

## Auteurs

Richard Claessen<sup>1</sup>, André Meijer<sup>2</sup>, Dino van Deijzen<sup>3</sup>, John van der Klift<sup>4</sup>, Congrui Zha<sup>5</sup>, Wilhelm van Schaik<sup>6</sup>

1. Specialist bouwfysica en installaties, ABT bv

2. Projectleider installaties, ABT bv &amp; lid regiocommissie TVVL Oost-Nederland

3. Specialist bouwfysica/CFD, ABT bv

4. Directeur/senior adviseur, HE adviseurs

5. Specialist bouwfysica/computational design, ABT bv

6. Managing director, Innovation Handling

# Risico wordt zichtbaar met simulaties en metingen

*De bijdrage van ventilatie aan de verspreiding van het corona-virus SARS-CoV-2 is al sinds het begin van de pandemie een discussiepunt. Dit leidt tot twijfel bij gebouw eigenaren en facility managers: is het ventilatiesysteem van mijn gebouw wel veilig? Tot nu toe is het advies: veel ventileren, niet recirculeren. Hoewel dit advies een goed basisuitgangspunt is, stellen wij dat gezonde ventilatie vraagt om een diepere, integrale, beschouwing van de lokale situatie en het ventilatieconcept. Daarbij is de introductie van enkele in de bouw wereld minder bekende parameters noodzakelijk.*

Nu er steeds meer bekend wordt over eventuele verspreiding van het corona-virus via de lucht, richten de discussies en adviezen omtrent het beperken van het besmettingsrisico via lucht zich vooral op de hoeveelheid ventilatie, de kwantiteit.

Zo adviseert het RIVM [1] gebouwen te ventileren volgens de eisen van het Bouwbesluit die van toepassing zijn op het gebouw (bestaand of nieuwbouw) en de gebruiksfunctie. In de handreiking coronavirus voor scholen van de PO-raad, VO-raad en Ruimte-OK [2] wordt eveneens naar het Bouwbesluit verwezen. In andere adviezen wordt dan weer gesproken/geschreven over ventileren op basis van max. 800 ppm of 60 m<sup>3</sup>/h per persoon [3].

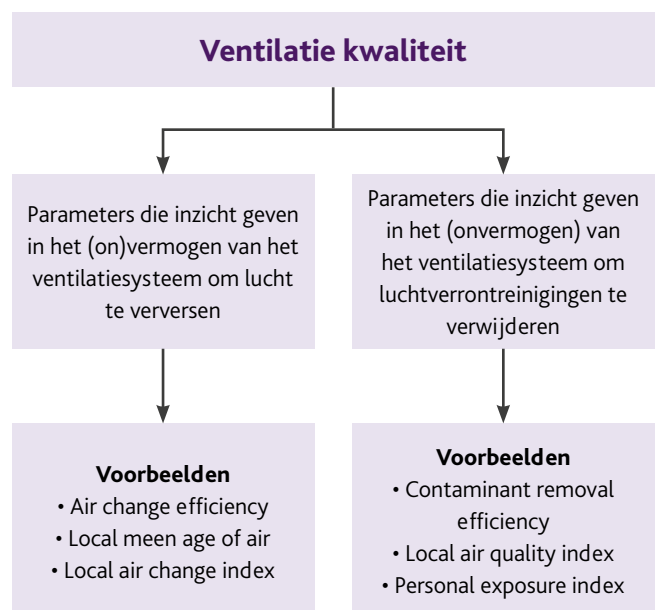
In de adviezen wordt minder aandacht geschonken aan de ventilatie kwaliteit: bij een voldoende hoeveelheid aan ventilatie, wat is de beste wijze om te ventileren en hoe pas je ventilatiesysteem en ruimte-inrichting hierop aan? Wel adviseren RIVM en PO-raad [1][2] om bij de inrichting van ruimtes te voorkomen dat sterke luchtstromen van persoon naar persoon optreden.

Dit artikel toont de eerste resultaten van een studie naar de invloed van de wijze van ventileren, de ventilatiecapaciteit en de positie ten opzichte van elkaar van de mensen die zich in dezelfde ruimte bevinden. Het gaat hier om het introduceren van numerieke methoden voor het bepalen van besmettingsrisico's in CFD-simulaties zoals die inmiddels veelvuldig worden gebruikt bij het systeemontwerp van bijvoorbeeld ventilatievoorzieningen.

## Ventilatie kwaliteit toetsbaar maken

Wij pleiten ervoor ventilatiekwaliteit als toetsbare parameter op te nemen in ventilatie-adviezen om besmetting te voorkomen. Daarom is een studie gestart naar de mogelijkheden, waarbij ook een inschatting van het risico op besmetting kan worden gegeven. Door te variëren met luchtstroming en ruimte-indeling kan dan worden gezocht naar de meest veilige wijze van gebruik met zo efficiënt mogelijke ventilatie.

**Figuur 1:** Parameters om ventilatie kwaliteit van een ruimte te definiëren. Gebaseerd op [4].



Er bestaan verschillende parameters om de ventilatie kwaliteit van een ruimte te definiëren. Figuur 1 geeft een overzicht.

Een relatief eenvoudige parameter uit figuur 1 is de 'local mean age of air'. Deze parameter, die in de huidige adviespraktijk wel eens gebruikt wordt, geeft aan hoelang lucht zich in een ruimte ophoudt/bevindt. De leeftijd (age) van de lucht wordt bepaald vanaf het moment dat deze de ruimte ingeblazen worden. Het gemiddelde (mean) is nodig omdat de lucht op een bepaald punt (local) uit verschillende 'componenten' bestaat die er elk een verschillende tijd in de ruimte op hebben zitten.

De local mean age of air kan bijvoorbeeld gebruikt worden om kortsluiting van lucht tussen toevoer en afvoer vast te stellen: de kortgesloten lucht kent een lage age of air, terwijl de overige lucht in de ruimte een hoge age of air heeft. Bevindt zich in die ruimte een met het corona-virus besmet persoon, dan zou er een opbouw van virusdeeltjes kunnen plaatsvinden, omdat de lucht niet voldoende ververst wordt.

Een interessante parameter uit figuur 1 lijkt de 'personal exposure index'. Deze parameter geeft inzicht in de blootstelling van een persoon aan verontreinigingen, geproduceerd in de ruimte waarin deze persoon zich bevindt. Een bron van verontreinigingen kan bijvoorbeeld een persoon besmet met het corona-virus zijn. Daarmee kan vervolgens een vertaling naar het risico op besmetting worden gemaakt.

De personal exposure index wordt berekend conform onderstaande vergelijking [5]:

$$E_{exp}^c = \frac{c_e - c_s}{c_{exp} - c_s}$$

Met:

$E_{exp}^c$ : personal exposure index [-]

$c_e$ : concentratie verontreinigingen in afzuigpunt [ppm,mg/m<sup>3</sup>, etc.]

$c_s$ : concentratie verontreinigingen in toevoerpunt [ppm,mg/m<sup>3</sup>, etc.]

$c_{exp}$ : ingeademde concentratie verontreinigingen [ppm,mg/m<sup>3</sup>, etc.]

De personal exposure index is de verhouding tussen de concentratie in de afgezogen lucht en de concentratie van de ingeademde lucht. Een hoge concentratie in de afgezogen lucht in combinatie met een lage concentratie in de ingeademde lucht resulteert in een hoge index waarde. Een relatief lage concentratie in de afgezogen lucht in combinatie met een hogere concentratie bij inademing levert een lage index op.

Een hoge personal exposure index betekent dus dat de luchtkwaliteit bij inademen in dat geval beter is dan bij een lagere personal exposure index. Bij mengventilatie is 1 de hoogst haalbare waarde, te realiseren bij optimale menging. Verbetering hierin is alleen mogelijk met een ander ventilatieprincipe zoals verdringingsventilatie in combinatie met het vermijden stroming van persoon naar persoon.

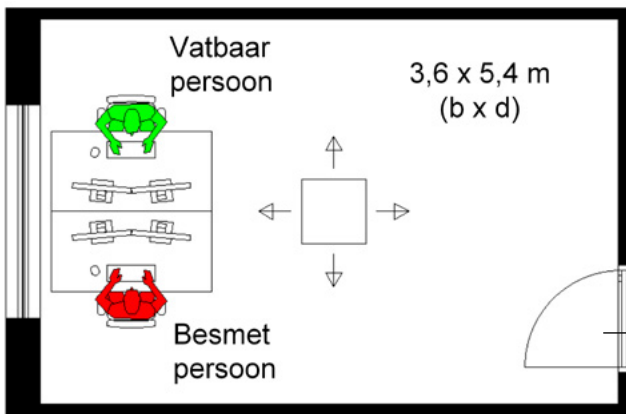
Deze index is vooral zinvol om het effect van stromingen in de ruimte te beoordelen en locaties met een verhoogd risico te herkennen.

#### Kans op besmetting via de lucht

Een belangrijke vraag in de huidige situatie is wat is nou het risico op besmetting wanneer een besmettelijk persoon samen met één of meerdere personen in hetzelfde vertrek verblijft. De kans dat de andere persoon in de ruimte besmet raakt via de lucht, kan bepaald worden met behulp van de Wells-Riley vergelijking [6][7]. De Wells-Riley vergelijking gaat in de basis uit van een statische situatie (steady-state), waarbij besmettelijke virusdeeltjes gelijkmatig over de ruimte verdeeld zijn en ook evenredig worden verdund door ventilatie (well-mixed). De Wells-Riley vergelijking is door de jaren heen diverse malen uitgebreid, bijvoorbeeld door Gammaitoni-Nucci [8], waardoor tegenwoordig de besmettingskans als functie van blootstellingstijd (dus non-steady-state) en ventilatiehoeveelheid berekend kan worden.

Belangrijke input voor de vergelijking is de door een besmet persoon uitgedemde hoeveelheid quanta. Een quanta is hierbij gedefinieerd als het aantal druppelkernen dat vatbare personen binnen moeten krijgen om 63,2% kans te hebben om besmet te raken. Voor het corona-virus is deze quanta hoeveelheid nog niet goed vastgesteld. De eerste inschattingen zijn er wel [9]. Een bepalende factor voor de verspreiding van besmettelijke deeltjes is de activiteit van de besmettelijke persoon. Rustig zittend, luid telefoneren of hoesten maakt een groot verschil.

Een andere factor die de concentratie beïnvloedt is het verval van het virus, eenmaal in de lucht zwevend, hoelang blijven de deeltjes een risico op besmetting. Ook hiervan is nog geen eenduidig beeld te geven. Het verval van het virus is daarom in de case buiten beschouwing gelaten. De numerieke resultaten leveren een getalswaarde op die dus erg afhankelijk is van de aannames.



Variant	Ventilatie		Overig
	Concept	Debiet	
50 m <sup>3</sup> /h zonder airco	Toevoer: vierzijdig uitblazend, inducerend, rooster in midden van de ruimte. Afzuiging: (plenum)afzuiging via armaturen.	50 m <sup>3</sup> /h p.p.	
50 m <sup>3</sup> /h zonder airco	Zie boven	25 m <sup>3</sup> /h p.p.	
50 m <sup>3</sup> /h met airco	Zie boven	25 m <sup>3</sup> /h p.p.	Airco zijwand

Figuur 2: Toelichting van de case.

Hoe bovenstaande parameters voor ventilatie kwaliteit geïntegreerd kunnen worden in ventilatie adviezen, wordt toegelicht aan de hand van de onderstaande verkenning. Dat de parameters zowel berekend alsook gemeten kunnen worden maakt het mogelijk deze grootheden ook in bestaande situaties zichtbaar en kwantificeerbaar te maken.

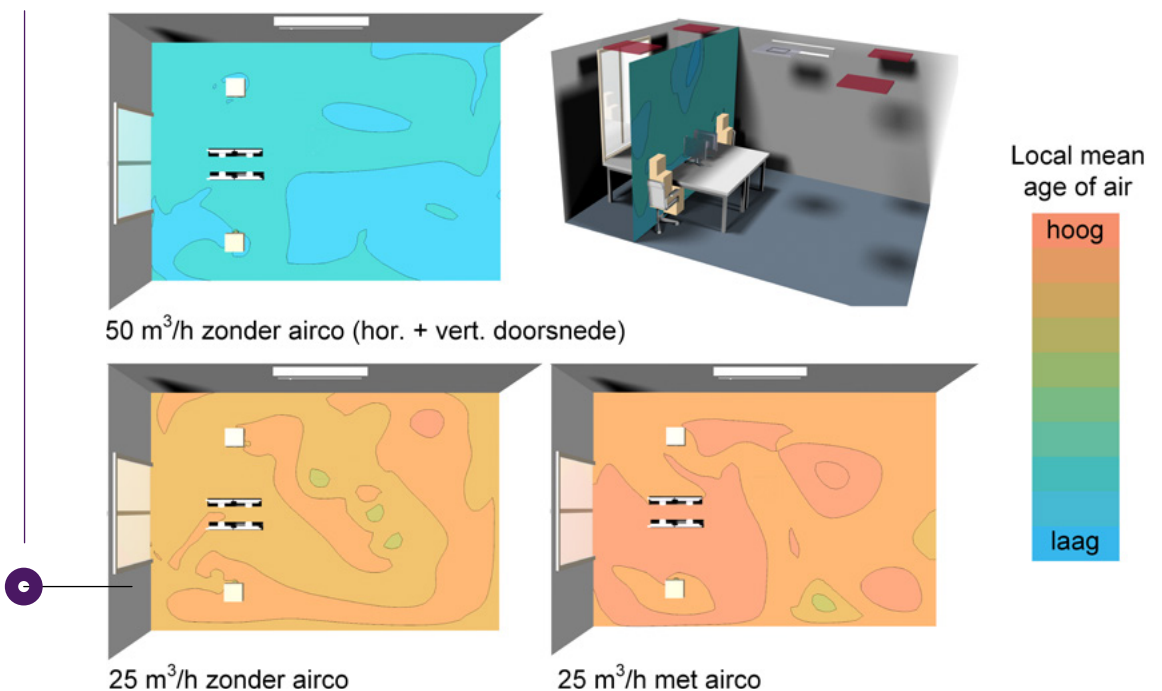
**Casestudie**

De verkenning gebeurt aan de hand van de case als weergegeven in figuur 2. De case betreft een standaardkantoor. Twee collega's zitten tegenover elkaar. Een van de collega's is besmettelijk, maar heeft nog geen klachten en is naar het werk gekomen. In de simulatie is daarom aangehouden dat de besmettelijke persoon nog niet veel hoest. Voor de quanta hoeveelheid is daarom uitgegaan van een rustig ademend persoon.

Het kantoorvertrek wordt geventileerd met een vierzijdig uitblazend rooster en afgezogen via de armaturen, een veel voorkomend ventilatieprincipe in bestaande kantoren. In een voorstudie zijn andere principes onderzocht met een toevoer centraal in de ruimte, maar die blijken vooralsnog geen grote invloed te hebben op de locaties van de concentraties.

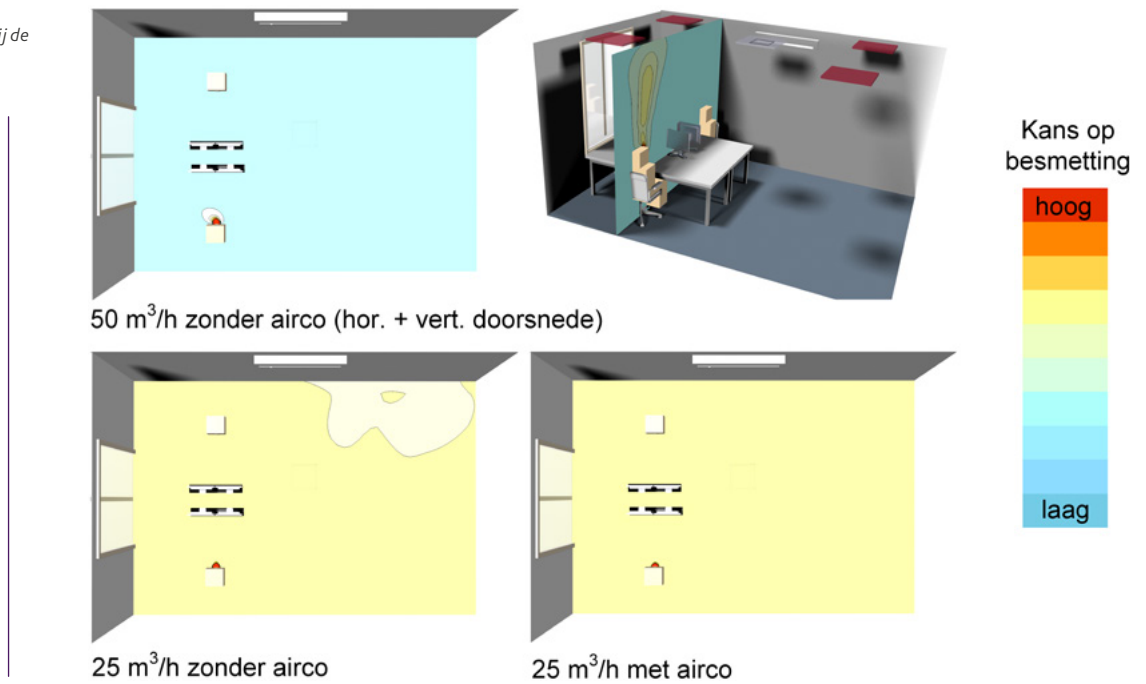
In de case worden drie veel voorkomende situaties bestudeerd:

- Ventilatiecapaciteit per persoon volgens bouwbesluiten voor nieuwbouw, 25 m<sup>3</sup>/h per persoon, dit geeft een enkelvoudige ventilatie.
- Ventilatiecapaciteit per persoon 50 m<sup>3</sup>/h, zoals veelal wordt aangehouden wanneer de wens bestaat de CO<sub>2</sub>-concentratie op maximaal 800 ppm te houden, dit geeft een tweevoudige ventilatie.
- Toevoeging van een splitunit voor koeling.



Figuur 3: Local mean age of air bij de verschillende situaties.

**Figuur 4:** Kans op besmetting bij de verschillende situaties.



De laatste variant is toegevoegd om een beeld te krijgen van de invloed van de koelunit op de verspreiding van besmettelijke deeltjes door de ruimte, ook één van de veel gestelde vragen van de laatste maanden.

**Simulaties**

Middels een CFD-studie waarin numerieke methoden om de kans op besmetting te bepalen worden gecombineerd met bekende simulatietechnieken voor ventilatiesystemen, kan inzichtelijk worden gemaakt of binnen een ruimte verschillen zullen optreden in de kans op besmetting.

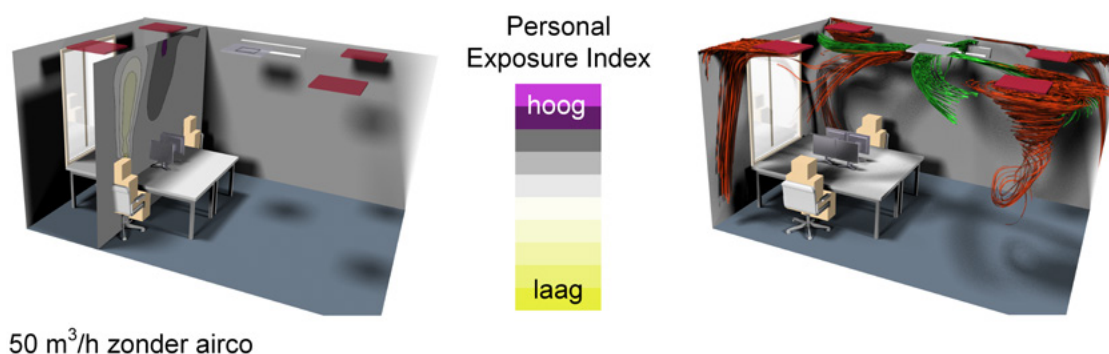
De eerste resultaten geven een weergave van de local mean age of air voor de verschillende varianten. Geheel volgens verwachting is deze sterk afhankelijk van de ventilatiecapaciteit. De menging in deze simulaties blijkt vrijwel optimaal, er zijn geen grote verschillen in de ruimte.

Wel blijkt dat het inschakelen van de airco van invloed is, de gemiddelde

tijd wordt langer. De airco zorgt dus voor een ietwat minder effectieve luchtuitwisseling in de ruimte, maar de verschillen zijn marginaal.

Door concentratie en verblijfstijd te combineren kan een indicatie worden gegeven van de mogelijkheid op besmetting via de lucht. Zoals al is gebleken uit de local mean age of air resultaten is de menging in de ruimte nagenoeg optimaal. De kans op besmetting is daarmee ook in de hele ruimte vrijwel gelijk. Wel maakt het ventilatievoud een wezenlijk verschil: hoe minder wordt geventileerd, des te groter het risico op besmetting.

In de linker afbeelding van figuur 5 is duidelijk te zien dat de uitgeademde lucht snel naar het plafond stijgt, ook bij een tweevoudige ventilatie van de ruimte. Daarna vindt een snelle verdunning plaats en neemt dus de



**Figuur 5:** Verspreiding van de uitgeademde lucht met besmettelijke virusdeeltjes bij 50 m<sup>3</sup>/h zonder airco.

concentratie van besmettelijke deeltjes sterk af, zodanig dat in de gehele ruimte het berekende risico nagenoeg gelijk is. De rechter afbeelding laat de luchtstromingen zien in de ruimte, de groene lijnen geven de stroming van de verse lucht weer, de rode lijnen de stroming richting de afzuigpunten.

Deze eerste verkenning is uitgevoerd in een beperkte ruimte met een eenvoudige goed mengende ventilatie. Introductie van deze simulaties in meer complexe situaties zal naar verwachting meer differentiatie opleveren.

### Metingen

Een nadeel van simulaties is dat ze altijd een versimpelde nabootsing van de werkelijkheid zijn. De kwaliteit van aannames (wat neem je wel/niet mee en hoe nauwkeurig) bepaalt de kwaliteit van de studie. Ook zijn simulaties minder voor de hand liggend voor beoordeling van bestaande situaties. Metingen kunnen een uitkomst zijn hier. Met rookproeven kunnen ongewenste luchtstromingen en dode hoeken met onvoldoende lucht doorspoeling zichtbaar gemaakt worden. Met tracergasmetingen kunnen verschillende ventilatie kwaliteit parameters gemeten worden (zie ook eerder).

Een interessantere optie is de inzet van akoestische meetapparatuur. Deze meetapparatuur meet met geluid (aangevuld

met extra sensoren) ventilatieparameters als luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, CO<sub>2</sub>-concentratie, luchtsnelheid en luchtrichting. Dat gebeurt driedimensionaal en met grote nauwkeurigheid.

De akoestische meettechniek heeft zich al bewezen bij comfortonderzoek (zie figuur 6 voor een voorbeeld), maar is ook zeer goed bruikbaar bij ventilatie adviezen in het kader van het corona-virus.

De apparatuur biedt inzicht in de ventilatie kwaliteit door een combinatie van visualisatie en kwantificatie en combineert daardoor het beste van de rookproef en tracergasmeting. Door metingen te combineren met kennis over de verspreiding van het virus, kan het risico op besmetting ingeschat worden.

### De 1,5 meter regel

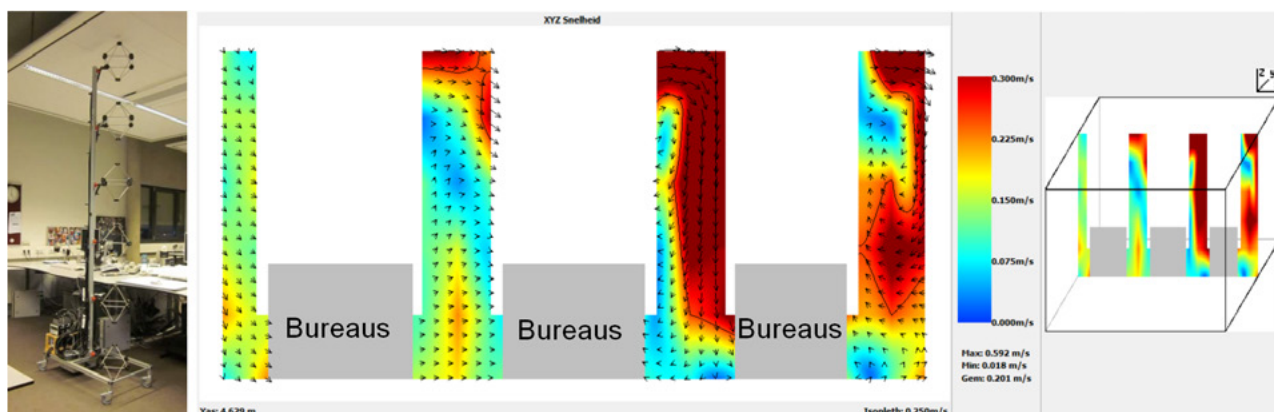
Om besmetting met het corona-virus te minimaliseren wordt in Nederland de '1,5 meter afstandsregel' gehanteerd. De meeste theaters, kantoren en andere gebouwen zijn inmiddels ingericht conform deze regel, wat grote beperkingen in gebruik met zich meebrengt.

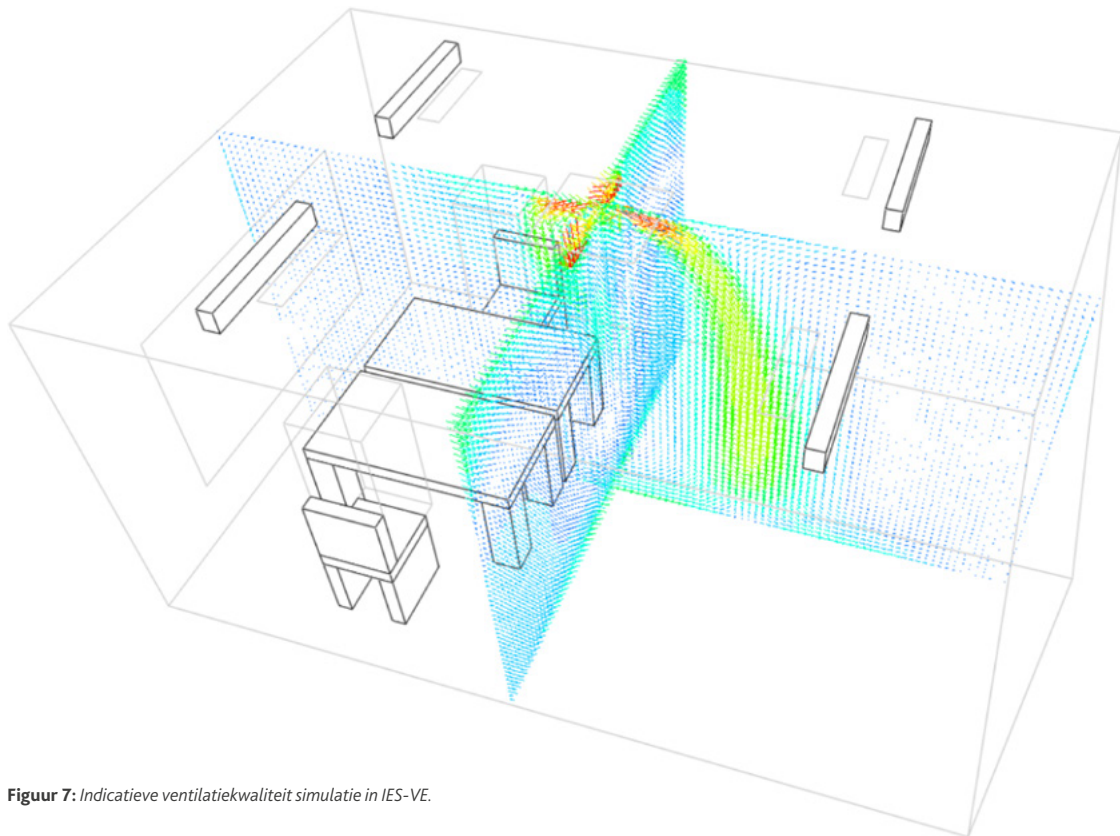
De 1,5 meter is onder meer gebaseerd op [10], waarin beschreven wordt dat de grote (en mogelijk besmettelijke) druppels die vrijkomen bij spreken binnen een afstand van circa 1 meter op de grond terecht komen.

Nu het aannemelijk is dat het virus zich kan verspreiden via de lucht, zouden er situaties kunnen zijn waar de 1,5 meter onvoldoende is. Met de nu getoonde simulaties kan dat worden voorspeld en kan de inrichting van de ruimte worden aangepast, zodat het risico wordt beperkt. De metingen kunnen het resultaat naderhand toetsen.

Het omgekeerde kan natuurlijk ook waar zijn: situaties waarin de 1,5 meter verkleind zou kunnen worden. Denk hierbij aan situaties waarin mensen 'face-to-back' zitten in plaats van 'face-to-face', zoals het uitgangspunt is

**Figuur 6:** Voorbeeld comfortonderzoek met akoestische meetapparatuur. Links: de meetopstelling. Rechts: visualisatie (verticale doorsnede over drietal bureaus) van de gemeten luchtsnelheid en -richting. Duidelijk zichtbaar zijn de hoge luchtsnelheden bij het meest rechtse bureau. Hier was tocht gemeld.





Figuur 7: Indicatieve ventilatiekwaliteit simulatie in IES-VE.

voor de 1,5 meter. Hier zou een betere analyse en borging van de ventilatie kwaliteit conform de analyses in dit artikel mogelijk ruimte bieden voor nuancering of juist extra veiligheid kunnen opleveren.

Neem bijvoorbeeld het onderzoek 'intelligente 1,5 meter kantoor – alle neuzen dezelfde kant op' [11]. Hierin is aangetoond dat er ook met inachtneming van de 1,5 meter nog verbeteringen qua veiligheid mogelijk zijn, door alle mensen dezelfde kant op te zetten.

### Na de pandemie

Het verdere verloop van de corona-pandemie is momenteel nog onduidelijk. Wat al wel duidelijk wordt, is dat onze manier van leven, werken, etc. zal veranderen. Zo zullen mensen vaker thuis gaan werken, maar zullen elkaar ook regelmatig willen ontmoeten.

Zeker in situaties waarin ontmoeten weer de norm wordt, zoals het onderwijs, kan een goede analyse vooraf inzicht geven in eventuele risico's. Hopelijk komt er blijvende aandacht voor gezonde ventilatie. Wellicht dat ventilatie kwaliteit analyses in de toekomst net zo gebruikelijk worden als daglicht- en energiesimulaties dat nu al zijn.

Bij voorkeur worden deze aspecten dan ook integraal beschouwd, liefst binnen één software omgeving. Een voorbeeld van software waarmee een integrale comfort en gezondheid toets mogelijk is, is IES-VE. IES-VE kan al vroeg in het ontwerpproces ingezet worden om inzicht te krijgen in daglicht, energie en ventilatie kwaliteit, zodat waar nodig het ontwerp aangepast kan worden.

Figuur 7 geeft een indicatieve ventilatie kwaliteit simulatie van de eerder besproken case in IES-VE.

### Referenties

1. <https://ici.rivm.nl/ventilatie-en-covid-19> [geraadpleegd op 08-09-2020].
2. [https://www.poraad.nl/system/files/corona/handreiking\\_coronavirus\\_ventilatie\\_verwarming\\_en\\_koeling.pdf](https://www.poraad.nl/system/files/corona/handreiking_coronavirus_ventilatie_verwarming_en_koeling.pdf) [geraadpleegd op 08-09-2020].
3. Weijer, H., 2020. We moeten niet in een COVID-19 Bermuda Triangle terecht komen – verslaglegging TVVL-webinar COVID-19 en gebouwen van 7 mei, TVVL Magazine 3, pp. 6-8.
4. REHVA, 2004. Guidebook no 2 – Ventilation effectiveness.
5. Brohus, H. en Nielsen, P.V., 1996. Personal Exposure in Displacement Ventilated Rooms, Indoor Air 6, pp. 157-167.
6. Wells, W. F., 1955. Airborne contagion and air hygiene, Harvard University Press.
7. Riley, E.C., Murphy, G. en Riley, R.L., 1978. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. Am. J. Epidemiol. 107, pp. 421-432.
8. Gammaitoni, L. en Nucci, M.C., 1997. Using a mathematical model to evaluate the efficacy of TB control measures. Emerging Infect. Dis. 3, pp. 335-342.
9. Buonanno, G., Stabile, L., Morawska, L., 2020. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment, Environmental International vol. 141.
10. Wells, W.F., 1934. On air-borne infection: study II. Droplets and droplet nuclei, Am. J. Epidemiol, vol. 20(3), pp. 611-618.
11. <https://www.abt.eu/actueel/nieuws/veiligere-kantoren-op-overdracht-coronavirus-alle-neuzen-dezelfde-kant-op.aspx> [geraadpleegd op 12-09-2020].