

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00
F +31 88 866 06 30

TNO-rapport

2020 R11031

Ventilatie in gebouwen en de invloed op de verspreiding van COVID-19

Datum 21 juli 2020
Auteur(s) ir. P. Jacobs
ir. W.A. Borsboom

Exemplaarnummer
Oplage
Aantal pagina's 23 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen
Opdrachtgever Brains4Corona
Projectnaam
Projectnummer 060.44660/01.18

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Samenvatting

Door TNO is in het kader van het 'Brains4corona' programma onderzocht welke rol ventilatie in gebouwen speelt in relatie tot de verspreiding van het SARS-CoV-2 virus. Dit is onderzocht op basis van literatuur en berekeningen met de Wells-Riley vergelijking van een aantal in de literatuur beschreven cases en varianten van kantoorruimten. In deze studie ligt de focus op kantoren.

Hoewel er geen direct klinisch bewijs is dat op een afstand groter dan 1,5 m SARS-CoV-2 besmetting via de lucht plaatsvindt, komt er een toenemend aantal wetenschappelijke artikelen beschikbaar die dit besmettingsmechanisme aannemelijk maken. Dit besmettingsmechanisme via de lucht over een afstand groter dan 1,5 m wordt onder andere geïllustreerd in een aantal gepubliceerde case studies. Deze case studies beschrijven besloten, slecht geventileerde ruimten met daarin meerdere personen waarbij aantoonbaar besmettingen zijn opgetreden over een afstand die substantieel groter is dan 1,5 meter. Het Duitse Robert Koch Instituut en het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) komen tot een vergelijkbare conclusie.

De wijze en kwantiteit van de ventilatie van de ruimte lijkt bij de overdracht over een afstand van meer dan 1,5 meter een rol te spelen. De gewenste hoeveelheid ventilatie is afhankelijk van aspecten als de bronsterkte, de verblijfsduur, de ruimtegrootte, het aantal personen in de ruimte, het ademhalingsdebiet van die personen en het aanvaardbaar besmettingsniveau. Als startpunt voor onze analyse is de gangbare ontwerpwaarde voor nieuwe kantoren genomen, dit is een ventilatiehoeveelheid van 50 m³/h per persoon.

De modelberekeningen laten zien dat bij een hoeveelheid van 50 m³/h per persoon en bij een toenemende verblijfsduur in een ruimte samen met een besmettelijk persoon, de kans op besmetting toeneemt. Op basis van de berekeningen volgt ook dat kleinere ruimten ten opzichte van grotere ruimten een verhoogde kans op besmetting geven. Door het verhogen van de hoeveelheid ventilatie wordt de kans op besmetting kleiner. Echter, het verhogen van de ventilatie vraagt vaak ingrijpende en kostbare aanpassingen aan het ventilatiesysteem en bovendien blijkt uit de berekeningen dat het verhogen van de ventilatie niet tot een evenredige reductie van de kans op besmetting leidt. Het terugbrengen van het aantal mensen in de ruimte en het beperken van de verblijfsduur zijn andere mogelijke maatregelen die tot een reductie van de kans op besmetting leiden.

Vergaderruimten vormen in dit kader een bijzonder punt van aandacht. Omdat werkruimten regelmatig worden omgebouwd tot vergaderruimten, zonder dat de ventilatie op het toegenomen aantal personen wordt aangepast, worden deze ruimten vaak met veel minder dan 50 m³/uur per persoon geventileerd.

Vanuit het voorzorgprincipe is het volgens TNO aan te bevelen om maatregelen te nemen op het gebied van ventilatie tegen de verspreiding van het SARS-CoV-2 virus. Bij het bepalen van proportionele maatregelen dienen er afwegingen gemaakt te worden tussen enerzijds de kosten voor implementatie en anderzijds de baten van vermeden besmettingen.

Ook is het naar onze mening verstandig om nu al na te denken over welke gebouwen, ruimten en ventilatiesystemen een risico vormen en deze tijdig aan te passen of de verblijfstijd en/of de bezettingsgraad te reduceren.

In lijn met de aanbeveling van het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), wordt geadviseerd om onder de aanname van een gedefinieerde geaccepteerde maximale kans op besmetting een leidraad op te stellen met proportionele maatregelen voor de benodigde hoeveelheid ventilatie met verse buitenlucht in een ruimte en hierbij ook het aantal mensen, bronsterkte, ademhalingsactiviteit, ruimtegrootte en de verblijfsduur in die ruimte te betrekken.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Vraagstelling	6
3	Transmissie en besmetting binnen 1,5 meter	7
4	Transmissie en mogelijkheid van besmetting op grotere afstand dan 1,5 m ...	8
4.1	Mogelijke mechanismen voor besmetting over afstanden groter dan 1,5 meter	8
4.2	Invloedsfactoren bij mechanismen overdracht groter dan 1,5 meter	9
5	Afwegingen ten behoeve van proportionele maatregelen	13
6	Conclusies en aanbevelingen	14
6.1	Conclusies	14
6.2	Aanbevelingen onderzoek	15
7	Literatuur	17
8	Ondertekening	19
	Bijlage(n)	
	A Case Chinees restaurant	
	B Workshop case	
	C Verblijfsduur besmettingsrisico bij kantoorwerkdag	

1 Inleiding

Gedurende de periode dat de 'lock-down' van kracht was, is het aantal ziekenhuisopnames en overleden COVID-19 patiënten sterk teruggelopen. Gezien deze afnames worden maatregelen stapsgewijs door het kabinet versoepeld. Het is van belang dat het aantal besmettingen met COVID-19 niet weer toeneemt. De huidige aanpak voor het zoveel mogelijk voorkomen van infectie is gericht op het houden van 1,5 m afstand. In de literatuur zijn echter aanwijzingen dat verspreiding van aerosolen over een afstand groter dan 1,5 meter een rol speelt in de overdracht van het virus. Aerosolen zijn deeltjes die door de lucht worden verspreid, bijvoorbeeld zeer kleine (vocht)deeltjes die uitgedemd worden en potentieel virus bevatten. Ventilatie en luchtstroming hebben invloed op de verspreiding, verdunning en depositie van deze potentieel virus bevattende aerosolen.

Door TNO is in het kader van het 'Brains4corona' programma onderzocht welke rol ventilatie in gebouwen speelt in relatie tot de verspreiding van het SARS-CoV-2 virus. Dit is onderzocht op basis van literatuur en de analyse en berekening van een aantal cases en varianten van kantoorruimten met de Wells-Riley vergelijking. De literatuur is onderzocht door publicaties van een aantal gezondheidsorganisaties waaronder RIVM, WHO, Robert Koch Instituut en ECDC te bestuderen met betrekking tot overdrachtsmechanismen van het SARS-CoV-2 virus, waaronder de rol van aerosolen. Via de zogenaamde 'sneeuwbal' methode is daarna naar relevante wetenschappelijke publicaties gezocht. Hierbij is literatuur bestudeerd over transmissie en besmetting binnen en buiten 1,5 m. Zowel preprints (welke nog niet peer reviewed zijn) als peer reviewed publicaties zijn beschouwd. Vervolgens is op basis van een kwalitatieve analyse onderzocht welke aspecten beschouwd dienen te worden om te komen tot praktische maatregelen.

2 Vraagstelling

In de huidige aanpak is 1,5 meter als minimale onderlinge afstand een belangrijke maatregel om de kans op besmetting met het SARS-CoV-2 virus zo veel mogelijk te voorkomen. De vraagstelling voor dit onderzoek is:

1. Kan ventilatie in aanvulling op deze maatregel bijdragen aan verminderen van de kans op besmetting met het virus?
2. Welke aspecten dienen te worden beschouwd om te komen tot praktische maatregelen om het risico op besmetting te reduceren?

3 Transmissie en besmetting binnen 1,5 meter

De huidige Nederlandse aanpak gaat uit van de mogelijkheid tot besmetting binnen 1,5 m afstand van een met het SARS-CoV-2 geïnfecteerd persoon, hierna aangeduid als bron. Als mensen uitademen komt een “wolk” lucht vrij met aerosolen. Deze uitgeademde lucht wordt hierna pluim genoemd. Bij ademen, praten, zingen, schreeuwen, hoesten en niezen bevat deze pluim grotere druppels ($> 5\text{-}10\ \mu\text{m}$) en kleinere druppels ($\leq 5\ \mu\text{m}$) waarbij de grootteverdeling van druppels en hoeveelheid druppels wordt bepaald door de activiteit.

De huidige aanpak gaat ervan uit dat grotere druppels onder invloed van de zwaartekracht over het algemeen binnen 1,5 m meter neerslaan. Deze afstand is o.a. afhankelijk van de impuls (snelheid) waarmee ze uitgestoten worden.

Kleine druppels ($\leq 5\ \mu\text{m}$) worden al snel in omvang gereduceerd tot één derde van de initiële afmeting (Chen et al., 2020) en kunnen een afstand afleggen die de 1,5 m fors overschrijdt. In welke mate deze kleine druppels ofwel druppelkernen infectieus virusmateriaal bevat is niet eenduidig bekend. Wel is in deze kleine deeltjes, die airborne zijn, erfelijk materiaal (RNA) van SARS-CoV-2 aangetroffen (Liu et al. 2020).

In een ziekenhuis setting (Santarpia et al., 2020) is in diverse luchtmonsters SARS-CoV-2 RNA aangetroffen, vervolgens is getest of het virus infectieus was. Dit kon niet eenduidig worden aangetoond, waarbij moet worden opgemerkt dat het lastig is om bij monsters met een lage concentratie virus aan te tonen of dat dit virus ook infectieus is. De huidige richtlijnen voor preventie van SARS-CoV-2 verspreiding zijn gebaseerd op de aanname dat besmetting met SARS-CoV-2 op korte afstand (binnen een afstand van 1 m (WHO-b, 2020) of 1,5 m (RIVM, 2020)) via de lucht plaatsvindt. Deze afstand voorkomt blootstelling aan grotere druppels en aan een hoge concentratie van kleine druppels in de pluim (Chen et al., 2020). In de literatuur worden zowel grote als kleine druppels genoemd als mogelijke route van besmetting. Zo geven (Liu et al., 2017) en (Chen et al., 2020) aan dat een deel van de besmetting ook kan plaatsvinden door middel van de kleine druppels.

Besmetting via de combinatie van kleine druppels en grote druppels in de pluim op korte afstand wordt de ‘short-range airborne route’ genoemd.

4 Transmissie en mogelijkheid van besmetting op grotere afstand dan 1,5 m

Het hanteren van 1,5 meter afstand voorkomt veelal blootstelling aan grote druppels en hoge concentraties van kleinere druppels. Bij de beschouwing van het besmettingsrisico is het de vraag in welke situatie een blootstellingsconcentratie aan infectieuze virusdeeltjes op meer dan 1,5 m afstand vergelijkbaar met de blootstelling binnen 1,5 m afstand kan optreden.

Op basis van de analyse van een aantal cases studies beschreven in bijlage A en B zijn twee mogelijke mechanismen te identificeren die verspreiding van virusdeeltjes op grotere afstand dan 1,5 meter bepalen:

1. Verlengde pluim (extended short-range aerosol transmission);
2. Hoge achtergrondconcentratie van aerosol.

4.1 Mogelijke mechanismen voor besmetting over afstanden groter dan 1,5 meter

1. Verlengde pluim (extended short-range aerosol transmission)

De reikwijdte (lengte) van de pluim met hoge concentratie is afhankelijk van de snelheid van het dominante stromingspatroon in de ruimte en de mate van ventilatie. De verdunning in de pluim hangt af van de mate waarin door turbulentie uitwisseling plaatsvindt met de (lokale) achtergrondconcentratie (inductie). Als er voldoende inductie door deze pluim plaatsvindt, wordt de pluim snel opgemengd en zal de concentratie in de pluim snel tot het niveau van de achtergrondconcentratie worden gereduceerd. Indien er sprake is van een stabiel stromingspatroon, met weinig verdunning met de omringende lucht in de ruimte, vanwege onvoldoende turbulente opmenging door ventilatie, dan kan de pluim met een hoge concentratie over grotere afstand in stand blijven. Er is een gedocumenteerde case studie (Li, Qian, et al., 2020) waar een vergrote reikwijdte van de pluim door een stabiel stromingspatroon met weinig verdunning, een plausibele en verdedigbare verklaring vormt voor een hoge besmettingsgraad tot een afstand van 4,6 m, zonder besmetting daarbuiten. Zie voor een uitgebreide beschrijving en analyse van deze case bijlage A.

2. Hoge achtergrond concentratie

Een tweede mogelijk mechanisme voor blootstelling buiten de 1,5 meter is het ontstaan van een hoge concentratie in een ruimte door een hoge bronsterkte en weinig ventilatie, in combinatie met een lange verblijfstijd van een bron. Onder laboratorium omstandigheden (Doremalen et al., 2020)(Fears et al., 2020) is aangetoond dat SARS-CoV-2 virusdeeltjes meerdere uren infectieus kunnen blijven in een kunstmatig opgewekt aerosol in de lucht. Het is voor normale praktijkomstandigheden niet bekend in hoeverre kleine druppels infectieus virus bevatten. Het hier beschreven mechanisme veronderstelt dat in combinatie met onvoldoende ventilatie virusdeeltjes voldoende lang infectieus kunnen blijven. Dat kan optreden in slecht geventileerde ruimten. In de wetenschappelijke literatuur is weinig informatie te vinden over de luchtkwaliteit in vergader ruimten. Echter, uit

ervaringen door TNO opgedaan tijdens praktijkmetingen, blijkt dat in Nederlandse kantoren regelmatig de indeling wordt veranderd en een werkruimte wordt omgebouwd tot vergaderruimte zonder dat de ventilatie daarop wordt aangepast. Dit kan ertoe leiden dat de ventilatie van een vergaderruimte niet, conform het vaak gebruikte ontwerpuitgangspunt van 50 m³ /h per persoon, op het aantal aanwezige personen is afgestemd.

Een indicatie van een mogelijke rol van een hoge achtergrondconcentratie door combinatie van weinig ventilatie en lange verblijftijd van een bron in een vergaderruimte is een COVID-19 uitbraak in China (Shen et al., 2020). Zie voor een uitgebreide beschrijving en analyse van deze case bijlage B. Het in de bijlage berekende percentage van 35% besmettingen op basis van de Wells-Riley vergelijking is lager dan het waargenomen percentage geïnfecteerden van 50%. De afwijking kan mogelijk worden verklaard door een grote bandbreedte wat betreft de mate van besmettelijkheid.

4.2 Invloedsfactoren bij mechanismen overdracht groter dan 1,5 meter

Om een indicatie van de kans op besmetting te verkrijgen, zijn berekeningen uitgevoerd volgens het massabalansmodel zoals beschreven door (Buonanno et al., 2020). Dit model beschrijft de blootstelling in de tijd als functie van ventilatie, depositie, inactivatie, ruimtevolumen en bronsterkte. Opgemerkt wordt dat het model alleen van toepassing is op het tweede mechanisme “verhoogde achtergrondconcentratie” omdat het uitgaat van volledige (ideale) menging van ventilatielucht. Onderstaande vergelijking is een vereenvoudiging van dit model uitgaande van een start concentratie van nul.

$$n(t) = \frac{ER_q I}{IVRR \cdot V} (1 - e^{-IVRR \cdot t})$$

Waarin:

n(t)	concentratie quanta in de tijd	[quanta/m ³]
t	tijd	[uur]
ER _q	quanta bronsterkte	[quanta/uur]
I	aantal besmettelijke personen	
V	ruimtevolumen	[m ³]
IVVR	infectieus virus verwijderingssnelheid	[1/uur]

De infectieus virus verwijderingssnelheid IVVR is de som van drie bijdragen: het ventilatievoud van de ruimte, de deeltjesdepositiesnelheid k (onder andere door zwaartekracht sedimentatie) op oppervlakken en de virale inactivatie λ. Het ventilatievoud van de ruimte is gedefinieerd als het ventilatiedebiet gedeeld door het ruimtevolumen V. De depositiesnelheid k is geschat als het quotiënt van de uitzakkingssnelheid van circa 0,36 m/uur en de emissie hoogte (1,5 m), hierdoor is de schatting voor k 0,24 uur⁻¹. De inactivatie van het virus is afgeleid van de SARS-CoV-2 halfwaardetijd bepaald door (Doremalen et al., 2020) en bedraagt 0,63 uur⁻¹.

De besmettingskans per persoon is afgeleid door integratie van de Wells-Riley vergelijking wat resulteert in de volgende functie (Knibbs et al., 2012):

$$\text{besmettingskans per persoon} = 1 - \exp\left(\frac{-p \cdot ER_q \cdot I}{V} \cdot \left(\frac{IVRR \cdot t + e^{-IVRR \cdot t} - 1}{IVRR^2}\right)\right)$$

Waarin p het ademhalingsdebiet is van de blootgestelde persoon in m^3/uur .

Het model gaat uit van ventilatie met ideale menging. Als er geen grote obstakels, zoals bijvoorbeeld separatiewanden, aanwezig zijn, kan in kantoren worden aangenomen dat voldoende menging van lucht optreedt bij gangbare ventilatiehoeveelheden waardoor er bij benadering sprake is van ideale menging.

Door (Buonanno et al., 2020) zijn twee in de literatuur beschreven superspreading events, in een restaurant in Guangzhou en bij repetitie van een koor in Skagit County, Washington, met het model nagerekend en bleek het mogelijk om de vastgestelde besmettingspercentages met airborne transmissie te verklaren op basis van modelberekeningen, binnen de vooraf uitgerekende spreiding van de bronsterkte.

Door (Buonanno et al., 2020) is voor de bronsterkte een verdeling uitgerekend. Door TNO is met dit model een kantoorcase uitgerekend (zie bijlage C). Hierbij is uitgegaan van een bronsterkte vergelijkbaar met de door Buonanno beschreven 50 percentiel waarde van 4,9 quanta per uur voor lichte activiteit/praten. Dit is een gemiddelde waarde. Echter, uitgaande van de 5 en de 95 percentiel waarden, respectievelijk 0,34 en 71 quanta per uur, zou dit voor individuele gevallen fors kunnen afwijken en dus tot een lager of hoger besmettingspercentage leiden. Een oorzaak van deze spreiding in bronsterkte is de spreiding in RNA kopieën per milliliter slijm zoals door RIVM gerapporteerd (Schijven et al., 2020).

Aan de hand van bovenstaande modelmatige benadering zijn zes factoren relevant voor besmettingsrisico in een ruimte. De volgende vier factoren worden verder uitgediept in relatie tot ventilatie en ruimtegebruik:

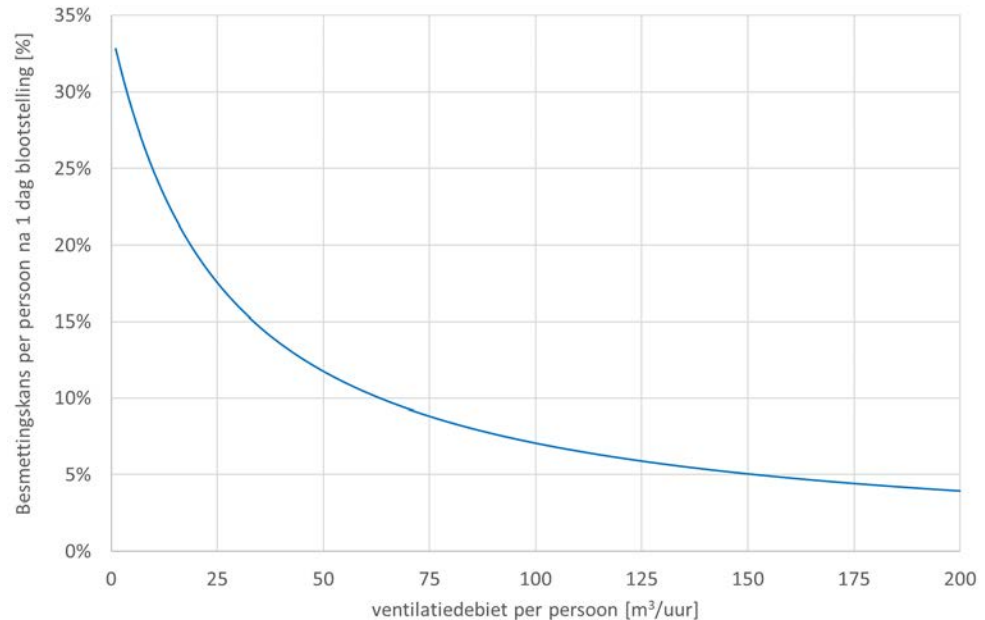
- Ventilatie;
- Ruimtegrootte;
- Bronsterkte en emissieduur;
- Verblijfsduur in een ruimte met een besmet persoon.

De overige 2 factoren die bijdragen aan het besmettingsrisico zijn het ademhalingsdebiet en het aantal personen dat geïnfecteerd kan worden. Het ademhalingsdebiet bepaalt het volume lucht en daarmee de hoeveelheid infectieus virus wat wordt ingeademd. De andere factor is het aantal personen; uitgaande van een vaste kans per persoon om besmet te raken, zal bij een toenemend aantal personen de kans dat één of meerdere personen besmet worden groter worden. De besmettingskans per persoon op zichzelf wordt niet beïnvloed door het aantal niet-besmette personen in een ruimte.

Effect van ventilatie

Figuur 1 geeft als voorbeeld, uitgaande van 1 besmettelijke persoon en een blootstelling gedurende een werkdag van 8 uur, het effect weer van het ventilatiedebiet per persoon op de kans per persoon om besmet te raken in een 4-persoons kantoorruimte. Door verhoging van het ventilatiedebiet per persoon neemt de kans op besmetting af. Uit de grafiek blijkt verder dat met toenemende ventilatie

dit effect steeds kleiner wordt en dat verhoging van de ventilatie niet leidt tot een evenredige reductie van de kans op besmetting. De kans op besmetting via de lucht door een verhoogde concentratie in een ruimte zal op basis van dit model dus nooit nul worden.



Figuur 1 besmettingskans per persoon uitgaande van 1 besmettelijke persoon en een blootstelling gedurende een werkdag in een 4 persoons kantoorruimte bij verschillende ventilatie-debieten per persoon. Uitgegaan is van een bronsterkte van 7 quanta per uur en een ruimtevolumen van 84 m³.

Ruimte-grootte

Naast ventilatie speelt ook de ruimte-grootte een rol bij de kans op besmetting op basis van de modelberekening. Ten eerste wordt bij gelijk ventilatie-debiet in een kleine ruimte met een besmet persoon eerder de (hogere) evenwichtsconcentratie met infectieus virus bereikt. Daarnaast is bij gelijk ventilatie-debiet de verblijftijd van de lucht in een kleinere ruimte korter. Door de kortere verblijftijd van de lucht hebben de deeltjes minder tijd om uit te zakken (depositie) en is de kans op virus inactivatie kleiner, waardoor de evenwichtsconcentratie infectieuze airborne virusdeeltjes hoger is. Hierdoor is er in kleine ruimten bij gelijke ventilatieomstandigheden en bronsterkte een hogere kans op besmetting dan in grote ruimten.

Dit komt overeen met een analyse van (Qian et al., 2020) waarin een drietal uitbraken in winkelcentra, met 10 tot 20 besmettingen tot gevolg, zijn beschreven. Het gaat hierbij om relatief grote ruimten met tot honderdduizend bezoekers en een tiental geïnfecteerde medewerkers. Het besmettingsrisico voor klanten in deze relatief grote ruimten was laag. Naast ruimte-grootte is een andere mogelijk verklaring dat in dit drietal uitbraken met meerdere geïnfecteerde medewerkers de bronsterkte laag was.

Bronsterkte en emissieduur

De bronsterkte en emissieduur zijn van invloed op de achtergrondconcentratie en daarmee op de besmettingskans. Afhankelijk van de activiteit (hard praten, verhoogde ademhaling tijdens sporten en met name door zingen (Morawska et al., 2009), (Asadi et al., 2019) (Chen et al., 2020) (Buonanno et al., 2020) kan de bronsterkte van aerosolen tot 100 maal toenemen ten opzichte van de bronsterkte bij rustige ademhaling. Gevallen van besmettingen bij zangkoren waarbij aerosolen een rol lijken te spelen zijn bekend, onder andere een koor in Skagit County, Washington (County et al., 2020), maar zijn echter wat betreft de ventilatie condities nog niet goed onderzocht of geanalyseerd. De verhoogde bronsterkte met mogelijk wel tot een factor 100 door zingen is moeilijk te compenseren door het vergroten van de ventilatie en de ruimtegrootte.

Verblijfsduur

Naast ruimtegrootte en de concentratie waaraan iemand wordt blootgesteld is ook de verblijfsduur in een ruimte met een besmet persoon van belang. Om de kans op besmetting te beperken kan de verblijfsduur in een ruimte worden beperkt (Buonanno et al., 2020).

Bij langdurige blootstelling, bijvoorbeeld wanneer collega's zich gedurende een werkdag bij elkaar in dezelfde kantoorruimte bevinden met één besmettelijke collega, neemt de blootstelling aan airborne virusdeeltjes zelfs bij de gangbare ventilatie van 50 m³/uur per persoon sterk toe, zie de figuur in bijlage C. Bij ventilatie afgestemd op vier personen in een 4-persoons kantoorruimte (200 m³/h) bedraagt de kans op besmetting per persoon na een werkdag op basis van de modelaannamen 12%. Hierbij is aangenomen dat besmetting alleen via het mechanisme van verhoogde achtergrondconcentratie plaatsvindt en dus niet via grote druppels (binnen 1,5 meter).

Ondanks de veel betere ventilatie in de 4-persoons kantoorruimte, is de berekende besmettingskans vergelijkbaar met de besmettingskans berekend voor de door Shen beschreven workshop (30 personen in 2 grote workshopruimten), bijlage B. Dit wordt veroorzaakt doordat in de kleine 4-persoons kantoorruimte de verdunning door depositie en inactivatie veel lager is dan in de door Shen beschreven grotere workshop ruimte. Bij langdurige blootstelling, bijvoorbeeld gedurende een werkweek, kan een substantieel percentage van de personen die in dezelfde ruimte werkzaam zijn besmet raken, zoals beschreven voor een call center (Park et al., 2020).

Het terugbrengen van het aantal mensen dat geïnfecteerd kan worden in de ruimte, uitgaande van een gelijkblijvende kans op besmetting per persoon, en het beperken van de verblijfsduur zijn maatregelen die tot een reductie van de kans op (meervoudige) besmetting leiden.

5 Afwegingen ten behoeve van proportionele maatregelen

De overdracht via aerosolen op een afstand van meer dan 1,5 meter is zoals aangegeven niet bewezen, maar op basis van de kennis over mechanismen en in dit rapport beschreven cases is het aannemelijk dat deze wel een belangrijke rol spelen bij de verspreiding van virusdeeltjes op grotere afstand dan 1,5 meter. In deze paragraaf wordt stilgestaan bij de vraag welke maatregelen genomen kunnen worden (en haalbaar zijn) om de overdracht van aerosolen te reduceren. Twee soorten vergissingen die gemaakt kunnen worden bij het nemen van maatregelen zijn het ten onrechte niet nemen van maatregelen en het ten onrechte wel nemen van maatregelen.

Om een keuze te maken ten aanzien van een maatregel is een schatting nodig van de mate waarin deze maatregel bijdraagt aan het beperken van de kans op besmetting en van de 'kosten' en 'baten' van de maatregel. Bij baten gaat het voornamelijk over de daarmee behaalde gezondheidswinst (o.a. voorkomen uitval, behandeling en gevolgschade) en het voorkomen van verlies aan economische activiteit (bijvoorbeeld bedrijfssluiting of lockdown door een meervoudige besmetting), bij kosten over uiteenlopende zaken als investerings- en uitvoeringskosten en bijdragen aan ontstaan van of vergroten van ander type problemen (onder andere economische schade, verhoogd energiegebruik en CO₂-emissie, ongemak, maatschappelijke acceptatie). Als de keuze om een maatregel al dan niet te nemen geleid wordt door een afweging van deze factoren en dan positief uitpakt, noemen we een maatregel proportioneel. Idealiter wordt een dergelijke afweging kwantitatief gemaakt, met varianten die de spreiding laten zien bij verschillende redelijke aannames. Vanuit het voorzorgprincipe is het volgens TNO aan te bevelen om proportionele maatregelen te nemen op het gebied van ventilatie om de kans op besmetting met het SARS-CoV-2 virus te reduceren. Aspecten die bij een dergelijke afweging meegenomen dienen te worden zijn o.a. de hoeveelheid ventilatie met verse buitenlucht, bronsterkte, ruimtegrootte, het aantal mensen in de ruimte, ademhalingsactiviteit, de verblijfsduur en het aanvaardbaar besmettingsrisico.

Binnen de scope van dit onderzoek was het alleen mogelijk om een kwalitatieve leidraad te beschrijven voor praktische maatregelen. Praktische maatregelen zijn maatregelen die met beperkte inspanningen kunnen worden genomen. In lijn met de aanbeveling van de European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (ECDC, 2020), wordt geadviseerd een kwantitatieve analyse uit te voeren om onder de aanname van een gedefinieerde kans op besmetting een richtlijn op te stellen met bovengenoemde aspecten.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

De huidige aanpak voor het zoveel mogelijk voorkomen van infectie is gericht op het houden van 1,5 m afstand. Er zijn echter aanwijzingen dat verspreiding van aerosolen over een afstand groter dan 1,5 meter een rol speelt in de overdracht van het virus. In dit rapport zijn twee mechanismen, verlengde pluim en hoge achtergrondconcentratie, beschreven die verspreiding van virusdeeltjes op grotere afstand dan 1,5 meter bepalen. Daarnaast gaan we in op de invloedsfactoren op deze mechanismen.

Een verlengde pluim (extended short-range aerosol transmission) kan optreden bij onvoldoende opmenging van de pluim en een stabiel stromingspatroon. Preventie vereist het borgen van voldoende verdunningsventilatie. Bij kantoren zal een toevoer van 50 m³/h verse buitenlucht per persoon zorgdragen dat de pluim zich bij ideale menging over het algemeen snel opmengt als gevolg van turbulentie. De hoeveelheid van 50 m³/h is reeds jaren gangbaar bij het ontwerp van kantoren. In de praktijk zien we echter dat dit met name bij vergaderruimten niet altijd het geval is. Ook in bestaande onderwijs- en horecagebouwen zien we dat voldoende ventilatie niet altijd wordt behaald (Jacobs & Opperhuizen, 2011). In deze gebouwen en ruimten zou dus het mechanisme van verlengde pluim kunnen optreden.

Evenals bij het mechanisme van de verlengde pluim zal voldoende ventilatie bijdragen aan het verminderen van een mogelijk besmettingsrisico door een hoge achtergrondconcentratie. De aanbeveling van de WHO is om in ruimten met verdachte of bevestigde COVID-19 patiënten, adequate ventilatie te realiseren, minimaal 216 m³/h per patiënt (World Health Organization (WHO-a), 2020). Deze ventilatiehoeveelheid is vele malen hoger dan de in kantoren veelal gehanteerde hoeveelheid van 50 m³/h per persoon. Echter, in een kantoor zal de kans op de aanwezigheid van een besmet persoon vele malen lager zijn. Hoe groot de ventilatiehoeveelheid in kantoren precies moet zijn, zal afhangen van de bronsterkte, de verblijfsduur, de ruimtegrootte, het aantal personen in de ruimte, het ademhalingsdebiet en het aanvaardbaar besmettingsniveau.

In de Verenigde Staten besteedt de CDC (CDC, 2020) aandacht aan het verbeteren van ventilatie in kantoren voor zover dit mogelijk is. In Japan wordt ook aandacht besteed aan het vermijden van afgesloten ruimten met slechte ventilatie (3C, 2020). In Duitsland onderstreept het Robert Koch Instituut, ook het risico op besmetting in afgesloten, slecht geventileerde ruimten en vraagt daarbij extra aandacht voor verhoogde ademhalingsactiviteit (Robert Koch Instituut, 2020).

De gewenste hoeveelheid ventilatie, om een hoge achtergrondconcentratie te voorkomen, is afhankelijk van aspecten als de bronsterkte, de verblijfsduur, de ruimtegrootte, het aantal personen in de ruimte, het ademhalingsdebiet van die personen en het aanvaardbaar besmettingsniveau. Als startpunt voor onze analyse is de gangbare ontwerpwaarde voor kantoren genomen. Voor meerpersoons kantoorruimten is dit een ventilatiehoeveelheid van 50 m³/h per persoon. De modelberekeningen laten zien dat bij een hoeveelheid van 50 m³/h per persoon en bij een toenemende verblijfsduur in een ruimte samen met een besmettelijk

persoon, de kans op besmetting toeneemt. Op basis van de berekeningen volgt ook dat kleinere ruimten ten opzichte van grotere ruimten een verhoogde kans op besmetting geven. Door het verhogen van de hoeveelheid ventilatie wordt de kans op besmetting kleiner. Echter, het verhogen van de ventilatie vraagt vaak ingrijpende en kostbare aanpassingen aan het ventilatiesysteem en bovendien blijkt uit de berekeningen dat het verhogen van de ventilatie niet tot een evenredige reductie van de kans op besmetting leidt. Het terugbrengen van het aantal mensen in de ruimte en het beperken van de verblijfsduur zijn andere mogelijke maatregelen die tot een reductie van de kans op besmetting leiden.

Bij toepassing van recirculerende aircosystemen op ruimteniveau dient gezorgd te worden voor voldoende ventilatie met verse buitenlucht (Li, Qian, et al., 2020). Door koeling kan onterecht de indruk ontstaan dat voldoende wordt geventileerd. Hoewel het bij warme buitencondities goed mogelijk is om via natuurlijke ventilatie met open ramen voldoende te ventileren, zal dit in het najaar en zeker in de winter moeilijker zijn in verband met tocht en ook vanuit het oogpunt van energiegebruik voor verwarming. Dit zal onder andere aan de orde zijn in klaslokalen. Het is daarom verstandig om nu al na te denken over welke aanpassingen noodzakelijk zijn.

Speciale aandacht is nodig voor kleine ruimten met meerdere personen zoals vergaderzalen, omdat in deze ruimten in het geval van een besmet persoon eerder de (hogere) evenwichtsconcentratie van infectieus virus wordt bereikt. Ook is in een kleine ruimte de kans op depositie en inactivatie van airborne virusdeeltjes kleiner, waardoor de evenwichtsconcentratie infectieuze airborne virusdeeltjes hoger is. Vergaderruimten vormen in dit kader een bijzonder punt van aandacht. Omdat werkruimten regelmatig worden omgebouwd tot vergaderruimten, zonder dat de ventilatie op het toegenomen aantal personen wordt aangepast, worden deze ruimten vaak met veel minder dan 50 m³/uur per persoon geventileerd.

Door activiteiten zoals zingen, luid praten of hoge inspanning wat hijgen tot gevolg heeft in omsloten ruimten met meerdere personen, kan de bronsterkte mogelijk tot een factor 100 oplopen. Een dergelijke situatie kan in veel gevallen onvoldoende met mechanische ventilatie worden verdund.

6.2 Aanbevelingen onderzoek

In het geval van meerdere besmette personen (superspreading event) in een gebouw in Nederland is het van belang om ook een goed beeld te krijgen over de ventilatie, zodat meer inzicht kan worden verkregen in de rol van ventilatie bij overdracht van COVID-19. Wij bevelen aan na het optreden van dergelijke besmettingen ook onderzoek naar ventilatie uit te voeren door een partij met de benodigde expertise mogelijk geïnitieerd door de GGD.

Ook is het naar onze mening verstandig om nu al na te denken over welke gebouwen, ruimten en ventilatiesystemen een risico vormen en deze tijdig aan te passen of de verblijfstijd en/of de bezettingsgraad te reduceren.

In lijn met de aanbeveling van het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (ECDC, 2020), wordt geadviseerd om onder de aanname van een gedefinieerde geaccepteerde maximale kans op besmetting een leidraad op te stellen met proportionele maatregelen voor de benodigde hoeveelheid ventilatie

met verse buitenlucht in een ruimte en hierbij de bronsterkte, het aantal mensen, ademhalingsactiviteit, de ruimtegrootte en de verblijfsduur in die ruimte te betrekken.

7 Literatuur

- 3C. (2020). *3C richtlijn*. <https://corona.go.jp/en/>
- Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M., & Ristenpart, W. D. (2019). Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
- Buonanno, G., Morawska, L., & Stabile, L. (2020). QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE RISK OF AIRBORNE TRANSMISSION OF SARS-COV-2 infection: prospective and retrospective applications. *MedRxiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.06.01.20118984>
- CDC. (2020). <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/office-buildings.html>
- Chen, W., Zhang, N., Wei, J., Yen, H. L., & Li, Y. (2020). Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. *Building and Environment*, *176*(March), 106859. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106859>
- County, S., Hamner, L., Dubbel, P., Capron, I., Ross, A., Jordan, A., Lee, J., Lynn, J., & Ball, A. (2020). High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice —. *Journal of Infection*, *69*(19), 606–610.
- Doremalen, N. van, Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., & Williamson, B. N. (2020). correspondence Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *The New Engl and Journal of Medicine*, 1–3. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- ECDC. (2020). *Heating , ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19* (Issue June). <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Ventilation-in-the-context-of-COVID-19.pdf>
- Fears, A. C., Klimstra, W. B., Duprex, P., Hartman, A., Weaver, S. C., Plante, K. S., Mirchandani, D., Plante, J., Aguilar, P. V., Fernandez, D., Nalca, A., Totura, A., Dyer, D., Kearney, B., Lackemeyer, M., Bohannon, J. K., Johnson, R., Garry, R. F., Reed, D. S., & Roy, C. J. (2020). Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. *MedRxiv*, *2*, 2020.04.13.20063784. <https://doi.org/10.1101/2020.04.13.20063784>
- Jacobs, P., & Opperhuizen, A. (2011). Simulation supported field study of environmental tobacco smoke leakage from smoking rooms in 19 Dutch pubs. *12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2011*, *3*, 1954–1960.
- Knibbs, L. D., Morawska, L., & Bell, S. C. (2012). The risk of airborne influenza transmission in passenger cars. *Epidemiology and Infection*, *140*(3), 474–478. <https://doi.org/10.1017/S0950268811000835>
- Li, Y., Qian, H., Hang, J., Chen, X., Hong, L., Liang, P., Li, J., Xiao, S., Wei, J., Liu, L., & Kang, M. (2020). Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *MedRxiv*, 2020.04.16.20067728. <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>
- Liu, L., Li, Y., Nielsen, P. V., Wei, J., & Jensen, R. L. (2017). Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. *Indoor Air*, *27*(2), 452–462. <https://doi.org/10.1111/ina.12314>
- Lu, J., Gu, J., Li, K., Xu, C., Su, W., Lai, Z., Zhou, D., Yu, C., Xu, B., Yang, Z. (2020). COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, *26*(7), early release April 02-2020. <https://dx.doi.org/10.3201/eid2607.200764>.
- Morawska, L., Johnson, G. R., Ristovski, Z. D., Hargreaves, M., Mengersen, K., Corbett, S., Chao, C. Y. H., Li, Y., & Katoshevski, D. (2009). Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*, *40*(3), 256–269.

- <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.11.002>
- Park, S. Y., Kim, Y. M., Yi, S., Lee, S., Na, B. J., Kim, C. B., Kim, J. Il, Kim, H. S., Kim, Y. B., Park, Y., Huh, I. S., Kim, H. K., Yoon, H. J., Jang, H., Kim, K., Chang, Y., Kim, I., Lee, H., Gwack, J., ... Jeong, E. K. (2020). Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea. *Emerging Infectious Diseases*, 26(8). <https://doi.org/10.3201/eid2608.201274>
- Qian, H., Miao, T., Liu, L., Zheng, X., Luo, D., & Li, Y. (2020). Indoor transmission of SARS-CoV-2. *MedRxiv*, 17202719, 2020.04.04.20053058. <https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053058>
- RIVM. (2020). *Aerogene verspreiding SARS-CoV-2 en ventilatiesystemen (onderbouwing)*. <https://lci.rivm.nl/aerogene-verspreiding-sars-cov-2-en-ventilatiesystemen-onderbouwing>
- Robert Koch Institut. (2020). https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1
- Santarpia, J. L., Rivera, D. N., Herrera, V., Morwitzer, M. J., Creager, H., Santarpia, G. W., Crown, K. K., Brett-Major, D., Schnaubelt, E., Broadhurst, M. J., Lawler, J. V, Reid, S. P., & Lowe, J. J. (2020). Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center. *MedRxiv*, 2020.03.23.20039446. <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20039446> (update 3 juni 2020)
- Schijven, J., Vermeulen, L. C., Swart, A., Meijer, A., Duizer, E., Maria, A., & Husman, D. R. (2020). Exposure assessment for airborne transmission of SARS-CoV-2 via breathing, speaking, coughing and sneezing. *MedRxiv*, 2020.07.02.20144832. <https://doi.org/10.1101/2020.07.02.20144832>
- Shen, Y., Li, C., Dong, H., Wang, Z., Martinez, L., Sun, Z., Handel, A., Chen, Z., Chen, E., Ebell, M., Wang, F., Yi, B., Wang, H., Wang, X., Wang, A., Chen, B., Qi, Y., Liang, L., Li, Y., ... Xu, G. (2020). Airborne Transmission of COVID-19: Epidemiologic Evidence from Two Outbreak Investigations. *SSRN Electronic Journal*, April. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3567505>
- Watanabe, T., Bartrand, T. A., Weir, M. H., Omura, T., & Haas, C. N. (2010). Development of a dose-response model for SARS coronavirus. *Risk Analysis*, 30(7), 1129–1138. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01427.x>
- World Health Organization (WHO-a). (2020). *Infection prevention and control during health care when novel coronavirus (nCoV) infection is suspected*. 38(1), 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2016.11.007>
- World Health Organisation (WHO-b). (2020). Modes of transmission of virus causing COVID-19 : implications for IPC precaution recommendations. *Scientific Brief 29 March 2020, March*, 1–3. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316.5>

8 Ondertekening

Delft, 21 juli 2020



ir. A.C. Westerlaken

Afdelingshoofd

TNO



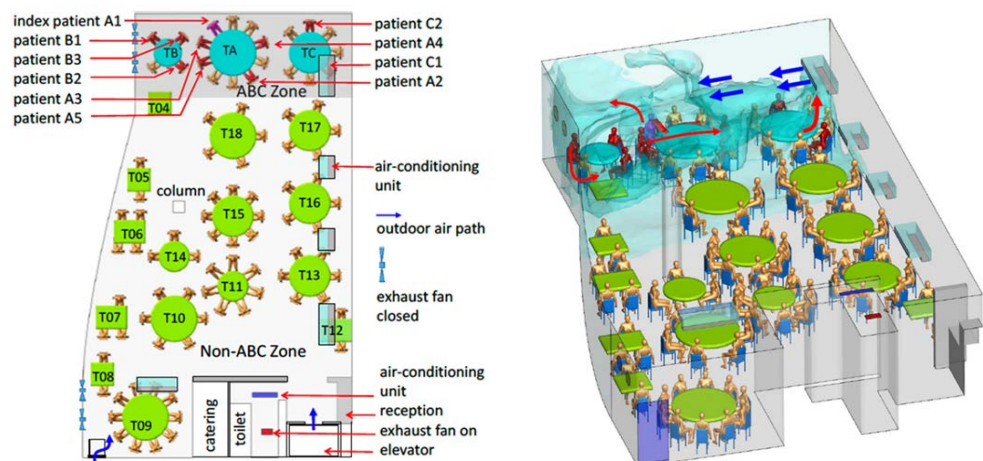
ir. P. Jacobs
ir. W.A. Borsboom

Auteurs

A Case Chinees restaurant

Over deze case zijn verschillende studies beschikbaar. Deze besmettingscase in een Chinees restaurant is als eerste beschreven door (Lu et al., 2020). Deze geeft aan dat de meest waarschijnlijke bron van besmetting door druppelinfectie plaatsvond, mogelijk geholpen door de sterke uitblaassnelheid van de airco. De snelheid in de ademzone zal echter lager zijn en de besmetting vond ook plaats tegengesteld aan de uitblaasrichting, wat deze route minder aannemelijk maakt.

Onderzoek (Li, Qian, et al., 2020) van dezelfde besmettingscase met zowel metingen ter plaatse als numerieke stroming berekeningen (CFD) suggereert dat in drukke, slecht geventileerde binnenruimten en een stabiele opgedrukte luchtstroming levensvatbare virusdeeltjes onvoldoende snel worden verdund door onvoldoende opmenging. En dat het daardoor mogelijk is om personen die in de onderzochte case tot op 4,6 m afstand van elkaar zaten, ook aan andere tafels te besmetten. Dit mechanisme wordt door de auteurs als 'extended short-range aerosol transmission' aangeduid. In de ABC zone (zie Figuur 2) bedroeg de infectiegraad aan tafel TB en TC 45%. Buiten deze zone traden geen infecties op bij de daar in totaal 68 aanwezige gasten (vastgesteld met virus test).



Figuur 2 'extended short range' aerosol verspreiding in Chinees restaurant van index patiënt A1 naar omliggende tafels (Li, Qian et al., 2020). Links: bovenaanzicht restaurant, rechts: 3D weergave van stromingspatroon en simulatie van de verspreiding van kleine uitgeademde druppels van index patiënt A1.

Tijdens het nuttigen van de lunch, wat circa een uur duurde, was de ventilatie uitgeschakeld. Wel werd de lucht gekoeld via een aantal airco systemen. De ventilatie is achteraf door Li gemeten met een tracergas meting en bedroeg 2,7 – 3,7 m³/uur per persoon. Het Bouwbesluit gaat uit van circa 23 m³/uur per persoon. De verblijfsduur was ruim een uur. Besmetting van de personen kan ook door bijvoorbeeld aanraking van besmette oppervlaktes hebben plaatsgevonden of door overdracht binnen 1,5 meter. Analyse van videobeelden vindt hiervoor geen bewijs. Op basis van deze case lijkt een verlengde korte afstand airborne transmissie aannemelijk. Het stromingspatroon ten gevolge van de uitstroming van de airco systemen speelt een rol, echter een verhoging van ventilatie naar gangbare niveaus zal de risico's beperken.

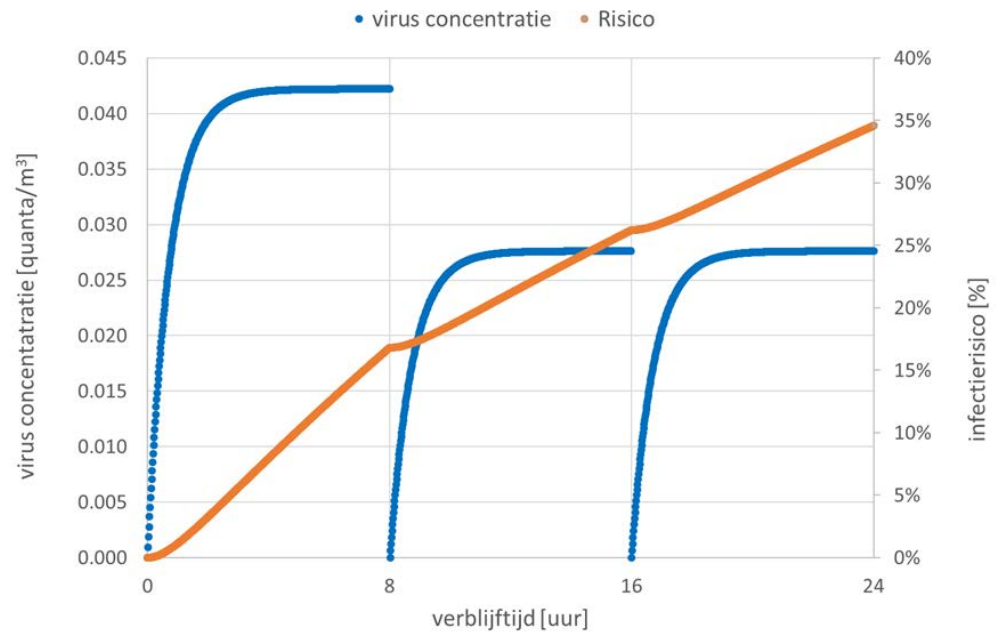
B Workshop case

Een driedaagse workshop met 30 deelnemers werd gehouden in twee vergaderruimten (Shen et al., 2020). De eerste dag waren de afmetingen van de vergaderruimte 7 x 7 m. De twee dagen daarna werden doorgebracht in een grotere vergaderruimte van 75 m². Beide vergaderruimten waren omsloten ruimten met airco systemen gebaseerd op recirculatie waarbij het ventilatiesysteem elke 4 uur gedurende 10 minuten werd ingeschakeld. Gedurende deze 10 minuten werd $\frac{1}{4}$ van het ruimtevolumen ververst. Bij aanname van een vertrekhoogte van 3,5 m houdt dit in dat per persoon 0,4 m³/h werd geventileerd. Hierbij komt nog infiltratie en uitwisseling van lucht door openen van deuren. Het is redelijk om uit te gaan van een ventilatievoud van 0,5 per uur. Dan kom je uit op 3,2 m³/uur ventilatie per persoon. Door de lange verblijfsduur kan de luchtkwaliteit tijdens de workshop verder zijn verslechterd, uit simulatie volgt een CO₂ concentratie van 6000 ppm. Dit is in overeenstemming met het gegeven dat enkele workshop deelnemers een slechte luchtkwaliteit rapporteerden.

Pas enkele dagen na de workshop ontstond koorts en kuchen bij de index patiënt die vervolgens positief op COVID-19 werd getest. Uiteindelijk werden 15 deelnemers aan de workshop positief getest. Het hoge percentage geïnfecteerden (50%) en de lage ventilatie suggereert dat airborne transmissie een rol speelde. Echter aangezien de zitposities tijdens de driedaagse workshop niet zijn vastgelegd en er ook andere contactmomenten buiten de vergaderzaal waren, kan niet worden uitgesloten dat transmissie door direct contact is opgetreden.

Figuur 3 toont de virusconcentratie en het airborne infectierisico. Gerekend is met het model van (Buonanno et al., 2020) en (Knibbs et al., 2012) met een ademvolume van 0,6 m³/uur en een bronsterkte van 10 quanta per uur. Deze bronsterkte komt overeen met ademen/rustig spreken. Hierbij is hetzelfde verband tussen blootstelling en infectierisico aangenomen als voor SARS-CoV-1 afgeleid door (Watanabe et al., 2010) aangezien dat wat betreft eigenschappen lijkt op SARS-CoV-2 ((Doremalen et al., 2020).

Het berekende percentage van 35% is lager dan het waargenomen percentage geïnfecteerden van 50%. De afwijking kan mogelijk worden verklaard met een grote bandbreedte wat betreft de mate van besmettelijkheid.



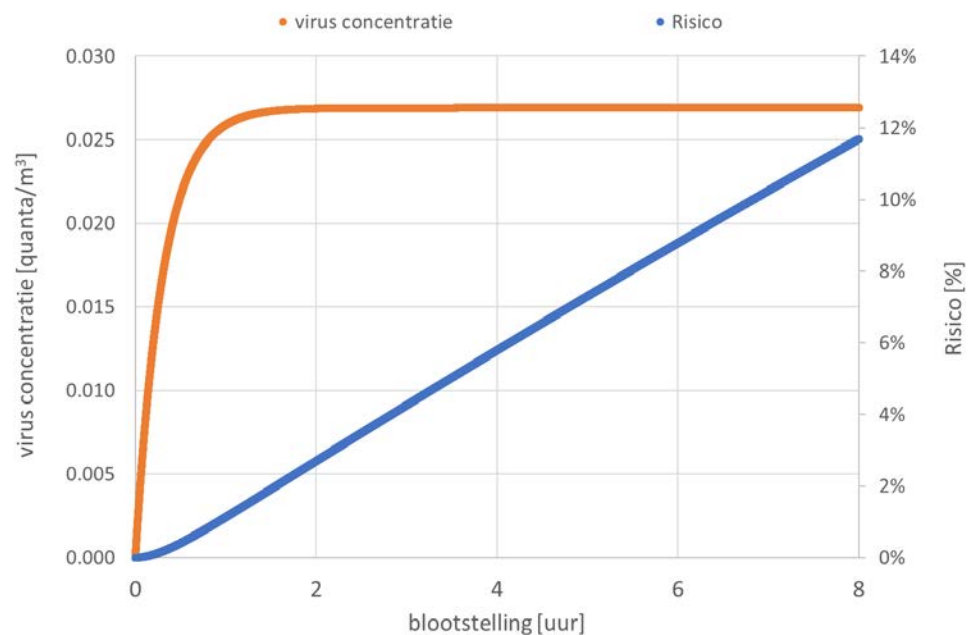
Figuur 3 Virusconcentratie en besmettingsrisico per persoon uitgaande van 1 besmettelijke persoon tijdens een 3-daagse workshop. Uitgegaan is van een bronsterkte van 10 quanta per uur en een ruimtevolumen van 172 m³ op dag 1 en 263 m³ op dag 2 en 3.

C Verblifsduur besmettingsrisico bij kantoorwerkdag

Bij langdurige blootstelling, bijvoorbeeld wanneer collega's zich gedurende een werkdag bij elkaar in dezelfde kantoorruimte bevinden met één besmettelijke collega, neemt de blootstelling aan airborne deeltjes van de bron zelfs bij de gangbare ventilatie van 50 m³/uur per persoon sterk toe.

Gerekend is met het model van (Buonanno et al., 2020) en (Knibbs et al., 2012) met een adembolume van 0,6 m³/uur en een bronsterkte van 7 quanta per uur. Deze bronsterkte komt overeen met ademen/rustig spreken. Hierbij is hetzelfde verband tussen blootstelling en infectierisico aangenomen als voor SARS-CoV-1 afgeleid door (Watanabe et al., 2010) aangezien dat wat betreft eigenschappen lijkt op SARS-CoV-2 ((Doremalen et al., 2020).

Figuur 4 toont de virusconcentratie en het airborne infectierisico waarbij te zien is dat gedurende de dag het blootstellingsrisico linear toeneemt, nadat na een uur de evenwichtsconcentratie is bereikt.



Figuur 4 virusconcentratie en besmettingsrisico per persoon uitgaande van 1 besmettelijke persoon in een 4-persoons kantoorruimte van 84 m³, 200 m³/uur ventilatie, ventilatieniveau 800 ppm. Ventilatievoud 2,4 per uur, depositie 0,24 per uur, inactivatie 0,63 per uur. Totale virusverwijderingssnelheid 3.27 per uur.