



GØR BYGNINGER SUNDERE

Beskyttelse mod spredning af infektioner

Luftbefugtning, affugtning
og evaporativ køling

 **condair**

En ny forståelse af bygninger

Bygninger blev oprindeligt bygget som et værn mod vind og vejr. Men takket være vores utrættelige stræben efter energi- og driftseffektivisering samt anvendelsen af kunstige, højteknologiske materialer er det modsatte imidlertid blevet tilfældet: Vores bygninger er ikke altid et værn - de kan tværtimod gøre os syge. De indsigter, som COVID-19-pandemien har givet os, har tydeliggjort, hvor sårbare vi er, når vi befinder os inden døre.

I de seneste år har fremskridt inden for byggeteknologi gjort det muligt at gøre bygninger mere energieffektive – men også mere lufttætte. Højteknologisk isolering, letvægtige klimaskærme og mekaniske klimaanlæg er alle sammen elementer, som både giver store energibesparelser og på samme tid sænker totalomkostningerne. Derudover er der bedre udnyttelse af pladsen på kontorer, hvor flere mennesker er samlet. De sundhedsmæssige konsekvenser for de mennesker, der benytter bygningerne, bliver der dog sjældent taget hensyn til.

Indeklimaet er dårligt reguleret

Luftkvaliteten inden døre er af allerhøjeste vigtighed, hvis man ønsker at beskytte folks helbred. I de senere år er der fremkommet stadigt større videnskabelig evidens for den påvirkning, som luftkvaliteten har på menneskers immunsystemer og spredningen af luftvejsinfektioner. Et sundere indeklima i f.eks. kontorer, skoler, hospitaler og plejehjem ville være ekstremt gavnligt for både virksomheder, sundhedsplejen og den nationale økonomi. Imidlertid er der endnu ikke udarbejdet fyldestgørende kriterier for de faktorer, som påvirker luftkvaliteten inden døre.



1

Erfaringer fra COVID-19

SARS-CoV-2-pandemien har skabt øget fokus i offentligheden på den fare for virusspredning, som bygninger danner grundlag for. Medvirkende faktorer, som har været kendt i nogen tid, er nu sat i fokus, og der lægges særlig vægt på den indvirkning, som frisk luft, temperaturer, minimal relativ luftfugtighed og endda lys har på spredningen af vira. Der tænkes også i nye teknologier såsom UV-C-stråling, omend faren ved at anvende disse metoder endnu er forholdsvist ukendt.

Tid til gentænkning

Målet med denne brochure er at danne grobund for en diskussion om en ny forståelse af bygninger. Sundere bygninger opnås gennem en kombination af mange forskellige faktorer, hvoraf nogle også fungerer i synergi med hinanden. For visse typer bygninger vil nogle tilgange dog ikke være passende eller teknisk gennemførlige. Meningen med denne udgivelse er at fremme dialogen mellem bygningsansvarlige, de daglige brugere af bygningen samt Sundhedsmyndighederne, så de i samarbejde kan finde frem til de rette sundhedsbeskyttende foranstaltninger, der bør tages i brug i nye eller eksisterende bygninger.



Sunde bygninger gør mennesker sundere





Luftvejsinfektioner kan resultere i et massivt fald i produktivitet samt store udgifter til sundhedsydelse, som skal dækkes af både virksomheder og samfundet som helhed. De katastrofale konsekvenser for økonomien er i særdeleshed blevet tydeliggjort af de mange nedlukninger under corona-pandemien. Derudover bliver mere end 500 millioner mennesker på verdensplan smittet med influenza hvert eneste år. Mennesker er særligt udsatte, når de befinder sig i lukkede rum sammen med andre, eller hvis de har kroniske sygdomme, som gør, at de er lettere modtagelige over for smitte.

Luft er essentielt for livet

Vi bruger op til 90 % af vores liv indendørs. Klimaet inden døre påvirker vores sundhed og produktivitet, mens det samtidig har betydelig indvirkning på omkostningerne for virksomheder og i sundhedsvæsenet.



Eksempler: Sådan påvirker indendørs luftkvalitet både sundhed og produktivitet

			
Kontor / arbejdsplads	Skole / daginstitution	Hospital / plejehjem	
13.000 liter inhaleret luft	Nedsættelse af produktiviteten med op til 9 %	Forbedring af karakterer med 3 %	Infektionsrate på 10 %
Vi indånder op til 13.000 liter luft via vores næse, mund og lunger hver eneste dag. Luft er essentielt for livet	Dårlig indendørs luftkvalitet kan resultere i produktivitetstændte på 6 - 9 % ⁽¹⁾	Forbedring af luftkvaliteten på skoler øger elevernes mulighed for at bestå en prøve med ca. 3 % ⁽²⁾	Ca. 10 % af alle hospitalspatienter på verdensplan smittes med hospitalsinfektioner (HAI) ⁽⁵⁾
90 % grundet vira	16 % tabte arbejdsdage grundet sygdom	Fordoblet fraværsprocent	Op til 30 % luftbåren smitte
Ca. 90 % af alle akutte luftvejsinfektioner opstår som følge af virusmitte: De hyppigst forekommende patogener er rhinovira (30 - 50 %) efterfulgt af influenza-, parainfluenza- og coronavira	16 % tabte arbejdsdage blandt kontorarbejdere grundet luftvejsinfektioner ⁽²⁾	I daginstitutioner, hvor den indendørs luftfugtighed kontrolleres, er børnene kun fraværende i 3 % af undervisningsdagene sammenlignet med en fraværsprocent på 5,7 % i institutioner, hvor luftfugtigheden ikke kontrolleres ⁽⁴⁾	Mindest 15 - 30 % af alle smitteforårsagende mikrober på hospitaler spredes via luften

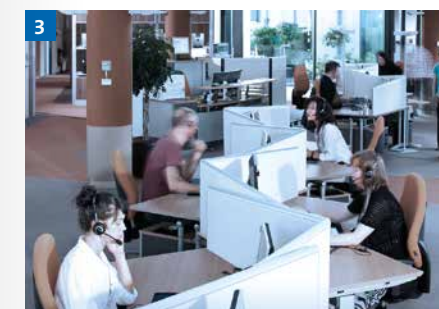
⁽¹⁾ Wyon, D.P. 'The Effects of Indoor Air Quality on Performance and Productivity.' IndoorAir, U.S. National Library of Medicine, 2004

⁽²⁾ Statista Research Department, Tyskland, 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', Verdenssundhedsorganisationen, 2011



3



4

Gør bygninger sundere:

- 1 En ny forståelse af bygninger
- 2 Faktorer, der gør bygninger sundere
- 3 Åbent kontor med mange ansatte
- 4 Risikogruppe: Ældre mennesker og personer med kroniske sygdomme

SMITTEKILDER

FYSISK KONTAKT, DRÅBER OG LUFTBÅRNE AEROSOLER

Lukkede rum øger risikoen for infektion

Virale luftvejsinfektioner smitter næsten udelukkende fra person til person inden døre. I den industrialiserede verden interagerer, arbejder, sover og rejser mennesker i lukkede rum i op til 90 % af deres liv. Smitte under disse forhold sker oftest gennem direkte fysisk kontakt, indirekte kontakt, dråber og luftbårne aerosoler.



Smitte via direkte kontakt sker, når viruspartikler kommer i kontakt med huden eller slimhinderne, uden at denne kontakt sker via berøring af en anden overflade. Hvis en person, der er smittet med influenza, eksempelvis nyser ind i sin hånd, vil vira sætte sig på håndens overflade. Hvis personen derefter giver hånd til andre mennesker, kan virussen trænge ind i deres slimhinder gennem munden, næsen eller øjnene. Smitte via indirekte kontakt indebærer overførsel af patogener, der sidder på eksempelvis dørhåndtag eller andre overflader, som berøres af mange forskellige mennesker.

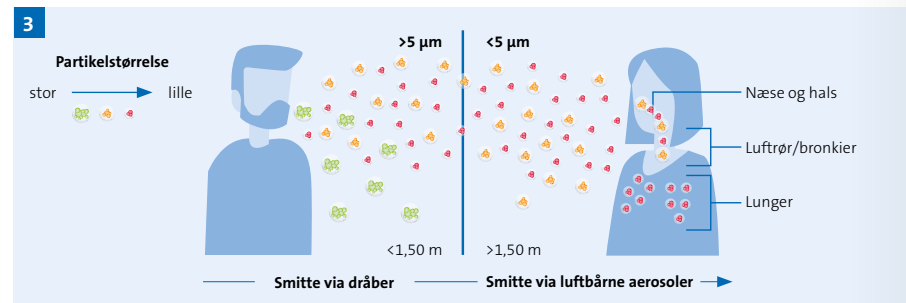
Smitte via dråber

De hyppigst forekommende smitteveje er dråbesmitte via nærkontakt med andre mennesker og luftbårne smitte via aerosoler. Viruspartikler fra en smittet person indåndes af en anden, og disse trænger derefter ind i slimhinderne i de øvre luftveje. Dette kaldes dråbe- eller aerosol-medierte smitte, alt efter partikelstørrelsen. Når en person ånder, hoster, taler eller nyser, kan smitsomme viruspartikler, som befinder sig i personens luftveje, blive udsendt i form af spytt- eller slimdråber. Disse dråber har forskellige størrelser og udsendes i forskellige mængder. I medicinsk forstand er en 'dråbe' en partikel med en diameter, der er større end 5 µm (mikrometer). Disse større partikler, som er ansvarlige for dråbesmitte, hænger kun kortvarigt i luften og falder til jorden eller lander på andre overflader efter blot få sekunder. Dråbesmitte sker udelukkende ved en afstand på ca. 1,5 til 2 meter, men dråberne

kan også smitte via kontakt med en kontamineret overflade – f.eks. når denne berøres, og viruspartiklerne derefter overføres til slimhinderne via kontakt med hænderne.

Luftbårne smitte via aerosoler

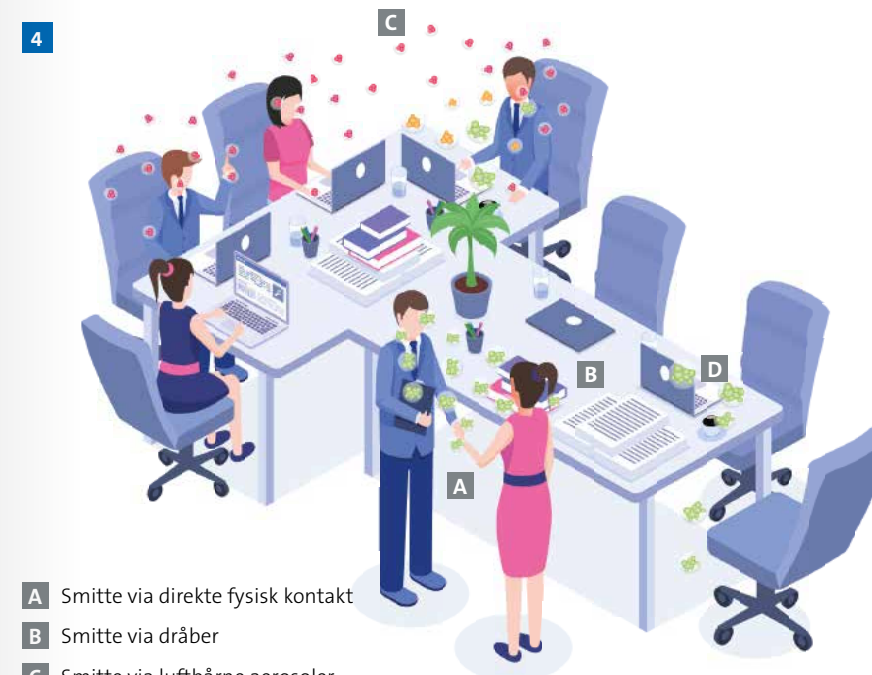
Partikler med en diameter, der er mindre end 5 µm, kan bevæge sig over store afstande, før de smitter mennesker. Når smitte sker på denne måde, anses det som luftbårne smitte via aerosoler. Nogle af disse aerosoler har et meget lavt væskeindhold og består primært af faste, uopløselige partikler. Som følge af deres lave massefylde kan disse aerosoler i nogle tilfælde modstå tyngdekraften og blive hængende i luften indendørs i flere timer. Meget små smitsomme aerosoler kan sprede sig gennem luften i større lokaler over længere tid – også selvom luften i disse lokaler forbliver relativt stillestående.



Gør bygninger sundere

SMITTEKILDER

FYSISK KONTAKT, DRÅBER OG LUFTBÅRNE AEROSOLER



- A Smitte via direkte fysisk kontakt
- B Smitte via dråber
- C Smitte via luftbårne aerosoler
- D Smitte via indirekte kontakt

Personlige forholdsregler

Der kan tages en række forholdsregler for at beskytte sig mod virus-smitte inden døre, alt efter smittetilden. Som beskyttelse mod smitte via direkte nærkontakt og store dråber anbefales forholdsregler såsom god håndhygiejne, at man nyser ind i sin albue, social distancering samt mundbind, som dækker både næse og mund – disse metoder er alle effektive til at reducere smittefare. Disse forholdsregler er dog ikke effektive over for luftbårne smitte med små aerosoler.

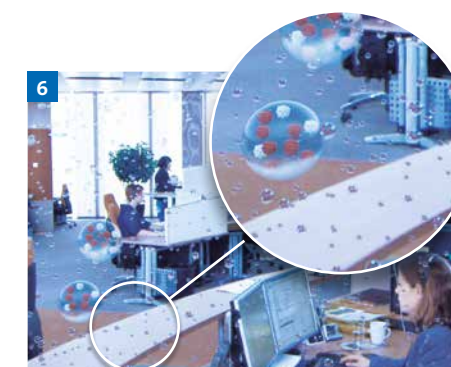
Indeklimaet som en faktor

Udover forholdsregler såsom god hånd- og overfladehygiejne er det også nødvendigt at identificere de faktorer for indeklimaet, der kan kontrolleres for at mindske spredningen af aerosoler og dermed reducere smitterisikoen. I den henseende er det relevant at kigge på de faktorer, som påvirker virale aerosolers evne til at blive mindre, forblive smittefarlige og sprede sig via luften. I indendørsmiljøer spiller luftkvaliteten en central rolle. Undersøgelser viser, at styring af luftudskiftning, temperatur og den

Luftbårne smitte

Spredningen af luftbårne virus-aerosoler afhænger i allerhøjeste grad af indeklimaet i bygninger. Luftudskiftningen pr. time, temperaturen og den relative luftfugtighed er alle relevante faktorer, når man ønsker at reducere smitterisikoen.

relative luftfugtighed er effektive strategier til reduktion af aerosol-smitte: Optimeret ventilation med masser af frisk luft reducerer smitterisikoen for SARS-CoV-2 ved f.eks. at fortynde og fjerne smittefarlige virus-aerosoler, mens en overdrevet lav luftfugtighed resulterer i, at vira kan eksistere i længere tid og bevæge sig over større afstande i form af små aerosoler.



Smitteveje:

- 1 Vira i indendørs områder
- 2 Person til person
- 3 Dråbesmitte og luftbårne smitte
- 4 Smitteveje på arbejdspladsen
- 5 Skoler og daginstitutioner
- 6 Overførsel af partikler fra overflader til luften

Gør bygninger sundere

Luftskifte mindsker smittefarlige aerosoler

Vi ved, at vi har brug for at komme udenfor og få mest muligt frisk luft, hvis vi skal bevare vores gode helbred. Det samme princip gælder inden døre: jo mere frisk luft der er i et lokale, desto lavere vil koncentrationen af viruspartikler være. Filtre og korrekt ventilation spiller også en stor rolle i fjernelsen af partikler og forureret luft.



Tilførsel af mest mulig frisk luft til et lokale er en effektiv metode til at fjerne aerosol-partikler fra indendørs områder. Efterhånden som der trænger frisk luft ind, fortyndes de virale aerosol-partikler i lokalets luft mere og mere.

Ventilation via vinduer

Den nemmeste løsning er blot at åbne et vindue. Mængden af luft, som trænger ind gennem et åbent vindue, afhænger af temperaturen, vindhastigheden/-retningen samt den vinkel, som vinduet er åbnet i. Generelt anbefales det at lufte grundigt ud i kortere perioder ved at åbne vinduerne helt i adskillige minutter mindst én gang i timen. Luften udskiftes mest effektivt, når to modstående vinduer åbnes på samme tid. Der er dog begrænsninger for, hvor effektivt det er udelukkende at bruge vinduer til udluftning. Om sommeren er temperaturgradienten mellem ude- og indeluften ofte for lav, og der sker

kun en minimal luftudskiftning. Om vinteren derimod kan varmetab og pludselige fald i den relative luftfugtighed bruges som argumenter mod konstant at åbne vinduerne.

Mekanisk ventilation

Ventilationssystemer og klimaanlæg kan udskifte indeluften i et lokale med den påkrævede mængde frisk luft på kontrolleret vis. Ved denne metode er den hastighed, som luften udskiftes med, et vigtigt parameter: F.eks. betyder en værdi på 1 for 'luftudskiftning pr. time', at den mængde luft, som tilføres et rum i timen, er identisk med den højst mulige mængde luft i det pågældende lokale. Efterhånden som luften udskiftes, reduceres smitterisikoen betydeligt. Den mest ideelle hastighed for luftudskiftning afhænger af, hvad bygningen bruges til, samt antallet af mennesker, som befinder sig i bygningen. Det bør bemærkes, at jo hurtigere luften i en bygning udskiftes, jo højere

vil energiforbruget være, mens den relative luftfugtighed reduceres. Kontrol af CO₂-niveauet (koncentrationen af kuldioxid i luften) er en praktisk metode til at bedømme, hvorvidt et lokale er godt ventileret eller ej. Luftkvaliteten anses som værende god, når koncentrationen af CO₂ ligger under 1.000 ppm (dele per million).

Filtre

Specialiserede filtre kan også rense luften for selv de mindste aerosoler. Anvendelse af filtre anbefales i særdeleshed til ventilationssystemer og klimaanlæg, som ofte recirkulerer luften. Der findes forskellige typer filtre, som er effektive til filtrering af partikler af specifikke størrelser. MERV-filtre af høj kvalitet (klasse 13 eller bedre) og HEPA-filtre er designet til at indfange mere end 99 % af alle partikler med en diameter på op til 0,3 µm (mikrometer). Deres effektivitet er dog begrænset, når det gælder partikler, som er endnu mindre.

Påvirkning af hastigheden for luftudskiftning på risikoen for smitte med aerosol-medierede vira¹

		Boligareal	Klasseværelse	Mellemstort kontor	Åbent kontor	Foredragsal				
Rumvolumen	m ³	220	210	65	1.200	10.000				
Mennesker (maks.)	–	2	35	4	33	1.000				
Tid	t	8	5	8	8	1,5				
Luftudskiftning	pr. time	0,5	0,5	6,0	0,5	2,5	0,5	1,5	0,5	3,3
Smitterisiko**	RR _{inf}	1x	12x	1x	3x	1x	2x	1x	5x	1x

¹ Kilde: 'privat boligareal' ** Den relative infektionsrisiko vs. referenceværdien
² Cf. D. Müller, K. Rewitz, D. Derwein, T.M. Burgholz: 'Simplificeret estimat af risikoen for smitte med aerosol-medierede vira' (på tysk), RWT Aachen Universitet (2020)

Gør bygninger sundere

For tørre og for varme miljøer er usunde

Forkølelse og influenzasmitte opstår især i de koldere måneder på grund af en lang række forskellige sæsonbestemte faktorer, som alle påvirker indeklimaet. Disse faktorer er både relateret til lufttemperaturen og til en lavere relativ luftfugtighed. Dog kan virus også forekomme om sommeren, da brugen af indendørs klimaanlæg kan få luften, som cirkuleres rundt i rummet, til at tørre ud, hvilket forbedrer forholdene for aerosoler.

Tør indeluft opstår ikke blot af sig selv, men er resultatet af samspillet mellem forskellige sæsonbestemte faktorer, bygningsegenskaber og grundlæggende fysik.

Den relative luftfugtighed gør en stor forskel

Hvis en bygning er helt lufttæt og afskæres fra verden udenfor, vil den absolute luftfugtighed være konstant og aldrig ændre sig. Den relative luftfugtighed er dog stadig den vigtigste faktor, hvis man ønsker fuldt indblik i luftfugtighedens påvirkning i en bestemt situation. Relativ luftfugtighed påvirkes af lufttemperaturen, og det er en målestok for, hvor procentvist mættet med vanddamp en given luftmængde er. Varm luft kan indeholde en større mængde vand end kold luft. Luften vil altid forsøge at absorbere vand i form af vanddamp,

indtil den når sit maksimale mætningsniveau. Dette er årsagen til, at den relative luftfugtighed falder, når luften opvarmes, selvom den absolute luftfugtighed forbliver den samme.

Bygninger om vinteren

Når indeluft opvarmes, og vinduer derefter åbnes, eller frisk luft tilføres via et mekanisk system, vil denne luft begynde at tørre ud. Jo koldere udeluften er, desto lavere kapacitet har den til at absorbere vand – og jo mere tør bliver den. Hvis kold udeluft trænger ind i en bygning, vil den relative luftfugtighed falde hurtigt, når denne luft opvarmes inde i bygningen. Luften forsøger derefter at genoprette ligevægt: hvis der ikke er installeret systemer til luftbefugtning, vil luften forsøge at blive mættet ved at trække fugt fra de tilstedeværende materialer, strukturer og mennesker.



Professor Akiko Iwasaki

Professor i molekylærbiologi, cellebiologi og udviklingsbiologi ved Yale Universitet samt forsker ved Howard Hughes Medical Institute (USA)

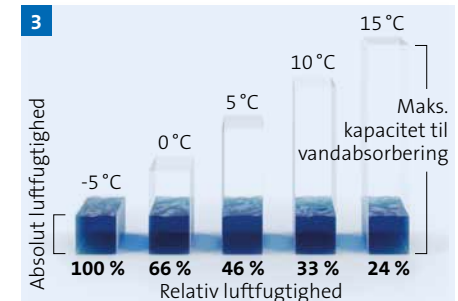
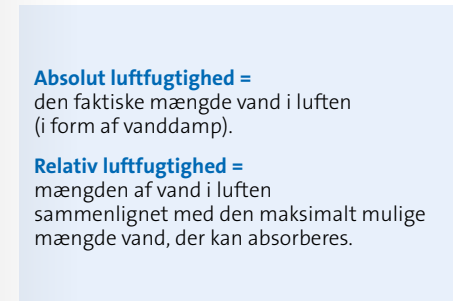
“Lav luftfugtighed er en af de primære årsager til sæsonbestemte udbrud af influenza. Verden ville være et sundere sted at leve, hvis luftfugtigheden i alle vores bygninger blev fastholdt på 40 til 60 % relativ luftfugtighed.”

Passende ventilation og opvarmning

Før man installerer et system til luftbefugtning, er det vigtigt at kontrollere temperaturerne og hastighederne for luftudskiftning. Mængden af frisk luft inden døre bør begrænses mest muligt – især om vinteren. Permanent åbne vinduer og overdreven luftudskiftning bør undgås for at forhindre, at luften tørrer ud. Indendørs områder bør samtidig heller ikke overopvarmes: Den ideelle indetemperatur ligger mellem 20 og 22 °C.

Vigtigheden af god indeluft

- 1 Frisk luft reducerer smittefaren
- 2 Bygninger om vinteren
- 3 Absolut og relativ luftfugtighed



Gør bygninger sundere

Vira foretrækker tørre miljøer

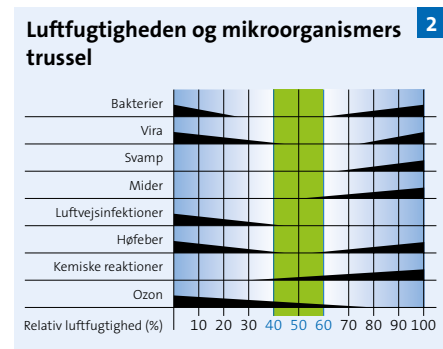
Luftbåren smitte med vira og levetiden af disse påvirkes også i høj grad af indeluftens relative luftfugtighed.¹ Smitterisikoen er lavest ved en relativ luftfugtighed på 40 til 60 %. Samtidig er det også ved dette interval, at det menneskelige immunforsvar er mest effektivt til at bekæmpe infektioner.

Den relative luftfugtighed har en afgørende betydning for virale aerosolers evne til at blive hængende i indeluften. I modsætning til de større og tungere dråber, som produceres, når man hoster eller nyser, og falder til jorden efter blot få sekunder, kan de lettere og mindre aerosoler blive hængende i luften i flere timer ad gangen.

Tørre aerosoler bliver hængende i luften

Aerosoler består af vand, opløste salte og proteiner. Ved en relativ luftfugtighed på under 40 % påvirkes aerosolernes vandindhold, og derfor tørrer de ud. Herved produceres der tørre aerosoler, som både

er mindre og lettere, og de kan hænge i luften i længere tid. I modsætning til større dråber betyder det lave vandindhold, at de større aerosoler er mindre 'klæbrige' og mister en del af deres evne til at klumpe sig sammen.



Luftfugtighedsområde	Indvirkning på luftbårne partikler	Vedholdenhed	Smitterisiko
60 – 100 % rH	Lav Store smittefarlige dråber falder til jorden og stabiliserer sig hurtigt	Lav Kortvarig bestandighed i indeluft	Høj Mikrober forbliver smitsomme grundet den lave koncentration af salt i vandet
40 – 60 % rH	Lav Smitsomme dråber af gennemsnitlig størrelse hænger kun kortvarigt i luften	Lav Kortvarig bestandighed i indeluft	Lav Mikrober dræbes af høje saltkoncentrationer
0 – 40 % rH	Høj Små smitsomme aerosoler bliver hængende i luften	Høj Langvarig bestandighed i et lokales luft	Høj Salte krystalliseres og indkapsler mikrober



Luftstrømme og menneskers aktivitet i et lokale medfører også, at tørre aerosoler drives hurtigere op fra overflader og derved spreder sig yderligere.²

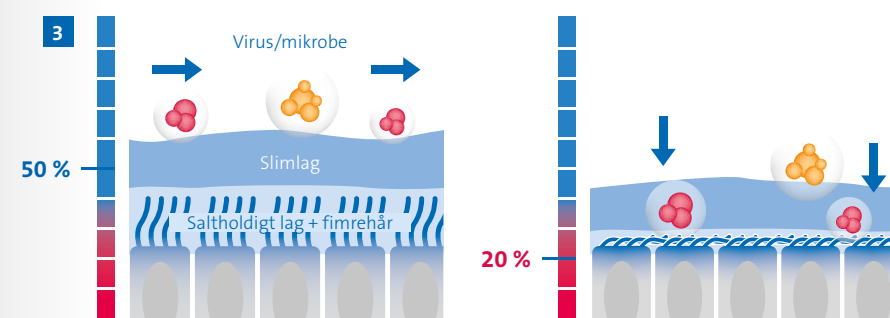
Vira er smittefarlige i længere tid

Udover den påvirkning, som luftfugtigheden har på partikler, som hænger i luften, spiller den også en stor rolle i, hvor smittefarlige disse patogen-fyldte dråber er. Når den relative luftfugtighed ligger på mindre end 40 %, tørrer aerosolerne så meget ud, at de salte, de indeholder, krystalliseres. Disse salte beskytter viraene, hvilket forlænger den tid, de er smittefarlige i. Når de krystalliserede salte indåndes, opløses de i det fugtige miljø i de øvre luftveje. De stadig smitsomme viruspartikler trænger derefter ind i slimhinderne, hvor de kan udløse en infektion. Hvis den relative luftfugtighed derimod ligger optimalt på mellem 40 til 60 %, tørrer partiklerne kun ud til et punkt, hvor saltkoncentrationerne hurtigt deaktiverer viraene frem for at beskytte dem.

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)

Slimhindernes evne til selvrensning ved forskellige niveauer af relativ luftfugtighed



Slimhinderne: vores første forsvar

Vi mennesker er ikke helt forsvarsløse, når det gælder angreb fra vira og bakterier: Den måde, som vores immunforsvar reagerer på, afgør, om vi bliver syge eller ej, og – hvis vi bliver syge – hvor hurtigt vi bliver raske igen. Vi bliver beskyttet mod smitte af de mekanismer, som slimhinderne i vores luftveje anvender til at rense sig selv. Slimhindernes overflade er dækket af små fimrehår (cilia), som bevæger sig frit i en udskillet væske (det saltholdige lag). Dette lag dækkes af et klæbrigt slimlag, hvorpå de fleste viruspartikler, bakterier og forurenende stoffer, som indåndes, sætter sig. Så længe fimrehårene kan bevæge sig, er de i stand til at transportere sekreterne sammen med mikroorganismene til strubehovedet, hvorfra de derefter kan sluges eller hostes ud.



Et svækket immunsystem

Efterhånden som luftfugtigheden reduceres, bliver dette system til fjernelse af patogener mindre effektivt.³ Et lavere niveau af luftfugtighed har den effekt, at det saltholdige lag begynder at udtørre. Når dette sker, falder fimrehårene sammen, og deres evne til at bevæge sig reduceres. Slimhindens forøgede viskositet blokerer gennemløbet af slim, og hermed stiger risikoen for infektion af vira, som har invaderet slimhindens membranceller. Hvis den relative luftfugtighed falder til 20 %, går denne selvrensende proces i stilstand. Videnskabelige forsøg har vist, at den hurtigste transportrate for patogener – og dermed den laveste smitterisiko – opnås, hvis man holder den relative luftfugtighed på 45 %.

Svamp er ikke et problem

Skimmelsvamp eller svamp i bygninger kan ikke trække fugt ud af luften og suger i stedet fugt fra de materialer, de gror på, og hvor deres rødder er forankret. Svamp kan ikke dannes på tørt, velisoleret bygningsværk – uanset den relative luftfugtighed i lokalet.

Benyt yderligere luftbefugtning

Ved anvendelse af systemer til luftbefugtning er der muligt at holde den relative luftfugtighed i enhver bygning mellem 40 til 60 % på en måde, der både er hygiejnisk og energieffektiv. Afhængigt af bygningen og de specifikke krav kan man enten integrere centraliserede systemer i ventilationssystemer eller klimaanlæg eller gøre brug af lokaliserede systemer til direkte luftbefugtning.

Beskadigelse af slimhinderne

Hvis luften er for tør, er der to andre mekanismer, som også har en direkte indvirkning på immunforsvaret, og som reducerer effektiviteten af vores adaptive immunrespons. Den ene mekanisme er epithelceller, der danner en fysisk barriere under slimhinden, hvilke forhindrer, at vira trænger ind i værtsorganismens celler. Indånding af meget tør luft beskadiger disse celler og svækker derved de reparationsprocesser, som anvendes af luftvejenes epithelceller (lungeceller). Derudover kan en lav relativ luftfugtighed forårsage en reduktion i dannelsen af interferoner i lungevævet. Interferoner udløser produktionen af proteiner, som bekæmper invaderende vira og derved forhindrer dem i at formere sig.³

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

Hold luftfugtigheden på et sikkert niveau

- 1 Tørre aerosoler hænger i luften i længere tid
- 2 Scofield/Sterling-diagram
- 3 Tør luft svækker immunresponsen

Forebyggelse kræver måling

Uden et korrekt og passende datasæt er det svært at afgøre, hvilke specifikke parametre man skal ændre, hvis man ønsker et sundere indeklima. Det er muligt at gøre bygninger sundere og forøge produktiviteten ved anvendelse af systemer, der regelmæssigt indsamler data om de relevante parametre for luftkvalitet, og som kommer med forslag til en handleplan. Sensorsystemer og overvågningsløsninger er meget nemme at integrere i enhver bygning.

For høje CO₂-værdier, overdreven varme, meget lave niveauer af luftfugtighed samt luftforurening fra små partikler og flygtige organiske forbindelser (VOC) er alle sundhedsfarer, som også reducerer produktiviteten. Uden korrekte målinger er det svært at identificere de underliggende årsager til 'Sick Building Syndrome', sygefravær samt den hurtige spredning af luftvejsinfektioner.

Forebyggelse ved hjælp af bygningsautomatik

For at sikre løbende overvågning og måling af luftkvaliteten, kan man nemt eftermontere sensor- og overvågnings-

systemer i enhver bygning. Disse systemer implementeres enten som en integreret del af bygningsautomatikken eller som en mere simpel, enkeltstående løsning. Typisk måles de relevante parametre – herunder temperatur, CO₂-koncentration, luftfugtighed og VOC-niveauer – ved hjælp af en enhed, som indeholder et multifunktionelt sensorsystem. Når de kombineres med bevægelsessensorer, kan fuldt integrerede systemer endda registrere det samlede antal mennesker, som benytter et specifikt lokale. Derudover kan temperaturen, luftfugtigheden og mængden af frisk luft justeres automatisk, længe før indeluften begynder at udgøre en fare for mennesker.



Certificeret luftkvalitet

Det er et vigtigt krav inden for bygningscertificering, at man kan bevise, at man kan styre den indendørs luftkvalitet ved hjælp af løbende sensormålinger. De førende standarder for bygningers bæredygtighed og sundhed er det amerikanske LEED-program, den britiske BREEAM-vurderingsmetode, den tyske DGNB og det internationale WELL-certifikat. WELL Building Standard er det første vurderingssystem i verden, som fokuserer på ét enkelt mål: at designe bygninger og indendørs områder, så det sikres, at de har en positiv indvirkning på brugernes sundhed og velbefindende. Opfyldelse af kravene til overvågning, som disse standarder indebærer, kræver normalt, at man indsamler statistikker om ventilationssystemernes ydeevne samt de forbedringer af den indendørs luftkvalitet, som denne danner grundlag for. Disse standarder fremsætter også forskellige maksimalværdier for eksponering samt målestokke for hastigheden af luftudskiftning, koncentrationen af partikler og ozon, VOC-emissioner og den relative luftfugtighed.

Mål – tag handling – overvåg

CO₂-koncentration
på mindre end 1.000 ppm (millionte dele)

Dagslys
Maksimer eksponeringen, tilføj UV-A- og UV-B-stråler, hvis dette skønnes nødvendigt.

Respirable partikler Eliminér
PM 2,5

Lokaleanvendelse
Registrér antallet af tilstedeværende mennesker + varigheden

VOC'er (flygtige organiske forbindelser) Eliminér

Relativ luftfugtighed
mellem 40 og 60 %

Temperatur
Mellem 20 og 22 °C

Naturligt lys er sundt

Maksimering af sollys gør mennesker sundere. En af årsagerne til dette er den D-vitamin, som dannes, når vores hud udsættes for sollys. Dagslys er en frit tilgængelig ressource, som kan anvendes i bygninger til at beskytte menneskers helbred og samtidig øge produktiviteten. Men de vigtige UV-A- og UV-B-bestanddele, som sollyset indeholder, blokeres dog af glasvinduer.

I vores kroppe udløses produktionen af D-vitamin som respons på solens UV-B-stråler. Undersøgelser har vist, at jo højere koncentration af D-vitamin, man har i blodet, desto lavere er sandsynligheden for at blive smittet med en luftvejsinfektion. Hver gradvis stigning på blot 10 nmol/l (nanomol) reducerer risikoen for at blive syg med 7 %¹. Mangel på sollys og det faktum, at vi bruger det meste af vores tid i indelukkede bygninger, bidrager til den sæsonbestemte forekomst af luftvejsinfektioner om efteråret og vinteren.

Slip sollyset ind

Sollys spiller også en vigtig rolle som et aktivt forsvarsværk mod virusinfektioner. Solens UV-stråler stimulerer på den ene side kroppens immunforsvar, mens de også øger dannelsen og mobiliteten af de naturlige dræberceller, som sætter ind over for vira og bakterier. Sollys reducerer også den periode, hvori mange patogener

mikroorganismer forbliver smittefarlige. Undersøgelser af influenzavira viser, at den tid, det tager for halvdelen af viruspartiklerne at blive inaktive, falder drastisk fra ca. 32 minutter til under 3 minutter, når de udsættes for sollys. Naturligt forekommende UV-A- og UV-B-stråler eksisterer ikke i bygninger, da vinduesglas (og termisk isolerende glas i særdeleshed) absorberer og reflekterer op til 100 % af alle UV-stråler. UV-LED-lys, som kan udsende både UV-A- og UV-B-stråler gør det muligt at simulere sollysets fulde spektrum i en bygning. Anvendelse af denne type lys kan reducere spredningen af patogener og samtidigt styrke vores immunforsvar.

Et biologisk boost

Lys fungerer stimulerende for vores hormoner, mens det samtidigt er medvirkende til at regulere vores biologiske ur og i sidste ende bestemme, hvor produktive,

Udvis forsigtighed med UV-C

Kontinuerlig anvendelse af UV-C-lys som forsvar mod patogener anbefales ikke i bygninger, som anvendes på daglig basis. Solens naturlige lys indeholder ikke UV-C-stråler, og disse kan være både kræftfremkaldende og skadelige for øjne og hud. UV-C-lys må ikke

anvendes i lokaler, hvor mennesker befinder sig. UV-C-lys anvendes i ventilationskanaler til bestråling af luft, efter det er blevet suget ud. UV-C-bestråling kan forårsage, at vira muterer til mere resistente varianter, og det er potentielt skadeligt for det menneskelige immunforsvar.

Påvirkningen af sollys og luftfugtighed på den tid, det tager at gøre 90 % af alle SARS-CoV-2-viruspartikler inaktive

Udendørs om sommeren

☀️ 0:06 h

30°C 70% 10

Indendørs om vinteren

☀️ 31:15 h

21°C 25% 0

- ☀️ Overlevelsperiode for SARS-CoV-2
- ☀️ Sollys (UV-indeks)
- 💧 Rel. luftfugtighed
- 🌡️ Temperatur

Kilde: Department of Homeland Security (US, 2020)

opmærksomme og fokuserede vi er i løbet af en dag. Dynamisk kontrolleret belysning kan anvendes i kombination med naturligt dagslys i bygninger til at justere farven på lyset og lysintensiteten i henhold til menneskers behov, hvorved det kan sikres, at lyset har en stimulerende eller afslappende effekt.

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)

Overvågning og lys

- 1 Overvågning af luftkvaliteten giver varsel om behov for handling
- 2 En integreret tilgang er nødvendig

Mikroorganismer hører hjemme i bygninger

Overraskende nok kan det være skadeligt for vores immunsystem at holde vores omgivelser for rene og helt fri for bakterier. Vores bygninger skal også muliggøre interaktion med de gode mikrober (f.eks. vira og bakterier), som findes i vores miljø. Det er vigtigt at vælge de rette materialer, som kan undertrykke de mikrober, der gør os syge, og samtidig styrke brugernes helbred ved at udsætte dem for sunde mikrober.



Vores immunsystem interagerer løbende med det miljø, det befinder sig i, og det kan skelne mellem harmløse og skadelige mikrober. Harmløse mikrober – der har levet side om side med mennesker i årtusinder – understøtter immunforsvaret og begrænser spredningen af patogene mikroorganismer. I mange bygninger bliver denne mangfoldighed af mikrober dog stadigt mindre, hvilket er en medvirkende årsag til den større forekomst af allergier og smitsomme sygdomme.

Stress grundet tørhed

Krav om bedre energieffektivitet har resulteret i anvendelsen af mange forskellige højteknologiske materialer i vores bygninger samt en stigning i den gennemsnitlige indetemperatur. For at skabe lufttætte bygningskaller, isoleringer og lokaler, anvendes der i stigende grad stål, glas og forskellige typer plast, som alle har en indvirkning på luftfugtigheden.

I modsætning til naturlige byggematerialer såsom tegl, gips, ler eller træ er de industrielt fremstillede syntetiske materialer både glatte og solide, hvilket gør, at de er ude af stand til at absorbere vand eller næringsstoffer. Særligt bliver det svært for vores gavnlige, harmløse mikrober at overleve i det tørre og næringsfattige miljø, som disse industrielle materialer frembringer. Uden konkurrence om vand og næringsstoffer kan patogene, multiresistente mikroorganismer formere sig uden modstand. Efterhånden som de udsættes for større stressniveauer, og mangfoldigheden af mikroorganismer reduceres, bliver det nemmere for de skadelige mikrober at udvikle resistens over for bekæmpningsmidler såsom antibiotika.

Sundhedsfremmende

sammensætning af materialer

Det er nødvendigt at forstå en bygning som et levende økosystem, hvis man

ønsker at opnå en balance i diversiteten af mikroorganismer.

For at sikre denne balance, anbefales kun sparsom brug af glatte og solide syntetiske materialer til overflader, som ofte berøres, og som ofte skal rengøres, herunder gelændere, dørhåndtag, vandhaner og tastaturer. Det anbefales at anvende naturlige materialer med porøse overflader til vægge, lofter og møbler, da disse udgør et gavnligt miljø og danner grundlag for en stor mangfoldighed af mikrober. På disse naturlige overflader forsynes bakterier og vira nemt med både vand og næringsstoffer. Hvis de gode mikrober således kommer i overtal, undertrykker de effektivt patogene mikroorganismer. Bortset fra hospitaler bør man i de fleste bygninger udelukkende rengøre med kemikalier, når dette er strengt nødvendigt – sæbe og vand kan nemlig klare størstedelen af alle normale rengøringsbehov.



2 Traditionel tilgang til hygiejne

En verden fri for mikrober er en sund verden. Men kun et lille antal af de mikrober, som omgiver os, er rent faktisk patogene.

3 Moderne tilgang til hygiejne

Harmløse mikroorganismer er en del af vores bygningsmiljø og essentielle for vores sundhed.

Gør bygninger sundere

Flere veje til bedre indeklima

I kombination med en bygnings tekniske systemer og strukturelle materialer afhænger dens evne til at beskytte mod smitsomme sygdomme også af brugen af bygningen og bygningens faciliteter. Rumopdelingen i en bygning påvirker, hvor ofte folk kommer i kontakt med hinanden, og det påvirker dermed spredningen af mikrober. Gulvbelægning og planter kan også have en positiv indvirkning på luftkvaliteten.



En bygnings anvendelsesformål påvirker dens grundplan og indretning. Et vigtigt aspekt af dette er mængden af social interaktion, som det er nødvendigt for bygningens brugere at have. Der stilles andre krav til kontorbygninger end offentlige bygninger med megen fodtrafik eller institutioner såsom skoler og dagtilbud. Uanset bygningstypen stiger risikoen for smitte med patogener, når mange mennesker deler det samme rum.

Rumopdeling

Antallet af sammenhængende lokaler, døre og gange påvirker menneskers kommunikation og bevægelse i en given bygning. I de senere år er det blevet normalt at indrette bygninger ud fra et fokus på

åbenhed, gennemsigtighed og rummelighed. Disse positive faktorer for samarbejde og personlig interaktion har dog også den effekt, at de danner grundlag for en øget smitterisiko: Det er bevist, at store lokaler med mange mennesker øger mangfoldigheden og forekomsten af mikrober. Det er imidlertid muligt at inddæmme spredningen af patogener ved at reducere antallet af lokaler med mange mennesker samt sikre, at bygningen indeholder både lukkede og åbne rum.

Valg af gulvbelægning

Valget af gulvbelægning kan også påvirke den indendørs luftkvalitet. I modsætning til fast gulvbelægning reducerer

belægninger såsom gulvtæpper og måtter antallet af hårfine partikler i et lokale. Stofbelægninger indfanger støvpartikler i deres fibre og forhindrer, at disse bliver hvirvlet op i luften igen. Organiske tekstiler holder samtidig på vandmolekyler, mens de også reducerer støjniveauet i et lokale.

Grønt er sundt

Planter filtrerer luften for urenheder og øger mangfoldigheden af mikrober, mens de også producerer oxygen. Når planter påvirkes af lys, absorberer de via fotosyntese kuldioxid fra luften og lagrer kulstof, mens oxygen udledes i lokalet. Planter kan også frigive op til 90 % af det vand, de har optaget, til luften, hvilket betyder, at de har en moderat indvirkning på luftfugtigheden.

Sammensætning af bygninger

- 1 Glas og stål absorberer ikke vand
- 2 Mennesker og mikrober hører sammen
- 3 De gode harmløse mikrober beskytter os
- 4 Naturlige materialer fremmer mangfoldigheden af mikrober
- 5 Planter forbedrer indendørs luftkvalitet
- 6 Grundplaner og spredning af vira

6 Ruminddeling	Kontortype	Kilder til mikrobessmitte	Koncentration af mikrober (lyst = lav, mørkt = høj)
	Kontor for én eller få personer		
	Stort kontor		
	Åbne områder		

Gør bygninger sundere

Hvor effektiv er min bygning?

Bygningsansvarlige og de daglige brugere af bygningen kan benytte denne tjekliste til at få et overblik over den nuværende situation og afdække, hvor godt deres bygning beskytter mod spredning af infektioner, og dermed hvad der kan forbedres.

Handlinger	Implementering		
	er muligt 3 point	ikke kendt 1 point	ikke muligt 0 point
 Ventilation med udendørsluft Mål: Åbn vinduerne mest muligt i flere minutter hver time (intensiv ventilation/ventilation via modstående vinduer). Undlad, at vinduerne står permanent åbne. Årsag til handling: Frisk luft reducerer koncentrationen af viruspartikler i luften. Om vinteren er permanent eller hyppig ventilation via vinduer årsag til et fald i den relative luftfugtighed.	●	●	●
 Mekanisk ventilation Mål: Forbedring af luftudskiftningen og justering af hyppigheden deraf i henhold til lokalets anvendelsesformål samt antallet af mennesker, som bruger det. Sørg for, at luften ikke recirkulerer i lokalet, eller hold denne recirkulation på et minimalt niveau. Hvis luften udskiftes for ofte, vil dette forårsage et fald i den relative luftfugtighed. Dette forhindrer, at smitsomme aerosol-partikler optages i luften igen. Årsag til handling: Jo mere frisk luft der er inden døre, desto lavere vil koncentrationen af vira i luften være. Recirkulation af gammel luft (enten delvist eller blandet med frisk luft) spreder eventuelle viruspartikler i hele bygningen. Forskydende ventilation eller lokale ventilationsystemer reducerer risikoen for, at partikler bliver hvirvlet op i luften.	●	●	●
 Filtre Mål: Hvis det er muligt, bør MERV-filtre (klasse 13 eller bedre) og HEPA-filtre anvendes til at opfange mikroskopiske atmosfæriske partikler. Årsag til handling: Hvis luften i bygningen recirkuleres, bør mængden af viruspartikler reduceres i den luft, som genanvendes i bygningen.	●	●	●
 Relativ luftfugtighed Mål: Anvend mekaniske systemer, der fastholder luftfugtigheden mellem 40 og 60 % året rundt, enten i hele bygningen eller lokaler, som benyttes af mange mennesker. Integrer disse systemer med bygningens ventilations- og klimaanlæg, eller installer dem som lokale enheder til direkte luftbefugtning af lokaler. Årsag til handling: Den menneskelige immunrespons er mest effektiv inden for dette luftfugtighedsniveau, mens det samtidig holder virus levedygtighed og forekomst i luften så lav som mulig.	●	●	●
 Temperatur Mål: Overopvarm ikke lokaler, og hold konstant temperaturen mellem 20 °C og 22 °C. Årsag til handling: Efterhånden som den indendørs temperatur stiger, falder den relative luftfugtighed. Temperaturer over 23 °C påvirker også blodcirkulationen og reducerer produktiviteten.	●	●	●
 Overvågning Mål: Anvend sensor- og overvågningssystemer til at garantere løbende måling af relevante parametre for luftkvalitet. Årsag til handling: Meget høje CO ₂ -niveauer, for varme temperaturer, meget lav luftfugtighed og andre luftbårne forureningskilder (VOC) identificeres i realtid sammen med de nødvendige indsatsområder.	●	●	●

Handlinger	Implementering		
	er muligt 3 point	ikke kendt 1 point	ikke muligt 0 point
 Sollys Mål: Sørg for, at tilstrækkeligt sollys trænger ind i bygningen. Installer LED-belysning med kontrollerede niveauer af UV-A og UV-B. Årsag til handling: Naturligt lys (som indeholder UV-A-/UV-B-stråler) stimulerer kroppens immunforsvar, mens det samtidig reducerer antallet af patogene mikrober.	●	●	●
 Naturlige materialer Mål: Porøse, naturlige materialer bør anvendes til vægge, lofter og møbler. Årsag til handling: Naturlige materialer absorberer vand samt næringsstoffer og er derved medvirkende til at forøge diversiteten af harmløse mikrober i bygningen. En velbalanceret mangfoldighed af mikroorganismer hjælper vores immunsystemer og begrænser spredningen af patogene mikrober.	●	●	●
 Rengøringsstrategi Mål: Brug kun desinficerende midler og kemikalier i særligt fælde, eller hvor dette er nødvendigt at særlige årsager (f.eks. hospitaler). Årsag til handling: Desinficerende midler dræber også harmløse mikrober. Uden konkurrence om vand og næringsstoffer kan patogene, multiresistente mikroorganismer formere sig uden modstand.	●	●	●
 Rumopdeling Mål: Skab en balance mellem åbne og lukkede områder, der tager særligt hensyn til forventet lokale anvendelse samt brugeropførsel. Årsag til handling: Store områder med mange mennesker danner grundlag for en forøget smitterisiko. Spredningen af patogener kan kontrolleres ved hjælp af rumopdeling, reduktion af brugerantallet og sikring af, at forholdsregler om social distancering overholdes.	●	●	●
 Planter Mål: Brug planter til at gøre bygningen 'grønnere'. Disse kan også bruges som en del af indretningen og til opdeling af lokaler. Årsag til handling: Planter forbedrer kvaliteten af den omgivende luft ved at reducere niveauet af urenheder samt kuldioxid, mens de samtidig producerer oxygen og danner grundlag for en gavnlig mangfoldighed af mikrober.	●	●	●
 Gulvbelægning Mål: Benyt stofbelægninger, som indeholder naturlige materialer. Årsag til handling: Stofbelægninger indfanger støvpartikler i deres fibre og forhindrer, at disse bliver hvirvlet op i luften igen. Organiske tekstiler holder også på vandmolekyler. Tekstiler hjælper med at reducere støjniveauet i et lokale	●	●	●

Point	Risiko	Point	Risiko	Point	Risiko
0 – 5	HØJ Bygningen udgør en alvorlig sundhedsfare for dem, der bruger den. Omgående rådgøring med eksperter anbefales for at vurdere situationen og anbefale en mulig handleplan.	5 – 25	MELLEMHØJ Bygningens nuværende risikoniveau kan reduceres yderligere ved at anvende de tilgængelige foranstaltninger og vurdere muligheden for andre sundhedsfremmende tiltag.	>25	LAV Bygningen udgør en lav sundhedsrisiko for dem, der bruger den, hvis de tilgængelige foranstaltninger implementeres. Der kan tages yderligere handling for at forbedre og beskytte helbredet af de personer, som bruger bygningen.

Kontakt os

www.condair.dk

Telefon +45 8788 2100

