

# Gebouwaanvulling op het bedrijfscontinuïteitplan bij Mexicaanse griep

## Voorwoord: Gebouw & Griep

FMN ambiëert een actieve rol in situaties waar facility management een belangrijk aandeel kan hebben in het efficiënter en effectiever organiseren van bedrijfsprocessen of daar waar de actualiteit in het geding is.

Naar verwachting gaat de griepandemie invloed hebben op de continuïteit van onze organisaties. Zo wordt al wel gedacht aan praktische maatregelen zoals persoonlijke hygiëne, maar ontbreekt het aan klimatologische voorzieningen.

Als facility management kunnen we daaraan nog gebouwgerelateerde maatregelen toevoegen, om het besmettinggevaar van de gevreesde griepandemie te beperken. Het betreft voornamelijk het reguleren van het binnenklimaat van werk (maar ook woon) omgevingen, additionele maatregelen die wij als facilitaire professionals kunnen toepassen en/of adviseren.

De auteurs van deze uitgave zijn allen wetenschappers die belangeloos hun kennis ter beschikking stelden aan FMN, ten behoeve van haar leden in de facilitaire beroepspraktijk, om een bijdrage te leveren aan de volksgezondheid en continuïteit van bedrijven en organisaties.

Wij danken deze auteurs hartelijk voor hun inhoudelijke bijdrage.

Wij hopen dat deze publicatie bijdraagt aan de beteugeling van de griepandemie in uw organisatie, of dat deze in ieder geval kan voorkomen dat alle medewerkers op hetzelfde moment door de griep zullen worden geveld.

*Namens FMN*

*drs Paul D. Kotvis, bestuurlid*

*ing Jan de Nijs, voorzitter FMN-kring Duurzaam*

**dr ir F. Franchimon**

BAM Techniek bv, Postbus 109, 3980CC Bunnik  
E: francesco.franchimon@bamtechniek.nl

**ir C.E.E. Pernot**

Cor Pernot Consulting, Geldropseweg 33, 5591EA Heeze  
E: info@corpernot.nl

**dr J.J. Maas**

ArboUnie, Noorderkade 1, 1823 CJ, Alkmaar  
Nederlands Centrum voor Beroepsziekten,  
Tafelbergdreef 51, 1100BD Amsterdam  
E: J.J.Maas@amc.uva.nl

**drs J. van den Eijnde**

Faculteit Bouwkunde, Technische Universiteit Delft, Postbus 5043, 2600GA Delft  
E: jvdeijnde@hotmail.com

**prof.dr J.E.M.H. van Bronswijk**

Groep 'Performance Engineering for Built Environments (PEBE)', Faculteit Bouwkunde,  
Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, 5600MB Eindhoven  
E: j.e.m.h.v.bronswijk@tue.nl

**COLOFON**

© 2009

Dit is een uitgave van Facility Management Nederland  
Postbus 5135, 1410 AC Naarden, www.fmn.nl  
dr ir F. Franchimon, ir C.E.E. Pernot, dr J.J. Maas, drs J. van den Eijnde, prof.dr J.E.M.H.  
van Bronswijk

## Installatietechnische aanvulling op het bedrijfscontinuïteitplan bij een griepandemie

Een aanstormende griepandemie kan de bedrijfscontinuïteit verstoren. Vertraging en aftopping van de piek in ziektegevallen in de bedrijfsmatige omgeving is mogelijk als passende maatregelen worden doorgevoerd voordat er grote aantallen ziektegevallen in de organisatie zijn opgetreden. In deze bijdrage behandelen we twee goed uitvoerbare aanvullingen op het BedrijfsContinuïteitPlan (BCP) uitgaande van het BioArbeidsHygiënisch (BAH) principe. Voldoende luchtbevochtiging is vaak het minst ingrijpend en het meest veilig, voor zover er juist geventileerd wordt en het ventilatiesysteem een extra schoonmaakbeurt krijgt. UV-C-bestraling is effectiever, maar mensen moeten er tegen beschermd worden, zodat het vaak een aanvullende maatregel is.

Aan bedrijfscontinuïteitmanagement is onlangs in FMI, het vaktijdschrift van Facility Management Nederland, aandacht besteed<sup>1</sup>. Het staat sterk in de belangstelling vanwege de pandemie Mexicaanse of varkensgriep, waarvan de verwekker in Nederland officieel heet: NIV, Nieuw Influenza A(H1N1) Virus. De meeste besmettingen vinden binnen gebouwen plaats, vooral thuis (verblijf is 83% van onze levenstijd), op kantoor (11%) en op school (3%)<sup>2</sup>.

Op 11 juni 2009 riep de WHO het pandemiestadium van deze verwekker uit. De eerste enigszins massale uitbraak in Nederland is op 12 september 2009 gerapporteerd op een basisschool in Rotterdam<sup>3</sup>. Basisscholen vormen een apart geval. De leerlingen hebben veelvuldig fysiek contact. Geïnfecteerde basisschoolleerlingen blijken bijna twee keer zo besmettelijk te zijn als volwassenen<sup>4</sup>. Gezien de gevoeligheid van het virus voor vochtige lucht, wordt een algemene uitbraak in Nederland pas verwacht als binnen gebouwen de lucht droger is vanwege het stoken in de koudere jaargetijden herfst en winter, en de mensen vanwege het nare buitenweer meer binnen bij elkaar zitten<sup>5</sup>.

Bedrijfsarts en arbeidshygiënist adviseren werkgevers en facility managers over het vertragen van griepbesmettingen, maar zij zijn vaak minder thuis in de installatietechniek van het gebouw. In deze bijdrage werken wij enkele installatietechnische maatregelen uit. Vervolgens is het aan de individuele facility manager of werkgever om dit te vertalen naar zijn/haar praktijk door in samenwerking met de technische dienst te beoordelen of deze maatregelen uitgevoerd kunnen worden. Wij reiken hiervoor handvatten aan.

## Het bedrijfscontinuïteitsplan (BCP)

Een van de gereedschappen om de bedrijfscontinuïteit te waarborgen wanneer de pandemie een organisatie dreigt te raken en het personeel in groten getale ziek zal worden, is het BCP – BedrijfsContinuïteitsPlan<sup>6,7</sup>. Dit plan voorziet in het gaande houden van kritieke processen binnen het bedrijf bij calamiteiten, zoals een aanstormende pandemie. Binnen enkele weken kan 20-40% van de populatie ziek zijn, zoals gebeurde tijdens de 4 vorige pandemieën: Aziatische griep (1889/1890), Spaanse griep (1917/1918), A(ziatische) griep (1957/1958) en Hong-Kong griep (1968/1969)<sup>8</sup>. Bedrijfsprocessen komen in gevaar als het aantal beschikbare werknemers onder een kritische grens zakt.

De rijksoverheid heeft het Nederlandse bedrijfsleven geadviseerd voldoende maatregelen te nemen om daarmee hun bedrijfscontinuïteit veilig te stellen en hiervoor een BCP op te stellen en dit te volgen (*Tabel 1*). Kern van het BCP is het streven naar handhaving van es-

Tabel 1. Elementen van het bedrijfscontinuïteitsplan bij een grieppandemie<sup>7</sup>; de nieuwe toevoegingen zijn vetgedrukt

- 1 Crisisorganisatie
- 2 Voorlichting en communicatie
- 3 Maatregelen om besmetting te voorkomen
  - **Luchtbevochtiging**
  - **UV-C-bestraling van lucht**
  - Contact voorkomen met personen die griep hebben
  - Verminderen van het contact met anderen
  - Aanmoedigen van de persoonlijke hygiëne
  - Werkplekken reinigen
- 4 Personeelsbeleid
- 5 Bedrijfsvoering
- 6 Financiën

sentiële processen bij dreigende grote uitval van personeel. Dit voorkomt maatschappelijke ontwrichting. Nutsvoorzieningen, aanvoer en distributie van voedsel, medische verzorging en openbaar vervoer blijven in stand.

Gezien het belang van druppelinfecties op korte afstand door niezen, hoesten en zelfs het uitspreken van bepaalde medeklinkers<sup>9</sup>, behandelt de overheidshandleiding voor het griep-BCP<sup>7</sup> vooral deze directe infectieroute, alsmede het handcontact (Tabel 1). In deze bijdrage voegen we een tweetal opties toe aan "3. Maatregelen om besmetting te voorkomen" uit tabel 1, te weten luchtbevochtiging en UV-C-bestraling van lucht. Het betreft bedrijfsmatige omgevingen, semipublieke gebouwen met contact tussen publiek en personeel, woningen, scholen, etc. Ons accent ligt echter op de bedrijfsmatige omgeving en de woning van het personeel.

## Aftopping

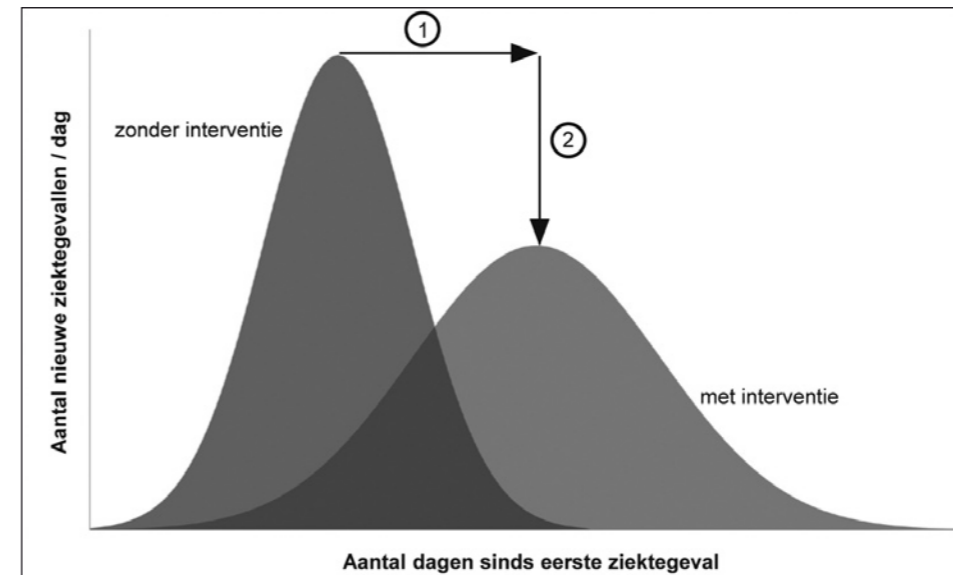
Omdat een van de kenmerken van een pandemisch griepvirus is, dat niemand er een totale afweer tegen heeft, betekent dit dat een groot deel van het personeel ziek zal worden en een ander deel thuis blijft om de zieken te verzorgen of de kinderen op te vangen als hun school gesloten is.

Algemeen doel van de BCP-maatregelen is om de mens-op-mens overdracht te vertragen. Dan treedt de piek van het verzuim later op en is de hoogte van de verzuimpiek afgevlakt doordat het verzuim is uitgesmeerd over een langere periode (Figuur 1). Dit alles heeft als voordeel dat de personele capaciteitsplanning minder onder druk komt te staan, waardoor kritische bedrijfsprocessen gemakkelijker op een verantwoorde wijze kunnen worden afgeschaald. Onze twee nieuwe opties kunnen hieraan bijdragen.

In figuur 1 is duidelijk te zien dat vertragsmaatregelen alleen zinvol zijn kort nadat de eerste ziektegevallen zijn geconstateerd (= het nog langzaam oplopende deel van de curve), wanneer de pandemie nog niet op of over het hoogtepunt is. Daarna lost het personeelsprobleem zich langzaam vanzelf op doordat de eerste patiënten zich beter melden en verder immuun zijn voor de Mexicaanse griep.

## Vertraging

In geval van de Mexicaanse griep is, zoals hierboven gemeld, het doel de mens-op-mens overdracht te vertragen. Er zijn meerdere wegen waarop het NIV zich verspreidt, via: (i) besmette handen, (ii) aanhoesten, aannemen of aanademen met virushoudende druppels,



Figuur 1. Het beoogde effect van maatregelen bij een aanstormende Mexicaanse griep; De oppervlakte van beide curven = het totale aantal griepgevallen, is met en zonder interventie gelijk; 1 = Vertraging van de piek van nieuwe ziektegevallen; 2 = Vermindering van de piekbelasting van ziekenhuizen en de zorginfrastructuur; Interventie blijkt alleen zinvol aan het begin, als de pandemie nog niet op of over haar hoogtepunt heen is

en (iii) luchtbesmetting: het inhaleren van virusdeeltjes uit de lucht (Tabel 2). Het belang van luchtbesmettingen is van dezelfde orde van grootte dan handbesmettingen waarvoor regelmatig handen wassen wordt aanbevolen door de landelijke overheid. De verdeling uit tabel 2 moet als een voorlopige uitkomst worden gezien omdat ze ook afhangt van de plaats in de luchtwegen waar het virus replicateert en het ventilatieregime van de betreffende ruimte. Het nieuwe virus vermenigvuldigt zich niet alleen in de neusholte, zoals bij de gebruikelijke seizoensgriep, maar ook in de luchtpijp (trachea) en haar aftakkingen, de bronchi en bronchioli<sup>10</sup>. Hoe groter het aandeel van deze lagere luchtwegen in de virusvermenigvuldiging is, hoe groter het aandeel van indirecte besmettingen via de lucht zal zijn<sup>11</sup>. Het verminderen van luchtbesmettingen om de verspreiding van de griep te vertragen, kan daardoor nog belangrijker worden.

Tabel 2: Wiskundige berekening van de verdeling van de besmettingen over de verschillende besmettingswegen in afhankelijkheid van de concentratie besmettelijke virusdeeltjes in neusslijmvlies bij een aangenomen relatieve infectieusiteit van 1 (bovenste luchtwegen):3200 (onderste luchtwegen) en 1 geïnfecteerd persoon in een ruimte met mengventilatievoud van 0,5<sup>11</sup>, direct=op korte afstand aanhoesten, aannemen, aanademen

| Concentratie [deeltjes/ml] | Besmettingen per besmettingsweg [%] |        |       |
|----------------------------|-------------------------------------|--------|-------|
|                            | handen                              | direct | lucht |
| 10 <sup>4</sup>            | 27                                  | 58     | 15    |
| 10 <sup>5</sup>            | 27                                  | 58     | 15    |
| 10 <sup>6</sup>            | 31                                  | 52     | 17    |
| 10 <sup>7</sup>            | 45                                  | 30     | 25    |
| 10 <sup>8</sup>            | 58                                  | 11     | 31    |

Bij de prioritering voor maatregelen ter beheersing van blootstelling aan gevaarlijke stoffen is het gebruikelijk om een brongerichte aanpak te volgen. Als het om micro-organismen gaat, is deze aanpak in Nederland recent uitgewerkt in het bioarbeidshygiënisch principe (BAH)<sup>12</sup>, dat goed aansluit bij het vertragen van de voortgang van een griepdemonie.

Een belangrijk element van het BAH-principe is dat een aantal stappen *in vaste volgorde* worden overwogen (Tabel 3). Maatregelen met waarschijnlijk de hoogste effectiviteit, worden zo het eerst overwogen. Het BAH-principe maakt verder onderscheid tussen organisatorische, technische en hygiënische maatregelen. Dat onderscheid hanteert wederom een stappenvolgorde: organisatorische maatregelen worden eerder genomen dan technische, en technische maatregelen (bijvoorbeeld luchtbevochtiging of UV-C-bestraling) weer eerder dan hygiënische (bijvoorbeeld handen wassen). In deze volgorde zijn de eerst te overwegen maatregelen het minst afhankelijk van individueel menselijk gedrag. Mensen maken fouten of blijven bij hun eerdere gedrag en deze individueel menselijke invloed is kleiner bij organisatorische en technische interventies.

Het BAH-principe leidt tot een flexibele besluitvorming. Wel moeten volgens het Arbobesluit de maatregelen in de gegeven volgorde overwogen worden, maar de overgang naar een volgende stap is alleen toegestaan op basis van het 'redelijkerwijs' principe. Daar horen behalve slechte uitvoerbaarheid ook kosten bij. Het BAH-principe biedt hierdoor ruimte aan een evenwichtige afweging tussen technische en andere maatregelen. Op basis van bovengenoemde overwegingen is de brongerichte aanpak (waar het BAH-principe een uitwerking van is) in artikel 3.1.b. van de Arbo-wet verplicht gesteld.

Overigens zijn werkgevers vanuit de Arbeidsomstandighedenwet verplicht zorg te dragen voor veiligheid en gezondheid van werknemers, gasten en bezoekers, kortom van alle gebruikers van het gebouw. In de reguliere risico-inventarisaties en evaluaties (RI&E) van gebouwen waarin gewerkt wordt, komt op infectiegebied in de meeste gevallen alleen de bacterie *Legionella* voor. Vertraging van overdracht van griepvirussen bij een dreigende lokale epidemie kan nu aan de technische maatregelen toegevoegd, in geval van bijvoorbeeld gezondheidszorginstellingen.

## Installatietechniek

Onze nieuwe gebouwgerelateerde interventies om de verspreiding van Mexicaanse griep te vertragen zijn installatietechnische maatregelen die een aanvulling vormen op de bestaande opties in BAH-stap 3 en betreffen de luchtbehandeling. Ook 'no-touch' kranen en deuren en het toepassen van reinigbare afwerk- en inventarismaterialen zijn gebouwgerelateerde maatregelen, maar zijn geen opties die in korte tijd gerealiseerd kunnen worden. Ze zijn daarom in deze bijdrage niet verder uitgewerkt.

Vaak kunnen hieronder genoemde installatietechnische maatregelen niet in iedere ruimte van een gebouw worden ingezet. In dat geval hebben ruimten met extra risico's de hoogste prioriteit. Denk daarbij aan vertrekken of gangen waar (i) een persoon met griepsymptomen is gesignaleerd, (ii) zich kwetsbare mensen bevinden, (iii) het personeel werkt dat is aangewezen om de kritische processen aan de gang te houden, (iv) veel verschillende personen komen (publieksruimten), of (v) waarin grieppatiënten behandeld worden.

### Luchtreiniging

Het doel van ventileren is luchtreiniging door het verdunnen of verdringen van vervuiling (luchtoevoer) en het verwijderen van die vervuiling (luchtafvoer). Bij een hoger ventilatievoud (=aantal malen dat er een hoeveelheid verse lucht wordt toegevoerd die gelijk is aan het volume van de ruimte) kan meer vuile lucht verwijderd worden, maar het kost energie. Werkt de installatie al op maximum capaciteit, dan zal deze eerst uitgebreid moeten worden, wat een dure technische aanpassing kan zijn.

Tabel 3: Het BAH-principe<sup>12,13</sup> toegepast op de maatregelen om besmetting met het Mexicaanse griepvirus te vertragen uit het bedrijfscontinuïteitsplan<sup>7</sup>; de nieuwe gebouwgerelateerde maatregelen onder BAH-stap 3 zijn vetgedrukt; de BAH-stappen 7 en 8 zijn weggelaten omdat ze niet relevant zijn voor een bedrijfscontinuïteitsplan

| BAH-stap | Definitie en uitwerking  |
|----------|--|
| 1        | <b>Bestrijding bij de bron</b><br>Wanneer een pandemie bestaat, niet meer haalbaar   |
| 2        | <b>Organisatorische maatregelen</b><br>- ZO MIN MOGELIJK CONTACT MET ZIEKEN: mededeling bij de ingang, naar huis bij mogelijke griep<br>- CONTACT MET ANDEREN VERMINDEREN: thuis werken, variabele uren werken, meer gebruik van telefoon en internet, vergadertijd beperken, ver van elkaar zitten, drukke ruimten vermijden, openbaar vervoer vermijden, zo min mogelijk reizen, afscherming met plexiglas<br>- INRICHTEN VAN SCHOON (VEILIG) / VUIL (BESMET) ZONES: houd oppervlakken schoon van gootstenen, handgrepen, leuningen, telefoons, kranen, licht- en liftknoppen, zeephouders, balies, etc.; verwijder magazines, kranten, en ander niet essentieel papier uit (wacht)ruimten; vuilniszakken met gebruikte beschermingsmiddelen sluiten; eenmalige hulpmiddelen bij het reinigen, overige hulpmiddelen dagelijks grondig reinigen |
| 3        | <b>Technische maatregelen</b><br>- REINIG VERVUILDE LUCHT: ventileren, spoelen<br>- ONTSMET VERVUILDE LUCHT: bevochtigen, UV-C-bestraling<br>- STOP RECIRCULATIE VAN LUCHT: zet ook warmtewielen af (indien mogelijk)<br>- KRANEN EN DEUREN AUTOMATISEREN ('no touch')<br>- REINIGBARE AFWERKMATERIALEN EN INVENTARIS BENUTTEN: gebruik detergent bv in een spuitbusverpakking   |
| 4        | <b>Hygiënische maatregelen</b><br>- GEDRAG: hand geven vermijden; papieren zakdoekje eenmalig benutten bij hoesten en niezen en het zakdoekje meteen in de vuilnisbak gooien<br>- HANDEN WASSEN: afdrogen met een papieren doekje dat meteen de vuilnisbak in gaat; na hoesten of niezen meteen handen wassen met water en zeep<br>- CONTACTEN VERMIJDEN: geen bekers, borden, lepels e.d. met anderen delen   |
| 5        | <b>Persoonlijke beschermingsmiddelen</b><br>- AFSCHEMING ADEMWEGEN: massaal mond/neus kapjes gebruiken (meteen weggooien als ze vochtig zijn geworden)   |
| 6        | <b>Vaccinatie</b><br>- Als het vaccin beschikbaar is   |

De aard van het ventilatiesysteem speelt een rol bij de effectiviteit van de luchtreiniging. Meestal hebben we met *mengventilatie* te maken, soms met *verdringingsventilatie*.

Het belangrijkste kenmerk van *mengventilatie* is de menging van vuile en schone lucht. Vanuit het plafond wordt de frisse lucht toegevoerd en de vuile lucht afgezogen. Ook als de frisse lucht binnen komt via ramen en roosters en mechanisch wordt afgezogen is er sprake van mengventilatie. Een speciale vorm van mengventilatie is gebalanceerde ventilatie die bij nieuwere woningen en kantoorgebouwen is toegepast. Gebalanceerde ventilatie is in principe een gesloten systeem waarin ramen en roosters in de gevel geen rol spelen en de warmte uit de afgezogen vuile lucht wordt gebruikt om de aangezogen verse buitenlucht te verwarmen voordat ze in de ruimten wordt ingeblazen. Vaak kunnen de ramen in de gevel niet open, zodat spoelen van de ruimten (zie hieronder) niet mogelijk is.

In een experiment van Mui<sup>14,15</sup> waren bij een mengventilatievoud van 27 luchtwisselingen/uur na enkele minuten de concentratie uitgestoten virusdeeltjes min of meer regelmatig over de ruimte verdeeld. Ventileren leidt tot het steeds verder verdunnen van de virusdeeltjes in de lucht. Het reinigende effect van méér ventileren heeft daardoor steeds minder effect op de reinheid van de lucht (*Bijlage A*).

Bij *verdringingsventilatie* vermengen de schone en vuile lucht zich niet<sup>16</sup>. De frisse lucht wordt op vloerniveau toegevoerd en wel met een lage snelheid om tochtverschijnselen te voorkomen. De aanwezige personen fungeren als warmtebronnen. Door hen vervuilde en verwarmde lucht stijgt op en wordt bij het plafond afgezogen. Bij een ventilatievoud van 5 luchtwisselingen/uur was 4 minuten nadat een besmet persoon nieste of hoestte een vrijwel 'schone' plek ontstaan in de leefruimte doordat de vervuilde lucht was weggedrongen. In de 'vuile' zone bovenin de ruimte is de concentratie hoger dan bij mengventilatie totdat alle vuile lucht verdrongen is<sup>14</sup>. Of de vervuilde laag lucht op ademhoogte ligt of hoger, is nooit voor influenzavirus deeltjes onderzocht, alleen met tracerassen bij een ventilatievoud van 4-8 luchtwisselingen/uur. De verdeling van de 'vervuiling' bleek samen te vallen met de temperatuurstratificatie in de ruimte en was zeer variabel op ademhoogte<sup>17</sup>. Zijn er geen warmteafgevend personen aanwezig in de ruimte, dan werkt het verdringingsprincipe niet of nauwelijks.

Doorspoelen of doortochten van een gebouw is een extreme vorm van verdringingsventilatie waarbij niet de verwarming van lucht door de aanwezige personen het sturende principe is, maar de windrichting en de winddruk op de gevel. Het kan alleen worden uitgevoerd in gebouwen met grote te openen ramen. Met het openzetten van die ramen en alle binnendeuren kan tot 17-40 maal per uur de vuile lucht uit de ruimten gedrongen worden<sup>18</sup>. Deze waarde is behalve van de grootte van de ramen ook afhankelijk van winddruk en windrichting. Vanwege tocht en koude in het stookseizoen is dit alleen acceptabel bij afwezigheid van de gebruikers van de ruimte, bijvoorbeeld tijdens lunchtijd. Zelfs van een kwartiertje doorspoelen wordt de lucht schoon, maar daarna blijven de vervuilde oppervlakken een onbekend aantal virusdeeltjes afgeven.

Natuurlijke toevoer van lucht door ramen en roosters zonder mechanische afvoer, heeft afhankelijk van windrichting, winddruk, temperatuurverschil binnen-buiten, en plaatsing van ramen en roosters een effect dat *tussen mengventilatie en verdringingsventilatie* in ligt, maar is moeilijk te sturen.

#### **Bedrijfstijden**

In kantoorachtige en semipublieke gebouwen is het ventilatiesysteem alleen in bedrijf tijdens kantooruren om het energiegebruik van het gebouw zo laag mogelijk te houden. Ook in de woningen van personeelsleden wordt de ventilatie vaak lager of uitgezet bij afwezigheid uit milieuoverwegingen, of gedurende de nacht vanwege geluidsoverlast. Na afzetten of afschalen van de ventilatie blijft een groter deel van de vervuiling in de ruimte aanwezig

en krijgen de virusdeeltjes een grotere kans om zich aan horizontale en verticale oppervlakken te hechten waar ze nog lang besmettelijk kunnen blijven voor wie er handcontact mee heeft. Ook kunnen de virusdeeltjes weer loslaten van de oppervlakken en terugkeren in de lucht. Beter is het dan ook om 24 uur/dag gedurende 7 dagen/week te ventileren op het niveau dat voorheen alleen tijdens de bedrijfstijden was ingesteld.

#### **Recirculatie**

Diverse soorten ventilatiesystemen werken met recirculatie, dat wil zeggen dat de frisse buitenlucht wordt gemengd met een deel van de vuile afgevoerde lucht voordat het in de ruimten wordt geblazen. De vuile lucht wordt hiervoor eerst gefilterd. Dit haalt echter niet altijd alle levensvatbare virusdeeltjes uit de vuile lucht. Van ventilatiesystemen met recirculatie in gebouwen en vliegtuigen is gerapporteerd dat zij een bron van infectie werden<sup>8,19,20</sup>. In het geval van een 4,5 uur gestrand vliegtuig, bijvoorbeeld, kreeg 72% van de passagiers en bemanningsleden die geen direct contact gehad hadden met de grieppatiënt toch binnen 83 uur griep. Gedurende die 4,5 uur was het ventilatiesysteem wel 2-3 uur helemaal uitgeschakeld<sup>8</sup>. Overigens is er één natuurlijk experiment uit een vliegtuig bekend waarin het virus van de Mexicaanse griep NIET via de gerecirculeerde lucht besmettingen veroorzaakte<sup>9</sup>.

Onbedoelde recirculatie komt voor bij toepassing van een warmtewiel om warmte uit de vuile afvoerlucht te halen en daarmee de koude invoerlucht te verwarmen, zoals bij gebalanceerde ventilatie. Tijdens dit proces treedt een lek op van ongeveer 7% van de doorgevoerde lucht<sup>21</sup>. Het lijkt dus veiliger om van recirculatie van de binnenlucht af te zien, hoewel het aandeel van recirculatie in de besmettingskans vermoedelijk klein is.

#### **Luchtontsmetting**

Het griepvirus kan in een ruimte geïnactiveerd worden door bevochtigen of UV-C bestraling<sup>22,23</sup>. Het virusdeeltje blijft dan wel in de lucht aanwezig (de lucht is niet gereinigd), maar het is niet meer in staat om een mens te besmetten. Is een ruimte besmet met het griepvirus dan kan een reductie van 90% van de besmettelijke virusdeeltjes worden bereikt door deze ruimte 4 uur lang aan een relatieve vochtigheid van 50% bloot te stellen<sup>22</sup>. In geval van UV-C-bestraling kan dit niveau in 1 uur bereikt worden<sup>23</sup>. Beide luchtbehandelingen behoeven extra maatregelen om mogelijke schade aan longen (bevochtiging), huid of ogen (UV-C-bestraling) te voorkomen.

#### **Bevochtiging**

De relatie tussen de relatieve vochtigheid (RV) en de besmettelijkheid van griepvirusdeeltjes in de lucht wordt al een halve eeuw onderzocht. In 1959 heeft Hemmes in Utrecht een proefschrift met experimentele gegevens verdedigd over dit onderwerp<sup>24</sup>. In zijn experiment nam de levensvatbaarheid van influenza A virusdeeltjes af tot onder de 0,01% na 30min blootstelling aan 50-60%RV, terwijl de levensvatbaarheid bij blootstelling aan 30-40%RV afnam tot minder dan 10%. Een latere studie van Harper<sup>22</sup> liet zien dat bij een RV van 50-51% het aantal virusdeeltjes binnen het uur afnam met een factor 5. De afname bedroeg slechts een factor 1,5 bij 34-36%RV. Zulke voor het virus gunstige lage luchtvochtigheden komen in Nederland binnenshuis alleen in het stookseizoen voor.

Zowel de studie van Hemmes als van Harper zijn uitgevoerd onder laboratoriumomstandigheden. De virusdeeltjes werden in een afgesloten omgeving ingespoten om daarna metingen te verrichten aan de afname. Er was geen continue bron van virusdeeltjes aanwezig en ook werd de proefruimte niet geventileerd.

Geïnfecteerde personen in een ruimte vormen een continue bron. Onder die omstandigheden toonde Schaffer e.a.<sup>25</sup> eveneens aan dat het influenza A virus het minst stabiel is bij 40-60%RV. Al na 1 minuut blootstelling aan 50%RV was 72-93% van de virusdeeltjes geïnactiveerd. Een tweetal recente influenzastudies met cavia's laten vergelijkbare resultaten zien<sup>26,27</sup>.

De inactieve snelheid van het griepvirus onder diverse vochtregimes is vervolgens gemiddeld en gesimuleerd. Een RV van 50-80% is het meest gunstig voor het vertragen van een pandemie<sup>22,26,27</sup>. Bij een lagere RV blijft het virus langer in staat om mensen te besmetten<sup>28</sup>. Verhogen van de luchtvochtigheid in de binnenlucht is een middel om infecties terug te dringen. Het moet continue geschieden gedurende de pandemie omdat de RV bij verwarmen van frisse buitenlucht weer afneemt. De hoeveelheid vocht die hiervoor gemiddeld nodig is in de koude maanden van het jaar, verschilt per maand (*Bijlage B*).

Er bestaan diverse bevochtigingssystemen. Bevochtiging met stoom heeft de voorkeur, omdat dan de kans op microbiële groei in het bevochtigingwater het kleinst is en er minder gevaar is voor luchtbevochtigingziekten, zoals extrinsieke allergische alveolitis<sup>13,29,30</sup>.

Als centrale mechanische ventilatie met luchtbevochtiging aanwezig is, zijn de luchtbehandelingskasten voorzien van bevochtiging of warmte terugwinning met vocht regeneratie (bijvoorbeeld een hygroscoopisch warmtewiel). Deze bevochtigingsectie moet worden ingesteld op 50%RV. Deze vochtigheid is desastreus voor het virus, maar niet hoog genoeg om de groei van bacteriën, schimmels of mijten te stimuleren in hun groei<sup>31</sup>. Het is wel zaak om vóór het stookseizoen te controleren of het systeem operationeel en schoon is en voldoende capaciteit heeft om ook bij lage buitentemperaturen een RV van minstens 50% in de ruimten te halen, niet alleen bij gemiddelde weercondities (*Bijlage B*), maar ook bij extreme waarden die een factor 2 hoger of lager kunnen liggen.

Sommige centrale mechanische ventilatiesystemen werken met warmteterugwinning, bijvoorbeeld via een hygroscoopisch warmtewiel. Hierdoor wordt vocht gegenereerd dat benut kan worden om de toegevoerde frisse lucht te bevochtigen. Echter dit vocht is verontreinigd met gassen en deeltjes uit de vuile lucht. Bovendien is er bij een warmtewiel lekverlies (zie boven) waardoor virusdeeltjes uit de af te zuigen vuile lucht in de toe te voeren frisse lucht terecht komen. Hoewel dit effect naar verwachting klein is, lijkt het uitzetten van het warmtewiel en bevochtiging op andere wijze het meest veilig. Het uitzetten van het warmtewiel kan echter leiden tot een te lage temperatuur van de ingeblazen lucht omdat de warmtewinst uit het warmtewiel wegvalt.

Mobiele bevochtigingapparaten gevuld met vers koud leidingwater zijn geschikt voor het bevochtigen van aparte ruimten, wanneer geen centrale bevochtiging aanwezig is. Het voorzien van iedere ruimte in het gebouw van lokale bevochtigingapparatuur is soms niet haalbaar. In dat geval komen alleen ruimten met extra risico's (zie boven) voor vochtbehandeling in aanmerking.

De mobiele apparaten werken op basis van ionisatie, stoom of ultrasoon. Schaf alleen apparaten aan waarmee de luchtvochtigheid is in te stellen op een continu niveau van 50%RV en met voldoende vermogen voor de betreffende ruimte. Ververs het water dagelijks en ontkalk en reinig waterreservoir en leidingen regelmatig. Luchtbevochtigerskoorts is gerapporteerd bij vervuilde ionisatie-apparaten<sup>32</sup>.

Een eenvoudige manier om in ruimten van woonhuizen de relatieve vochtigheid in de winter op minimaal 50% te houden is het verdampen van water met een huishoudelijke waterkoker<sup>33</sup>. Laat geen water staan in de waterkoker als ze niet gebruikt wordt om kalkneerslag en microbiële groei op de wanden van het reservoir te voorkomen.

#### **Nadelen van bevochtiging**

Aan het grote voordeel van vertraging van de griepoverdracht door luchtbevochtiging zijn ook enkele kleinere nadelen verbonden. Voor alle bevochtigingprocedures geldt dat in stilstaand water *Legionella* aanwezig is. De groei van deze verwekker van veteranenziekte en legionellagriep is beneden 20°C geen probleem in koperen leidingen en reservoirs. In geval van water in contact met polybutyleen of PVC versnelt de groei van de bacterie met

een factor van respectievelijk ruim 600 en ruim 2000 en gaat ook bij 20°C door<sup>34</sup>. Het is dus zaak erop toe te zien dat de bevochtigingsapparaten regelmatig gereinigd worden en worden dagelijks voorzien van schoon en koud vers drinkwater, vooral als leiding of reservoir van kunststof is.

Bevochtigen van de binnenlucht in de winter tot 50%RV kan op koude plaatsen in het gebouw of ventilatiesysteem leiden tot groei van mijten (voornamelijk in woningen) schimmels en bacteriën. Uitgaande van een luchttemperatuur van 22°C met 50%RV, groeien mijten op oppervlakken van 21,3°C of kouder (grenswaarde RV=52%), schimmels op oppervlakken van 17°C of kouder (grenswaarde 68%RV) en bacteriën op oppervlakken van 13,5°C of kouder (grenswaarde 85%RV)<sup>31</sup>. Als groei van genoemde organismen optreedt, raakt de binnenlucht vervuult met allergenen, antigenen en toxinen die oorzaak zijn van allergische aandoeningen (zoals astma), luchtbevochtigingziekten en het zogenaamde Sick Building Syndrome. Deze vergroting van de luchtvervuiling wordt normaliter binnen gebouwen ingeperkt door de langzaam inzettende winterdroogte. Niet vergeten moet worden dat bij een snelle daling van de RV de aanwezige schimmels en bacteriën worden aangezet tot sporulatie<sup>31</sup>. De RV moet dus zoveel mogelijk constant gehouden worden tijdens de pandemie, door ook 's nachts het bevochtigingregime door te zetten.

Om de door bevochtiging veroorzaakte kans op Sick Building Syndrome, luchtbevochtigerkoorts en allergische klachten verder in te perken, worden na beëindiging van de (extra) bevochtiging de bevochtigingsectie van het ventilatiesysteem gereinigd en de 24 uur/7 dagen in de week ventilatie volgehouden tot de volgende winter wanneer de droogte van de binnenlucht haar werk weer kan doen<sup>35,36,37</sup>. Een microbiologisch of arbeidsgeneeskundig surveillancie onderzoek gedurende deze periode door arbeidshygiënist of bedrijfsarts kan worden overwogen als een extra veiligheidsmaatregel.

#### **UV-C-bestraling**

Centraal toegevoerde lucht met UV-C bestralen in de luchtbehandelingskast heeft alleen zin voor het gerecirculeerde deel omdat de bron van het influenzavirus de mensen in het gebouw zijn.

Per ruimte bestralen is de volgende mogelijkheid. Dit kan op twee verschillende manieren verwezenlijkt worden: (i) aanstralen van het bovenste deel van de ruimte door middel van wandarmaturen of pendelarmaturen waarbij het licht naar boven is gericht en geen personen aanwezig zijn, of (ii) het in gebruik nemen van mobiele installaties waarmee de lucht wordt aangezogen en langs afgeschermd UV-C-lampen wordt geleid.

Ruimte bestraling met UV-C gedurende 1 uur kan maximaal 99% reductie van besmettelijke virusdeeltjes opleveren<sup>23,38</sup>. Dit geldt echter alleen bij een effectieve mengventilatie, waarbij ook de virusdeeltjes lager in de ruimte een goede kans hebben om in de bovenste luchtlaag te geraken om geïnactiveerd te worden. Bij verdringingsventilatie werkt ruimte UV-C-bestraling niet want de ontsmette lucht bevindt zich bovenin de ruimte en wordt verdrongen zodat ze niet in de ademhalingszone komt.

Ook in de uittredende lucht van de mobiele installatie is bij juiste toepassing 99% van de virusdeeltjes geïnactiveerd<sup>38</sup>. Hierbij is uitgegaan van overigens schone lucht, dat wil zeggen lucht met weinig of geen kleine deeltjes zoals geïnactiveerde viruspartikels of humane huidschilfers (ieder mens verliest er per dag 1-1,5 g zeer kleine huidschilfertjes<sup>31</sup>) die de levensvatbare viruspartikels kunnen beschaduen en daardoor bescherming bieden tegen UV-C. De daadwerkelijke effectiviteit van UV-C-bestraling zal dan ook lager liggen.

In geval van ruimtebestraling kan bij de berekening van het noodzakelijke aantal lampen en hun vermogen worden uitgegaan van het gegeven dat 4mJ/cm<sup>2</sup> de dosis is waarbij 90% van de influenzavirussen geïnactiveerd worden<sup>23</sup>. In een 2-persoons kantoorruimte van 20m<sup>2</sup> zijn daarvoor 2 UV-C-lampen nodig van 17W elk.

Mobiele UV-C-apparaten leiden 300 of 400 m<sup>3</sup> lucht per uur door een 1 m lange cilinder waarin zich 2 UV-C-buizen bevinden van 95 W elk. De intensiteit van de lichtbestraling is ongeveer 165mW/cm<sup>2</sup>. Door veelvuldige reflectie aan de zijwanden van de cilinder wordt deze dosis overal in het apparaat bereikt. De lucht-stroomsnelheid door de cilinder is 4 m/s, waardoor de lucht ¼ s in de cilinder verblijft en een totale UV-C dosis ontvangt van 41 mJ/cm<sup>2</sup>. Aannemende dat er geen stof (bv humane huidschilfers) in de lucht zit die virusdeeltjes beschaduen, is meer dan 99% van de virusdeeltjes geïnactiveerd door deze dosis<sup>38</sup>.

#### Nadelen UV-C-bestraling

Ook aan UV-C-bestraling zijn nadelen verbonden. Deze straling veroorzaakt oog- en huidschade bij mensen en leidt tot de vorming van ozon dat schadelijk is voor de longen.

De grenswaarde voor bestraling met UV-C is volgens Amerikaanse en Europese norm 6 mJ/cm<sup>2</sup> bij een golflengte van 254nm<sup>39,40</sup>. Gebruikers van de ruimten mogen over 8 uur niet worden blootgesteld aan meer dan 0,2 µW/cm<sup>2</sup>. Bij ruimtebestraling wordt dit probleem opgelost door de lampen alleen in te schakelen bij afwezigheid van de gebruikers, de aan/uit schakelaar buiten de ruimte te plaatsen, dan wel deursensoren te installeren en de ruimte of het gebouwdeel (automatisch) af te sluiten tijdens de behandeling. In mobiele installaties zijn de UV-lampen zodanig afgeschermd dat de gebruikers van de ruimte niet aan UV-C-straling worden blootgesteld.

UV-C-bestraling leidt tot het ontstaan van ozon, een irriterende stof voor gezonde personen, die bovendien mensen met astma, chronische bronchitis of longemfyseem ook beneden MAC-waarde of geurgrens gevoeliger kan maken voor andere verontreinigingen, waaronder allergenen<sup>41,42</sup>. Dit is een reden te meer om geen UV-C-ruimtebestraling toe te passen als er mensen in een ruimte aanwezig zijn en maximaal te ventileren voordat er weer personen in de ruimte worden toegelaten. Houdt er ook rekening mee dat sommige kunststoffen verbrossen onder invloed van UV-C-bestraling<sup>43</sup>.

Hoeveel ozon mobiele apparaten uitstoten is niet bekend. Verwacht wordt dat het niet veel is, maar de mobiele apparatuur in de handel heeft geen ozonfilter en ozon metingen zijn niet gerapporteerd in de internationale wetenschappelijke literatuur. Het ALARA (As Low As Reasonably Achievable)<sup>44</sup> principe uit de arbopraktijk betreffende schadelijke blootstellingen noopt hier tot voorzichtigheid. Het lijkt vooralsnog verstandig ook mobiele UV-C-apparaten alleen in te zetten bij afwezigheid van mensen om daarna goed te ventileren voordat de ruimten weer worden betreden.

UV-C-bestraling blijft een behandeling met haken en ogen, net als bevochtiging. De facility manager zal een keuze moeten maken na afweging van veiligheidsaspecten en toepasbaarheid in zijn/haar specifieke gebouw.

#### Oppervlakteontsmetting

Het virus blijft 24-48 uur besmettelijk op roestvrij staal en tot maximaal 12 uur op meer poreuze materialen als kleding, zakdoeken en papier<sup>45</sup>. Het is theoretisch mogelijk om een fysische ontsmetting van oppervlakken uit te voeren met bevochtiging of UV-C bestraling. Het is echter lastig om de effectiviteit hiervan in gebouwen te bepalen. Het simpelst zijn volledig schone, niet-hygroscopische oppervlakken, zoals pas gereinigde ramen. Deeltjes op die oppervlakken kunnen op bevochtiging en UV-C bestraling hetzelfde reageren als toen ze nog in de lucht zweefden. Vuil en biofilm op de oppervlakken kan de virusdeeltjes beschaduen en daardoor beschermen tegen UV-C bestraling. Is gekozen voor luchtbevochtiging, dan zal het organische vuil ook vocht aantrekken wanneer de luchtvochtigheid verhoogd wordt. Bevat dit vuil zouten of andere geladen deeltjes, dan trekken die sterker aan de watermoleculen dan het virusdeeltje. Hierdoor wordt voor het virus het milieu enige tijd 'fysiologisch droog' en dus beschermend. Een voorbeeld hiervan uit een ander

domein is zoutbloei in een vochtige kelder. Op de muren kunnen geen micro-organismen groeien omdat al het aanwezige vocht vast zit in de watermantels rondom de geladen deeltjes, maar de houten trap zonder zouten slaat groen uit van de schimmel. Op hygroscoopische en vaak ruwe materialen in een ruimte (stucwerk, papier, textiel, etc.) kan de bescherming door beschaduen of een fysiologische droog milieu nog veel sterker zijn.

De grootte van het effect van deze fysisch-chemische verschijnselen op de oppervlakteontsmetting in gebouwen is niet bekend. Er zijn ook geen experimentele gegevens voorhanden over de effectiviteit van bevochtigen en UV-C-bestraling als oppervlakteontsmetting voor influenzavirussen.

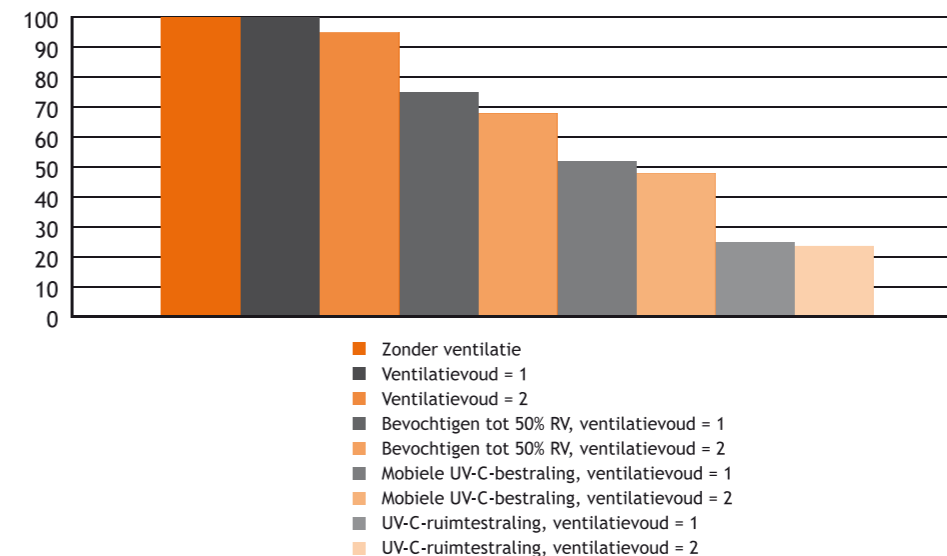
Het lijkt niet verstandig om te vertrouwen op een effectieve ontsmetting van de horizontale en verticale oppervlakken in een ruimte door bevochtigen of UV-C-bestraling.

#### Effectiviteitsvergelijking en combinaties

Vanwege het grote aantal invloedsfactoren die bovendien lang niet altijd staan vermeld in de gepubliceerde onderzoeken, is het moeilijk om de effectiviteit van de diverse maatregelen in woningen en kantoorachtige gebouwen te vergelijken.

Alleen voor de veel voorkomende mengventilatie kan een schatting gemaakt worden. In de berekening zijn een aantal effecten niet meegenomen: (i) directe besmetting door aanhoesten, aanniezen, of aanademen, (ii) handinfecties via besmette personen of oppervlakken, (iii) afvangen van virusdeeltjes door horizontale en verticale oppervlakken, en (iv) het virus-beschermende effect van vuile lucht bij geringe ventilatie (Figuur 2).

Vergelijkende kans op besmetting via kamerlucht [%]



Figuur 2. Gesimuleerde kans op besmetting door middel van inademen van de kamerlucht door een werknemer bij mengventilatie gedurende 1 werkdag onder verschillende binnenlucht regimes in een 2-persoonskamer van 20 m<sup>2</sup> (inhoud 54m<sup>3</sup>), die de werknemer deelt met een besmet persoon, berekend volgens de aangepast Wells-Riley vergelijking<sup>46</sup>; Niet meegenomen zijn de effecten van aanhoesten, aanniezen, aanademen, handcontact en contact met besmette oppervlakken; Ook het effect van ventileren op het verwijderen van deeltjes die de viruspartikels kunnen beschaduen en zo beschermen tegen UV-C is niet in de berekening betrokken

We zetten de kans op luchtblootstelling die tot besmetting leidt zonder ventilatie op 100%. Vanwege het feit dat de besmette persoon veel virusdeeltjes uitstoot, geeft een ventilatievoud van 1 nauwelijks verbetering. De besmettingskans is nog steeds 99,8%! Pas bij een verdub-

beling van dit 'normale' ventilatievoud daalt de besmettingskans tot 95% (zie ook Bijlage C). Het bevochtigen geeft een extra winst van rond 20%. Met mobiele UV-C-bestralers is 45% besmettingsreductie te bereiken en met ruimtebestraling met UV-C zelfs nog meer, maar helaas is dat alleen mogelijk nadat de ruimtegebruikers zijn vertrokken.

De beste scenario's zijn combinaties die met de bestaande formules niet uitgerekend konden worden: bevochtigen 24 uur/dag 7 dagen/week, in combinatie met (i) spoelen gedurende de pauzes en buiten de bedrijfstijd, óf (ii) als er geen grote te openen ramen aanwezig zijn: ruimtebestraling met UV-C buiten bedrijfstijden van 18.00-8.00 uur.

Uit het bovenstaande wordt duidelijk dat de effectiviteit van maatregelen er heel anders uit kan zien bij een grotere of een kleinere ruimte, bij verdringingsventilatie, bij meer dan een besmet persoon in de kamer, bij meer niet-besmette personen in de kamer, etc.. Figuur 2 duidt niet de totale kans op besmetting aan omdat aanhoesten, aannemen, aanademen en handcontact niet zijn meegenomen. De figuur is vooral bedoeld om enig inzicht te geven in de numerieke kant van de verschijnselen, zodat het gemakkelijker wordt om een maatregel te kiezen in de kantoorachtige omgeving. Enige modelleerhulp zal de facility manager daarvoor nodig hebben.

Een tweede reeks berekeningen is gemaakt voor de recirculatie van binnenlucht als instelling van het systeem of lekstroom van het warmtewiel. Dit blijkt 1-5% van de effecten van ventileren, bevochtigen en UV-C-bestralen teniet te doen, maar er zitten erg veel onzekerheden in deze berekening. Zo is het effect van extra deeltjes (huidschilfers en geïnactiveerde virusdeeltjes) in de lucht bij recirculatie niet meegenomen. Het stoppen van recirculatie en warmteterugwinning kan een additionele maatregel zijn waarvan we de effectiviteit echter niet kennen.

## Aanbevelingen

Uit het voorgaande zijn een aantal aanbevelingen te destilleren voor de facility manager. Het betreft in alle gevallen stap 3 van het BAH-principe (Tabel 3) als aanvulling op Sectie 3 van het BCP (Tabel 1).

Allereerst vermelden we de aanbevelingen voor kantoren en semipublieke ruimten, om daarna de aanbevelingen te vermelden die werkgever of facility manager kan meegeven aan hun medewerkers voor wat betreft de eigen woning.

### Kantoorachtige omgevingen

1. Alle ruimten in het kantoorgebouw na ieder dagdeel een half uur spoelen door het openen van ramen en deuren bij afwezigheid van bewoners.
2. Overleg met de technische dienst om de aard van het ventilatiesysteem in het gebouw vast te stellen.
3. Heeft het ventilatiesysteem een bevochtigingunit, deze laten inspecteren op correcte werking en bevochtigingcapaciteit, en vóór de extra bevochtiging grondig laten reinigen. De continue 50% RV in ruimten moet kunnen worden bereikt met behulp van schone waterdamp (bij voorkeur stoom), ook bij lage buitentemperaturen (Bijlage B).
4. Meteen nadat het eerste ziektegeval in het bedrijf is vastgesteld of vermoed, het centrale ventilatie- en bevochtigingssysteem of de gebalanceerde ventilatie 24 uur per dag en 7 dagen in de week laten draaien tot op het moment dat het aantal nieuwe ziektegevallen daalt.
5. In geval het ventilatiesysteem niet voorziet in centrale bevochtiging, lokale bevochtiging toepassen (Bijlage B) in ruimten met extra risico vanwege personen met longproblemen, of personeelsleden die de kritische werkzaamheden uitvoeren, of ruimten waar veel verschillende personen komen (bezoekers- en publieksruimten).
6. In kritische ruimten buiten kantooruren UV-C-bestraling toepassen.

7. Indien noch bevochtiging, noch UV-C-bestraling systematisch wordt toegepast bij het begin van de stortvloed aan ziektegevallen, ruimten die besmet zijn geraakt door een geïnfecteerd persoon minstens 5 uur blootstellen aan 50%RV of 2 uur aan UV-C-bestraling om het in de lucht aanwezige virus te inactiveren.
8. Aanvullend kunnen recirculatie en de warmteterugwinunit met regeneratie van vocht uitgezet worden tijdens de pandemie, voor zover dit niet leidt tot aanvoer van te koude kamerlucht.
9. Als bevochtiging is toegepast, de bevochtigingunit van het ventilatiesysteem na de periode van extra bevochtiging grondig reinigen en dit herhalen bij iedere filterwisseling. Bovendien ruim blijven ventileren tot de volgende winter. Dit alles om de mogelijke extra vervuiling tegen te gaan door micro-organismen (toxinen, antigenen en allergenen) die vanwege het extra vocht kunnen zijn gestimuleerd.
10. Werknemers die bekend zijn met longproblemen (als bevochtiging is toegepast) en degenen met huid- of oogproblemen (in geval van UV-C-bestraling) er op wijzen dat zij contact kunnen opnemen met de bedrijfsarts bij toename van de klachten en de bedrijfsarts laten weten dat er bij het periodiek medisch onderzoek (PMO) extra aandacht moet zijn voor longproblemen cq huid- en oogproblemen.

### Woningen

1. De soort ventilatievoorziening van de woning vaststellen: (i) volledig natuurlijk (ramen en roosters), (ii) natuurlijke toevoer door ramen en roosters en mechanische afvoer, of (iii) gebalanceerde ventilatie met mechanische toevoer en mechanische afvoer.
2. De aanwezige ventilatievoorzieningen maximaal gebruiken: roosters en klepraampjes open zetten, mechanische afvoer en gebalanceerde ventilatie op de hoogste stand zetten; dit alles 24 uur/dag en 7 dagen/week volhouden totdat de pandemie voorbij is.
3. In ruimten waar te openen ramen aanwezig zijn, iedere dag een half uur ramen en deuren tegen elkaar open zetten om de binnenlucht te spoelen.
4. De ziekenkamer van een persoon met Mexicaanse griep maximaal ventileren, maar de deur gesloten houden.
5. Als de pandemie in de buurt komt, met een goed gereinigde en ontkalkte elektrische waterkoker 4 maal per dag 4 liter water verdampen. Als iedereen weer beter is, stoppen met bevochtigen en zeer ruim blijven ventileren tot de volgende winter om de extra microbiële en mijtengroei die door het bevochtigen kan zijn ontstaan, teniet te doen.

## Discussie & conclusie

Zonder vaccinatie is het niet mogelijk om te voorkómen dat grote aantallen personen ziek worden wanneer een griep-pandemie over ons land trekt. Zoals bekend heeft de regering besloten om slechts kleine groepen van de bevolking te vaccineren. Voor het overige zijn er de adviezen voor bedrijfcontinuïteit<sup>7</sup> en de huis-aan-huis verspreide publieksfolder<sup>47</sup>. Met de aanvullende maatregelen uit deze bijdrage kan het beloop van de pandemie verder worden vertraagd zodat er in de bedrijfsmatige omgeving minder mensen tegelijk ziek zijn, de kritische bedrijfsprocessen doorgang kunnen blijven vinden en maatschappelijke ontvrichting wordt voorkomen.



## Dankbetuiging

De auteurs bedanken ir M. Brink (installatietechnoloog), C.T. Heimeriks (arbeidshygiënist), ing. F.L. van Hout (installatietechnoloog), ir. T. Klaver (fysica, arbodeskundige), ir J. Knies (bouwkundige), drs. P.D. Kotvis (management consultant), mr. T.P.W. Michels-Nas (FMN), ing. J. de Nijs (bedrijfskundige), drs. T.M. Pal (bedrijfsarts) en drs. H.P.J. Stinis (bedrijfsarts) voor hun opbouwend commentaar. Het UCB, Universitair Centrum voor Bouwproductie, steunde een heel vroege opzet financieel. Een speciaal dankwoord gaat naar prof. ir Ger J. Maas die het initiatief nam de Mexicaanse griep dit jaar het onderwerp te laten zijn van de jaarlijkse VDCM conferentie van de PEBE (Performance Engineering for Built Environments) groep in de faculteit bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

## Aangehaalde literatuur

1. Schipper M. Bedrijfscontinuïteitmanagement. Kunnen we doorwerken na een calamiteit? FMI – Vaktijdschrift van Facility Management Nederland 2009;16(3):18-19
2. Franchimon F, Ament AHJA, Pernot CEE, Knies J, Bronswijk JEMH van. Preventing chronic lung disease in an aging society by improved building ventilation: An economic assessment. *Gerontechnology* 2008;7(4), 374-387; doi:10.4017/gt.2008.07.04.025.00
3. Baltesen F. De Mexicaanse griep is op school. Nou en? Basisscholen hebben hun eigen idee over hoe ze met de griep omgaan. *NRC Handelsblad* 2009 (12 september):3 (Binnenland)
4. Chen S-C, Liao C-M. Modelling control measures to reduce the impact of pandemic influenza among schoolchildren. *Epidemiology and Infection* 2008;136(8):1035-1045; doi: 10.1017/S0950268807009284
5. Hemmes JH, Winkler KC, Kool SM. Virus Survival as a seasonal factor in Influenza and Poliomyelitis. *Nature* 1960;188(4748):30-431. doi:10.1038/188430a0
6. British Standard 2006/2007. BS 25999-1, BS-25999-2. Business continuity; www.bsigroup.com/en/Assessment-and-certification-services/management-systems/Standards-and-Schemes/BS-25999/; gelezen 5 september 2009
7. Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, in samenwerking met VNO-NCW en MKB-Nederland. Handleiding bedrijfscontinuïteit bij Griep пандеміе. Den Haag; 2008 (maart); www.minvws.nl/includes/dl/openbestand.asp?File=/images/handleiding-bedrijfscont-griep пандеміе-\_tcm19-166721.pdf; gelezen 5 september 2009
8. Gregg MB. The epidemiology of influenza in humans. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1980;353(1):45-53; doi: 10.1111/j.1749-6632.1980.tb18904.x
9. Han K, Zhu X, He F, Liu L, Zhang L, Ma H, Tang X, Huang T, Zeng G, Zhu BP. Lack of airborne transmission during outbreak of pandemic (H1N1) 2009 among tour group members, China, June 2009. *Emerging Infectious Diseases* 2009;15(10):e-publication ahead of print; doi: 10.3201/eid1510.091013
10. Munster VJ, Wit E de, Brand JMA van den, Herfst S, Schrauwen EJA, Bestebroer TM, Vijver D van de, Boucher CA, Koopmans M, Rimmelzwaan GF, Kuiken T, Osterhaus ADME, Fouchier RAM. Pathogenesis and transmission of swine-origin 2009 A(H1N1) influenza virus in ferrets and mice. *Science* 2009;325(5939):481-483; doi: 10.1126/science.1177238
11. Nicas M, Jones RM. Relative contributions of four exposure pathways to influenza infection risk. *Risk Analysis* 2009;29(9):1292-1303; doi:10.1111/j.1539-6924.2009.01253.x
12. Stinis HP. Zwangerschap, infectieziekten en werk. *Tijdschrift voor Bedrijfs- en Verzekeringsgeneeskunde* 2006;14(9):401-406
13. Houba R, Maas JJ, Siegert H, Wielaard P. Arbokennisnet dossier: biologische agentia. Arbokennis ontsloten; 2009; www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Biologische\_agentia/D\_Biologische\_agentia.pdf; gelezen 16 september 2009
14. Mui KW, Wonga LT, Wub CL, Lai ACK. Numerical modeling of exhaled droplet nuclei dispersion and mixing in indoor environments. *Journal of Hazardous Materials* 2009;167(1-3):736-744; doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.01.041
15. Lai ACK, Cheng YC. Study of expiratory droplet dispersion and transport using a new Eulerian modeling approach. *Atmospheric Environment* 2007;41(35):7473-7484; doi:10.1016/j.atmosenv.2007.05.045
16. Wan MP, Chao CHY, Ng YD, Sze To GN, Yu WC. Dispersion of expiratory droplets in a general hospital ward with ceiling mixing type mechanical ventilation system. *Aerosol Science and Technology* 2007;41(3):244-258; doi: 10.1080/02786820601146985
17. Zhang T, Lee K, Chen Q. A simplified approach to describe complex diffusers in displacement ventilation for CFD simulations. *Indoor Air* 2009;19(3):255-267; doi: 10.1111/j.1600-0668.2009.00590.x

18. Escombe AR, Oeser CC, Gilman RH, Navincopa M, Ticon E, Pan W, Martínez C, Chacaltana J, Rodríguez R, Moore DAJ, Friedland JS, Evans CA. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PLOS Medicine* 2007;4(2):309-317; doi: 10.1371/journal.pmed.0040068
19. Drinka PJ, Krause P, Schilling M, Miller BA, Shult P, Gravenstein S. Report of an outbreak: nursing home architecture and influenza-A attack rates. *Journal of the American Geriatrics Society* 1996;44(8):910-913
20. Mangili A, Gendreau MA. Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *Lancet* 2005;365(9463):989-996; doi: 10.1016/S0140-6736(05)71089-8
21. Sheer T, De Klerk GB, Jawurek HH, Lander M. A versatile computer simulation model for rotary regenerative heat exchangers. *Heat Transfer Engineering* 2006;27(5):68-79; doi: 10.1080/01457630600560676
22. Harper GJ. Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses. *The Journal of Hygiene* 1961;59(4):479-486; doi: 10.1017/S0022172400039176
23. First M, Rudnick S, Banahan K, Vincent R, Brickner P. Fundamental factors affecting upper-room ultraviolet germicidal irradiation – Part 1: Experimental. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2007;4(5):321-331; doi: 10.1080/15459620701271693
24. Hemmes JH. De overleving van microorganismen in lucht. Doctorsthesis, Faculteit Geneeskunde, Rijksuniversiteit Utrecht, promotor prof. dr K.C. Winkler
25. Schaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Archives of Virology* 1976; 51(4):263-273
26. Lowen AC, Mubareka S, Steel J, Palese P. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathogens* 2007;3(10):e151; doi: 10.1371/journal.ppat.0030151.
27. Lowen AC, Steel J, Mubareka S, Palese P. High temperature (30°C) blocks aerosol but not contact transmission of influenza virus. *Journal of Virology* 2008;82(11):5650-5652; doi:10.1128/JVI.00325-08
28. Shaman J, Kohn M. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2009;106(9):3243-3248; doi: 10.1073/pnas.0806852106
29. Robertson AS, Burge PS, Wieland GA, Carmalt MH. Extrinsic allergic alveolitis caused by a cold water humidifier. *Thorax* 1987;42(1):32-37
30. Hendrick DJ. Contaminated humidifiers and the lung. *Thorax* 1985;40(4):244-247
31. Bronswijk JEMH van. House-dust biology for allergists, acarologists and microbiologists. Zeist: NIB; 1981
32. Koschel D, Stark W, Karmann F, Sennekamp J, Müller-Wening D. Extrinsic allergic alveolitis caused by misting fountains. *Respiratory Medicine* 2005; 99(8):943-947
33. Franchimon F, Pernot CEE, Bronswijk van JEMH. Feasible Indoor Air-related measures against Avian Influenza. In BW Olesen, P Wargocki, P Strøm-Tejse, D Zukowska, J Toftum (Eds.), *The 11th International Conference on Indoor Air quality and Climate*. (pp. Paper ID:-49). Copenhagen: International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark; 2008
34. Rogers J, Dowset AB, Dennis PJ, Lee JV, Keevil CW. Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora. *Applied and Environmental Microbiology* 1994;60(5):1585-1592
35. Bronswijk JEMH van, Pauli G, editors. *An update on long-lasting mite avoidance : dwelling construction humidity management cleaning*. Aachen : GuT; 1996
36. Rolloos M. HVAC systems and indoor air quality. *Indoor and Built Environment* 1993;2(4):204-212; doi: 10.1177/1420326X9300200403
37. Terwoert J, Maas JJ, Sieger H, Wielaard P. Arbokennisnet dossier: irriterende en sensibiliserende stoffen; 2009; [http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Irriterende\\_sensibiliserende\\_stoffen/D\\_Irriterende\\_sensibiliserende\\_stoffen.pdf](http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Irriterende_sensibiliserende_stoffen/D_Irriterende_sensibiliserende_stoffen.pdf); gelezen 16 september 2009
38. Walenda T. Transmission von Viren über raumlufttechnische Anlagen. Diplomarbeit. Bochum: Ruhr-Universität; 2007
39. ACGIH. Ultraviolet radiation. In: 2007 TLVs and BEIs: based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2007
40. Richtlijn 2006/25/EG van het Europees parlement en de raad van 5 april 2006 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (kunstmatige optische straling) (19e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG). Publicatieblad van de Europese Unie 2006;114:38-59; [http://www.rivm.nl/milieuportaal/images/richtlijn%202006\\_25\\_EG.pdf](http://www.rivm.nl/milieuportaal/images/richtlijn%202006_25_EG.pdf) ; gelezen 12 september 2009
41. Mudway IS, Kelly FJ. Ozone and the lung: a sensitive issue. *Molecular Aspects of Medicine* 2000;21(1-2):1-48
42. Ferrando E, Welch BS, Balmes JR, Chen LL, Tager IB, Peden DB, Christian DL. Effect of ozone exposure on airway responses to inhaled allergen in asthmatic subjects. *Chest* 2004;125(6):2328-2335; doi: 10.1378/chest.125.6.2328
43. IUVA. General Guideline for UVGI Air and Surface Disinfection Systems : IUVA-G01A-2005. Ayr: International Ultraviolet Association; 2005
44. VROM. Nuchter omgaan met risico's – beslissen met een gevoel voor onzekerheden. Den Haag: Ministerie van VROM; 2004
45. Bean Moore BM, Sterner B, Peterson LR, Gerding DN, Balfour HH. Survival of influenza viruses on environmental surfaces. *Journal of Infectious Diseases* 1982;146(1):47-51
46. Nazaroff WW, Nicas M, Miller SL. Framework for evaluating measures to control nosocomial tuberculosis transmission. *Indoor Air* 1998;8(4):205-218; doi: 10.1111/j.1600-0668.1998.00002.x
47. Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Nederlands Huisartsengenootschap. Wat u moet weten over een griep-pandemie (wereldgriep). Publieksfolder; [www.rivm.nl/cib/binaries/Publieksfolder%20griep%20Nederlands%202009\\_tcm92-60361.pdf](http://www.rivm.nl/cib/binaries/Publieksfolder%20griep%20Nederlands%202009_tcm92-60361.pdf); gelezen 12 september 2009
48. Liao C-M, Chang C-F, & Liang H-U (2005). A probabilistic transmission dynamic model to assess indoor airborne infection risks. *Risk Analysis* 2005;25(5):1097-1107; doi: 10.1111/j.1539-6924.2005.00663.x
49. Nardell EA, Keegan J, Cheney SA, Etkind CS. Airborne infection, Theoretical limits of protection application achievable by building ventilation. *American Review of Respiratory Disease* 1991;144(2):302-206
50. Riley RL. Ultraviolet air disinfection for protection against influenza. *Johns Hopkins Medical Journal* 1977;140(1):25-27
51. Tseng C-C, Li C-S. Inactivation of virus-containing aerosols by ultraviolet germicidal irradiation. *Aerosol Science and Technology* 2005;39(12):1136-1142 ; doi: 10.1080/02786820500428575
52. KNMI. Langjarige gemiddelden en extremen, tijdvak 1971-2000. Normalen KNMI-neerslagstations; [www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000referentie](http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000referentie); gelezen 12 september 2009
53. International Energy Agency (IEA). *Community Systems Programme Annex XIV: Condensation and Energy Sourcebook*. Volume 1; Leuven: Katholieke Universiteit;1991

## Bijlagen

### A. Virusdeeltjes, luchtreiniging en luchtontsmetting

Aan figuur 2 liggen de volgende simulaties ten grondslag. De effectiviteit van de gebouwgerelateerde maatregelen is berekend met de aangepaste Wells-Riley vergelijking<sup>46</sup>. Deze geeft een exponentieel verband aan waarin zowel verwijdering van de besmettingsbron als het inactiveren van het virus is opgenomen.

De vergelijking luidt als volgt:

$$P = 1 - e^{-\frac{I \cdot q \cdot p \cdot t}{Q + \lambda \cdot V + Q_r \cdot \eta_r}}$$

waarbij:

P = Kans op besmetting door niet geïnfecteerd persoon

I = Aantal besmette personen in een ruimte

q = Quantum (eenheid van virusdeeltjes waarmee iemand besmet raakt [h<sup>-1</sup>])

p = Inhalatievoud van een persoon [m<sup>3</sup>/h]

t = Tijd van blootstelling [h]

Q = Hoeveelheid geventileerde lucht [m<sup>3</sup>/h] bij mengventilatie

λ = Afname door inactiveren van levensvatbaar virus (bevochtigen of UV-C) [h<sup>-1</sup>]

V = Volume van de ruimte [m<sup>3</sup>]

Q<sub>r</sub> = Recirculatie hoeveelheid door luchtreiniger [m<sup>3</sup>/h]

η<sub>r</sub> = Rendement van de luchtreiniging

In deze berekening is de kans van besmetting van 1 persoon bepaald met de volgende constante waarden: 1 besmet en 1 niet-besmet persoon, in een 2-persoons kamer met vloeroppervlak van 20 m<sup>2</sup> en een inhoud van 54 m<sup>3</sup>.

Het quantum voor influenza (= de eenheid waarbij 63% van de blootgestelden ziek wordt) = 66,9/h<sup>48</sup>.

De hoeveelheid geïnhaleerde lucht per persoon = 0,6 m<sup>3</sup>/h<sup>49</sup>.

Tijd van blootstelling = 10 uur (08.00-18.00uur)

Hoeveelheid geventileerde lucht bij mengventilatie, afname door inactivering (λ), recirculatiehoeveelheid en rendement hingen in de berekening af van het gekozen regime:

Ventilatiehoeveelheid van 25 m<sup>3</sup>/h en 50 m<sup>3</sup>/h per persoon,

Bevochtigen tot 50%RV (λ = 5,1<sup>22</sup>),

UV-C ruimte-straling (λ = 10<sup>23,50</sup>),

Mobiele UV-C-installatie (η<sub>r</sub> = 0,99; Q<sub>r</sub> = 400<sup>51</sup>, λ is berekend op basis van lampvermogen en de k-waarde (gevoeligheid) die geldt voor influenza.

Bij een gebalanceerd ventilatiesysteem op basis van mengventilatie zijn 4 onderdelen van belang: (i) warmtewiel, (ii) recirculatie van de binnenlucht, (iii) bevochtiging, en (iv) bedrijfstijden. Deze parameters kunnen eveneens worden bekeken met de aangepaste Wells-Riley vergelijking<sup>46</sup>. De constante bedrijfstijd van 10 uur en het effect van ventilatievoud en bevochtiging is hiervoor al bepaald. Het gaat nu om het effect van recirculatie als bewuste instelling of lekeffect van het warmtewiel. Recirculatie is ingevoerd in stappen van 10% tot 50%. Hierdoor bleek het effect van mengventilatie, bevochtigen en bestralen met UV-C 1-5% minder effectief te zijn. Gezien de vele onzekerheden in de berekeningen is het moeilijk om een uitspraak te doen over het wel of niet toelaten van recirculatie.

### B. Waterdampbehoefte bij bevochtigen

Er bestaan grote seizoensverschillen in de hoeveelheid waterdamp die de buitenlucht in Nederland bevat (Tabel B1). Voor de bevochtiging ter vertraging van de griepdemonie zijn de maanden oktober t/m mei van belang omdat er dan gestookt wordt en de mensen binnen bij elkaar zitten.

Tabel B1: 30-jaars gemiddelden van temperatuur en vochtigheid in de buitenlucht te De Bilt<sup>52</sup>; de absolute vochtigheid is berekend uit de gemiddelde temperatuur en gemiddelde relatieve luchtvochtigheid

| Maand     | Temperatuur [°C] | Absolute vochtigheid [g/kg droge lucht] |
|-----------|------------------|---|
| Januari   | 2,8              | 4,1                                     |
| Februari  | 3,0              | 4,0                                     |
| Maart     | 5,8              | 4,6                                     |
| April     | 8,3              | 5,1                                     |
| Mei       | 12,7             | 6,7                                     |
| Juni      | 15,2             | 8,3                                     |
| Juli      | 17,4             | 9,5                                     |
| Augustus  | 17,2             | 9,5                                     |
| September | 14,2             | 8,5                                     |
| Oktober   | 10,3             | 6,7                                     |
| November  | 6,2              | 5,2                                     |
| December  | 4,0              | 4,5                                     |

De hoeveelheid water (absolute vochtigheid) in lucht met 50%RV kan als volgt worden berekend.

De verzadigingsdampdruk  $P_v$  bij luchttemperatuur  $T$  (tussen  $-20^{\circ}\text{C}$  en  $60^{\circ}\text{C}$ ) kan worden benaderd met de formule<sup>53</sup>:

$$P_v = e^{\left( \frac{65,8094}{T+273,15} - \frac{7066,27}{T+273,15} - 5,97 \cdot \ln(T+273,15) \right)} \quad [\text{Pa}]$$

De partiële waterdampdruk  $P_d$  bij temperatuur  $T$  wordt berekend met behulp van de relatieve vochtigheid  $RV$  volgens:

$$P_d = P_v \cdot \frac{RV}{100} \quad [\text{Pa}]$$

Met behulp van de partiële waterdampdruk wordt de absolute vochtigheid  $x$  berekend volgens:

$$X = \frac{M_w}{M_l} \cdot \frac{P_d}{P_b - P_d} \quad [\text{kg/kg}]$$

Hierin is:

$M_w$  = molaire massa van waterdamp (=18,016 kg/kmol)

$M_l$  = molaire massa van lucht (=28,964 kg/kmol)

$P_b$  = barometerdruk (=101.325 Pa)

Tabel B2: Benodigde gemiddelde bevochtigingcapaciteit voor het op 50%RV houden van een ruimte van 20 m<sup>2</sup> vloeroppervlak en een plafondhoogte van 2,7m bij verschillende ventilatievouden en gebaseerd op de 30-jaars gemiddelden te De Bilt van de buitencondities

| Maand    | Ventilatievoud [h <sup>-1</sup> ] | Vochttoevoer [l waterdamp/h] |
|----------|-----------------------------------|------------------------------|
| Oktober  | 1                                 | 0,08                         |
|          | 2                                 | 0,16                         |
|          | 3                                 | 0,24                         |
| November | 1                                 | 0,16                         |
|          | 2                                 | 0,33                         |
|          | 3                                 | 0,49                         |
| December | 1                                 | 0,20                         |
|          | 2                                 | 0,40                         |
|          | 3                                 | 0,60                         |
| Januari  | 1                                 | 0,22                         |
|          | 2                                 | 0,44                         |
|          | 3                                 | 0,67                         |
| Februari | 1                                 | 0,23                         |
|          | 2                                 | 0,45                         |
|          | 3                                 | 0,68                         |
| Maart    | 1                                 | 0,19                         |
|          | 2                                 | 0,38                         |
|          | 3                                 | 0,58                         |
| April    | 1                                 | 0,16                         |
|          | 2                                 | 0,33                         |
|          | 3                                 | 0,49                         |
| Mei      | 1                                 | 0,08                         |
|          | 2                                 | 0,16                         |
|          | 3                                 | 0,23                         |

Uitgaande van een kamertemperatuur van 22°C kan vervolgens berekend worden hoeveel vocht aan een ruimte toegevoerd moet kunnen worden bij verschillende ventilatievouden in de diverse maanden. Het in deze tabel genoemde maximum aan vochttoevoering is een maat voor de minimale capaciteit die het bevochtigingssysteem dient te hebben.

Bij een kamertemperatuur van 22°C en een RV van 50% is de absolute vochtigheid van de binnenlucht 8,2 g/kg. Het verschil tussen deze waarde en de absolute vochtigheid van de buitenlucht moet door middel van verdamping van water worden aangevuld. Hoe groter de luchtstroom van buiten naar binnen hoe meer water verdampt moet worden, immers een groter volume lucht moet van de absolute vochtigheid van de buitenlucht worden opgewaardeerd naar de 0,0082 kg/kg van de gewenste binnenluchtsituatie.

Uitgangspunt is dat de ruimten 24 uur / dag 7 dagen / week geventileerd worden, niet alleen om virusdeeltjes te verwijderen, maar ook om extra microbiële verontreiniging kwijt te raken die kan zijn ontstaan door de hogere vochtigheid.

Als voorbeeld is de bevochtigingcapaciteit uitgerekend voor een 2-persoons kantoor-

ruimte (Tabel B2). Het volume van de ruimte is hier 54 m<sup>3</sup>. De vochtproductie van eventueel aanwezige personen is verwaarloosd. Een ventilatievoud van 1 wil zeggen dat 1 maal per uur het volume van de ruimte aan verse lucht wordt toegevoerd. De luchtstroom van buiten naar binnen is dan 54 m<sup>3</sup>/h. Met de volgende formule wordt de hoeveelheid water berekend welke toegevoerd moet worden om de gewenste binnenconditie te bereiken:

$$Q_w = \Delta x \cdot N \cdot V \cdot \rho \quad [\text{kg/h}]$$

Waarin:

$\Delta x$  = absolute vochtigheidsverschil tussen binnen en buiten [kg/kg]

N = het ventilatievoud [h<sup>-1</sup>]

V = het volume van de kamer [m<sup>3</sup>]

$\rho$  = de dichtheid van het water [kg/m<sup>3</sup>]

### C: Ventilatie-effecten

Verhoging van het ventilatievoud bij mengventilatie heeft veel minder effect in figuur 2 dan misschien gedacht wordt. Vanwaar dat geringe effect? Enerzijds stoot de besmette persoon bij iedere ademtocht zeer veel virusdeeltjes uit die zich snel over de ruimte verdelen en anderzijds doet de mengventilatie niet anders dan die verontreinigingen verdunnen. Bovendien is slechts ongeveer 1 geïnhaled viruspartikel per minuut gedurende 1 uur nodig om de ziekte te veroorzaken (zie de grootte van het quantum Q in bijlage A).

Bevochtigen en UV-C-bestraling werken anders. Zij nemen de besmettelijkheid weg van ieder deeltje dat met het vocht c.q. de UV-C-straling in aanraking komt. Vandaar dat het effect van dit "ontsmetten" groter is.

Het verschil van 5% effectiviteit tussen ventilatievoud 1 en 2 is kleiner als de lucht ook ontsmet wordt door bevochtiging of UV-C-bestraling. Dit komt omdat de verlaging van de concentratie levensvatbare deeltjes in de kamerlucht omgekeerd evenredig is met de som van de effectiviteit van alle behandeltechnieken. Met het quotiënt uit de exponent van de Wells-Riley vergelijking (Bijlage A) is dit snel zichtbaar:

$$P = 1 - e^{-\frac{I \cdot q \cdot p \cdot t}{Q + \lambda \cdot V + Q_r \cdot \eta_r}}$$

waarbij Q een maat is voor het ventilatievoud en  $\lambda$  het ontsmettingseffect aangeeft. Hoe kleiner het quotiënt in deze exponent, hoe groter de waarde van de e-macht en hoe kleiner de kans P op besmetting.

De noemer van de breuk van de exponent in deze wiskundige simulatie van de 2-persoons kantoorruimte laat het geringer wordende effect van ventilatie goed zien. Immers Q neemt alleen de waarden 0, 1 of 2 aan, terwijl  $\lambda$  waarden van 5 of 10 heeft in figuur 2. Hierbij valt de ventilatie (Q) in het niet.

Een tweede effect van ventileren, het gedeeltelijk verwijderen van niet-virus partikels (bv menselijke huidschilfers) en reeds geïnactiveerde virusdeeltjes die de infectieuze virusdeeltjes kunnen beschaduen of zich ermee verbinden zodat ze beschermd zijn tegen UV-C-bestraling, is niet meegenomen in deze berekening.