



GEBÄUDE GESÜNDER MACHEN

Welche Faktoren vor Infektions-
übertragungen schützen

Luftbefeuchtung, Entfeuchtung
und Verdunstungskühlung

 **condair**

DER MENSCH IM MITTELPUNKT

WIE GEBÄUDE UNSERE GESUNDHEIT SCHÜTZEN KÖNNEN

Gebäude jetzt neu denken

Gebäude wurden ursprünglich gebaut, um uns vor einer feindlichen Umgebung zu schützen. Inzwischen haben das immer intensiver verfolgte Ziel der Energie- und Betriebseffizienz und der Einsatz künstlicher Hightech-Materialien zum Gegenteil geführt: Gebäude können auch krankmachen. Wie anfällig wir in unseren Gebäuden geworden sind, zeigen die Erkenntnisse aus der Corona-Pandemie.

In den letzten Jahren haben die Fortschritte in der Gebäudetechnik immer energieeffizientere und zunehmend luftdicht verschlossene Gebäude ermöglicht. Hightech-Dämmstoffe, leichte Gebäudekonstruktionen und mechanische Lüftungen führen zu einer hervorragenden Energiebilanz und zu Kosteneinsparungen. Flächenoptimierungen und eine höhere Nutzerdichte, beispielsweise durch Open Space Konzepte, folgen zusätzlich dem Ziel der Kostensenkung. Welche Konsequenzen diese Entwicklung für die Gesundheit der Gebäudenutzer hat, wird kaum berücksichtigt.

Zu wenig Raumklima-Standards

Das Raumklima hat für den Gesundheitsschutz in Gebäuden eine herausragende Bedeutung. Wissenschaftliche Nachweise über den Einfluss auf die Immunabwehr und die Verbreitung von Atemwegsinfektionen haben in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Ein gesünderes Innenraumklima in Büros, Schulen, Krankenhäusern oder Seniorenheimen würde Unternehmen, Gesundheitsdienste und Volkswirtschaften gleichermaßen enorm entlasten. Trotzdem gibt es noch zu wenig umfassende Standards für alle Einflussgrößen des Raumklimas.



1

Erkenntnisse aus Covid-19

Angesichts der Corona-Pandemie hat sich die öffentliche Aufmerksamkeit verstärkt auf die Virus-Gefahr in Gebäuden konzentriert. Bereits länger bekannte Zusammenhänge sind dabei neu in den Mittelpunkt gerückt und unterstreichen, welchen Einfluss Frischluft, Temperatur, Mindestluftfeuchte, aber auch Licht auf die Verbreitung von Viren haben. Andererseits wurden auch neue Technologien bekannt, wie die UV-C Bestrahlung, über deren Gefahren der Kenntnisstand noch gering ist.

Jetzt neu denken und verbessern

Diese Broschüre soll dazu motivieren, Gebäude neu zu denken. Gesundere Gebäude sind das Ergebnis vieler Faktoren, die sich auch gegenseitig beeinflussen. Nicht alle Maßnahmen passen zu jedem Gebäude oder sind technisch umsetzbar. Die hier vorgestellten Zusammenhänge sollen den Dialog zwischen Gebäudeverantwortlichen, Nutzern und Arbeitsschutzbeauftragten fördern, um für Neubauten oder Bestandsgebäude das richtige Paket für mehr Gesundheit zu schnüren.

2



Gebäude gesünder machen

GESUNDHEIT UND PRODUKTIVITÄT

WARUM WIR GESUNDE GEBÄUDE BRAUCHEN

Gesunde Gebäude – gesündere Menschen

Durch Atemwegsinfektionen entstehen massiver Produktivitätsausfall und hohe Gesundheitskosten, die zu Lasten von Unternehmen und der Gesellschaft gehen. Wie katastrophal die volkswirtschaftlichen Konsequenzen sein können, zeigte der Corona-Lockdown. Allein Influenza-Infektionen verursachen jedes Jahr mehr als 500 Millionen Erkrankungsfälle weltweit. Besondere Gefahren gehen von Gebäuden aus, in denen sich viele Menschen in unmittelbarer Nähe aufhalten oder diese bereits Vorerkrankungen haben.



Luft ist ein Lebensmittel

Bis zu 90 % unserer Zeit verbringen wir in Innenräumen. Das Raumklima hat einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit, die Leistungsfähigkeit und auf die Kosten in Unternehmen und öffentlichen Gesundheitsdiensten.

Beispiele: Wie die Innenraumluft Gesundheit und Produktivität beeinflusst

	 Büro-/Arbeitsplatz	 Schule/Kindergarten	 Krankenhaus/Altenheim
13.000 Liter Luft	bis 9 % weniger Produktivität	3 % bessere Noten	10 % Infektionen
Am Tag fließen bis zu 13.000 Liter Luft durch unsere Nase, Mund und Lungen. Luft ist Lebensmittel	Schlechte Qualität der Innenraumluft kann einen Produktionsverlust von 6–9 % verursachen ⁽¹⁾	Bessere Luftqualität in Schulen erhöht die Erfolgsrate der Schüler, die einen Test bestehen um rund 3 % ⁽²⁾	An im Krankenhaus erworbenen Infektionen erkranken rund 10 % der hospitalisierten Patienten weltweit ⁽⁵⁾
90 % durch Viren	16 % der Arbeitsunfähigkeitstage	2 x so viele Fehltage	bis 30 % Luftübertragung
Rund 90 % aller akuten Atemwegsinfektionen werden durch Viren verursacht, am häufigsten durch Rhinoviren (30–50 %), Influenza, Parainfluenza und Coronaviren	16 % der Arbeitsunfähigkeitstage von Büroarbeitern resultieren aus Erkrankungen der Atemwege ⁽²⁾	In Kindergärten mit kontrollierter Luftfeuchte fallen 3 % der Präsenztage durch Erkältungssymptome aus im Vergleich zu 5,7 % mit nicht kontrollierter Luftfeuchte ⁽⁴⁾	15 % bis 30 % infektiöser Mikroben in Krankenhäusern können auf dem Luftweg übertragen werden

⁽¹⁾ Wyon, D.P. "The Effects of Indoor Air, Quality on Performance and Productivity." IndoorAir, U.S. National Library of Medicine, 2004

⁽²⁾ Statista Research Department, Germany, 2020

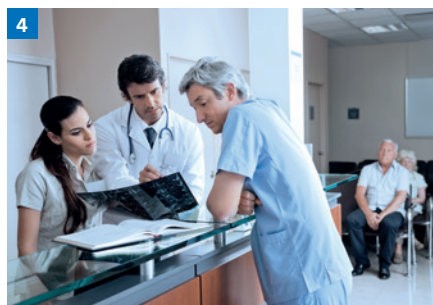
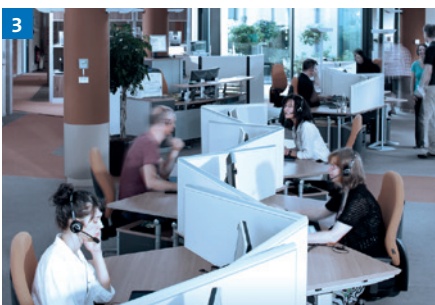
⁽³⁾ Haverinen Shaughnessy et al., Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement, 2011

⁽⁴⁾ Ritzel, G. Sozialmedizinische Erhebungen zur Pathogenese und Prophylaxe von Erkältungskrankheiten, 1966

⁽⁵⁾ Report on the burden of endemic health care associated infection worldwide, World Health Organization 2011

Gebäude gesünder machen:

- 1 Gebäude neu denken
- 2 Faktoren für gesündere Gebäude
- 3 Open Space Büro mit vielen Mitarbeitern
- 4 Risikogruppe: Vorerkrankte und Ältere



Gebäude gesünder machen

ÜBERTRAGUNGSWEGE

KONTAKT, TRÖPFCHEN UND AEROSOLE

Geschlossene Räume sind ansteckend

Virale Infektionen der Atemwege werden nahezu ausschließlich von Mensch zu Mensch in Innenräumen übertragen. In der industrialisierten Welt interagieren, arbeiten, schlafen und pendeln Menschen 90 % ihrer Lebenszeit in geschlossenen Räumen. Bei den Ausbreitungswegen unterscheidet man zwischen Luftübertragung, direkter und indirekter Kontaktübertragung.



Bei der direkten Kontaktübertragung wird ein Virus durch direkten Haut- und Schleimhautkontakt übertragen, ohne dass das Virus ein anderes Medium als Transportweg nutzt. Wenn zum Beispiel ein Grippe-Infizierter in die Hand niest, haften die Viren an der Handfläche. Gibt der Erkrankte einem anderen Menschen die Hand, können die Viren über Mund, Nase, Augen in die Schleimhäute eindringen. Diese auch als Schmierinfektion bezeichnete Übertragung kann auch indirekt erfolgen, wenn sich Erreger beispielsweise an gemeinsam genutzten Türgriffen oder anderen Oberflächen absetzen.

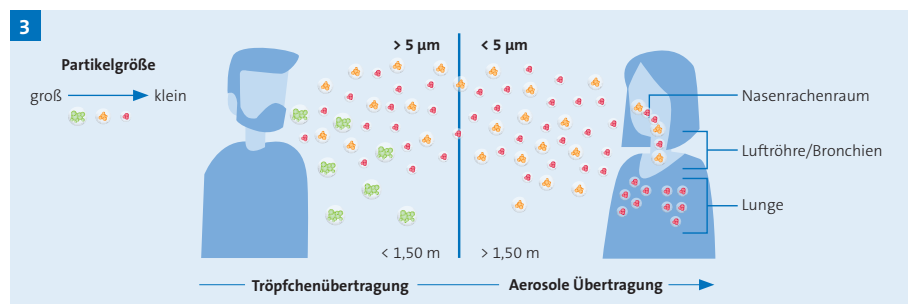
Tröpfcheninfektion

Häufigster Ansteckungsweg ist die Luftübertragung im Nahbereich über Tröpfchen und im Fernbereich über Aerosole. Viren eines Infizierten werden von einem anderen Menschen eingeatmet

und über die Schleimhäute der oberen Luftwege aufgenommen. Je nach Größe der Partikel spricht man von einer Tröpfchen- oder Aerosolübertragung. Beim Atmen, Husten, Sprechen oder Niesen gelangen Krankheitserreger, die im Atemtrakt siedeln, durch Partikel in unterschiedlicher Größe und Anzahl an die Luft. Von Tröpfchen spricht man in der Medizin bei einem Durchmesser von mehr als 5 μm (Mikrometer). Diese für die Tröpfcheninfektionen relevanten größeren Partikel schweben nur kurz in der Luft und sinken nach nur wenigen Sekunden auf den Boden oder setzen sich auf anderen Flächen ab. Tröpfchen werden nur bis zu einer Distanz von ca. 1,5 bis 2 m übertragen. Allerdings kann eine Übertragung auch durch die Berührung von kontaminierten Oberflächen erfolgen, wenn anschließend beispielsweise Viren über die Hände mit den Schleimhäuten in Kontakt gebracht werden.

Aerosolübertragung

Von einer Luftübertragung mit luftgetragenen Partikeln spricht man bei der sogenannten Aerosolübertragung. Kleinere Flüssigkeitspartikel mit einer Größe von weniger als 5 μm werden als Aerosole bezeichnet. Teilweise bestehen diese Partikel nur noch aus einem Tröpfchenkern und festen Rückständen und haben durch ihre geringe Masse das Potenzial über mehrere Stunden in der Raumluft transportiert zu werden. Aufgrund ihrer Größe sind sie besonders leicht und weisen eine nur geringe Sinkgeschwindigkeit auf. Auch bei geringer Raumluftgeschwindigkeit können sich virenbeladene Aerosole in großen Räumen über eine erhebliche Zeitspanne in der Luft ausbreiten.



Gebäude gesünder machen

ÜBERTRAGUNGSWEGE

KONTAKT, TRÖPFCHEN UND AEROSOLE

4



- A** Direkte Kontaktübertragung
- B** Tröpfcheninfektion
- C** Aerosolübertragung
- D** Indirekte Kontaktübertragung

Persönliche Schutzmaßnahmen

Um sich vor Virusübertragungen in Innenräumen zu schützen, gibt es unterschiedliche Maßnahmen, die abhängig vom Übertragungsweg wirksam sind: Bei der Tröpfchen- und Schmierinfektion kann durch personenbezogene Maßnahmen, wie Handhygiene, Niesen in die Ellenbogenbeuge, Einhalten eines Mindestabstandes und das Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes, die Ansteckungsgefahr gut eingedämmt werden. Anders sieht es bei der Aerosolübertragung aus, bei der diese Maßnahmen kaum wirksam sind.

Faktor Raumklima

Die räumliche Ausbreitung von Aerosolen erfordert es, über persönliche Hygienemaßnahmen hinaus, Umweltfaktoren im Innenraum zu identifizieren und zu steuern, die das Übertragungsrisiko beeinflussen können. Relevant sind dabei Faktoren mit direktem Einfluss auf Reichweite, Schwebefähigkeit und Infektiosität von virenbeladenen Aerosolen. In geschlossenen Räumen spielt daher das Raumklima eine zentrale Rolle. Studien zeigen, dass die Kontrolle des Luftwechsels, der Temperatur und der relativen Luftfeuchte wirksame

Luftübertragung

Die Virusverbreitung durch luftgetragene Aerosole wird maßgeblich vom Raumklima in Gebäuden beeinflusst. Luftwechsel, Temperatur und relative Luftfeuchte sind relevante Faktoren zur Reduzierung des Infektionsrisikos.

Maßnahmen zur Eindämmung von Aerosolübertragungen sind: Beispielsweise reduziert eine optimierte Lüftung mit hohem Frischluftanteil durch Verdünnung und Heraustragen von infektiösen Aerosolen das SARS-CoV-2 Infektionsrisiko während eine zu geringe Luftfeuchtigkeit die Überlebenszeit von Viren in Aerosolen erhöht.

5



6



Übertragungswege:

- 1** Viren verbreiten sich in Innenräumen
- 2** Übertragung von Mensch zu Mensch
- 3** Tröpfchen- und Aerosolübertragung
- 4** Übertragungswege am Arbeitsplatz
- 5** Schulen und Kindergärten
- 6** Aerosole setzen sich auf Oberflächen ab

Gebäude gesünder machen

BELÜFTUNG

LUFTWECHSEL UND FILTERUNG

Frische Luft gegen infektiöse Aerosole

Jeder weiß, um gesund zu bleiben, sollte man möglichst viel an die frische Luft gehen! Was für draußen gilt, gilt auch für Innenräume. Denn je höher der Frischluftanteil, desto geringer ist die Virenkonzentration. Ebenso wichtig sind Filter und die richtige Strömungsrichtung der Raumluft: Je mehr Partikel ausgefiltert werden und je weniger verbrauchte Luft durch den Raum wirbelt, umso besser.

Möglichst viel Frischluft in den Raum zu lassen, ist die wirksamste Methode virus-haltige Aerosole aus Innenräumen zu entfernen. Je mehr Frischluft, desto stärker werden die virenbeladenen Aerosole in der Raumluft verdünnt.

Fensterlüftung

Die einfachste Möglichkeit ist die Fensterlüftung. Wie viel Luft durch ein Fenster strömt, hängt vom Temperaturunterschied, der Windgeschwindigkeit/-richtung sowie der Öffnungsfläche des Fensters ab. Als generelle Empfehlung gilt, dass stündlich für mehrere Minuten das Fenster voll geöffnet werden sollte (Stoßlüften). Intensiver ist der Luftaustausch, wenn zwei gegenüberliegende Fenster gleichzeitig geöffnet werden (Querlüftung). Allerdings ist eine Fensterlüftung nur begrenzt wirksam: Im Sommer ist oft der Temperaturunterschied zwischen

außen und innen zu gering und es weht nur ein schwacher Wind. Im Winter spricht der Energieverlust und das Sinken der relativen Luftfeuchte gegen eine dauerhafte Fensteröffnung.

Mechanische Lüftung

Raumlufttechnische (RLT-) Anlagen können kontrolliert die benötigte Frischluftmenge in den Raum und verbrauchte Luft aus dem Raum befördern. Kenngröße ist die Luftwechselrate: Ein Luftwechsel von 1x pro Stunde bedeutet, dass die zugeführte Frischluftmenge pro Stunde dem Raumvolumen entspricht. Je höher der Luftwechsel, desto geringer das Infektionsrisiko. Die ideale Luftwechselrate hängt von der Nutzung und der Anzahl der Personen im Raum ab. Zu beachten ist, dass ein höherer Luftwechsel den Energieverbrauch steigern und zum Absinken der relativen Luftfeuchte führen



kann. Mit der Kontrolle des CO₂-Wertes (Kohlendioxid-Konzentrationen) bekommt man einen realistischen Eindruck darüber, wie gut ein Raum belüftet ist. Von guter Luftqualität spricht man, wenn die CO₂-Konzentration unter 1.000 ppm (parts per million) liegt.

Filter

Spezielle Filter können auch kleinste Aerosole aus der Luft entfernen. Insbesondere bei RLT-Anlagen mit hohem Umluftanteil ist der Einsatz von Filtern empfehlenswert. Dazu existieren verschiedene Filterklassen, die eine bestimmte Partikelgröße effektiv herausfiltern. Hochwertige MERV-Filter (ab Klasse 13) und HEPA-Filter sind so ausgelegt, dass sie über 99 % der Partikel mit einer Größe bis zu 0,3 µm (Mikrometer) abfangen können. Bei kleineren Partikeln ist die Wirksamkeit begrenzt.

Einfluss des Luftwechsel auf das Infektionsrisiko aerosolgebundener Viren¹

		Wohnung*	Klassenraum			Mehr- personen- Büro		Großraum- Büro		Hörsaal	
Raumvolumen	m³	220	210			65		1.200		10.000	
Personen max.	—	2	35			4		33		1.000	
Zeit	h	8	5			8		8		1,5	
Luftwechsel	1/h	0,5	0,5	6,0	0,5	2,5	0,5	1,5	0,5	3,3	
Infektionsrisiko **	RR _{inf}	1-fach	12-fach	1-fach	3-fach	1-fach	2-fach	1-fach	5-fach	1-fach	

*Referenz „Privater Wohnbereich“ ** relatives Infektionsrisiko gegenüber Referenz

¹ vgl. D. Müller, K. Rewitz, D. Derwein, T.M. Burgholz: Vereinfachte Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen, RWT Aachen University (2020)



Gebäude gesünder machen

Warum zu trocken und zu warm krank macht

Dass Erkältungs- und Grippewellen vor allem in der kälteren Jahreszeit auftreten, hängt maßgeblich von saisonalen Faktoren ab, die das Klima im Innenraum beeinflussen. Ursache dafür sind die Lufttemperatur und eine fallende relative Luftfeuchtigkeit. Aber auch im Sommer können zur Kühlung eingesetzte Klimageräte die Luft austrocknen und in Räumen zirkulieren lassen. Virenbeladene Aerosole haben dann leichtes Spiel.

Trockene Luft entsteht nicht zufällig, sondern ist eine Wechselwirkung aus saisonalen Faktoren, Physik und Gebäude-Eigenschaften. Häufig ist zu trockene Luft im wahrsten Sinne hausgemacht.

Relative Luftfeuchte entscheidend

Wäre ein Gebäude vollständig luftdicht von der Außenwelt abgeschlossen, würde dort eine konstante absolute Luftfeuchtigkeit herrschen. Für die Beurteilung der Feuchtesituation ist jedoch die relative Luftfeuchte entscheidend. Diese gibt die „prozentuale Sättigung“ der Luft mit Wasserdampf an und wird durch die Lufttemperatur bestimmt.

Warme Luft kann eine größere Menge Wasserdampf aufnehmen als kalte Luft. Luft strebt immer danach, bis zu ihrer maximalen Sättigung dampfförmiges

Wasser aufzunehmen. Deshalb sinkt die relative Luftfeuchte bei Erwärmen der Luft und gleichbleibender absoluter Luftfeuchte.

Ein Gebäude im Winter

Wenn Luft im Innenraum erwärmt wird und zusätzlich Fenster geöffnet sind oder mechanisch Frischluft einströmt, wird die Luft noch trockener. Je kälter die Außenluft ist, desto weniger Wasser kann sie aufnehmen und desto trockener ist sie. Wenn diese kalte, trockene Außenluft ins Gebäude strömt, sinkt beim Erwärmen die relative Luftfeuchtigkeit weiter ab. Die Luft strebt danach, ein Gleichgewicht wiederherzustellen und versucht sich durch Feuchtigkeit aus Materialien, Bauteilen und dem menschlichen Körper zu sättigen, wenn nicht zusätzlich befeuchtet wird.



Prof. Dr. Akiko Iwasaki

Professor für Molekular-, Zell- und Entwicklungsbiologie an der Universität Yale und Forscher für das Howard Hughes Medical Institute (USA)

„Zu geringe Luftfeuchtigkeit ist einer der Gründe für das saisonale Auftreten von Grippewellen. Die Welt wäre gesünder, wenn die Luftfeuchtigkeit in allen öffentlichen Gebäuden bei Werten zwischen 40 bis 60% relativer Luftfeuchte liegen würde.“

Richtig lüften und heizen

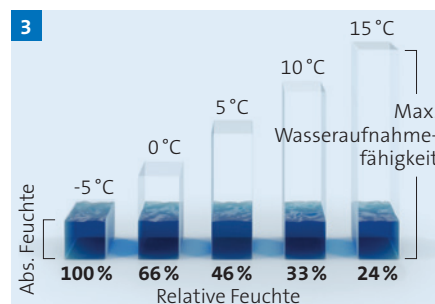
Bevor eine technische Luftbefeuchtung eingesetzt wird, ist die Kontrolle des Luftwechsels und der Temperatur wichtig. Der Frischluftanteil sollte, insbesondere im Winter, auf ein nötiges Maß reduziert sein. Permanent offene Fenster und zu hohe, nicht erforderliche Luftwechselraten sind zu vermeiden, um eine Austrocknung der Luft zu verhindern. Ebenfalls sollten Innenräume nicht überheizt werden. Die ideale Temperatur liegt zwischen 20°C und 22°C.

Absolute Feuchte =

tatsächliche Wassermenge in Form von Wasserdampf in der Luft

Relative Feuchte =

in der Luft enthaltene Wassermenge im Verhältnis zur maximal aufnehmbaren Wassermenge



Bedeutung der Luftqualität

- 1 Frischluft senkt das Infektionsrisiko
- 2 Ein Gebäude im Winter
- 3 Absolute und relative Luftfeuchte

LUFTFEUCHTE

MINDESTENS 40 % IN GEBÄUDEN

Viren lieben es trocken

Die Luftübertragung und die Lebensdauer von Viren wird maßgeblich auch durch die relative Luftfeuchtigkeit im Innenraum beeinflusst¹. Das geringste Übertragungsrisiko herrscht bei einer Mindestluftfeuchte von 40 bis 60 %. Dies ist gleichzeitig auch der Bereich, in dem die Immunabwehr des Menschen am wirkungsvollsten ist.



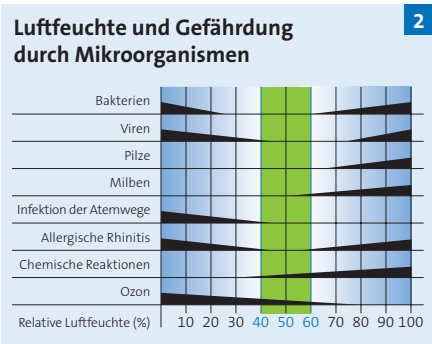
Die Raumluftfeuchte spielt eine entscheidende Rolle für das Schwebeverhalten von virenbeladenen Aerosolen. Anders als bei größeren und schwereren infektiösen Tröpfchen, die nach dem Husten oder Niesen innerhalb weniger Sekunden zu Boden sinken, können die leichteren und kleineren Aerosole stundenlang in der Luft schweben.

Trockene Aerosole schweben länger
Aerosole bestehen im Wesentlichen aus Wasser, gelösten Salzen und Eiweißen. Bei einer relativen Luftfeuchte von unter 40 % verlieren Aerosole ihren Wasseranteil und vertrocknen. Es entstehen trockene Aerosole, die kleiner

und leichter sind und länger durch den Raum fliegen können. Im Vergleich zu feuchten Aerosolen sind sie durch den geringeren Wasseranteil außerdem weniger klebrig und haften weniger untereinander. Durch Luftströme und

Bewegungen der Raumnutzer werden trockene Aerosole schneller wieder von Oberflächen aufgewirbelt und weiter verbreitet².

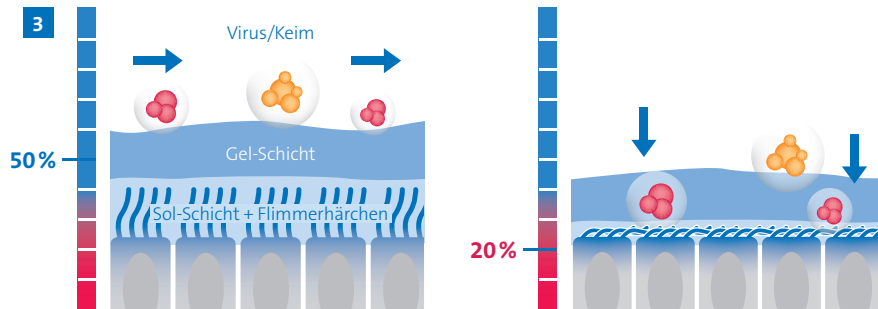
Viren überleben länger
Zusätzlich zum Schwebeverhalten hat die Luftfeuchte auch gravierende Auswirkungen auf die Infektiosität der Keimtröpfchen. Unter 40 % relativer Luftfeuchte trocknen die Aerosole so stark aus, dass die enthaltenen Salze auskristallisieren. Dadurch werden die Viren konserviert und bleiben länger infektiös. Beim Einatmen lösen sich die auskristallisierten Salze in den feuchten Atemwegen wieder auf. Die immer noch ansteckungsfähigen Viren werden auf der Schleimhaut des Atemtraktes freigesetzt und können Infektionen auslösen. Ist die relative Luftfeuchte im optimalen Bereich zwischen 40 und 60 % verdunstet der Wasseranteil der Aerosole nur so weit, dass sich die Salzkonzentration ohne Auskristallisierung stark erhöht und die darin enthaltenen Viren inaktiviert werden können.



Feuchtebereich	 Schwebefähigkeit	 Verweildauer	 Ansteckungsgefahr
60 – 100 % r.F.	gering Große Keimtröpfchen sinken und setzen sich schnell ab	gering Kurze Verweilzeit in der Raumluft	hoch Durch die geringe Salzkonzentration im Wasser bleiben die Keime infektiös
40 – 60 % r.F.	gering Keimtröpfchen mittlerer Größe mit geringer Schwebefähigkeit	gering Geringe Verweilzeit in der Raumluft	gering Hohe Salzkonzentration tötet die Keime ab
0 – 40 % r.F.	hoch Kleine Keimtröpfchen bleiben schwebefähig	hoch Hohe Verweilzeit in der Raumluft	hoch Salze kristallisieren aus und konservieren Keime

¹ Miyu Moriyama, Walter J. Hugentobler, Akiko Iwasaki: Seasonality of Respiratory Viral Infections, Annual Review of Virology (2020)
² W. Yang et al, Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity, PLoS ONE, issue 6 (2011)

Selbstreinigung der Schleimhäute bei unterschiedlicher, relativer Luftfeuchte



Schleimhäute schützen uns

Der Mensch ist Angriffen von Viren und Bakterien nicht schutzlos ausgeliefert. Die Funktionsfähigkeit unseres Immunsystems entscheidet darüber, ob wir krank werden und wie schnell der Genesungsprozess ist. Im Atemtrakt schützen uns die Schleimhäute durch ihre Selbstreinigungsfunktion vor Infektionen. Die Schleimhäute besitzen auf ihrer Oberfläche feine Flimmerhärchen, die sich in einem dünnflüssigen Sekret (Sol-Schicht) frei bewegen. Darüber liegt eine klebrige Gel-Schicht, auf der ein Großteil der eingeatmeten Viren, Bakterien und Luftschadstoffe haften bleiben. Solange die Flimmerhärchen frei beweglich sind, transportieren sie den Schleim zusammen mit den Mikroorganismen in Richtung Kehlkopf, wo er verschluckt oder ausgehustet werden kann.

Geringere Immunabwehr

Mit sinkender Luftfeuchtigkeit verliert jedoch der Abtransport der Krankheitserreger an Wirksamkeit³. Bei geringer Luftfeuchte wird der Sol-Schicht Wasser entzogen. Die Flimmerhärchen werden zunehmend niedergedrückt und verlieren ihre Beweglichkeit. Die zunehmende Viskosität der Schleimhäute führt zu einer Blockade des Schleimflusses und das Infektionsrisiko durch in die Schleimhautzellen eindringende Viren steigt. Sinkt die relative Luftfeuchte auf 20 % kommt der Selbstreinigungsprozess komplett zum Stillstand. Untersuchungen zeigen, dass die höchste Transportgeschwindigkeit und damit das geringste Ansteckungsrisiko bei 45 % relativer Luftfeuchte erreicht wird.



Keine Angst vor Schimmel

Schimmel kann keine Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen, sondern nur aus dem Material auf dem er wächst und in dem er mit seinen Wurzeln verankert ist. In einem trockenen, gut isolierten Mauerwerk kann sich Schimmel unabhängig vom Feuchtegrad der Luft nicht entwickeln.



Zusätzlich die Luft befeuchten

Eine Mindestluftfeuchte von 40 bis 60 % kann heute für jedes Gebäude mit einer technischen Luftbefeuchtung konstant, hygienisch und energieeffizient garantiert werden. Anhängig von den baulichen Voraussetzungen und Zielen können dafür zentrale Systeme in der raumlufttechnischen Anlage oder dezentrale Direkt-Raumluftbefeuchter eingesetzt werden.

Schädigung der Schleimhaut

Zusätzlich wirken bei zu trockener Luft zwei weitere Mechanismen direkt auf die Immunabwehr und setzen unser natürlich angeborenes Immunsystem außer Kraft. Einerseits führt das Einatmen sehr trockener Luft zu einer Schädigung der Epithelzellen und beeinträchtigt die Reparatur der Atemwegsepithelien (Lungenzellen). Diese sind eine physische Barriere unterhalb der Schleimschicht, die verhindert, dass Viren in die Wirtszelle eindringen. Zweitens kann eine geringe Luftfeuchte die Bildung von Interferon im Lungengewebe mindern. Interferone lösen als Botenstoffe die Produktion von Eiweißen (antivirale Gene) aus, die eingedrungene Viren bekämpfen und dadurch die Virusvermehrung stoppen³.

³ Kudo E et al, Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection, PNAS (2019)

Mindestluftfeuchte schützt

- 1 Trockene Aerosole schweben länger
- 2 Scofield-/Sterling-Diagramm
- 3 Trockene Luft schwächt die Immunabwehr

MONITORING

SENSOREN UND GEBÄUDEAUTOMATION

Ohne Messung keine Prävention

Ohne eine solide Datengrundlage ist es schwer zu entscheiden, welche Werte im Einzelfall verändert werden müssen, um das Innenraumklima gesünder zu machen. Systeme, die alle relevanten Kenngrößen zur Luftqualität systematisch erfassen und Handlungen aufzeigen, machen Gebäude gesünder und produktiver. Sensorsysteme und Monitoring-Lösungen lassen sich auch mit wenig Aufwand in jedes Gebäude integrieren.

Zu hohe CO₂-Werte, zu viel Wärme, zu geringe Luftfeuchtigkeit und Luftbelastungen durch Feinstäube und flüchtig organische Stoffe (VOC, volatile organic compounds) gefährden die Gesundheit und senken die Leistungsfähigkeit. Ohne Messungen ist nicht immer erkennbar, warum Menschen sich in Gebäuden unwohl fühlen, krank werden oder sich Atemwegsinfektionen schnell ausbreiten.

Prävention durch Gebäudeautomation

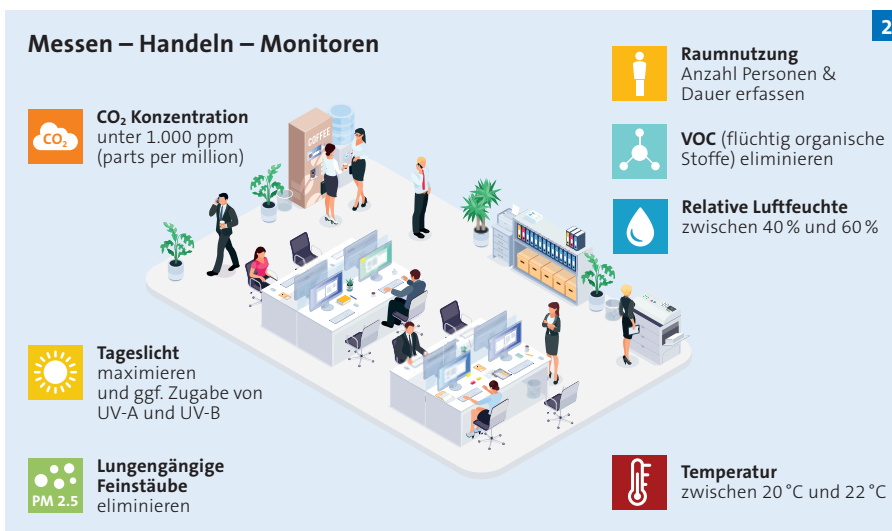
Für die kontinuierliche Überwachung und Quantifizierung der Luftqualität können heute Sensor- und Monitoring-Systeme in jedes Gebäude auch

nachträglich eingebaut werden. Die Systeme werden als integrierter Teil der Gebäudeautomation oder als einfachere Stand-alone-Lösung eingesetzt. Häufig werden die relevanten Kennzahlen wie Temperatur, CO₂-Konzentration, Luftfeuchte und VOC-Belastung mit einer multifunktionalen Sensorik in nur einem einzigen Gerät gemessen. In Verbindung mit Bewegungssensoren können vollintegrierte Systeme sogar erkennen, wie viele Menschen einen Raum nutzen. Frischluft, Temperatur und Luftfeuchte werden automatisch reguliert noch bevor von der Luft im Raum Gefahren für die Gesundheit ausgehen können.



Luftqualität zertifizieren

Für viele Immobilien-Zertifikate ist der Nachweis über eine Kontrolle der Luftqualität durch kontinuierlich messende Sensoren eine notwendige Voraussetzung. Die bekanntesten Standards für Nachhaltigkeit und Gesundheit sind das nordamerikanische LEED, das britische BREEAM, das deutsche DGNB und das internationale WELL Zertifikat. Der WELL Building Standard ist das erste Bewertungssystem, das sich ausschließlich auf das Ziel konzentriert, mit der Gestaltung von Gebäuden und Innenräumen positiven Einfluss auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Nutzer zu nehmen. Um die in den Standards gestellten Anforderungen an das Monitoring der Luftqualität zu erfüllen, ist es in der Regel notwendig, die Lüftungsleistung und die damit verbundene Luftqualität statistisch zu erfassen. Darüber hinaus enthalten die Standards in unterschiedlicher Ausprägung Grenzwerte und Bewertungsmaßstäbe für Luftwechselraten, Partikel-/Ozon-Konzentration, VOC-Emissionen sowie der relativen Luftfeuchtigkeit.



Gebäude gesünder machen

Gesund mit natürlichem Licht

Möglichst viel Sonnenlicht macht Menschen gesünder. Ein Grund dafür ist die durch das Sonnenlicht gesteuerte Bildung von Vitamin D. Aber auch die Lebensdauer von infektiösen Erregern hängt von der Lichteinwirkung ab. Tageslicht ist eine frei verfügbare Ressource, die in Gebäuden aktiv zum Gesundheitsschutz und zur Steigerung der Leistungsfähigkeit genutzt werden kann. Der wichtige UV-A und UV-B Anteil des Sonnenlichtes fehlt jedoch hinter Glasfenstern.

Angestoßen von den UV-B Strahlen der Sonne produziert unser Körper gesund-erhaltendes Vitamin D. Untersuchungen zeigen, dass je höher der Vitamin D-Wert im Blut ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer Atemwegsinfektion. Jeder Anstieg von nur 10 nmol/l (Nanomol) senkt das Krankheitsrisiko jeweils um sieben Prozent¹. Der Mangel an Sonnenlicht und der überwiegende Aufenthalt in geschlossenen Gebäuden sind Gründe für das saisonale Auftreten von Atemwegsinfektionen im Herbst und Winter.

Die Sonne in das Gebäude lassen

Das Sonnenlicht spielt eine wichtige Rolle auch bei der aktiven Abwehr von Virusinfektionen. Der UV-Anteil des Sonnenlichts stimuliert einerseits die körpereigene Immunabwehr und führt zu einer stärken Bildung und Beweglichkeit von natürlichen Killerzellen, die Viren und

Bakterien bekämpfen. Zusätzlich reduziert sich die Lebensdauer von krankmachenden Mikroorganismen durch das Sonnenlicht. Untersuchungen am Influenzavirus zeigen, dass die Zeit, in der die Hälfte der Viren inaktiv werden, sich bei Sonnenlicht von knapp 32 Minuten auf unter 3 Minuten massiv reduziert. Das natürliche UV-A und UV-B Licht fehlt in unseren Gebäuden, da Fensterglas (insbesondere thermoisolierende Gläser) die UV-Strahlung zu 100 % absorbiert und reflektiert. Mit UV-LED-Licht, das UV-A und UV-B reproduzieren kann, könnte das vollständige Spektrum des Sonnenlichtes in Gebäuden imitiert werden. Dies würde die Vermehrung von krankmachenden Erregern hemmen und unsere Immunabwehr stärken.

Biologische Wirkung

Lichtreize steuern unsere Hormone, die als Botenstoffe unsere innere Uhr regeln

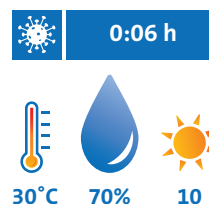
Vorsicht vor UV-C Licht

Zur Abwehr von Krankheitserregern ist UV-C Licht im Dauereinsatz nicht für konventionell genutzte Gebäude geeignet. UV-C ist nicht Teil des natürlichen Sonnenlichtes. Es kann krebs-erregend und gefährlich für Augen und Haut sein. Der Einsatz im Raum

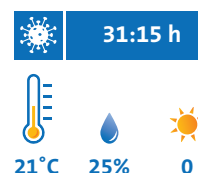
bei Anwesenheit von Personen ist nicht erlaubt. Im Lüftungskanal wirkt UV-C erst nach dem Absaugen (Umluft). Die Strahlung kann bei Viren zu Mutationen mit Resistenzen führen und die menschliche Immunität gefährden.

Einfluss von Sonnenlicht und Luftfeuchte auf die Zeitspanne bis 90 Prozent aller Sars-CoV-2-Viren inaktiviert werden

Draußen im Hochsommer



Draußen im Winter



☀️ Überlebenszeit SARS-CoV-2 Viren
 ☀️ Sonnenlicht (UV-Index)
 💧 rel. Luftfeuchtigkeit
 🌡️ Temperatur

Quelle: Department of US Homeland Security (2020)

und darüber entscheiden, wie leistungsfähig, aufmerksam und konzentriert wir sind. Zusätzlich zum natürlichem Tageslicht können dynamisch gesteuerte Lichtsysteme in Gebäuden Lichtfarbe und -intensität auf die Bedürfnisse des Menschen anpassen und somit gezielt aktivierend oder entspannend wirken.

¹ Hyppönen et al.: Vitamin D status has a linear association with seasonal infections and lung function in British adults, British Journal of Nutrition (2011)

Monitoring und Licht

- 1 Kontrolle der Luftqualität zeigt Handlungsbedarf
- 2 Ganzheitliche Betrachtung erforderlich

GEBÄUDE UND MATERIAL

NATÜRLICHE BAUSTOFFE

Mikroben gehören ins Gebäude

Zu viel Hygiene und Keimfreiheit schadet unserem Immunsystem. Auch unsere Gebäude müssen einen Austausch mit den vielfältigen Mikroben (z. B. Viren und Bakterien) unserer Umwelt zulassen. Die Wahl der richtigen Materialien spielt dabei eine wichtige Rolle, um krankmachende Mikroben zu unterdrücken, vor Resistenzen zu schützen und die Gesundheit der Gebäudenutzer zu unterstützen.

Unser Immunsystem lernt fortlaufend von der Umwelt und kann zwischen harmlosen und schädlichen Mikroben unterscheiden. Harmlose Mikroben, die uns schon immer begleiten, sogenannte „Old Friends“, unterstützen die Immunabwehr und begrenzen die Vermehrung krankmachender Mikroben. In vielen Gebäuden geht jedoch die Mikroben-Vielfalt zunehmend verloren. Vermehrte Infektionskrankheiten und Allergien sind die Folge.

Stress durch Trockenheit

Die Forderung nach höherer Energieeffizienz hat immer mehr Hightech-Materialien ins Gebäude gebracht und zu einem Anstieg der Innenraum-Temperaturen geführt. Für luftdichte Gebäudehüllen, Isolation und Innenausbau werden zunehmend Stahl, Glas und verschiedenste Kunststoffe verwendet, die keinen Feuchte-Austausch

mit der Luft zulassen. Anders als natürliche Baustoffe, beispielsweise Ziegel, Gips, Lehm oder Holz, sind industrielle Kunstmaterialien glatt und porenfrei und können weder Wasser noch Nährstoffe speichern. Trockenheitsstress und Nährstoffmangel eliminieren auf industriellen Materialien vor allem die harmlosen „Old Friends“. Ohne Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe können sich dadurch krankmachende multiresistente Mikroben ungehindert vermehren. Je größer der ausgeübte Stress auf die Mikroben, umso weniger ausgewogen ist die Mikroben-Vielfalt und umso häufiger können sich auch Resistenzen, z. B. gegen Antibiotika, entwickeln.

Der Material-Mix entscheidet

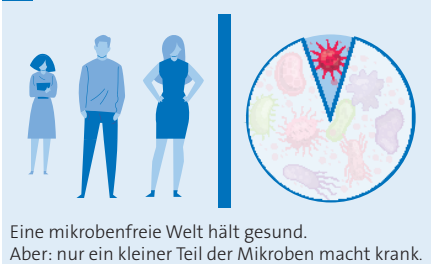
Gebäude müssen als belebte Ökosysteme verstanden werden mit dem Ziel, eine ausgewogene Mikroben-



1

Vielfalt zu sichern. Dazu gehört auch der richtige Material-Mix: Porenlose, glatte Kunstmaterialien sollten nur selektiv eingesetzt werden für Flächen, die häufig berührt werden müssen, wie z. B. Handläufe, Türklinken, Armaturen und Tastaturen. Für Wände, Decken und Mobiliar sind offene porige Naturmaterialien zu bevorzugen, auf denen sich eine gesunde Mikroben-Vielfalt etablieren kann. Auf diesen natürlichen Oberflächen entsteht für Bakterien und Viren kein Wasser- oder Nährstoffmangel. Die Mehrheit der „Old Friends“ kann sich hier durchsetzen und krankmachende Keime unterdrücken. Mit Ausnahme in Krankenhäusern sollten Oberflächen außerdem nur in Ausnahmefällen mit Desinfektionsmitteln und Chemikalien gereinigt werden. Wasser und Seife sind ausreichend.

2 Traditionelles Hygieneverständnis



Eine mikrobefreie Welt hält gesund.
Aber: nur ein kleiner Teil der Mikroben macht krank.

3 Aktuelles Hygieneverständnis



Harmlose Mikroben sind ein Teil auch unserer Gebäude und unverzichtbar für unsere Gesundheit.



4

Gebäude gesünder machen

Viele Wege zu mehr Gesundheit

Ob ein Gebäude vor Infektionsübertragungen schützt oder nicht, hängt neben der Gebäudetechnik und Bauphysik auch von der Nutzung und Einrichtung ab. Die räumliche Aufteilung in Gebäuden beeinflusst die Intensität des persönlichen Kontaktes und damit die Verbreitung von Mikroben. Ebenso können Bodenbeläge und Pflanzen positiv auf die Luftqualität wirken.

Die individuelle Nutzung eines Gebäudes sollte die räumliche Aufteilung prägen. Entscheidend ist dabei, wie sehr die soziale Interaktion der Gebäudenutzer gewünscht ist. Bürogebäude haben andere Anforderungen als öffentliche Gebäude mit hoher Besucherfrequenz oder beispielsweise Schulen und Kindergärten. Für alle Gebäude gilt, dass immer dann, wenn viele Menschen einen Raum teilen, das Übertragungsrisiko von Krankheitserregern steigt.

Räumliche Aufteilung

Die Anzahl miteinander verbundener Räume, Türen und Flure beeinflusst die Kommunikation und Bewegungen innerhalb eines Gebäudes. In den vergan-

genen Jahren haben sich in vielen Gebäuden Konzepte durchgesetzt, die Offenheit, Transparenz und Geräumigkeit betonen. Die damit beabsichtigte Förderung der Zusammenarbeit und der persönlichen Begegnung wirkt jedoch negativ auf das Übertragungsrisiko: Große, stark frequentierte Räume führen nachweislich zu einer größeren Vielfalt von Mikroben. Die Reduzierung der Personendichte und ein Mix zwischen offenen und geschlossenen Räumen kann die Verbreitung von Krankheitserregern eindämmen.

Der richtige Bodenbelag

Auch die Wahl des Bodenbelages kann einen Einfluss auf die Luftqualität



haben. Textile Bodenbeläge reduzieren im Vergleich zu Hartböden die Feinstaubbelastung, da Staub in den Fasern gebunden und nicht wieder aufgewirbelt wird. Organische Fasern speichern zusätzlich Wasser und haben eine schalldämmende Wirkung.

Grün wirkt

Pflanzen filtern Verschmutzungen aus der Luft, erhöhen die Mikroben-Vielfalt und produzieren Sauerstoff. Durch die Photosynthese nehmen die Pflanzen das Kohlenstoffdioxid aus der Luft auf und verwandeln ihn mit Hilfe von Licht unter anderem in Sauerstoff. Zusätzlich können Pflanzen bis zu 90 % des Gießwassers verdunsten und dadurch auch begrenzt zu einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit beitragen.

6

Raumaufteilung	Büroform	Richtung Mikroben- Ausbreitung	Keimkonzentration (hell = niedrig, dunkel = hoch)
	Einzel- oder Mehrpersonenbüro		
	Kombibüro		
	Open Space Flächen		

Gebäude und Material

- 1 Glas und Stahl speichern kein Wasser
- 2 Menschen und Mikroben gehören zusammen
- 3 „Old Friends“ Mikroben schützen uns
- 4 Naturmaterial fördert Mikroben-Vielfalt
- 5 Pflanzen verbessern die Luftqualität
- 6 Raumaufteilung und Virusausbreitung

CHECKLISTE

VOR INFEKTIONSÜBERTRAGUNGEN SCHÜTZEN

Wie sieht es in meinem Gebäude aus?

Mit dieser Checkliste können sich Gebäudeverantwortliche und Nutzer einen ersten Überblick verschaffen, inwieweit ein Gebäude vor Infektionsübertragungen schützen kann und welche Verbesserungspotenziale es gibt. Diese Übersicht soll den Dialog aller Beteiligten fördern, um so auch den Bedarf für weitere Prüfungen und Beratungen festzustellen.

	Maßnahmen	Umsetzung		
		möglich 3 Punkte	nicht bekannt 1 Punkt	nicht möglich 0 Punkte
	Fensterlüftung Ziel: Stündlich für mehrere Minuten Fenster vollständig öffnen (Stoßlüften oder Querlüften). Dauerhafte Fensteröffnung vermeiden. Begründung: Frischluft verdünnt den Anteil von Virenpartikeln in der Luft. Dauerlüften und zu intensive Fensteröffnung im Winter führt zum Absinken der relativen Luftfeuchte.			
	Mechanische Lüftung Ziel: Die Luftwechselrate erhöhen und an die Raumnutzung und die Anzahl der Personen anpassen. Auf Umluft verzichten oder auf ein Minimum reduzieren. Ein zu hoher Luftwechsel führt zum Absinken der relativen Luftfeuchte. Erneutes Aufwirbeln von infektiösen Aerosolen vermeiden. Begründung: Je höher der Frischluftanteil, desto geringer ist die Konzentration von Viren in der Luft. Durch das Zurückleiten verbrauchter Luft (Umluft/Mischluft) werden Viren über das gesamte Gebäude verteilt. Bodennahe Quelllüftung oder dezentrale Lüftungssysteme senken das Aufwirbelungsrisiko.			
	Filter Ziel: MERV-Filter (ab Klasse 13) und HEPA-Filter einsetzen zum Abfangen von Kleinstpartikeln, wenn möglich. Begründung: Verhindern bei der Verwendung von Umluft, dass ein Teil der Viren über die Zuluft wieder in die Gebäude gelangt.			
	Relative Luftfeuchte Ziel: Eine Mindestluftfeuchte von 40 bis 60% ganzjährig im gesamten Gebäude oder in Räumen mit hoher Personendichte technisch sicherstellen. Dafür können zentrale Systeme in der raumlufttechnischen Anlage oder dezentrale Direkt-Raumluftbefeuchter eingesetzt werden. Begründung: In diesem Bereich ist die Immunabwehr des Menschen am wirkungsvollsten. Zusätzlich ist die Überlebens- und Schwebezeit von Viren am geringsten.			
	Temperatur Ziel: Räume nicht überheizen und eine konstante Temperatur zwischen 20 °C und 22 °C regeln. Begründung: Ein Anstieg der Temperaturen im Innenraum führt zu einem automatischen Abfall der relativen Luftfeuchte. Temperaturen über 23 °C belasten außerdem den Kreislauf und senken die Leistungsfähigkeit.			
	Monitoring Ziel: Sensor- und Monitoringsysteme einsetzen, um relevante Kennzahlen der Luftqualität kontinuierlich zu messen. Begründung: Zu hohe CO ₂ -Werte, zu viel Wärme, zu geringe Luftfeuchtigkeit und andere Luftbelastungen (VOC) werden rechtzeitig erkannt und Handlungsfelder aufgezeigt.			

Gebäude gesünder machen

CHECKLISTE

VOR INFEKTIONSÜBERTRAGUNGEN SCHÜTZEN

	Maßnahmen	Umsetzung		
		möglich 3 Punkte	nicht bekannt 1 Punkt	nicht möglich 0 Punkte
	Sonnenlicht Ziel: Möglichst viel Sonnenlicht im Gebäude ermöglichen. Einsatz von LED Licht mit dosiertem UV-A und UV-B Anteil. Begründung: Natürliches Licht (mit UV-A/UV-B) stimuliert die körpereigene Immunabwehr und reduziert die Zahl der krankmachenden Mikroben.			
	Naturmaterialien Ziel: Offenporige Naturmaterialien für Wände, Decken und Mobiliar bevorzugen. Begründung: Naturmaterialien speichern Wasser und Nährstoffe und fördern dadurch die Vielfalt harmloser Mikroben im Gebäude. Eine ausgewogene Mikroben-Vielfalt unterstützt die Immunabwehr und begrenzen die Vermehrung krankmachender Mikroben.			
	Reinigungsstrategie Ziel: Desinfektionsmittel und Chemikalien nur in Ausnahmefällen und für besondere Gebäudenutzungen anwenden (z. B. Krankenhaus). Begründung: Desinfektionen töten harmlose Mikroben. Ohne Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe können sich dadurch krankmachende multiresistente Mikroben ungehindert vermehren.			
	Räumliche Aufteilung Ziel: Einen ausgewogenen Mix zwischen offenen und geschlossenen Räumen schaffen, der auf die Art und Weise der Raumnutzung und dem Verhalten der Nutzer zugeschnitten ist. Begründung: Große, stark frequentierte Räume mit vielen Nutzern erhöhen das Infektionsrisiko. Raumtrennungen, die Reduktion der Raumbelastung und die Sicherstellung von Abstandsregeln dämmen die Verbreitung von Krankheitserregern ein.			
	Pflanzen Ziel: Gebäude gezielt mit geeigneten Pflanzen begrünen und als Elemente zur Raumgestaltung und Raumgliederung einsetzen. Begründung: Pflanzen filtern Verschmutzungen aus der Raumluft, produzieren Sauerstoff, entziehen der Raumluft Kohlendioxid und fördern gleichzeitig die Luftfeuchte und die Mikroben-Vielfalt.			
	Bodenbeläge Ziel: Textile Bodenbeläge mit Anteilen von Naturmaterialien verwenden. Begründung: Textile Bodenbeläge binden Staubpartikel in den Fasern und verhindern ein erneutes Aufwirbeln. Organische Fasern speichern zusätzlich Wasser. Textile Böden haben eine schalldämmende Wirkung.			

Punkte	Risiko
0 – 5	HOCH
	Vom Gebäude geht ein erhöhtes Gesundheitsrisiko aus. Es ist dringend empfohlen, die Umsetzbarkeit von Maßnahmen mit Experten zu prüfen und umzusetzen.

Punkte	Risiko
5 – 25	MITTEL
	Mit der Umsetzung der möglichen Maßnahmen und der zusätzlichen Prüfung der Realisierbarkeit weiterer Verbesserungen, kann das Gesundheitsrisiko weiter gesenkt werden.

Punkte	Risiko
> 25	GERING
	Das Risikopotenzial des Gebäudes ist gering, sollten die möglichen Maßnahmen realisiert sein. Weitere Umsetzungen verbessern den Gesundheitsschutz für die Gebäudenutzer zusätzlich.

Gebäude gesünder machen

Condair Systems GmbH
Nordportbogen 5
22848 Norderstedt
Telefon: +49 40 853277-0
Telefax: +49 40 853277-44
E-Mail: info@condair-systems.de
Internet: www.condair-systems.de

