

# Aerosolen, ventilatie en COVID19

Achtergrond-informatie bij het KNAW webinar “Er hangt iets in de lucht”<sup>1</sup>

**Door:** D. Bonn (UvA), D Frenkel (Cambridge) en D Lohse (MPI/U Twente)

**Met dank aan** Bert Blocken (TU/E), Philomena Bluysen (TU-Delft), Roel Coutinho (UMC Utrecht), Alex Friedrich (UMC Groningen), Sander Herfst (EUR), Mazi Jalaal (UvA), Mariëtte Lokate (UMC Groningen), Jos van der Meer (Radboud UMC) en Sjaak Neefjes (LUMC).<sup>a</sup>

**Eén van de urgente vragen over COVID19 is: “Wat zijn de belangrijkste verspreidingsroutes van het SARS-CoV2 virus?” Vooral over de verspreidingsroute via aerosolen is er veel discussie sinds het uitbreken van de pandemie. Binnen onze maatschappij bestaat dan ook grote behoefte aan actuele informatie over de verspreiding van aerosolen en over het effect van bestaande maatregelen om het risico van infectieuze aerosolen te verminderen. Dit document geeft achtergrondinformatie over wat wij momenteel weten, en ook over wat wij niet weten, gecombineerd met verwijzingen naar de relevante literatuur. Wij hebben getracht om de tekst niet te technisch te maken, zodat de informatie hopelijk toegankelijk is voor de gemiddelde lezer(es) van de wetenschapsbijlage van de krant.**

## Verspreidingsroutes voor SARS-CoV2

Mensen die besmet zijn met SARS-CoV2 kunnen het virus op verschillende manieren overbrengen op anderen.

Drie mogelijke routes hebben veel aandacht gekregen:

1. Overdracht van mens-tot-mens op korte afstand (1.5 meter of minder) door direct contact, of door het overbrengen van relatief grote druppels die veel virusdeeltjes bevatten. Deze route is algemeen geaccepteerd en veel van de huidige instructies richten zich hierop. In het bijzonder: afstand houden, frequent handen wassen en het dragen van maskers en schermen die grotere druppels tegenhouden.
2. Door kleine druppeltjes die lang in de lucht kunnen blijven zweven. Over deze route bestaat veel onduidelijkheid omdat instellingen zoals de WHO er aanvankelijk vanuit gingen dat deze route niet belangrijk was voor COVID19, of uitsluitend in speciale omgevingen, zoals ruimten waar COVID19 patiënten behandelingen ondergaan die veel druppeltjes kunnen produceren. Echter, gedurende het afgelopen jaar is er veel wetenschappelijke informatie beschikbaar gekomen die aangeeft dat er meer dan kleine en grote druppels bestaan, maar een soort continuüm van aerosol-vormende eenheden. De mogelijkheid dat COVID-19 zich via aerosolen door de lucht verspreidt

---

<sup>a</sup> Wij hebben hun vele suggesties zo goed mogelijk verwerkt, maar zij zijn niet verantwoordelijk voor de tekst zoals die hier nu staat.

moet dan ook serieus genomen worden, zeker in de context van zogeheten “super-spreader” incidenten: situaties waarbij een enkel besmettelijk persoon vele, soms tientallen andere aansteekt, b.v. in openbaar vervoer, festivals, congressen, concerten, kerken, of in restaurants.

3. Indirecte overdracht van mens-naar-voorwerp-naar-mens: Hieraan is veel aandacht besteed. Iemand die besmettelijk is, zou de infectie kunnen overdragen via de handen en via voorwerpen (deurknoppen, trapleuningen, liftknoppen, touchscreens, toetsenboorden, bestek/borden/glazen etc.). Die besmette voorwerpen kunnen dan weer aangeraakt worden door iemand die vatbaar is. De besmette handen kunnen virusdeeltjes vervolgens naar de slijmvliezen van mond, neus en oog brengen. Ook hier is de eerste voorzorgsmaatregel: frequent handen wassen, in sommige situaties handen desinfecteren, vermijd het aanraken van objecten die kunnen zijn aangeraakt door mensen die wellicht besmettelijk zijn, vermijd finger food (in ieder geval zonder tevoren de handen te hebben gewassen. De Amerikaanse CDC schrijft echter in een Science Brief van 5/4/21 <sup>2</sup> dat de kans op besmetting gedurende de Covid-19 pandemie door aanraking van een besmet oppervlak, in vergelijking met de andere transmissiewegen, vermoedelijk klein is. Toch, kan bij miljoenen besmettingen deze transmissieweg niet als irrelevant worden beschouwd. Er zijn tot nu toe geen aanwijzingen dat voorwerpen zoals postpakketjes een belangrijke besmettingsroute zijn.

### **Waarom een document over de mogelijke verspreiding van COVID19 door de lucht?**

Het huidige document richt zich vooral over de tweede route, omdat de informatievoorziening hierover voor velen verwarrend is. Om deze route te onderscheiden van besmetting door grotere druppels, noemen wij de verspreiding door lang-zwevende druppeltjes de “aerosol” route.

Waarom is er überhaupt een discussie ontstaan over de mogelijk rol van dit verspreidingsmechanisme van SARS-Cov2? In essentie is de vraag of het belang van een verspreidingsmechanisme wetenschappelijk bewezen moet zijn voordat men preventieve maatregelen neemt, of dat men een plausibel, groot risico serieus moet nemen totdat het kan worden uitgesloten. Het gaat dus om een risico-inschatting en afweging op basis van de tot heden bekende wetenschappelijke data van SARS-Cov2 of andere vergelijkbare virussen.

Deze risico-analyse is extreem belangrijk bij een pandemie waar verkeerde afwegingen tot een snellere verspreiding en meer slachtoffers kan leiden. Analoge afwegingen moesten in het verleden worden gemaakt bij de campagnes tegen het roken, bij het invoeren van veiligheidsgordels en nu weer, bij de discussie over de menselijke invloed op het klimaat.

Experimentele studies waarbij de overdracht van SARS-CoV2 van mens-op-mens wordt onderzocht zijn momenteel in voorbereiding<sup>3</sup> maar het kan lang duren voordat we kwantitatief de verschillende verspreidingsmechanismen van de originele of latere varianten van SARS-COV2 kennen. Zoveel tijd is er echter niet tijdens een pandemie.

De vraag die de wetenschap zich moet stellen is dus: Is het, in het licht van de beschikbare statistische, biomedische en fysische gegevens verantwoord om het mogelijke belang van de

verspreiding van COVID19 via aerosolen grotendeels te negeren omdat het bewijs niet rond is? Bij het beantwoorden van deze vraag moet het voorzorgsbeginsel de doorslag geven: elimineer vermijdbare risico's, ook bekend als het "better-safe-than-sorry" principe.

## **VRAGEN (en een paar antwoorden):**

Wij behandelen een aantal vragen waarover we inmiddels meer weten dan 1 jaar geleden.

### **Vraag 1: Hoe belangrijk is verspreiding door aerosolen?**

Om deze vraag te kunnen beantwoorden moeten we weten waar mensen de besmetting oplopen. Dat lijkt een eenvoudige vraag, maar het antwoord is niet simpel omdat het vaak niet bekend is hoe en waar mensen besmet raken. Als je vraagt: wat zijn de belangrijkste plekken waar mensen een infectie oplopen, dan is het antwoord dat we het in twee derde van de gevallen niet weten. Waar we wel achter zijn gekomen, is dat het erop lijkt dat de helft van de mensen zich "in de eigen woning" heeft besmet.

Maar hoeveel mensen worden er binnen een huishouden besmet als zij de woning delen met één drager?

Dan blijkt (voor de varianten van het virus waar we nu data over hebben):

1. De meeste dragers (ongeveer 80%) besmetten niemand anders (ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols, <https://www.condair.com/m/0/final-pd-infectiousaerosols-2020.pdf>)<sup>4</sup>
2. De kans op één of meer secundaire infecties binnen een huishouden is niet erg hoog. De schattingen variëren van minder dan 20 tot 50% (de aantallen hangen mede af van het aantal mensen per huishouden, hun natuurlijke weerstand en een aantal sociale factoren). Maar, hoe het ook zij: met dit percentage secundaire infecties alleen kan het reproductiegetal **R** nooit boven de 1 komen. Het zou dan ergens tussen de 0.2 en 0.5 moeten liggen. De conclusie is dat veel infecties worden opgelopen buiten de eigen woning.
3. Zelfs al wordt de helft van mensen thuis besmet, de primaire infectie moet van buiten het eigen huis komen.

Het is dus belangrijk om te weten hoe we de kans op besmetting buitenshuis zo klein mogelijk kunnen houden. Alweer: afstand houden en handen wassen/desinfecteren. Maar het is ook belangrijk om te weten hoe we het risico op besmetting door aerosolen kunnen beperken, omdat er goede aanwijzingen zijn dat aerosolen in drukke/onvoldoende geventileerde ruimten veel mensen tegelijk kunnen aansteken. Om een vaak geciteerd voorbeeld te noemen<sup>5</sup>: in China, in de periode van enkele dagen vóór de lockdown tot enkele dagen daarna, raakten nog veel mensen besmet (daarna nog maar nauwelijks). Een analyse van ruim 5000 primaire besmettingen, liet zien dat deze groep ruim 2000 mensen had besmet. Sommige virusdragers besmetten een aantal anderen (tot 10 in dit geval). Echter: *in slechts één geval besmette een drager in de buitenlucht twee anderen*, alle andere incidenten met twee of meer infecties vonden binnen plaats. Deze bevindingen (en vele anderen) suggereren dat

dat er een hoog risico op besmetting is wanneer men met een besmettelijk persoon in een afgesloten ruimte is.

Zoals gezegd is de kans op secundaire besmetting in de thuissituatie onvoldoende is om tot een R groter dan 1 te leiden. Daarentegen is het gemiddelde aantal mensen in een infectiecluster veel hoger op plaatsen waar grote groepen met elkaar in contact komen, zoals op werk, AZC's, gevangenissen, slachthuizen en vooral zorginstellingen. In ziekenhuizen en verpleeghuizen is de mediane clustergrootte 9 tot 16, met uitschieters tot 400 (in ziekenhuizen). Sommige onderzoekers zijn er daarom toe overgegaan om een instellings-specifieke R-waarde te berekenen, die veel hoger ligt dan de gemiddelde R waarde (0,8 – 3) die aan de oorspronkelijk SARS-CoV-2 variant werd toegeschreven. De hoge R-waarde voor zorginstellingen heeft te maken met een aaneenschakeling van super-spreading incidenten waarbij het virus wordt overgedragen tussen personeelsleden, tussen patiënten, en tussen deze twee groepen<sup>6</sup>. De internationale consensus is inmiddels dat veel super-spreader incidenten moeilijk te begrijpen zijn zonder de verspreiding door aerosolen mee te rekenen<sup>7</sup>. Dit is in detail uitgewerkt in een recente publicatie in de Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)<sup>8</sup> over de verspreiding van COVID10 aan boord van de *Diamond Princess*.

## Vraag 2: Wie/wat zijn de super-spreaders?

Een super-spreader gebeurtenis is een incident waarbij één besmettelijke persoon (presymptomatisch, symptomatisch, of asymptomatisch), vele anderen infecteert. De data die we nu hebben suggereren dat dit niet alleen via grote druppels maar ook via aerosolen (besmette medewerker in een horeca of in een zorginstelling) kan gebeuren. Over besmetting via aerosolen is bekend dat die bijna uitsluitend binnen, en met name in slecht geventileerde ruimtes, plaatsvindt. Een van de eerste 'super-spreader events' betrof een restaurant in Guangzhou, China, waar meerdere personen aan verschillende tafels (meer dan 1.5m verwijderd) werden besmet door een enkele persoon<sup>9</sup>. Een ander, relatief goed-gedocumenteerd voorbeeld is een koor repetitie in Skagit County (USA): bij deze repetitie van 61 personen werd redelijk afstand gehouden. Er was één bekende drager (maar het werkelijke aantal kan hoger zijn geweest). 87% van het koor ontwikkelde daarop symptomen van COVID-19 (in 31 gevallen werd COVID-19 ook met een test bevestigd). De afstand tussen de bekende drager en de meeste koorleden was vele meters<sup>10,11</sup>. Deze voorbeelden, hoewel suggestief, laten zien dat "incidenten" geen "experimenten" zijn, en dat we, hoewel er veel andere incidenten zijn gerapporteerd, vermoedelijk nog lang moeten wachten voordat de risico's kwantitatief bekend zijn.

Aerosolen worden gegenereerd door ademen, praten, zingen, hoesten en niezen, waarbij speeksel en slijm worden uitgestoten als druppeltjes die tussen de 1 en 10 micrometer groot zijn. Grotere druppels zijn gevaarlijk op korte afstand. Aerosol druppeltjes uitgestoten door een "besmettelijk" persoon kunnen besmettelijke virusdeeltjes bevatten<sup>12</sup>. Er zijn dus verschillende factoren die samen de kans op een superspreader event vergroten:

- 1) De infecterende persoon is een *supershedder*. Dat wil zeggen, iemand die veel virusdeeltjes verspreid en daardoor vele anderen infecteert. Dit kan te maken hebben

met een bepaalde individuele constitutie, waardoor er meer druppels zijn, of waardoor iemand meer druppels genereert (b.v. een luide stem of druppel-genereerde spraak; meestal ligt het eraan, dat een persoon in de fase van ziekte is, waar een hoge virusproductie gewoon bij het ziektebeeld past, en dat is vaak net voor of op het moment van begin van symptomen.

- 2) Echter, bij hoge virusproductie en dus hoge virusconcentraties van de infecterende persoon zullen meer aerosol druppels virus bevatten. Op basis van neus-keeluitstrijken van patiënten dragen 75%, 50% en 5% van de besmette personen een geschat aantal SARS-CoV-2 deeltjes per mL slijm van respectievelijk ten minste  $10^5$ ,  $10^6$  en  $10^8$ . Een recent artikel<sup>13</sup> suggereert dat een 10% van de patiënten gedurende korte tijd zelfs waarden van bijna  $10^{10}$  virusdeeltjes per ml kan bereiken en 1% van de patiënten zelfs tienmaal meer. Men kan deze getallen echter niet zonder meer vertalen naar het aantal infectieuze virusdeeltjes per druppeltje.

De variatie tussen verschillende mensen is dus groot, en de virusconcentratie in het speeksel varieert ook nog in de tijd voor een bepaalde persoon.

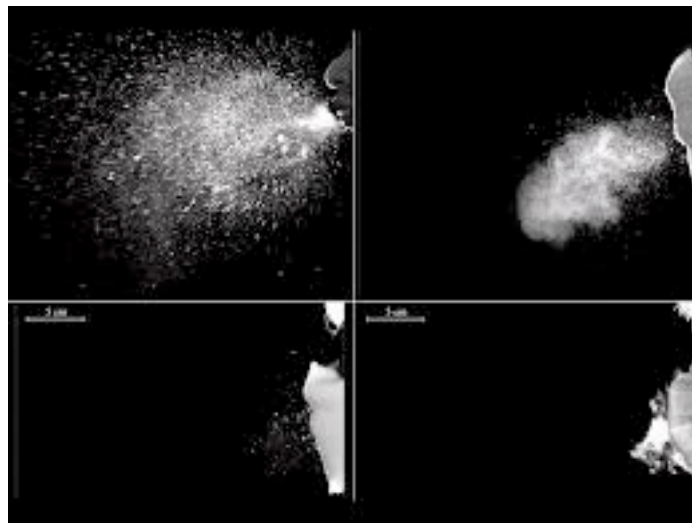
- 3) Vanaf het verlaten van de mond, zal het water in een druppel afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de omgeving, verdampen. Een relatieve grote druppel, waarvan je zou verwachten dat die naar beneden valt, kan door die verdamping, een "zwevende druppel" worden. De kleine aerosol-deeltjes blijven lang in de lucht hangen; afhankelijk van de ventilatie van de ruimte tussen de 1-30 minuten. Bij onvoldoende ventilatie en zonder luchtfilters stijgt de verontreiniging in de lucht gestaag doordat de geïnfecteerde persoon virusdeeltjes blijft uitstoten. Een niet geïnfecteerd persoon die lucht inademt en dus virusdeeltjes binnenkrijgt heeft bij een lang verblijf in dit soort binnenruimtes samen met een geïnfecteerd persoon, meer kans op infectie, doordat er een grotere kans is op infectie als er meer contact is met virusdeeltjes. Op dit moment is het echter onvoldoende bekend hoeveel infectieuze virussen worden uitgeademd door een geïnfecteerd persoon en hoe lang deze virussen in de lucht 'overleven' en dus nog in staat zijn een ander persoon te infecteren.
- 4) De minimale infectiedosis (MID). De minimale infectie dosis heeft belangrijke invloed op de transmissiekans van SARS-CoV-2. Recent onderzoek heeft uitgewezen dat de MID voor SARS-CoV-2 kan variëren met een factor 100, met een doorsnee waarde van 100 infectieuze virusdeeltjes <sup>14</sup>. Dit is vergelijkbaar met de MID van het SARS coronavirus uit 2003 dat echter niet tot een pandemie heeft geleid. Ter vergelijking, de MID van griepvirussen is slechts 3-5. Dat betekent dus dat griepvirussen tot meer transmissie leiden.

### **Vraag 3: Helpen mondkapjes, en zo ja welke?**

Hier is het belangrijk dat mensen niet alleen maar denken aan het risico dat ze zelf lopen, maar ook hoeveel risico een ander loopt, als zij zelf onverhoopt besmettelijk zijn, zonder het te weten.

Mondkapjes hebben dus twee functies: Ten eerste om de aerosolen en de druppeltjes die worden uitgeademd/gehoest/gezongen door een besmettelijk persoon (deels) tegen de

houden en in iedere geval dicht bij het lichaam te houden zodat ze kunnen opstijgen in de warme lucht die door het lichaam wordt afgegeven (zie figuur hieronder). Bij goede ventilatie wordt deze opstijgende lucht afgevoerd voordat er schade kan ontstaan. Ten tweede om een voor infectie vatbare drager te beschermen tegen het feit dat virus-dragende druppels en aerosolen in de mond en neus van iemand anders komen of kunnen worden ingeademd. Deze bescherming werkt goed bij mondkapjes, wanneer zowel de virusdragers als de vatbaren een mondkapje dragen. Om tegen inademing te beschermen zijn mondkapjes met goede filter-efficiëntie, zoals FFP2 of FFP3 maskers die goed op het gezicht passen, veiliger. Een eenvoudige test om na te gaan of er niet te veel lucht langs het filter stroomt is om te controleren of het mondkapje bij het praten op een neer beweegt door de drukfluctuaties.



Effect mondkapjes: geen masker, rechtsboven 1 laag stof, linksonder 2 lagen stof, rechtsonder surgical mask. (Figuur uit: *Face coverings and mask to minimise droplet dispersion and aerosolisation: a video case study*, P Bahl et al, *Thorax* 75, 1024 (2020), weergave met toestemming van de uitgever. Zie ook: <https://www.youtube.com/watch?v=DNeYfUTA11s>)

De belangrijkste vraag is natuurlijk: bieden verschillende soorten maskers verschillende beschermingen tegen aerosolen voor de drager? Een vergelijkende studie van verschillende soorten maskers liet zien dat de verschillen groot zijn: een goed FFP2/N95-masker houdt meer dan 90% van die zeer kleine deeltjes tegen, wat een hele prestatie is als je bedenkt dat je ook nog moet blijven ademen. Andere maskers zijn veel minder effectief: het vaak gebruikte chirurgische masker houdt slechts een derde van de druppels tegen, een bandana 10% en een stofmasker uit de bouwmarkt slechts 6%<sup>15</sup>. Dit laatste resultaat is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat het masker niet goed sluit. Geïmproviseerde maskers zijn aanzienlijk slechter dan de professionele en bieden slechts een zeer gedeeltelijke bescherming. Chirurgische maskers zijn primair bedoeld om de patiënt te beschermen door te voorkomen dat druppels met pathogenen (met name bacteriën) uit de mond/neus van de chirurg in het operatiegebied vallen. Chirurgische maskers zijn niet erg efficiënt tegen aerosolen: als bij een operatie aerosol wordt gegenereerd, worden voor het medisch personeel andere maskertypes aanbevolen.

Welke maskertype optimaal is, is uiteindelijk geen aerosol-technische vraag, maar wordt bepaald door de hele infectiepreventie gerelateerde context, kennis en ervaring in de omgang

met maskers door de gebruikers, het soort werk wat wordt verricht in relatie tot de ademweerstand. Om de uitademingsweerstand te verlagen zijn er daarom ook FFP2/3-maskers met uitademingsventiel. Echter: Lucht die wordt uitgeademd via het ventiel wordt niet gefilterd: maskers met ventiel zijn dus *gevaarlijk* – niet voor de drager zelf maar voor de mensen in zijn/haar omgeving.

Voor verder informatie, zie de presentatie van de Amerikaanse CDC over de “Science of Masking to Control COVID-19” <sup>16</sup>.



*Image courtesy: L.E. Bowen (2010).*

Caption: Verschillende soorten maskers geven zeer verschillende niveaus van bescherming. Van linksboven naar rechtsonder: chirurgisch masker, bouwmarkt masker, bandana, FFP2 masker.

**Vraag 4: Welke vormen van ventilatie helpen, en welke niet ?**

Belangrijk is het onderscheid tussen continue ventilatie en kortstondige (in het Vlaams “verluchten” genoemd, in het Duits “Stoßlüften”). De meeste vormen van mechanische ventilatie die tot een goede uitwisseling van de lucht in een ruimte met ‘schone’ buitenlucht leiden, zijn overwegend goed. Idealiter wordt besmette, uitgeademde lucht direct afgevoerd, middels toevoer van schone lucht. Voor de afvoer van kleine aerosol deeltjes is een instroom van onderen en uitstroom van boven ideaal, omdat de warme lucht

die mensen genereren de kleine aerosoldeeltjes die door een mondkapje stromen, naar boven afvoert<sup>17</sup>. Maar voor grotere druppels is een snelle afvoer naar onderen (zoals in vliegtuigen) beter, om te voorkomen dat zij verdampen voordat zij de grond raken. Het kan niet allebei. Dus blijft afstand houden en mondkapjes dragen essentieel.

De huidige, ingebouwde ventilatiesystemen vervangen veelal maar een deel van de lucht met buitenlucht (om te besparen op stook/koelkosten) en recirculeren de rest. Recirculeren wordt ten sterkste afgeraden in tijden van een pandemie, tenzij de gerecirculeerde lucht wordt gefilterd met bijvoorbeeld een HEPA-filter dat het gerecirculeerde deel van de lucht te ontdoet van virussen en aerosolen. HEPA-filters worden in operatiezalen en vliegtuigen gebruikt, maar ook plasma-luchtreinigers maken korte metten met aerosolen.

In veel publicaties over COVID19 wordt de ventilatie-capaciteit van een binnenruimte uitgedrukt in het aantal malen per uur dat de lucht wordt ververs ('Air Changes per Hour'-ACH). Er worden zelfs aanbevelingen gedaan op basis van de ACH maat, bijvoorbeeld: 6 luchtverversingen per uur.

Toch is dit geen goede maat, omdat een ACH die voldoende is voor één type ruimte, bijvoorbeeld een woonkamer met 3 personen, niet adequaat is voor een bus met 30 personen

Om die reden wordt de benodigde hoeveelheid ventilatie van een ruimte uitgedrukt in het aantal liters per seconde per persoon (l/s/p); zie bijvoorbeeld het "position document" van de American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers<sup>18</sup>. Ook het Nederlands bouwbesluit ten aanzien van de ventilatie van binnenruimtes, gebruikt de maat l/s/p, zij het dat, bij eenzelfde aerosol concentratie de kans op besmetting door de lucht ook nog eens toeneemt met het aantal vatbaren in de ruimte. Ook is de verblijftijd belangrijk: een restaurant wordt langer bezocht dan een supermarkt. De eenvoudige webtools die gebruikt worden om risico's in te schatten (zie "*Referenties, achtergrondinformatie en web-tools*") brengen al deze factoren ruwweg in rekening.

Voor ieder type ruimte, en voor een gegeven bezetting, kan men nagaan of de huidige regels redelijke bescherming bieden tegen infectie door aerosolen. Op basis van het huidige Nederlandse bouwbesluit is dit voor de meeste binnenruimtes bij lange na niet het geval. Voor sommige ruimtes (bijvoorbeeld voor intensief sporten) worden hogere luchtverversingssnelheden aangeraden maar niet verplicht gesteld. In ruimtes in ziekenhuizen waar een hoge kwaliteit van lucht essentieel is, zoals intensive care of operatiekamers, is de luchtverversingssnelheid echter wel goed geregeld.

De ventilatie van veel openbare ruimten is momenteel niet afdoende om bescherming te bieden tegen infecties als er zich één of meer superspreaders in de ruimte bevinden<sup>b</sup>.

**Vraag 5: Hoe kan ik weten of een bepaalde publieke ruimte voldoende ventilatie heeft?**

---

<sup>b</sup> Supermarkten lijken een uitzondering, omdat die veelal goed geventileerd zijn en men daar maar kort verblijft.



Een veel gebruikte (want eenvoudige meetbare) indicator voor de kwaliteit van de ventilatie is de CO<sub>2</sub> concentratie, die stijgt met het aantal aanwezige personen en daalt met de snelheid van luchtverversing. Een CO<sub>2</sub> concentratie van 400 ppm (*parts per million*) is een vergelijkbaar met de concentratie buiten en dus normaal. Waardes boven de 1000 ppm, afkomstig van de ademlucht, geven een indicatie dat de ventilatie onvoldoende is en de aerosolconcentratie dus vermoedelijk hoog: een reden om niet lang in dit soort binnenruimtes te verblijven, en zeker niet zonder masker. Ook hier helpt het om de ramen open te zetten om lucht uit te wisselen. Wel moet goed gelet worden op de locatie van de CO<sub>2</sub> meting. In “dode” zones in een ruimte kan de concentratie erg hoog oplopen, terwijl die dicht bij ventilatieopeningen laag kan blijven.

## Conclusie

In dit document hebben we geprobeerd de huidige kennis over de overdracht van het SARS-CoV-2 weer te geven. We hebben daarbij vooral de potentiële rol van aerosolen met name in binnenruimten belicht. De exacte bijdrage van deze aerosolen in besmetting staat niet helemaal vast. Niettemin menen wij dat het in de bestrijding van de pandemie goed is met overdracht door aerosolen in binnenruimten rekening te houden en maatregelen te treffen om deze vorm van mogelijke besmetting te voorkomen.

## Referenties, achtergrondinformatie en web-tools

### Referenties bij de tekst:

---

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=UPtJ7EaY0Bk>

<sup>2</sup> CDC Science Brief: SARS-CoV-2 and Surface (Fomite) Transmission for Indoor Community Environments, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/more/science-and-research/surface-transmission.html>

<sup>3</sup> <https://www.ox.ac.uk/news/2021-04-19-human-challenge-trial-launches-study-immune-response-covid-19>

<sup>4</sup> Household Transmission of SARS-CoV-2: A Systematic Review and Meta-analysis, Z J Madewell et al., JAMA Network Open. 2020;3(12):e2031756. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.31756

<sup>5</sup> Indoor transmission of SARS-CoV-2, H Qian et al. , Indoor Air (Early View),, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12766>

<sup>6</sup> COVID-19, 2e Kamer-briefing 4 febr 2021, <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=4bc95c86-1f0f-4ea9-bf76-38bb413c6f05&title=Presentatie%20de%20heer%20Jaap%20van%20Dissel%20%208directeur%20van%20het%20Centrum%20voor%20Infectieziektebestrijding%20van%20het%20RIVM%29.pdf>

- 
- <sup>7</sup> Sixty-third SAGE meeting on COVID-19 - 22 October 2020  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/935103/sage-63-meeting-covid-19-s0842.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/935103/sage-63-meeting-covid-19-s0842.pdf)
- <sup>8</sup> Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the Diamond Princess cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission, P. Azimi et al. *Proc. Nat. Acad Sci (USA)* 2020, 118, e2015482118.  
<https://www.pnas.org/content/pnas/118/8/e2015482118.full.pdf>
- <sup>9</sup> COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. J Lu et al. *Emerg Infect Dis* 2020;26:1628e31.  
<https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/pdfs/20-0764.pdf>
- <sup>10</sup> Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event, S.L. Miller et al, *Indoor Air*. 2021;31:314-323. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12751>.
- <sup>11</sup> Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea, SY Park et al. *Emerging Infectious Diseases*, 26, No. 8, August 2020,  
<https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/pdfs/20-1274.pdf> , CDC: Science Brief/SARS-CoV-2 and Potential Airborne Transmission, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/scientific-brief-sars-cov-2.html>
- <sup>12</sup> Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. KP Fennelly, *Lancet Respir Med*. 2020 Sep;8(9):914-924. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30323-4.
- <sup>13</sup> Heterogeneity in transmissibility and shedding SARS-CoV-2 via droplets and aerosols, P.Z. Chen et al.,  
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.10.13.20212233v1>
- <sup>14</sup> Genomic epidemiology of superspreading events in Austria reveals mutational dynamics and transmission properties of SARS-CoV-2, A. Popa et al. *Science Transl. Med.* 12, eabe2555 (2020),  
<https://stm.sciencemag.org/content/12/573/eabe2555/tab-pdf>
- <sup>15</sup> Does That Face Mask Really Protect You? L E Bowem, *Applied Biosafety* Vol. 15, 67, 2010, <https://www.liebertpub.com/doi/pdf/10.1177/153567601001500204>
- <sup>16</sup> CDC presentation: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/downloads/science-of-masking-full.pdf>
- <sup>17</sup> Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19, R Bhagat et al., *Journal of Fluid Mechanics* 90, F1 (2020), <https://doi.org/10.1017/jfm.2020.720>
- <sup>18</sup> ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols,  
<https://www.condair.com/m/0/final-pd-infectiousaerosols-2020.pdf>

## **Algemene referenties:**

Epidemieën van besmettelijke ziekten: Wat zegt de wetenschap?

**Een brochure van de KNAW** (Amsterdam, maart 2021)

[https://knaw.nl/shared/resources/actueel/bestanden/Brochure\\_infectieziekten\\_epidemiologie.pdf](https://knaw.nl/shared/resources/actueel/bestanden/Brochure_infectieziekten_epidemiologie.pdf)

Indoor Air Changes and Potential Implications for SARS-CoV-2 Transmission, J.G. Allen et al., Journal of the American Medical Association (published online: April 16, 2021)  
doi:10.1001/jama.2021.5053.

Speech can produce jet-like transport relevant to asymptomatic spreading of virus, M.Abkarian et al. , PNAS 117,25237-25245 (2020),  
[www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2012156117](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2012156117)

It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. Morawska L, Milton DK. Clin Infect Dis. 2020 Jul 6:ciaa939.  
doi: 10.1093/cid/ciaa939.

Prather KA, Wang CC, Schooley RT. Reducing transmission of SARS-CoV-2 Science. 2020; 368(6498):1422-1424.  
<https://science.sciencemag.org/content/368/6498/1422/tab-pdf>

Beyond Six Feet: A Guideline to Limit Indoor Airborne Transmission of COVID-19, MZ Bazant & JWM Bush,  
<https://doi.org/10.1101/2020.08.26.20182824>

## **Enkele webtools om het risico van besmetting via aerosolen te schatten**

What's your risk of catching COVID? These tools help you to find out,  
M. Eisenstein, **Nature** 589, 158-159 (2021),  
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-03637-y>

### **Max Planck Instituut voor Chemie:**

<https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator?en>

### **Max Planck Instituut voor Vloeistofdynamica**

<https://aerosol.ds.mpg.de/en/>

### **Universiteit van Cambridge:**

<https://airborne.cam/>

### **Massachusetts Institute of Technology,**

<https://indoor-covid-safety.herokuapp.com/>

### **Universiteit van Colorado**

<https://cires.colorado.edu/news/covid-19-airborne-transmission-tool-available>

**Dit document werd geproduceerd naar aanleiding van:**

Een KNAW-Coronawebinar op 25/03/2021 over het onderwerp:  
'Er Hangt iets in de Lucht' - Één Jaar Coronapandemie.

Buitenlandse sprekers: Cath Noakes, University of Leeds, Howard A Stone, Princeton University.

<https://www.youtube.com/watch?v=UPtJ7EaY0Bk>