

Auteurs Dr.ir. M.G.L.C. (Marcel) Loomans, dr.ir. F. (Francesco) Franchimon

De COVID-19 ervaring en ventilatie: wat heeft het ons gebracht?

Een virus, dat ergens in de tweede helft van 2019 het licht zag, heeft de hele wereld al bijna twee jaar in zijn greep. We hebben geleerd om enigszins met het virus om te gaan, maar wat hebben we nu feitelijk geleerd? En hoe kunnen we in onze gebouwen ermee om gaan? Ventilatie staat (inmiddels) op de agenda, maar hoe bepalen we die en wat is de bijdrage ervan als het gaat om de besmettingskans? In dit artikel passeren deze onderwerpen kort de revue.

Op de eerste plaats zijn we met de neus op de feiten gedrukt dat we als mens behoorlijk kwetsbaar zijn, of in ieder geval dat we onszelf door onze levenswijze in een behoorlijk kwetsbare positie hebben geplaatst. Anderzijds, de ontwikkeling van vaccins en met name ook de snelheid van die ontwikkeling heeft laten zien wat de stander (medische) techniek is. En dat is zeker een positieve uitkomst te noemen. Er zijn echter ook scenario's denkbaar dat voor toekomstige pandemieën het niet lukt om met deze snelheid effectieve vaccins te ontwikkelen. Dit zal dan tot nog grotere economische schade leiden. Ventilatie kan hierin dan een plaats nemen als onderdeel van een reeks aan mogelijke preventiemaatregelen.

De huidige ervaring levert in ieder geval een interessante ontwikkeling op voor de gebouwde omgeving. Er is, uiteindelijk, grotere aandacht voor een gezond binnenmilieu, in dit geval meer specifiek de binnenluchtkwaliteit en hoe die kan bijdragen aan een lagere kans op besmettingen. Om tot dat inzicht te komen heeft echter de nodige inspanning gekost.

De luchttransmissie paradox

Bij aanvang van de pandemie was een belangrijk discussiepunt of de luchttransmissieroute (airborne route) een van de mogelijke transmissieroutes was bij besmettingen met het SARS-CoV-2 virus. De stellige overtuiging bij aanvang, bij instanties als het RIVM en de WHO [1], was dat dit

niet het geval was. De noodkreet "It is not Airborne", om de rust te bewaren in de samenleving, werd in ferme taal uitgesproken. De directe route en de contact route werden bestempeld als de voornaamste routes waarlangs besmetting zou kunnen plaatsvinden. Vooral het relatieve lage basis reproductiegetal was te laag in vergelijking met infectieziekten zoals mazelen en waterpokken, waarvan wel erkend wordt dat besmettingen plaatsvinden via de lucht. Deze aanname zou juist kunnen zijn als men alle besmettingen kan identificeren. Als voorbeeld, de ziekte mazelen resulteert na enkele dagen in rode vlekjes, een duidelijk signaal dat iemand mazelen heeft, hiervoor is geen diagnose noodzakelijk. COVID-19 leidt niet tot specifieke symptomen, waardoor het stellen van een diagnose door medische experts wel relevant is om een besmetting met zekerheid te vast te stellen. Nu wij weten dat veel mensen die besmet zijn geen symptomen hebben, is het zeer waarschijnlijk dat de incidentie van COVID-19 onderschat is, en daarmee het reproductiegetal. [2]

Ook ging men onder andere uit van een oud dogma dat deeltjes $>5 \mu\text{m}$ binnen 1-2 m op de grond vallen [3]. Deze deeltjes worden druppeltjes genoemd. Met aerosolen worden de kleinere druppeltjes ($<5 \mu\text{m}$) aangeduid. Men ging er enerzijds vanuit dat de druppeltjes het meest gevaarlijk waren, de meeste virusdeeltjes bevatten. Anderzijds werd niet beseft dat ook druppeltjes $>5 \mu\text{m}$ lang in de lucht kunnen blijven zweven en zeker niet binnen 1,5 m (de afstand die in NL is aangehouden...) op de grond vallen. Daarnaast werd voorbijgegaan aan het feit dat de concentratie aerosolen dichtbij een persoon groot is en op die manier kan bijdragen in de besmettingskans (zie Figuur 1). Inmiddels is er genoeg bewijs voor de bijdrage van de luchttransmissieroute in de besmetting met SARS-CoV-2 [4] en wordt dit inmiddels ook door zowel het RIVM en de WHO onderkend.

Ondanks dit uitgangspunt van onder andere het RIVM en de WHO bij de start van de pandemie hebben verschillende partijen vanaf het begin de mogelijkheid van de luchttransmissieroute niet uitgesloten. Binnen TVVL is al begin april 2020 een expertgroep opgericht om advies te geven hoe om te gaan met gebouwen en hun

installaties in deze situatie. Voor de gezondheidszorg was een aanvullende expertgroep gevormd, en in Europees verband (REHVA) werd dankbaar gebruik gemaakt van de eerste adviezen en beschrijvingen die door de TVVL Expertgroep beschikbaar waren gemaakt. Naast een website met FAQs zijn er in de loop van 2020 verschillende webinars door TVVL, in samenwerking met ISIAQ.nl, georganiseerd. Gezien het aantal deelnemers, kwamen die tegemoet aan de belangstelling om meer te weten over het onderwerp. De website Masterplan Ventilatie (www.masterplanventilatie.nl) werd ontwikkeld om verdere ondersteuning en tools te bieden om de situatie ten aanzien van ventilatie en installaties in gebouwen te kunnen inventariseren en een indruk te krijgen van de mogelijke besmettingskans voor een bepaalde situatie.

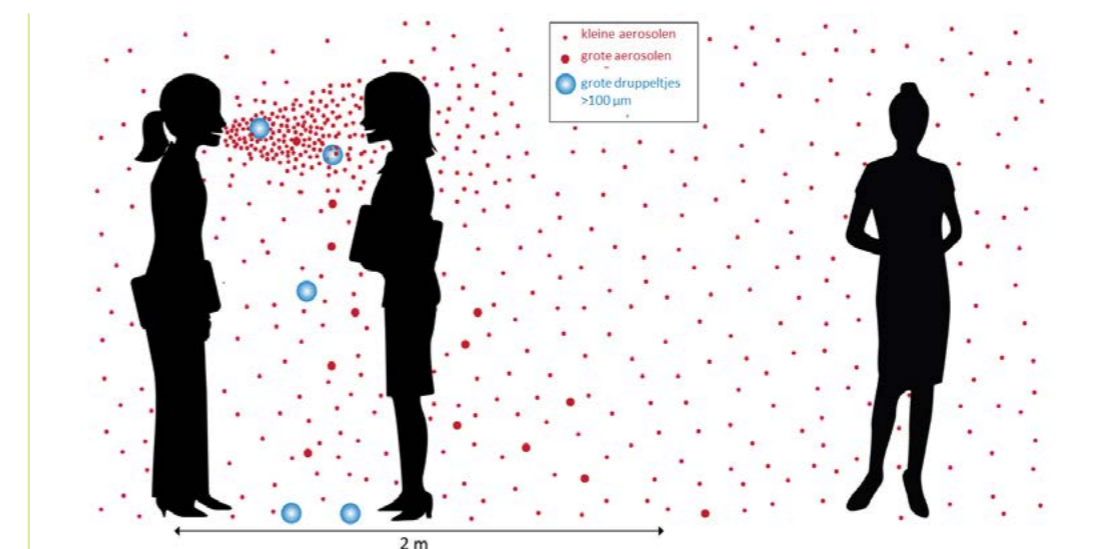
Rond diezelfde tijd kwam internationaal een groep wetenschappers (digitaal) bij elkaar om gezamenlijk op te trekken om de WHO te overtuigen dat men de luchttransmissieroute serieus moest nemen. Via publicaties [5,6], een open brief [7] en direct overleg met de WHO werden kleine stapjes gezet, maar uiteindelijk kostte het meer dan een jaar voordat de WHO haar standpunt officieel wijzigde. Achter de schermen werd wel gewerkt aan publicaties om de ventilatie in gebouwen op orde te brengen [8]. Over ventilatie later meer.

Ook het RIVM, en daarmee de overheid, kon toen niets anders dan hierin meegaan. Een open brief van een 20-tal wetenschappers in Nederland [9], onder aanvoering van Philomena Bluysen, en veel correspondentie met Tweede Kamerleden met Kamervragen en Moties tot gevolg [10] zorgde er uiteindelijk voor dat, bijna 1,5 jaar nadat we werden geconfronteerd met het SARS-CoV-2 virus, naast de drie bordjes met

afstand houden, handen ('kapot'...) wassen en testen nu ook een bordje 'lucht' verscheen. Het correcte begrip van het verschil tussen luchten en ventileren laten we hier even voor wat het is. In ieder geval is ventileren niet "15 minuten het raam openzetten". Ondertussen was door de overheid al wel geld gereserveerd (€ 360 miljoen, SUVIS-regeling periode 2021-2023) om de ventilatie in scholen te kunnen verbeteren om deze te laten voldoen aan de wettelijke normen voor ventilatie en werd door veel mensen het advies opgevolgd om toch vooral voldoende te ventileren.

Gezien de activiteiten ten aanzien van ventilatie, was er in de loop van 2020 bij de WHO en RIVM dus al wat ongemak zichtbaar over de starre positie die men ten aanzien van de luchttransmissieroute oorspronkelijk had ingenomen. Het is jammer (understatement) dat het zo lang heeft moeten duren voordat uiteindelijk werd onderkend dat men hier te kort door de bocht was gegaan. Men leunde lang op het standpunt dat er geen wetenschappelijk bewijs voor was en dat men het ook niet in de data kon terugvinden. Wellicht bedoelde zij de medische literatuur, maar dat is slechts een fractie van het totale aanbod. Natuurlijk was bij aanvang van de pandemie er nog veel onbekend en is het hen niet aan te rekenen dat ten aanzien van de luchttransmissieroute er nog veel onduidelijk was. Echter, vanuit een voorzorgsprincipe, zou je dan juist een ander standpunt verwachten. In ieder geval niet de stevige stellingname dat het niet via de lucht werd verspreid. Dat is niet de wetenschappelijke attitude die verondersteld had mogen worden.

Wat de situatie heeft laten zien is dat de problematiek van een pandemie zoals COVID-19 vraagt om een multidisciplinaire aanpak. Door gebruik te maken van de individuele expertise op het gebied van bijvoorbeeld virologie, epidemiologie, aerosol gedrag, stromingsdynamica, kan een beter en genuanceerder beeld worden gevormd van de situatie en hoe hier mee om te gaan. Er is in ieder geval ontzettend veel geleerd in het afgelopen jaar door te luisteren naar de inbreng van verschillende expertises. Dat is een belangrijke winst richting de toekomst.



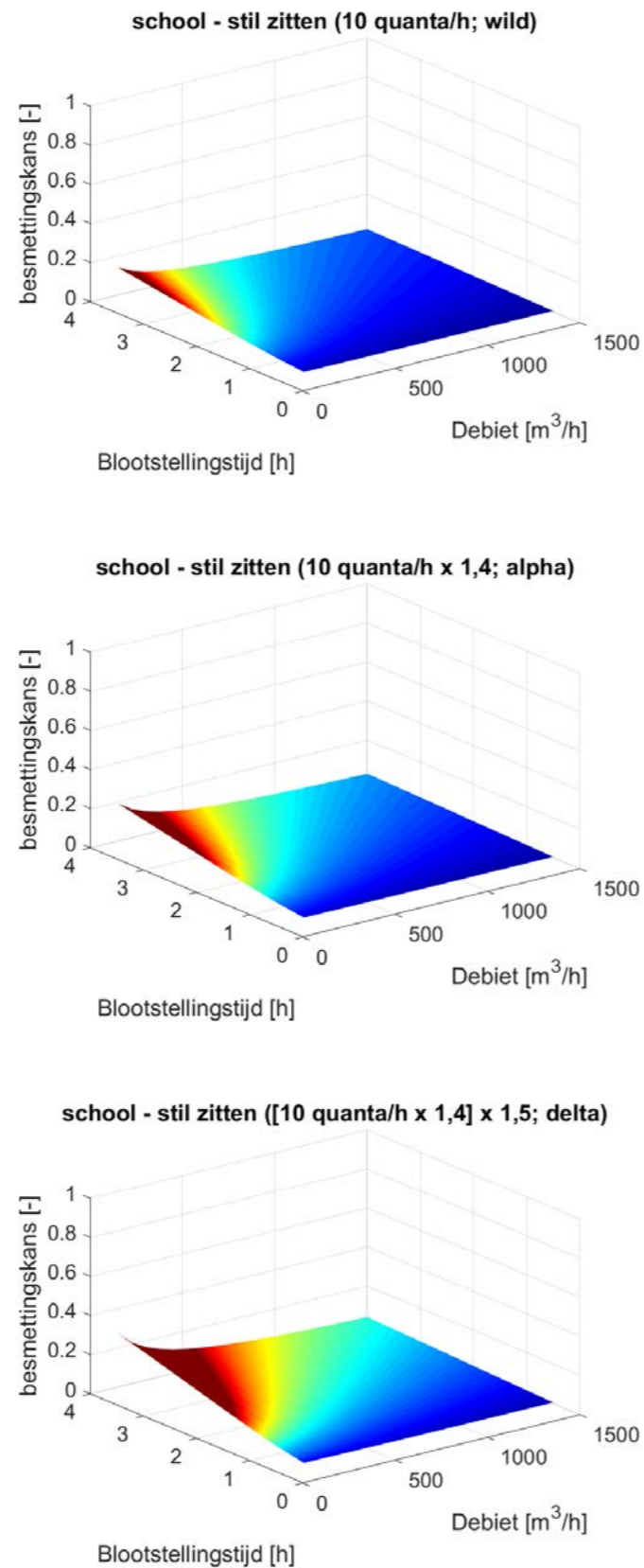
Figuur 1: Visualisatie van lucht- en directe transmissieroutes van een virus zoals SARS-CoV-2 (Aangepast uit [3]).

Van luchttransmissie naar ventilatie

Het feit dat de luchttransmissieroute ertoe doet roept vervolgens de vraag op hoe hier dan het beste mee om te gaan. Daarvoor is het goed om Figuur 1 nog een keer in ogenschouw te nemen. Dicht bij een persoon is de grootste concentratie aan aerosolen aanwezig. Aerosolen die potentieel virusdeeltjes kunnen bevatten. Verder weg neemt de concentratie af. Dit kan gedefinieerd worden als respectievelijk *short-range* and *long-range* blootstelling. Overigens is het aantal aerosolen, potentieel met virusdeeltjes, dat iemand produceert afhankelijk van de activiteit. Maar ook of iemand rustig ademt of dat die spreekt of schreeuwt/zingt maakt een verschil.

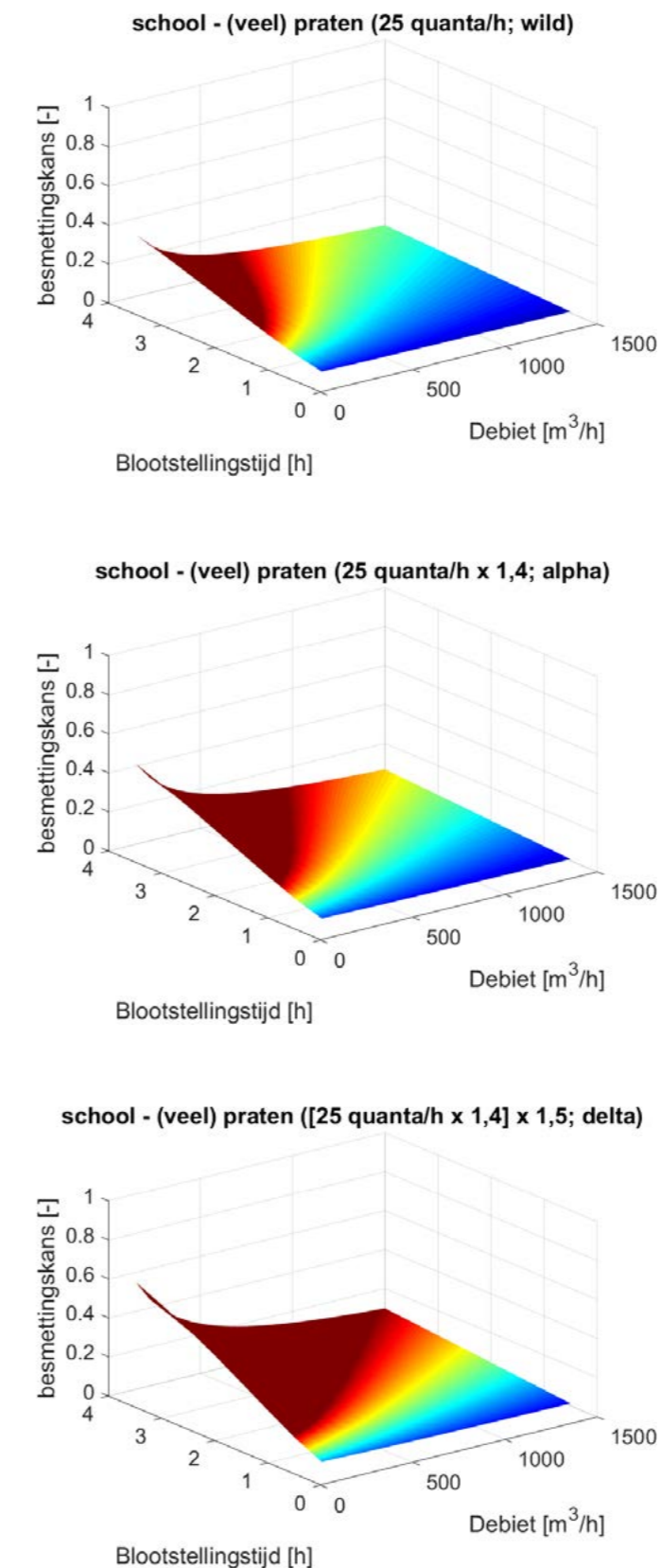
Om ziek te worden moet een minimaal aantal virusdeeltjes ingeademd worden, in de virologie de dosis genoemd. Als je dichtbij een persoon bent, zal dat dus sneller gaan dan wanneer je op een grotere afstand van die persoon staat. Nu is het niet eenvoudig om die concentratie aerosolen dichtbij de persoon te beïnvloeden met de middelen die we op dit moment in onze gebouwen beschikbaar hebben. Een mondneusmasker is een eenvoudig en effectief alternatief in dat geval. Om de concentratie op grotere afstand te reduceren kunnen we wel iets doen, extra ventileren en daarmee de concentratie aerosolen, door verdunning, verder omlaag brengen.

Echter, ook hier geldt dat ventilatie alleen niet zaligmakend is. De besmettingskans kun je ermee reduceren, maar per definitie nooit tot nul brengen. Daarnaast spelen andere zaken ook een rol, waarvan de besmettelijkheid van het virus en de tijdsduur waarover blootstelling plaatsvindt belangrijke parameters zijn. Om dat laatste wat inzichtelijk te maken is in Figuur 2 een indicatieve vergelijking gegeven van het effect van de besmettelijkheid en de blootstellingsduur en de ventilatiebehoefte om een bepaalde besmettingskans te realiseren. Dit is gedaan voor de originele versie van het SARS-CoV-2 virus (wild variant) en de twee belangrijkste varianten die tot nu toe zijn opgedoken, de Britse (alpha) variant en de delta-variant. Duidelijk hieruit is dat hoe besmettelijker het virus is, hoe meer ventilatie noodzakelijk is om gegeven een bepaalde blootstellingsduur de kans op een besmetting te beperken. De resultaten zijn verkregen met de Wells-Riley vergelijking, met een correctie voor de transiënte opbouw van de verontreiniging bij de start [11,12]. Overigens gaan we hierbij, zoals vaak, voor het gemak ervan uit dat de ventilatie in een ruimte perfect gemengd is. Dat is zeker niet per definitie het geval. Eigenlijk zou je ook de luchtstroming in een ruimte willen weten en op basis daarvan kijken naar de besmettingskans. In de praktijk zal een goede menging een redelijke benadering zijn, maar er zijn zeker situaties voor te stellen waarbij er een zogenaamde kortsluiting via de toe- en afvoer plaatsvindt. En dan kan er veel geventileerd worden, maar die bereikt dan niet alle delen van de ruimte.



Los van de luchtstroming, zal bij een meer besmettelijke variant het noodzakelijk kunnen zijn om aanvullende maatregelen te nemen om de besmettingskans voldoende laag te houden. In cafés en fitness-

Figuur 2: Indicatieve vergelijking besmettingskans bij verschillende varianten het SARS-CoV-2 virus [rijen] voor een schoolsituatie bij twee situaties (rustig [linker kolom] en veel praten [rechter kolom]). Klaslokaal volume 150 m³.



ruimtes, waar meer aerosolen worden uitgestoten door harder pratende gasten in een café en een hogere ademfrequentie bij sporters in een fitnessruimte, zal dit waarschijnlijk meer noodzakelijk zijn dan in een kapperszaak of een niet al te drukke winkel. In alle gevallen blijft desondanks staan dat een goede ventilatie het vertrekpunt zou moeten zijn. De voordelen van een goede ventilatie zijn niet alleen te vinden in een verlaging van de besmettingskans. Het is vanuit onderzoek al lange tijd bekend dat dit ook een positieve bijdrage levert op het gebied van gezondheidsklachten, productiviteit en leerprestaties. Momenteel wordt ventilatie vooral gezien als een manier om de besmettingskans te verlagen, maar een lagere blootstelling aan fijnstof en andere luchtverontreinigingen verlaagt ook de zieke last van chronische ziekten zoals bijvoorbeeld astma, COPD en hart- en vaatziekten. De huidige situatie zou dan ook aangegrepen moeten worden om dat te realiseren, voor nieuwbouw, maar zeker ook voor de bestaande bouwvoorraad.

Van ventilatie naar praktijk

De noodzaak van een goede ventilatie is met de COVID-19 pandemie en de onderkenning van het belang van de luchttransmissieroute duidelijk op de kaart komen te staan. En we zien dan ook een veel grotere aandacht daarvoor. De vraag is echter hoe vanuit deze theorie naar de praktijk te komen. Is de ventilatie op orde in een ruimte? Hoe bepaal je dat? Wat kun je doen om een situatie te verbeteren?

De overheid is in oktober 2021 een campagne gestart 'Ventileren zo gedaan' [13]. Dit is een invulling door TNO, uitgevoerd met behoorlijk strenge randvoorwaarden ten aanzien van het uiteindelijke product. Denk hierbij onder andere aan de insteek dat het bouwbesluit als voldoende wordt beschouwd. Op zich een goed initiatief en het zou zeker mooi zijn wanneer we onze gehele bouwvoorraad op tenminste bouwbesluit niveau kunnen krijgen. Dan zou al heel wat gewonnen zijn wanneer we het over ventilatie in het algemeen hebben.

Echter, het is nog niet zo eenvoudig om met de binnen die campagne beschikbare gegevens daadwerkelijk iets te zeggen over het ventilatieniveau. Daarom is door TVVL en Binnenklimaat Nederland al eerder gekeken naar de ontwikkelingen in België en de producten die daar zijn gerealiseerd. In België is voor de zomer een eis gesteld aan de CO₂-concentratie in openbare ruimtes [14]. Die eis heeft een CO₂-concentratie van 900 ppm als uitgangspunt en bij regelmatige overschrijding van de concentratie van 1200 ppm in het extreme geval zelfs sluiting van de ruimte (denk bijvoorbeeld aan een café). Behorend bij deze eis zijn er ook documenten ontwikkeld om te bepalen hoe de ven-

tilatie in ruimtes is. In september 2021 is een Nederlandse 'vertaling' van dat document beschikbaar gekomen [15; www.binnenklimaattechniek.nl/corona]. Het biedt meer uitgebreide handvatten om de ventilatie te bepalen en mogelijkheden om die te verbeteren mocht dat nodig zijn en sluit aan op de Quickscans die al eerder beschikbaar waren via Masterplan Ventilatie.

De uitwerking van het vertaalde Belgische document is opgebouwd rond het stroomschema zoals weergegeven in Figuur 3. Het doorloopt de stappen die uiteindelijk inzicht geven in de ventilatiesituatie in een ruimte en wat eventueel gedaan moet/kan worden in het geval die situatie nog niet in orde is.

Belangrijke onderdelen in het document vormen onder andere de meting van de CO₂-concentratie wanneer het debiet niet eenvoudig gemeten kan worden. Ook het effect van open ramen en deuren wordt gekwantificeerd. Daarnaast is in de ge-update versie van het rapport, en ook in de NL-versie, het activiteitsniveau veel uitgebreider meegenomen. Een verschillende activiteit leidt tot een verschillend metabolisme en dus CO₂-productie, nog los van de leeftijd van een persoon. Tevens is de bezetting cruciaal om een vertaling te kunnen maken van de gemeten CO₂-concentraties naar het ventilatieniveau.

Het gebruik van de CO₂-concentratie voor de inschatting van het ventilatieniveau is niet zaligmakend. Er zijn zeker de nodige haken en ogen bij het gebruik van de CO₂-concentratie te benoemen. Echter, het is wel een van de weinige methodes om op een relatief eenvoudige manier iets te zeggen over die ventilatie, als het meten van het ventilatiedebiet in de praktijk niet goed mogelijk is. Het rapport probeert de nodige aanwijzingen te geven om zo goed mogelijk het ventilatiedebiet vanuit die CO₂-concentratie te bepalen. In die zin wijkt de NL-versie iets af, doordat is gepoogd alle informatie zo aan te bieden dat een willekeurig gewenste CO₂-concentratie als uitgangspunt kan worden genomen. Evenals de Belgische versie is echter 900 ppm (ofwel +450 ppm boven het achtergrondniveau) steeds gebruikt als een redelijk uitgangspunt. Dit komt overeen met Klasse B in het Programma van Eisen Gezonde Kantoren [16].

Het document omvat ook informatie over het gebruik van een CO₂-sensor, verwijst naar een tool die inzicht geeft in het verloop van de CO₂-concentratie en over de combinatie met eventuele additionele luchtreiniging. Het probeert daarmee een zo volledig mogelijk beeld te geven. Voor de eindgebruiker van een ruimte zal het document daarmee wellicht iets te complex te zijn geworden, maar hopelijk maakt het deze eindgebruiker wel voldoende kritisch om bijvoorbeeld de gebouwbeheerder aan te spreken op het onderwerp. Voor die gebouwbeheerder of gebouw eigenaar (verhuurder), eventueel ondersteund door de vaste adviseur(s), biedt het hopelijk wel een goed en helder stappenplan om de inventarisatie te maken.

Het doorlopen van het stappenplan, en het realiseren van een ventilatie-

niveau dat resulteert in bijvoorbeeld een CO₂-concentratie van 900 ppm, betekent dus niet perse dat het bijbehorende ventilatieniveau in alle gevallen voldoende is om de besmettingskans tot het gewenste niveau te beperken. Dat moet per situatie worden beoordeeld. Uitgangspunt daarbij is welke besmettingskans voor die situatie als acceptabel wordt geacht. Het activiteitsniveau en de blootstellingstijd zijn daarbij ook belangrijke parameters. Nogmaals moet gemeld worden dat we het in dit geval enkel hebben over de kans op besmetting op een afstand >1,5 m (long-range) en dat een goed gemengde situatie in het algemeen het uitgangspunt is. Zeker voor grotere ruimtes zal dit niet altijd gelden en wordt ook aangeraden op meerdere plekken te meten. Aan de bepaling van de besmettingskans zijn daarnaast ook nog de nodige onzekerheden verbonden, met name daar waar het gaat over het aantal quanta dat iemand produceert. Met de rekentool Indicator besmettingskans via aerosolen van het Masterplan Ventilatie (www.masterplanventilatie.nl) kan met deze variabelen rekening gehouden worden om een beter gevoel te krijgen wat dat betekent voor het ventilatieniveau om een besmettingskans onder een bepaald percentage te houden.

Naast ventilatie zal een combinatie met andere maatregelen wenselijk blijven wanneer het gaat om COVID-19 en potentiële andere pathogenen die een luchttransmissieroute kennen. Denk bijvoorbeeld aan, los van afstand houden, vaccinatie, thuisblijven als je ziek bent, in je elleboog hoesten/niezen en maskergebruik.

Wanneer is er een probleem? Een situatie waarbij af en toe de 900 ppm (hier weer even als voorbeeld concentratieniveau gesteld) wordt overschreden, zal niet direct problematisch zijn. Echter, het kwaliteitsniveau van de ventilatie voor een schoolklas in het primair onderwijs, waarbij de CO₂-concentratie snel oploopt naar 1200 ppm mag duidelijk lager worden verondersteld dan eenzelfde niveau in een nachtclub waar (jong) volwassenen aan het dansen zijn.

Actie bij de eerste lijkt dus eerder wenselijk dan bij de tweede. Anderzijds zal, gezien het activiteitsniveau (en waarschijnlijk ook het zingen...) in combinatie met de tijdsduur, de besmettingskans in de tweede situatie waarschijnlijk hoger zijn. Er zijn dus geen algemeenheden, hoe handig dat ook zou zijn. Alles moet in de juiste context geplaatst worden om tot de juiste afwegingen te komen.

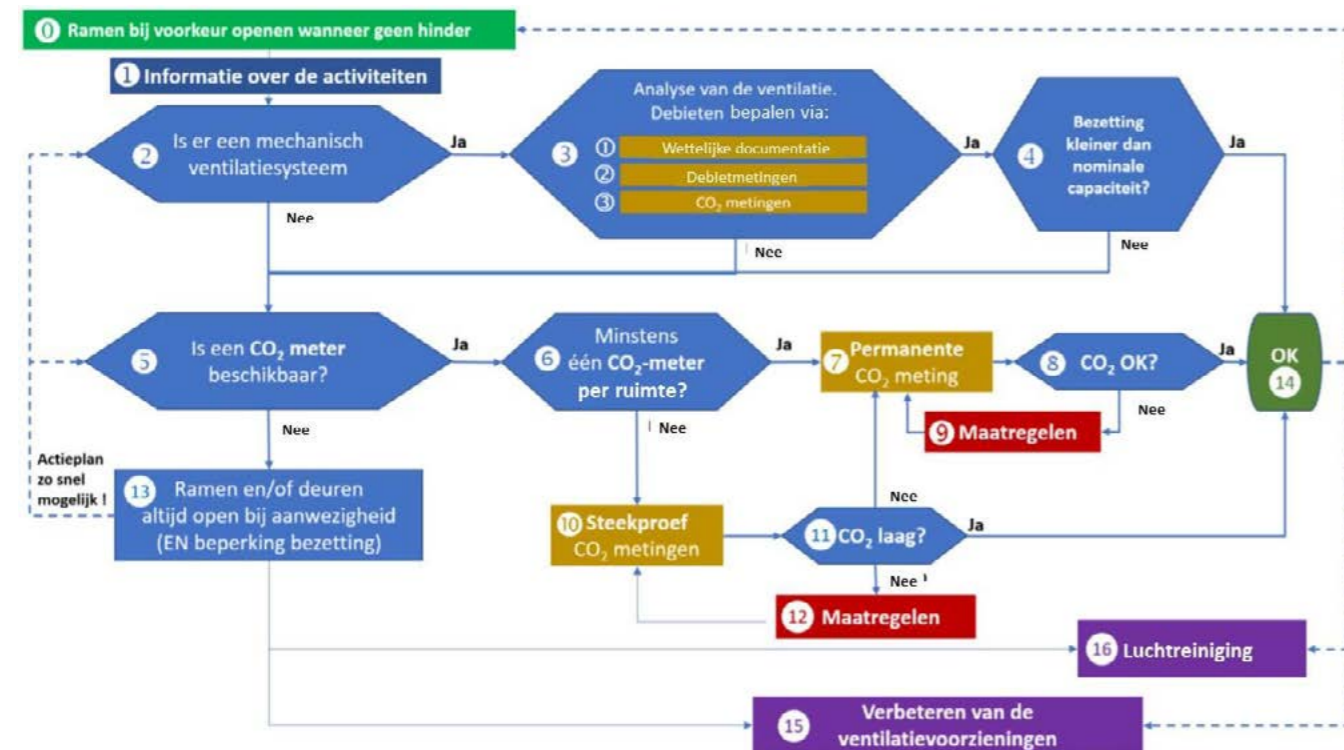
Tot slot

Met dit laatste voorbeeld wordt eens te meer duidelijk gemaakt dat COVID-19 ons op een hernieuwde manier naar ventilatie heeft laten kijken. Hernieuwd, omdat ruim honderd jaar geleden ventilatie vooral werd gerelateerd aan infecties en gezondheid [17]. In de loop der tijd heeft dat plaats gemaakt voor perceptie (geur) en heeft ook energie/duurzaamheid een positie gekregen in de discussie over het minimale ventilatiedebiet. Het is waar dat in de huidige gebouwvoorraad, zeker waar geen sprake is van warmterugwinning (type D), extra ventileren tot meer warmteverlies zal leiden dat gecompenseerd zal moeten worden. Echter, dan komen we bij de discussie gezondheid versus energiegebruik. De mening van de auteurs is dat gezondheid dan op de eerste plaats zou moeten komen. De maatschappelijke kosten door dit niet te doen zijn veel te hoog. Dat heeft deze pandemie ons wel geleerd. Maar ook de zorgkosten zullen enorm stijgen in een vergrijzende samenleving als wij de volksgezondheid niet op één zetten bij het ontwikkelen van gebouwen en het beheer daarvan. Pas dan is de volgende vraag aan de orde hoe dit op een zo energie-efficiënte manier te doen. Dat is de volgorde. De noodzaak om meer te ventileren zou dus eigenlijk iedereen moeten uitnodigen om, voor de korte termijn, met innovatieve ideeën te komen dat op een energiezuinige wijze te doen. Zeker voor de bestaande gebouwvoorraad die natuurlijk geventileerd wordt of met een mechanische toe- of afvoer is uitgerust (type A-C), is daar zeker nog wat te winnen. Zulke innovaties zullen niet alleen interesse wekken in Nederland...

Dankwoord

Voor de NL-vertaling van het Belgische document over ventilatie in relatie tot COVID-19 zijn we zeer erkentelijk richting de Belgische werkgroep en stuurgroep, die dit document hebben opgesteld en de mogelijkheid om dit te kunnen gebruiken in licht aangepaste vorm voor Nederland.

Figuur 3: Stroomschema voor het beoordelen van de ventilatiesituatie in een ruimte.



Referenties

- WHO. 2021. Tweet: FACT #COVID19 is NOT airborne. 28 maart 2020 Twitter. https://twitter.com/WHO/status/1243972193169616898?tw=2VvQjLbDCYox_CTPdApHaA&s=09
- Tang, J.W. Bahnfleth W.P. et al. 2021. Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *Journal of Hospital Infection* 110: 89-96 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.022>
- Jimenez, J., Marr, L. et al. 2021. Echoes Through Time: The Historical Origins of the Droplet Dogma and its Role in the Misidentification of Airborne Respiratory Infection Transmission (August 11, 2021; niet peer-reviewed) <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3904176>
- Greenhalgh, T., Jimenez, J.L., Prather, K. A., et al., 2021. Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *The Lancet* 397, 10285. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00869-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-2)
- Morawska, L., Allen, J., et al. 2021. A paradigm shift to combat indoor respiratory infection: Building ventilation systems must get much better. *Science*, 372(6543), 689-691. <https://doi.org/10.1126/science.abg2025>
- Morawska, L., Tang, J. W., et al. 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- Morawska, L. en Cao, J. 2021. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>
- WHO. 2021. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>
- <https://nos.nl/nieuwsuur/artikel/2389147-vervang-icoontje-handen-wassen-door-goed-ventileren>
- Rijksbegroting XVI Volksgezondheid, Welzijn en Sport Rijksbegroting 2022
- Loomans, M.G.L.C. et al. 2020. Rekenen aan het risico op infecties. *TVVL Magazine*, 2020/no.5, pp. 43-47.
- Miller, S. Nazaroff, W. et al. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air*, Issue 31/2. <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
- <https://www.ventilerenzogedaan.nl/> (laatst bezocht 12 oktober 2021)
- <https://www.info-coronavirus.be/nl/ventilatie/> (laatst bezocht 12 oktober 2021)
- <https://www.binnenklimaattechniek.nl/algemeen/corona-binnenklimaattechniek/> (laatst bezocht 12 oktober 2021)
- TVVL, Binnenklimaat Nederland. 2021. Programma van Eisen Gezonde Kantoren. <https://www.binnenklimaattechniek.nl/kwaliteit/pve-gezonde-kantoren/> (laatst bezocht 12 oktober 2021)
- Janssen, J., 1999. The history of ventilation and temperature control: The first century of air conditioning. *ASHRAE Journal* 41(10): 47-52.