

Position paper Binnenklimaat Nederland – Meten is weten

Het coronavirus blijft onder ons. Het uitgangspunt van de langetermijnstrategie van de overheid is echter een open samenleving¹. Om dat te bereiken moeten we de samenleving weerbaar maken tegen oplevingen van het coronavirus of andere virussen. Onderdeel daarvan is een veilige werk-, leer- en woonomgeving waar virussen minder kans krijgen. De belangrijke preventiemaatregel om het risico op overdracht van virussen te verkleinen is een gezond binnenklimaat. De verspreiding van het coronavirus vindt immers grotendeels plaats via druppels in de lucht (zie voor de onderbouwing van dit paper de wetenschappelijke bijlage in dit document).

De coronapandemie legt zwakheden bloot

Veel (verouderde) openbare gebouwen beschikken niet over voldoende ventilatiecapaciteit om de besmettingskans voldoende te verlagen. Tijdens de coronapandemie ontstond er met name een discussie over de achterstand van het binnenklimaat in scholen. Het probleem is echter breder en speelt ook in andere (openbare) gebouwen een rol. Die achterstand is bovendien schadelijk voor de algehele volksgezondheid. 60% tot 95% van de schadelijke stoffen waar de longen mee in aanraking komen, ademen we in binnenruimten in. Dit heeft grote negatieve effecten op de gezondheid, en leidt bv. tot (blijvende) luchtwegklachten, productiviteitsverlies, slaapproblemen en hart- en vaatziekten². Een goede preventieaanpak vraagt daarom erkenning van het belang van een gezond binnenklimaat.

Nederland loopt achter met de aanpak van het binnenklimaat

Sinds het begin van de coronapandemie zijn er landelijk (naast advies) echter geen tastbare maatregelen genomen om het binnenklimaat in openbare gebouwen te verbeteren. Daarmee loopt Nederland achter. In België is inmiddels een landelijk ventilatieplan aangekondigd, om het binnenklimaat te meten en stimuleren in alle publiek toegankelijke gebouwen, zoals bv. in de horeca, bioscopen en sportgelegenheden³. De beheerder van het gebouw wordt gevraagd om de luchtkwaliteit te monitoren, een risicoanalyse uit te voeren en evt. maatregelen te nemen. De regering wil op die manier een van de lessen van de pandemie - het belang van een gezond binnenklimaat - meenemen naar de toekomst.

Stel een landelijk ventilatieplan op voor een open samenleving

In de brief over de langetermijnstrategie⁴ staat dat er met diverse departementen en sectoren wordt gekeken waar de meeste winst in ventilatie behalen valt. Deze inzet is welkom, maar mogelijk ontbreken concrete landelijke richtlijnen en sturing van de overheid in deze aanpak. Dat is een gemiste kans. Een gezond binnenklimaat zorgt ervoor dat ondernemers open kunnen blijven of veilig meer capaciteit kunnen toelaten. Bovendien bevordert dat altijd de volksgezondheid. **Binnenklimaat Nederland pleit daarom voor een landelijk plan voor een gezond binnenklimaat en de noodzakelijk rol die ventilatie daarin heeft. Een plan dat bovendien perspectief biedt voor ondernemers en bijdraagt aan een open samenleving. Hierin zou het meten van de luchtkwaliteit centraal moeten staan. Kortom: meten is weten!**

¹ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/04/01/langetermijnstrategie-covid-19>

² Air Infiltration and Ventilation Centre, Technical note AIVC 68, Residential ventilation and health (2016) p. 16
https://www.aivc.org/sites/default/files/TN68_Health%26Ventilation.pdf

³ <https://www.demorgen.be/nieuws/groot-ventilatieplan-op-komst-voor-alle-publiek-toegankelijke-plaatsen~ba78aff8/>

⁴ Blz. 12 <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/04/01/kamerbrief-over-lange-termijn-aanpak-covid-19>

Hoe kunnen we dat concreet aanpakken?

- Het binnenklimaat is de belangrijkste factor die bepaalt of bv. kapperszaken, scholen of horecagelegenheden veilig zijn voor bezoek. Pak daarom net als in België centraal de regie over een **landelijk plan voor het binnenklimaat in alle publieke gebouwen, in samenwerking met diverse sectoren zoals Binnenklimaat Nederland**
 1. **Metten is de basis.** CO₂-meters kunnen een goede indicatie geven van de luchtkwaliteit en het besmettingsrisico. Inmiddels worden alle klaslokalen in Nederland voorzien van CO₂-meters. Stimuleer CO₂-metingen in alle publieke gebouwen⁵, net als in België.
 2. **Koppel een gezonde CO₂-waarde aan het openblijven van sectoren of minder capaciteitsbeperkingen.** Zodat beheerders van een gebouw die aan kunnen tonen dat hun gebouw veilig is perspectief hebben en niet (onnodig) hoeven te sluiten.
 3. **Zorg dat beheerders maatregelen kunnen nemen om hun gebouw veilig te maken.** Vanwege de gezondheid is voldoende ventilatiecapaciteit altijd de basis. Dat kan door het moderniseren van ventilatiesystemen of correct gebruik van bestaande installaties⁶. Indien nodig kunnen ondernemers aanvullende maatregelen nemen zoals het openen van ramen buiten het stookseizoen of het aantonen van de aanwezigheid van een luchtreinigingssysteem. Zorg daarbij wel voor kwaliteitseisen aan de beschikbare toepassingen, zodat gelukszoekers die niet aan controle onderhevig zijn, geweerd worden.
- **Stel een onderzoeksagenda op:** (I) onderzoek de staat van het binnenklimaat in openbare gebouwen (II) onderzoek in welke mate de combinatie van ventilatie en luchtreiniging de verspreiding van virussen tegengaan en (III) de langetermijneffecten van het binnenklimaat op de gezondheid. Vertaal de uitkomsten naar een innovatieagenda en concrete normen en richtlijnen.
- **Ondersteun ondernemers bij het benutten van innovatieve systemen.** Stel daarvoor een subsidieregeling op voor een selectie van sectoren die tijdens de coronapandemie moesten sluiten. Stimuleer de aanschaf van CO₂-meters, (energiezuinige) vraaggestuurde ventilatie, luchtreiniging en andere innovatieve toepassingen.
- **Informeel over het belang van een gezond binnenklimaat via een communicatiecampagne.** Maak gebruik van de inzet en kennis van de sector en maatschappelijke partijen zoals het consortium Gezond Binnen⁷. Benadruk daarbij ook wat de burger zelf kan doen om het binnenklimaat te verbeteren, zonder technische aanpassingen.
- De eisen aan het binnenklimaat vanuit het Bouwbesluit hebben voornamelijk betrekking op de inrichting van een gebouw, geur en op comfort, niet op gezondheid of virussen⁸. Deze norm is dus achterhaald. Bovendien is het binnenklimaat na oplevering niet meer aan controle onderhevig. Dat draagt niet bij aan een open samenleving. **Stel daarom in het Bouwbesluit meetbare eisen aan de kwaliteit van het binnenklimaat. De CO₂-gehalte zou hier een centrale rol in moeten krijgen.** Hier zijn al nuttige tools en richtlijnen voor, zoals het Programma van Eisen Gezonde Kantoren⁹.

⁵ In oktober 2021 hebben Binnenklimaat Nederland en TVVL de petitie 'Meten is Weten' aangeboden aan de leden van de vaste Kamercommissie Volksgezondheid, Welzijn en Sport, waarin zij pleitten voor CO₂-metingen in publieke gebouwen.
<https://www.binnenklimaattechniek.nl/wp-content/uploads/2021/10/Digitaal-Position-paper-Meten-is-weten-Binnenklimaattechniek.pdf>

⁶ Bestaande installaties kunnen - met door de markt ontwikkelde praktische tools en handvaten - verbeterd worden zie ook:
<https://www.binnenklimaattechniek.nl/>

⁷ Het platform gezond binnen is een functioneel platform vol tips en adviezen over een gezond binnenklimaat, en is een samenwerking van TNO, Longfonds, Heijmans, Philips, ISIAQ, Nationale Nederlanden, VELUX en Binnenklimaat Nederland. Zie ook haar website:
<https://gezondbinnen.nl/>

⁸ Alders E.E., e.a., 2020. Corona en de toekomst van ventilatie-eisen in Nederland. TVVL Magazine 5 oktober 2020,
<https://www.masterplanventilatie.nl/wp-content/uploads/2020/11/Corona-en-de-toekomst-en-ventilatie-eisen-in-Nederland-TM52020-1.pdf>

⁹ <https://www.binnenklimaattechniek.nl/document/pve-gezonde-kantoren-2021/>

Bijlage: COVID-19 en ventilatie

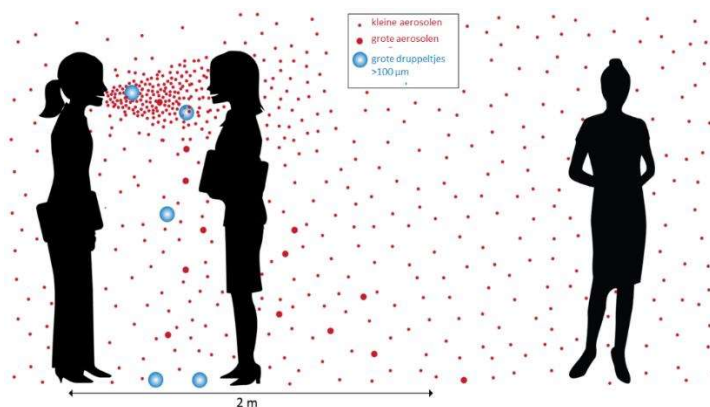
Dit verhaal is voor een gedeelte gebaseerd op een publicatie die eerder is verschenen in TVVL Magazine nr. 6 (december 2021). Referentie: Loomans, M. G. L. C., & Franchimon, F. (2021). *De COVID-19 ervaring en ventilatie: wat heeft het ons gebracht?* TVVL Magazine, 2021(6), 14-19.

Inleiding

Nu we twee jaar verder zijn in de pandemie die door het SARS-CoV-2 virus is veroorzaakt, is het onderwerp ventilatie stevig op de agenda komen te staan. Dat is een positieve ontwikkeling, hoewel het jammer is dat een pandemie nodig was om het belang van een goede ventilatie, gezondheidstechnisch, maar uiteindelijk ook economisch, voor het voetlicht te krijgen [1,2]. Op papier leek het goed geregeld via het Bouwbesluit, maar de praktijk is duidelijk weerbarstiger. Daarnaast voorziet de huidige regelgeving niet expliciet in een pandemie zoals COVID-19.

De rol van ventilatie – aerosolen versus druppeltjes

Het is belangrijk om in de discussie over de besmettingskans de rol van ventilatie hierin helder te hebben en ook zuiver te voeren. Bij aanvang van de pandemie was de veronderstelling dat deeltjes $>5\ \mu\text{m}$ binnen 1-2 m op de grond vallen. Deze deeltjes worden druppeltjes genoemd. Met aerosolen werden 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 [3,4]. 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). Dit onderscheid wordt in het algemeen aangeduid als 'short-range', terwijl op grotere afstand wordt gesproken van 'long-range'. Inmiddels is er genoeg bewijs voor de bijdrage van de aerogene transmissieroute in de besmetting met SARS-CoV-2 [5,6]. Hierbij wordt ook meegenomen dat bij aerogene transmissie de short-range overdracht een belangrijk onderdeel is [7,8].



Figuur 1. Visualisatie van lucht- en directetransmissieroutes van een virus zoals SARS-CoV-2 (Aangepast uit [3];[9]).

Ook studies van het RIVM onderschrijven de mogelijkheid van aerogene transmissie en de rol van ventilatie hierin [10]. Een recente nog niet gepeer-reviewde studie naar de levensvatbaarheid (inactivatie) van het SARS-CoV-2 virus geeft nieuwe inzichten ten aanzien van de tijdsduur waarbinnen inactivatie plaats vindt ten opzichte van eerdere resultaten [11,12]. Echter, ook wanneer men uitgaat van die bevindingen, dan nog kan ventilatie hier een rol spelen, en niet alleen voor de short-range blootstelling.

Ventilatiehoeveelheid versus ventilatie effectiviteit

Het belang van ventilatie wordt momenteel met name uitgedrukt in indicatoren zoals een minimaal ventilatievoud [h^{-1}], het aantal maal per uur dat het volume van een ruimte wordt doorspoeld met 'schone' lucht. Dit vraagt dus om kennis van het volume van de ruimte. Het ventilatiedebiet [m^3/h], eventueel per persoon waarop het is ontworpen, biedt een wat algemener beeld. Als alternatief wordt ook de concentratie CO_2 gebruikt om iets te zeggen over de hoeveelheid ventilatie. Hierbij wordt de link gelegd tussen het feit dat wij mensen CO_2 produceren [13] en de gemeten CO_2 concentratie zich laat terugrekenen naar een orde grootte ventilatiedebiet [14], en eventueel de besmettingskans [15]. Echter, uitgangspunt hierbij is in het algemeen een (theoretisch) perfect gemengde situatie. In de praktijk is dat min of meer niet te realiseren, dan wel vast te stellen. Dit los van het feit dat de effectiviteit van ventileren op dit moment eigenlijk nog nauwelijks aandacht krijgt, terwijl daar zeker mogelijkheden lijken te liggen [16]. Enerzijds, doordat dit energetisch meer verantwoord is, i.e. met minder lucht kan hetzelfde bereikt worden. Anderzijds, door ook na te denken over lokale oplossingen van ventileren kan niet alleen de effectiviteit worden verhoogd, maar kan ook meer gericht een aanpak ontwikkeld worden die de short-range blootstelling kan beperken [17,18]. Het gebruik van schermen om dit te beïnvloeden in bestaande situaties lijken minder effectief, en afhankelijk van de situatie en het gekozen ventilatie regime [19,20].

Lokaal ventileren en reinigen

De meerwaarde van (lokaal) efficiënter ventileren kan ook gevonden worden in het feit dat vanwege de infectiviteit van de Delta-variant van het SARS-CoV-2 meer ventilatie nodig is om de besmettingskansen te beperken. Voor de besmettelijkere Omikron-variant zullen nog grotere debieten nodig zijn. Om in tijden van een pandemie hierop te kunnen anticiperen kan het gebruik van luchtreinigers als aanvulling op ventilatie een (tijdelijke) oplossing zijn. Luchtreinigingstechnieken kunnen namelijk aerosolen die pathogenen bevatten uit de lucht filteren of pathogenen inactiveren. Dit vervangt niet de ventilatie, die moet altijd aanwezig zijn, maar kan effectief ingezet worden [21–23]. Belangrijk is dat bij toepassing van deze technieken voldaan wordt aan veiligheid en gezondheid voorschriften, zoals grenswaarden voor ozonconcentratie veroorzaakt door de luchtreiniger.

Een net gestart groot onderzoek in 1000 klaslokalen (500 met luchtreiniging, 500 controle) probeert die effectiviteit verder te onderzoeken [24]. Toepassing van decentrale luchtreinigers is iets dat in deze pandemie een vlucht heeft genomen. Gezien het aanbod en de mogelijkheden lijkt de behoefte aanwezig om de inzet van dit type oplossingen wat meer te reguleren en de optimalisatie qua inzet verder te onderzoeken. Gerelateerde vraagstukken raken aan onderwerpen als effectiviteit, verifieerbaarheid en veiligheid. Benadrukt wordt nogmaals dat luchtreinigers ventilatie niet vervangen, maar aanvullend zijn.

Andere strategieën

Los van ventilatie zoals hierboven besproken, moet in de toekomst bij het ontwerp van gebouwen meer rekening gehouden gaan worden met infecties zoals we die nu zien met corona. Dan gaat het om het ontwerp van gebouwen, en bouwkundige en installatietechnische maatregelen die ingezet kunnen worden om de besmettingskans te beperken. Denk hierbij bijvoorbeeld aan routing, inrichting, het toepassen van drukhiërarchie, sensoren die pathogenen kunnen meten etc. De gedachte kan zijn dat een gebouw op een verschillend niveau kan functioneren naar gelang de situatie erom vraagt, van alert zijn op besmetting tot een kritieke situatie.

Ventilatie alleen is niet zaligmakend. De besmettingskans kun je ermee reduceren, maar per definitie nooit tot nul brengen. Aanvullende maatregelen blijven belangrijk, waarvan min of meer vanzelfsprekend de belangrijkste is om geen bron te hebben. 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.

Inventarisatie en korte termijn acties

De vraag is dan 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' [25]. Dit is een invulling door TNO op verzoek van het Ministerie van VWS, 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 het huidige 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 september 2021 is een document beschikbaar gekomen dat min of meer een 'vertaling' is van een van die producten [14]. Het biedt meer uitgebreide handvatten om de ventilatie te bepalen en mogelijkheden om die te verbeteren mocht dat nodig zijn. Ook hier speelt het meten van CO₂ een rol om een indicatie van de ventilatie te krijgen. Het

blijft belangrijk om in het achterhoofd te houden dat de CO₂-concentratie zich niet 1-op-1 laat vergelijken met de verspreiding en concentratie van pathogenen.

Referenties

- [1] J. Sundell, H. Levin, W.W. Nazaroff, W.S. Cain, W.J. Fisk, D.T. Grimsrud, F. Gyntelberg, Y. Li, A.K. Persily, A.C. Pickering, J.M. Samet, J.D. Spengler, S.T. Taylor, C.J. Weschler, Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature, *Indoor Air*. 21 (2011) 191–204.
<https://doi.org/10.1111/J.1600-0668.2010.00703.X>.
- [2] W.J. Fisk, The ventilation problem in schools: literature review, *Indoor Air*. 27 (2017) 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/ina.12403>.
- [3] J. Jimenez, L. Marr, K. Randall, E.T. Ewing, Z. Tufekci, T. Greenhalgh, D.K. Milton, R. Tellier, J. Tang, Y. Li, L. Morawska, J. Mesiano-Crookston, D. Fisman, O. Hegarty, S. Dancer, P. Bluyssen, G. Buonanno, M. Loomans, W. Bahnfleth, M. Yao, C. Sekhar, P. Wargocki, A.K. Melikov, K. Prather, Echoes Through Time: The Historical Origins of the Droplet Dogma and its Role in the Misidentification of Airborne Respiratory Infection Transmission, *SSRN Electron. J.* (2021).
<https://doi.org/10.2139/SSRN.3904176>.
- [4] K. Randall, E.T. Ewing, L.C. Marr, J.L. Jimenez, L. Bourouiba, How did we get here: what are droplets and aerosols and how far do they go? A historical perspective on the transmission of respiratory infectious diseases, *Interface Focus*. 11 (2021).
<https://doi.org/10.1098/RSFS.2021.0049>.
- [5] T. Greenhalgh, J.L. Jimenez, K.A. Prather, Z. Tufekci, D. Fisman, R. Schooley, Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2, *Lancet*. 397 (2021) 1603–1605.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00869-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-2).
- [6] Z. Peng, A.L.P. Rojas, E. Kropff, W. Bahnfleth, G. Buonanno, S.J. Dancer, J. Kurnitski, Y. Li, M.G.L.C. Loomans, L.C. Marr, L. Morawska, W. Nazaroff, C. Noakes, X. Querol, C. Sekhar, R. Tellier, T. Greenhalgh, L. Bourouiba, A. Boerstra, J.W. Tang, S.L. Miller, J.L. Jimenez, Practical Indicators for Risk of Airborne Transmission in Shared Indoor Environments and Their Application to COVID-19 Outbreaks, *Environ. Sci. Technol.* (2022) acs.est.1c06531.
<https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C06531>.
- [7] W. Chen, N. Zhang, J. Wei, H.L. Yen, Y. Li, Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact, *Build. Environ.* 176 (2020) 106859.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106859>.
- [8] J. Wagner, T.L. Sparks, S. Miller, W. Chen, J.M. Macher, J.M. Waldman, Modeling the impacts of physical distancing and other exposure determinants on aerosol transmission, *J. Occup. Environ. Hyg.* 18 (2021) 495–509.
https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1963445/SUPPL_FILE/UOEH_A_1963445_SM9322.PD

- F.
- [9] M.G.L.C. Loomans, F. Franchimon, De COVID-19 ervaring en ventilatie: wat heeft het ons gebracht?, TVVL Mag. 2021 (2021) 14–19. <https://research.tue.nl/en/publications/de-covid-19-ervaring-en-ventilatie-wat-heeft-het-ons-gebracht> (accessed January 31, 2022).
 - [10] J. Schijven, L.C. Vermeulen, A. Swart, A. Meijer, E. Duizer, A.M. de Roda Husman, Quantitative Microbial Risk Assessment for Airborne Transmission of SARS-CoV-2 via Breathing, Speaking, Singing, Coughing, and Sneezing, *Environ. Health Perspect.* 129 (2021) 47002. <https://doi.org/10.1289/EHP7886>.
 - [11] H.P. Oswin, A.E. Haddrell, M. Otero-Fernandez, J.F.S. Mann, T.A. Cogan, T. Hilditch, J. Tian, D. Hardy, D.J. Hill, A. Finn, A.D. Davidson, J.P. Reid, J. Reid, A. Davidson, A. Haddrell, The Dynamics of SARS-CoV-2 Infectivity with Changes in Aerosol Microenvironment, *MedRxiv.* (2022) 2022.01.08.22268944. <https://doi.org/10.1101/2022.01.08.22268944>.
 - [12] N. Van Doremalen, T. Bushmaker, D.H. Morris, M.G. Holbrook, A. Gamble, B.N. Williamson, A. Tamin, J.L. Harcourt, N.J. Thornburg, S.I. Gerber, J.O. Lloyd-Smith, E. De Wit, V.J. Munster, Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1, *N. Engl. J. Med.* 382 (2020) 1564–1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
 - [13] P. A, de J. L, Carbon dioxide generation rates for building occupants, *Indoor Air.* 27 (2017) 868–879. <https://doi.org/10.1111/INA.12383>.
 - [14] M. Loomans, Ventilatie in relatie tot COVID-19 en een goede binnenluchtkwaliteit, Maarssen, 2021. https://www.binnenklimaattechniek.nl/document/rapport-covid-19-in-relatie-tot-ventilatie-en-binnenluchtkwaliteit_binnenklimaattechniek-pdf/.
 - [15] S.N. Rudnick, D.K. Milton, Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration, *Indoor Air.* 13 (2003) 237–245. <https://doi.org/10.1034/J.1600-0668.2003.00189.X>.
 - [16] W. Su, B. Yang, A. Melikov, C. Liang, Y. Lu, F. Wang, A. Li, Z. Lin, X. Li, G. Cao, R. Kosonen, Infection probability under different air distribution patterns, *Build. Environ.* 207 (2022) 108555. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108555>.
 - [17] A.K. Melikov, COVID-19: Reduction of airborne transmission needs paradigm shift in ventilation, *Build. Environ.* 186 (2020) 107336. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107336>.
 - [18] W. Liu, L. Liu, C. Xu, L. Fu, Y. Wang, P. V. Nielsen, C. Zhang, Exploring the potentials of personalized ventilation in mitigating airborne infection risk for two closely ranged occupants with different risk assessment models, *Energy Build.* 253 (2021) 111531. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.111531>.
 - [19] TNO, TNO 2020 R11252 - Laboratoriumonderzoek naar effect van verschillende opstellingen, ventilatiesystemen en ventilatiehoeveelheden op de blootstelling van aerosolen in een horecagelegenheid, Delft, 2020. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/10/02/laboratoriumonderzoek-naar-effect-van-verschillende-opstellingen-ventilatiesystemen-en-ventilatiehoeveelheden-op->

de-blootstelling-van-aerosolen-in-een-horecagelegenheid.

- [20] C. Zhang, P. V. Nielsen, L. Liu, E.T. Sigmer, S.G. Mikkelsen, R.L. Jensen, The source control effect of personal protection equipment and physical barrier on short-range airborne transmission, *Build. Environ.* 211 (2022) 108751. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.108751>.
- [21] B. Zhao, Y. Liu, C. Chen, Air purifiers: A supplementary measure to remove airborne SARS-CoV-2, *Build. Environ.* 177 (2020) 106918. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106918>.
- [22] B. Blocken, T. van Druenen, A. Ricci, L. Kang, T. van Hooff, P. Qin, L. Xia, C.A. Ruiz, J.H. Arts, J.F.L. Diepens, G.A. Maas, S.G. Gillmeier, S.B. Vos, A.C. Brombacher, Ventilation and air cleaning to limit aerosol particle concentrations in a gym during the COVID-19 pandemic, *Build. Environ.* 193 (2021) 107659. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107659>.
- [23] P.M. Bluysen, M. Ortiz, D. Zhang, The effect of a mobile HEPA filter system on 'infectious' aerosols, sound and air velocity in the SenseLab, *Build. Environ.* 188 (2021) 107475. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107475>.
- [24] Eindhoven University of Technology, Corona-onderzoek TU Eindhoven naar luchtzuivering in scholen in Nederland van start, Website. (2022). <https://www.tue.nl/nieuws-en-evenementen/nieuwsoverzicht/28-01-2022-corona-onderzoek-tu-eindhoven-naar-luchtzuivering-in-scholen-in-nederland-van-start/> (accessed January 31, 2022).
- [25] TNO, Ministerie van VWS, Ventileren zo gedaan, Website. (2021). <https://www.ventilerenzogedaan.nl/> (accessed January 26, 2022).
- [26] J.E. Janssen, The History of Ventilation and Temperature Control The History of Ventilation and Temperature Control About the Author, *ASHRAE J.* September (1999) 47–52. <https://www.ashrae.org/file-library/about/mission-and-vision/ashrae-and-industry-history/the-history-of-ventilation-and-temperature-control.pdf> (accessed January 26, 2022).