

Leeghwaterstraat 44  
2628 CA Delft  
Postbus 6012  
2600 JA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

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

## TNO-rapport

**2021 R10942**

# De effectiviteit van maatregelen op de blootstelling aan deeltjes in een theateropstelling in relatie tot een vrije tussenrij

Datum	25 mei 2021
Auteur(s)	Dr. Roberto Traversari Ir. Karin Kompatscher Ir. Stefan van Heumen Arjan Huizing MSc
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	41 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat t.a.v. de heer M. Sweers Directeur Innovatie & Kennis Bezuidenhoutseweg 73 2594 AC Den Haag
Projectnaam	Fieldlab evenementen
Projectnummer	060.46472

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2021 TNO

# Managementuittreksel

## Inleiding

Het doel van Fieldlab Evenementen is om gevalideerde informatie (“bouwstenen”) te ontwikkelen als onderbouwing voor een veilige en betrouwbare aanpak van evenementen. Door de ontwikkeling van bouwstenen wil Fieldlab Evenementen ruimte creëren bij de Rijksoverheid om zo toetsingskaders te verfijnen en het anderhalvemeterprotocol voor evenementen in verband met de COVID-19 pandemie op een verantwoorde manier te kunnen loslaten. Fieldlab Evenementen werkt in co-creatie met bedrijven, overheden, wetenschap, belangenorganisaties en publiek.

TNO stelt kennis voor het Fieldlab beschikbaar en helpt bij het opzetten van de programmering en onderzoekslijnen. Ook voert TNO ondersteunend onderzoek uit dat kan bijdragen aan het invullen van onderdelen van de onderzoekslijnen en bouwstenen.

Dit onderzoek richt zich op de typologie I evenementen: indoor passief. Deze typologie kenmerkt zich door de theateropstelling van stoelen waar bezoekers plaatsnemen, geen interactie met elkaar hebben en niet actief aan het evenement deelnemen. Als basisaanpak ten behoeve van het anderhalvemeterprotocol voor alle evenementen van dit type wordt momenteel veelal tussen elke twee rijen met toeschouwers een tussenrij vrijgehouden.

Binnen het kader van deze typologie luidt de hoofdvraag in dit onderzoek:

*Door toepassing van welke maatregelen is het mogelijk om het vrijhouden van een tussenrij achterwege te laten, zonder dat daardoor de blootstelling aan deeltjes toeneemt?*

Het rapport TNO 2021 R10801 “Onderzoek effectiviteit schermen en persoonlijke maatregelen voor typologie 1 evenementen” richt zich op de eerste fase van het onderzoek. In deze eerste fase zijn door middel van literatuurstudie en procesanalyse de verwachte effecten van het toepassen van stoelschermen en persoonlijke beschermingsmaatregelen bij dit type evenementen onderzocht. Het voorliggende rapport betreft de tweede fase van het onderzoek gericht op de meetexperimenten in een mock-up naar de effecten van maatregelen.

In deze onderzoeksfase wordt de volgende onderzoeksvraag beantwoord:

*In hoeverre is het mogelijk om, door toepassing van (kuch)schermen, mond-neusmaskers of face shields<sup>a</sup>, dan wel zonder toepassing van extra maatregelen, in een theater- of bioscoopopstelling zonder tussenrij een blootstelling van bezoekers aan grotere deeltjes (> 5 µm) te realiseren die gelijk*

---

<sup>a</sup> Een face shield is een persoonlijk scherm dat via een band om het hoofd voor het gezicht wordt gedragen. Een face shield zou de drager moeten beschermen tegen direct “aanhoesten” door derden en om te voorkomen dat bij respiratoire activiteiten zoals praten, kuchen en hoesten van de drager grotere deeltjes verspreid worden.

*of lager is aan de blootstelling in een opstelling met tussenrij, maar zonder maatregelen?*

### **Onderzoeksmethode**

Om antwoord te geven op de geformuleerde onderzoeksvraag is eerst onderzocht welke meetmethodiek toegepast kan worden om grotere aerosol deeltjes (groter dan 5 µm) te emitteren en te meten in een theateropstelling. Voor de opbouw van de theater mock-up is gebruik gemaakt van een vragenlijst die naar theaters is gestuurd; dit om een zo representatief mogelijke mock-up te realiseren.

Met de meetexperimenten in de mock-up is de effectiviteit van toepassing van persoonlijke beschermingsmiddelen in vergelijking met het vrijhouden van een tussenrij onderzocht. Hiervoor is de blootstelling bij de situatie met tussenrij zonder maatregelen (referentie) vergeleken met de blootstelling wanneer geen tussenrij wordt vrijgehouden maar additionele maatregelen (mond-neusmasker, face shield of stoelscherm) worden toegepast. Bij het onderzoek is een oplossing met fluoresceïne verneveld, die de uitademing inclusief het aanwezige speeksel simuleert. Door lucht aan te zuigen en door een filter te leiden worden de fluoresceïnedeeftjes opgevangen die een maat zijn voor de blootstelling. Op deze wijze is bij verschillende opstellingen het effect van maatregelen op de blootstelling aan deeltjes onderzocht. Door de fluoresceïne uit het filter te wassen en de oplossing vervolgens met een spectrometer te analyseren, kan de aangezogen (ingeademde) hoeveelheid druppels worden bepaald. Op deze manier is de fluorescentie goed te meten en is het mogelijk om de effecten van maatregelen te kwantificeren.

Er zijn experimenten uitgevoerd met verschillende ventilatiesystemen (stoelventilatie en zaalventilatie), verschillende stoelopstellingen (verspringend en recht achter elkaar), met verschillende verhogingen en met de genoemde maatregelen.

Het onderzoek richt zich uitsluitend op de afstand tussen bezoekers van voor naar achter in de zaal. Aan de onderzoeksresultaten kunnen en mogen dan ook geen conclusies worden verbonden met betrekking tot de noodzaak van social distancing op dezelfde rij, door middel van het vrijhouden van ruimte tussen bezoekers van verschillende huishoudens.

### **Resultaten**

Om de verschillende opstellingen met elkaar te vergelijken is een drieweg variantieanalyse (ANOVA) uitgevoerd met de factoren stoelopstelling, ventilatiesysteem en verhoging. Uit de analyse blijkt dat de blootstelling bij een opstelling met de stoelen recht achter elkaar significant verschilt van die bij een verspringende stoelopstelling: de gemiddelde blootstelling bij een rechte stoelopstelling bedraagt 29,7 parts per million (ppm); bij een verspringende opstelling is dat 49,7 ppm.

Bij het type ventilatiesysteem en de verschillende stoelverhogingen zijn de verschillen in blootstelling niet significant. Er worden geen significante verschillen gevonden tussen wervelroosters en stoelventilatie, noch tussen een verhoging tussen de rijen van 0 cm, 35 cm of 75 cm.

Om het effect van de verschillende maatregelen als alternatief voor een vrije tussenrij te analyseren is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd. Het betreft een rekenkundige analyse op basis van geaggregeerde meetgegevens voor verschillende meetopstellingen. Het statistische regressiemodel voorspelt een blootstelling van 34,4 ppm in de referentiesituatie, met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 21,3 tot 47,3. Een mond-neusmasker komt met een voorspelde blootstelling van 35,1 (20,9—49,3) ppm het dichtst in de buurt van de referentiesituatie. Bij een stoelscherm voorspelt het regressiemodel een blootstelling van 41,9 (27,6—56,1) ppm. Als er geen maatregel wordt getroffen dan wordt zonder tussenrij een blootstelling van 45,0 (33,1—56,8) ppm voorspeld. Het face shield doet het met een voorspelde blootstelling van 45,5 (31,8—59,3) ppm het slechtst.

Geen van de maatregelen leidt echter tot een significant verschil in de blootstelling ten opzichte van de referentiesituatie.

### **Conclusies en aanbevelingen**

Op basis van het huidige onderzoek kunnen met betrekking tot de specifieke onderzoeksvraag voor deze fase de volgende conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden geformuleerd.

**Het is in de mock-up opstelling mogelijk om een lege tussenrij voor een theateropstelling achterwege te laten zonder de gemiddelde blootstelling aan grotere deeltjes te verhogen.** Het gebruik van een mond-neusmasker door de ontvanger geeft een vergelijkbare blootstelling (35,1 ppm) als de referentiesituatie met een vrije tussenrij (34,4 ppm). Het gebruik van een stoelscherm tussen de stoelrijen resulteert, in vergelijking met het toepassen van een tussenrij, in een hogere blootstelling (7,5 ppm, 22%). Het verschil in blootstelling tussen de referentiesituatie en het toepassen van een stoelscherm is echter niet significant. Het gebruik van een face shield door enkel de ontvanger resulteert, in vergelijking met het toepassen van een tussenrij, in een hogere blootstelling (11,1 ppm, 32%). Dit verschil in blootstelling met de referentiesituatie is evenmin significant. “Niet significant” wil zeggen dat er weliswaar een verschil aanwezig is tussen de gemiddelde waarden, maar dat dit verschil door de spreiding van de resultaten statistisch gezien niet betekenisvol is. Daarbij moet worden opgemerkt dat de blootstelling bij andere maatregelen dan mond-neusmaskers weliswaar niet significant hoger is, maar wel duidelijk hoger.

**Om de blootstelling te minimaliseren is een opstelling waarbij de stoelrijen recht achter elkaar zijn opgesteld aan te bevelen.** Het toepassen van stoelrijen die ten opzichte van elkaar verspringen, leidt tot een significant hogere blootstelling dan stoelen die recht achter elkaar zijn geplaatst.

Om het vrijhouden van een tussenrij achterwege te kunnen laten zonder hogere blootstelling wordt aangeraden in de zitfase tijdens een voorstelling mond-neusmaskers toe te passen. In lijn met de bevindingen in het TNO-rapport 2021 R10801<sup>1</sup> (over de eerste fase van dit onderzoek) wordt aanbevolen om alleen **genormeerde mond-neusmaskers** te gebruiken en deze met gebruiksinstructie door de organisatie van het betreffende evenement te laten verstrekken.

Het achterwege laten van een tussenrij met toepassing van andere maatregelen dan mond-neusmaskers kan pas worden aanbevolen indien grootschaliger en/of langduriger onderzoek uitwijst dat ook dan de significantiegrens ten opzichte van de referentiesituatie niet wordt bereikt.

# Inhoudsopgave

	<b>Managementuittreksel.....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>6</b>
1.1	Vraagstelling .....	7
<b>2</b>	<b>Onderzoeksmethode .....</b>	<b>9</b>
2.1	Opzet experimentele meetmethodiek.....	9
<b>3</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>17</b>
3.1	Vergelijking referentiesituaties.....	17
3.2	Effect van een tussenrij .....	18
3.3	Interactie-effecten .....	20
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>22</b>
4.1	Conclusies .....	22
4.2	Aanbevelingen .....	23
4.3	Discussie en limitatie .....	23
<b>5</b>	<b>Literatuur.....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Vragenlijst typologie I evenementen	
	B Resultaten vragenlijst	
	C Mock-up opstellingen	

# 1 Inleiding

Het doel van Fieldlab Evenementen is om gevalideerde informatie (“bouwstenen”) te ontwikkelen voor een veilige en betrouwbare aanpak van evenementen. Door de ontwikkeling van bouwstenen wil Fieldlab Evenementen ruimte creëren bij de Rijksoverheid om zo toetsingskaders te verfijnen en het anderhalvemeterprotocol voor evenementen in verband met de COVID-19 pandemie op een verantwoorde manier te kunnen loslaten. Fieldlab Evenementen werkt in co-creatie met bedrijven, overheden, wetenschap, belangenorganisaties en publiek.

Het programma van het Fieldlab Evenementen maakt onderscheid tussen verschillende types evenementen. Hierbij wordt onder andere onderscheid gemaakt naar zakelijke en publieke evenementen, binnen of buiten, actieve of passieve publieksparticipatie et cetera. Dit onderscheid is vastgelegd in een evenemententypologie. De ambitie van het Fieldlab is om voor elke evenemententypologie toe te werken naar een maximaal veilig realiseerbare bezetting.

TNO stelt kennis voor het Fieldlab beschikbaar en helpt bij het opzetten van de programmering en onderzoeklijnen. Ook voert TNO ondersteunend onderzoek uit dat kan bijdragen aan het invullen van onderdelen van de onderzoeklijnen en bouwstenen.

Om voortgang te kunnen boeken is het belangrijk om bundels van maatregelen specifiek samengesteld voor verschillende type evenementen op korte termijn wetenschappelijk te onderzoeken. Het uitgangspunt voor alle experimenten is het onderzoeken en analyseren van handelingen, (technologische) oplossingen en specifieke activiteiten (bouwstenen genoemd) die representatief zijn voor bepaalde veelvoorkomende situaties bij de betreffende evenemententypologie. Tezamen vormen deze experimenten het programma van het Fieldlab Evenementen waarin de gezamenlijke evenementenorganisaties vertegenwoordigd zijn.

De World Health Organization (WHO) categoriseert de bij respiratoire activiteiten vrijkomende deeltjes als ademhalingsdeeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) en druppelkernen ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ). Eerder onderzoek toont aan dat overdracht van het SARS-CoV-2 virus via de grotere ademhalingsdeeltjes mogelijk is als er sprake is van nauw contact (close contact). In veel landen is ter beperking van het risico van verspreiding via deze transmissieroute daarom “social distancing” verplicht gesteld. In Nederland betreft dit het anderhalvemeterprotocol. De aanname achter social distancing is dat binnen deze horizontale afstand grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) grotendeels neerslaan en de concentratie waaraan iemand wordt blootgesteld vergaand wordt verlaagd. De kleinere deeltjes (druppelkernen ofwel aerosolen  $\leq 5 \mu\text{m}$ ) kunnen zich over grotere afstand door de lucht (aerogeen) verspreiden, maar de concentratie neemt gaandeweg wel af.

Het rapport TNO 2021 R10801 “Onderzoek effectiviteit schermen en persoonlijke maatregelen voor typologie 1 evenementen” richt zich op de eerste fase van het onderzoek, een literatuuronderzoek en een procesanalyse naar de effectiviteit van het toepassen van stoelschermen en persoonlijke beschermingsmaatregelen bij

typologie I evenementen (“indoor passief”). Daarbij richtte de procesanalyse zich op het effect op de blootstelling aan zowel grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) als aerosolen (deeltjes  $\leq 5 \mu\text{m}$ ).

Het voorliggende tweede fase onderzoek betreft een experimenteel onderzoek waarbij in een theateropstelling (in een mock-up) de effecten van maatregelen op de blootstelling aan grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) is onderzocht.

Theaters en bioscopen houden over het algemeen een tussenrij vrij om aan het anderhalvemeterprotocol te kunnen voldoen. Hierdoor en omdat er voldoende ruimte tussen bezoekers uit verschillende huishoudens moet worden aangehouden is de maximale zaalbezetting naar schatting 30%. Dat is onvoldoende voor een rendabele exploitatie. Het onderzoek in deze tweede fase richt zich daarom op de vraag of de tussenrijen eventueel met extra maatregelen weer benut kunnen worden, zodat een meer rendabele exploitatie binnen bereik komt.

Het onderzoek richt zich uitsluitend op de afstand tussen bezoekers van voor naar achter in de zaal. Aan de onderzoeksresultaten kunnen en mogen dan ook geen conclusies worden verbonden met betrekking tot de noodzaak van social distancing op dezelfde rij, door middel van het vrijhouden van ruimte tussen bezoekers van verschillende huishoudens.

Het onderzoek is uitgevoerd in een mock-up opstelling met dummy's waarin verschillende van de praktijk afgeleide opstellingen en ventilatiesystemen zijn onderzocht, in combinatie met de toepassing van extra beschermingsmaatregelen (scherm tussen de rijen, face shield<sup>b</sup> of mond-neusmasker).

Dit onderzoek dat gefinancierd wordt door het ministerie van EZK sluit aan bij en ondersteunt het Fieldlab Evenementen.

## 1.1 Vraagstelling

De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt:

*Door toepassing van welke maatregelen is het mogelijk om het vrijhouden van een tussenrij achterwege te laten, zonder dat daardoor de blootstelling aan deeltjes toeneemt?*

Hiervan is specifiek voor de tweede fase de volgende onderzoeksvraag afgeleid:

- In hoeverre is het mogelijk om, door toepassing van (kuch)schermen, mond-neusmaskers of face shields, dan wel zonder toepassing van extra maatregelen, in een theater- of bioscoopopstelling zonder tussenrij een blootstelling van bezoekers aan grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) te realiseren die gelijk

---

<sup>b</sup> Een face shield is een persoonlijk scherm dat via een band om het hoofd voor het gezicht wordt gedragen. Een face shield zou de drager moeten beschermen tegen direct “aanhoesten” door derden en om te voorkomen dat bij respiratoire activiteiten zoals praten, kuchen en hoesten van de drager grotere deeltjes verspreid worden.



of lager is aan de blootstelling in een opstelling met tussenrij, maar zonder maatregelen?

## 2 Onderzoeksmethode

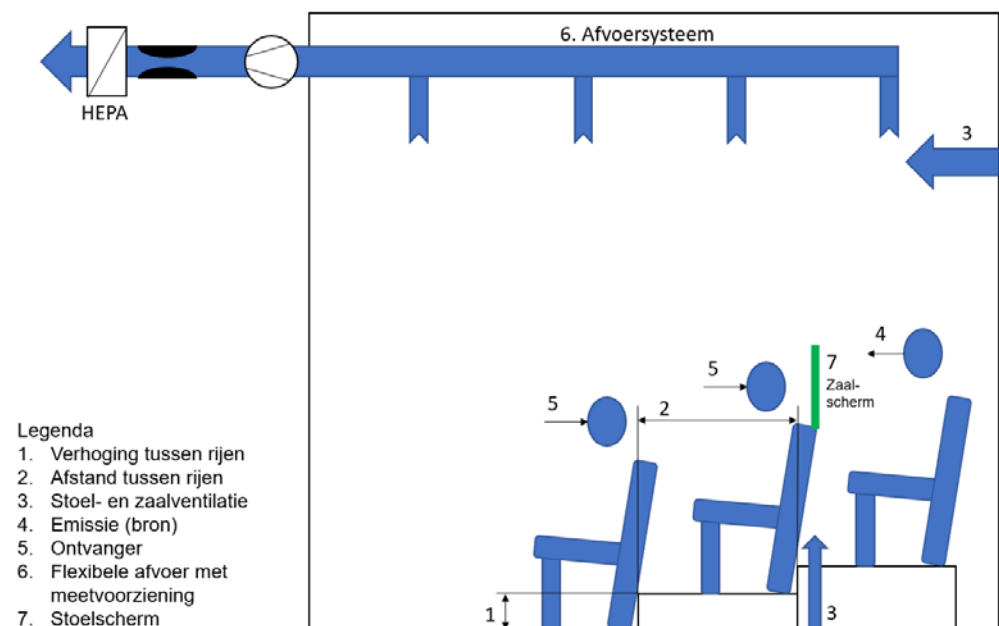
### 2.1 Opzet experimentele meetmethodiek

Om de effecten op de blootstelling aan grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) bij gebruik van verschillende persoonlijke beschermingsmaatregelen te kunnen bepalen, zijn experimenten uitgevoerd in een mock-up van een theateropstelling.

#### 2.1.1 Mock-up geometrie

De geometrie van de mock-up is bepaald door een uitvraag aan bioscopen en theaters via het Fieldlab Evenementen. Figuur 1 toont de relevante ruimtelijke parameters; appendix A bevat de uitgestuurde vragenlijst. De respons uit de vragenlijsten is opgenomen in appendix B. Analyse van deze gegevens geeft inzicht in de relevante afmetingen voor de opstelling in de mock-up (Figuur 1 en Figuur 2).

In de mock-up opstelling (Figuur 1) emitteert een bron (4) deeltjes en wordt bij de ontvanger (5) de hoeveelheid deeltjes (blootstelling) gemeten. Hierbij is de bron steeds achter de ontvanger gepositioneerd. Voor zowel de bron als de ontvanger is voor de ooghoogte gemiddeld 765 mm vanaf het zitvlak van de stoel aangehouden; het gemiddelde van een zittende man (790 mm) en zittende vrouw (740 mm)<sup>c</sup>.

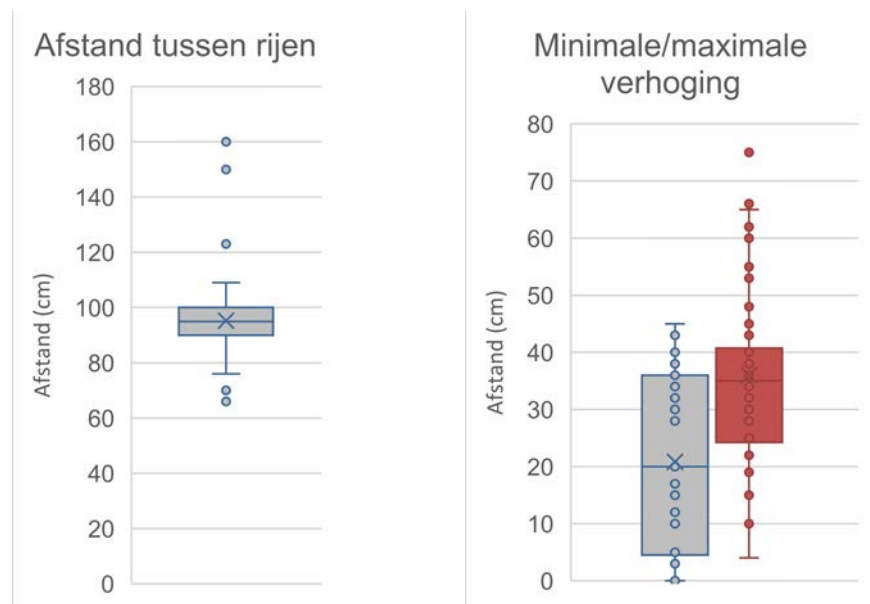


Figuur 1. Zijaanzicht mock-up meetopstelling.

Op basis van de analyse van de door theaters aangeleverde gegevens is de horizontale afstand tussen de stoelrijen gesteld op 95 cm met een hoogteverschil tussen de rijen van 0 cm (minimale waarde), 35 cm (meridiaan van maximale

<sup>c</sup> <https://www.firstinarchitecture.co.uk/average-heights-dimensions-of-person-sitting/>

verhoging) en 75 cm (maximale waarde verhoging), Figuur 2. In een theater- of bioscoopzaal is de verhoging vaak geen vaste waarde maar neemt deze toe naarmate de afstand tot het scherm/podium groter wordt. Met “minimale verhoging” wordt de kleinste verhoging, vaak voorin de zaal, aangegeven en met “maximale verhoging” de grootste verhoging vaak achter in de zaal. Het ventilatievoud bedraagt gemiddeld  $2,5 \text{ h}^{-1}$  voor zowel de situatie met stoelventilatie als met ventilatie via wervelroosters in het plafond. Uit de analyse blijkt dat bij 43% van de zalen de rijen met een halve stoelbreedte verspringen ten opzichte van elkaar: in de praktijk komen dus zowel een rechte opstelling van stoelrijen als een verspringende opstelling voor. De uit de analyse bepaalde hoogteverschillen (0 cm, 35 cm en 75 cm), ventilatietypen (wervelroosters en stoelventilatie) en stoelopstellingen (verspringend en recht) zijn allen meegenomen als variabelen in de meetopstellingen.



Figuur 2. Boxplot van de afstand tussen de rijen, hart op hart, (links) en het hoogteverschil tussen de rijen (rechts) waarbij de minimale verhoging is weergegeven in grijs, en de maximale verhoging in rood.

De verschillende meetopstellingen zijn onderverdeeld in de referentie, waarbij de tussenrij leeg is gebleven, en meetopstellingen waarbij de tussenrij in gebruik is (appendix C). In de opstellingen met de ontvanger op de tussenrij is de blootstelling gemeten:

- zonder persoonlijke beschermingsmiddelen;
- met een mond-neusmasker;
- met een face shield;
- met een stoelscherm.

Het effect van elk persoonlijk beschermingsmiddel is afzonderlijk bemeaten. Er hebben dus geen metingen plaatsgevonden aan opstellingen met combinaties van persoonlijke beschermingsmiddelen.

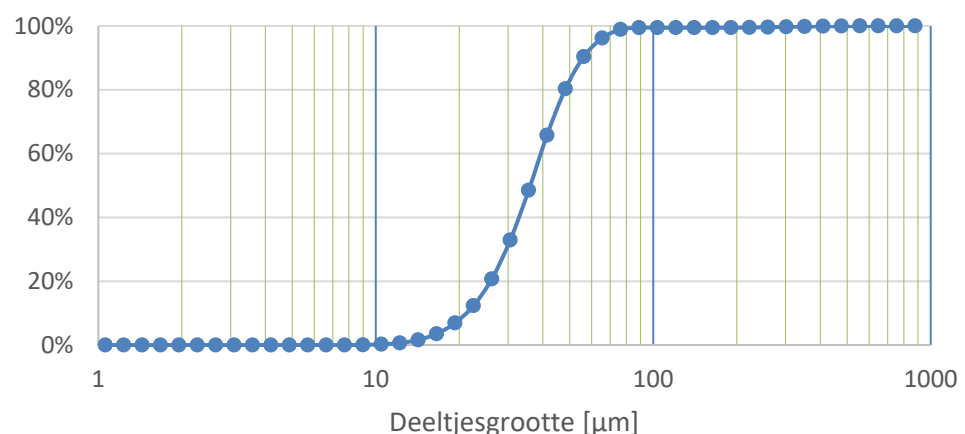
De meetopstellingen zijn ontworpen om verschillen in blootstelling te kunnen onderzoeken bij variatie in de afstand tussen bezoekers van voor naar achter in de zaal. Ze zijn niet bedoeld om uitspraken te kunnen doen over verschillen in blootstelling van variatie in de afstand tussen bezoekers op dezelfde rij.

### 2.1.2 Meetmethodiek

Het emitteren en meten van deeltjes heeft als volgt plaatsgevonden.

#### *Emissie*

Een mengsel met een samenstelling van 1% NaCl (fysiologische zoutoplossing), 1% glycerol en 0,5% fluoresceïne is via een nozzle (vernevelaar) verneveld. De oplossing heeft eigenschappen die overeenkomen met menselijk speeksel, dat circa 1% zout en 1% eiwitten bevat.<sup>3,4</sup> De eiwitten zijn in het mengsel vervangen door glycerol om te voorkomen dat deze eiwitten de nozzle kunnen verstoppen door coagulatie. De door deze nozzle vernevelde deeltjes hebben afmetingen die overeenkomen met de deeltjesgrootte die vrijkomt tijdens praten<sup>5</sup>. Figuur 3 geeft de deeltjesgrootteverdeling weer. De geëmitteerde deeltjes zijn 18-100 µm in omvang. De deeltjesgrootteverdeling is voorafgaand aan uitvoering van het onderzoek door de leverancier van de nozzle gemeten, met gebruikmaking van de in het experiment gebruikte emissievloeistof, en niet nog eens gemeten tijdens de experimenten. De verstoven deeltjes komen vrij in een luchtstroom van 15 l/min met een horizontale uittredesnelheid van circa 2,6 m/s (bij een nozzle opening van 12,6 mm<sup>2</sup>). Deze waarden komen overeen met de gemiddelde neusopening en ademvolume tijdens praten.<sup>5,6</sup> De nozzle is in de mond van een testhoofd<sup>d</sup> aangebracht, om de uitademing zo waarheidsgetrouw mogelijk te simuleren.

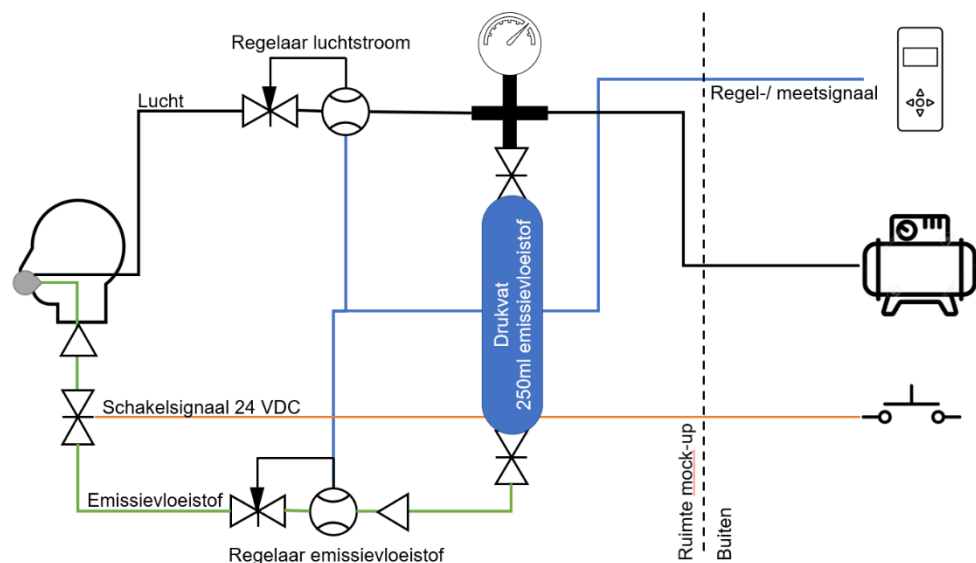


Figuur 3. Grafiek met deeltjesgrootteverdeling.

<sup>d</sup> Een 3D-print van een menselijk hoofd op ware grootte.

Dit experimenteel onderzoek richt zich specifiek op de verspreiding van grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ). Door verdamping van grotere deeltjes kan niet worden uitgesloten dat er ook kleinere deeltjes ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) meegenomen worden in de metingen. Uitgeademde deeltjes kunnen door verdamping in afmeting afnemen tot circa 30% van de oorspronkelijke omvang.<sup>7</sup> Tijdens de metingen zijn de temperatuur en relatieve vochtigheid in de ruimte gemonitord. Monitoring liet zien dat de waarden voor temperatuur (17,6-18,6 °C) en relatieve vochtigheid (36,4-43,6%) nagenoeg constant waren gedurende alle metingen. Het gedrag van kleine deeltjes ( $\leq 5 \mu\text{m}$ ) is al veel onderzocht o.a. in rapport TNO 2020 R10993<sup>2</sup> voor een restaurant setting. Deze kleine deeltjes volgen primair de luchtstroming in een ruimte en verdelen zich na verloop van tijd homogeen over een ruimte. Bewegingen en turbulentie versnellen dit proces. Ook bepaalt de hoeveelheid schone lucht die wordt toegevoerd in belangrijke mate de resulterende concentratie en hersteltijd (tijd die nodig is om een tijdelijke concentratieverhoging te reduceren).

Figuur 4 geeft de schematische weergave van de emissiemethodiek weer. Deze opstelling is dusdanig ingericht dat de emissie buiten de mock-up ruimte geregeld kon worden, zodat het niet nodig was de ruimte te betreden. Mogelijke beïnvloeding van luchtstromen kon hierdoor worden vermeden. Twee voorfilters zijn geplaatst om verontreinigingen te voorkomen in de regelklep en in de nozzle. Het voorfilter voor de nozzle is regelmatig vervangen om verstopping van de nozzle en daarmee verandering in het vernevelde volume te voorkomen.



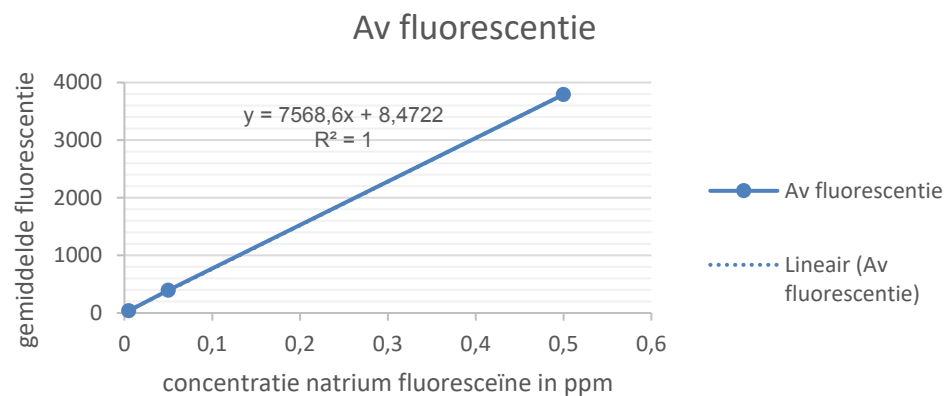
Figuur 4. Schematische weergave emissiemethodiek.

#### *Meten van de blootstelling*

De blootstelling bij de ontvanger is vastgesteld door in een tweede testhoofd een filtercassette met vervangbaar filter te plaatsen. De aanzuigopening van de filtercassette heeft een diameter van 10 mm (0,79 cm<sup>2</sup>) waar 15 l/min lucht<sup>e</sup> door

<sup>e</sup> Dit sample volume is gebaseerd op een ademvolume van 0,5 liter per ademhaling en een inadentijd van 1 seconde per ademhaling en 30 ademhalingen per minuut. Hieruit volgt een gemiddeld inhalatievolume van 15 liter/min.

wordt aangezogen. Deze waarde is gelijk gesteld aan de gebruikte uitredesnelheid van de bron. Het PTFE (teflon) filtermembraan met een diameter van 37 mm en een poriediameter van 1,0 of 1,5  $\mu\text{m}$  vangt de aangezogen deeltjes met fluoresceïne op. Gedurende de metingen met hoogteverschil 0 cm zijn filters met een poriediameter van 1,0  $\mu\text{m}$  toegepast, omdat de oorspronkelijk gebruikte filters met een poriediameter van 1,5  $\mu\text{m}$  niet meer tijdig beschikbaar waren. Tijdens de metingen is gebleken dat het verschil in poriediameter geen aan de poriediameter toewijsbaar verschil opleverde op de resultaten. De op het filter ingevangen fluoresceïne representeert de hoeveelheid ingeademde fluoresceïne (blootstelling). Deze hoeveelheid is bepaald door de fluoresceïne van het filter te wassen met 5 ml natrium fosfaat buffer pH 7.4 met daarin 5 g glaspereels met een diameter van 3 mm in een 50 ml buis op een homogenisator. Homogenisatie vond plaats gedurende 5 minuten schudden in de homogenisator. Van elke homogene oplossing van de ingevangen fluoresceïne is een seriële verdunning gemaakt voor fluorescentiebepaling in een Tecan Infinite M200 pro<sup>f</sup>. Daartoe zijn de in oplossing aanwezige fluoresceïnemoleculen geëxciteerd op 483 nm waarbij fluorescentie optreedt van 515 nm. Omdat de ijklijn voor fluorescentie lineair is in de range van 0 tot 4000 parts per million (ppm), zijn alleen de verdunningen van de monsters in die range gebruikt voor kwantificering. De ijklijn van één serie metingen is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5. Ijklijn van gemiddelde fluorescentie signaal (Av fluorescentie) van 515 nm, afgezet tegen de concentratie fluoresceïne in het monster, representeert de gemiddelde fluorescentie van 2 verdunningen. Alleen ijklijnen met een  $R^2$  van  $>0.99$  zijn gebruikt voor kwantificering van de ingevangen fluoresceïne.

### 2.1.3 Meetopstellingen

Experimenten zijn uitgevoerd met verschillende ventilatiesystemen (stoelventilatie en ventilatie met wervelroosters), verschillende verhogingen (0 cm, 35 cm en 75 cm) en verschillende stoelopstellingen (recht of verspringend) representatief voor de sector, Tabel 1, Tabel 2 en Figuur 6.

<sup>f</sup> Tecan, <https://lifesciences.tecan.com>

Tabel 1. Variabelen in meetopstellingen.

<i>Verhoging (cm)</i>	0	35	75
<i>Ventilatietype</i>	Wervelrooster		Stoelventilatie
<i>Stoelopstelling</i>	Recht		Verspringend
<i>Tussenrij</i>	Vrije tussenrij (referentie)		Geen vrije tussenrij (tussenrij in gebruik door ontvanger)

Tabel 2. Overzicht additionele maatregelen.

<i>Vrije tussenrij</i>	<i>Geen vrije tussenrij</i>			
	Geen additionele maatregelen	Mond-neusmasker (chirurgisch masker type II) <sup>6</sup>	Face shield	Stoelschermen
X (referentie)	X			
		X		
			X	
				X

De additionele persoonlijke beschermingsmiddelen zijn alleen op de ontvanger (testhoofd) geplaatst. Hiermee is een worst case scenario gecreëerd voor blootstelling bij het gebruik van een mond-neusmasker en een face shield (appendix C). De emissie van deeltjes wordt immers niet door persoonlijke beschermingsmiddelen beperkt. De blootstellingen van de verschillende opstellingen zijn vergeleken met de referentiesituaties waarbij geen additionele maatregelen zijn gebruikt en waarbij gebruik is gemaakt van een vrijgehouden tussenrij (afstand tussen emitter en ontvanger > 1,5 meter). Het gebruikte stoelscherm is gebaseerd op in de praktijk gebruikte schermen aangeleverd door Fieldlab Evenementen<sup>9</sup>. De breedte van de schermen is 40 cm en de schermen steken 42,5 cm boven de rugsteun uit zodat de afstand van stoelzitting tot bovenkant scherm 90 cm bedraagt.

<sup>9</sup> Deze schermen zijn ook gebruikt tijdens het Fieldlab proefcongres in het Beatrix Theater in Utrecht op 15 februari 2021.



Figuur 6. Impressie van meetopstelling met vrijgehouden tussenrij en de verschillende maatregelen die zijn onderzocht (van links naar rechts: face shield, mond-neusmasker en stoelscherm).

#### 2.1.4 Meetcyclus

De meetcyclus bestond uit de volgende fasen:

1. starten aanzuig over filter (1 minuut);
2. emissie (10 minuten);
3. naloop aanzuiging over filter (1 minuut);
4. doorspoelen ruimte ( $\geq 10$  minuten).

Stappen 1 t/m 4 zijn per opstelling in drievoud uitgevoerd.

	Tijd (minuten)			
	1	11	12	22
Starten aanzuiging over filter				
Emissie				
Naloop aanzuiging over filter				
Doorspoelen ruimte				



### 2.1.5 *Analyse resultaten*

De analyse van de resultaten heeft plaatsgevonden met de statistische software R. Eerst is de data gescreend om inzicht te krijgen in de verdeling van de data en de relatie tussen variabelen. Vervolgens is de blootstelling bij de verschillende referentiesituaties en maatregelen met elkaar vergeleken.

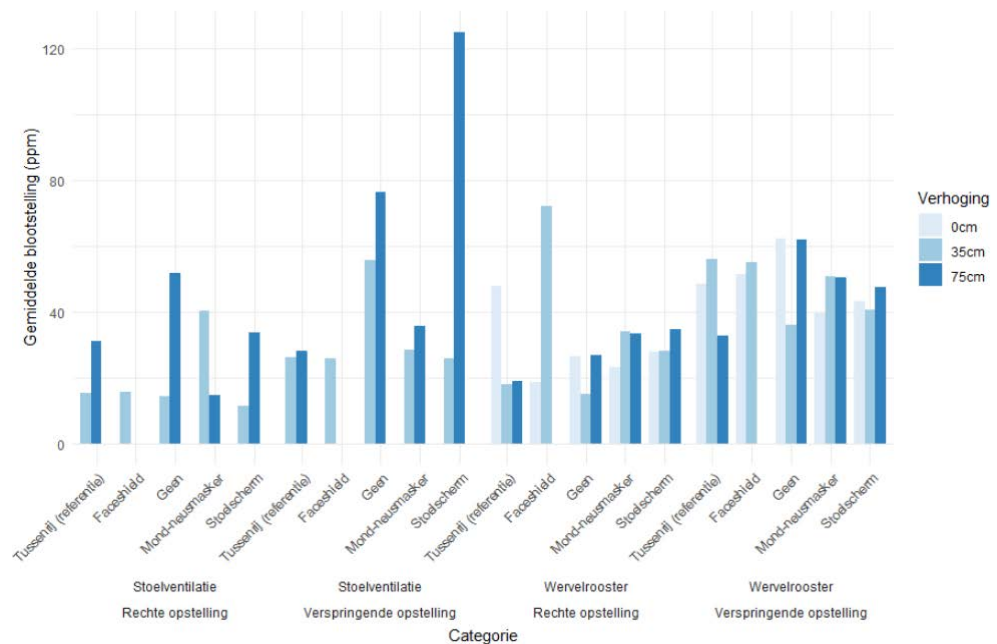
In de analyses dient de hoeveelheid op het filter aangetroffen fluoresceïne in *parts per million* (ppm) als uitkomstmaat voor de blootstelling. Deze maat staat in het onderzoek synoniem voor de hoeveelheid blootstelling in een gegeven situatie (lager is beter). De situatie waarin een vrije tussenrij wordt gehanteerd dient als referentieblootstelling: hiermee wordt voldaan aan het anderhalvemeterprotocol. De referentieblootstelling wordt gehanteerd om de alternatieve maatregelen mee te vergelijken.

Daarnaast is ook gekeken naar het effect van de verschillende ruimtelijke meetopstellingen; het soort ventilatiesysteem (wervelrooster of stoelventilatie), de verhoging tussen de rijen (0 cm, 35 cm, 75 cm) en de opstelling van de stoelen (recht achter elkaar of verspringend). Tot slot is een analyse uitgevoerd om een mogelijk interactie-effect tussen de opstellingen en maatregelen te meten.

## 3 Resultaten

### 3.1 Vergelijking referentiesituaties

Figuur 7 geeft een overzicht van de gemeten gemiddelde blootstelling in alle situaties. Hierbij is onderscheid gemaakt in het type ventilatie (stoelventilatie en wervelrooster), type opstelling (recht en verspringend), toegepaste maatregel en toegepaste verhoging van stoelrijen. Voor stoelrijen zonder verhoging is het niet gebruikelijk om stoelventilatie toe te passen.



Figuur 7. Gemiddelde blootstelling gemeten in alle 46 combinaties van meetopstellingen. De maatregel 'tussenrij' betreft de referentiesituatie.

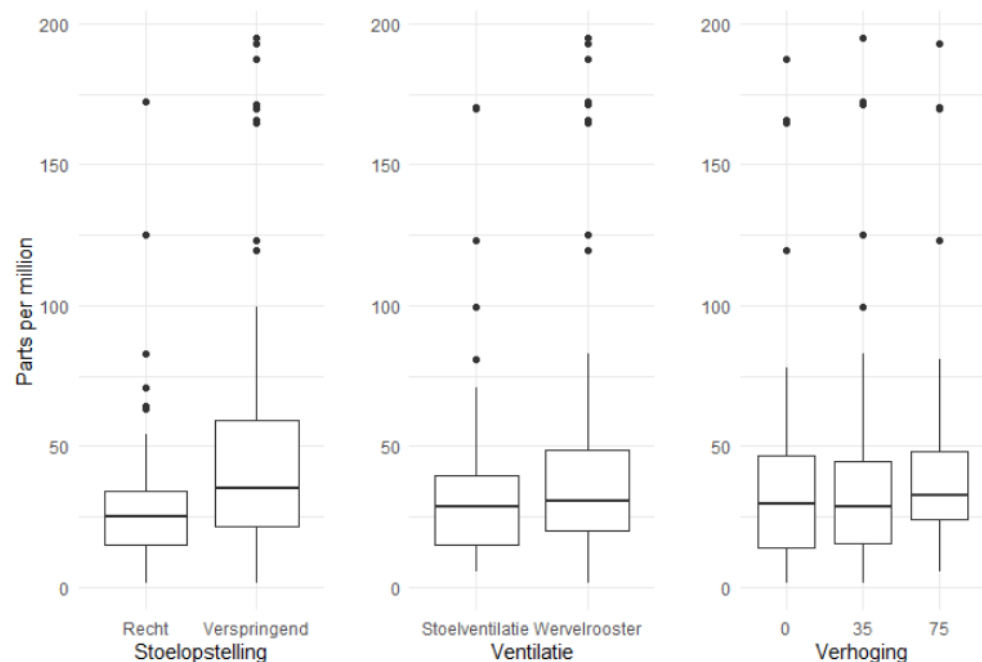
Om de verschillende opstellingen met elkaar te vergelijken is een drieweg variantieanalyse (ANOVA) uitgevoerd met de factoren ventilatiesysteem, verhoging en stoelopstelling. Een drieweg variantieanalyse is een toetsingsprocedure waarmee wordt nagegaan of de gemiddelde uitkomsten verschillen op drie onafhankelijke groepsvariabelen. De term variantieanalyse verwijst naar de analyse van de totale variantie van de gemeten grootte in twee delen:

1. de variantie binnen de groepen (binnenvariantie);
2. de variantie tussen de groepen (tussenvariantie) die met elkaar vergeleken worden.

Een relatief grote tussenvariantie dient als bewijs om te kunnen zeggen dat de groepen verschillende blootstellingsgemiddeldes hebben. Met deze analyse is in kaart gebracht of er significante verschillen (verschillen die niet door toeval ontstaan zijn) zijn in gemeten blootstelling (in ppm) tussen de verschillende situaties, onafhankelijk van getroffen maatregelen.

Uit de analyse blijkt dat een opstelling met de stoelen recht achter elkaar significant verschilt van een verspringende stoelopstelling in de gemeten blootstelling ( $F(1) = 11.14$ ,  $p = 0.001$ ). Uit de data blijkt dat de gemiddelde blootstelling van alle metingen bij een rechte stoelopstelling gelijk is aan 29,7 ppm. Bij een verspringende opstelling is dat 49,7 ppm. Een zaal met een rechte stoelopstelling resulteert dus in een significant lagere blootstelling binnen het experiment.

Bij het type ventilatiesysteem en de verschillende stoelverhogingen is het verschil in blootstelling niet significant. Er worden geen significante verschillen gevonden tussen wervelroosters en stoelventilatie, of tussen een verhoging tussen de rijen van 0 cm, 35 cm of 75 cm, zie Figuur 8. Enkele theoretisch mogelijke configuraties zijn niet bemeaten, omdat ze op basis van de resultaten van de vragenlijst in appendix B in de praktijk niet of nauwelijks voorkomen. Bij een verhoging van 0 centimeter wordt in de praktijk geen stoelventilatie toegepast.



Figuur 8. Boxplots van de verschillende meetopstellingen.

### 3.2 Effect van een tussenrij

Om het effect van de verschillende maatregelen als alternatief voor een vrije tussenrij te analyseren is een lineaire regressieanalyse uitgevoerd. De inputgegevens voor de regressieanalyse zijn de meetresultaten per maatregel in de verschillende opstellingen. Met de regressieanalyse wordt een modelmatige voorspelling gedaan voor het gemiddelde van de blootstelling, onafhankelijk van de ruimtelijke opstelling. Deze blootstelling wordt voorspeld aan de hand van de maatregel die is getroffen.

Met het regressiemodel wordt een blootstelling voorspeld van 34,4 ppm in de referentiesituatie, met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 21,3 tot 47,3. Een mond-neusmasker komt met een blootstelling van 35,1 (20,9—49,3) ppm het dichtst in de buurt van de referentiesituatie. Bij een stoelscherm voorspelt het regressiemodel een blootstelling van 41,9 (27,6—56,1) ppm. Als er geen maatregel wordt getroffen dan wordt zonder tussenrij een blootstelling van 45,0 (33,1—56,8) ppm voorspeld. Het face shield doet het met een voorspelde blootstelling van 45,5 (31,8—59,3) ppm het slechtst.

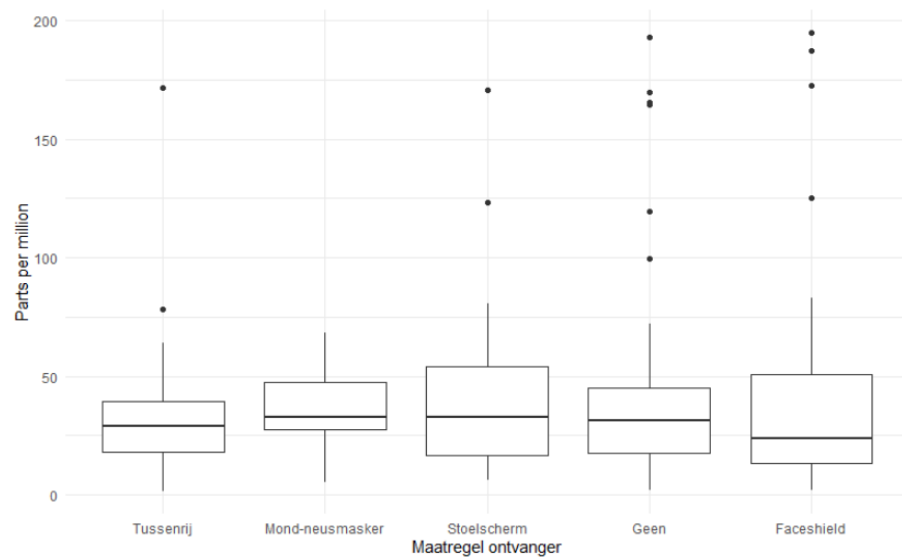
Geen van de maatregelen zorgt voor een significant verschil in de blootstelling ten opzichte van de referentiesituatie. Wel is er een verschil tussen enerzijds het mond-neusmasker en anderzijds de andere maatregelen. Waar de blootstelling bij mond-neusmaskers vrijwel gelijk ligt aan die bij een tussenrij, is de blootstelling bij andere maatregelen weliswaar niet significant hoger, maar wel duidelijk hoger. Niet uitgesloten kan worden dat bij grootschaliger en/of langduriger metingen op den duur voor een of meer van de maatregelen wel de significantiedrempel zou worden bereikt.

Slechts 1,5% van de variantie in de data wordt verklaard door het type maatregel van de ontvanger. Dit is het resultaat van een grote spreiding in gemeten blootstelling binnen elke maatregel. Dit resulteert in ruime betrouwbaarheidsintervallen, zie Tabel 3.

Tabel 3. Voorspelde uitkomstwaarden van de blootstelling voor de getroffen maatregelen.

Maatregel	Voorspelde waarde (ppm)	95% Betrouwbaarheidsinterval (ppm)
Tussenrij	34,4	21,3 – 47,3
Mond-neusmasker	35,1	20,9 – 49,3
Stoelscherm	41,9	27,6 – 56,1
Geen	45,0	33,1 – 56,8
Face shield	45,5	31,8 – 59,3

We zien voor vrijwel alle maatregelen dat er bij enkele meetopstellingen waarden van meer dan 100 ppm gemeten zijn. Dit soort extremen heeft een sterk effect op de groepsgemiddeldes die het regressiemodel voorspelt. Figuur 9 toont de mediaan en de interkwartiel-afstand, die afwijken van het gemiddelde en het betrouwbaarheidsinterval zoals in Tabel 3 zijn weergegeven. Dit komt doordat de gemeten blootstelling rechtsscheef verdeeld is. Als een robuustheidscheck zijn dezelfde analyses uitgevoerd met een derdemachtswortel getransformeerde blootstellingswaarde, wat een normaalverdeling oplevert. Dit levert geen verschil in significantie op.



Figuur 9. Boxplot van de verschillende maatregelen op hoeveelheid blootstelling.

### 3.3 Interactie-effecten

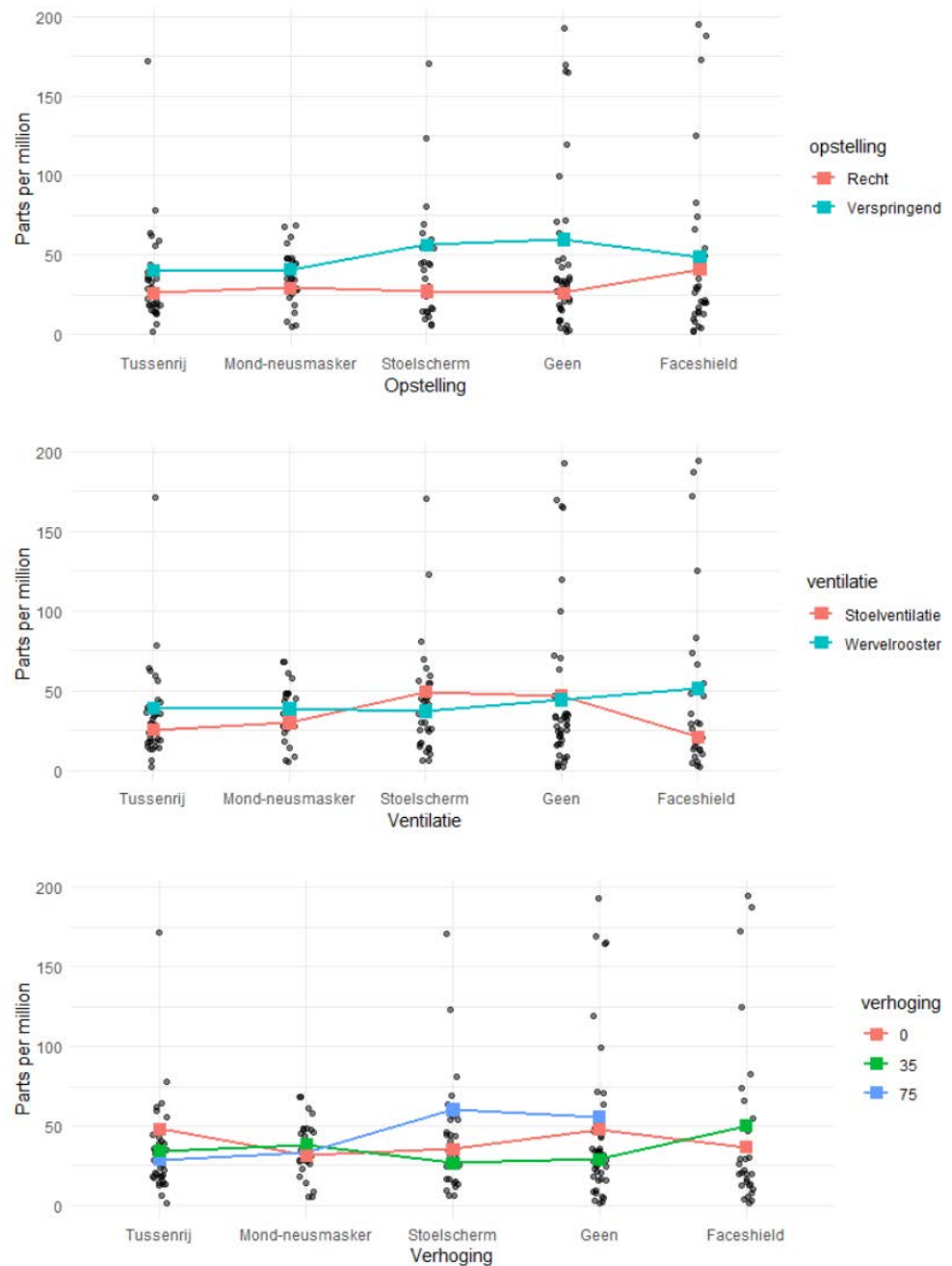
Met lineaire regressieanalyses is onderzocht of er een mogelijk interactie-effect is tussen een genomen maatregel en de opstelling van de zaal. Dit is uitgevoerd met drie aparte lineaire regressiemodellen. In elk model is een van de opstellingsfactoren (ventilatiesysteem, stoelopstelling, verhoging) meegenomen, als ook de interactie tussen de maatregelen en deze factor. Uit deze analyses blijken geen significante verschillen voor de onderzochte interacties te zijn, zie Figuur 10. Er is derhalve geen statistisch bewijs gevonden voor de stelling dat de effectiviteit van maatregelen afhangt van de meetopstelling in het uitgevoerde experiment.

Uit Figuur 10 blijkt dat er bij de getroffen maatregelen een verschil in effectiviteit zichtbaar is tussen de beide opstellingen (recht of verspringend), al zijn deze verschillen niet significant. Zo lijkt een mond-neusmasker bij een verspringende opstelling een vrijwel gelijke blootstelling op te leveren als met het hanteren van een tussenrij. En de overige maatregelen bij deze opstelling geven een iets hogere blootstelling dan de referentie met tussenrij. Bij een rechte opstelling lijkt het gebruik van een face shield de hoogste blootstelling op te leveren. De overige maatregelen lijken bij deze opstelling een vrijwel gelijke blootstelling als de referentie met tussenrij te geven.

Voor type ventilatie blijkt volgens figuur 10 dat de maatregelen met name bij stoelventilatie een positief of negatief effect kunnen hebben. Het toepassen van een face shield en mond-neusmasker lijkt een vrijwel gelijke blootstelling op te leveren als een tussenrij. Geen maatregel of een stoelscherm toepassen lijkt juist in een hogere blootstelling te resulteren. Bij wervelroosters lijkt het toepassen van een face shield te leiden tot een hogere blootstelling dan bij stoelventilatie.

Ook de verhoging (0 cm, 35 cm of 75 cm) lijkt enig effect te hebben op de effectiviteit van de verschillende maatregelen. Bij een mond-neusmasker is het effect volgens figuur 10 het minst afhankelijk van de verhoging. Het toepassen van

een stoelscherm of geen maatregel lijkt te resulteren in de grootste spreiding van de blootstelling ofwel de effectiviteit van maatregelen. Ook het effect van een tussenrij lijkt te worden beïnvloed door de verhoging, waarbij een verhoging van 0 cm leidt tot de hoogste blootstelling.



Figuur 10. Interacties tussen getroffen maatregel en meetopstellingen. Geleerde punten geven de voorspelde blootstelling in ppm aan voor een gegeven combinatie van maatregel en conditie.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Op basis van het huidige onderzoek worden de volgende conclusies met betrekking tot de onderzoeksvraag getrokken.

- *In hoeverre is het mogelijk om, door toepassing van (kuch)schermen, mond-neusmaskers of face shields, dan wel zonder toepassing van extra maatregelen, in een theater- of bioscoopopstelling zonder tussenrij een blootstelling van bezoekers aan grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) te realiseren die gelijk of lager is aan de blootstelling in een opstelling met tussenrij, maar zonder maatregelen?*

Het gebruik van een mond-neusmasker door de ontvanger geeft een vergelijkbare blootstelling (35,1 ppm) als de referentiesituatie met een vrije tussenrij (34,4 ppm).

Het gebruik van een face shield door enkel de ontvanger resulteert, in vergelijking met het toepassen van een tussenrij, tot een hogere blootstelling (+11,1 ppm, +32%). Het verschil in blootstelling tussen de referentiesituatie en het toepassen van een face shield is echter niet significant. Het gebruik van een stoelscherm tussen de stoelrijen resulteert, in vergelijking met het toepassen van een tussenrij, in een hogere blootstelling (+7,5 ppm, +22%). Dit verschil in blootstelling is evenmin significant.

Hoewel de verschillen niet significant zijn, is de blootstelling bij andere maatregelen dan een mond-neusmasker wel duidelijk hoger dan de referentiesituatie. Gezien de beperkte omvang en loopduur van het onderzoek kan niet worden uitgesloten dat bij grootschaliger en/of langduriger metingen voor een of meer van de maatregelen op den duur wel de significantiedrempel zou zijn bereikt.

Het toepassen van stoelrijen die ten opzichte van elkaar verspringen, leidt tot een significant hogere blootstelling dan stoelen die recht achter elkaar zijn geplaatst.

Uitgangspunt voor dit experimenteel onderzoek was een worst case scenario, waarbij de emitter in alle opstellingen geen persoonlijk beschermingsmiddel (mond-neusmasker of face shield) droeg. Uit een eerder onderzoek, opgebouwd uit een literatuurstudie en een procesanalyse (TNO 2021 R10801), blijkt dat deze maatregelen het verspreiden van grotere deeltjes ( $> 5 \mu\text{m}$ ) substantieel kunnen verminderen. Het is daarom aannemelijk, maar niet experimenteel vastgesteld in dit onderzoek, dat bij gebruik van mond-neusmaskers door alle bezoekers de blootstelling lager zal uitvallen dan in de referentiesituatie met een vrije tussenrij zonder maatregelen.

In de ziffase tijdens een voorstelling wordt met alle onderzochte maatregelen een statistisch gelijkwaardige (niet significant hogere) blootstelling bereikt als in de referentiesituatie met een vrije tussenrij zonder maatregelen. Echter is binnen de grenzen van het onderzoek zonder vrije tussenrij alleen bij toepassing van mond-

neusmaskers, een blootstelling gerealiseerd die vrijwel identiek is aan de referentiesituatie.

## 4.2 Aanbevelingen

Wanneer wordt afgezien van het toepassen van een tussenrij, kan het gebruik van mond-neusmaskers worden aanbevolen. De blootstelling is vrijwel identiek.

Toepassing van andere maatregelen dan mond-neusmaskers kan pas worden aanbevolen indien grootschaliger en/of langduriger onderzoek uitwijst dat ook dan de significantiegrens ten opzichte van de referentiesituatie niet wordt bereikt.

Voor de toepassing van mond-neusmasker wordt, in lijn met de bevindingen in het TNO-rapport 2021 R10801 (over de eerste fase van dit onderzoek), aanbevolen om alleen genormeerde mond-neusmaskers<sup>h</sup> te gebruiken en deze met gebruiksinstructie door de organisatie van het betreffende evenement te laten verstrekken.

Om de blootstelling in een theater/bioscoopopstelling te minimaliseren is een opstelling waarbij de stoelrijen recht achter elkaar zijn opgesteld aan te bevelen.

## 4.3 Discussie en limitatie

De deeltjesgrootteverdeling is voorafgaand aan de experimenten door de leverancier van de nozzle gemeten en niet tijdens de experimenten nogmaals vastgesteld. Doordat de vloeistofhoeveelheid die wordt geëmitteerd is geregeld, de voordruk van de te vernevelen vloeistof constant is en de vloeistof via een filtersysteem aan de nozzle wordt toegevoerd is aannemelijk dat de deeltjesgrootteverdeling tijdens de experimenten overeenkomt met de door de fabrikant gemeten waarden (Figuur 3). De geëmitteerde deeltjesgrootteverdeling wijkt af van de "ingeademde" deeltjesgrootteverdeling doordat geëmitteerde deeltjes net zoals uitgeademde deeltjes aan verdamping onderhevig zijn. Dit sluit aan bij de werkelijke situatie onder gelijke omstandigheden als tijdens het experiment. Afwijkende omstandigheden met betrekking tot relatieve vochtigheid en temperatuur kunnen mogelijk leiden tot afwijkende resultaten.

In enkele meetopstellingen is een grote variatie te zien in de drie metingen die zijn uitgevoerd. Mogelijk is hierbij de directionaliteit van de nozzle bij de emitter of de aanzuiging bij de ontvanger van invloed geweest. Om de mogelijke meetonnauwkeurigheid te minimaliseren zijn voor de betreffende opstellingen, naast de standaard triple meting, additioneel nogmaals triple metingen uitgevoerd waarmee het totaal aantal metingen op 6 uitkomt voor deze situaties. Ook deze additionele metingen zijn gebruikt bij de analyse.

---

<sup>h</sup> Bij voorkeur type I of II volgens NEN-EN 14683+c1<sup>9</sup>.



Het onderzoek beperkt zich tot de beschreven maatregelen. Andere maatregelen, andere type mond-neusmaskers, face shields of afmetingen van stoelschermen zijn niet onderzocht. Hierover worden op basis van dit onderzoek geen uitspraken gedaan.

De experimenten zijn uitgevoerd onder stationaire omstandigheden waardoor effecten van bewegingen van bezoekers niet in het onderzoek zijn betrokken. Bewegingen kunnen de resultaten van het onderzoek beïnvloeden, in welke mate en richting kan niet worden aangegeven. Ook zingen, luid spreken, klappen van bezoekers, etc. kan effect hebben op de resultaten van het onderzoek.

## 5 Literatuur

1. TNO 2021 R10801. Onderzoek effectiviteit schermen en persoonlijke maatregelen voor typologie 1 evenementen.
2. TNO 2020 R10993. Indicatief onderzoek naar effectiviteit van schermen in de horeca.
3. Sarkar A, Xu F, Lee S. Human saliva and model saliva at bulk to adsorbed phases – similarities and differences. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2019
4. Del Vigna de Almeida et al. Saliva composition and functions: a comprehensive review. *Journal Contemporary Dental Practice*. 2008
5. Ai A, Hashimoto K, Melikov AK. Influence of pulmonary ventilation rate and breathing cycle period on the risk of cross-infections. *Indoor Air*. 2019
6. Xu C, Nielsen P V., Gong G, Liu L, Jensen RL. Measuring the exhaled breath of a manikin and human subjects. *Indoor Air*. 2015
7. Xie et al. How far droplets can move in indoor environments – revisiting the Wells evaporation–falling curve. *Indoor Air*. 2007
8. NEN-EN 14683+c1. Medical face masks - Requirements and test methods. 2019.

## 6 Ondertekening

Delft, 25 mei 2021

TNO

Ir. A.C. Westerlaken  
Research Manager

Ir. S.P.M. van Heumen  
Projectleider

## A Vragenlijst typologie I evenementen

Het Fieldlab Evenementen heeft TNO gevraagd een onderzoek uit te voeren naar het toepassen van verschillende persoonlijke beschermingsmiddelen zoals mondneusmaskers, face shields, (kuch)schermen e.d. met als doel een advies te geven over het elimineren van een lege tussenrij tussen de rijen met bezoekers.

Om de experimentele opstelling zo realistisch mogelijk vorm te geven wordt een inventarisatie gemaakt van de toegepaste ventilatiesystemen in relatie tot de zaalomvang en -inhoud.

Wij zouden u om deze reden willen vragen om per zaal de volgende gegevens te verstrekken.

Naam organisatie:	
Zaal naam/nummer:	
Datum:	.....-.....- 2020
<i>Algemeen</i>	
Vloeroppervlak zaal [m <sup>2</sup> ]	
Volume zaal [m <sup>3</sup> ]	
Aantal stoelrijen achter elkaar [nr]	
Totaal aantal stoelen in de zaal [nr]	
Opstelling stoelen	<input type="checkbox"/> stoelen verspringend achter elkaar opgesteld <input type="checkbox"/> stoelen recht achter elkaar opgesteld
Hart op hart afstand stoelen naast elkaar [cm]	
Breedte stoel [cm]	
Afstand tussen de stoelrijen [cm]	
Minimale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen [cm]	
Maximale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen [cm]	
Afbeelding/foto	
<i>Ventilatiesysteem</i>	
Type ventilatie	<input type="checkbox"/> Stoelventilatie <input type="checkbox"/> Toevoer boven in zaal, afvoer achter of voor in zaal <input type="checkbox"/> Anders:.....
Verse luchthoeveelheid [m <sup>3</sup> /h]	
Recirculatie hoeveelheid [m <sup>3</sup> /h]	
Totaal aan de ruimte toegevoerde lucht hoeveelheid [m <sup>3</sup> /h]	

## B Resultaten vragenlijst

Zaal	Algemene zaalinformatie					Opstelling stoelen						
	Vloeroppervlakte zaal (m <sup>2</sup> )	Volume zaal (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde hoogte zaal (m)	Aantal stoelrijen achter elkaar	Totaal aantal stoelen in de zaal	Verspringend	Recht	H.o.h. afstand stoelen naast elkaar (cm)	Breedte stoel (cm)	Afstand tussen de stoelrijen (cm)	Minimale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen (cm)	Maximale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen (cm)
1	789	11.835	15	24	716	X		58	50	100	0	10
2	306	3.060	10	20	550	X		55	55	100	20	75
3	560	6.160	11	20	600	X		52	54	100	0	40
4	60	300	5	12	147		X	55	60	80	40	65
5	300	3.600	12	19	550		X	55	55	90	20	40
6	155	1.085	7	7	216	X		55	55	90	40	40
7	300	4.500	15	19	609	X		56	48	90	0	4
8	312	3.574	11	10	204			50	45	95	34	34
9	500	10.000	20	37	880	X		56	56	100	20	20
10	250	3.000	12	12	290		X	55	55	100	40	40
11	340	2.380	7	20	512	X		54	45	83	0	20
12	179	1.478	8	10	150		X	52	43	100	32	32
13	392	4.309	11	25	740	X		56	47	95	0	30
14	580	8.000	14	27	1.001		X	60	53	66	17	25
15	430	3.500	8	17	425	X	X	49	58	123	34	34
16	456	5.160	11	23	681	X		60	48	95	20	54
17	1.100	33.921	31	22	1.430	X		56	48	100	12	30
	750	17.777	24	21	658		X	56	46	107	28	28

Zaal	Algemene zaalinformatie					Opstelling stoelen						
	Vloeroppervlakte zaal (m <sup>2</sup> )	Volume zaal (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde hoogte zaal (m)	Aantal stoelrijen achter elkaar	Totaal aantal stoelen in de zaal	Verspringend	Recht	H.o.h. afstand stoelen naast elkaar (cm)	Breedte stoel (cm)	Afstand tussen de stoelrijen (cm)	Minimale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen (cm)	Maximale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen (cm)
18	onbekend	5.612	onbekend	9	190		X	56	46	90	35	35
19	629	9.618	15	21	526	X	X	60	42	89	0	60
20	108	432	4	13	100	X		60	55	80	10	20
21	535	4.551	9	11	274		X	56	44	93	15	31
22	339	7.460	22	12	320		X	55	48	90	40	40
23	450	11.700	26	13	346		X	53	43	94	38	38
24	198	3.000	15	10	162		X	53	43	94	38	38
25	500	12.500	25	30	680	X		55	42,5	90	0	48
26	347	2.430	7	19	459	X		55	48	95	18	62
27	1.687	onbekend	onbekend	16	611	X		54	56	96	18	34
28	316	1.768	6	14	246	X		53	44	160	11	22
29	255	2.040	8	13	262	X	X	55	42	95	34	39
30	1.225	11.012	9	32	1.103	X		53	47	90	15	19
31	320	3.500	11	9	206		X	55	55	95	45	45
32	144	1.700	12	7	108		X	50	50	90	36	36
33	144	900	6	variabel	100		X	50	50	100	40	40
34	330	3.300	10	13	350	X	X	55	40	100	36	36
35	157	1.494	9	10	220		X	50	48	67	43	43
36	157	1.494	9	4	37	X		54	54	150	0	20
37	330	4.125	13	25	630	X		55	50	90	0	55
38	501	onbekend	onbekend	22	650	X		54	47	76	6	56
39	256	2.800	11	10	200		X	55	46	79	39	66
40	460	3.000	7	21	521	X		55	55	100	0	20

Zaal	Algemene zaalinformatie					Opstelling stoelen						
	Vloeroppervlakte zaal (m <sup>2</sup> )	Volume zaal (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde hoogte zaal (m)	Aantal stoelrijen achter elkaar	Totaal aantal stoelen in de zaal	Verspringend	Recht	H.o.h. afstand stoelen naast elkaar (cm)	Breedte stoel (cm)	Afstand tussen de stoelrijen (cm)	Minimale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen (cm)	Maximale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen (cm)
41	276	2.760	10	10	201		X	55	55	100	20	20
42	370	3.959	11	27	635		X	56	56	95	0	40
43	357	3.570	10	15	430	X	X	54	48	97	0	35
44	143	743	5	9	107	X	X	54	48	97	32	32
45	240	1.500	6	14	250	X		50	47	100	30	30
46	1.000	10.500	11	37	1.284	X		55	49	95	5	20
47	550	3.600	7	25	690	X		47	45	100	3	15
48	327	4.000	12	8	392	X		50	50	70	15	15
49	348	3.163	9	12	300		X	60	50	109	40	40
50	400	4.710	12	21	822	X		60	47	93	17	25
51	374	onbekend	onbekend	25	575	X		60	56	95	40	60
52	304	2.555	8	10	198		X	50	47	83	30	33
53	onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	990	X		56	onbekend	93	20	53
<b>Totaal</b>	<b>21.837</b>	<b>259.136</b>		<b>892</b>	<b>25.534</b>	<b>33</b>	<b>26</b>					
<b>Gemiddeld</b>	<b>420</b>	<b>5.183</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>473</b>			<b>55</b>	<b>49</b>	<b>94</b>	<b>21</b>	<b>36</b>
<b>Minimum</b>	<b>60</b>	<b>300</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>37</b>			<b>47</b>	<b>40</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Maximum</b>	<b>1.687</b>	<b>33.921</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>1.430</b>			<b>60</b>	<b>60</b>	<b>160</b>	<b>45</b>	<b>75</b>
<b>Mediaan</b>	<b>340</b>	<b>3.535</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>428</b>			<b>55</b>	<b>48</b>	<b>95</b>	<b>20</b>	<b>35</b>

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
1			X		X		15.800	0	15.800	Max 15800 m <sup>3</sup> /h; tijdens concerten naar lager toerental.	22
2	X					Vijf verschillende standen met vaste instellingen	onbekend	onbekend	onbekend		
3			X			Met de hand instelbaar van 40% tot 100%	9.000	0	9.000	Minimaal 3600 m <sup>3</sup> /h; maximaal 9000 m <sup>3</sup> /h.	15
4		X				X	onbekend	onbekend	200	Circa 200 m <sup>3</sup> /h	
5		X		X			15.000	variabel	variabel	Max 15000 m <sup>3</sup> /h	27
6			X		X		variabel	variabel	variabel		
7			X		X		8.500	0	8.500	Nominaal 8500 m <sup>3</sup> /h; Laatste sectie is een schatting gezien wij dit niet kunnen meten en enkel vanuit documentatie van het ventilatie systeem moeten herleiden.	14
8			X			Geen	0	0	0	Er is in de benedenzaal geen ventilatiesysteem. Wel is er een ruime hoeveelheid m <sup>3</sup> .	



Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
9	X				X		35.000	0	35.000		40
10	X				X		20.000	0	20.000		69
11	X			X			20.016	16.013	20.016	Maximale luchthoeveelheden, recirculatie afhankelijk van CO <sub>2</sub> (80%)	39
12		X		X			9.828	7.862	9.828	Maximale luchthoeveelheden, recirculatie afhankelijk van CO <sub>2</sub> (80%)	66
13	X				X		26.228	is uitgeschakeld	26.228		35
14	X			X			45.640	0	45.640	Recirculatie 36000 m <sup>3</sup> /h mogelijk?	46
		X		X			17.500	0	17.500	Sinds corona minimale vaste hoeveelheid en geen recirculatie meer	41
15	X					Hoog/laag o.b.v. temperatuur	18.540	0	18.540		27
16	X	X			X		33.921	0	33.921	Op dit moment 100% verse luchttoevoer. In normale tijden max. 90% recirculatie (afhankelijk van aantal gasten) en 10% verse luchttoevoer.	24

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
17		X			X		17.777	0	17.777	Op dit moment 100% verse luchttoevoer. In normale tijden max. 90% recirculatie (afhankelijk van aantal gasten) en 10% verse luchttoevoer.	27
18		X			X		5.612	0	5.612	Op dit moment 100% verse luchttoevoer. In normale tijden max. 90% recirculatie (afhankelijk van aantal gasten) en 10% verse luchttoevoer.	30
19	X				X		18.540	0	18.540	Warmtewiel, verder geen recirculatie; afzuig 16704 m <sup>3</sup> /h	35
20	X				X		6.985	0	6.985	Geen waarde van recirculatie bekend; nu staat de klep dicht i.v.m. corona; afzuig 5508 m <sup>3</sup> /h	70
21		X			X		8.899	0	8.899	Warmtewiel, verder geen recirculatie; afzuig 9953 m <sup>3</sup> /h	32
22			X		X		8.000	0	8.000		25
23		X		X			10.000	0	10.000		29

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
24		X		X			4.000	0	4.000		25
25	X			X			8.300	0	8.300		12
26	X				X		15.480	0	15.480	Breedte stoel 55 cm incl. en 48 cm excl. armleuning; afvoer 11.484 m <sup>3</sup> /h	34
27	X					Druk gestuurd	13.500	0	13.500		22
28	X			X			500	0	500	Recirculatie tijdens voorstellingen nihil	2
29			X		X		11.674	0	11.674		45
30	X				X		20.000	0	20.000	Openingen in de treden onder de stoelen; lucht komt daar dus geleidelijk verdeeld de zaal in en wordt boven in de nok afgezogen	18
31			X	X			onbekend	onbekend	onbekend		
32			X	X			onbekend	onbekend	onbekend		
33			X			Geen	0	0	0		
34			X	X			11.800	0	11.800		34
35		X		X		Temperatuur	onbekend	onbekend	onbekend		
36		X		X		Temperatuur	onbekend	onbekend	onbekend		

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
37	X			X		Temperatuur	onbekend	onbekend	onbekend		
38	X					Diverse standen, basis voorstellingsstand	24.500	0	24.500	Maximale verhoging tussen twee opvolgende stoelrijen: 26 cm parterre; 56 cm balkon	38
39			X			Diverse standen, basis voorstellingsstand	7.500	0	7.500	Stoelbreedte 46 cm excl. armleuning	38
40	X			X		Programmeerbaar (Priva)	4.722	0	4.722	Priva ventilatiesysteem; recirculatie variabel van 0 tot 100%	9
41			X	X		Programmeerbaar (Baopt)	3.000	0	3.000	Recirculatie variabel van 0 tot 100%	15
42	X			X			19.500	19.500	19.500	Eerste 5 rijen geen verhoging en daarna 8 cm; maximale verhoging 16 cm (balkon 40 cm); recirculatie max. 19.500 bij opwarming zaal 1 uur	31
43		X		X			18.000	14.400	18.000	Verse luchttoevoer 3600-18000 m <sup>3</sup> /h (20- 100%); recirculatie 0- 14400 m <sup>3</sup> /h (0-80%)	42

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
44			X	X			5.000	0	5.000	Afstand tussen stoelrijen 97 cm (theaterstand) 110 cm (filmstand); inschuifbare tribune; verse luchttoevoer 2000-5000 m <sup>3</sup> /h; WTW systeem i.p.v. recirculatie	47
45	X				X		7.000	0	7.000		28
46	X				X		36.000	54.000	90.000		28
47			X		X		17.500	25.000	42.500		25
48		X			X		onbekend	onbekend	15.616		
49		X		X			11.600	0	11.600	Er wordt niet gerecirculeerd in de zaal, wel wordt er warmte onttrokken uit de afgezogen lucht middels een warmtewiel; gemiddelde luchttoevoer is 7.750 m <sup>3</sup> /h; maximaal 11.600 m <sup>3</sup> /h; afzuigdebiet is gemiddeld 4.410 m <sup>3</sup> /h	39

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel- heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
50	X			X			31.200	0	31.200	Er wordt niet gerecirculeerd in de zaal, wel wordt er warmte onttrokken uit de afgezogen lucht middels een warmtewiel; gemiddelde luchttoevoer is 10.800 m <sup>3</sup> /h; maximaal 31.200 m <sup>3</sup> /h; afzuigdebiet is gemiddeld 6.178 m <sup>3</sup> /h	38
51			X		X		onbekend	0	onbekend		
52		X			X		5.000	0	5.000	In theaterzaal BRES hebben we toevoer roosters boven de tribune (dat zijn de kanalen die naar beneden steken met de rozetten erop). De afzuiging vindt plaats boven in de ruimte, 1 open kanaal boven de tribune en 1 open kanaal boven het podium.	25

Zaal	Type ventilatie			Type regeling van de ventilatiehoeveelheid			Verse luchthoeveel heid (m <sup>3</sup> /h)	Recirculatie hoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Totaal aan ruimte toegevoerde luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> /h)	Opmerking	m <sup>3</sup> /h/ persoon
	Stoelventilatie	Zaalventilatie	Anders	CO <sub>2</sub> gestuurd	Vaste hoeveelheid	Anders					
53	X			X			30.518	0	30.518	CO <sub>2</sub> -gestuurd, met aangepaste (vaste) minimum- & maximumwaarden t.b.v. luchtkwaliteit en comfort; recirculatie variabel, CO <sub>2</sub> - en temperatuurafhankelijk, momenteel uitgeschakeld; afvoer boven zaal en toneel.	31
<b>Totaal</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>657.080</b>	<b>136.775</b>	<b>736.896</b>		
<b>Gemiddeld</b>							<b>14.934</b>	<b>3.181</b>	<b>16.375</b>		<b>32</b>
<b>Minimum</b>							<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>2</b>
<b>Maximum</b>							<b>45.640</b>	<b>54.000</b>	<b>90.000</b>		<b>70</b>
<b>Mediaan</b>											<b>30</b>
<b>Gemiddeld ventilatievoud x/h</b>							<b>2</b>		<b>3</b>		

## C Mock-up opstellingen

Onderstaande figuren laten de verschillende opstellingen zien die zijn toegepast in de mock-up. Zo wordt er voor de referentieopstellingen een lege tussenrij gehanteerd zoals het protocol voorschrijft. De tussenrij wordt gebruikt in de overige configuraties waarbij geen persoonlijke beschermingsmiddelen (X), een mondknusmaskers (Y), een stoelscherm (Z) of een face shield (A) op de ontvanger is geplaatst.

