Foto: Thinkstock/ Deagreez

Grippe-Alarm! Draußen zu kalt? Nein, drinnen zu trocken

GESUNDHEITLICHE FOLGEN ZU TROCKENER RAUMLUFT – TEIL 2 Die relative Luftfeuchte übt einen entscheidenden Einfluss auf physikalische Eigenschaften der Luftverunreinigungen aus. Steigende Luftfeuchtigkeit reduziert die Schwebstoffbelastung und verringert damit das Krankheitsrisiko. Darüber hinaus bietet der Feuchtebereich von 40 bis 60 % einen natürlichen Schutz gegen Infektionserreger. Dr. Walter Hugentobler

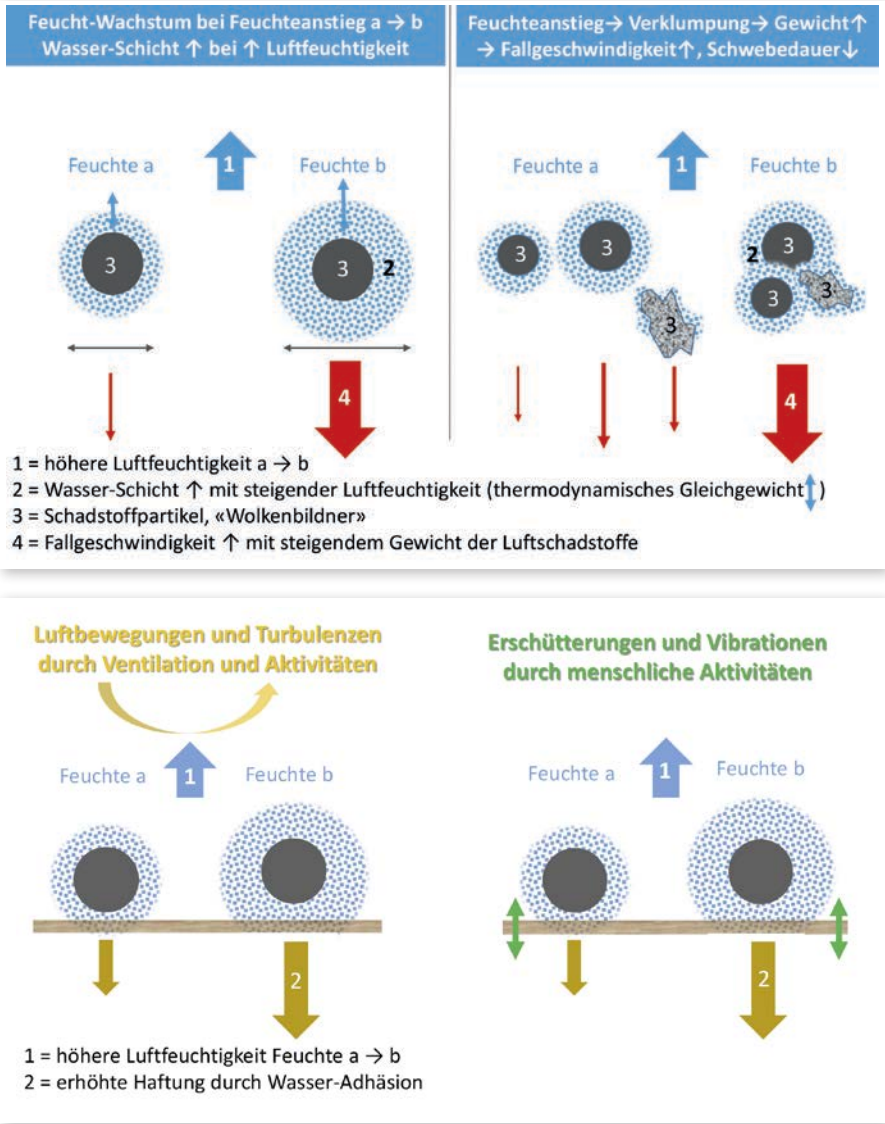
Die Luftschadstoffpartikel (Aerosole) in Gebäuden bestimmen bis zu 50 % unseres Risikos für chronische Lungenerkrankungen und auch für Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Trotzdem ist nur wenigen in der Gebäudetechnik-Branche bewusst, welch entscheidenden Einfluss die relative Feuchte auf die physikalischen Eigenschaften der Luftverunreinigungen ausübt. Das Gewicht der Schadstoffpartikel, ihre Schwebedauer in der Luft und ihre Haftung auf Oberflächen hängt wesentlich von der Luftfeuchtigkeit ab.

Auf jedem Schwebepartikel, dessen Durchmesser größer als 0,1 µm (Mikrometer) ist, lagern sich Wassermoleküle aus der Luft ab. Die Partikel werden „Wolkenbildner“, Englisch „Cloud Condensation Nuclei, CNN“ genannt. Bei einer Luftfeuchtigkeit um 100 % wären Wetterphänomene wie Wolken, Nebel und Regen ohne diese Kondensationskerne gar nicht möglich. Im mittleren Feuchtebereich sind die Auswirkungen einer höheren oder niedrigeren Luftfeuchtigkeit zwar unsichtbar, aber nicht weniger dramatisch für unsere Gesundheit.

Zusammen mit der Lüftungssituation und den Aktivitäten im Raum beeinflusst die Luftfeuchtigkeit die Schwebstoffbelastung in unseren Gebäuden. Die Aerosolphysik liefert Erklärungen für die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen, die klar zeigen, dass steigende Luftfeuchtigkeit die Schwebestaubbelastung reduziert, während sinkende Luftfeuchtigkeit die Belastung und damit das Krankheitsrisiko erhöht. In realen Gebäuden wurden diese Zusammenhänge leider noch nie

systematisch untersucht. Wir kennen sie jedoch aus unseren Alltagserfahrungen: Auch ohne Messinstrumente können wir sehen, riechen und spüren, wie ein Feuchteanstieg die Staub- und Geruchskonzentration in der Luft senkt. Wo durch Schleifen, Sägen und Bohren störende und gesundheitsschädigende Stäube anfallen, kann die Luftbelastung durch Anheben der Luftfeuchtigkeit sichtbar und spürbar (Hustenreiz) gesenkt werden. Selbst Geruchsbelästigungen, die durch molekulare Geruchsstoffe verursacht werden, können z.B. in der Abfallbeseitigung durch Luftbefeuchtung verringert werden. Unsere Nasen signalisieren ohne aufwendige Messungen den Erfolg dieser Maßnahme. Ebenso zuverlässig können die Nasen der Pollenallergiker die Abnahme der Pollenkonzentrationen bei höherer Feuchtigkeit und Regen registrieren. Umgekehrt spüren sie die negativen Auswirkungen von trockenem und windigem Wetter. Die schadstoffsenkenden Einflüsse der Witterung auf städtische Luftverschmutzungen sind ebenfalls gut bekannt.

Abb. 1 zeigt Vorgänge, die sich im mikroskopischen Bereich für uns unsichtbar abspielen und obige Beobachtungen erklären. Die relative Luftfeuchtigkeit beeinflusst über den Wasserdampf die Dicke des Wasser-Mantels um die Partikel und damit ihr Gewicht (Fallgeschwindigkeit) sowie ihre „Klebrigkeit" (Haftung). Verklumpung, Haftung und Fallgeschwindigkeit nehmen mit der Feuchte zu und die Aufwirbelung ab. Die praktischen Auswirkungen werden beispielsweise beim feuchten Wischen genutzt, das durch zusätzliches Haften und Verklumpen der Partikel einen besseren Reinigungseffekt ermöglicht als trockenes Wischen. Feuchtigkeit bewirkt, dass feines Pulver auf glatten Oberflächen haftet und lässt zwei glatte Oberflächen stark „verkleben". Als „staubtrocken" bezeichnen wir einen Trocknungsprozess, der so weit abgeschlossen ist, dass Staub nicht mehr anhaftet. All diese Vorgänge sind gesteuert von der Luftfeuchtigkeit, deren Einfluss auf die Wasseradhäsion von 0 bis 100 % Luftfeuchtigkeit exponentiell ansteigt. Ab ca. 40 bis 50 % relativer Feuchte nehmen die Auswirkungen drastisch und spürbar zu.



1 Eine höhere Luftfeuchtigkeit führt zur Gewichtszunahme und Verklumpung der Schadstoffpartikel und damit zu höherer Fallgeschwindigkeit und verkürzter Schwebedauer. Dadurch senkt sie die Schadstoffkonzentration und die gesundheitliche Belastung (oben). Aktivitäten wie Herumgehen oder Reinigungsarbeiten verursachen Luftturbulenzen und Erschütterungen, durch die insbesondere bei geringer Luftfeuchte Staub und Schadstoffe aufgewirbelt werden. Höhere Luftfeuchtigkeit verringert dies, weil die Partikel stärker auf Oberflächen haften (unten).

Mittlere Luftfeuchte inaktiviert infektiöse Aerosole

Aerosole können als trockene Partikel vorliegen, z.B. als Rauch-, Textil- oder Hautpartikel. Sie können auch als Mikro-Tröpfchen aus unseren Atemwegen stammen oder durch aerosolisierende Prozesse aus Flüssigkeiten in die Luft übertreten. Bei einer einzigen Toilettenspülung werden über 100 000 Mikro-Tröpfchen in die Luft abgegeben. Eine spezielle Bedeutung für unsere Gesundheit haben die infektiösen Aerosole. Mikroben (Bakterien, Viren und Pilzbestandteile) sind raumfüllend in unvorstellbar hoher Zahl in allen Gebäuden vorhanden. Die Krankheitserreger werden von Menschen als „trockene" oder „feuchte" Aerosole in die Raumluft abgegeben, als Kontaktübertragung auf Oberflächen abgestreift und durch Turbulenzen (Mischlüftung, Herumgehen, Reinigungsarbeiten) von Oberflächen wieder aufgewirbelt. Messungen zeigen, dass die Raumluftbelastung mit Schwebstoffen um das mehr als Zehnfache zunimmt, sobald Menschen im Raum aktiv werden. Rund zwei Drittel des messbaren Anstiegs sind bedingt durch Partikel, die von Oberflächen aufgewirbelt werden.

Der Arzt, Maler und Autor Fritz Kahn (1888–1968) hat Anfang des 20. Jahrhunderts die Übertragungswege von Bakterien

eindrücklich in Bildern festgehalten (**Abb. 2**). Die allermeisten Schwebepartikel sind zum Glück harmlos oder sogar nützlich, wie neue Forschungsergebnisse eindrücklich zeigen.

Wir sind ständig von einer Wolke trockener Aerosole umgeben, die u.a. aus Hautschuppen, Textilfasern, Schmutzpartikeln und Mikroben besteht. Pro Minute und Person werden 50 000 bis 100 000 Schwebepartikel mit einem Durchmesser von mehr als 5 µm abgegeben sowie 1000 bis 5000 kultivierbare Bakterien (Quelle: VDI Richtlinie 2083, Reinraumtechnik).

Beim Husten, aber auch beim Sprechen und bei der bloßen Atmung geben wir kleinste Schleim- und Speichel-Tröpfchen in die deutlich trockenere Raumluft ab. Die größten und schwersten Tröpfchen fallen nach kurzer Flugzeit auf Oberflächen, die kleinsten Tröpfchen schweben stundenlang in der Luft und werden mit den Luftströmungen im gesamten Gebäude verteilt.

2 Fritz Kahn (1888–1968, Arzt mit mikrobiologischer Ausbildung, Autor und Maler) stellte 1926 den Weg eines Angina-Erregers anschaulich dar: Vom Erkrankten, der auf die Straße spuckt über das Verschleppen per Schuhsohle auf die Fußmatte des Cafés bis zur Austrocknung und Übertragung der Mikrobe via Lufttransport in die Tasse des Angesteckten, der drei Tage später an Angina erkrankt.

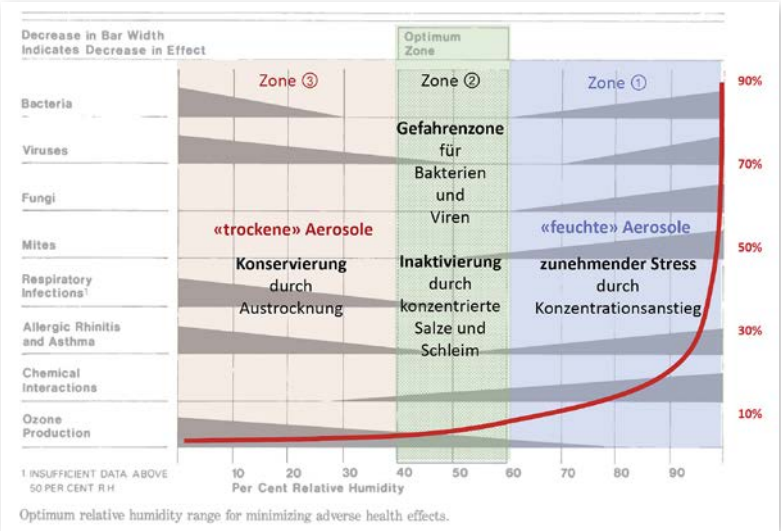
Die infektiösen Tröpfchen aus den feuchten Atemwegen durchlaufen bei der thermodynamischen Anpassung an die trockene Raumluft einen Verdunstungsprozess, sie „verdampfen" förmlich in der Raumluft (**Abb. 3**, rote Kurve). Ihr Endzustand und das Schicksal der suspendierten Mikroben hängen wesentlich von der relativen Raumluftfeuchtigkeit ab. In zahlreichen Experimenten wurde das Überleben von Viren und Bakterien in Mikro-Tröpfchen untersucht. Es zeigte sich, dass Bakterien und Viren im mittleren Feuchtebereich zwischen 40 und 60 % innerhalb weniger Minuten inaktiviert werden (**Abb. 3**, Zone 2, grün). Bei höherer Luftfeuchtigkeit (Zone 1, blau) und bei Feuchtigkeit unterhalb von 40 % (Zone 3, rot) überleben Viren und Bakterien stundenlang, vermutlich sogar tagelang und länger. Wie ist das möglich?

Bei mittlerer Raumluftfeuchte verlieren die Aerosol-Tröpfchen innerhalb weniger Sekunden mehr als 90 % ihres Volumens und schrumpfen auf die Hälfte ihres ursprünglichen Durchmessers. Der Wasserverlust führt dazu, dass die Konzentration von Salzen, Eiweißen und anderen in Schleim und Speichel enthaltenen Aerosolbestandteilen stark ansteigt. Im Feuchtebereich von 40 bis 60 % erreicht der Konzentrationsprozess sein Maximum. Die rund 13-fach konzentrierten Aerosolbestandteile inaktivieren die enthaltenen Viren und Bakterien.

Liegt jedoch die Wasserdampfsättigung der Luft unterhalb von rund 40 %, trocknen die Aerosole vollständig aus (s. **Abb. 4 bis 6**). In den trockenen Substanzen sind die Viren und Bakterien eingelagert, sozusagen konserviert und bleiben infektiös. Werden die vertrockneten, stark hygroskopischen Aerosole eingeatmet, nehmen sie in den feuchten Atemwegen erneut Wasser auf. Die ausgetrockneten Substanzen gehen in Lösung und die Erreger können einen erneuten Infektionsprozess starten. Die luftgetragene (aerogene) Übertragung ist damit erfolgreich abgeschlossen.

Erkältungswelle durch geringe Luftfeuchtigkeit

In geheizten Räumen ist eine relative Luftfeuchte von deutlich weniger als 40 % der Normalfall. Der Austrocknungsprozess erfolgt hier so rasch, dass die Erreger die kurze Phase der Übersättigung unbeschadet überstehen und wie beschrieben in den vertrockneten Aerosolen konserviert werden. Die Raumlufttrockenheit schafft damit Jahr für Jahr ideale Voraussetzungen für die epidemische Verbreitung der Grippe- und Erkältungserreger in unseren Gebäuden. Unterstützt auch dadurch, dass wir hier praktisch alle Kontakte pflegen und die Raumluft miteinander teilen. Erkältungen haben somit keinen ursächlichen Zusammenhang mit der kalten Winterluft. Abgesehen davon, dass wir uns im Winter weniger im Freien aufhalten,



3 Der Originaldarstellung des Scofield Sterling Diagramms (im Hintergrund) ist eine rote Kurve überlagert, die den Wasseranteil [%] eines infektiösen Aerosols aus den Atemwegen in unterschiedlicher relativer Raumluftfeuchte aufzeigt. Von rechts (sehr feucht) nach links nimmt mit abnehmender Feuchte durch den 13-fachen Anstieg der Aerosolbestandteile der Stress für die Mikroben zu – bis zur Inaktivierung im Feuchtebereich zwischen 40 und 60 %. Ist die relative Luftfeuchte noch niedriger, wird dieser Bereich so schnell durchlaufen, dass Viren und Bakterien nicht inaktiviert, sondern durch Austrocknung konserviert werden.

werden die abgegebenen Mikroben in der Außenluft innerhalb kurzer Zeit sehr stark verdünnt und dadurch ungefährlich.

Von vielen Infektionskrankheiten wissen wir, dass sie jahreszeitlich gehäuft auftreten. In unserem Klima wird vor allem in den kalten Wintermonaten eine massive Häufung von Atemwegsinfektionen beobachtet, allen voran die Grippeepidemien und Erkältungskrankheiten. Die viralen und bakteriellen Erreger dieser Winterplage haben ein gemeinsames, typisches Merkmal: Sie überleben lange in sehr trockener Raumluft! Die Erkrankten geben sie in die Raumluft ab, wo sie durch Austrocknung in den Aerosolen konserviert und mit den Luftströmungen im Gebäude verteilt werden. Sind genügend empfängliche, nicht immune Personen anwesend, ergeben sich ideale Voraussetzungen für eine epidemische Ausbreitung.

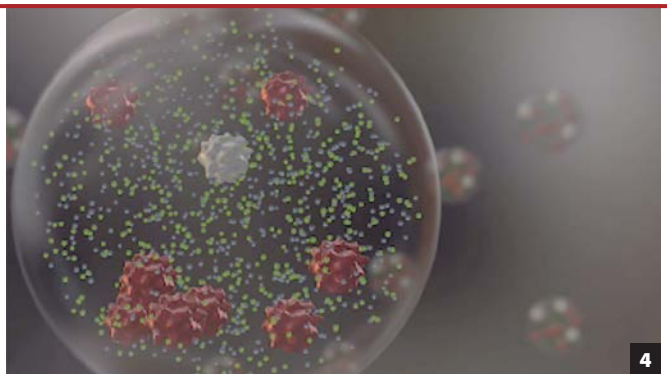
Wie im ersten Teil des Beitrags erklärt, erreicht die Luftfeuchtigkeit während der Heizperiode im Büro-Arbeitsbereich so gut wie nie Durchschnittswerte über 30 % („Wüstenklima im Büro", GEB 01-2017, WEBCODE **746224**). Demzufolge ist die Raumluftfeuchtigkeit nie hoch genug, um die als Aerosole in den Raum abgegebenen Mikroben inaktivieren zu können.

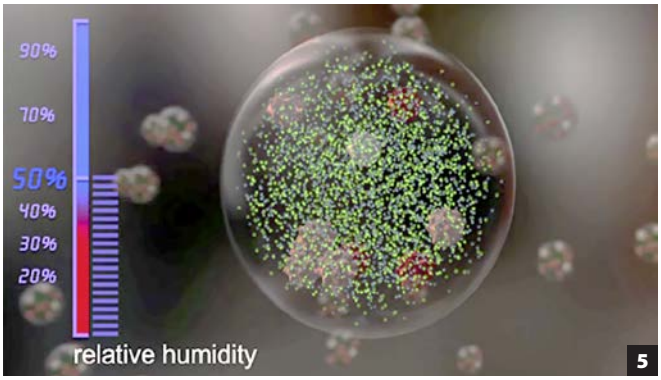
„Feuchtigkeits-Lücke" in den Gebäuden

Man kann bildhaft von einer „Feuchtigkeits-Lücke" im winterlichen Raumklima sprechen. Der Feuchtebereich zwischen 40 und fast 100 % Wasserdampfsättigung ist während der Heizperiode in den Innenräumen nahezu inexistent. Dies gilt insbesondere für Gebäude, in denen keine zusätzlichen Feuchtelasten durch häusliche Tätigkeiten anfallen, d.h. für Immobilien, die Büro-, Schulungs- und Verkaufszwecken dienen sowie für Verkehrsmittel. Die winterliche Feuchtelücke lässt sich nur mit einer aktiven Befeuchtung schließen. Die damit verbundenen erhöhten Anforderungen an die Qualität der Gebäudetechnik, der erhöhte Energie- und Investitionsbedarf und nicht zuletzt der hygienische Kontroll- und Wartungsaufwand wird von der Immobilienbranche gefürchtet. Die billigend in Kauf genommenen gesundheitlichen und wirtschaftlichen Schäden durch Arbeitsausfälle und Krankheitskosten werden ignoriert.

Die Tatsache, dass eine mittlere Luftfeuchtigkeit von 40 bis 60 % für sehr viele Mikroben tödlich ist, ist nicht leicht nachvollziehbar und passt schlecht in das klassische Infektionsverständnis der Hygieniker. Der natürliche Schutz vor Infektionserregern, den uns die Naturgesetze im mittleren Feuchtebereich bieten, wird in unseren Häusern im Winter leichtfertig verheizt und weggelüftet. Es wäre Aufgabe der Hygieniker, Epidemiologen und Präventivmediziner, die Konsequenzen des winterlichen Wüstenklimas auf unsere Gesundheit zu untersuchen. Dass in den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts das reichlich vorhandene Wissen über die Luftübertragung von Mikroben und deren Feuchteabhängigkeit in die Mottenkiste der Geschichte verbannt wurde, war rückblickend eine Fehlentscheidung. Grippeimpfungen und Antibiotikaeinsatz allein vermögen uns immer weniger vor Infektionskrankheiten zu schützen und sind mit immer mehr Nebenwirkungen behaftet. ■

War Ihnen bewusst, welchen Einfluss die Raumluftfeuchte auf die Verbreitung von Infektionserregern hat? Wie gehen Sie mit dem Thema um?
Diskutieren Sie mit im GEB Forum unter www.bit.ly/geb1342 .





Infektiöses Aerosol-Tröpfchen in trockener und feuchter Raumluft

4 Infektiöses Tröpfchen mit aktiven (roten) und wenigen inaktiven Mikroben (weiß): Die Mikroben sind suspendiert in salzhaltigem (grüne und blaue Punkte) Schleim und Speichel.

5 Tröpfchen in feuchter Raumluft von 50 % relativer Luftfeuchte: Das Tröpfchen hat 90 % seines Volumens durch Wasserabgabe verloren. Die Konzentration von Salzen und Eiweißen ist auf das 13-Fache gestiegen (übersättigt) und inaktiviert die Mikroben.

6 Bei trockener Raumluft mit einer relativen Luftfeuchte von 30 % bewirkt der Wasserverlust die rasche, vollständige Austrocknung. Die Mikroben werden konserviert und bleiben aktiv.

Dr. med. Walter Hugentobler

ist pensionierter Facharzt für Allgemeine Innere Medizin. Durch die Nähe seiner Praxis zum Flughafen Zürich/Kloten und durch die Betreuung von viel fliegendem Personal wurde er früh mit den praktischen Konsequenzen der Lufttrockenheit konfrontiert: ein Thema, mit dem sich Dr. Hugentobler in der gesamten Zeit seiner beruflichen Praxis auseinandergesetzt hat.

w.hugi@bluewin.ch