

## Risico-inventarisatie COVID-19 overdracht via aerosolen tijdens een koorrepetitie

Datum: 1-10-2020

Status: Definitief

Adviseur(s): 5.1.2e 5.1.2e 5.1.2e  
5.1.2e 5.1.2e

Contactinformatie: Email 5.1.2e@binnenmilieu.nl, tel. 088- 5.1.2e



## Inhoud

1	Inleiding	3
	1.1 Doel	3
	1.2 Aanpak en leeswijzer	3
	1.3 Disclaimer	4
2	Besmettingskans berekening	5
	2.1 Wells – Riley formule	5
	2.2 Theoretische besmettingskans bij zingen	7
3	Uitkomst gebouwsurvey	8
	3.1 Kleine repetitie ruimte	8
	3.2 Grote kerkzaal	9
	3.3 Duurmetingen ventilatie	9
	3.4 Berekening besmettingskans per ruimte	10
4	Conclusies & aanbevelingen	12
	Bijlagen	14
	Bijlage 1 Toelichting Wells Riley-methode	15
	Bijlage 2 Duurmetingen CO <sub>2</sub> -concentratie	19

## 1 Inleiding

Het koor maakt normaal voor de repetities van de twee koren gebruik van de kleine zaal van de kerk. Vanwege het COVID-19 repeteerde het koor tot nu toe buiten om het risico op ziekte-overdracht via de lucht te beperken. Het koor wil graag weer binnen repeteren en vraagt zich af of er in de kleine zaal en in de grote kerkzaal sprake is van een verhoogde kans op overdracht van COVID-19 via de lucht en heeft bba binnenmilieu gevraagd om een risico-inventarisatie uit te voeren.

bba binnenmilieu heeft bij het onderzoek gekeken naar risicofactoren voor overdracht van het COVID-19 virus via de 'aerosolroute'. In het onderzoek zijn de kenmerken en capaciteit van de natuurlijke ventilatievoorzieningen en het volume van de ruimten in kaart gebracht en zijn eventuele andere risicofactoren voor de overdracht van het COVID-19 via de lucht geïnventariseerd. Daar waar relevant zijn aanbevelingen gegeven om de besmettingskans via de lucht te beperken.

### 1.1 Doel

Doel van het onderzoek was:

- het in kaart brengen van eventuele risico's op verspreiding van COVID-19 via de lucht / via de aerosolroute in de grote zaal en kleine zaal van de kerk.
- het geven van advies om de kans op verspreiding van COVID-19 tijdens repetities via de lucht te beperken.

Het koor heeft zelf al maatregelen genomen om de kans op overdracht via de contactroute (o.a. hygiëne maatregelen) en via de grote druppels (o.a. maatregelen t.a.v. het houden van minimaal 1,5 meter afstand (bij voorkeur grotere afstand i.v.m. druppelproductie bij zingen)) te reduceren<sup>1</sup>. Die twee besmettingsroutes vallen verder buiten het kader van het onderhavige onderzoek.

### 1.2 Aanpak en leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst toegelicht hoe de theoretische aerosol besmettingskans tijdens een zangrepetitie berekend kan worden met de Wells Riley-methode en welke aspecten van invloed zijn op deze besmettingskans.

Tijdens een onderzoek ter plekke op 9 september 2020 zijn de relevante kenmerken in kaart gebracht. Hierbij is o.a. gekeken naar de gebouwenkenmerken, de indeling en het gebruik van de verschillende ruimten en de kenmerken van de ventilatievoorzieningen. Deze zijn in hoofdstuk 3 beschreven en hierbij is aangegeven of deze een verhoogd risico vormen. Ook zijn er tijdens het onderzoek loggers geplaatst om de CO<sub>2</sub>-concentratie te monitoren tijdens bijeenkomsten in de ruimten. Op basis van de uitkomsten van de survey en de duurmetingen is vervolgens voor de onderzochte ruimten de kans op COVID-19 overdracht via de lucht berekend met de Wells Riley-methode uitgaande van een één uur durende zangrepetitie. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 3 en in bijlage 1.

De conclusies en de aanbevelingen van het onderzoek staat beschreven in hoofdstuk 4.

<sup>1</sup> Bij zingen is het aan te raden om meer dan 1,5 meter afstand te houden vanwege de hogere druppelproductie (ook grote druppels) bij zingen.

### 1.3 Disclaimer

In deze rapportage gaat het specifiek over de kans dat een individuele bezoeker (met gemiddelde gezondheid) besmet raakt via de aerosolroute; dit staat los van eventuele besmettingen die ontstaan als mensen langere tijd op korte afstand (binnen 1,5 m) van elkaar recht in elkaars gezicht praten of zingen (ook afstand houden blijft een aandachtspunt). En ook los van besmettingen die op kunnen treden via direct contact (handhygiëne etc. blijft belangrijk).

In dit rapport is beschreven hoe men gegeven de aanwezige voorzieningen zo veilig mogelijk kan zingen. Daarmee is niet gezegd dat (ook na opvolging van alle in dit rapport beschreven adviezen) een 100% veilige situatie wordt gecreëerd. Zingen in binnenruimtes tijdens en na een pandemie brengt een zeker risico met zich mee, zeker op het moment dat regionaal de besmettingsgraad weer op loopt. Dat is een gegeven waar ook bba binnenmilieu niets aan kan veranderen. Wat wel kan is maatregelen nemen, voor zover redelijkerwijs mogelijk om de kans op onderlinge besmetting zo laag as redelijkerwijs mogelijk te maken (as low as reasonable achievable, alara). In dat licht moeten de in dit document gegeven adviezen dan ook gezien worden.

Het Corona virus (SARS-CoV-2) is een relatief nieuw virus. Er is nog veel onbekend; dit geldt zeker in relatie tot bv. besmettingskansen en virusoverdracht mechanismes. bba binnenmilieu heeft de in dit rapport gepresenteerde Wells Riley-berekeningen zo goed mogelijk uitgevoerd, naar eer en geweten, rekening houdend met de laatste stand van de (internationale) wetenschap. Toch kan het eventueel gebeuren dat toekomstig wetenschappelijk onderzoek tot nieuwe inzichten en conclusies leidt; ook daar waar het gaat om besmettingsrisico's via aerosolen bij zingen binnen. Met name in grotere ruimten kunnen ventilatie efficiency en luchtstromingen leiden tot meer variatie. In die zin geldt dus ook enig voorbehoud ten aanzien van de gepresenteerde berekeningsuitkomsten en conclusies.

Stel dat in de toekomst toch sprake is van een onderlinge COVID-19 besmetting in 1 van de ruimten dan kan bba binnenmilieu dan ook op generlei wijze aansprakelijk gesteld worden voor eventuele schade.

## 2 Besmettingskans berekening

### 2.1 Wells – Riley formule

Om een indruk te geven hoe groot de kans is (gerekend per individu, dus voor iedereen die aanwezig is afzonderlijk) om via de (aerosolroute) besmet te raken tijdens een zangrepentie, is de Wells Riley-formule gebruikt. Deze formule maakt inzichtelijk dat de besmettingskans afhankelijk is van het ademvolume en de verblijfsduur van een gezond persoon en van de virusconcentratie in de ruimte. De virusconcentratie in de ruimte is weer afhankelijk van het volume en de ventilatie van de ruimte, de activiteit, de aanwezigheidsduur en de bronsterkte van de infectueuze persoon. In de Wells-Riley berekening gaan we er vanuit dat ook grote luchtvolumes (denk aan de kerkzaal in dit geval) sprake is van ideale menging, ook al weten we dat met name in grote, hoge ruimten dit (ideale menging) niet altijd het geval is.

De invloed van deze factoren op de virusconcentratie is geïllustreerd in Figuur 1, aan de hand van verschillende fictieve ruimten wanneer er wordt gezongen (4 ruimten) of wanneer er wordt gepraat (1 ruimte) in het geval dat één van de aanwezigen infectieus is. Daaronder wordt in Figuur 2 voor dezelfde scenario's de theoretische besmettingskans weergegeven.

Hieronder wordt per aspect toegelicht wat de invloed is op de virusconcentratie en besmettingskans:

- *Blootstellingsduur*: de tijd die men samen in de ruimte doorbrengt. Des te langer men aan een verhoogde virusconcentratie blootgesteld wordt, des te groter de kans om besmet te raken. De invloed van de blootstellingsduur is te zien aan de toename van de besmettingskans op de (y-as) in de loopt van de tijd (x-as) in Figuur 2.
- *Volume van de ruimte*: de grote van volume waarin de aerosolen verdeeld worden, waardoor het in een grote ruimte langer duurt voor de aerosol concentratie in de ademzone oploopt. Dit is te zien in Figuur 1 aan de vergelijking tussen de grote, middelgrote en kleine zaal. Gevolg hiervan is dat als er een bron aanwezig is (besmette persoon) die virussen verspreidt, relatief weinig van deze virussen in de ademzone van de niet besmette personen terecht komt, wat weer betekent dat de onderlinge besmettingskans lager is (Figuur 2).
- *Verse luchttoevoer*: de toevoer van lucht van buiten de ruimte, vrij van virussen<sup>2</sup>. De concentratie aerosolen is ook afhankelijk van de luchtverversing in de ruimte, bij een hoger ventilatievoud wordt de aerosol concentratie meer verdund. De invloed van de hoeveelheid verse luchttoevoer op de virusconcentratie wordt in Figuur 1 geïllustreerd aan de hand van het verloop van de concentratie in een fictieve kleine zaal met een ventilatievoud van 1 en het verloop van dezelfde fictieve kleine zaal met een ventilatievoud van 5. In Figuur 2 wordt de bijbehorende theoretische besmettingskans weergegeven.
- *Virusemissie/bronsterkte*: de virusproductie van een evt. aanwezige infectieuze persoon. De aerosolproductie bij zingen is zo hoog (30 tot 90 keer zo hoog dan bij stil zijn<sup>3</sup>), dat de concentratie in een ruimte waarin gezongen wordt snel toeneemt. Dit is te zien in Figuur 1 vergelijking tussen zingen (uitgaande van 2/3 van de tijd zingen) en praten/overleggen in kleine zaal (uitgaande van 25% praten en 75% stil zijn).

<sup>2</sup> Andere factoren die bijdragen aan de afname van infectueuze aerosolen in de ruimte (zoals het verval van het virus of de neerslag op oppervlaktes) worden als 0 verondersteld.

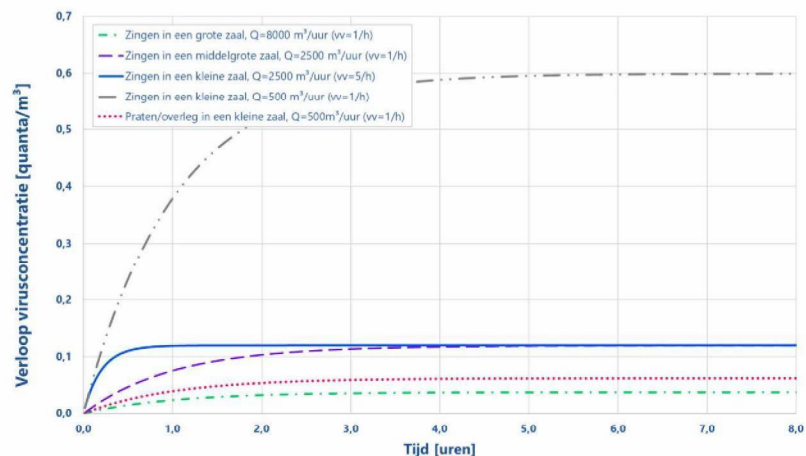
<sup>3</sup> Buonanno et al. (2020, Juni 2). Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications. Opgehaald van <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.01.20118984v1>

- *Het ademvolume*: ingeademde volume lucht aan de 'ontvangende kant' (per gezonde persoon in de ruimte). Bij zingen ademt men meer lucht in dan bij zitten / staan waardoor de totale blootstelling sneller toeneemt (Figuur 2 vergelijking zingen in grote zaal en praten / overleggen in een kleine zaal).
- *Aantal besmette personen* in de ruimten. Hier gaan we voor de berekening standaard uit van (een worst case situatie) van 1 (althans zolang het groepen betreft van niet meer dan 100 personen): het scenario dat er meerdere mensen aanwezig zijn in één ruimte terwijl één van de aanwezigen besmet is en virussen verspreid. Dit aantal staat dus los van de grootte van de ruimte en de COVID-19-situatie in het land (of de regionale besmettingsgraad).

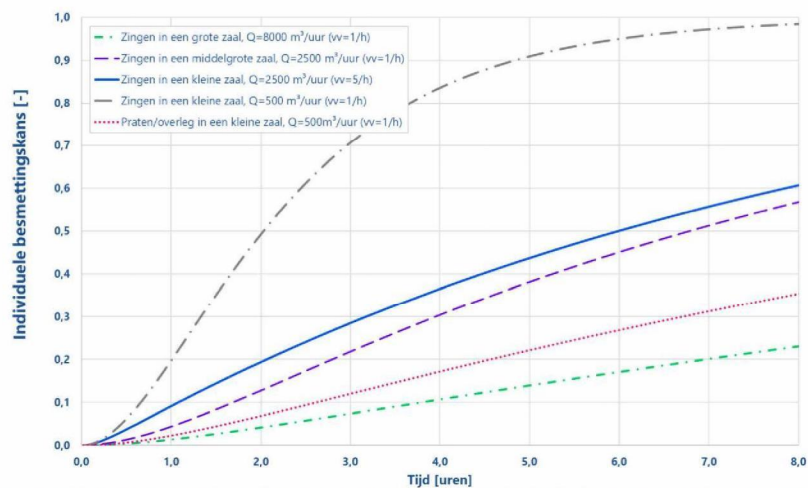
Door het toepassen van de formule op een ruimte, wordt dus bepaald in hoeverre de ruimte voldoende 'COVID-19 aerosol blootstellingsrobuust' is, los van de momentane besmettingsgraad in het land. De berekeningen uit deze rapportage hebben dus betrekking op de theoretische besmettingskans bij aanwezigheid van één besmet persoon in de ruimte (cq het scenario waarbij bv het hele koor met elkaar geoefend heeft en er 3 dagen na afloop van de repetitie blijkt dat 1 van de aanwezigen besmet was).

De kans dat een willekeurige persoon besmettelijk is, ligt op ca. 0,26%. Dus de berekende Wells Riley-kansen (uitgaande van  $I=1$ ) die we in het rapport presenteren zou je eigenlijk nog met die 0,26% moeten vermenigvuldigen en het aantal aanwezigen in de ruimte minus 1, om de werkelijke besmettingskansen te bepalen. Als er met 75 koorleden gerepeteerd wordt en er afspraken gemaakt zijn om bij de klachten thuis te blijven, is de absolute kans dat er een besmet persoon bij de repetitie aanwezig is 19%. Voor verdere uitleg van de diverse parameters, zie bijlage 1.

Onderstaande figuren (Figuur 1 & 2) zijn ter illustratie en geven fictieve ruimten weer.



Figuur 1: De figuur illustreert het verloop van de virusconcentratie in fictieve ruimten wanneer één van de aanwezigen infectueus is.



Figuur 2: Verloop van de individuele besmettingskans op basis van de Wells-Riley formule in de fictieve ruimten wanneer één van de aanwezigen infectueus is.

## 2.2 Theoretische besmettingskans bij zingen

Om inzichtelijk te maken wat de theoretische besmettingskans per individu is tijdens een zangrepetitie, is voor de duur van de repetitie uitgegaan van 1 uur. Hierbij is voor de virusemissie de aanname gedaan dat iemand 2/3 van de tijd aan het zingen is en 1/3 van de tijd stil is of af en toe praat.

In Figuur 2 te zien dat de combinatie van de grootte van de ruimte en de verse luchttoevoer hoeveelheid van invloed zijn op de besmettingskans bij zingen. Voor de verse luchttoevoer zijn, naast ventilatievoorzieningen die tijdens een bijeenkomst goed te gebruiken zijn, spvoorzieningen (te openen ramen en deuren) van groot belang om aanwezige verontreiniging in de ruimte na een bijeenkomst zo snel mogelijk weer af te voeren, zodat een volgende bijeenkomst niet met een verhoogde concentratie begint. Vuistregel hierbij is dat de tijd die nodig is om 95% van de aanwezige verontreinigingen af te voeren gelijk is aan 3 keer maal  $\left(\frac{1}{\text{ventilatievoud}}\right)$  (in uren).

Tijdens de gebouwinspectie zijn deze aspecten voor beide ruimten in kaart gebracht om de theoretische besmettingskans te berekenen.

### 3 Uitkomst gebouwsurvey

Hieronder wordt beschreven wat de uitkomsten zijn van de gebouwsurvey in de kerk en of deze een risico vormen voor de besmettingskans. Per aspect (volume, ventilatie en spuivoorzieningen) is in Tabel 1 aangegeven of deze leiden tot geen verhoogd risico (niveau 'laag') een enigszins verhoogd risico (niveau 'middel') dan wel een duidelijk verhoogd risico ('hoog').

**Tabel 1: Overzicht risicofactoren voor de overdracht van COVID-19 via aerosolen, inclusief risico-inschatting per thema uitgaande van gebruik voor zangrepetities**

	Kleine repetitieruimte	Grote kerkzaal
Volume ruimte	<i>Verhoogd risico</i> volume beperkt geschikt om te zingen	<i>Geen verhoogd risico</i>
Ventilatievoorzieningen	<i>Duidelijk verhoogd risico</i> zeer beperkt aanwezig	<i>Duidelijk verhoogd risico</i> Niet aanwezig
Spuiventilatie	<i>Duidelijk verhoogd risico</i> Geen dwarsventilatie mogelijk en lage winddruk 	<i>Duidelijk verhoogd risico</i> Geen dwarsventilatie mogelijk en lage winddruk 

#### 3.1 Kleine repetitie ruimte


##### Volume

Het volume van de kleine repetitieruimte is bij benadering 850 m<sup>3</sup> (Figuur 3). In paragraaf 3.4. is op basis van het ruimte volume de theoretische besmettingskans berekend. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.4. Voor een zangrepetitie is dit relatief klein en een enigszins verhoogd risico ('middel').

<Figuur 3 is verwijderd>

**Figuur 3 Plattegrond (links) en doorsnede (rechts) van de kleine repetitieruimte**

##### Ventilatie

De ruimte wordt natuurlijk geventileerd en het in de praktijk behaalde ventilatiedebiet is daardoor afhankelijk van het gedrag van de gebruikers en het weer. In de kerkzaal zijn twee gevelroosters aanwezig . In de andere gevels zijn geen ventilatie voorzieningen (zie Figuur 4). In de noordoostgevel en zuid- oostgevel zijn wel hoge klappen aanwezig, maar deze kunnen niet geopend worden vanwege de voorzetramen aan de buitengevel (zie Figuur 5). Op dit onderdeel is het risico dan ook verhoogd ('hoog').

<Figuur 4 is verwijderd>

**Figuur 4 Van oorsprong aanwezige ventilatievoorzieningen welke onbruikbaar zijn gemaakt door het plaatsen van voorzetramen.**

<Figuur 5 is verwijderd>

**Figuur 5 Hoge te openen ramen voorzien van voorzet ramen aan de buitengevel waardoor ze niet meer gebruikt kunnen worden ten behoeve van ventilatie.**

##### Spuivoorzieningen

In de kleine zaal zijn openslaande deuren aanwezig (Figuur 6),  De ramen in de tegenoverliggende gevel kunnen niet geopend worden omdat hier voorzetramen geplaatst zijn aan de buitengevel. Hierdoor kan er geen dwarsventilatie plaatsvinden (luchtstroom

door de ruimte van de ene gevel naar de andere gevel). 5.1.5  
 5.1.5 de invloed van de winddruk (belangrijke kracht voor natuurlijke ventilatie) beperkt. Op dit onderdeel is het risico dan ook verhoogd ('hoog').

<Figuur 6 is verwijderd>

**Figuur 6 Links: openslaande deuren naar de binnenplaats in de kleine zaal.**

### 3.2 Grote kerkzaal

#### Volume

Het volume van de grote kerkzaal is ongeveer 6500 m<sup>3</sup> (Figuur 7). De grote kerkzaal heeft een volume dat ruim 7 keer zo groot is dan de kleine zaal en heeft hier dus een groot voordeel. In paragraaf 3.4. is op basis van het ruimte volume de theoretische besmettingskans berekend. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.4. Dit aspect is geen verhoogd risico voor de grote kerkzaal ('laag').

<Figuur 7 is verwijderd>

**Figuur 7 Plattegrond (links) en doorsnede (rechts) van de grote kerkzaal**

#### Ventilatie

In de grote kerkzaal zijn geen ventilatievoorzieningen aanwezig lager dan 1,80 meter. Vanwege het risico op tocht bij het gebruik van deze voorzieningen, worden deze gerekend als spuivoorzieningen. In het dak zijn wel ventilatievoorzieningen (Figuur 8). Deze bevinden zich echter boven het gewelfde plafond van de zaal, waardoor met name de ruimte boven het plafond geventileerd wordt in plaats van de zaal. Op het onderdeel ventilatie is het risico verhoogd ('hoog').

<Figuur 8 is verwijderd>

**Figuur 8 Ventilatievoorzieningen in het dak van de grote zaal van de kerk**

#### Spuivoorzieningen

In de grote zaal zijn in één gevel 5.1.5 te openen ramen aanwezig (Figuur 9). De ramen in de tegenoverliggende gevel kunnen niet geopend worden omdat hier voorzetramen geplaatst zijn aan de buitengevel. Hierdoor kan er geen dwarsventilatie plaatsvinden (luchtstroom door de ruimte van de ene gevel naar de andere gevel). Doordat de te openen ramen 5.1.5  
 5.1.5 is de in de invloed van de winddruk (belangrijke kracht voor natuurlijke ventilatie) beperkt. Op dit onderdeel is het risico dan ook verhoogd ('hoog').

<Figuur 9 is verwijderd>

**Figuur 9 Te openen ramen aanwezig in de grote kerkzaal 5.1.2e gevel zijn deze ramen ook aanwezig maar kunnen door de geplaatste voorzetramen niet geopend worden.**

### 3.3 Duurmetingen ventilatie

In beide zalen zijn gedurende een week de CO<sub>2</sub>-concentraties gemeten (zie Bijlage 2 voor een overzicht). Op basis van de toename en afname van de concentratie, het aantal gebruikers en het ruimtevolume is de in de praktijk behaalde ventilatiehoeveelheid ingeschat. Vanwege de onzekerheid over het aantal mensen in de ruimte, de mogelijke variatie in de verblijfsduur van de gebruikers, komt er uit deze berekening voor de grote zaal een range van het ventilatievoud van 0,25 tot 0,75. Voor de kleine zaal is te weinig bekend over het aantal aanwezig personen om dit te berekenen.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij harde wind buiten het werkelijke ventilatievoud aanzienlijk hoger kan zijn en dat als het windstil is juist lager is; waarbij het ventilatievoud van 0,25 of mogelijk lager behaald wordt.

### 3.4 Berekening besmettingskans per ruimte

Op basis van de gebouwsurvey en duurmetering is de besmettingskans voor beide ruimten berekend. Voor de ventilatiehoeveelheden (Q) is zowel gerekend met een ventilatievoud van 0,25 en een ventilatievoud van 0,75. Ter illustratie is er een fictieve ruimte toegevoegd om te laten zien hoe de resultaten van een kleinere (400 m<sup>3</sup>) goed geventileerde ruimte (ventilatievoud = 5) zich verhouden met de grote slechter geventileerde ruimten in de kerk<sup>4</sup>. De uitkomsten van deze berekeningen zijn weer gegeven in Tabel 2.

De individuele aerosol besmettingskans (uitgaande van I=1) wordt als 'laag' gekarakteriseerd (met kleurcodering 'Groen') op het moment deze niet meer dan 5% bedraagt. Dit is een standaard waarde die diverse ingenieursbureaus hanteren, een formele grenswaarde hiervoor is er nog niet op dit moment. Is er sprake van een individuele besmettingskans die ligt tussen de 5 en 20%, dan wordt hier een 'verhoogde besmettingskans' (kleurcodering: 'Geel') aan toegekend. Ligt de berekende individuele besmettingskans boven de 20% dan is sprake van een duidelijk verhoogd risico (kleurcodering 'Rood').

Op basis van het model is de individuele theoretische besmettingskans in de grote kerkzaal voor een één uur durende repetitie 2% (score groen) zowel als we uitgaan van het lage als het hogere ventilatievoud. In de kleine repetitieruimte ligt de theoretische besmettingskans tussen de 15% en 13% en valt daarmee in de categorie 'verhoogde besmettingskans' (geel). Ook in een ruimte van 400m<sup>3</sup>/uur die geventileerd wordt met 2000m<sup>3</sup>/uur, is de individuele besmettingskans bij een één uur durende repetitie verhoogd: 11% (score geel).

**Tabel 2: Overzicht risicofactoren voor de overdracht van COVID-19 via aerosolen, inclusief risico-inschatting in de kerk per ruimte uitgaande van gebruik voor zangrepetities**

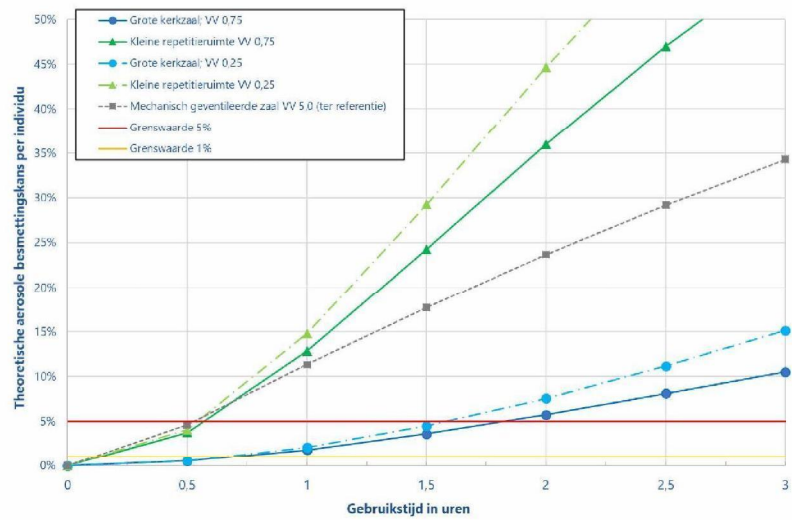
Ruimten	Type ruimte	Aantal personen		Breedte [m]	Lengte [m]	Opp. [m <sup>2</sup> ]	Hoogte [m]	Te openen raam aanwezig?	Q, totaal [m <sup>3</sup> /h]	Duur [h]	Adem volume [m <sup>3</sup> /h pp]	Bron- sterkte [quanta/u]	Aantal bronnen [aantal]	Infectie- risico	WR eindscore
		COVID	normaal												
1	Grote kerkzaal: <b>VV 0,75</b>	75	75	5.1.1c				Ja	<b>4.876</b>	1,0	1	300	1	2%	Groen
2	Kleine repetitieruimte, <b>VV 0,75</b>	25	75					Ja*	<b>648</b>	1,0	1	300	1	13%	Geel
1	Grote kerkzaal: <b>VV 0,25</b>	75	75					Ja	<b>1.625</b>	1,0	1	300	1	2%	Groen
2	Kleine repetitieruimte <b>VV 0,25</b>	25	75					Ja*	<b>216</b>	1,0	1	300	1	15%	Geel
3	Mechanisch geventileerde fictieve ruimte: <b>VV 5</b>	20	75	6	22	133	3,0	Onbekend	<b>2.000</b>	1,0	1	300	1	11%	Geel

\* Openstaande deuren

De individuele aerosol besmettingskans is hier groen als deze <5%, geel als deze tussen de 5% en 20% ligt en rood als deze > 20% ligt.

Ter illustratie is in Figuur 10 het verloop van de individuele besmettingskans weergegeven (y-as) ten gevolge van de blootstelling die heeft plaats gevonden van t=0 tot t=x (x-as) voor de verschillende ruimten, uitgaande van een zangrepetitie. De kansen bij een gebruikstijd van 1 uur komen overeen met de in Tabel 2 gepresenteerde WR eindscore. In de grafiek is duidelijk te zien dan de kansen toenemen bij een langere repetitieduur. De grenswaarde grens van 5% is weergegeven in rood. Wij adviseren om daar in elk geval onder te blijven.

<sup>4</sup> Deze fictieve ruimte is toegevoegd op verzoek van de opdrachtgever om beter inzicht te krijgen in de eisen die gesteld moeten worden aan mogelijk alternatieve repetitieruimten.



Figuur 10 Verloop van de theoretische individuele besmettingskans via aerosolen (y-as) uitgezet tegen de tijd (x-as) voor de verschillende ruimten. Aanname hierbij is dat er aanwezige personen 2/3 van de tijd zingen, 1/3 van de tijd stil zijn en dat één van de aanwezigen infectieus is.

#### 4 Discussie, conclusies & aanbevelingen

In het algemeen is het zo dat tijdens een zangrepetitie er in een korte tijd veel, mogelijk infectieuze, aerosolen vrij komen terwijl de duur van de bijeenkomst relatief beperkt is (hier gaan we uit van totaal 1 uur). Dat heeft er met name mee te maken dat bij zingen een factor 30 tot 90 meer aerosolen (mogelijk infectieus als 1 van de koorleden besmet is) vrij komen dan wanneer men stil zit.

Een grote ruimte is hierbij een groot voordeel omdat de aerosolen zich verdelen over het hele (grote) volume, waardoor het lang duurt voor de aerosol concentratie in de ruimte (en de ademzone van de niet-besmette aanwezigen) oploopt. Gevolg is dat als er toevallig een bron aanwezig is (besmette persoon) die virussen verspreidt, er relatief weinig daarvan in ademzone van de niet besmette personen terecht komt. Dit betekent weer dat de onderlinge besmettingskans laag is. In een kleine ruimte worden de aerosolen minder verdund en is de concentratie (voor de duur van de repetitie) met name afhankelijk van ventilatie. Om de concentratie laag te houden, moet er dan ook zeer veel geventileerd worden als een ruimte klein is terwijl dit in een grote ruimte (waarin het luchtvolume in je voordeel werkt) een ander verhaal is.

Uit het uitgevoerde onderzoek in de kerk blijkt dat de kans op besmetting tijdens een 1 uur durende zangrepetitie in de grote kerkzaal relatief, in vergelijking met op een andere locatie binnen zingen, laag is: individuele besmettingskans <5%. Het ruimtevolumen is hierbij de belangrijkste factor.

De oorspronkelijke repetitieruimte (de bijzaal) is aanzienlijk kleiner en de individuele besmettingskans is hier na één uur wel verhoogd (13-15%).<sup>5</sup> In beide ruimten zijn nauwelijks ventilatievoorzieningen en effectieve spuivoorzieningen aanwezig. Hierdoor is het niet mogelijk de ruimten snel te doorspoelen en duurt het lang voordat de lucht weer ververst (en "schoon") is na een activiteit. Om de risico's bij de 2<sup>e</sup> bijeenkomst laag te houden zijn aanvullende ventilatievoorzieningen nodig zodat de ramen tegen elkaar opgezet kunnen worden (dwarsventilatie).

Het ontbreken van mechanische ventilatie en/of extra te openen ramen voor dwarsventilatie in de kleine zaal, zal ook bij gebruik voor andere groepsactiviteiten leiden tot een snelle toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie. Om in het algemeen te zorgen voor een gezond binnenklimaat in deze zaal (los van COVID-risico's) is het wenselijk dat er geïnvesteerd wordt in (een combinatie van) mechanische afzuiging en te openen ramen en/of levelroosters.

##### Algemeen

- Stel alles in het werk om geïnfecteerde personen buiten te houden (aanpak bij de bron). Dit betekent dat leden op het hart gedrukt moet worden dat ze thuis blijven als zij zelf (of als een huisgenoot) COVID-19-symptomen hebben (heeft) en dat als aanwezige mensen symptomen vertonen dat ze naar huis gestuurd worden.
- Gebruik per direct alleen nog de grote kerkzaal voor de zangrepetities. Tenzij de besmettingsgraad in de regio zo hoog oploopt dat zingen sowieso niet verstandig meer is: in dat geval stop tijdelijk helemaal met binnen repeteren.

##### Grote kerkzaal

- Beperk de duur van de zangrepetities tot maximaal 1 uur.
- Zorg er in de huidige situatie voor dat er tussen een zangbijeenkomst minimaal 4 uur (uitgaande van ventilatievoud van 0,75) tijd zit voor er een volgende bijeenkomst gehouden wordt. Plan de repetities dus bij voorkeur aan het eind van de dag.

<sup>5</sup> De conclusie hebben betrekking op het gebruik van de ruimte voor een zangrepetitie waarbij ervanuit wordt gegaan dat er 2/3 van de tijd wordt gezongen. Bij een kerkdienst zal de kans kleiner zijn aangezien er minder gezongen wordt.

- Verbeter de (spui)ventilatie en doorspoeling van de ruimte door:
  - de voorzetramen in de zijgevel te verwijderen zodat er dwarsventilatie mogelijk is.
  - het plaatsen van roosters in het plafond zodat er een luchtstroom vanuit de zaal via de ventilatievoorzieningen in het dak kan plaats vinden. Zorg ervoor dat de roosters afsluitbaar zijn zodat de luchtstroom regelbaar is. bba binnenmilieu kan hier indien gewenst bij adviseren.

Het uitvoeren van deze maatregelen maakt het bij gebruik van de ventilatievoorzieningen mogelijk om een kleiner tijdsinterval aan te houden tussen verschillende repetities/bijeenkomsten (de eerder genoemde 4 u wordt dan bv. 1 uur).

#### Kleine kerkzaal

- Gebruik deze ruimte niet voor zangrepetities en beperk de gebruiksduur voor andere activiteiten waarbij niet gezongen wordt tot maximaal 2 uur.
- Zorg er in de huidige situatie voor dat er tussen een bijeenkomst minimaal 4 uur tijd zit om de ruimte te laten luchten (alle deuren open), tenzij er mogelijkheden gecreëerd zijn voor dwarsventilatie.
- Verbeter de ventilatie in de ruimte door:
  - de voorzetramen in beide zijgevels te verwijderen. Deze ramen kunnen dan als ventilatievoorziening gebruikt worden tijdens gebruik en om te spuien.
  - de roosters in het plafond aan te sluiten op een dakventilator zodat lucht uit de ruimte afgevoerd wordt via het dak en toegevoerd wordt via de gevelrooster en te openen ramen. Mechanische ventilatie zorgt er daarnaast voor dat de ventilatiehoeveelheid minder afhankelijk is van gebruikersgedrag en het weer.

**Bijlagen**

## Bijlage 1 Toelichting Wells Riley-methode

In deze bijlage wordt toegelicht hoe de aerosol besmettingskans is berekend in dit document. Eerst wordt een algemene toelichting gegeven op de Wells Riley-rekenmethodiek. Vervolgens wordt in detail toegelicht hoe de invoerparameters zijn afgeleid.

### De rekenmethodiek

Bij de start van een pandemie is er weinig bekend over de hoeveelheid virus die personen uitstoten, de mate waarin het virus overleeft in de lucht en de dosis die gezonde personen moeten ontvangen voordat ze ziek worden. Speciaal voor deze situatie is de Wells-Riley formule ontwikkeld (Riley, 1982) zie onderstaand kader.

De Wells Riley formule:

$$P(\text{inf}) = 1 - e^{-P \cdot t \cdot C_{\text{gem}}}$$

P(inf) =	besmettingskans (via aerosolroute)	[-]
I =	aanname aantal geïnfecteerde personen	[-]
P =	ademvolume	[m <sup>3</sup> /uur]
t =	blootstellingsduur	[uur]
C <sub>gem</sub> =	de gemiddelde virusconcentratie	[q/m <sup>3</sup> ]

$$C_{\text{gem}} = \frac{1}{T} \int_0^T C(t) dt = \frac{q}{Q} \left[ 1 - \frac{1}{Q/V * T} (1 - e^{-Q/V * T}) \right]$$

C<sub>gem</sub> is afhankelijk van:

q =	aanname virusemissie één geïnfecteerd persoon	[quanta/uur]
Q =	totale verse luchttoevoer in de ruimte	[m <sup>3</sup> /uur]
V =	volume van de ruimte	[m <sup>3</sup> ]
T =	aanwezigheidsduur geïnfecteerde personen	[uur]

De Wells Riley-formule geeft weer wat de kans is dat iemand geïnfecteerd raakt (P(inf)) als hij /zij gedurende een bepaalde tijd (t) in een ruimtevolumen (V) met een bepaald aantal geïnfecteerde personen (I) en een bepaalde hoeveelheid ventilatie (Q) verblijft. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat een geïnfecteerd persoon een bepaalde hoeveelheid virus uitstoot (q) en de gezonde personen met een ademvolume (P) lucht uit de ruimte inademen. De kracht van de WellsRiley-formule is dat de virusemissie (q) wordt weergegeven in quanta per uur waarbij één quantum staat voor een virtuele hoeveelheid virus die genoeg is (om met een waarschijnlijkheid van 63%) een gemiddeld gezonde persoon te infecteren. Bij de start van een pandemie, zoals in het onderhavige geval bij de COVID-19-pandemie, kan op basis van besmettingsclusters retrospectief de waarde "q" bepaald worden in verschillende situaties. Als in situatie A 50% van de aanwezigen besmet raakt en er x ventilatie was enz. dan is de quantaproductie y achteraf te bepalen. Met de berekende quantaproductie kan vervolgens voor andere (toekomstige) situaties besmettingskans via de aerosolroute worden berekend.

Uiteraard is het uitgangspunt voor “q” aan het begin van een pandemie vrij onnauwkeurig. Naar mate meer clusters retrospectief bekeken worden, wordt de invoerwaarde voor q echter steeds betrouwbaarder. Op het moment dat er meer en meer bekend wordt over de werkelijke virusemissie en de infectieuze dosis, dan kan men ook op basis van die gegevens de quantaproductie bepalen.

Belangrijk uitgangspunt van de Wells Riley-formule is dat het uitgedemde virus zich gelijkmatig verspreid door een ruimte. Anders gezegd: de standaard aanname is dat sprake is van volledige menging van de ruimtelucht. Uit onderzoek is bekend dat deze aanname redelijk goed klopt met de werkelijkheid zolang sprake is van niet al te grote, niet al te hoge ruimten (met een volume tot ca. 200/300 m<sup>3</sup>) en zolang blootgestelde personen minimaal 1 m buiten de ademzone van geïnfecteerde personen blijven (Liu et al, 2017). Dichter bij ga je wel beduidend hogere concentraties vinden dan wat verder elders aan de ruimten de basisconcentratie is.

#### **De invoerparameters**

De invoerparameters zijn afgeleid uit onderzoek van Buonanno et al. (2020). zij hebben eerst bekeken binnen welke range waarden voor de virusemissie / quantaproductie zouden kunnen liggen op basis van:

- De gemeten druppel- / aerosolproductie van personen bij verschillende activiteiten.
- De gemeten SARS-CoV-2-concentratie in de mond van symptomatische en asymptomatische patiënten.
- Een conversiefactor (de verhouding tussen de hoeveelheid uitgedemd virus en de infectieuze dosis) tussen 0,01 en 0,1 op basis van de bekende conversiefactoren voor HCoV-229E en MHV-1.

Omdat er onzekerheid is rondom de exacte waarden van de bovenstaande invoerparameters hebben Buonanno et al. een hele range aan berekeningen uitgevoerd met verschillende uitgangspunten voor de bovenstaande parameters. Volgens de zogenaamde Monte Carlo-methode is aan de uitgangspunten voor de invoerparameters een mate van waarschijnlijkheid gekoppeld: hoe extremer de uitgangspunten, des te onwaarschijnlijker dat dit in werkelijkheid de juiste uitgangspunten zijn. Dit resulteerde in de uitgangspunten voor de quantaproductie uit tabel B1.1.

**Tabel B1.1. Quantaproductie bij verschillende activiteiten (Buonanno et al, 2020).**

	Resting, oral breathing	Heavy activity, oral breathing	Light activity, speaking	Light activity, singing (or speaking loudly)
5 <sup>th</sup> percentile	$2.5 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-1}$	$3.4 \times 10^{-1}$	$2.1 \times 10^0$
25 <sup>th</sup> percentile	$1.2 \times 10^{-1}$	$8.1 \times 10^{-1}$	$1.6 \times 10^0$	$1.0 \times 10^1$
50 <sup>th</sup> percentile	$3.6 \times 10^{-1}$	$2.4 \times 10^0$	$4.9 \times 10^0$	$3.1 \times 10^1$
75 <sup>th</sup> percentile	$1.1 \times 10^0$	$7.2 \times 10^0$	$1.5 \times 10^1$	$9.3 \times 10^1$
95 <sup>th</sup> percentile	$5.2 \times 10^0$	$3.0 \times 10^1$	$7.1 \times 10^1$	$4.5 \times 10^2$
99 <sup>th</sup> percentile	$1.6 \times 10^1$	$1.1 \times 10^2$	$2.2 \times 10^2$	$1.4 \times 10^3$
Average	$-4.4 \times 10^{-1}$	$3.9 \times 10^{-1}$	$6.9 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^0$
Stand. dev	$7.1 \times 10^{-1}$	$7.1 \times 10^{-1}$	$7.1 \times 10^{-1}$	$7.1 \times 10^{-1}$

Ter vergelijking hebben Buonanno et al. de berekende quantaproducties vervolgens retrospectief vergeleken met de clusters bij het Skagit Valley-koor (Miller et al, 2020) en bij het restaurant in Guangzhou (Li et al, 2020). Voor de koorrepetitie in Skagit Valley kwam men op een quantaproductie van 341 quanta per uur dat overeen kwam met de 92<sup>e</sup> percentielwaarde bij 'light activity, singing'. Bij het restaurant in Guangzhou kwam men op een quantaproductie van 61 quanta per uur wat overeen komt met de 93<sup>e</sup> percentiel voor "light activity, speaking". Dit wijst erop dat de door Buonanno et al berekende quanta P90/95 waarden realistisch zijn voor situatie waarin er geïnfecteerde personen zijn die bovengemiddeld veel virus uitscheiden (zogenaamde super emitters / super spreaders).

Hierbij moet wel opgemerkt worden dat Buonanno et al bij het berekenen van de quantaproductie alle besmettingen toegerekend hebben aan de overdracht via de aerosolroute. Het is niet uit te sluiten dat een deel van de besmettingen (ook deels) via directe druppeloverdracht binnen 1,5m werd veroorzaakt. Hiermee wordt de werkelijke quantaproductie naar verwachting dus iets overschat. We corrigeren hier verder niet voor o.a. om een conservatieve aanname te hebben voor de quantaproductie. Let op: formeel gezien is het zo dat virussen op 3 manieren 'verwijderd' worden uit de binnenlucht (aangenomen dat er een bron / besmette persoon aanwezig is: via ventilatie, via depositie (neerslaan van virusbevattende aerosolen op bv. vloeren en muren) en via inactivatie (zeg maar het 'afsterven' / niet meer infectieus zijn na verloop van tijd). Normaliter is het zo dat 'sink mechanisme nr. 1' (ventilatie) dominant is ten opzichte van de andere 2, vandaar dat we bij de Wells Riley-berekeningen er verder vanuit gaan alleen ventilatie een rol speelt. Ook dit leidt tot een iets conservatievere inschatting van situaties, maar we zitten liever aan de veilige kant.

Bij Wells Riley-berekeningen gaan we verder standaard uit van een worst case-situatie daar waar het de virusproductie tijdens praten en stilzitten betreft. Concreet: we rekenen verder met de P95-waarden uit de hiervoor genoemde tabel. Qua dat men ook als toevallig sprake is van een geïnfecteerd persoon die bovengemiddeld veel virussen verspreid (zeg maar een 'P95-persoon') men nog steeds een redelijke mate van zekerheid wil hebben dat de andere aanwezigen niet besmet raken.

Een goede aanname voor de P95-virusemissiewaarde voor stil zitten is volgens Buonanno: 5 quanta per uur. Voor (tijdens) spreken is dit 70 quanta per uur. Nu is het zo dat men tijdens kantoorwerk / op de kantoorwerplek natuurlijk niet continue aan het praten is. De aanname is dat men bij regulier kantoorwerk 10% van de tijd praat en 90% van de tijd stil is. De uurgemiddelde virusemissie komt dan op 8,3 (afgerond: 10 quanta per uur).

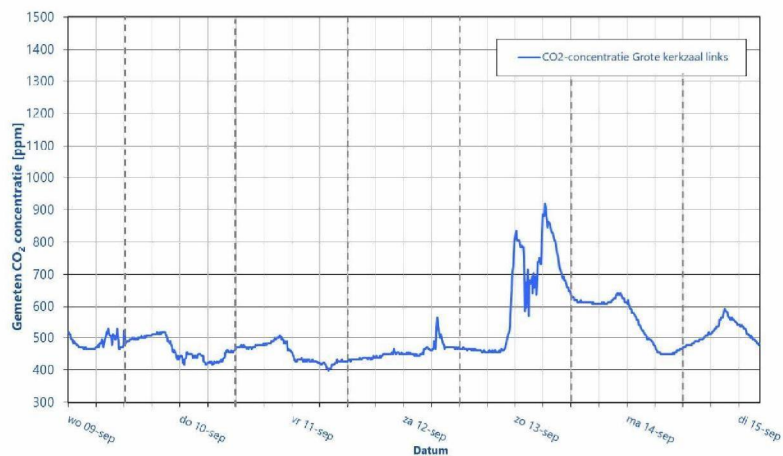
Bij verblijf in vergader ruimten is het een ander verhaal. Ga daar uit van gemiddeld bv. met 4 personen overleggen dan is een realistische aanname dat men 25% van de tijd praat en 75% van de tijd stil is. De gemiddelde virusemissie komt dan op 21,3, hetgeen we afronden op 25 quanta per uur.

#### Literatuur

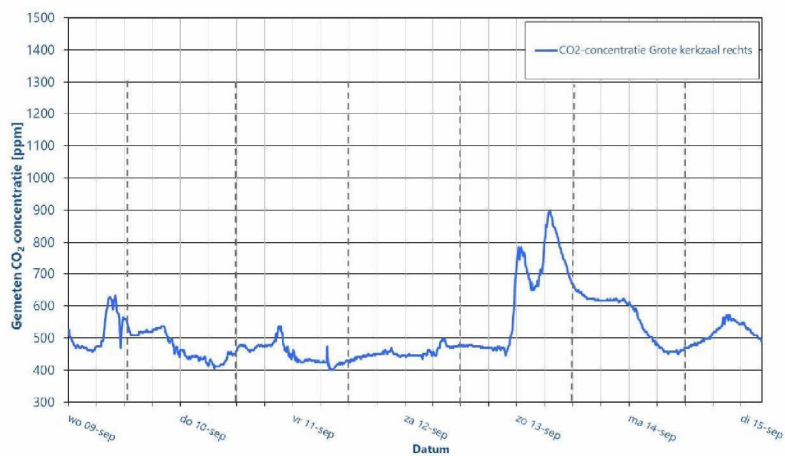
- Buonanno et al. (2020, Juni 2). *Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications*. Opgehaald van [https://www.medrxiv.org: https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.01.20118984v1](https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.01.20118984v1)
- Li et al. (2020, April 22). *Aerosol transmission of SARS-CoV-2 - Evidence for probable aerosol transmission in a poorly ventilated restaurant*. Opgehaald van [https://www.medrxiv.org: https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.16.20067728v1](https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.16.20067728v1)
- Liu et al. (2017). Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. *Indoor Air*, 452-462.
- Miller et al. (2020, Juni 18). *Preprint server*. Opgehaald van [https://www.medrxiv.org: https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.15.20132027v2](https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.15.20132027v2)
- Riley. (1982). Indoor airborne infection. *Environmental International*, 317-320.

## Bijlage 2 Duurmetingen CO<sub>2</sub>-concentratie

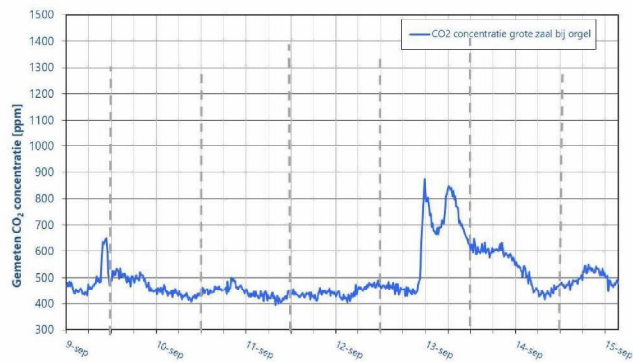
Gedurende 1 week zijn duurmetingen uitgevoerd van de CO<sub>2</sub>-concentratie. De metingen zijn uitgevoerd met Catec Klimabox dataloggers. In onderstaande grafieken op de zijn de resultaten van de duurmetingen weergegeven.



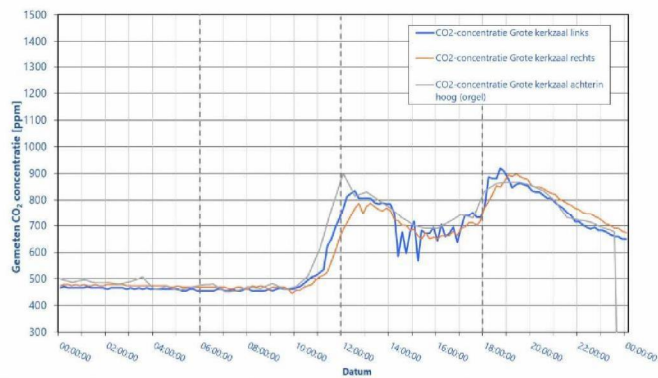
Figuur 11 Verloop CO<sub>2</sub>-concentratie in de grote kerk gedurende de meetperiode, locatie sensor links voorin.



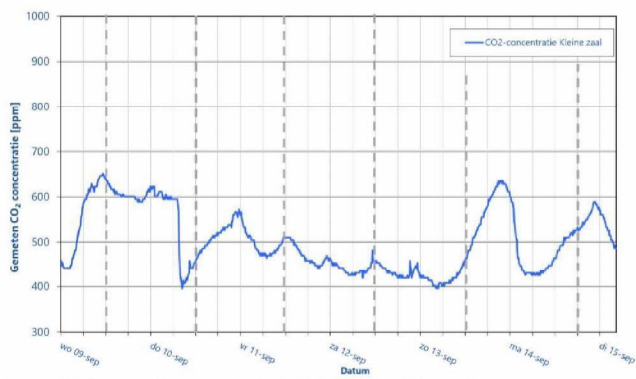
Figuur 12 Verloop CO<sub>2</sub>-concentratie in de grote kerk gedurende de meetperiode, locatie sensor rechts voorin.



Figuur 13 Verloop CO<sub>2</sub>-concentratie in de grote kerk gedurende de meetperiode, locatie sensor bij orgel



Figuur 14 Verloop CO<sub>2</sub>-concentratie in de kerk tijdens de dienst op zondag 13 september 2020



Figuur 15 Verloop CO<sub>2</sub>-concentratie in de kleine repetitieruimte