon David P., Fang Lei, Lagercrantz Love, Fanger P. Ole (2005), „Experimental determination of the limiting criteria for human exposure to low winter humidity indoors“
8. World Health Organizations (2007), „Legionella and the prevention of legionellosis“
9. ASHRAE Standard 170-2013 Addendum M (2016), „Ventilation of Health Care Facilities“
10. Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". WikiJournal of Medicine 1 (2). DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen\\_0766\\_RespiratoryEpithelium.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0766_RespiratoryEpithelium.png)

## Unser Service für 100 % Kundenzufriedenheit

- Persönliche Betreuung vor Ort durch qualifizierte Außendienstmitarbeiter und Handelspartner
- Lange Verfügbarkeit von Ersatzteilen
- Technische Telefon-Hotline +49 4193 895-293 oder [hotline@hygromatik.com](mailto:hotline@hygromatik.com)
- HygroMatik Servicepartner in ganz Deutschland, Österreich und der Schweiz - auch in Ihrer Nähe
- Betriebsanleitungen, Planungsdaten und Workshopangebote im Internet unter [hygromatik.com](http://hygromatik.com)
- Besuchen Sie unseren digitalen Showroom unter [showroom.hygromatik.com](http://showroom.hygromatik.com)



**HYGROMATIK**<sup>®</sup>  
member of CAREL group 

HygroMatik GmbH  
Lise-Meitner-Str. 3  
24558 Henstedt-Ulzburg  
Germany

T +49 4193 895-0  
F +49 4193 895-33  
[hy@hygromatik.de](mailto:hy@hygromatik.de)  
[www.hygromatik.com](http://www.hygromatik.com)