



# EXPERIMENTEN LANGDURIGE ZORG

Onderbouwing  
methodologie

Programmaliijn III

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| <b>DATUM</b>       | 3 juli 2023                  |
| <b>AUTEUR</b>      | Adam Bufacchi, Niels Lejeune |
| <b>ORGANISATIE</b> | TNO                          |

# INHOUD

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Inleiding</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1.      | Context P3Venti  | 4         |
| 1.2.      | Onderzoek Programmalijn III                                  | 4         |
| <b>2.</b> | <b>Standaardruimtes Langdurige Zorg</b>                      | <b>6</b>  |
| 2.1.      | Schets zorgvastgoed Nederland                                | 7         |
| 2.1.1.    | College Bouw Zorginstellingen                                | 7         |
| 2.2.      | Ruimtetyperologie gemeenschappelijke ruimtes langdurige zorg | 7         |
| 2.2.1.    | Oppervlakte  | 7         |
| 2.2.2.    | Ruimtehoogte   | 9         |
| 2.2.3.    | Ventilatie   | 10        |
| 2.2.4.    | Klimaat  | 11        |
| 2.3.      | Analyse veldstudie langdurige zorginstellingen               | 12        |
| 2.3.1.    | Typering langdurige zorginstellingen                         | 12        |
| 2.3.2.    | Kenmerken bezochte langdurige zorginstellingen               | 13        |
| 2.3.3.    | Analyse  | 16        |
| 2.4.      | PvE (standaard)-gemeenschappelijke ruimte langdurige zorg    | 18        |
| <b>3.</b> | <b>literatuuronderzoek meetmethodes</b>                      | <b>20</b> |
| 3.1.      | Onderzoeksvragen   | 20        |
| 3.2.      | Methodologie   | 20        |
| 3.2.1.    | Scopingreview zoekstrings                                    | 21        |
| <b>4.</b> | <b>Resultaat Indicatoren &amp; meettechnieken</b>            | <b>24</b> |
| 4.1.      | Overzicht indicatoren  | 24        |
| 4.1.1.    | Ventilation effectiveness                                    | 24        |
| 4.1.2.    | Verwante indicatoren   | 24        |
| 4.1.3.    | Luchtdistributiestromingen- en patronen                      | 26        |
| 4.2.      | Ventilation effectiveness                                    | 26        |
| 4.2.1.    | Air Change Efficiency  | 26        |
| 4.2.2.    | Local Air Change Efficiency                                  | 27        |
| 4.2.3.    | Contaminant Removal Effectiveness                            | 28        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.2.4.    | Local Air Quality Index (LAQI)   | 29        |
| 4.3.      | Meetmethoden   | 29        |
| 4.3.1.    | Tracers & Deeltjesmetingen   | 29        |
| 4.3.2.    | Luchtstroommetingen  | 32        |
| <b>5.</b> | <b>Resultaat Parameters &amp; operationele omstandigheden</b>  | <b>35</b> |
| 5.1.      | Operationele omstandigheden.   | 36        |
| 5.1.1.    | Ventilatietypen & luchtmenging   | 36        |
| 5.1.2.    | Temperatuur toegevoerde lucht  | 37        |
| 5.2.      | Interne lasten   | 37        |
| 5.2.1.    | Interne warmtebronnen  | 37        |
| 5.2.2.    | Koudebronnen & koudeval  | 39        |
| 5.3.      | Menselijke Beweging & ademhaling   | 40        |
| 5.3.1.    | Voortbeweging  | 40        |
| 5.3.2.    | Ademhaling   | 40        |
| 5.4.      | Objecten   | 41        |
| 5.4.1.    | Meubilair  | 41        |
| 5.4.2.    | Schermen   | 42        |
| 5.4.3.    | Deuren   | 42        |
| 5.5.      | Luchtreiniging & filtratie   | 43        |
| 5.6.      | Overzicht  | 43        |
| <b>6.</b> | <b>Conclusie</b>   | <b>45</b> |
| 6.1.      | Wat zijn de ruimtelijke kenmerken van een veelgebruikte ruimte in de Nederlandse langdurige zorg?  | 45        |
| 6.2.      | Wat zijn robuuste indicatoren en meetmethodes om het vermogen van een ventilatie-installatie te testen om aerogene verspreiding van virussen en pathogenen te reduceren? | 46        |
| 6.3.      | Welke parameters moeten worden vastgesteld om de indicatoren te kunnen bepalen en hoe kunnen deze worden gemeten?  | 47        |
| <b>7.</b> | <b>Bibliografie</b>  | <b>48</b> |
| <b>8.</b> | <b>Ondertekening</b>   | <b>51</b> |

# 1. INLEIDING

## 1.1. Context P3Venti

Het VWS-programma '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

De in deze rapportage beschreven resultaten zijn onderdeel van programmalijn III: Experimenteel onderzoek ventilatie en deeltjesgedrag. Programmalijn III richt zich op kennisontwikkeling met betrekking tot de bijdrage van ventilatie en luchtreinigers aan het voorkomen van besmettingen in de langdurige zorg.

## 1.2. Onderzoek 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 zijn voor dit onderzoek. In het projectplan is opgenomen dat deze experimenten worden uitgevoerd in een mock-up- en in-situ situatie, representatief voor het gebouwportfolio van de langdurige zorg in Nederland. Een mock-up houdt in: een gecontroleerde omgeving waarin de werkelijke situatie zo goed als mogelijk benadert wordt en waar tegelijkertijd de kritische parameters 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.

Dit leidt tot drie onderzoeksvragen:

1. *Wat zijn de ruimtelijke kenmerken van een veelgebruikte ruimte in de Nederlandse langdurige zorg?*
2. *Wat zijn robuuste indicatoren en meetmethodes om het vermogen van een ventilatie-installatie te testen om aerogene verspreiding van virussen en pathogenen te reduceren?*
3. *Welke parameters moeten worden vastgesteld om de indicatoren te kunnen bepalen en hoe kunnen deze worden gemeten?"*

Deze rapportage beantwoordt de bovenstaande drie onderzoeksvragen. Op basis van de uitkomsten kunnen onderzoeksprotocollen en randvoorwaarden worden opgesteld voor de mock-up- en in-situ-experimenten die uitgevoerd gaan worden voor Programmalijn III.

Onderzoeksvraag 1 wordt in hoofdstuk 2 aangevlogen door te kijken naar (in het verleden) vigerende bouwvoorschriften voor langdurige zorglocaties in Nederland. Tevens worden er voorlopige resultaten van Programmalijn I teruggekoppeld. Voor Programmalijn I is er veldonderzoek uitgevoerd op bestaande langdurige zorglocaties, waardoor informatie is verkregen van de ruimtelijke en technische kenmerken van deze gebouwen. De resultaten hiervan kunnen worden gebruikt voor het stellen van eisen aan mock-up- en in-situ-locaties of eventueel de bouw van een nieuwe mock-up-ruimte.

Onderzoeksvragen 2 en 3 worden in hoofdstukken 3 en 4 respectievelijk, behandeld met behulp van een literatuuronderzoek naar verschillende meetmethodes, indicatoren, parameters en experimentele omstandigheden die relevant zijn om wetenschappelijke experimenten te kunnen ontwerpen met betrekking tot ventilatie-efficiëntie bij aerogene verspreiding van deeltjes als analoog voor virussen en pathogenen. De gebruikte onderzoeksmethode is omschreven in hoofdstuk 3.

## 2. STANDAARDRUIMTES LANGDURIGE ZORG

Dit hoofdstuk gaat in op onderzoeksvraag 1: *'Wat zijn de ruimtelijke kenmerken van een veelgebruikte ruimte in de Nederlandse langdurige zorg?'.*

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden is een programma van eisen (PvE) opgesteld voor een mock-up omgeving, die representatief is voor een veelgebruikte ruimte in de Nederlandse langdurige zorg. Met de term 'veelgebruikte ruimte', wordt een ruimte bedoeld die dagelijks veel wordt gebruikt en regelmatige bezetting vertoont door zowel meerdere cliënten als medewerkers en bezoekers van de zorginstelling. De hypothese van TNO is dat in zulke ruimtes veel potentie is voor de verspreiding van ziekteverwekkers tussen cliënten en (zorg)medewerkers.<sup>1</sup>

Voor het onderzoek dat plaatsvindt in programmalijn I is gekozen voor onderzoek in gemeenschappelijke ruimtes in langdurige zorginstellingen. Dit zijn ruimtes waar meerdere cliënten vaak langdurig samen kunnen komen onder (eventueel) begeleiding van zorgpersoneel. Hierdoor is er een grote kans op verspreiding van aerogene ziekteverwekkers. Voor congruentie en het relateren van de resultaten van beide programmalijnen zal de mock-up voor programmalijn III ook uitgaan van een gemeenschappelijke ruimte in de langdurige zorg.

Dit hoofdstuk schetst eerst een beeld van bouwprestatie-eisen voor zorgvastgoed in Nederland door de jaren heen (paragraaf 2.1). Voor de analyse in dit rapport zijn van deze bouwprestatie-eisen voor zorgvastgoed bouwkundige kenmerken afgeleid die representatief zijn voor een gemeenschappelijke ruimte in de langdurige zorg (paragraaf 2.2). Daarna worden voorlopige resultaten van de technische schouw van 4 zorglocaties uit Programmalijn I beschreven, om bij wijze van steekproef een beeld te schetsen van gemeenschappelijke ruimtes in de langdurige zorg (paragraaf 2.3). Op basis van de bevindingen wordt een PvE voorgesteld voor een mock-up ruimte die past bij het onderzoek van Programmalijn III.

---

<sup>1</sup> Zie [www.p3venti.nl](http://www.p3venti.nl) voor meer informatie over Programmalijn I.

## **2.1.Schets zorgvastgoed Nederland**

### 2.1.1. College Bouw Zorginstellingen

Tot 2009 was nieuwbouw en renovatie in de intramurale gezondheidszorg onderworpen aan een specifiek wettelijk regime voor behoeftetoetsing en vergunningverlening. Dit regime was vastgelegd in achtereenvolgens de Wet ziekenhuisvoorzieningen (Wzv, tot en met 2005) en de Wet toelating zorginstellingen (WTZi2005-2008). Advisering over de behoefte en de vergunningverlening waren door het ministerie van VWS belegd bij een zelfstandig bestuursorgaan, het College bouw zorginstellingen (Bouwcollege). Voor het uitvoeren van de wettelijke taak stelde het Bouwcollege toetsingskaders vast: de Bouwmaatstaven voor nieuwbouw, vanaf de invoering van de WTZi omgedoopt tot Prestatie-eisen voor nieuwbouw.<sup>2</sup> De Bouwmaatstaven/Prestatie-eisen gaven referentiecijfers voor oppervlakte en investeringen op verschillende schaalniveaus (van individuele ruimte tot locatieniveau) en beschreven het minimaal noodzakelijke functionele en technische kwaliteitsniveau. Plannen voor nieuwbouw of renovatie moesten eerst worden getoetst bij het Bouwcollege voordat een vergunning kon worden verleend.

De Bouwmaatstaven/Prestatie-eisen werden periodiek herzien. Ook na de afschaffing van het wettelijk regime zijn elementen uit de Bouwmaatstaven/Prestatie-eisen door stakeholders in het zorgdomein nog geruime tijd als informeel referentiekader gebruikt. Deze eisen zijn in de ontwerpfase van nieuwe zorgbouw getoetst door het Bouwcollege, daarom is dit als uitgangspunt genomen bij het bepalen van een standaardruimtes in de langdurige zorg.

Bouwmaatstaf 122, gepubliceerd in 2007, beschrijft de (toenmalige) nieuwbouw-voorschriften voor AWBZ-voorzieningen. Bij het opzetten van de Bouwmaatstaven is rekening gehouden met toentertijd vigerende regelgeving, waaronder Bouwbesluit 2003 voor: verdiepingshoogte, daglichttoetreding en ventilatievoorschriften. Naast de Bouwmaatstaven zal daarom ook het Bouwbesluit (1992, 2003, 2012) geraadpleegd worden voor het bepalen van kenmerken van een gemeenschappelijke ruimte in de Nederlandse langdurige zorg.

## **2.2.Ruimtetynologie gemeenschappelijke ruimtes langdurige zorg**

### 2.2.1. Oppervlakte

Voor de dimensionering van ruimtes in langdurige zorginstellingen, maakt Bouwmaatstaf 122 een onderscheid in 3 verblijfsconcepten:

---

<sup>2</sup> Naast eisen voor nieuwbouw stelde het Bouwcollege referentiekaders voor bestaande bouw vast. Deze waren bedoeld voor renovatieprojecten en ook wel om de functionele en technische kwaliteit van bestaande voorzieningen te kunnen monitoren.

- individueel verblijf (1 of 2 cliënten met eigen huishouding);
- kleinschalig groepsverblijf (3 tot 6 cliënten, die een gezamenlijke huishouding voeren);
- afdelingsverblijf (7 tot 10 cliënten).

Qua besmettingsrisico wordt door TNO ingeschat dat kleinschalig groepsverblijf en afdelingsverblijf de grootste risico's kennen. Bouwmaatstaf 122 maakt verder een onderscheid in verblijven van de categorieën licht, zwaar en beveiligd (zie Tabel 1). Hierin wordt ook nog een onderscheid gemaakt tussen mobiele en niet-mobiele doelgroepen.

Tabel 1 Doelgroepen en categorieën volgens Bouwmaatstaf 122, p. 8

| Categorie        | doelgroepen  |
|------------------|--|
| <b>Licht</b>     | <i>Woningen/verblijfsvoorzieningen met lichte aanpassingen ten opzichte van de reguliere woningbouw. Het betreft a-specifieke voorzieningen die qua vormgeving, verschijningsvorm, voorzieningenniveau, afwerkingsniveau en investeringskosten lijken op reguliere woningbouw.</i>   |
| <b>Zwaar</b>     | <i>Woningen/verblijfsvoorzieningen met ingrijpende aanpassingen ten opzichte van reguliere woningbouw. Het gaat om specifieke voorzieningen die qua vormgeving, verschijningsvorm, voorzieningenniveau, afwerkingsniveau en investeringskosten duidelijk uitstijgen boven reguliere woningbouw.</i>  |
| <b>Beveiligd</b> | <i>Woningen/verblijfsvoorzieningen met zodanig ingrijpende aanpassingen, dat deze in geen enkel opzicht vergelijkbaar zijn met reguliere woningbouw. Het betreft specifieke en (hoog) specialistische voorzieningen waar veiligheid en beveiliging centraal staan. Dit komt tot uitdrukking in de vormgeving, verschijningsvorm, de locatie, het voorzieningenniveau, het afwerkingsniveau en de investeringskosten.</i> |

De Bouwmaatstaven adviseren voor de bovengenoemde combinaties van verblijven en categorieën, verschillende minimale nuttige oppervlaktes per cliënt in vierkante meter vloeroppervlak. Deze zijn weergegeven in Tabel 2. 'Lichte' afdelingsverblijven komen volgens het Bouwcollege niet voor en zijn daarom niet meegenomen in het advies. Tevens zijn gemeenschappelijke ruimtes niet noodzakelijk of relevant bij individuele verblijven en zijn deze daarom ook niet genoemd in Tabel 2.



Tabel 2 Informatie uit Bouwmaatstaf 122: AWBZ-voorzieningen (2007). Bevat informatie over oppervlaktevereisten (pp. 33-35) voor gemeenschappelijke ruimtes in de langdurige zorg.

| Type   | Minimale nuttige opp. per cliënt in m <sup>2</sup> |       |           | Oppervlakte in m <sup>2</sup> bij maximum aantal cliënten |       |           |
|--|--|-------|-----------|---|-------|-----------|
|  | Licht  | Zwaar | Beveiligd | Licht   | Zwaar | Beveiligd |
| <b>Gemeenschappelijke ruimte</b>                     |  |       |           |   |       |           |
| <b>Kleinschalig groepsverblijf</b><br>(3-6 cliënten) |  |       |           |   |       |           |
| • Mobiel   | 7  | 8     | 10        | 42  | 48    | 60        |
| • Niet-Mobiel  | 7  | 9     | 10        | 42  | 54    | 60        |
| <b>Afdelingsverblijf</b><br>(Max 10 cliënten)        |  |       |           |   |       |           |
| • Mobiel   | n.v.t.   | 8     | 9         | n.v.t.  | 80    | 90        |
| • Niet-Mobiel  | n.v.t.   | 8     | 9         | n.v.t.  | 80    | 90        |

De laatste kolom van Tabel 2 laat zien dat volgens Bouwmaatstaf 122 de minimumoppervlaktes van een gemeenschappelijke ruimte uiteen kunnen lopen van 42 m<sup>2</sup> tot 90 m<sup>2</sup>, wanneer wordt uitgegaan van een maximale aangeraden bezetting. Voor een kleinschalig groepsverblijf komt dit neer op 6 cliënten en voor een afdelingsverblijf 10 cliënten.

### 2.2.2. Ruimtehoogte

Voor (minimale) voorgeschreven verdiepingshoogte verwijzen de Bouwmaatstaven naar het vigerende Bouwbesluit. Tabel 3 geeft een overzicht van de minimale vereiste verdiepingshoogte in een verblijfsruimte volgens drie Bouwbesluiten.

Tabel 3 Overzicht van minimale verdiepingshoogtes volgens Bouwbesluiten 1992, 2003 en 2012. Betreft zowel verblijfsgebieden als verblijfsruimtes. Verdiepingshoogtes zijn voor alle relevante functies gelijk (gezondheidszorgfunctie, bijeenkomstfunctie, woonfunctie).

| Uitgave Bouwbesluit | Minimale verdiepingshoogte | Verwijzing                         |
|---------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Bouwbesluit 1992    | 2,4 meter                  | Afdeling 3.2, artikel 45, lid 2    |
| Bouwbesluit 2003    | 2,6 meter                  | Afdeling 4.6, artikel 4.28         |
| Bouwbesluit 2012    | 2,6 meter                  | Afdeling 4.1, aansturingstabel 4.1 |

### 2.2.3. Ventilatie

Bouwmaatstaf 109<sup>3</sup> geeft aan dat geuroverlast of het vrijkomen van gassen, dampen en stoffen in sommige ruimtes in de gezondheidszorg wel hoger kan zijn dan in kantooromgevingen. Hierdoor is het volgens deze Bouwmaatstaf noodzakelijk dat de lucht in deze ruimtes adequaat ververscht wordt. Aan hoe dit vormgegeven moeten worden, stellen de Bouwmaatstaven geen concrete eisen. Voor kwantitatieve ventilatie-eisen verwijzen de Bouwmaatstaven voornamelijk naar de Bouwbesluiten.

De Bouwbesluiten geven minimumluchtverversingswaardes waar gebouwen van verschillende functietypes aan moeten voldoen. Er bestaan geen speciale gedefinieerde functietypes voor ruimtes in de langdurige zorg. Gemeenschappelijke ruimtes in de langdurige zorg vallen daarom onder algemene 'verblijfsruimtes' en 'verblijfsgebieden'. Een verblijfsgebied is een gebied dat uit meerdere verblijfsruimtes bestaat, met uitzondering op toiletruimtes, technische ruimtes, verkeersruimtes en sanitaire ruimtes.

Tabel 4 geeft een overzicht van de vereiste waardes voor ventilatievoorzieningen in verblijfsruimtes en -gebieden voor nieuwbouw volgens Bouwbesluiten<sup>4</sup> 1992, 2003 en 2012. Deze minimale waardes moeten gehanteerd zijn in langdurige zorggebouwen die gebouwd zijn in de periode van 1992 tot heden.

Tabel 4 De minimale ventilatiewaardes voor verblijfsruimtes en verblijfsgebieden in woonfuncties, volgens Bouwbesluiten 1992, 2003 en 2012. Een verblijfsgebied is een gebied die uit meerdere verblijfsruimtes bestaat, met uitzondering op toiletruimtes, technische ruimtes, verkeersruimtes en sanitaire ruimtes.

| Type            | Debiet [ $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ] | Debiet [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ] |
|-----------------|--|---|
| Verblijfsruimte | 0,7  | 2,5   |
| Verblijfsgebied | 0,9  | 3,2   |

- Een minimum van  $7 \text{ dm}^3/\text{s}$  (omgerekend  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ) aan luchtverversing moet aanwezig zijn in een verblijfsruimte of -gebied.
- Indien in de bovenstaande ruimtes een kookstel aanwezig is, moet er een aanvullende  $21 \text{ dm}^3/\text{s}$  (omgerekend  $75,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ) aan extra luchtverversing geïnstalleerd worden.

Bouwbesluiten 2003 en 2012 geven ventilatiewaardes voor specifieke gebruiksfuncties. De gezondheidszorgfunctie in het bijzonder is relevant. Deze waardes zijn uiteengezet in Tabel 5. Hoewel er geen expliciete functie voor gemeenschappelijke ruimte benoemd is, kan het zijn dat er met deze waardes is ontworpen in de praktijk. Dit zal moeten blijken uit lopend veldonderzoek voor P3Venti.

<sup>3</sup> Bouwmaatstaf 109 'Binnenmilieu en installatietechniek in de zorgsector', pp. 14-15

<sup>4</sup> 1992: Afdeling 2.2, artikel 30, lid 5 & 9 | 2003: Afdeling 3.10, artikel 3.46, lid 1 & 2 | 2012: Afdeling 3.6, Artikel 3.29, lid 1 & 2

Tabel 5 Minimale ventilatiewaardes voor verscheidene gezondheidszorgfuncties zoals te vinden in Bouwbesluiten 2003 en 2012. Let op: Bouwbesluit 2003 hanteert met debieten per oppervlakte en Bouwbesluit 2012 hanteert met debieten per persoon.

| Uitgave Bouwbesluit   | Debiet [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ]           | Debiet [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]           | Verwijzing   |
|---|---|--|--|
| <b>Bouwbesluit 2003</b>   |   |  |  |
| Gezondheidszorgfunctie:<br>1 ruimte uitsluitend voor bezoekers                          | 1,3 $\text{dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ | 4,7 $\text{m}^3/\text{h}$ per $\text{m}^2$ | Afdeling 3.10,<br>Tabel 3.46.4<br><br>Bezettingsgraadklasse = B3<br>( $> 5 - \leq 12$ $\text{m}^2/\text{pp}$ ) |
| Gezondheidszorgfunctie:<br>2 ruimte voor activiteiten die de binnenlucht verontreinigen | 2,4 $\text{dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ | 8,6 $\text{m}^3/\text{h}$ per $\text{m}^2$ |  |
| Gezondheidszorgfunctie:<br>3 ruimte voor aan bed gebonden patiënten                     | 2,4 $\text{dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ | 8,6 $\text{m}^3/\text{h}$ per $\text{m}^2$ |  |
| Gezondheidszorgfunctie:<br>4 andere ruimte  | 1,3 $\text{dm}^3/\text{s}$ per $\text{m}^2$ | 4,7 $\text{m}^3/\text{h}$ per $\text{m}^2$ |  |
| <b>Bouwbesluit 2012</b>   |   |  |  |
| Gezondheidszorgfunctie:<br>a. bedgebied   | 12 $\text{dm}^3/\text{s}$ per persoon       | 43,2 $\text{m}^3/\text{h}$ per persoon     | Afdeling 3.6,<br>Tabel 3.28.4  |
| Gezondheidszorgfunctie:<br>b. ander verblijfsgebied                                     | 6,5 $\text{dm}^3/\text{s}$ per persoon      | 23,4 $\text{m}^3/\text{h}$ per persoon     |  |

Aanvullend op de minimumdebieten geven Bouwbesluit<sup>5</sup> 2003 en 2012 nog een randvoorwaarde voor de luchtsnelheid bij de luchttoevoervoorzieningen van ruimtes van alle functietypes. Toegevoerde verse lucht in de leefzone van een verblijfsgebied mag niet meer dan een luchtsnelheid van 0,2 m/s in deze ruimte veroorzaken. Dit wordt verplicht vanuit het oogpunt van thermisch comfort. Hoge luchtsnelheden kunnen als onprettig worden ervaren (tocht), waardoor gebruikers van gebouwen mogelijk zelf ventilatieopeningen afsluiten<sup>6</sup>. Cliënten in de langdurige ouderenzorg in het bijzonder ervaren tocht als een drastische vermindering van thermisch comfort.

#### 2.2.4. Klimaat

Bouwmaatstaf 109 geeft richtwaarden voor temperaturen voor verschillende ruimtes binnen de gezondheidszorg<sup>7</sup>. BM109 geeft aan dat er (toentertijd) geen eisen waren rondom het thermische binnenklimaat in gebouwen, daarom moeten de volgende aanbevelingen worden geacht als richtwaarden.

<sup>5</sup> Bouwbesluit 2003, artikel 3.49 | Bouwbesluit 2012, artikel 3.30. Gebaseerd op NEN1087 en NEN7730.

<sup>6</sup> Bouwbesluit 2012, artikel 3.30, nota van toelichting

<sup>7</sup> Bouwmaatstaf 109, pp. 14-15

In Bouwmaatstaaf 109 wordt voor een langdurige zorgruimte een binnentemperatuur van minimaal 22 °C aangeraden gedurende de winter. Somatische -en psychogeriatrische afdelingen zijn de uitzondering met een aangeraden minimumtemperatuur van 24 °C gedurende de winter. In de zomer wordt voor de gehele langdurige zorg een maximum binnentemperatuur van 25,5 °C aangeraden.

Verder raadt Bouwmaatstaf 109 een relatieve luchtvochtigheid van rond de 45% aan, echter is dit wederom geen harde (formele) eis.

### **2.3.Analyse veldstudie langdurige zorginstellingen**

Programmalijs III heeft een relatie met het onderzoek dat gedaan wordt in programmalijs I.

Programmalijs I heeft ten tijde van schrijven van deze rapportage vier veldonderzoeken rondom interacties in gemeenschappelijke ruimtes in langdurige zorginstellingen afgerond en verwerkt.

Aansluitend is er voor elk van deze bezochte zorginstellingen een technische schouw uitgevoerd, met als doel om de gebouw- en installatiekenmerken van de betreffende langdurige zorginstelling op systematische wijze vast te leggen. De eerste resultaten uit deze technische schouw worden in deze paragraaf besproken.

#### **2.3.1. Typering langdurige zorginstellingen**

Onderstaand volgen beknopte beschrijvingen van de bezochte zorginstellingen.

#### **Instelling 1: Ouderenzorg - Psychogeriatric**

Deze instelling is een kleinschalige woonvorm bestaande uit 3 woongroepen met elk 8 bewoners. Elke bewoner heeft beschikking over een eigen appartement met badkamer en toilet. Deze appartementen grenzen met hun voordeur aan een circulair ganggebied. Aan dit ganggebied liggen tevens 3 huiskamers. De ontwerpbezetting is 8 personen per huiskamer. De observatiestudie vond plaats in één van de drie huiskamers.

#### **Instelling 2: Ouderenzorg – Somatiek**

Deze instelling is een woonzorgcentrum bestaande uit 9 groepen voor langdurige ouderenzorg. De observatiestudie vond plaats in de atrium annex huiskamer van een woongroep voor 12 cliënten met somatische klachten. Deze huiskamer is onderdeel van een ganggebied, waar 12 appartementen van cliënten aan gelegen zijn.

### Instelling 3: Gehandicaptenzorg – Woonbegeleidingscentrum

Deze instelling is een woonbegeleidingscentrum bestaande uit 19 appartementen. De observatiestudie vond plaats in de centrale ontmoetingsruimte van de instelling én een dagbestedingsruimte. De instelling is volledig gelijkvloers

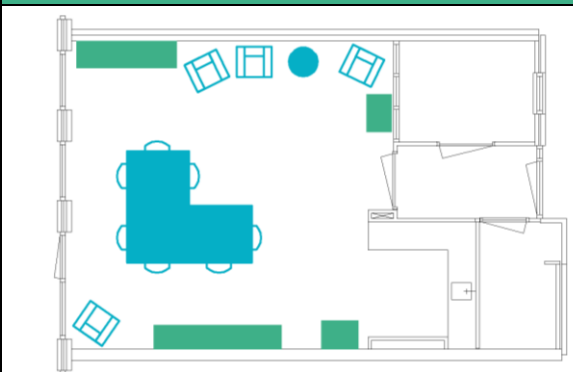
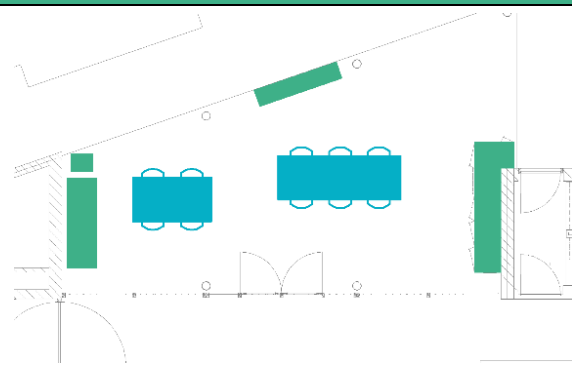
### Instelling 4: Gehandicaptenzorg – Arbeidstrainingcentrum

Deze instelling is een arbeidstrainingcentrum De observatiestudie richtte zich op een ruimte die wordt gebruikt voor repro- en grafisch werk. Deze ruimte is ingericht als kantoorruimte en is gelegen op de begane grond, grenzend aan de centrale binnenkomstlobby.

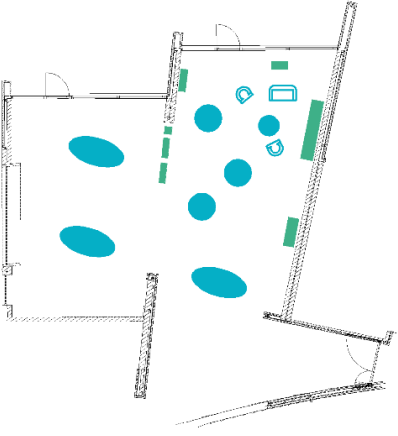
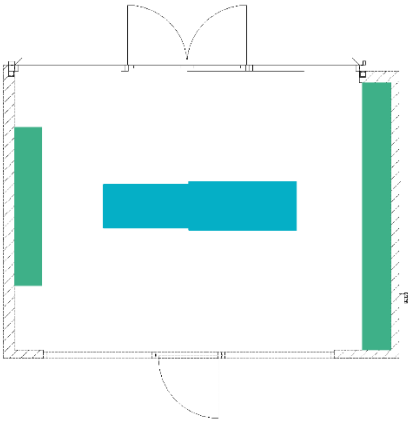
#### 2.3.2. Kenmerken bezochte langdurige zorginstellingen

In deze sectie volgt een samenvatting van de belangrijkste ruimtelijke en technische kenmerken van de zorginstellingen die zijn bezocht in het kader van programmalijn I. De blauwe elementen in de onderstaande plattegronden betreffen bruikbare zitgedeeltes (stoelen/tafels/fauteuils/banken). Groene elementen zijn overige meubels zoals kasten, keukenblokken, tv-meubels etc.

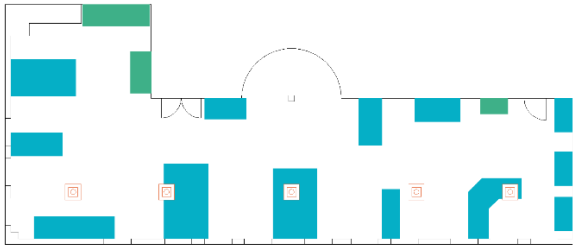
Tabel 6 Deze verzameling van tabellen toont plattegronden en enkele hoofdkengetallen van de gemeenschappelijke ruimtes in de bezochte langdurige zorginstellingen. Blauwe en groene vlakken impliceren respectievelijk zitmeubilair (tafels & stoelen) en kasten.

| Instelling 1 - Huiskamer  |     |                   | Instelling 2 – Huiskamer/Atrium  |     |                   |
|---|-----|-------------------|--|-----|-------------------|
|  |     |                   |  |     |                   |
| Ventilatiesysteem A   |     |                   | Ventilatiesysteem D  |     |                   |
| <b>Gebruiksoppervlakte</b>  | 46  | m <sup>2</sup>    | <b>Gebruiksoppervlakte</b>   | 57  | m <sup>2</sup>    |
| <b>Ruimte-inhoud</b>  | 114 | m <sup>3</sup>    | <b>Ruimte-inhoud</b>   | 285 | m <sup>3</sup>    |
| <b>Ontwerpbezetting (cliënten)</b>  | 8   | pers              | <b>Ontwerpbezetting (cliënten)</b>   | 12  | pers              |
| <b>Ontwerptoevoerdebiet</b>   | 0   | m <sup>3</sup> /h | <b>Ontwerptoevoerdebiet</b>  | 750 | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Ventilatievoud</b>   | 3,7 | n/h               | <b>Ventilatievoud</b>  | 2,3 | n/h               |

|  |   |
|--|---|
| <p>Huiskamer met keukenblok. Ramen, raamroosters en deur naar buitengedeelte (links) geven de mogelijkheid voor spuintilatie. De keuken bevat afzuigkap die tot maximaal 425 m<sup>3</sup>/h aan lucht kan afvoeren.</p> | <p>Huiskamer/atrium, staat in open verbinding met het ganggebied over de gehele verdieping. Toevoer van lucht geschiedt via luchtverdeelslang hangend aan het plafond. Afvoer geschiedt tevens links hoog in de ruimte via een enkel afzuigrozet. Er is sprake van constante toevoer en afvoer van lucht.</p> |
|--|---|

| Instelling 3 – Huiskamer   |      |                   | Instelling 3 – Dagbestedingsruimte   |     |                   |
|--|------|-------------------|--|-----|-------------------|
|    |      |                   |   |     |                   |
| Ventilatiesysteem D  |      |                   | Ventilatiesysteem D  |     |                   |
| <b>Gebruiksoppervlakte</b>   | 166  | m <sup>2</sup>    | <b>Gebruiksoppervlakte</b>   | 37  | m <sup>2</sup>    |
| <b>Ruimte-inhoud</b>   | 561  | m <sup>3</sup>    | <b>Ruimte-inhoud</b>   | 111 | m <sup>3</sup>    |
| <b>Ontwerpbezetting (cliënten)</b>   | 19   | pers              | <b>Ontwerpbezetting (cliënten)</b>   | 8   | pers              |
| <b>Ontwerptoevoerdebiet</b>  | 3750 | m <sup>3</sup> /h | <b>Ontwerptoevoerdebiet</b>  | 480 | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Ventilatievoud</b>  | 6,4  | n/h               | <b>Ventilatievoud</b>  | 4,3 | n/h               |
| <p>Huiskamer met aangrenzende keuken (linkerkant, niet afgebeeld). Toevoer geschiedt via lijnroosters in het verlaagde plafond en wordt afgevoerd via plenum door lijnroosters aan de andere zijde van de ruimte op het hoogste punt in het plafond. Er is sprake van constante toevoer en afvoer van lucht.</p> |      |                   | <p>Dagbestedingsruimte. Toevoer geschiedt via 2 wervelroosters en afvoer via 2 geperforeerde roosters in het systeemplafond. Er is sprake van constante toevoer en afvoer van lucht.</p> |     |                   |

## Instelling 4 – Reproruimte



### Ventilatiesysteem D

|                                    |      |                   |
|------------------------------------|------|-------------------|
| <b>Gebruiksoppervlakte</b>         | 128  | m <sup>2</sup>    |
| <b>Ruimte-inhoud</b>               | 366  | m <sup>3</sup>    |
| <b>Ontwerpbezetting (cliënten)</b> | 16   | pers              |
| <b>Ontwerptoevoerdebiet</b>        | 1422 | m <sup>3</sup> /h |
| <b>Ventilatievoud</b>              | 3,9  | n/h               |

Kantoorruimte met werkplekken. Staat via het baliegedeelte in open verbinding met de foyer van het gebouw.

Toevoer geschiedt via 6 geperforeerde en afvoer geschiedt via 5 flexibels in het plenum. Er is hier sprake van constante toe-en afvoer van lucht.

### 2.3.3. Analyse

#### *Kengetallen samengevat*

Tabel 7 en Tabel 8 tonen de belangrijkste kengetallen vergaard in de technische schouw van de ruimtes in de reeds bezochte locaties. Opgemerkt wordt dat dit een kleine steekproef betreft, dus hieruit kunnen geen conclusies voor de hele sector worden getrokken.

#### *Ruimte-eigenschappen*

Binnen de categorie huiskamers is er in deze steekproef een grote variatie in de groottes van ruimtes en het aantal cliënten dat zich in deze ruimte kan bevinden volgens de ontwerpbezettingen. Drie van de vier instellingen zijn gebouwd in dezelfde periode (2008/2009) en zijn daarmee onderhevig geweest aan Bouwbesluit 2003. Instelling 1 is gebouwd voor het eerste Bouwbesluit van 1992.

Tabel 7 Samenvatting van de belangrijkste ruimte-eigenschappen vergaard uit de technische schouw van de bezochte langdurige zorginstellingen. De eerste 3 rijen betreffen hetzelfde ruimtetype en zijn daarom groen gemarkeerd voor vergelijkingsgemak.

| Ruimte-eigenschappen pilotlocaties |                    |          |                                       |                                    |  |
|------------------------------------|--------------------|----------|---------------------------------------|------------------------------------|--|
| Instelling                         | Functie            | Bouwjaar | GO observatieruimte [m <sup>2</sup> ] | Ontwerpbezetting ruimte (cliënten) | Oppervlakte per cliënt [m <sup>2</sup> ] |
| 1                                  | Huiskamer          | 1991     | 46,1                                  | 8                                  | 5,8                                      |
| 2                                  | Huiskamer          | 2009     | 56,9                                  | 12                                 | 4,7                                      |
| 3                                  | Huiskamer          | 2009     | 166                                   | 19                                 | 8,7                                      |
| 3                                  | Activiteitenruimte | 2009     | 37                                    | 8                                  | 4,6                                      |
| 4                                  | Werkplek           | 2008     | 128                                   | 16                                 | 8,0                                      |



### Ventilatie

In alle locaties op instelling 1 na, is er sprake van ventilatiesysteem D. Instelling 1 is dan ook de pilotlocatie met het oudste bouwjaar. Verder verschillen de ventilatievouden aanzienlijk per instelling en geschouwde ruimte. Bij alle instellingen met ventilatiesysteem D is ontworpen met constante luchttoevoer. Inblaastemperaturen kunnen gevarieerd worden maar het luchtvolume kan niet geregeld worden per ruimte of per groep.

Tabel 8 Samenvatting van de belangrijkste ventilatiekengetallen vergaard uit de technische schouw van de bezochte langdurige zorginstellingen. De eerste 3 rijen betreffen hetzelfde ruimtetype en zijn daarom groen gemarkeerd voor vergelijkingsgemak.

| Ventilatiekengetallen pilotlocaties |                    |          |                    |  |  |                           |
|-------------------------------------|--------------------|----------|--------------------|--|--|---------------------------|
| Instelling                          | Functie            | Bouwjaar | Ventilatie-systeem | Ontwerpdebiet observatieruimte toevoer [m <sup>3</sup> /h] | Ontwerptoevoerdebiet per cliënt [m <sup>3</sup> /h/pp] | Ventilatievoud ruimte [n] |
| 1                                   | Huiskamer          | 1991     | A                  | n.v.t. <sup>8</sup>  | 0,0  | 3,7                       |
| 2                                   | Huiskamer          | 2009     | D                  | 750  | 62,5   | 2,3                       |
| 3                                   | Huiskamer          | 2009     | D                  | 3570   | 187,9  | 6,4                       |
| 3                                   | Activiteitenruimte | 2009     | D                  | 480  | 60,0   | 4,3                       |
| 4                                   | Werkplek           | 2008     | D                  | 1422   | 88,9   | 3,9                       |

### Inventaris

Met uitzondering op instelling 4 zijn de ruimtes vergelijkbaar ingericht. In het geval van een huiskamer (instelling 1,2 & 3) zijn er één of meerdere tafels opgesteld in het midden van de ruimte. Hier kunnen cliënten gezamenlijk eten, deelnemen aan verscheidene dagbestedingsactiviteiten of sociaal contact met mede-clieñten opzoeken. Aan de periferie van de ruimtes bevinden zich de keukenblokken, waar zorgmedewerkers werkzaamheden verrichten. In de andere uithoeken van de huiskamers zijn fauteuils, kasten en tv-meubels te vinden. De TV is alle geobserveerde gevallen goed zichtbaar vanaf de bovengenoemde centraal-opgestelde tafels. Hoewel het een andere functie betreft, zijn de bovenstaande dingen ook van toepassing op de activiteitenruimte van instelling 3.

De ruimte van instelling 4 is tot nu toe uniek in zijn functie en opzet. Er zouden vergelijkbare instellingen bezocht moeten worden om een nuttige vergelijking te kunnen maken.

<sup>8</sup> De afzuigkap in deze ruimte heeft een afvoervermogen van 425 m<sup>3</sup>/h. Het gebouw is niet expliciet ontworpen met ventilatiesysteem C maar hier kunnen de afzuigkap en de raamroosters in principe worden ingezet.

## 2.4. PvE (standaard)-gemeenschappelijke ruimte langdurige zorg

Op basis van de resultaten uit de voorgaande paragrafen kan een programma van eisen (PvE) opgesteld worden voor een mock-up ruimte gebaseerd op een theoretische gemeenschappelijke ruimte in de langdurige zorg. Bij het opstellen van dit programma van eisen is uitgegaan van een zwaar afdelingsverblijf met een cliëntenaantal van 8 (zie Tabel 1). De waardes in dit PvE zijn gekozen op basis van het literatuuronderzoek in paragraaf 2.2 en getoetst aan het voorlopige veldonderzoek beschreven in paragraaf 2.3. Tabel 9 geeft het programma van eisen voor deze mock-up weer.

Tabel 10 geeft een aantal setpoints die haalbaar moeten zijn voor het ventilatiesysteem van de mock-up binnen het opgegeven regelbereik in Tabel 9. Dit zijn (historische) minimale vereiste ventilatiedebieten voor verblijfsgebieden in de gezondheidszorg die volgen uit Bouwbesluiten 1992, 2003 en 2012. De verwachting is dat deze minimale ventilatie-eisen als uitgangspunten zijn genomen bij het ontwerp van veel langdurige zorginstellingen.

Tabel 9 Programma van Eisen voor een mock-upruimte gebaseerd op een theoretische gemeenschappelijke ruimte in de langdurige zorg voor 8 cliënten. Waardes zijn vastgesteld op basis van Bouwmaatstaven, Bouwbesluiten en preliminaire analyse van ruimtes uit een verwante veldstudie.

|   |                            |
|---|----------------------------|
| <b>Kenmerken</b>                          |                            |
| Type                                      | Afdelingsverblijf          |
| Aantal cliënten                           | 8                          |
| <b>Bouwkundige dimensies</b>              |                            |
| Minimale oppervlakte                      | 60 m <sup>2</sup>          |
| Minimale ruimtehoogte                     | 2,6 m                      |
| Minimale ruimte-inhoud                    | 156 m <sup>3</sup>         |
| <b>Ventilatie</b>                         |                            |
| Regelbereik ventilatiedebiet <sup>1</sup> | 0 – 1560 m <sup>3</sup> /h |
| Maximale luchtsnelheid toevoer            | 0,2 m/s                    |
| <b>Klimaat</b>                            |                            |
| Minimale temperatuur (winter)             | 22 °C                      |
| Maximale temperatuur (zomer)              | 25,5 °C                    |

1. Correspondeert met ventilatievoud 0 – 10 [n/h] bij minimale ruimte-inhoud

Tabel 10 Een aantal setpoints binnen het gegeven regelbereik voor ventilatiedebieten die instelbaar moeten zijn binnen de mock-up. De waardes zijn (historische minimale) ventilatie-eisen die zouden gelden in de praktijk voor een gelijksoortige ruimte in de langdurige zorg afhankelijk van bouwperiode.

| Bouwbesluit    | Functie   | Setpoint debiet [m <sup>3</sup> /h] | Ventilatievoud [n/h] |
|----------------|---|-------------------------------------|----------------------|
| 1992/2003/2012 | Verblijfsgebied   | 192                                 | 1,2                  |
| 2003           | Gezondheidszorgfunctie - 2 verblijfsgebied voor activiteiten die de binnenlucht verontreinigen (bezettingsgraadklasse B3) | 516                                 | 3,3                  |
| 2003           | Gezondheidszorgfunctie - 4 ander verblijfsgebied (bezettingsgraadklasse B3)   | 282                                 | 1,8                  |
| 2012           | Gezondheidszorgfunctie: b. ander verblijfsgebied  | 190                                 | 1,4                  |

Opgemerkt wordt dat niet alle gemeenschappelijke ruimtes van verschillende disciplines binnen de langdurige zorg zijn samen te vatten in één mock-upontwerp. Dit theoretische programma van eisen zou volgens de eisen uit de Bouwmaatstaven en Bouwbesluiten veel in de praktijk in Nederland te vinden moeten zijn. De steekproef gedaan bij het veldonderzoek wijst echter uit dat de ruimtes in de praktijk kleiner zijn dan voorgeschreven in de Bouwmaatstaven en een grotere luchtverversingscapaciteit hebben (hogere toevoerdebieten dan de minimale Bouwbesluiteisen). Daarom is de bovengrens van het regelbereik van het ventilatiedebiet ruim genomen (ventilatievoud 10), ruim boven het hoogste gemeten ventilatievoud van 6,4 uit het veldonderzoek bij instelling 3. Met deze hoge bovengrens wordt de flexibiliteit van de mock-up gewaarborgd.

## 3. LITERATUURONDERZOEK MEETMETHODES

### 3.1. Onderzoeksvragen

Een literatuuronderzoek is uitgevoerd om de volgende onderzoeksvragen uit hoofdstuk 1.2 te beantwoorden:

*2. Wat zijn robuuste indicatoren en meetmethodes om het vermogen van een ventilatie-installatie te testen om aerogene verspreiding van virussen en pathogenen te reduceren?*

*3. Welke parameters moeten worden vastgesteld om de indicatoren te kunnen bepalen en hoe kunnen deze worden gemeten?*

Ventilatie-installaties worden voor veel doeleinden ingezet en kunnen op veel parameters worden geëvalueerd. Vraag 2 heeft betrekking op het specificeren van de indicatoren en de desbetreffende meetmethoden die voor deze studie de meeste relevantie hebben. Vraag 3 heeft tot doel inzichtelijk te maken welke parameters het meest significant zijn voor de methoden en indicatoren uit vraag 2. De parameters die voor vraag 3 onderzocht worden zijn:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| <i>a) Temperatuur toegevoerde lucht</i>                             | (paragraaf 5.1.2) |
| <i>b) Interne lasten (warmtebronnen, koudebronnen, en koudeval)</i> | (paragraaf 5.2)   |
| <i>c) Beweging van mensen door de ruimte</i>                        | (paragraaf 5.3.1) |
| <i>d) Ademhaling (continu of pulsgewijs)</i>                        | (paragraaf 5.3.2) |
| <i>e) Objecten (deuren &amp; meubilair)</i>                         | (paragraaf 5.4)   |

### 3.2. Methodologie

Om bovenstaande vragen te beantwoorden is een scoping review uitgevoerd. Een scoping review houdt in dat het zoekproces zo breed mogelijk wordt gehouden. Deze vorm van literatuuronderzoek is geschikt voor onderzoek waarbij het onderwerp complex is, minder eenduidig of minder specifiek onderzocht.

Hierbij is in de online database Scopus (<https://www.scopus.com/>) gezocht naar wetenschappelijke publicaties door middel van zoekstrings. De zoektermen zijn in het Engels omdat dat het beste aansluit bij de beschikbare literatuur. Naast de scoping review zijn ook belangrijke handboeken op het gebied

van ventilatie geïnccludeerd in het literatuuronderzoek. Dit zijn:

- het REHVA<sup>9</sup> Guidebook – Ventilation effectiveness (Mundt et al., 2004),
- AIVC (Air Infiltration and Ventilation Centre) – A guide to Contaminant Removal Effectiveness (Brouns, 1991).

Ook zijn enkele publicaties door middel van de sneeuwbalmethode gevonden.

### 3.2.1. Scopingreview zoekstrings

De scoping review bestaat uit drie delen, waarbij voor ieder deel een zoekstring is gedefinieerd. De eerste zoekstring betreft een algemene review rondom het onderzoeksgebied en de overige twee gaan ieder dieper in op één van de twee onderzoeksvragen.

Voor onderstaande searchstrings zijn de boolean operators OR & AND gebruikt. Alle termen per punt zijn met een OR operator verbonden. Alle regels (achter een punt) zijn met een AND operator verbonden.<sup>10</sup>

#### Algemeen

- internal space, indoor environment, indoor climate
- ventilation, occupancy, lighting, temperature, humidity
- experimental research, experiment
- case study, mock-up, mockup, in-situ study
- viral exposure, infection risk, pathogen spread, airborne transmission, inhalation exposure
- aerosol, virus particles, pathogens

Hits: 244

Inclusie: 61

#### Onderzoeksvraag 2

- indoor, internal space

---

<sup>9</sup> Federation of European Heating, Ventilation, and Air Conditioning Associations. Voormalig: Representatives of European Heating and Ventilation Associations.

<sup>10</sup> Bijvoorbeeld voor de algemene searchstring is in scopus het volgende ingevoerd:

("internal space" OR "indoor environment" OR "indoor climate") AND (Ventilation OR occupancy OR lighting OR temperature OR humidity) AND ("experimental research" OR experiment) AND ("case study" OR "mock-up" OR mockup OR "in-situ study") AND ("viral exposure" OR "infection risk" OR "pathogen spread" OR "airborne transmission" OR "inhalation exposure") AND (aerosol OR "virus particles" OR pathogens)

- ventilation efficacy, ventilation evaluation, ventilation effectiveness, ventilation performance, contaminant removal efficacy, contaminant removal evaluation, contaminant removal effectiveness, contaminant removal performance, air change efficacy, air change evaluation, air change effectiveness, air change performance, air change rate removal efficacy, air change rate removal evaluation, air change rate removal effectiveness, air change rate removal performance, decontamination efficacy, decontamination evaluation, decontamination effectiveness, decontamination performance
- aerosol, virus particles, pathogens, contaminants, airborne particulate, airborne particles
- experimental research, experiment

Hits: 21

Inclusie: 11

#### Onderzoeksvraag 3

- experimental research, experiment
- indoor, internal space
- ventilation, airing, hvac, air conditioning
- internal gains, heating loads, cooling loads, thermal loads, movement, walking, travel, transport, perturbation, breath, breathing, inhale, exhale, inhalation, exhalation, cough, coughing, sneeze, sneezing, cold air, downdraft, falling air
- contaminant removal, air change rate, decontamination, pandemic prevention, infection prevention, disease control

Hits: 30

Inclusie: 9

Of de 'hits' (gevonden papers per zoekstring) worden geïncludeerd of geëxcludeerd is afhankelijk van hun relevantie voor de onderzoeksvragen. Deze besluiten zijn genomen voor soortgelijke redenen die samengevat zijn onder de inclusie- en exclusiecriteria.

#### *Inclusiecriteria*

De meest belangrijke onderwerpen om papers op te selecteren voor inclusie zijn:

- paper omschrijft een meetmethode, instrument, of indicator voor deeltjesmetingen of luchtstroommetingen,
- de studie onderzoekt de binnenklimaat van langdurige zorglocaties en hoe die wordt beïnvloed. Met name invloeden van interne lasten en mensen (ademhaling, beweging en als hittebron),

- de studie omschrijft bestaande langdurige zorglocaties,
- paper onderzoekt het gedrag van deeltjes of aerosolen in een binnenomgeving,
- paper omschrijft een methode voor het opstellen van mock-ups van kamerinterieurs.

#### *Exclusiecriteria*

Gevonden literatuur met de volgende criteria zijn geëxcludeerd:

- Paper heeft een focus op simulatie & computatie, bijvoorbeeld:<sup>11</sup>
  - CFD (Computational Fluid Dynamics),
  - Markov chains,
  - LES (Large Eddy Simulation),
- Studie over PMA (particulate matter analysis) of waarbij VOC's & SVOC's (Volatile Organic Compounds) worden onderzocht,
- Paper onderzoekt binnenklimaat met betrekking tot comfort en arbeidsproductiviteit,
- Paper gaat over FDM (Fused Deposition Modeling),
- Paper onderzoekt als parameters voornamelijk atmosferische omstandigheden of effecten van de weersomstandigheden op het binnenklimaat,
- Studie onderzoekt energieverbruik (van luchtbehandelingssystemen),
- Paper gaat hoofdzakelijk over luchtreiniging,
- Paper waarin het binnenklimaat van andere omgevingen dan verblijfsruimtes (zoals van voertuigen) wordt onderzocht,
- Leeftijdsspecifiek gerelateerd onderzoek (bijvoorbeeld gericht op baby, kind, of oudere).

In totaal zijn 81 papers bestudeerd voor het scoping review.<sup>12</sup> De bevindingen worden in onderstaande hoofdstukken omschreven.

---

<sup>11</sup> Als een experimentele validatie onderdeel is van een dergelijk paper die wel relevant is voor de onderzoeksvragen wordt de paper wel geïnccludeerd.

<sup>12</sup> Niet alle 81 papers zijn direct gerefereerd in deze literatuurstudie.

## 4. RESULTAAT INDICATOREN & MEETTECHNIEKEN

Om onderzoeksvraag 2 “*Wat zijn robuuste indicatoren en meetmethodes om het vermogen van een ventilatie-installatie te testen om aerogene verspreiding van virussen en pathogenen te reduceren?*” te beantwoorden worden eerst de relevante indicatoren voor de prestatie van een ventilatie-installatie besproken in paragraaf 4.1. Na een afweging, zal verder worden ingegaan op de meest relevante indicatoren in deel 4.1.1. In deel 4.3 zullen mogelijke methodes worden besproken om deze indicatoren te meten.

### 4.1. Overzicht indicatoren

#### 4.1.1. Ventilation effectiveness

Een veelvoorkomende term voor de kwantificering van de effectiviteit van een ventilatiesysteem is *ventilation effectiveness* (VE). Deze term is onder te verdelen in specifieke indicatoren die het vermogen van een ventilatiesysteem meten: (Mundt et al., 2004).

##### *Air Change Efficiency (ACE)*

ACE meet het vermogen de lucht in een ruimte te verversen.

##### *Contaminant Removal Effectiveness (CRE)*

CRE meet het vermogen verontreinigende deeltjes uit een ruimte te verwijderen.

Soortgelijke indicatoren als ACE en CRE kunnen worden berekend voor lokale punten binnen een ruimte, respectievelijk:

##### *Local Air Change Efficiency (LACE)*

##### *Local Air Quality Index (LAQI)*

Bovengenoemde VE indicatoren zullen verder worden besproken en omschreven in paragraaf 4.2.

#### 4.1.2. Verwante indicatoren

Naast de VE indicatoren bestaan andere indicatoren met (soort)gelijke definities. Vaak ligt het verschil erin dat ze op specifieke locaties worden gemeten. Voorbeelden hiervan zijn:



#### *Contaminant exposure index (CEI)*

De CEI wordt met een gelijke methode berekend als de LAQI, maar hierbij wordt specifiek de verhouding van deeltjes die door de blootgestelde persoon zijn ingeademd vergeleken met de deeltjes uitgedemd door een besmet persoon. (Aganovic & Cao, 2019) (W. Liu et al., 2021)

Aangezien de LAQI breder van toepassing is dan de CEI zal deze verder uitgewerkt worden in paragraaf 4.2. Maar de berekeningen die daar worden omschreven gelden ook voor de CEI indien de meting direct betrekking heeft op uitgedemde lucht tussen mensen.

#### *Intake fraction (IF)*

De intake fraction wordt gedefinieerd als de verhouding van deeltjes die door een blootgestelde persoon zijn ingeademd vergeleken met de deeltjes uitgedemd door een besmet persoon. Dit lijkt ook op de LAQI en CEI, maar het verschil is dat de IF wordt berekend door middel van een totale hoeveelheid deeltjes binnen een bepaalde tijd in plaats van een concentratie op een bepaalde tijd. (W. Liu et al., 2021) Hier zal verder niet op in worden gegaan aangezien soortgelijke informatie al simpeler kan worden weergegeven met de LAQI. Ook kan met de LAQI de verandering door de tijd heen duidelijker en gemakkelijker worden weergegeven.

#### *Cumulative exposure level (CEL)*

De CEL is de hoeveelheid deeltjes die worden gemeten op een bepaald punt over een bepaalde tijd. Het wordt berekend door integratie van de deeltjesconcentratie over de blootstellingsduur. (Ren et al., 2022) Deze index is relatief simpel en wordt gebruikt voor het berekenen van andere VE indicatoren. Aangezien deze indicator weinig informatie bevat zal die niet verder worden besproken in dit review.

#### *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. (R. A. A. L. Traversari et al., 2022) Dit concept is gerelateerd aan de nominale tijdsconstante, die wordt gebruikt in de berekening van de (L)ACE, die verder wordt omschreven in paragraaf 4.2.1.

#### *Ventilatie debieten*

Air change per hour (ACH), en ventilatie debieten worden vaak gebruikt als proxy indicator om het infectie-mitigatiepotentieel van luchtbehandelingssystemen te benaderen. De ACH is hiervoor echter erg simplistisch en gelimiteerd, vooral voor omgevingen waarin de lucht slecht gemengd is. (Pantelic & Tham, 2013)

#### 4.1.3. Luchtdistributiestromingen- en patronen

Gemeten luchtstromingen kunnen bijdragen aan een verklaring van gemeten indicatoren zoals de ACE. Alleenstaand kunnen ze een kwalitatief beeld schetsen van de ventilatie prestatie in een ruimte, maar gezien de complexiteit van zulke stromingen is voornamelijk alleen een statisch beeld mogelijk en is een gestandaardiseerde kwantificering moeilijk vast te stellen. Gezien het directe verband tussen ventilatie, luchtstromingen en de aerogene verspreiding van aerosolen, en gezien het sterke vermogen om andere ventilatie indicatoren te ondersteunen en te verklaren, zullen de mogelijkheden voor het meten en visualiseren van luchtstromingen in een ruimte verder worden onderzocht in paragraaf 4.3.2.

in de volgende paragraaf wordt uitgebreider ingegaan op de VE indicatoren (ACE, CRE, LACE en LAQ), aangezien ze op onderzoeksvraag 2 betrekking hebben, vaak als standaard worden gebruikt, en veel onderzoek naar het vermogen van ventilatie-installaties op deze indicatoren gebaseerd is.

## 4.2. Ventilation effectiveness

Zoals aangegeven in de vorige paragraaf, is VE in vier indicatoren te onderscheiden. Hiervan zijn twee indicatoren globaal (ACE, CRE), en twee lokaal (LACE, LAQI). Verder hebben twee indicatoren betrekking tot het vermogen van een ventilatiesysteem om de lucht in een ruimte te verversen (ACE, LACE), en de andere twee meten het vermogen van een ventilatiesysteem om verontreinigende deeltjes uit een ruimte te verwijderen (CRE, LAQI). Dit is in onderstaand tabel samengevat.

Tabel 11 Verhoudingen tussen ventilation effectiveness indicatoren

| Onderwerp                                | Globaal                                 | Lokaal                             |
|--|---|------------------------------------|
| Metten vermogen lucht verversing         | Air Change Efficiency (ACE)             | Local Air Change Efficiency (LACE) |
| Metten vermogen verwijderen van deeltjes | Contaminant Removal Effectiveness (CRE) | Local Air Quality Index (LAQI)     |

#### 4.2.1. Air Change Efficiency

De ACE is een maatstaf voor hoe effectief een ruimte wordt geventileerd. Belangrijk hierbij is dat het vermogen van een ventilatiesysteem om een ruimte te verversen niet hetzelfde is als de ventilatiedebiet binnen die ruimte. Zo kan een ruimte slecht geventileerd zijn met een hoog debiet als de schone lucht maar een klein deel van de ruimte bereikt (luchtstroomkortsluiting). De ACE kan dus ook worden omschreven als de effectiviteit van een ventilatiesysteem om elke locatie in een ruimte van schone lucht te voorzien, of hoe goed het de lucht in een ruimte mengt bij het ventileren. Om deze indicator te benaderen wordt gebruik gemaakt van het abstracte concept 'leeftijd van lucht'. Dit concept

omschrijft de theoretische gemiddelde tijd dat de lucht in een ruimte blijft, of hoe 'oud' de lucht is zodra hij de ruimte verlaat (bij de afvoer). Voor de ACE wordt dit vaak de nominale tijdsconstante  $\tau_n$ , of ook het ventilatievoud (Air Change per Hour - ACH) genoemd. Dit is te berekenen met:

$$\tau_n = \frac{V}{q_v}$$

Vergelijking 1

ofwel de verhouding tussen de volume van de ruimte  $V$ , en het debiet  $q_v$  (volume per tijdseenheid). Hiermee wordt de ACE gedefinieerd als:

$$ACE = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_r} \cdot 100\%$$

Vergelijking 2

$\bar{\tau}_r$  is de 'daadwerkelijke' tijd dat de lucht in de ruimte is geweest. Deze is sterk afhankelijk van de luchtstromingen en ventilatiestrategieën binnen een ruimte. Bijvoorbeeld, in een 'perfect' verdringend geventileerde ruimte, zoals in een zuiger of metrotunnel waarbij de lucht zich in een kolom egaal door de ruimte beweegt en nergens blijft hangen. Of in een ideaal gemengde ruimte is de daadwerkelijke tijd  $\bar{\tau}_r$  gelijk aan de nominale tijdsconstante  $\tau_n$ , waardoor ACE= 100%. (Mundt et al., 2004)

De ACE is bedoeld om in één getal de menging van de lucht in een ruimte samen te vatten, maar is minder geschikt om mogelijk grote lokale verschillen in luchtverversing in een ruimte, die bijvoorbeeld ontstaan bij luchtstroomkortsluitingen, weer te geven. De LACE (Local air change efficiency) richt zich hier op.

#### 4.2.2. Local Air Change Efficiency

Voor de LACE geldt hetzelfde als voor de ACE, behalve dat een *lokale* daadwerkelijke tijdsconstante  $\bar{\tau}_p$  wordt gebruikt. In een perfect gemengde ruimte zijn alle LACE waarden in een ruimte gelijk aan de ACE waarde. ACE kan ook worden benaderd door het gemiddelde van alle LACE waarden te nemen.

In de praktijk moeten  $\tau_n$ ,  $\bar{\tau}_r$  en  $\bar{\tau}_p$  worden gemeten. Hiervoor worden vaak deeltjesmetingen gebruikt. Aerosolen worden in de ruimte geëmitteerd totdat een bepaalde concentratie wordt bereikt en de lucht in de ruimte goed is gemengd. Hierna wordt de afname van de concentratie gemeten en kunnen  $\tau_n$ ,  $\bar{\tau}_r$  en  $\bar{\tau}_p$  worden berekend. De volledige methode wordt omschreven in (Mundt et al., 2004).

#### 4.2.3. Contaminant Removal Effectiveness

CRE, het vermogen om verontreinigende deeltjes uit de lucht te verwijderen, hangt nauw samen met de ACE. Verontreinigingen worden immers verwijderd door verontreinigde lucht met schone lucht te vervangen. Het verschil tussen CRE en ACE heeft dus te maken met een (vervuilings-)bron, en waar die zich binnen een ruimte bevindt. In een ruimte met perfecte menging en dus een evenredige concentratie (100% gemengde ruimte), hangt de CRE dus een op een samen met de ACE; de meetmethode is voor beide indicatoren ook gelijk. (Mundt et al., 2004) (Jurelionis et al., 2016a). Bij een onevenredige verdeling van de concentratie (waarbij de lucht niet volledig is gemengd) kan dus alleen de CRE berekend worden voor die specifieke opstelling (emitterlocatie). Als de emitter op een andere locatie staat, zijn de deeltjes anders door de ruimte verdeeld (bij niet-ideale menging), waardoor de CRE ook anders is. Voor iedere emitteropstelling wordt dan een andere CRE berekend.

CRE wordt gedefinieerd als:

$$CRE = \frac{c_e}{\langle c \rangle}$$

Vergelijking 3

Waarbij  $c_e$  de concentratie is van de vervuiling in de afvoerlucht, en  $\langle c \rangle$  de gemiddelde concentratie van de vervuiling in de ruimte (steady-state).

CRE is ook te definiëren als

$$CRE = \frac{\tau_n}{\tau_t^c}$$

Vergelijking 4

Waarbij  $\tau_n$  de nominale tijdsconstante of ACH is (zie Vergelijking 1), en  $\tau_t^c$  de afvoertijd van de vervuilende deeltjes is, ofwel de leeftijd van de vervuiling bij de uitlaat.

Vergelijking 3 gaat er vanuit dat de toegevoerde lucht geen verontreinigingen bevat. In de praktijk is dit zelden het geval. Om hiervoor te corrigeren moet van  $c_e$  en  $\langle c \rangle$  de concentratie van verontreinigende deeltjes van de toevoer  $c_i$  worden afgetrokken:

$$CRE = \frac{c_e - c_i}{\langle c \rangle - c_i}$$

Vergelijking 5

Zoals hiervoor aangegeven, heeft het verschil tussen de CRE en ACE te maken met de distributie van de vervuilende deeltjes in de lucht. Bij een perfect gemengde vervuiling kan de ACE worden berekend, maar bij onevenredige vervuiling wordt de CRE berekend.

Binnen de context van onderzoeksvraag 2 (het vermogen van een ventilatie-installatie testen om aerogene verspreiding van virussen en pathogenen te reduceren) is de locatie van de emissiebron erg van belang, en zal de nadruk dus meer liggen op de CRE dan op de ACE.

#### 4.2.4. Local Air Quality Index (LAQI)

Ook voor de Contaminant Removal Effectiveness bestaat een soortgelijke lokale index, de LAQI. Deze wordt gedefinieerd als

$$LAQ = \frac{c_e - c_i}{c_p - c_i}$$

Vergelijking 6

Waarbij  $c_e$  de steady state deeltjesconcentratie bij de afvoer is,  $c_p$  de concentratie is bij punt  $p$  in steady-state, en  $c_i$  de concentratie bij de toevoer is.

Bij ongemengde ruimtes kan de CRE benaderd worden door het gemiddelde van alle LAQI te nemen. (Mundt et al., 2004)

Binnen de context van P3Venti is de LAQI het meest belangrijk. De redenen hiervoor zijn dat:

- Het gaat om het verwijderen van aerogene pathogenen die op verschillende locaties in een ruimte geëmitteerd kunnen worden. Hierbij zijn de CRE en LAQI het meest relevant.
- naast het kwantificeren van de globale prestatie van de ventilatie-installatie (CRE), is het ook van belang om inzicht te krijgen in de onderliggende redenen dat het systeem zo presteert en wat mogelijke maatregelen kunnen zijn om blootstelling te verminderen. De LAQI biedt ruimtelijke informatie waarop dit soort afwegingen gebaseerd kunnen worden.

De andere indicatoren zijn van belang als bijvoorbeeld minder ruimtelijk detail nodig is (CRE), of een algemener beeld van de prestatie gewenst is, onafhankelijk van de emitterlocatie (ACE en LACE).

### 4.3. Meetmethoden

Deeltjesmetingen worden vaak gebruikt om de VE indicatoren te bepalen.

#### 4.3.1. Tracers & Deeltjesmetingen

Deeltjesmetingen door middel van deeltjestellers zijn een veelgebruikte methode om de luchtkwaliteit te meten in ventilatiesystemen en gebouwen. Deeltjes worden geëmitteerd door een emitter die op een

specifieke locatie in de ruimte geplaatst is. Vervolgens kan door het plaatsen van deeltjestellers in de ruimte op specifieke locaties de concentratie en grootteverdeling van deeltjes in de lucht worden gemeten. Hiermee kunnen alle deeltjesconcentraties voor de vergelijkingen uit paragraaf 4.2 direct gemeten worden om de VE indicatoren te bepalen.

Voor dit soort metingen kunnen verschillende soorten stoffen worden gebruikt. Over het algemeen valt dit in twee categorieën:

- deeltjes/ aerosolen,
- gassen.

#### *Deeltjes/ aerosolen*

Het emitteren van aerosolen heeft als voordeel dat het beter aansluit bij de werkelijke verspreiding van virusdeeltjes. Hierbij is het belangrijk dat de tracereigenschappen overeenkomen met de eigenschappen en het gedrag van de te simuleren deeltjes. Dit zijn voornamelijk de dichtheid, mate van verdamping en diameter. Naast diffusiegedrag, kunnen o.a. de afzetting (sedimentatie) en resuspensie van aerosolen van invloed zijn op de verspreiding van deeltjes door een ruimte. Afgezette (gesedimenteerde) aerosolen kunnen zich bijvoorbeeld ophopen in verborgen ruimtes en opnieuw als een reservoir van verontreinigende stoffen dienen die weer door hogere lichtsnelheden door de ruimte kunnen worden verspreid. Verschillende mechanismen dragen bij aan afzetting en resuspensie afhankelijk van de grootte van de betreffende deeltjes. Hierop wordt niet verder ingegaan, echter is het wel van belang om deze effecten te overwegen om bepaalde verschijnselen bij metingen van deeltjesconcentraties beter te begrijpen. Meer informatie over depositie en resuspensie is te vinden in (Shen et al., 2021), (Tang et al., 2020), (Wan et al., 2009) en (Horve et al., 2020).

De methode van emissie is ook van belang om menselijke ademhaling of ventilatieomstandigheden na te bootsen. Bijvoorbeeld bij niezen, hoesten, ademen, of bij lekkende leidingen of open ramen ontstaan sterk verschillende karakteristieken in luchtstromingen en deeltjesconcentraties.

Het nadeel van het emitteren van aerosolen is dat het vaak duurder en complexer kan zijn dan het emitteren van gassen aangezien speciale emitters nodig zijn en rekening gehouden moet worden met deeltjes die als residuen kunnen worden afgezet. Het verschonen van de lucht, of het afvoeren van afvalstoffen na afloop van het experiment is dus meer van belang.

Deeltjesemitters kunnen losse deeltjes of vernevelde vloeistoffen emitteren (W. Liu et al., 2021) Veel voorkomende voorbeelden hiervan zijn:

- Vernevelde paraffineoliën  
Dit type tracer bestaat uit kleine oliedruppels die worden verneveld in de ruimte. Het voordeel van deze tracers is dat ze onschadelijk zijn voor mensen onder normale omstandigheden (ATI, 2016), weinig residu achterlaten, relatief simpel te gebruiken zijn, en deeltjes genereren met een soortgelijke grootte als die vrijgegeven tijdens normale spraak en ademhaling (tussen de 0,2 en 5  $\mu\text{m}$ ). Belangrijk om hierbij op te merken is dat aerosolen gegenereerd door het vernevelen van oliën stabiel zijn dan aerosolen geproduceerd door mensen, omdat door hun inerte eigenschappen verdamping niet tot nauwelijks optreedt. Om dit na te bootsen wordt in meerdere studies water met glycerine (en zout) gemengd (Pantelic & Tham, 2013) (Wan et al., 2009) (Chen et al., 2013). Echter, aangezien het gedrag van aerosolen kleiner dan 5  $\mu\text{m}$  onafhankelijk is van hun grootte, kunnen ongemengde aerosolen op oliebasis representatief zijn voor deze kleinere deeltjesgroottes. (Traversari et al., 2022)
- Fluorescerende aerosol tracers  
Fluorescerende aerosoltracers zijn deeltjes die een fluorescerende kleurstof bevatten, waardoor ze kunnen worden opgespoord en gevolgd. Een voordeel van het gebruik van fluorescerende aerosoltracers is dat ze kunnen worden gedetecteerd bij lage concentraties.  
Een nadeel van het gebruik van fluorescerende aerosoltracers is dat ze over het algemeen duurder zijn dan andere soorten tracers. Ook moeten na gebruik de oppervlakken in de ruimte grondig worden schoongemaakt om de afgezette deeltjes te verwijderen. Dit maakt ze ongeschikt voor gebruik op locaties die nog in gebruik zijn. Om deze redenen is deze tracer ongeschikt voor onderzoek om onderzoeksvraag 2 te beantwoorden.
- Bioaerosol generatie  
Bij bioaerosol-generatie worden organismen zoals bacteriën of schimmels gebruikt als deeltjes. Dit kunnen bijvoorbeeld bacteriën zijn die in een vloeibare oplossing worden gekweekt en vervolgens in de lucht worden gebracht door middel van een aerosolgenerator. Vervolgens kunnen petrischalen door de ruimte verspreid worden opgesteld en de hoeveelheid bacterie-/schimmelkoloniën gemeten. (Z. Liu et al., 2021)  
Het gebruik van bioaerosolen als tracer biedt de mogelijkheid om het gedrag van echte biologische agentia, zoals virussen en bacteriën, te bestuderen en te meten. Bioaerosol generatie kan echter minder geschikt zijn voor metingen op locatie door mogelijke hygiëne- en gezondheidsrisico's die bij het vrijgeven van bacteriën of virussen kunnen ontstaan. Dit is vooral het geval in ruimtes die snel weer in gebruik genomen moeten worden.

### *Tracergassen*

Bij tracergas experimenten wordt een specifiek gas in een ruimte gebracht om bijvoorbeeld de ademhaling of luchttoevoer in een ruimte na te bootsen, waarvan vervolgens door detectoren de concentratie wordt gemeten. Belangrijk voor het gebruik van een gas als tracergas is dat het gas inert is en niet reageert met andere stoffen in de lucht, en makkelijk meetbaar is. Bij het emitteren van gasen wordt bijvoorbeeld vaak CO<sub>2</sub> als tracer gebruikt (Gilkeson et al., 2013), maar naast CO<sub>2</sub> bestaan ook andere tracergassen die regelmatig worden gebruikt:

- C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (Propaan)
- SF<sub>6</sub> (Zwavelhexafluoride)
- NaCl (Natriumchloride)
- N<sub>2</sub>O (Distikstofmonoxide) (Cermak & Melikov, 2007)

Het nadeel van tracergassen is dat gasen zich op een andere manier door de ruimte verspreiden dan (virus dragende) aerosolen: ze worden sterker beïnvloed door diffusieverschijnselen, vertonen geen afzetting- of resuspensieverschijnselen. Om deze reden is als methode ervoor gekozen aerosolen te emitteren; en van alle bovengenoemde tracerdeeltjes / aerosolen zijn de vernevelde paraffineoliën het meest toepasselijk om de VE binnen de context van onderzoeksvraag 2 te meten.

#### 4.3.2. Luchtstroommetingen

In programmalijn II van P3Venti zullen CFD experimenten (Computational Fluid Dynamics) worden uitgevoerd om de VE (Ventilation Effectiveness) indicatoren vanuit een breder perspectief te onderzoeken. Om de CFD modellen die hiervoor gebruikt worden te valideren moeten de luchtstromen in een ruimte experimenteel zo veel mogelijk in kaart worden gebracht om die met de CFD simulaties te kunnen vergelijken. Hiervoor kunnen luchtstromingsmeters, of anemometers, gebruikt worden.

##### *1D Luchtstromingsmeters*

De meest simpele en veelvoorkomende voorbeelden hiervan zijn:

- Mechanische luchtstromingsmeters  
Mechanische luchtstromingsmeters, zoals windmolens en schoepenraderen, meten de lucht (wind)snelheid door de beweging van de lucht om te zetten in een draaiende beweging van de rotor en die vervolgens om te zetten in een windsnelheid. Deze methode is vrij eenvoudig, goedkoop en betrouwbaar, maar heeft als nadeel dat het niet geschikt is voor lage windsnelheden en het bepalen van de luchtstromingsrichting.



- Thermische anemometers

Een thermische anemometer meet de lucht (wind)snelheid door middel van een verandering in temperatuur van een verwarmde draad of film die wordt blootgesteld aan de luchtstroming. Hoe hoger de snelheid, hoe meer warmte er wordt afgevoerd en hoe meer de temperatuur van de draad of film afneemt. De afname in temperatuur wordt gemeten en omgezet in een luchtsnelheid. (J. Li et al., 2015) (Tominaga & Blocken, 2016)

Ondanks dat bovengenoemde luchtsnelheidsmeters effectief kunnen zijn voor het meten van luchtstromingen, doen ze dit slechts in 1 dimensie, waardoor alleen de absolute snelheid bekend is, maar zonder informatie over de richting van de luchtstroom. Hiervoor zijn 3-dimensionale luchtsnelheden nodig waarbij de snelheid in drie richtingen wordt gemeten. Hierom moeten andere meetmethoden gevonden worden:

#### *3D Luchtstromingsmeters*

- Ultrasonische anemometers

De 3-dimensionale vector van een luchtstroming kan op een punt bepaald worden d.m.v. drie ultrasonische anemometers. Deze techniek maakt gebruik van de relaties tussen geluidssnelheid, relatieve vochtigheid en temperatuur. Door de geluidssnelheid in twee tegenovergestelde richtingen te meten tussen twee sets microfoons en luidsprekers, en de luchttemperatuur en relatieve vochtigheid lokaal vast te leggen, kan de snelheid van de luchtstroom in de as tussen de microfoons en luidsprekers bepaald worden. Door dit in drie assen te doen, kruisend op het te bemeten punt, kan daar de 3-dimensionale luchtsnelheidsvector bepaald worden. Een verder voordeel is dat het bemeten punt nergens mee in contact komt zoals bij een thermische anemometer en dus geheel onverstoord is door de apparatuur. Hierdoor wordt geen druk-, sensitiviteitsverlies, of contaminatie gegarandeerd. Ook is een hoog temperatuurbereik een groot voordeel. (Van Schaik et al., 2010)

Door op veel punten in de ruimte te meten, kan door interpolatie een visueel beeld van de luchtstromingen in die ruimte gegenereerd worden. De resolutie hangt hiervan af van het aantal meetpunten, maar is ordegrottes kleiner dan bij de PIV-methode die hieronder besproken wordt.

- Particle Image Velocimetry (PIV)

Tracerdeeltjes worden geëmitteerd en belicht door een stroboscoop-laser die in 2D 'plakken' de ruimte in schijnt. De belichte deeltjes worden gefotografeerd in synchronisatie met de frequentie van de laser om daarmee hun positie te bepalen. Een 'tracking' algoritme wordt toegepast om de baan van de individuele deeltjes tussen elke foto te berekenen. Hiermee kunnen de luchtstromen in 2D worden weergegeven. Door dit in drie assen toe te passen,

kunnen de 3D luchtstromen van een ruimte worden berekend (splicing) (J. Li et al., 2015) (Pantelic & Tham, 2013) (Motamedi et al., 2022). (Fu et al., 2015) geeft een uitgebreid overzicht van mogelijke apparatuur.

PIV is geschikt voor het meten van de globale verdeling van luchtstromen in kleine binnenruimtes. Voor grotere ruimtes is het lastiger door de vele metingen die uitgevoerd moeten worden. Ook groeien de rekenkosten voor de tracking algoritmes exponentieel met de hoeveelheid metingen. Een voordeel van PIV is dat de meting bestaat uit het nemen van foto's. Zo krijg je bij een kwantitatieve meting ook gelijk een kwalitatief, visueel beeld, voordat de data hoeft te worden geanalyseerd.

- Visualisatie d.m.v. rook

Een rookpluim wordt door bestaande luchtstromen meegevoerd, waardoor de stromingen visueel zichtbaar worden (Saarinen et al., 2018). Deze techniek wordt toegepast als visuele validatie zonder kwantitatieve resultaten, tenzij de rookdeeltjes worden gemeten. In dat geval zou het een deeltjes- of PIV meting zijn.

Aangezien deze methode geen kwantificering van luchtstromingen oplevert kan hij onderzoeksvraag 2 niet beantwoorden. Wel biedt het een eenvoudige en intuïtieve visualisatie van luchtstromingen aan die het antwoord kan onderbouwen.

3D ultrasone anemometrie en PIV kunnen beide toepasselijk zijn voor onderzoeksvraag 2. Echter, in vergelijking met 3D ultrasone anemometers zijn PIV metingen complexer uit te voeren. Om de geëmitteerde deeltjes goed te kunnen fotograferen moeten de deeltjes een bepaalde minimale afmeting hebben en moet de ruimte verduisterd zijn. Ook is het verdelen van de ruimte in 2D plakken complexer dan het verdelen van meetpunten door de ruimte.

Aangezien er binnen de context van onderzoeksvraag 2 gemeten zal worden op locaties die snel weer in gebruik genomen moeten worden, wordt aangeraden om de complexiteit zo klein mogelijk te houden en de luchtstromen in kaart te brengen door middel van 3D ultrasone metingen. Indien er behoefte is aan hoge resolutie visualisaties van de luchtstromen kan rook hiervoor worden gebruikt.

## 5. RESULTAAT PARAMETERS & OPERATIONELE OMSTANDIGHEDEN

Dit hoofdstuk zal de literatuur bespreken die gevonden is om onderzoeksvraag 3<sup>13</sup> te beantwoorden. Hierbij vallen onder *ventilation effectiveness* (VE) studies zowel *mock-up* als *in-situ* studies. De vraag of de indicatoren aan te raden zijn om te includeren wordt dus voor beide type studie beantwoord. Allereerst zal in paragraaf 5.1 een overzicht worden gegeven van de belangrijkste operationele omstandigheden die de ventilatie in een ruimte kunnen beïnvloeden. Daarna zullen de parameters 3. a) - e) besproken worden in paragrafen 5.2 tot 5.4.

Voor iedere deelvraag wordt een parameter/onderwerp besproken in een eigen paragraaf. Hierbij zal per paragraaf de volgende structuur aangehouden worden:

- Als eerste wordt een overzicht gegeven van wat met de parameter bedoelt wordt en wat de mogelijke invloeden ervan zijn op de VE indicatoren;
- Vervolgens worden de praktische aspecten afgewogen van het meten van de parameter in een *in-situ* experiment: is het praktisch haalbaar en wat is de beste aanpak? Als conclusie kan bij deze afweging worden aangeraden om:
  - de parameter volledig te includeren door deze tussen metingen te variëren om het effect ervan op de VE indicatoren te onderzoeken;
  - het als operationele omstandigheid te includeren door deze bij elke meting te meten, maar het niet actief te variëren of beïnvloeden;
  - deze niet te variëren of te meten;
- Hetzelfde wordt voor *mock-up* experimenten afgewogen.

---

<sup>13</sup> Welke parameters moeten worden vastgesteld om de indicatoren te kunnen bepalen en hoe kunnen deze worden gemeten?

- a) Temperatuur toegevoerde lucht
- b) Interne lasten (warmtebronnen, koudebronnen, en koudeval)
- c) Beweging van mensen door de ruimte
- d) Ademhaling (continu of pulsgewijs)
- e) Objecten (deuren & meubilair)

## 5.1. Operationele omstandigheden.

### 5.1.1. Ventilatietypen & luchtmenging

Het is van belang voor het testen van de prestatie van een ventilatie-installatie te begrijpen *wat voor* installatie het is en welke aspecten hier invloed op hebben. Elke instelling benoemd in hoofdstuk 2 maakt gebruik van een *mengend* systeem (*turbulent mixing*). Bij mengende ventilatie wordt de toegevoerde schone lucht zo veel mogelijk verspreid door de ruimte. Hiervoor worden vaak wervelroosters gebruikt. De bedoeling is om zo gelijkmatig mogelijk gemengde lucht in de ruimte te bereiken.

Onder bepaalde omstandigheden kan het slecht mengen van de lucht in een ruimte mensen blootstellen aan 5-6 keer zoveel aerosolen als in een ruimte met goed-gemengde lucht (Singer et al., 2022). Dit kan komen door bijvoorbeeld de ophoping van uitgedemde deeltjes rond personen in een gesprek. Slecht gemengde lucht kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld temperatuurstratificatie, waarbij de warme lucht boven koude lucht 'gestapeld' ligt en zich dus weinig mengt, of 'kortsluitingen' in de ventilatie, waarbij de toevoerlucht direct naar de afvoer wordt gezogen zonder de rest van de ruimte te bereiken.

Dit is anders dan bijvoorbeeld verdringingsventilatie (*displacement ventilation/ DV*), waarbij de lucht zodanig toegevoerd wordt dat menging zo veel mogelijk is vermeden. Dit wordt bereikt door bijvoorbeeld koudere lucht op vloerniveau in te blazen die de bovenliggende warmere lucht naar de afvoer erboven verdringt. Hierbij wordt temperatuurstratificatie vaak bewust in stand gehouden.

Naast mengende ventilatie en verdringingsventilatie bestaan ook andere types:

- Uni-directionele luchtstroming (UDF)
- Gepersonaliseerde ventilatie

Deze ventilatietypes hebben hele specifieke toepassingen en komen in langdurige zorginstellingen niet voor, dus zullen ze niet verder besproken worden. Voor meer informatie geven (Sadrizadeh et al., 2021) en (Ferrari et al., 2022) een uitgebreid overzicht van ventilatietypes.

Aangezien het grote merendeel van instellingen in deze context alleen mengende ventilatie gebruikt, zoals aangegeven in hoofdstuk 2, zal de beoordeling van de omstandigheden en parameters in dit hoofdstuk uitgaan van ruimtes met mengende ventilatiesystemen. Het wordt ook niet aangeraden om bij een mock-up experiment het ventilatietype als parameter te includeren (bij in-situ metingen is het

onpraktisch een ander systeem te testen dan wat aanwezig is in het gebouw). Naast een mengend systeem hoeft dus geen ander soort systeem gebruikt te worden.

#### 5.1.2. Temperatuur toegevoerde lucht

De temperatuur van de toevoerlucht heeft invloed op de luchtstroming in de ruimte. In (Jurelionis et al., 2016b) wordt aangetoond dat het verhogen van de temperatuur van de toevoerlucht (van 20 naar 25 °C) een effect heeft op de ingeademde deeltjesconcentratie (ofwel de LAQI bij de mond), vooral met een lagere luchtsnelheid en impuls (veel toevoeropeningen). Dit effect kan oplopen tot een toename van 50%. Ook in (Ren et al., 2022) wordt aangegeven dat temperatuurverschillen de robuustheid van ventilatiesystemen significant beïnvloeden.

##### *In-situ*

Wanneer mogelijk is het aan te raden om de temperatuur van de toevoerlucht als parameter te includeren en tussen metingen te variëren. Afhankelijk van het ventilatiesysteem op locatie en de tijdsdruk is dit echter niet altijd mogelijk. Zo niet, is het aan te raden om de inblaastemperatuur te includeren als operationele omstandigheid in plaats van deze als parameter te variëren. In afweging met andere mogelijke parameters heeft het een middelhoge prioriteit.

##### *Mock-up*

Voor een mock-up studie is het aan te raden om dit als parameter volledig te includeren met hoge prioriteit. Het ventilatiesysteem van de mock-up opstelling moet hiervoor een nauwkeurig afstelbare inblaastemperatuur hebben.

## **5.2. Interne lasten**

### 5.2.1. Interne warmtebronnen

Interne warmtebronnen zoals mensen of apparatuur verwarmen de lucht, waardoor temperatuurverschillen (buoyancy) luchtstromingen kunnen aandrijven. Deze luchtstromingen kunnen van invloed zijn op de ventilation effectiveness (VE) indicatoren (Gan, 2000). Dit effect is afhankelijk van veel factoren, waaronder ventilatietype en de ruimtelijke indeling van de ruimte (toe- en afvoerroosters, bezetting, afmetingen etc.). Zo heeft (Feng et al., 2021) bijvoorbeeld aangetoond dat de warmte gegenereerd door mensen een significant effect heeft op de hersteltijd van temperatuurstratificatie in een ruimte nadat deze is verstoord (door bijvoorbeeld beweging). In (Shan & Rim, 2018) wordt daarentegen aangetoond dat de opstelling van warmtebronnen in een ruimte een

marginaal effect heeft op de luchtverdeling bij verdringingsventilatie. Warmtebronnen hebben dus invloed op de luchtstromingen en VE indicatoren, maar de precieze opstelling is minder van belang.

Het is aangeraden warmtebronnen van 80-120 W te gebruiken gezien die ofwel mensen, ofwel andere veelvoorkomende warmtebronnen worden gesimuleerd. (Ren et al., 2022) (Deng et al., 2021) De warmteafvoer van mensen (80 watt per rustend persoon) is immers vergelijkbaar met het vermogen van veel huiskamerapparatuur zoals tv's (50–150 W).

De warmteproductie van mensen experimenteel simuleren kan doormiddel van personen of verwarmingselementen (zoals radiatoren, gloeilampen of thermisch actieve mannequins). Bij het gebruik van personen als warmtebron in een experiment is de warmteproductie realistisch, maar is het precieze vermogen moeilijk te achterhalen, en inconsistent tussen experimenten. Hierom wordt aangeraden om controleerbare verwarmingselementen te gebruiken, ook aangezien de reproduceerbaarheid en nauwkeurigheid van parameters voor VE onderzoeken van belang is.

Voor de thermische simulatie van mensen d.m.v. verwarmingselementen is het belangrijk dat de 'thermische pluim' op die van een mens lijkt. Een thermische pluim is een opstijgende luchtstroom die wordt veroorzaakt door een warmtebron, zoals een persoon of een apparaat. De belangrijkste factoren hiervoor zijn het vermogen en het oppervlak waarover dit wordt uitgestraald (en daarmee de oppervlaktetemperatuur) overeenkomen met die van mensen. Hierom is het aangeraden om een (thermisch geactiveerde) mannequin met realistische afmetingen te gebruiken, maar bijvoorbeeld gloeilampen van 80 – 120 W in kartonnen dozen met afmetingen en een oppervlak die overeenkomen met een gemiddeld persoon bieden een alternatief (R. Traversari & Bezemer, 2020).

Om een mannequin thermisch te activeren zijn in de onderzochte studies de volgende technieken toegepast:

- Ingebouwd thermische activering (per lichaamsdeel of als geheel) (W. Li et al., 2021) (Aganovic & Cao, 2019);
- Het wikkelen in verwarmend ijzerdraad (Seepana & Lai, 2012) of nikkel-Chroom (380V) in het geval van (J. Li et al., 2015) en (Seepana & Lai, 2012).

#### *In-situ*

In langdurige zorginstellingen zijn vaak meer dan 8 personen aanwezig in een huiskamer, die samen een significante warmteproductie genereren. Het plaatsen van warmtebronnen in een langdurige zorginstelling is relatief eenvoudig waardoor het aan te raden is om warmtebronnen als parameter te variëren in een in-situ experiment naar de VE. In afweging met andere mogelijke parameters heeft het

een middelhoge prioriteit. Indien binnen het meetplan de tijd te gelimiteerd is om variërend met en zonder warmtebron te meten, is het aan te raden om met warmtebronnen 'aan' te meten om zo de mogelijke effecten van de relatief hoge bezettingsgraad van veel ruimtes in de langdurige zorginstellingen te simuleren.

#### *Mock-up*

Voor een mock-up experiment is het aan te raden om warmtebronnen als parameter volledig te includeren met middelhoge prioriteit.

#### 5.2.2. Koudebronnen & koudeval

Bij koude oppervlakken treed een soortgelijk fenomeen op als bij warmtebronnen. Koude oppervlakken koelen de lucht af, waardoor de koude lucht daalt door een groter soortelijk gewicht. In een ruimte treedt dit vaak op bij koelssystemen, roosters boven ramen, en koude oppervlakken, zoals vooral ramen (koudeval). Deze koude lucht 'valt' van de ramen en veroorzaakt een vaak merkbare koude luchtstroom (tocht) over de vloer en nabij het raam. (Shan & Rim, 2018) en (Schiavon et al., 2011) tonen bijvoorbeeld dat passieve koelconvectoren (passive chilled beams) de menging in een ruimte met verdringingsventilatie kan bevorderen en daarbij de air change efficiency kan verhogen. Met de zoekstrings benoemd in hoofdstuk 3 zijn echter geen papers gevonden die direct koudeval (bij ramen) onderzochten, gezien de grote verschillen tussen de binnen- en buitentemperatuur in de winter vergeleken met koelconvectoren, is bovenstaande een aanduiding dat koudeval significant de VE kan beïnvloeden.

#### *In-situ*

Aangezien koudeval bij ramen sterk afhankelijk is van de buitentemperatuur is het moeilijk dit als parameter gecontroleerd te variëren tussen metingen op een zorglocatie. Dit zou met bijvoorbeeld een gekoeld oppervlak wel kunnen, maar hier is omvangrijke apparatuur voor nodig. Om deze redenen is het niet aangeraden koudeval als volledig parameter te includeren in een in-situ experiment. Wel is het aan te raden de wand- en raamtemperaturen te meten tijdens de deeltjesmetingen om als experimentele randvoorwaarde mee te nemen.

#### *Mock-up*

In een mock-up experiment is het aangeraden om koudeval volledig als parameter te includeren. Het is namelijk eenvoudiger om koudeval te simuleren i.v.m. minder praktische beperkingen rondom tijd en apparatuur. Het heeft hierbij een middelhoge prioriteit in afweging met andere mogelijke parameters.

## 5.3. Menselijke Beweging & ademhaling

### 5.3.1. Voortbeweging

Beweging van personen heeft een direct effect op de luchtstromingen in een ruimte. Uit (Ren et al., 2022) is bijvoorbeeld gebleken dat lopende mensen in een ruimte significant bij kunnen dragen aan re-suspensie en diffusie van deeltjes, en ze met zich mee kunnen nemen om zo lokaal de deeltjesconcentratie en bijbehorende LAQI te verhogen. Wel bleek dat de afstand tussen de deeltjestellers en de bewegende personen, alsook de looproute tot sterk verschillende resultaten leidden. Zo kon de blootstelling aan deeltjes verdubbeld worden bij een looproute vlak langs de emitter en deeltjesteller, maar een route verder verwijderd van beide kon een verlagend effect hebben. Verder geeft (Feng et al., 2021) aan dat voortbewegende mensen door een ruimte een effect kunnen hebben op de temperatuurstratificatie in een ruimte geventileerd met verdrijvingsventilatie, maar vooral geconcentreerd rond de persoon, en niet door de hele ruimte. Ook het binnentreden of verlaten van een ruimte heeft een groot effect<sup>14</sup>.

#### *In-situ*

Beweging volledig als parameter te includeren in een in-situ experiment is onpraktisch. De metingen moeten onderling vergelijkbaar zijn (tussen locaties) om zinvolle resultaten te krijgen. Gezien de vele verschillen in ruimtelijke indeling, de korte periode van toegang tot de ruimte en de mogelijke onverwachte omstandigheden in langdurige zorglocaties, is het moeilijk om vergelijkbare looproutes uit te zetten voor alle metingen. Om deze reden is het aangeraden beweging niet te includeren in in-situ experimenten.

#### *Mock-up*

In een mock-up omgeving zijn de looproutes nauwkeurig te herhalen tussen metingen en is het aangeraden om beweging volledig te includeren als parameter. Het heeft hierbij een hoge prioriteit in afweging met andere mogelijke parameters.

### 5.3.2. Ademhaling

Uit de scoping review is geen literatuur gevonden die direct antwoord geeft op de vraag of ademhaling bijdraagt aan de VE indicatoren. Wel is een beperkte hoeveelheid studies gevonden met onderwerpen gerelateerd aan de uitademing en verspreiding van aerosolen. Zo draagt bijvoorbeeld volgens (Eilts et al., 2021) ademhaling significant bij aan de afzetting van aerosolen (van 1-3  $\mu\text{m}$ ) binnen een straal van 2 m. Deze studies geven aan dat ademhaling mogelijk de luchtstromen genoeg zou kunnen beïnvloeden om een effect te kunnen hebben op de VE, maar er kan verder geen concrete uitspraak over worden gedaan.

---

<sup>14</sup> Dit wordt in hoofdstuk 5.4.3 verder besproken.



In de context van de onderzoeksvragen en de langdurige zorg is de invloed van ademhaling op luchtstromen in de ruimte mogelijk minder van belang. Gezien het lage activiteitsniveau van de meeste bewoners van langdurige zorginstellingen wordt verwacht dat hun ademhalingsdebiet relatief laag zal zijn en dus minder invloed heeft op de VE.

#### *In-situ & mock-up*

Het is praktisch mogelijk om ademhaling als parameter te variëren tussen metingen tijdens in-situ experimenten d.m.v. bijvoorbeeld ademende mannequins (Ai et al., 2019) of losse ventilatoren. Het is dus aan te raden om het te includeren, maar met lage prioriteit. Dit geldt voor zowel *in-situ* als *mock-up* experimenten.

## **5.4.Objecten**

### 5.4.1. Meubilair

De lucht in een ruimte stroomt om objecten heen zoals meubilair, aanrechten of schermen die zich in een ruimte bevinden. Deze objecten hebben dus een direct effect op de luchtstromen en menging in de ruimte. In (Zhuang et al., 2014) wordt aangetoond dat de opstelling van meubilair de LAQI met 80% kan verhogen gemeten in de ademhalingszone en bij een mengend systeem. Bij een verdringend systeem kan dit nog hoger zijn. In (Lau & Chen, 2007) is aangetoond dat de opstelling van meubilair de CRE met 8% kan verhogen of verlagen. Dit marginale effect heeft te maken met dat in die studie het meubilair niet in de directe luchtstroom van de toevoerroosters lag. Als dit wel het geval was, zou het effect groter kunnen zijn. Bovenstaande studies geven aan dat meubilair lokaal significant kan bijdragen aan de VE, en globaal ook indien het meubilair in de toevoerluchtstroom ligt.

#### *In-situ*

Gezien de hoge potentiële invloed van meubelopstellingen op lokale VE indicatoren is het aan te raden om bij een in-situ experiment de meubelopstelling te variëren tussen metingen, (of met en zonder meubels te meten). Dit heeft een middel-lage prioriteit. Voor het geval het meubilair dichtbij de toe- of afvoerroosters staat is deze prioriteit hoger. Indien er niet tussen metingen van meubel opstelling veranderd kan worden is het aan te raden het experiment uit te voeren met het meubilair zoals dat in gebruik is opgesteld, om zo representatieve stromingen te meten.

#### *Mock-up*

Voor *mock-up* experimenten is het ook aan te raden de meubelopstelling te variëren tussen metingen met middel-lage prioriteit.

#### 5.4.2. Schermen

Er zijn ook onderzoeken gevonden naar de invloeden van schermen. Aangezien schermen een groter blokkerend vermogen hebben dan meubilair, vooral als ze ervoor zijn bedoeld zoals het geval is bij veel studies naar aanleiding van de SARS-CoV-2 pandemie, kunnen de bevindingen over schermen als bovengrens van de potentiële impact van meubilair dienen.

Schermen kunnen effectief zijn in het blokkeren van luchtstromen. Ze leiden de luchtstromen daarbij ergens anders heen om te voorkomen dat mensen elkaars uitgeademde lucht inademen. Een scherm tussen twee mensen die tegenover elkaar aan tafel zitten kan de uitgeademde lucht blokkeren, maar daarbij kan die lucht ook naar een derde persoon stromen die naast de bron zit. Zo kunnen schermen de lokale luchtkwaliteit sterk verbeteren, maar ook onder specifieke omstandigheden de luchtkwaliteit op een locatie verminderen. (W. Li et al., 2022) (Shen et al., 2021)

Uit bovenstaande studies blijkt dat schermen een sterke invloed kunnen hebben op lokale luchtstromingen, dus de LACE en LAQI, maar het effect is vaak moeilijk te voorspellen en sterk afhankelijk van veel factoren zoals schermopstelling, ruimtelijke indeling en ventilatiestrategie. Hierdoor zal het gebruik van schermen in een deeltjesmeting tot heel specifieke resultaten leiden die niet goed breder toepasbaar zijn over meerdere zorginstellingen.

#### *In-situ & mock-up*

Om een breed toepasbaar beeld van de effecten van schermen te onderbouwen is een uitgebreid onderzoek nodig dat zich hierop focust. Aangezien het gebruik van schermen als transmissie-mitigatietechniek veel gebruikt is tijdens de SARS-CoV-2 pandemie zijn er al relatief veel studies die de effectiviteit hiervan onderzoeken. Het is dus niet nodig om binnen P3Venti hierop te focussen en wordt aangeraden om schermen als parameter niet te includeren.

#### 5.4.3. Deuren

Meerdere studies hebben aangetoond dat het openen of het open houden van deuren een significant effect kan hebben op de menging, de deeltjesconcentratie en dus de VE in ruimtes. Hierbij spelen meerdere aspecten een rol, waaronder het type deur.

Met scharnierende deuren ontstaat bijvoorbeeld een 'door swing pumping effect' die luchtwisseling bevordert vergeleken met een schuifdeur, maar dit verschil is alleen van belang als de deur regelmatig geopend en gesloten wordt. Analyses hebben ook aangetoond dat luchtstromen gedreven door temperatuurverschillen (drijfkrachten) de luchtwisseling door een deuropening domineren nadat de deur enkele seconden open heeft gestaan. (Sadrizadeh et al., 2021)

Ook wordt aangetoond dat mensen die zich door een deur bewegen verontreinigingen in de lucht de ruimte in kunnen brengen (Shao et al., 2020). Zelfs in zeer gecontroleerde omgevingen zoals

operatiekamers verstoort het openen en sluiten van deuren de binnen omgeving. Bijvoorbeeld in (Saarinen et al., 2018), (Sadrizadeh et al., 2021) en (Shen et al., 2021) wordt o.a. aan de hand van een literatuuronderzoek een statistische correlatie aangetoond tussen het openen van deuren en verhoogde contaminatie in operatiekamers, ongeacht het ventilatietype.

### *In-situ*

Ondanks bovengenoemde sterke effecten wordt niet aanbevolen om het openen en sluiten of het open houden van deuren te includeren in *in-situ* VE experimenten in de langdurige zorg. Dit heeft praktische redenen die los staan van de opzet en parameters van het experiment zelf:

- Deuren worden dichtgehouden om het verspreiden van geëmitteerde aerosolen door de rest van het gebouw te vermijden. Ondanks dat ze niet schadelijk zijn, dient neerslag op andere plaatsen zoveel mogelijk voorkomen te worden. Ook kunnen aerosolen zoals vernevelde paraffineoliën een geur hebben. Als deze zich door een gebouw verspreid kan deze een mogelijke afleiding zijn voor jongere bewoners of bewoners met een verstandelijke beperking.
- Een gesloten deur helpt om de metingen ongestoord te laten verlopen. Zo is het duidelijk voor het personeel en vooral de eerder genoemde bewoners dat ze de ruimte niet mogen betreden.

### *Mock-up*

In gecontroleerde mock-up omgevingen is het beter mogelijk dit te onderzoeken, dus wordt aanbevolen om deurbeweging volledig te includeren met een middelhoge prioriteit.

## **5.5.Luchtreiniging & filtratie**

Luchtreiniging en filtratie kunnen sterk bijdragen aan het verminderen van de concentratie van (besmettelijke) deeltjes in een ruimte. Hier zijn ultraviolette bestraling (UV-C)<sup>15</sup> (Bueno de Mesquita et al., 2022) en High Efficiency Particulate Air (HEPA) filters (Shen et al., 2021) voorbeelden van. Zo kan een HEPA filter 99.97% van deeltjes >0.3 µm verwijderen (ANSI/ASHRAE, 2017).<sup>16</sup> Dit onderzoek richt zich op ventilatie, en zal luchtreiniging en ventilatie niet als parameters meenemen. Voor meer informatie geeft (Kompatscher & Traversari, 2022) een uitgebreid overzicht van luchtreinigingsmethoden voor inactivatie van microbiologische verontreinigingen.

## **5.6.Overzicht**

---

<sup>15</sup> Dit is sterk afhankelijk is van het type besmettelijk deeltje (virus, schimmel of bacterie) hoe sterk je UVC bron moet zijn en hoe lang het eraan blootgesteld wordt. (Vermeulen & Bartels, 2022)

<sup>16</sup> Deze waardes hebben betrekking op de MPPS (most penetrated particle size), ofwel de deeltjes die het slechtst worden gevangen door de filter. Deeltjes van andere groottes worden nog beter gefilterd.

Tabel 12 geeft een overzicht van de aanbevelingen over of- en in hoeverre parameters geïnccludeerd moeten worden in VE experimenten die besproken zijn in hoofdstuk 5. Als het niet mogelijk blijkt om een parameter volledig te includeren/te controleren, maar dat wel is aangegeven in onderstaand tabel, dan is het aangeraden het daarvoor in de plaats als operationele omstandigheid te meten. Zo is in elk geval bekend onder welke randvoorwaarden het onderzoek heeft plaatsgevonden met betrekking tot die parameter.

Tabel 12 Overzicht advies inclusie parameters in VE metingen

| Onderwerp/parameter           | Aan te raden inclusie in in-situ meting |             | Aan te raden inclusie in mock-up meting |             |
|-------------------------------|---|-------------|---|-------------|
|                               | Mate                                    | Prioriteit  | Mate                                    | Prioriteit  |
| Ventilatietype                | Niet                                    | Geen        | Niet                                    | Geen        |
| Temperatuur toegevoerde lucht | Volledig includeren                     | Middelhoog  | Volledig includeren                     | Middelhoog  |
| Warmtebronnen                 | Volledig includeren                     | Middelhoog  | Volledig includeren                     | Middelhoog  |
| Koudeval                      | Metten als operationele omstandigheid   | Hoog        | Volledig includeren                     | Hoog        |
| Menselijke voortbeweging      | Niet                                    | Geen        | Volledig includeren                     | Hoog        |
| Ademhaling                    | Volledig includeren                     | Laag        | Volledig includeren                     | Laag        |
| Meubilair                     | Volledig includeren                     | Middel-laag | Volledig includeren                     | Middel-laag |
| Schermen                      | Niet                                    | Geen        | Niet                                    | Geen        |
| Deuren                        | Niet                                    | Geen        | Volledig includeren                     | Middelhoog  |
| Luchtreiniging & ventilatie   | Niet                                    | Geen        | Niet                                    | Geen        |

## 6. CONCLUSIE

### 6.1. Wat zijn de ruimtelijke kenmerken van een veelgebruikte ruimte in de Nederlandse langdurige zorg?

Tabel 13 toont het Programma van Eisen volgens de resultaten van hoofdstuk 2. Tabel 14 geeft een aantal setpoints die haalbaar moeten zijn voor het ventilatiesysteem van de mock-up, binnen het opgegeven regelbereik Tabel 13.

Tabel 13 Programma van eisen voor een mock-upruimte gebaseerd op een theoretische gemeenschappelijke ruimte in de langdurige zorg. Waardes zijn vastgesteld op basis van Bouwmaatstaven, Bouwbesluiten en voorlopige analyse van ruimtes uit een verwante veldstudie.

| Kenmerken  |                            |
|--|----------------------------|
| Type   | Afdelingsverblijf          |
| Aantal cliënten  | 8                          |
| Bouwkundige dimensies  |                            |
| Minimale oppervlakte   | 60 m <sup>2</sup>          |
| Minimale ruimtehoogte  | 2,6 m                      |
| Minimale ruimte-inhoud   | 156 m <sup>3</sup>         |
| Ventilatie   |                            |
| Regelbereik ventilatiedebiet <sup>1</sup>                                    | 0 – 1560 m <sup>3</sup> /h |
| Maximale luchtsnelheid toevoer   | 0,2 m/s                    |
| Klimaat  |                            |
| Maximale temperatuur zomer   | 25,5 °C                    |
| Minimale temperatuur winter  | 22 °C                      |
| 1. Correspondeert met ventilatievoud 0 – 10 [n/h] bij minimale ruimte-inhoud |                            |

Tabel 14 Een aantal regelbereiken voor ventilatiedebieten die instelbaar moeten zijn binnen de mock-up. Deze setpoints zijn (historische minimale) ventilatie-eisen die zouden gelden in de praktijk voor een gelijksoortige ruimte in de langdurige zorg afhankelijk van bouwperiode.

| Bouwbesluit    | Functie   | Haalbaar setpoint debiet [m <sup>3</sup> /h] | Ventilatievoud [n/h] |
|----------------|---|--|----------------------|
| 1992/2003/2012 | Verblijfsgebied   | 192  | 1,2                  |
| 2003           | Gezondheidszorgfunctie - 2 verblijfsgebied voor activiteiten die de binnenlucht verontreinigen (bezettingsgraadklasse B3) | 516  | 3,3                  |
| 2003           | Gezondheidszorgfunctie - 4 ander verblijfsgebied (bezettingsgraadklasse B3)   | 282  | 1,8                  |
| 2012           | Gezondheidszorgfunctie: b. ander verblijfsgebied  | 190  | 1,4                  |

### *Bouwkundige uitvoering*

Een rechthoekige ruimte met de minimale bouwkundige dimensies (zie Tabel 13) vormt een representatieve gemeenschappelijke ruimte in de langdurige zorg. Er wordt aangenomen dat materiaalgebruik voor oppervlakken een verwaarloosbaar effect heeft op luchtstromingen, er worden hiervoor dus geen eisen gesteld aan de mock-up.

### *Installatietechniek*

In de praktijk wordt een grote variëteit aan systemen en configuraties aangetroffen; de mock-up dient daarom flexibel zijn om deze verscheidenheid aan systemen (B, C en D) en situaties (toe- en afvoersystemen en locaties hiervan in de ruimte) te kunnen nabootsen. Systemen met volledige natuurlijke ventilatie (toe-en afvoer) kunnen een minimale ventilatiehoeveelheid niet garanderen en worden buiten beschouwing gelaten in de mock-upstudie.

### *Inventaris*

Centraal in de mock-upruimte moet een grote (eetkamer-)tafel met stoelen worden geplaatst. Deze tafel dient minstens 8 zittende cliënten te kunnen accommoderen (Tabel 13).

## **6.2. Wat zijn robuuste indicatoren en meetmethodes om het vermogen van een ventilatie-installatie te testen om aerogene verspreiding van virussen en pathogenen te reduceren?**

### *Indicatoren: Ventilation effectiveness indicatoren*

Gebaseerd op de literatuurstudie is gebleken dat de *ventilation effectiveness* (VE) indicatoren en de 100-voudige hersteltijd het meest geschikt zijn om het vermogen van een ventilatie-installatie te testen. Deze bestaan uit de *Air Change Efficiency* (ACE), de *Contaminant Removal Effectiveness* (CRE), de *Local Air Change Efficiency* (LACE) en de *Local Air Quality index* (LAQI). Uit deze indicatoren zal de nadruk liggen op de LAQI voor de in-situ en mock-up studies. De andere VE indicatoren en mogelijk de 100-voudige hersteltijd kunnen gebruikt worden voor specifiekere gevallen.

### *Meetmethode: deeltjesmetingen (paraffineolie) & vectormetingen*

Uit het onderzoek zijn twee methoden gekomen die geschikt zijn om de ventilation effectiveness indicatoren vast te stellen: de tracergasmethode en deeltjesmetingen. Deeltjesmetingen sluiten beter

aan bij het gedrag van virusdeeltjes waardoor deze methode beter aansluit bij de doelstelling van het programma.

### *Luchtstroommetingen*

Om de resultaten van het CFD model van P3Venti programmalijn II te kunnen valideren dienen de aanwezige luchtstromen in een ruimte experimenteel in kaart worden gebracht. Het literatuuronderzoek heeft aangetoond dat de meest toepasselijke methode het toepassen van 3D ultrasone anemometers is. Deze kunnen relatief eenvoudig met hoge nauwkeurigheid de 3-dimensionale luchtsnelheid bepalen zonder de meetpunten direct te verstoren.

### **6.3. Welke parameters moeten worden vastgesteld om de indicatoren te kunnen bepalen en hoe kunnen deze worden gemeten?**

Tabel 15 geeft een overzicht van de aanbevelingen voor parameterinclusie voor in-situ en mock-up experimenten gebaseerd op de beschouwde literatuur. Als het niet mogelijk blijkt om een parameter volledig te includeren, maar dat wel is aangegeven in onderstaand tabel, dan is het aangeraden het daarvoor in de plaats als operationele omstandigheid te meten<sup>17</sup>.

Tabel 15 Overzicht parameters geadviseerd te includeren in VE metingen

| Onderwerp/parameter           | Aan te raden inclusie in in-situ meting |             | Aan te raden inclusie in mock-up meting |             |
|-------------------------------|---|-------------|---|-------------|
|                               | Mate                                    | Prioriteit  | Mate                                    | Prioriteit  |
| Temperatuur toegevoerde lucht | Volledig includeren                     | Middelhoog  | Volledig includeren                     | Middelhoog  |
| Warmtebronnen                 | Volledig includeren                     | Middelhoog  | Volledig includeren                     | Middelhoog  |
| Koudeval                      | Metten als operationele omstandigheid   | Hoog        | Volledig includeren                     | Hoog        |
| Menselijke voortbeweging      | Niet                                    | Geen        | Volledig includeren                     | Hoog        |
| Ademhaling                    | Volledig includeren                     | Laag        | Volledig includeren                     | Laag        |
| Meubilair                     | Volledig includeren                     | Middel-laag | Volledig includeren                     | Middel-laag |
| Deuren                        | Niet                                    | Geen        | Volledig includeren                     | Middelhoog  |

<sup>17</sup> Onder *volledig includeren* wordt bedoeld de parameter tussen metingen te variëren om het effect ervan op de ventilation effectiveness indicatoren te onderzoeken, en met het *als operationele omstandigheid includeren* wordt bedoeld het bij elke meting te meten, maar het niet actief te variëren of beïnvloeden.

## 7. BIBLIOGRAFIE

- Aganovic, A., & Cao, G. (2019). Evaluation of airborne contaminant exposure in a single-bed isolation ward equipped with a protected occupied zone ventilation system. *Indoor and Built Environment*, 28(8), 1092–1103. <https://doi.org/10.1177/1420326X18823048>
- Ai, Z., Hashimoto, K., & Melikov, A. K. (2019). Influence of pulmonary ventilation rate and breathing cycle period on the risk of cross-infection. *Indoor Air*, 29(6), 993–1004. <https://doi.org/10.1111/ina.12589>
- ANSI/ASHRAE. (2017). ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size. *ASHRAE Standard*, 2017, 1–64. [https://www.ashrae.org/File Library/Technical Resources/COVID-19/52\\_2\\_2017\\_COVID-19\\_20200401.pdf](https://www.ashrae.org/File Library/Technical Resources/COVID-19/52_2_2017_COVID-19_20200401.pdf)
- ATI. (2016). *Safety Data Sheet in compliance with Regulation (EC) No. 1907/2006 REACH* ATI PAO-4 (Issue 1907).
- Brouns, C. (1991). A guide to contaminant removal effectiveness. *Air Infiltration and Ventilation Centre.*, 45.
- Bueno de Mesquita, P. J., Delp, W. W., Chan, W. R., Bahnfleth, W. P., & Singer, B. C. (2022). Control of airborne infectious disease in buildings: Evidence and research priorities. *Indoor Air*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/ina.12965>
- Cermak, R., & Melikov, A. K. (2007). Protection of occupants from exhaled infectious agents and floor material emissions in rooms with personalized and underfloor ventilation. *HVAC and R Research*, 13(1), 23–38. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390942>
- Chen, C., Liu, W., Li, F., Lin, C.-H., Liu, J., Pei, J., & Chen, Q. (2013). A hybrid model for investigating transient particle transport in enclosed environments. *Building and Environment*, 62, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.12.020>
- Deng, X., Gong, G., He, X., Shi, X., & Mo, L. (2021). Control of exhaled SARS-CoV-2-laden aerosols in the interpersonal breathing microenvironment in a ventilated room with limited space air stability. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 108, 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.025>
- Feng, L., Zeng, F., Li, R., Ju, R., & Gao, N. (2021). Influence of manikin movement on temperature stratification in a displacement ventilated room. *Energy and Buildings*, 234, 110700. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110700>
- Ferrari, S., Blázquez, T., Cardelli, R., Puglisi, G., Suárez, R., & Mazzarella, L. (2022). Ventilation strategies to reduce airborne transmission of viruses in classrooms: A systematic review of scientific literature. *Building and Environment*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109366>
- Gan, G. (2000). Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*, 31(1), 65–73. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00006-7)
- Gilkeson, C. A., Camargo-Valero, M. A., Pickin, L. E., & Noakes, C. J. (2013). Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards. *Building and Environment*, 65, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.006>
- Horve, P. F., Lloyd, S., Mhuireach, G. A., Dietz, L., Fretz, M., MacCrone, G., Van Den Wymelenberg, K., & Ishaq, S. L. (2020). Building upon current knowledge and techniques of indoor microbiology to construct the next era of theory into microorganisms, health, and the built environment. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 30(2), 219–235.



- <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0157-y>
- Jurelionis, A., Gagyte, L., Seduikyte, L., Prasauskas, T., Ciuzas, D., & Martuzevicius, D. (2016a). Combined air heating and ventilation increases risk of personal exposure to airborne pollutants released at the floor level. *Energy and Buildings*, 116, 263–273. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.011>
- Jurelionis, A., Gagyte, L., Seduikyte, L., Prasauskas, T., Ciuzas, D., & Martuzevicius, D. (2016b). Combined air heating and ventilation increases risk of personal exposure to airborne pollutants released at the floor level. *Energy and Buildings*, 116, 263–273. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.01.011>
- Kompatscher, K., & Traversari, R. (2022). *verschillende luchtreinigingsmethoden voor inactivatie van microbiologische verontreinigingen Samenvatting*.
- Lau, J., & Chen, Q. (2007). *Floor-supply displacement ventilation for workshops*. Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.016>
- Li, J., Cao, X., Liu, J., Wang, C., & Zhang, Y. (2015). Global airflow field distribution in a cabin mock-up measured via large-scale 2D-PIV. *Building and Environment*, 93(P2), 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.030>
- Li, W., Chong, A., Hasama, T., Xu, L., Lasternas, B., Tham, K. W., & Lam, K. P. (2021). Effects of ceiling fans on airborne transmission in an air-conditioned space. *Building and Environment*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107887>
- Li, W., Chong, A., Lasternas, B., Peck, T. G., & Tham, K. W. (2022). Quantifying the effectiveness of desk dividers in reducing droplet and airborne virus transmission. *Indoor Air*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/ina.12950>
- Liu, W., Liu, L., Xu, C., Fu, L., Wang, Y., Nielsen, P. V., & Zhang, C. (2021). Exploring the potentials of personalized ventilation in mitigating airborne infection risk for two closely ranged occupants with different risk assessment models. *Energy and Buildings*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111531>
- Liu, Z., Zhang, M., Cao, G., Tang, S., Liu, H., & Wang, L. (2021). Influence of air supply velocity and room temperature conditions on bioaerosols distribution in a class I operating room. *Building and Environment*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108116>
- Mundt, E., Mathisen, H. M., Nielsen, P. V., & Moser, A. (2004). *REHVA Guidebook No 2 - Ventilation Effectiveness (Issue 2)*.
- Pantelic, J., & Tham, K. W. (2013). Adequacy of air change rate as the sole indicator of an air distribution system's effectiveness to mitigate airborne infectious disease transmission caused by a cough release in the room with overhead mixing ventilation: A case study. *HVAC and R Research*, 19(8), 947–961. <https://doi.org/10.1080/10789669.2013.842447>
- Ren, J., He, J., Guo, L., Li, H., & Kong, X. (2022). Effect of Walking Modes and Temperatures on the Robustness of Ventilation Systems in the Control of Walking-induced Disturbances. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(7). <https://doi.org/10.4209/aaqr.220115>
- Saarinen, P., Kalliomäki, P., Koskela, H., & Tang, J. W. (2018). Large-eddy simulation of the containment failure in isolation rooms with a sliding door—An experimental and modelling study. *Building Simulation*, 11(3), 585–596. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0422-8>
- Sadrizadeh, S., Aganovic, A., Bogdan, A., Wang, C., Afshari, A., Hartmann, A., Croitoru, C., Khan, A., Kriegel, M., Lind, M., Sköldenberg, O., & Cao, G. (2021). A systematic review of operating room ventilation. *Journal of Building Engineering*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102693>
- Schiavon, S., Bauman, F., Tully, B., & Rimmer, J. (2011). Air change effectiveness in laboratory tests of combined chilled ceiling and displacement ventilation. *12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2011*, 2, 1681–1686.
- Seepana, S., & Lai, A. C. K. (2012). Experimental and numerical investigation of interpersonal exposure

- of sneezing in a full-scale chamber. *Aerosol Science and Technology*, 46(5), 485–493. <https://doi.org/10.1080/02786826.2011.640365>
- Shan, W., & Rim, D. (2018). Thermal and ventilation performance of combined passive chilled beam and displacement ventilation systems. *Energy and Buildings*, 158, 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.010>
- Shao, X., Hashimoto, K., Fang, L., Melikov, A. K., Naydenov, K. G., & Rasmussen, C. (2020). Experimental study of airborne particle transmission through the doorway of a cleanroom due to the movement of a person. *Building and Environment*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107205>
- Shen, J., Kong, M., Dong, B., Birnkrant, M. J., & Zhang, J. (2021). Airborne transmission of SARS-CoV-2 in indoor environments: A comprehensive review. *Science and Technology for the Built Environment*, 27(10), 1331–1367. <https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1977693>
- Singer, B. C., Zhao, H., Preble, C. V., Delp, W. W., Pantelic, J., Sohn, M. D., & Kirchstetter, T. W. (2022). Measured influence of overhead HVAC on exposure to airborne contaminants from simulated speaking in a meeting and a classroom. *Indoor Air*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/ina.12917>
- Tang, M., Zhu, N., Kinney, K., & Novoselac, A. (2020). Transport of indoor aerosols to hidden interior spaces. *Aerosol Science and Technology*, 54(1), 94–110. <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1677854>
- Tominaga, Y., & Blocken, B. (2016). Wind tunnel analysis of flow and dispersion in cross-ventilated isolated buildings: Impact of opening positions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 155, 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.05.007>
- Traversari, R. A. A. L., Bezemer, R. A., van Heumen, S. P. M., Kompatscher, K., Hinkema, M. J., & Eekhout, I. (2022). Effect of different setups, protective screens and air supply systems on the exposure to aerosols in a mock-up restaurant. *International Journal of Ventilation*. <https://doi.org/10.1080/14733315.2022.2064962>
- Traversari, R., & Bezemer, R. (2020). *Laboratoriumonderzoek naar effect van verschillende opstellingen, ventilatiesystemen en ventilatiehoeveelheden op de blootstelling van aerosolen in een horecagelegenheid*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/10/02/laboratoriumonderzoek-naar-effect-van-verschillende-opstellingen-ventilatiesystemen-en-ventilatiehoeveelheden-op-de-blootstelling-van-aerosolen-in-een-horecagelegenheid>
- Vermeulen, L. C., & Bartels, A. A. (2022). *Meerwaarde van mobile luchtreinigers in verminderen van transmissie van SARS-CoV-2 een literatuurstudie.pdf*.
- Wan, M. P., Sze To, G. N., Chao, C. Y. H., Wan, M. P., Fang, L., & Melikov, A. (2009). Modeling the fate of expiratory aerosols and the associated infection risk in an aircraft cabin environment. *Aerosol Science and Technology*, 43(4), 322–343. <https://doi.org/10.1080/02786820802641461>
- Zhuang, R., Li, X., & Tu, J. (2014). CFD study of the effects of furniture layout on indoor air quality under typical office ventilation schemes. *Building Simulation*, 7(3), 263–275. <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0144-5>

## **8. ONDERTEKENING**

TNO | Mobility & Built Environment | , 3 juli 2023

Regien Kroeze  
Research Manager

Niels Lejeune  
Auteur

