



RESULTATEN

Experimenteel onderzoek in-situ

Programmalijn III

DATUM

20 februari 2024

AUTEURS

K. Kompatscher, A. de Lange

ORGANISATIE

TNO – TNO 2024 R10206

INHOUD

Samenvatting	3
1 Inleiding	5
1.1 Context P3Venti	5
1.2 Onderzoek Programmalijn III	5
1.3 Onderzoeksvragen	6
1.4 Leeswijzer	6
2 Methode	7
2.1 Onderzoeksaanpak	7
2.2 Technische schouw	7
2.3 Deeltjesmetingen	8
2.3.1 Meetprocedure	8
2.3.2 Uitkomstparameters	9
2.4 Vectormetingen	11
2.4.1 Meetprocedure	12
2.4.2 Uitkomstmaten	13
3 Resultaten	14
3.1 Technische schouw	14
3.2 Deeltjesmetingen	17
3.3 Vectormetingen	20
4 Conclusies	23
5 Referentielijst	24
6 Bijlage A	25
7 Bijlage B	26
8 Bijlage C t/m F	29

SAMENVATTING

Het onderzoeksprogramma Pandemische Paraatheid en Ventilatie (P3Venti) is opgezet om onderzoek te doen naar verschillende kennislacunes rondom aerogene verspreiding van virusdeeltjes en andere pathogenen en de rol en effectiviteit van gebouwventilatie als mitigatiemaatregel. Programmalijn III richt zich op kennisontwikkeling met betrekking tot de bijdrage van ventilatie aan het voorkomen van besmettingen in de langdurige zorg. De kennisontwikkeling in programmalijn III vindt plaats met behulp van experimenten die inzichten kunnen bieden in de rol van gebouwventilatie bij het voorkomen van aerogene besmettingen. Deze experimenten vinden plaats in de praktijk en in een mock-up setting. Deze rapportage heeft betrekking op de resultaten van de praktijkmetingen.

Voor de praktijkmetingen zijn de volgende deelonderzoeksvragen geformuleerd die in deze deelrapportage worden beantwoord:

De onderzoeksvragen die in dit rapport beantwoord worden zijn:

1. *Wat zijn de waarden van de maatgevende variabelen gebaseerd op de deeltjesconcentratie voor de luchtstroming bij de meetpunten?*
2. *Wat is het stromingsprofiel van de luchtstroom in de ruimte?*

Met deze onderzoeksvragen wordt getracht beter inzicht te verkrijgen in het effect van ventilatie op het blootstellingsrisico aan het gedrag van deeltjes in de praktijk onder operationele omstandigheden.

Belangrijk voor deze praktijkexperimenten is dat de te onderzoeken ruimte niet in gebruik is door personen, maar wel wordt geventileerd volgens operationele condities. Het experimentele onderzoek is opgebouwd uit meerdere meetmethodes. Per meetlocatie worden de volgende onderdelen uitgevoerd:

- technische schouw,
- deeltjesmetingen,
- vectormetingen.

De technische schouw geeft inzicht in de huidige staat van de onderzochte ruimte. De geometrie, het ventilatiesysteem en de gemeten ventilatiedebieten zijn belangrijke uitkomsten uit deze methode. De deeltjesmetingen worden met vier uitkomstparameters omschreven, t_{delay} , 100-voudige toenametijd, 100-voudige hersteltijd en de lokale circulatievoud (ACH). Deze uitkomstmaten omschrijven hoelang het duurt voordat, na starten emissie op een locatie in de ruimte, een deeltjesconcentratie verhoogt op een meetlocatie (t_{delay}), hoe snel de deeltjesconcentratie met een factor 100 verhoogd (100-voudige toenametijd), hoe snel de deeltjes concentratie met een factor 100 verlaagd (100-voudige hersteltijd), en de lokale circulatievoud (ACH). Vectormetingen zijn uitgevoerd door middel van akoestische meetapparatuur die over een hoogte op acht locaties de lichtsnelheid en richting meten.

Metingen hebben plaatsgevonden op vier locaties (locatie 6 t/m 9) in vijf ruimtes waar veel interactie plaatsvindt, de huiskamer ($n = 4$) en de activiteitenruimte ($n = 1$). Locaties 1 t/m 5 bieden informatie over wat te verwachten in de praktijk als het gaat om ruimtekaracteristieken en ventilatiesystemen uit programmalijn I van het P3Venti programma.

Uit de resultaten kan het volgende geconcludeerd worden per onderzoeksvraag:

1. Wat zijn de waarden van de maatgevende variabelen gebaseerd op de deeltjesconcentratie voor de luchtstroming bij de meetpunten?

Locaties 6, 7.1, 7.2 en 9 laten een gelijke trend zien als het gaat om een langere 100-voudige toenametijd in vergelijking met locatie 8. Het duurt dus lang voordat de concentratie met een factor 100 is toegenomen c.q. de toename vindt geleidelijk plaats dit in tegenstelling tot de emissie die meer een stapresponsie laat zien. Voor locatie 6 is zichtbaar dat de locatie van de emissiebron hierbij veel uitmaakt.

Voor locaties 7 en 9 is een grotere variatie te zien in t_{delay} . Er is een groter verschil in tijd die het duurt voordat deeltjes van emitterbronlocatie bij de meetpunten komen. Omdat er lage luchtsnelheden zijn gemeten in de vectormetingen en geen duidelijke dominante luchtstroom geïdentificeerd kan worden, lijkt de afstand van emissiepunt tot meetpunt de dominante factor te zijn.

Locatie 8 heeft maakt gebruik van natuurlijke toevoer en afvoer. De resultaten van de deeltjesmetingen laat zien dat er erg korte 100-voudige toenametijden zijn gemeten. Dit vertaalt zich in een hoge deeltjesconcentratie binnen korte tijd op alle deeltjestellerslocaties. De lange hersteltijden benadrukken dat er beperkte ventilatie aanwezig is waarmee de geëmitteerde deeltjes worden verdund en afgevoerd. Dit geldt voor de meeste locaties.

2. Wat is het stromingsprofiel van de luchtstroom in de ruimte?

Uit de vectormetingen blijkt dat luchtsnelheden in alle ruimtes relatief laag zijn. Het is daarom lastig een dominante luchtstroom te identificeren in een aantal ruimtes. Voor locatie 6 is een luchtstroom aanwezig vanaf de toevoerroosters die in alle richtingen de ruimte in wordt geblazen. Met name in de hersteltijden van deze locatie is te zien dat er een kleinere variatie tussen de meetpunten is. Dit kan duiden op een betere menging en verdunning van de lucht. De overige locaties hebben relatief lage luchtsnelheden. Een minder goede menging en verdunning kan op deze locaties reden zijn voor langere hersteltijden.

1 INLEIDING

1.1 Context P3Venti

Het onderzoeksprogramma Pandemische Paraatheid en Ventilatie (P3Venti) is opgezet om onderzoek te doen naar verschillende kennislacunes rondom aerogene verspreiding van virusdeeltjes en andere pathogenen en de rol en effectiviteit van gebouwventilatie als mitigatiemaatregel. P3Venti heeft de vorm van een adaptief consortium waarbij meerdere onderzoekspartijen gecoördineerd door TNO samenwerken in verschillende inhoudelijke programmalijnen.

Het volledige onderzoeksprogramma van P3Venti is opgedeeld in zeven programmalijnen:

- I. Inventarisatie en analyse operationele omstandigheden
- II. CFD-analyse
- III. Experimenteel onderzoek ventilatie en deeltjesgedrag
- IV. Risico's, impact en markt
- V. Kosten en baten
- VI. Ineffectiviteit en dosis-responsrelatie
- VII. Netwerkvorming en kennisborging

Deze rapportage valt binnen programmalijn III: Experimenteel onderzoek ventilatie en deeltjesgedrag.

1.2 Onderzoek Programmalijn III

Programmalijn III richt zich op kennisontwikkeling met betrekking tot de bijdrage van ventilatie aan het voorkomen van besmettingen in de langdurige zorg.

Experimenteel onderzoek is opgedeeld in mock-up experimenten en praktijkexperimenten. Het doel van de praktijkexperimenten is het opzetten en het uitvoeren van experimenteel onderzoek in een praktijksituatie. Hierbij wordt inzicht verkregen in deeltjesgedrag en blootstelling in een realistische omgeving onder praktijkcondities. Hiervoor wordt in een bestaande situatie de ventilatie-efficiëntie en hersteltijd bepaald met deeltjesconcentratie metingen en flowmetingen. In programmalijn I van het P3Venti programma worden interacties geobserveerd op meerdere zorglocaties. De in kaart gebrachte karakteristieken van de observatieruimten worden gebruikt in programmalijn III.

De kennisontwikkeling in programmalijn III vindt plaats met behulp van experimenten die inzichten kunnen bieden in de rol van gebouwventilatie bij het voorkomen van aerogene besmettingen. Voor het ontwerp van deze experimenten is onderzoek gedaan naar verschillende meetmethodes die geschikt zouden kunnen zijn voor de doeleinden van dit onderzoek. Besloten is dat deze experimenten worden uitgevoerd in een mock-up- en in-situ situatie, idealiter representatief voor het gebouwportfolio van de

langdurige zorg in Nederland. Een mock-up houdt een controleerbare omgeving in: een namaaksituatie die de echte situatie zo goed als mogelijk benadert en waar tegelijkertijd de parameters tot in detail kunnen worden aangepast. Een in-situ-omgeving impliceert meten op een bestaande locatie in een instelling voor langdurige zorg. Beide varianten hebben voor- en nadelen en kunnen in combinatie een vollediger inzicht geven dan wanneer één van beide wordt onderzocht. In dit rapport worden de tussenresultaten gepresenteerd van de in-situmetingen die reeds zijn uitgevoerd.

1.3 Onderzoeksvragen

In programmalijn III zijn hoofdonderzoeksvragen geformuleerd voor zowel in-situmetingen als metingen die plaatsvinden in een gecontroleerde omgeving, de mock-up. Voor de praktijkmetingen zijn de volgende deelonderzoeksvragen geformuleerd die in deze deelrapportage worden beantwoord:

De onderzoeksvragen die in dit rapport beantwoord worden zijn:

1. *Wat zijn de waarden van de maatgevende variabelen gebaseerd op de deeltjesconcentratie voor de luchtstroming bij de meetpunten?*
2. *Wat is het stromingsprofiel van de luchtstroom in de ruimte?*

Met deze onderzoeksvragen wordt getracht beter inzicht te verkrijgen in het effect van ventilatie op het blootstellingsrisico aan het gedrag van deeltjes in de praktijk onder operationele omstandigheden.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de gehanteerde onderzoeks aanpak en gedetailleerde informatie gegeven per meetmethode. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de resultaten tot dusver weer. De discussie in hoofdstuk **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** bespreekt de overeenkomsten en verschillen in de resultaten. Het laatste hoofdstuk geeft de conclusies weer.

2 METHODE

2.1 Onderzoeksaanpak

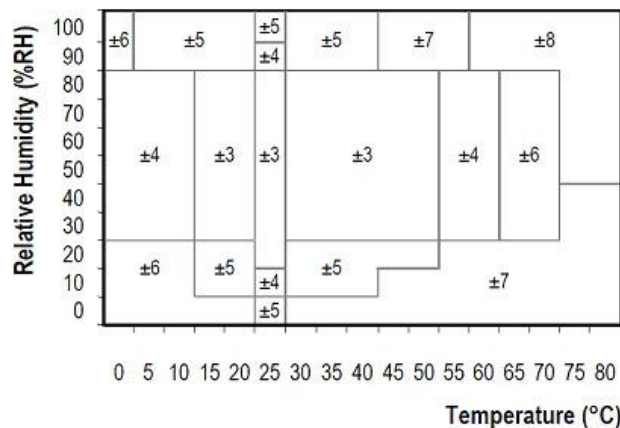
Door middel van experimenteel onderzoek in praktijksettings is inzicht verkregen in de ventilatie-efficiëntie van ruimtes in de langdurige zorg onder operationele condities. Belangrijk voor deze praktijkexperimenten is dat de te onderzoeken ruimte niet in gebruik is door personen, maar wel wordt geventileerd volgens operationele condities. Een literatuurstudie is uitgevoerd in programmalijn III waarbij is gekeken naar de mogelijke meetmethoden en te includeren parameters.¹ De resultaten uit deze literatuurstudie vormen de basis voor de gehanteerde meetmethoden. Het experimentele onderzoek is opgebouwd uit meerdere meetmethodes. Per meetlocatie worden de volgende onderdelen uitgevoerd:

- technische schouw,
- deeltjesmetingen,
- vectormetingen.

2.2 Technische schouw

Om de kenmerken van de verschillende onderzoekslocaties in beeld te brengen voorafgaand aan de studie op locatie, wordt er een uitvraag gedaan naar technische documentatie van het gebouw. Dit zijn o.a. bouwkundige- en installatietechnische plattegronden. Vervolgens wordt er op locatie een technische schouw gedaan, waarbij er een inventarisatie wordt gemaakt van de bouwkundige en installatietechnische kenmerken van het gebouw. Bijlage A geeft een uitgebreid overzicht van alle geschouwde onderdelen.

In het bijzonder wordt er een inventarisatie en op locatie een meting gedaan van de ventilatievoorzieningen van de onderzoeksruimte om bepaalde karakteristieken te bepalen. Om een beeld te vormen van het binnenklimaat van de onderzoeksruimte en omliggende ruimten, wordt er meetapparatuur geplaatst die de temperatuur (T), relatieve luchtvochtigheid (RV) en het CO₂-gehalte meten gedurende de observatiedagen, zie programmalijn I. De meetapparatuur is van het merk ElliTrack en heeft een meetbereik en -nauwkeurigheid van -40 – 125 °C ($\pm 0,3$ °C) voor T, 0 – 100% (zie Figuur 2.1) voor RV, en 0 – 5.000 ppm ($< \pm 50$ ppm + 3% van de gemeten waarde bij T = 25 °C). Als meetinterval wordt een periode van 15 minuten aangehouden gedurende de periode dat er metingen of observaties plaatsvinden.



Figuur 2.1. Meetnauwkeurigheid RV voor ElliTrack-A sensoren (bron: Leiderdorp Instruments).

2.3 Deeltjesmetingen

Om de verspreiding van deeltjes (aerosolen) onder verschillende omstandigheden vast te stellen, en de daarbij behorende ventilatie-efficiëntie, zijn op gedefinieerde plaatsen aerosolen geëmitteerd op een representatieve ademhoogte, ca. 125 cm vanaf de vloer. De emissie van aerosolen heeft continu plaatsgevonden met een richting en snelheid die representatief zijn voor spreken: horizontaal met een uittredesnelheid van ca. 2 m/s in de richting van het beeldscherm en met een constante volumestroom van 11,2 l/min.^{2,3} De aerosolgenerator (Topas ATM 228) produceert aerosolen met een afmeting van 0,3 µm tot ca. 10 µm. De met de generator gegenereerde deeltjesgrootte komt grotendeels overeen met de categorieën van de deeltjes die vrijkomen bij spreken en normale ademhaling^{4,5}.

Zes particle counters, of deeltjestellers (Lighthouse, Handheld 3016 Gen F), zijn verspreid door de ruimte opgesteld om de deeltjesconcentratie te meten. Deze deeltjestellers hebben een meetbereik van 0,2 µm tot ca. 25 µm (50% bij 0,3 µm; 100% voor deeltjes > 0,45 µm (ISO 21501-4)). Er wordt op twee hoogtes gemeten, zithoogte (120 cm) en stahoogte (165 cm).

In de ruimte wordt gebruik gemaakt van warmtebronnen die gebruikers van de ruimte representeren. Er zijn twee staande mannequins voorzien van warmtedeken die per stuk een vermogen van ca. 64 watt dissiperen. Zittende personen hebben een bron van 80 watt.

2.3.1 Meetprocedure

Er wordt per praktijksetting een tweetal bronlocaties toegepast. Een meting wordt tweemaal uitgevoerd. Tijdens de metingen wordt de volgende meetcyclus aangehouden (Tabel 2.1). Er zijn vier segmenten die een meetcyclus beslaan. Eerst wordt de baseline concentratie vastgesteld. Vervolgens wordt de aerosolgenerator aangezet en wordt er 10 minuten geëmitteerd. Een herstelperiode van 15 minuten waarin de bron uitstaat en als laatste vindt er een spoeling plaats waarbij de ruimte leeggespoeld wordt van vervuilende deeltjes om snel op de baselineconcentratie te komen.

Tabel 2.1 - Meetcyclus bestaande uit baseline-, emissie-, en herstelfase.

	Tijd (minuten)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Bepalen baseline concentraties									
Emissie aerosolen									
Herstelfase									
Spoelfase & omstellen voor volgende meetcyclus									

2.3.2 Uitkomstparameters

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is er een data-analyse uitgevoerd. Vanuit het literatuuronderzoek is gebleken dat de gevonden uitkomstmaten die worden gebruikt niet volstaan voor het onderzoek zoals dat uitgevoerd wordt in P3Venti. Uitkomstmaten zoals de Contamination Removal Efficiency (CRE) en Local Air Quality Index (LAQI) gaan uit van een homogene verdeling over de ruimte wat in de praktijk zelfden tot nooit voorkomt.

Om de data-analyse uit te voeren zijn de volgende uitkomstmaten gebruikt, Figuur 2.2 geeft deze schematisch weer:

2.3.2.1 t_{delay}

Na de start van de emissie duurt het enige tijd voordat de deeltjesconcentratie bij de meetpunten een toename laat zien. De tijd tussen de start van de emissie en de toename van de deeltjesconcentratie is afhankelijk van de afstand tussen de bron en het meetpunt en de luchtstroming (snelheid en richting). Met andere woorden de "weg" die de geëmitteerde deeltjes afleggen voordat ze bij het meetpunt worden gedetecteerd. Deze variabele t_{delay} geeft aan hoe snel een vervuiling zich door een ruimte verspreidt naar een aantal specifieke meetpunten. Deze kan ook worden bepaald als tijd tussen het stoppen van de emissie en het bereiken van de maximale concentratie op het betreffende meetpunt. t_{delay} is berekend door het tijdstip te gebruiken waarop de maximum concentratie na het stoppen van de emissie is bereikt.

2.3.2.2 100-voudige toenametijd

De 100-voudige toename tijd is gedefinieerd als de tijd die nodig is om een aanwezige concentratie met een factor 100 te laten toenemen. Hiervoor worden zes aaneensluitende meetpunten gebruikt om de maximum concentratietoename te bepalen. Na emissie van deeltjes door een bron vindt er na enige tijd (t_{delay}) een toename van de deeltjesconcentratie bij de meetpunten plaats. Deze toename kan het karakter hebben van een stapresponsie of een zeer geleidelijke toename. Een stapresponsie-achtige toename (korte 100-voudige toenametijd) geeft aan dat de deeltjesconcentratie als het ware als een front met een relatief scherpe afbakening bij de meetposities aankomt. Een geleidelijk verloop (lange 100-voudige toenametijd) geeft daarentegen juist een rustige (geleidelijke) toename aan. De maximum

toename en het tijdstip na starten emissie waarop deze toename plaatsvindt, worden gebruikt om de 100-voudige toenametijd te bepalen.

$$t_{100\text{-voudige toename}} = (t_n - t_{n-1}) \frac{\ln 100}{\ln_{n,\max} (c_n/c_{n-1})} \quad \text{Vergelijking 2.1}$$

Waarin:

$t_{100\text{-voudige toename}}$ is de 100-voudige toenametijd,

n loopt van 1 tot het laatste tijdstip waarop er nog toename is,

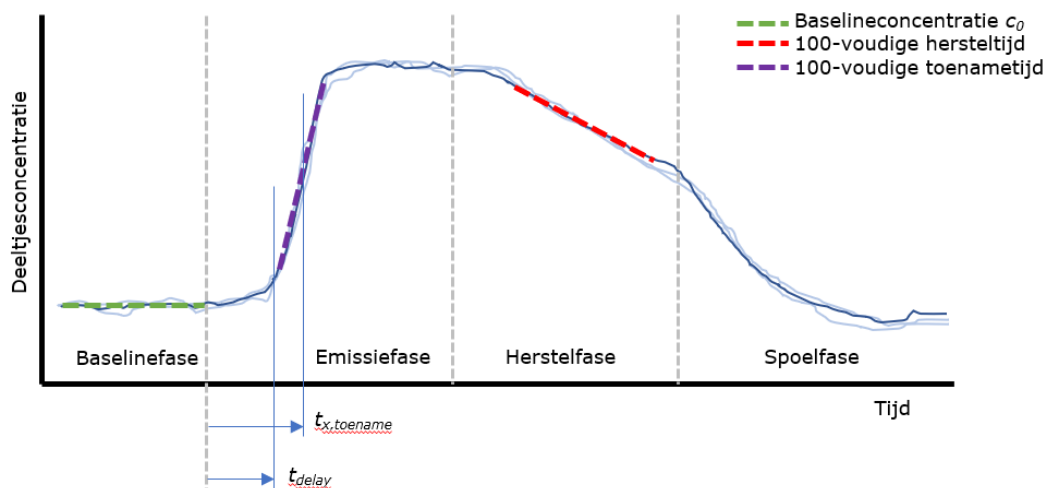
c_n de concentratie op tijdstip t_n ,

c_{n-1} de concentratie op tijdstip t_{n-1} .

Daarbij is $t_{\max, \text{toename}} = \frac{1}{2}(t_n + t_{n-1})$

2.3.2.3 100-voudige hersteltijd

De 100-voudige hersteltijd is gedefinieerd als de tijd die nodig is voor een deeltjesconcentratie om met een factor 100 af te nemen (gemeten vanaf het einde van de emissieperiode). Deze kan berekend worden door middel van lineaire extrapolatie van de snelheid van de afname van de desbetreffende deeltjesconcentratie, zie de rode gestippelde lijn in Figuur 2.2.



Figuur 2.2. Schematische weergave meetcyclus, typisch verloop deeltjesconcentratie en afgeleide uitkomstparameters.

2.3.2.4 Air Change per Hour (ACH – aantal luchtverversingen per uur)

ACH en ventilatiedebieten worden vaak gebruikt als indicator om de ventilatiehoeveelheid in de ruimte aan te geven. Het betreft een calculatie van het aantal keren dat het totale luchtvolume in de ruimte wordt vervangen door verse lucht of gerecirculeerde lucht. De gemiddelde ACH op de locatie van de deeltjestellers tijdens de herstelperiode. Deze wordt berekend op basis van de 100-voudige hersteltijd met als basis:

$$C_t = C_0 \times e^{-t \cdot \frac{Q}{V}}$$

Vergelijking 2.2

Waarin:

C_t is de concentratie op tijdstip t ,

C_0 is de aanvangsconcentratie,

Q is de toegevoerde luchthoeveelheid per tijdseenheid,

V is het volume van de ruimte.

Q gedeeld door V is gedefinieerd als de circulatievoud. Bij een bekende 100-voudige herstelltijd t_x op positie x wordt de lokale circulatievoud op positie x dan:

$$CV_x = \frac{Q}{V} = \frac{-\ln\left(\frac{C_{t,x}}{C_{0,x}}\right)}{t_x} = \frac{4,6}{t_x}$$

Vergelijking 2.3

Waarin:

t_x is de 100-voudige herstelltijd op positie x ,

CV_x is de circulatievoud op positie x .

2.4 Vectormetingen

Om inzicht te krijgen in de aanwezige luchtstromingen in de ruimte, wordt met behulp van akoestische metingen een 3-dimensionaal beeld van de luchtstroming gemaakt. De meetwagen¹ die hiervoor wordt gebruikt (zie Figuur 2.3), meet op meerdere punten gelijktijdig in de ruimte de *vector* van de luchtstroom. Buiten de vectormetingen worden ook parameters als T , RV en CO_2 gemeten. De meetsensoren hebben een meetbereik en -nauwkeurigheid volgens de leverancier van $-10 - 40^\circ C$ ($\pm 0,1^\circ C$) voor T , $0 - 100\%$ ($\pm 0,6\%$ bij $T = 23^\circ C$) voor RV , en $0 - 32.000$ ppm ($< \pm 30$ ppm + 3% van de gemeten waarde bij $350 \leq CO_2 \leq 5.000$ ppm).

¹ <http://www.humitemp.com/UK/products/climapole-indoor.html>



Figuur 2.3 - De mobiele meetstructuur met akoestische meetkoppen.

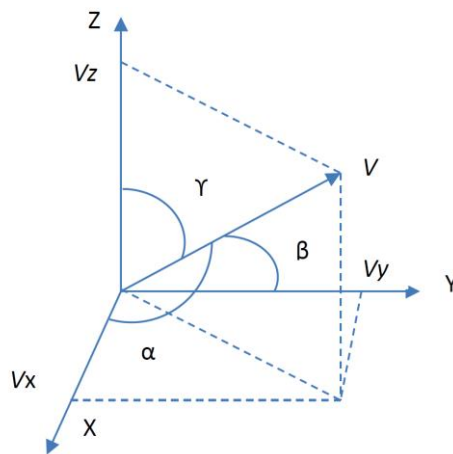
2.4.1 Meetprocedure

Voor de meting wordt de ruimte opgedeeld in een rasterpatroon (grid). De knopen van dit rasterpatroon (de gridpunten) zijn de meetlocaties waarop een meetwagen de vectormetingen verricht. De meetwagen meet per gridpunt op 4–8 punten in de hoogte op gelijke afstand van elkaar of op vooraf bepaalde hoogtes (zithoogte en stahoogte van een persoon, waar ook de deeltjesmetingen plaatsvinden). Een hogere ruimte vraagt om een grotere hoeveelheid meetpunten voor een nauwkeurigere resolutie. Er wordt afgeweken van dit grid op plekken waar de ruimte niet begaanbaar is door de meetwagen, door bijvoorbeeld obstakels in de vorm van vaste -en zware losse- inventaris.

Één meetkop wordt altijd zo laag mogelijk bij de vloer gemonteerd en een meetkop zo dicht mogelijk bij het plafond. Het kan voorkomen dat de metingen tweemaal herhaald worden waarbij een eerste meting laag plaatsvindt en een tweede meting hoog om de resolutie te vergroten. Per gridpunt wordt gedurende 30 seconden met een meetfrequentie van 1 Hz een meting verricht en het gemiddelde over deze 30 seconden wordt bepaald. Na deze meting wordt de meetkar naar een volgend gridpunt verplaatst en start er een nieuwe meting. Hierbij worden mogelijke verstoringen in de luchtstroming door het verplaatsen van de meetkar zoveel mogelijk gereduceerd door de volgende meting niet direct te starten na verplaatsing.

2.4.2 Uitkomstmaten

De luchtstromingsvector is de snelheid en de richting van de luchtstroom. Middels onderstaande goniometrische relaties wordt de absolute waarde van de luchtsnelheid bepaald (Figuur 2.4, Vergelijking 2.4).



Figuur 2.4. Schematische weergave van de drie meetrichtingen X, Y en Z en de goniometrische relaties om V te bepalen.

$$\cos \alpha = \frac{V_x}{|V|}; \cos \beta = \frac{V_y}{|V|}; \cos \gamma = \frac{V_z}{|V|}$$

$$|V| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

Vergelijking 2.4

V_x , V_y en V_z , zijn de akoestisch gemeten vectorcomponenten van de luchtsnelheid (m/s).

Deze data maakt luchtstromen in de ruimte inzichtelijk in 2D en 3D visualisaties. Op elk gemeten punt wordt de vector afgebeeld die de luchtsnelheid en -richting op dat punt uitbeeldt, dit wordt grafisch weergegeven met een pijl. De snelheid kan worden afgelezen aan de lengte van de vectorpijl. In de resultaten van de vectormetingen wordt de gevonden minimale en maximale luchtsnelheid weergegeven en de gevonden mediaan.

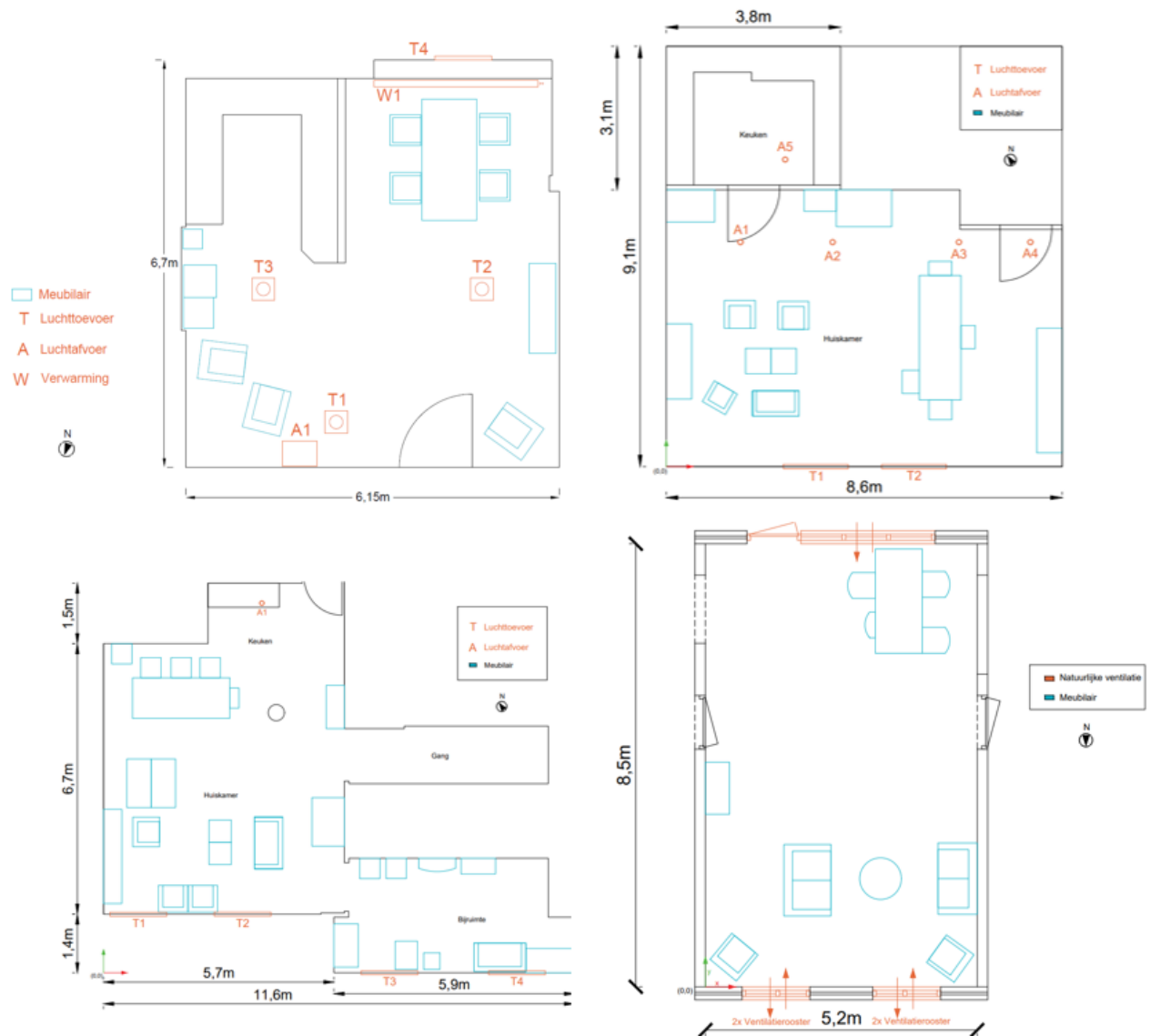
3 RESULTATEN

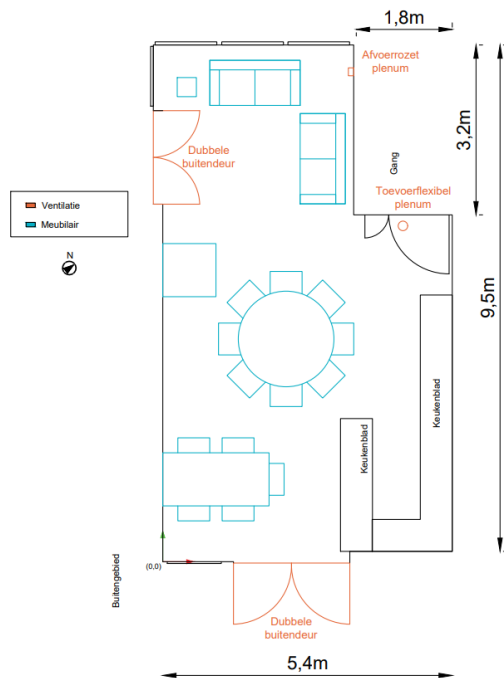
3.1 Technische schouw

De technische schouw heeft inzicht gegeven in hoe huiskamers en activiteitenruimtes zijn ingedeeld en ingericht. Huiskamers zijn over het algemeen samengesteld uit een keuken, een eetgelegenheid (tafel met stoelen) en een zitkamer. In activiteitenruimtes zijn meerdere zitgedeeltes aanwezig.

In bijlage B wordt in Tabel 7.1 de samenvatting gegeven van opgehaalde informatie tijdens de technische schouw. De tabel geeft de karakteristieken voor 10 ruimtes verdeeld over zeven zorglocaties. Locaties 1 t/m 5 zijn in P3Venti programmalijn I opgenomen. Op deze locaties hebben geen vectormetingen en deeltjesmetingen plaatsgevonden maar geven wel waardevolle informatie over de karakteristieken van een gezamenlijke ruimte in de zorg. Op locaties 6 – 9 zijn wel vectormetingen en deeltjesmetingen uitgevoerd. Hier is voor drie zorginstellingen in een huiskamer experimenteel onderzoek uitgevoerd en op een locatie ook een dagbestedingsruimte onderzocht.

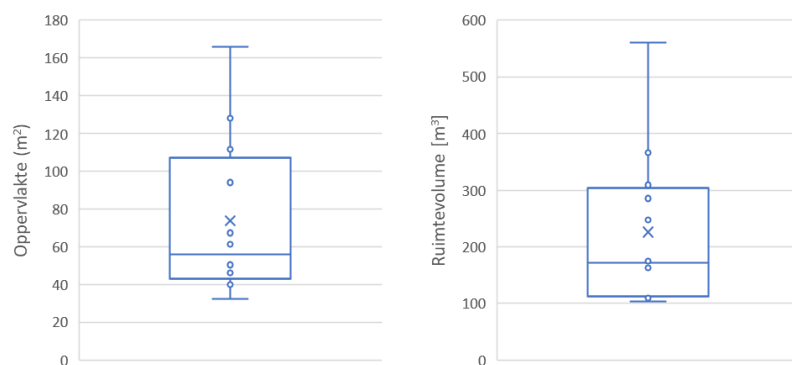
Ventilatiesystemen kunnen worden onderverdeeld in systeem A (natuurlijke toe- en afvoer), systeem B (mechanische toevoer, natuurlijke afvoer), systeem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer) en systeem D (mechanische toe- en afvoer). In de onderzochte ruimten zijn de volgende ventilatiesystemen aangetroffen, systeem A (n = 2), systeem C (n = 3) en systeem D (n = 7).





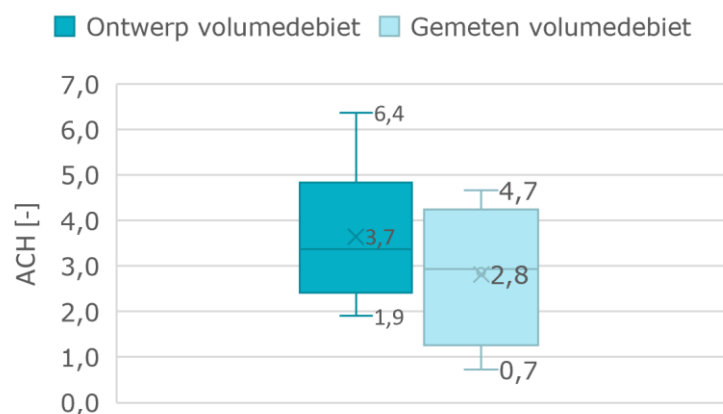
Figuur 3.1 Plattegronden van ruimtes waarin metingen zijn verricht.

De ruimteoppervlakte en -volume van de onderzochte ruimten hadden een grote variatie. Figuur 3.2 geeft de boxplot weer van deze twee variabelen.



Figuur 3.2 Boxplot met variatie in oppervlakte (links) en ruimtevolumen (rechts) van de onderzochte ruimten. De boxplot laat zien dat 50% van de gevonden waarden in het vierkant ligt. De horizontale streep in het vierkant is de mediaan en de waarde naast 'x' in het vierkant geeft het gemiddelde. De laagste en hoogste waarden zijn ook zichtbaar. Er is geen sprake van outliers.

Met de gevonden ontwerpwaardes en de gemeten waardes voor het volumedebiet zijn de ventilatievouden (ACH) afgeleid. Het daadwerkelijk gemeten volumedebiet ligt veelal lager dan de ontwerpwaarde. Dit resulteert in een lagere ventilatievoud in de praktijk. De mediaan geeft een verschil van 1 ACH tussen de ontwerpwaarde en het gemeten volumedebiet.



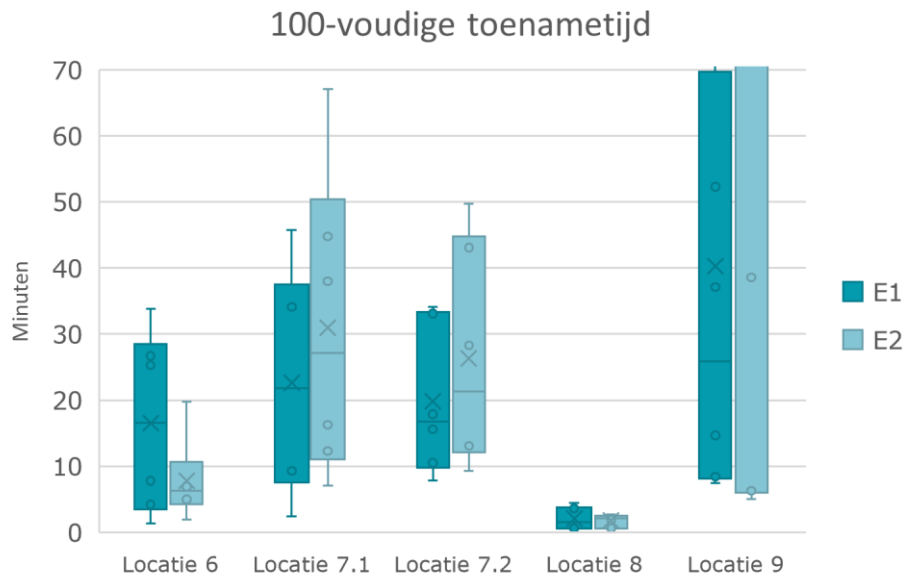
Figuur 3.3 Boxplot met variatie in ventilatievoud berekend met ontwerpvolumedebiet (links) en ventilatievoud berekend met gemeten volumedebiet (rechts) van de onderzochte ruimtes. De boxplot laat zien dat 50% van de gevonden waarden in het vierkant ligt. De horizontale streep in het vierkant is de mediaan en de waarde naast 'x' in het vierkant geeft het gemiddelde. De laagste en hoogste waarden zijn ook zichtbaar. Er is geen sprake van outliers.

In het geval van natuurlijke toevoer wordt grotendeels gebruik gemaakt van ventilatieroosters in de ramen om te ventileren. Voor mechanische toe- of afvoer wordt veelal gebruik gemaakt van een verlaagd systeemplafond waarin plafondplaten zijn voorzien van een wervelrooster, geperforeerde plaat of rozet. In een enkel geval is een wandrooster (lijnrooster) toegepast.

3.2 Deeltjesmetingen

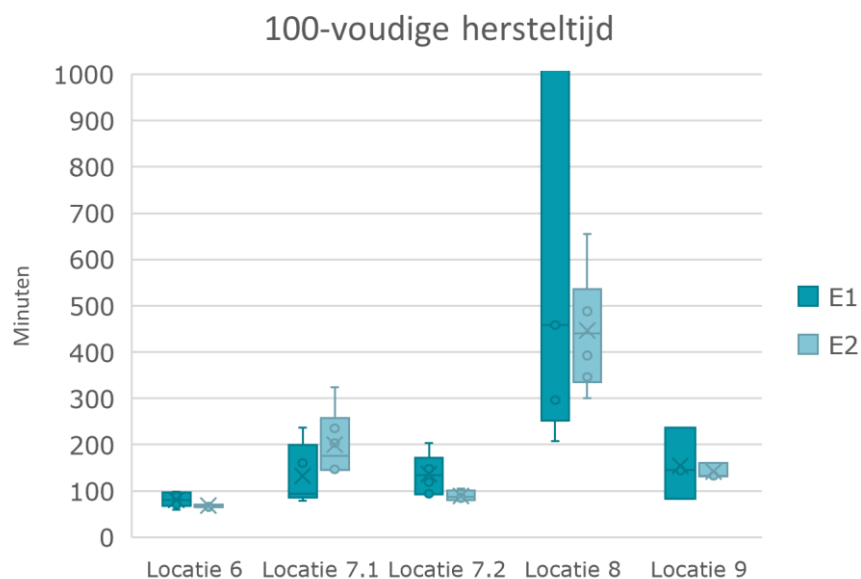
In deze paragraaf worden de samengevatte resultaten getoond. Per locatie is een bijlage (bijlage C t/m F) beschikbaar met uitgebreide resultaten. Bijlage B bevat een overzichtstabel uit de technische schouw waarin extra informatie per locatie verzameld is.

De 100-voudige toenametijd is een maat die aangeeft hoe snel de deeltjesconcentratie oploopt op een specifiek meetpunt in de ruimte. Hoe korter de tijd, hoe sneller de toename. Deze variabele is zichtbaar in Figuur 3.4 voor de onderzochte meetlocaties in de langdurige zorg. Uit deze figuur is op te merken dat op locatie 8, een relatief kleine ruimte met 42 m², een korte toenametijd te zien is. Deze ruimte wordt ook gekenmerkt door ventilatiesysteem A, natuurlijke toe- en afvoer. De andere locaties kennen allen een ventilatiesysteem met minstens mechanische afvoer. Voor deze locaties in de 100-voudige toenametijd groter. Met name bij locaties 6 en 9 is een verschil te zien in de plaatsing van de emissiebron (E1, E2). Deze locaties maken gebruik van ventilatiesysteem D (mechanische toe- en afvoer), locatie 7 heeft ventilatiesysteem C. Hierbij lijkt het verschil tussen emissielocatie minder sterk aanwezig.



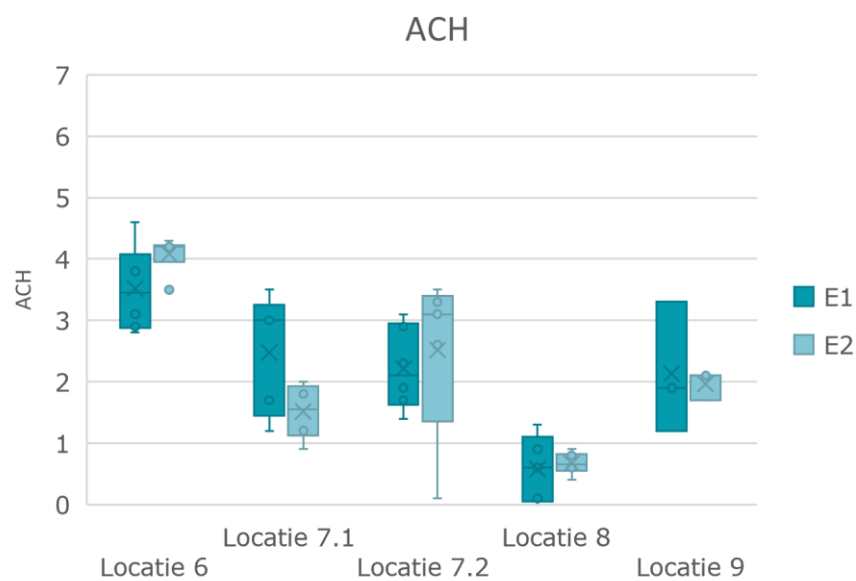
Figuur 3.4 Boxplot van de 100-voudige toenametijd voor de vier onderzochte ruimtes op drie zorglocaties. Er is een verdeling per emissielocatie (E1, E2) gemaakt.

De 100-voudige herstelltijd is een maat die het vermogen van een ventilatiesysteem om de ruimte door te spoelen en deeltjes en andere verontreinigende stoffen in de lucht te verwijderen beschrijft. Hoe langer de herstelltijd, hoe langer het systeem nodig heeft om deeltjes te verwijderen. De 100-voudige herstelltijd heeft een directe relatie met de lokale circulatievoud. Figuur 3.5 geeft het overzicht weer van de gevonden herstellertijden per ruimte per emissiebronlocatie. Locatie 8 laat een erg hoge 100-voudige herstelltijd zien. Op enkele locaties nam de deeltjesconcentratie toe, waardoor de herstelltijd ook significant toenam.



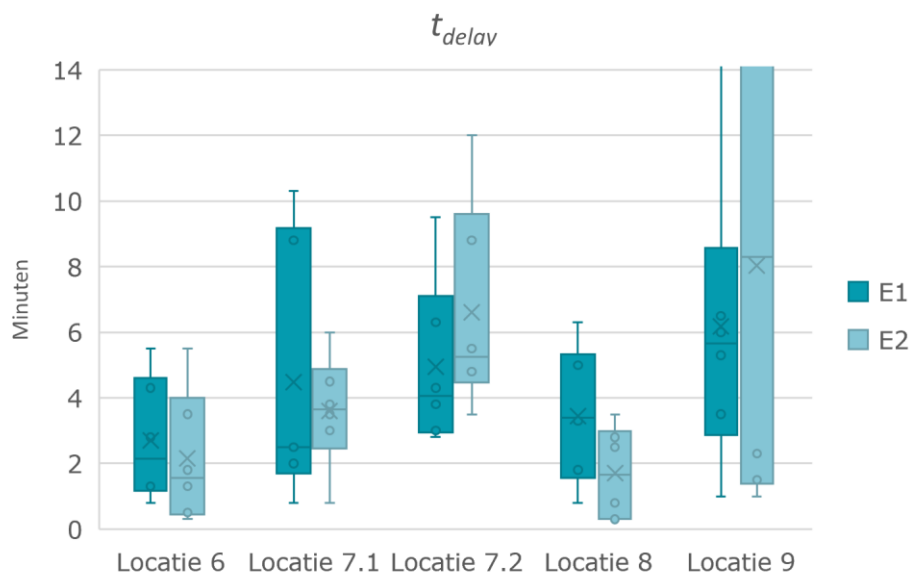
Figuur 3.5 Boxplot van de 100-voudige herstelltijd voor de vier onderzochte ruimtes op drie zorglocaties. Er is een verdeling per emissielocatie (E1, E2) gemaakt.

De lokale circulatievoud is gerelateerd aan de 100-voudige hersteltijd, zoals reeds hierboven benoemt. Een korte 100-voudige hersteltijd resulteert in een hoge lokale circulatievoud. Figuur 3.6 laat de lokale circulatievouden zien per ruimte en emissiebronlocatie. Bij locatie 8 is er een grote variatie in 100-voudige hersteltijd ten opzicht van de emissiebronlocatie. Dit resulteert in een grote spreiding in de lokale circulatievoud.



Figuur 3.6 Boxplot van de circuatievoud voor de vier onderzochte ruimtes op drie zorglocaties. Er is een verdeling per emissielocatie (E1, E2) gemaakt.

De tijd (t_{delay}) die het kost voor deeltjes op meetlocaties na de start van de emissiebron hangt af van de aanwezige luchtstroom en de afstand tussen de emissiebron en de locatie van de deeltjesteller. Een lange t_{delay} geeft aan dat óf de afstand tussen het emissiepunt en het meetpunt groot is – waardoor het lang duurt voordat de deeltjes bij het meetpunt worden geregistreerd –, óf de luchtstroomvector is laag nabij het emissiepunt. Figuur 3.7 geeft de t_{delay} per ruimte en per emissiebronlocatie weer.

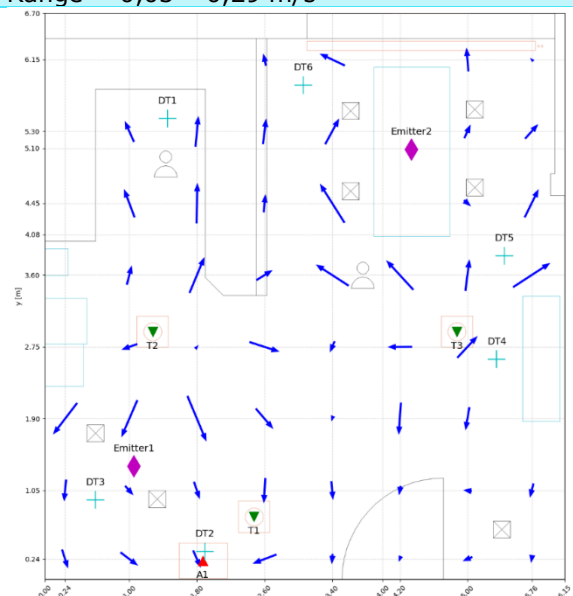
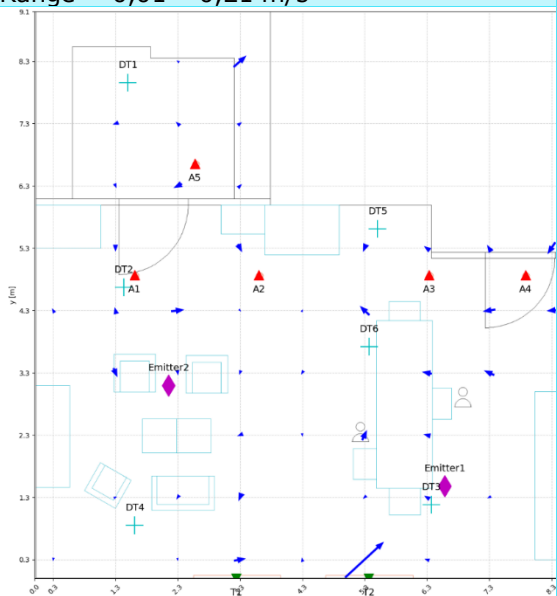
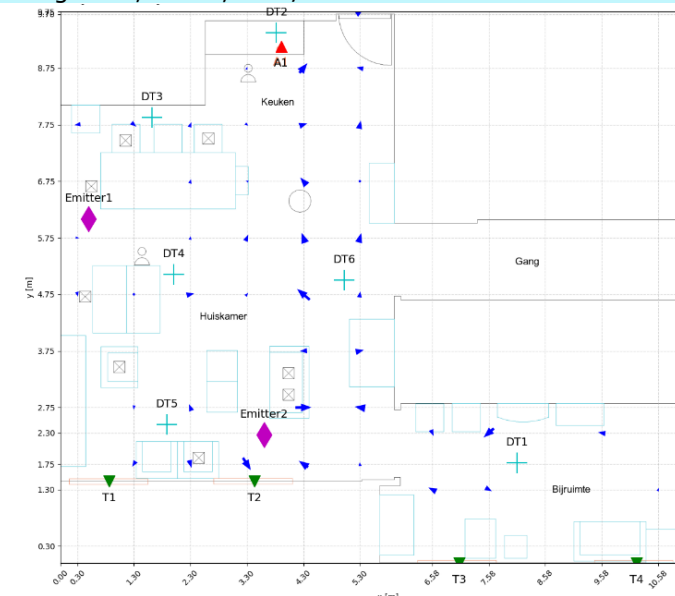
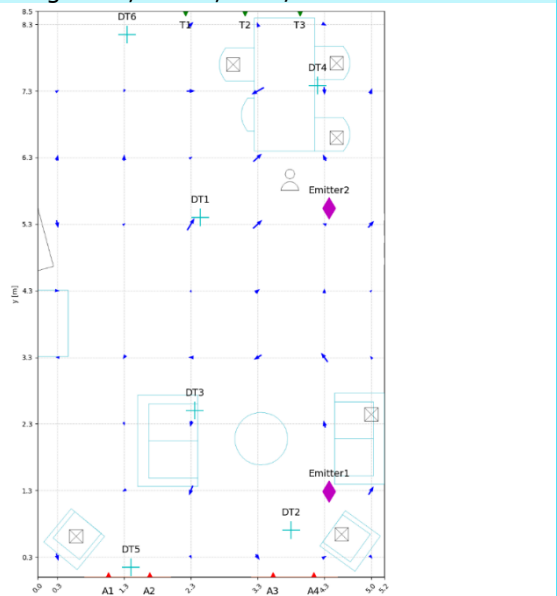


Figuur 3.7 Boxplot van de t_{delay} voor de vier onderzochte ruimtes op drie zorglocaties. Er is een verdeling per emissielocatie (E1, E2) gemaakt.

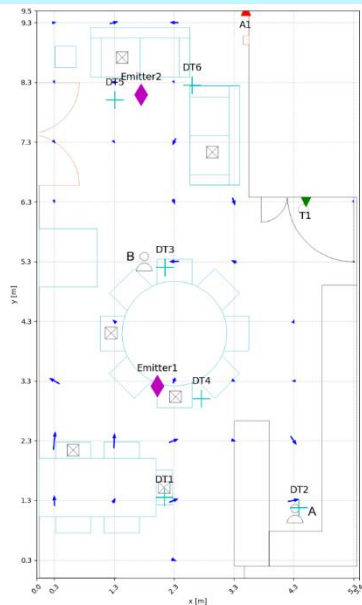
3.3 Vectormetingen

De vector van de luchtstroom wordt bepaald door de vectormetingen. Ter hoogte van de deeltjestellers is een horizontale doorsnede gemaakt om de resultaten onderling te kunnen vergelijken. Voor een gedetailleerde omschrijving wordt verwezen naar de bijlagen. Tabel 3.1 geeft de uitkomsten per ruimte weer.

Tabel 3.1 Overzicht uitkomsten vectormetingen per ruimte op deeltjestellershoogte (circa 1,25 m boven de vloer). De meetperiode beslaat de dag waarop de vectormetingen zijn uitgevoerd, deze zijn binnen circa 1,5u uitgevoerd.

Locatie 6 Meetperiode = 21-03-2023 Max luchtsnelheid = 0,29 m/s Range = 0,03 – 0,29 m/s 	Locatie 7.1 Meetperiode = 12-04-2023 Max luchtsnelheid = 0,21 m/s Range = 0,01 – 0,21 m/s 
Locatie 7.2 Meetperiode = 12-04-2023 Max luchtsnelheid = 0,07 m/s Range = 0,01 – 0,07 m/s 	Locatie 8 Meetperiode = 20-07-2023 Max luchtsnelheid = 0,05 m/s Range = 0,01 – 0,05 m/s 
Locatie 9 Meetperiode = 11-10-2023 Max luchtsnelheid = 0,08 m/s	

Range = 0,01 – 0,08 m/s



De maximum luchtsnelheden zijn lager dan 0,29 m/s. Met name op locatie 6 is te zien dat er een luchtstroom vanuit de toevoer in alle richtingen in de ruimte wordt verspreidt. Voor locaties 7.2, 8 en 9 is te zien dat de luchtsnelheden onder de 0,08 m/s zijn. Voor deze locaties geldt dat de gemeten luchtsnelheden onder de tocht comfortgrens van 0,25 m/s (in wintersituatie) zit. De luchtsnelheden zijn daarmee redelijk laag. Een dominante luchtstroom is daarmee lastig aan te geven. Dit geldt zowel voor de locaties met natuurlijke ventilatie als mechanische ventilatie.

4 CONCLUSIES

Metingen hebben plaatsgevonden op drie zorglocaties in vier ruimtes. Er zijn drie huiskamers en een activiteitenruimte onderzocht. Een ruimte had enkel natuurlijke toe- en afvoer, twee ruimtes maakten gebruik van mechanische afvoer en een ruimte had een volledig mechanisch ventilatiesysteem.

3. Wat zijn de waarden van de maatgevende variabelen gebaseerd op de deeltjesconcentratie voor de luchtstroming bij de meetpunten?

Locaties 6, 7.1, 7.2 en 9 laten een gelijke trend zien als het gaat om een langere 100-voudige toenametijd in vergelijking met locatie 8. Voor locatie 6 is zichtbaar dat de locatie van de emissiebron uitmaakt.

Voor locaties 7 en 9 is een grotere variatie te zien in t_{delay} . Er is een groter verschil in tijd die het kost voor deeltjes om van emitterbronlocatie naar een deeltjestellerlocatie te verspreiden. Omdat er lage luchtsnelheden zijn gemeten in de vectormetingen en geen duidelijke dominante luchtstroom geïdentificeerd kan worden, lijkt de afstand van emissiepunt tot meetpunt de dominante factor te zijn.

Locatie 8 heeft maakt gebruik van natuurlijke toevoer en afvoer. De resultaten van de deeltjesmetingen laat zien dat er erg korte 100-voudige toenametijden zijn gemeten. Dit vertaalt zich in een hoge deeltjesconcentratie binnen korte tijd op alle deeltjestellerslocaties. De lange hersteltijden benadrukken dat er beperkte ventilatie aanwezig is waarmee de geëmitteerde deeltjes worden verdund en afgevoerd. Dit geldt voor de meeste locaties.

4. Wat is het stromingsprofiel van de luchtstroom in de ruimte?

Uit de vectormetingen is te zien dat luchtsnelheden in alle ruimtes relatief laag zijn. Het is daarom lastig een dominante luchtstroom te identificeren in een aantal ruimtes. Voor locatie 6 is een luchtstroom aanwezig vanaf de toevoerroosters die in alle richtingen de ruimte in wordt geblazen. Met name in de hersteltijden van deze locatie is te zien dat er een kleinere variatie tussen de meetlocaties is. Dit kan duiden op een betere menging en verdunning van de lucht. De overige locaties hebben relatief lage luchtsnelheden. Een minder goede menging en verdunning zal op deze locaties reden kunnen zijn voor langere hersteltijden.

5 REFERENTIELIJST

1. Bufacchi A, Lejeune N. Literatuurstudie experimenten langdurige zorg, onderbouwing methodologie. 2023.
2. Ai A, Hashimoto K, Melikov AK. Influence of pulmonary ventilation rate and breathing cycle period on the risk of cross-infections. *Indoor Air*. 2019;29(6):993-1004. doi:10.1111/ina.12589
3. Xu C, Nielsen P V., Gong G, Liu L, Jensen RL. Measuring the exhaled breath of a manikin and human subjects. *Indoor Air*. 2015;25(2):188-197. doi:10.1111/ina.12129
4. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Effect of voicing and articulation manner on aerosol particle emission during human speech. *PLoS One*. 2020;15(1):1-15. doi:10.1371/journal.pone.0227699
5. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep*. 2019;9(1). doi:10.1038/s41598-019-38808-z

6 BIJLAGE A

ALGEMEEN			BOUWKUNDIG OBSERVATIEGEBIED			LUCHTBEHANDELING OBSERVATIEGEBIED			VENTILATIE OBSERVATIEGEBIED			VERWARMING/KOELING OBSERVATIEGEBIED			WARMTEBRONNEN OBSERVATIEGEBIED		
Element	Ingevuld		Element	Ingevuld	Eenheid	Element	Ingevuld	Eenheid	Element	Ingevuld	Eenheid	Element	Ingevuld	Eenheid	Element	Ingevuld	Eenheid
Algemene informatie			Oppervlakte			Gegevens LUK observatiegebied			Regeling			Regeling			Warmtebronnen		
Naam zorginstelling	NEXT		> Bruto vloeroppervlakte		m²	> LUK aanwezig?	Aanwezig	-	> Type regeling ventilatiehoeveelheid	Constant volume	-	> Setpoint zomer		°C	> Aantal		-
Adres	Molengraafsingel 8, 2629 JD Delft		> Gebruiksoppervlakte		m²	> Centraal/decentraal systeem	Centraal	-	> Toe-favoerpunten		-	> Setpoint winter		°C			-
Type zorginstelling	Ouderenzorg		Afmetingen			> Merk		-	> Type	0	-	> Temperatuur gemeten max		°C			-
Doelgroep	PG		> Lengte		mm	> Type		-	> Afvoerpunten	0	-	> Temperatuur gemeten min		°C			-
Informatie schouw			> Breedte		mm	> Bouwjaar		-	Ontwerpdebiet ventilatie		-	> Temperatuur gemeten gemiddeld		°C			-
TNO Medewerker(s)	Niels Lejeune		> Hoogte		mm	> Revisiejaar		-	> Totaal debiet toevoerlucht	0	m³/h	> Verwarmen					-
Datum technische schouw			> Volume ruimte		m³	Ventilatiesysteem	D	-	> Totaal debiet afvoerlucht	0	m³/h	> Ontwerpvermogen warmteopwekkers	0,00	kW			-
Tijdstip technische schouw			Plafond			> Toevoer	Mechanisch	-	> Totaal debiet recirculatie (indien van toepassing)	0	m³/h	> Vermogen warmteafgifte observatieruimte	0,00	kW			-
Gebouw informatie			> Type plafond		mm	> Afvoer	Mechanisch	-	Werkelijk debiet ventilatie			> Temperatuurtraject medium		°C			-
Bouwjaar			Ramen			Lucht LUK			> Totaal debiet toevoerlucht	0	m³/h	> Koelen					-
Aantal bouwlagen			> Aantal ramen	0	-	> Ontwerpdebiet toevoer		m³/h	> Totaal debiet afvoerlucht	0	m³/h	> Vermogen koudeafgifte observatieruimte	0,00	kW			-
Renovatiejaren bouwkundig			> Aantal te openen ramen	0	-	> Werkelijk/gemeten debiet toevoer		m³/h	> Totaal debiet recirculatie (indien van toepassing)	0	m³/h	> Vermogen koudeafgifte observatieruimte	0,00	kW			-
Renovatiejaren installatietechnisch			> Totaal Raamoppervlakte	0	-	> Ontwerpdebiet afvoer		m³/h				> Temperatuurtraject medium		°C			-
Ruimte-informatie						> Werkelijk/gemeten debiet afvoer		m³/h									-
Naam observatieruimte			Deuren			> Inblass temperatuur winter		°C									-
Gebruiksfunctie			> Aantal deuren buitenschil	0	-	> Inblass temperatuur zomer		°C									-
Persoonsbezetting ontwerp			> Aantal deuren binnenschil	0	-	Verwarmingselement											-
Typische persoonsbezetting			> Aantal openingen binnenschil	0	-	> Verwarmingselement aanwezig?		-									-
Drukke persoonsbezetting						> Type		kW									-
> bewoners/clienten						> Vermogen											-
> vast personeel						Koelelement											-
> incidenteel personeel/bezoek						> Koelelement aanwezig?		-									-
						> Type		kW									-
						> Vermogen											-
						WTW											-
						> WTW aanwezig?		-									-
						> Type		%									-
						> Rendement											-
						Bevochtiging											-
						> Bevochtiging aanwezig?		-									-
						> Type		%									-
						> Regelbereik bevochtiging (RV)											-
						Andere componenten											-
						> Opgenomen vermogen ventilator(en)		W									-
						> Filterklasse		-									-
Opmerkingen			Opmerkingen bouwkundige staat			Conditie			Opmerkingen			Opmerkingen			Opmerkingen		
						Onderhoud											
			Opmerkingen schil & isolatiegraad			Opmerkingen											

7 BIJLAGE B

Tabel 7.1 Samenvatting gegevens technische schouw op bouwkundig en installatietechnisch vlak.

		Locatie 1			Locatie 2			Locatie 3.1			Locatie 3.2			Locatie 4		
Bouwkundig																
Oppervlak	m2	46			50			166			33			128		
Hoogte	m	2,48			5,66			4,7			3			2,86		
Volume	m3	114			285			561			111			366		
Ontwerpbezetting	#	8			12									16		
Bouwjaar		1991			2009			2009			2009			2001/2008		
Installatietechnisch																
		Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type
Installatiesysteem				A			D			D			D			D
Ventilatie toevoer	m3/h															
#1		n.v.t.	n.v.t.	Ventilatioerooster	-	750	Luchtverdeelslang	-	690	Wandrooster	116	160	Wervelrooster	124	250	Plafondrooster
#2		n.v.t.	n.v.t.	Ventilatioerooster				-	690	Wandrooster	103	160	Wervelrooster	168	250	Plafondrooster
#3		n.v.t.	n.v.t.	Ventilatioerooster				-	690	Wandrooster	100	160	Wervelrooster	195	250	Plafondrooster
#4								-	500	Wandrooster				203	250	Plafondrooster
#5								-	500	Wandrooster				195	250	Plafondrooster
#6								-	500	Wandrooster				206	250	Plafondrooster
Totaal		-	-		-	750		-	3570		319	480		1091	1500	
Ventilatie afvoer	m3/h															
#1					158	250	Afvoerrooster	-	1500	Afzuigkanaal	167	240	Plafondrooster	255		Afzuigslang
#2								-	2070	Afzuigkanaal	165	240	Plafondrooster	260		Afzuigslang
#3														269		Afzuigslang
#4														218		Afzuigslang
#5														254		Afzuigslang
#6																
Totaal		-	-		158	250		-	3570		332	480		1256	0	
Ventilatievoud (berekend)					n.b.	2,6		n.b.	6,4		2,9	4,3		3,0	4,1	
Ventilatievoud (gemeten)																

Tabel. 8.1 vervolg

		Locatie 5.1			Locatie 5.2			Locatie 6			Locatie 7.1		
Bouwkundig								Gemeten			Gemeten		
Oppervlak	m2	112			94			40			61		
Hoogte	m	2,77			2,63			2,4/ 2,63			2,65		
Volume	m3	309			247			103			162		
Ontwerpbezetting	#	10			10			10			10		
Bouwjaar		2014			2014			1968			2013		
Installatietechnisch													
		Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type
Installatiesysteem				C			D			D			C
Ventilatie toevoer	m3/h												
#1					58	180	Wervelrooster	23		Plafondrooster	n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster
#2					52	180	Wervelrooster	232		Plafondrooster	n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster
#3					17	50	Wervelrooster	226		Plafondrooster			
#4					17	50	Wervelrooster	n.v.t.		Ventilatie rooster			
#5					36	180	Wervelrooster						
#6													
Totaal		0	0		180	640		481					
Ventilatie afvoer	m3/h												
#1		16	70	Rozet	72	n.b.	Plafondrooster	64		Systeemplafond	15	40	Rozet
#2		72	70	Rozet	18	50	Plafondrooster				15	35	Rozet
#3		52	70	Rozet	18	50	Plafondrooster				0	40	Rozet
#4		51	70	Rozet	18	70	Rozet				14	35	Rozet
#5		53	70	Rozet	-	n.b.	Rozet				36	75	Rozet
#6		64	70	Rozet									
Totaal		308	420		126	170		64			15	40	
Ventilatievoud (berekend)		n.b.	n.b.		0,7	2,6		4,7	n.b.		n.b.	n.b.	
Ventilatievoud (gemeten)											0,5*	1,4	

Tabel. 8.1 vervolg

		Locatie 7.2			Locatie 8			Locatie 9		
Bouwkundig		Gemeten			Gemeten			Gemeten		
Oppervlak	m2	67			42			46		
Hoogte	m	2,4/ 2,65			2,6			3,60		
Volume	m3	175			109			167		
Ontwerpbezetting	#	10			6			14		
Bouwjaar		2013			1988			2007		
Installatietechnisch		Gemeten			Gemeten			Gemeten		
		Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type	Gemeten waarde	Ontwerp waarde	Type
Installatiesysteem				C			A			D
Ventilatie toevoer	m3/h									
#1		n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster	n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster	22		plafondpunten
#2		n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster	n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster	4268		deur/ramen
#3				Ventilatie rooster	n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster			
#4				Ventilatie rooster						
#5										
#6										
Totaal								4290	0	
Ventilatie afvoer	m3/h									
#1		14	75	Rozet	n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster	32		plafondpunten
#2					n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster	4268		deur/ramen
#3					n.v.t.	n.v.t.	Ventilatie rooster			
#4										
#5										
#6										
Totaal		14	75					4300	0	
Ventilatie voud (berekend)		n.b.	n.b.			1,9		n.b.	n.b.	
Ventilatie voud (gemeten)		0,1	0,4		n.v.t.	n.v.t.		n.v.t.	n.v.t.	

8 BIJLAGE C T/M F