

Auteurs

Dr. H. (Hailin) Zheng, MSc.; dr.ir. M.G.L.C. (Marcel) Loomans; dr.ir. S. (Shalika) Walker; dr.ir. T.A.J. (Twan) van Hooff; em.prof.ir. W. (Wim) Zeiler (allen Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde)

Luchtkwaliteit in kinderdagverblijven

Mensen staan voortdurend in contact met de lucht om hen heen. Dit om te ademen: een essentiële handeling in ons bestaan. Volwassenen ademen ongeveer 23.000 keer per dag in en uit, maar deze frequentie is aanzienlijk hoger bij baby's en peuters, die ongeveer 50.000 keer per dag ademen [1]. Deze hogere ademhalingsfrequentie bij jonge kinderen, in combinatie met hun proportioneel grotere ademhalingsvolume ten opzichte van hun lichaamsgewicht, zorgt voor meer interactie met de directe omgeving. De kwaliteit van de lucht waaraan ze worden blootgesteld wordt daardoor nog belangrijker. Dit is onder andere van belang in omgevingen zoals kinderdagverblijven (KDV's), waar baby's en peuters veelvuldig verblijven [2].

Kinderdagverblijven zijn instellingen voor voorschoolse opvang, en min of meer het eerste integrale programma voor de cognitieve, fysieke en sociale ontwikkeling van jonge kinderen, variërend van baby's tot kinderen in de basisschoolleeftijd [3]. Jonge kinderen zijn gevoeliger voor de negatieve effecten van verontreinigingen in de lucht vanwege hun nog in ontwikkeling zijnde immuunsysteem, en fysiologische en neurologische systemen [4-6]. Daarom is een goede binnenluchtkwaliteit (IAQ; Indoor Air Quality) in KDV's van groot belang voor de gezondheid en het welzijn van deze jonge kinderen. Dit uitgangspunt vormde de kern van het promotieonderzoek dat in de afgelopen vier jaar is uitgevoerd. Het doel was te komen tot een beter inzicht en het aanreiken van maatregelen om een gezonde omgeving voor de vroege ontwikkeling van onze jongste generatie te garanderen [7]. Het promotieonderzoek bestond uit vier hoofdonderdelen, aangevuld met een onderzoek van een praktijkoplossing, die is ontwikkeld vanuit de verkregen resultaten.

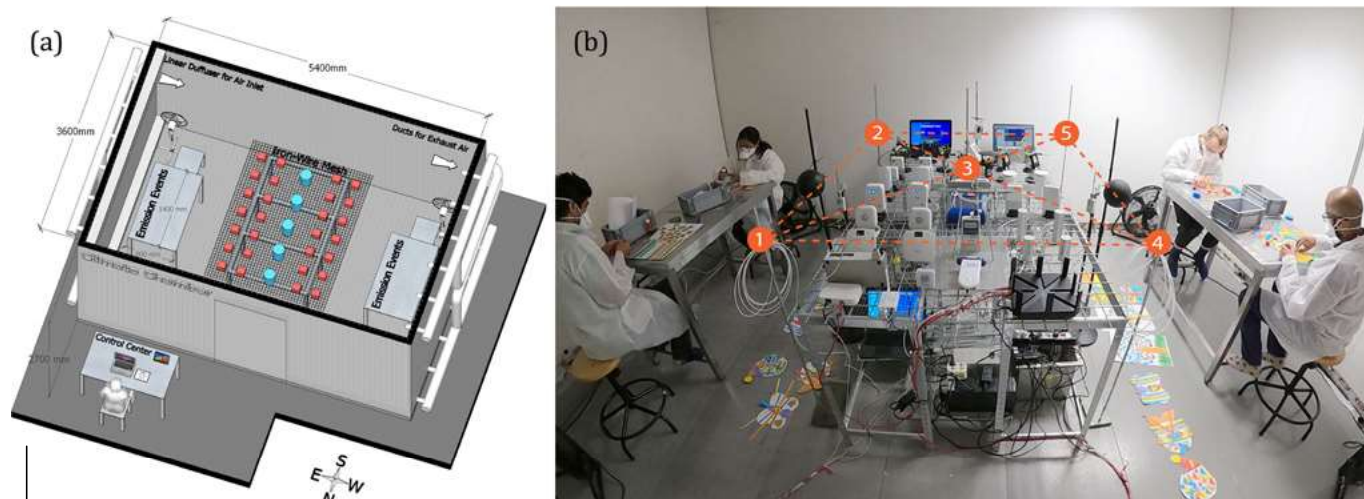
Monitoring

Een eerste stap in het komen tot een betere binnenluchtkwaliteit, is te weten wat die luchtkwaliteit is. Dit werd onlangs ook erkend door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) [8]. Het monitoren van de luchtkwaliteit is

Highlights

- Relatief goedkope luchtkwaliteit-monitors die meerdere luchtkwaliteit-parameters kunnen meten zijn in het algemeen voldoende betrouwbaar om typische activiteiten in kinderdagverblijven te detecteren zodat daarop geanticipeerd kan worden.
- De keuze van materialen die worden gebruikt bij bijvoorbeeld knutsel- en schoonmaakactiviteiten is belangrijk om de emissie van VOCs te beperken.
- Ruimteventilatie is niet in staat om de bedjes in een slaapkamer van een kinderdagverblijf effectief te ventileren.
- Persoonlijke ventilatie is een goede strategie, in vergelijking met meng- of verdringingsventilatie, om de bedjes voldoende geventileerd te krijgen.

de eerste stap in het begrijpen en aanpakken van de blootstelling van kinderen aan luchtverontreinigende stoffen. Daarom zijn in het promotieonderzoek de prestaties van verschillende luchtkwaliteitsmonitoren en losse sensoren (zonder behuizing) binnen de unieke context van een KDV onderzocht [9, 10]. Dit om ervoor te zorgen dat real-time IAQ-monitoring in staat is om de typische emissiegebeurtenissen in een KDV te detecteren. Vijf luchtkwaliteitsmonitoren en vijf soorten losse sensoren zijn getest. Ze werden vergeleken met meer nauwkeurige onderzoeksinstrumenten (RGI's; Research Grade Instruments). De evaluatie was gericht op meerdere belangrijke parameters voor de luchtkwaliteit: fijnstof (PM), kooldioxide (CO₂) en vluchtige organische stoffen (TVOC; Total Volatile Organic Compounds), samen met temperatuur en relatieve vochtigheid. Door middel van experimenten in een klimaatkamer (zie Figuur 1), zijn typische dagopvangactiviteiten gesimuleerd



Figuur 1: (a) De meetopstelling in de klimaatkamer. (b) een foto van de klimaatkamer waarin vier proefpersonen voorgeschreven knutselactiviteiten uitvoerden.

zoals knutselen en schoonmaken, onder twee typische binnenklimaatomstandigheden (koel en droog [$20 \pm 1^\circ\text{C}$ & $40 \pm 10\%$], warm en vochtig [$26 \pm 1^\circ\text{C}$ & $70 \pm 5\%$]).

Voor de fijnstofmonitoring toonde deze studie aan dat de fijnstofmeters, zowel losse sensoren als (multi-)sensoren met een behuizing, te lage fijnstof concentraties registreerden in vergelijking met de meer nauwkeurige onderzoeksinstrumenten. De apparaten vertoonden wel een sterke correlatie, i.e. een hogere concentratie aan fijnstof resulteerde in een hogere waarde, in scenario's die significante deeltjesemissies produceerden, zoals schoonmaakactiviteiten. Daarbij werden $\text{PM}_{2,5}$ -concentraties in het bereik van $22\text{--}455 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geregistreerd. De correlatie nam af of verdween zelfs bij gebeurtenissen met lagere deeltjesemissies, zoals knutselactiviteiten, en op momenten dat er geen activiteiten plaatsvonden. De $\text{PM}_{2,5}$ -concentraties waren daarbij minder dan $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bovendien waren de prestaties van de sensoren niet consistent voor verschillende schoonmaakacties; de gevoeligheid en respons werden beïnvloed door de concentratie en samenstelling van de bij de activiteiten geproduceerde deeltjes.

Wat CO_2 -monitoring betreft werd voor alle geteste monitoren en sensoren een sterke correlatie met de data van de nauwkeurige instrumenten gevonden. De variatie in het achtergrondniveau van deze apparaten beïnvloedde hun prestaties enigszins, maar alle meetinstrumenten bleken in staat om te reageren op CO_2 -emissies, om vervolgens effectief terug te keren naar het achtergrondniveau nadat de emissies waren gestopt. Een sensor gebaseerd op

een foto-akoestische techniek presteerde hierbij duidelijk beter dan de meer traditionele NDIR gebaseerde CO_2 -sensoren (Non-Dispersive Infrared; op basis van absorptie van infrarood licht door CO_2 moleculen).

Het onderzoek liet ook zien dat TVOC-metingen complex zijn vanwege de diversiteit aan organische gassen die ze meten. Maar, hoewel de geteste TVOC-sensoren aanzienlijke kwantitatieve verschillen lieten zien bij de gesimuleerde activiteiten, bleken ze wel een goede correlatie te hebben met de referentie onderzoeksinstrumenten. Dit betekent dat ze wel in staat zijn om emissiegebeurtenissen in een kinderdagverblijf te detecteren. Het feit dat de meeste TVOC-sensoren vaak concentraties rapporteerden die buiten het gespecificeerde detectiebereik lagen, roept echter nog wel vragen op over de prestaties van deze sensoren.

Het onderzoek liet uiteindelijk zien dat relatief goedkope luchtkwaliteitsmonitoren effectief kunnen zijn bij het registreren van de luchtkwaliteit in KDV's. Dit voor de verschillende activiteiten die daar plaatsvinden, en ook onder verschillende klimatologische omstandigheden. Met dergelijke meetinstrumenten, wanneer ze meerdere IAQ-parameters tegelijkertijd monitoren, is het mogelijk om typische activiteiten in kinderdagverblijven te detecteren, waaronder knutselen en schoonmaken. In kwantitatieve zin zijn er wel duidelijke verschillen tussen sensoren die er momenteel op de markt zijn.

Type activiteit	Gesimuleerde scenario's	Gemeten TVOC niveaus ^a (µg/m ³)	Geselecteerde individuele VOC emissies
Knutselen	Acryl verven	808	Ethylbenzeen, n-Butyl Ether
	Poster verven	58	Ethylbenzeen, Styreen, Aceton
	Vloeibaar lijmen	420	Ethylbenzeen, Isopropyl Alcohol
	Plakken	96	Ethylbenzeen, Dodecaan
	'Zand' boetseren	136	Styreen^b , Nonanal
	'Plasticine' boetseren	78	o-Xyleen, Ethyl Ether
Schoonmaken	Dettol-Tafel schoonmaken	348	o-Xyleen, 1-Phenoxy-2-Propanol
	Suma-Tafel schoonmaken	896	Propeen, Isopropyl Alcohol
Slapen (Matras)	Nieuw Matras	574	Ethyleen Oxide^b , Trichloroethyleen
	Gebruikt Matras	1711	Styreen^b , Tetrachloroethyleen^b

Noot: ^aDe TVOC-niveaus zijn gemeten bij een temperatuur van 20°C en een relatieve vochtigheid van 40%.

^bDe gemeten VOC-niveaus overschreden de kankerrisicodrempels voor jongere kinderen.

Tabel 1: Samenvatting van de drie soorten gesimuleerde activiteiten, samen met de gemeten TVOC-niveaus en geselecteerde individuele VOC-emissies.

Emissie van vluchtige organische stoffen

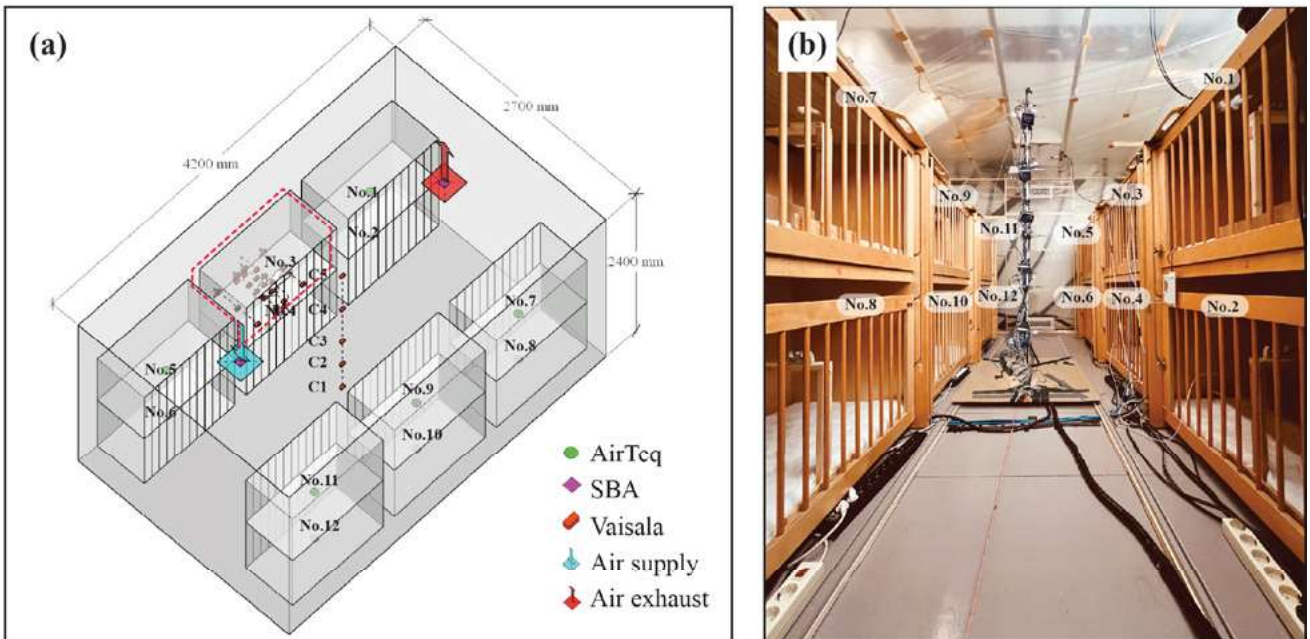
In het tweede deel van het promotieonderzoek lag de nadruk op de aanwezigheid en het gezondheidsrisico van vluchtige organische stoffen (VOCs) voor jonge kinderen en pedagogisch medewerkers in KDV's [11]. Vergelijkbaar aan deel één, zijn ook hier gecontroleerde experimenten uitgevoerd (zie Figuur 1) om de VOC-emissie van typische activiteiten in KDV's te onderzoeken. De experimenten omvatten activiteiten zoals knutselen (schilderen, lijmen en boetseren) en schoonmaken. Daarnaast was er ook aandacht voor de emissie van matrassen. De gecontroleerde omgeving waarin het onderzoek is uitgevoerd maakte het mogelijk de emissie van VOCs tijdens deze activiteiten geïsoleerd te meten. Dit resulteerde in gedetailleerde emissieprofielen, bestaande uit een complexe reeks van 96 VOC-soorten, onderverdeeld in twaalf groepen waaronder alcoholen, aldehyden, alkanen en andere.

Tabel 1 geeft een overzicht van de specifieke soorten gesimuleerde activiteiten, samen met de gemeten TVOC-niveaus en geselecteerde individuele VOC-emissies. De resultaten laten zien dat er kenmerkende chemische emissies zijn voor elke activiteit, met aanzienlijke variaties in TVOC-emissies afhankelijk van de gebruikte producten. Bij de lijmactiviteiten resulteerde het gebruik van "vloeibare lijm" bijvoorbeeld in een TVOC-concentratie van 420 µg/m³, met isopropylalcohol als belangrijkste component. Gebruik van "Plaksel"

resulteerde daarentegen in een aanzienlijk lagere concentratie van 96 µg/m³, gedomineerd door dodecaan.

De beoordeling van de gezondheidsrisico's van deze VOC-emissies gaf aan dat de meeste gemeten concentraties binnen de veilige grenzen bleven voor niet-kankerverwekkende risico's. Voor kankerverwekkende risico's lieten specifieke activiteiten en omstandigheden echter een verhoogd risico zien. Meer specifiek, een activiteit zoals "zand boetseren" of het gebruik van "nieuwe matrassen" resulteerde in de emissie van bijvoorbeeld styreen en ethyleenoxide. Daarbij werden de Risk Quotient (RQ) waarden voor de kritische drempel voor kankerverwekkende risico's benaderd of zelfs overschreden. Dit gold vooral voor baby's, die kwetsbaarder zijn voor dit soort emissies. Voor volwassenen was het risico bij de gevonden niveaus minimaal. Dit verschil in risico op basis van leeftijd benadrukt de noodzaak van gerichte interventies en beschermende maatregelen voor de meer kwetsbare (hele...) jonge bezetting in KDV's.

Praktisch laat dit onderzoek zien dat een zorgvuldige keuze van materialen bij knutsel- en schoonmaakactiviteiten in KDV's belangrijk is om de emissie van VOCs, en daarmee de blootstelling eraan, te beperken. Daarnaast lijkt regelmatige controle en vervanging van matrassen de blootstelling aan VOCs te kunnen verminderen.



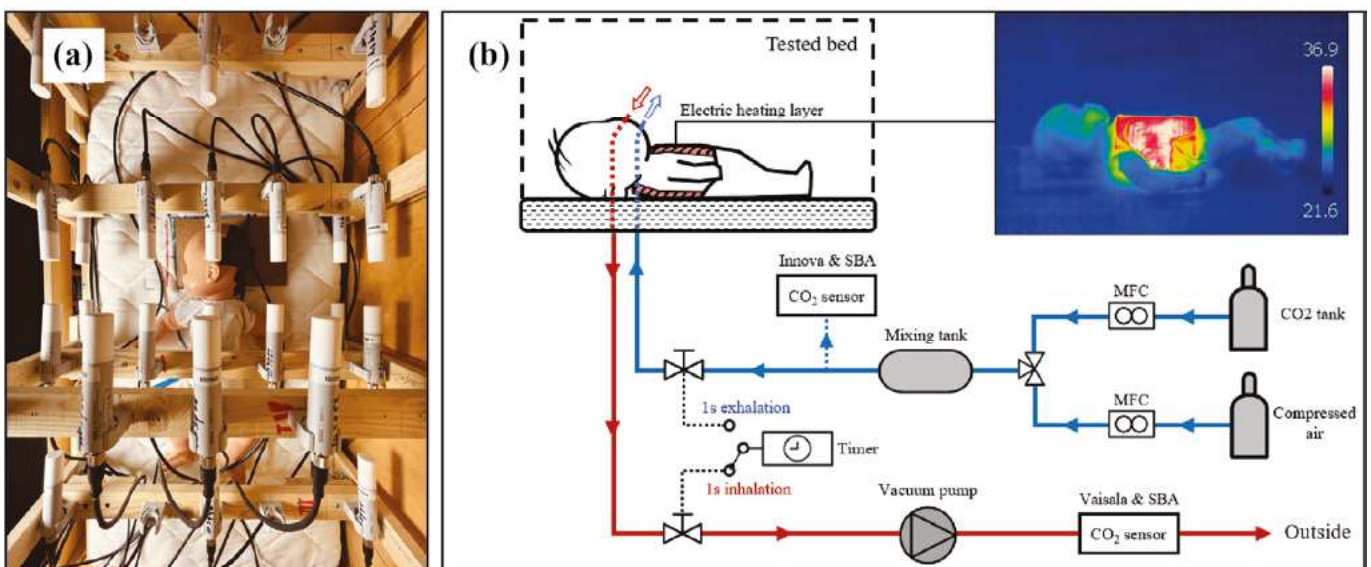
Figuur 2: Experimentele opstelling. (a) Overzicht van de volledige opstelling, inclusief 12 bedjes (van nr. 1 tot nr. 12) en plaatsing van de sensoren. (b) Een foto van de opstelling.

Het is belangrijk daarbij te beseffen dat de beoordeling van gezondheidsrisico's moet afgestemd zijn op jongere kinderen en dat dat dus een ander, strenger, veiligheidsniveau betekent.

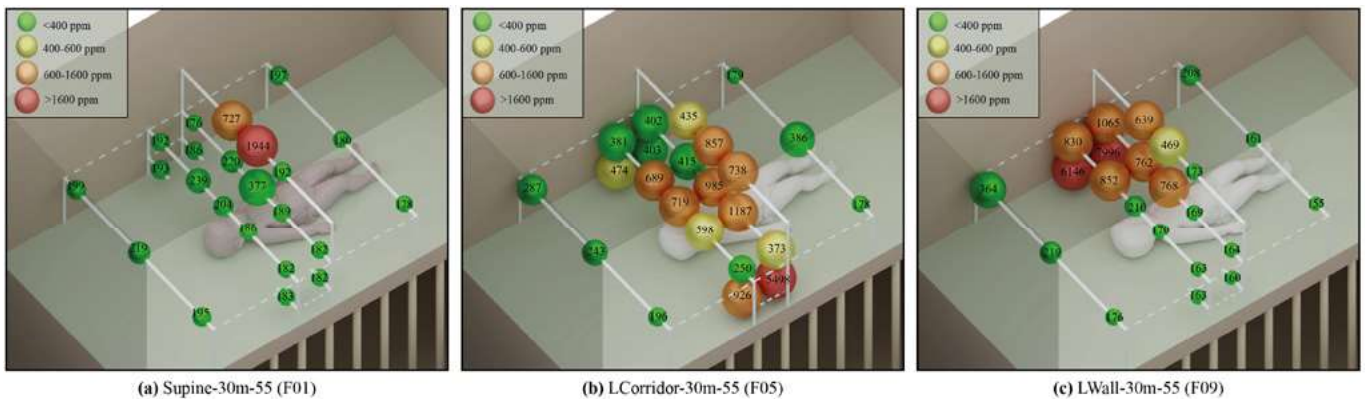
Ventilatie op kinderbed niveau

Na de beoordeling van de luchtkwaliteit en de noodzaak van de beperking van emissies is in het promotieonderzoek vervolgens gekeken naar de

ventilatieomstandigheden op bedniveau in de slaapkamers van KDV's. Er is daarbij specifiek gekeken naar de situatie in Nederlandse KDV's: semi-ingesloten stapelbedden [12, 13]. Uit veldonderzoek in 17 Nederlandse KGV's met 68 slaapkamers [14] kwam naar voren dat van ongeveer 60% van de slaapkamers (natuurlijk en mechanisch geventileerd) verondersteld kan worden dat ze niet voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit. Om de efficiëntie van de ventilatie verder te onderzoeken is een typische slaapkameropstelling voor een KDV, met 12 bedjes, op ware grootte nagebouwd (zie Figuur 2). Hierbij lag



Figuur 3: (a) een foto van de opstelling in een bedje met een thermisch ademend babymodel. (b) een schema van de toegepaste thermische en ademhalings simulatie.

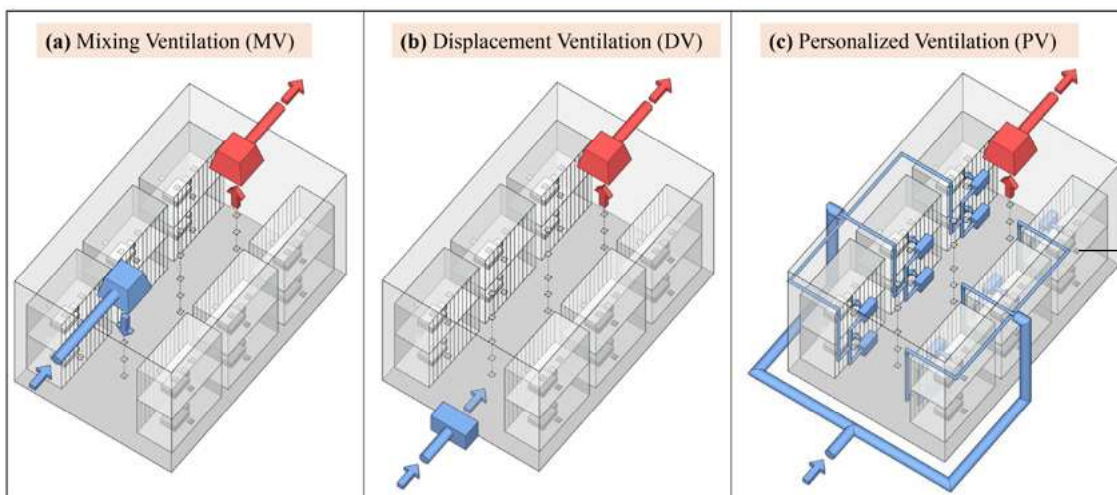


Figuur 4: CO₂-verspreiding (CO₂-concentratie boven het achtergrondniveau) binnen het bed bij drie posities van de baby.

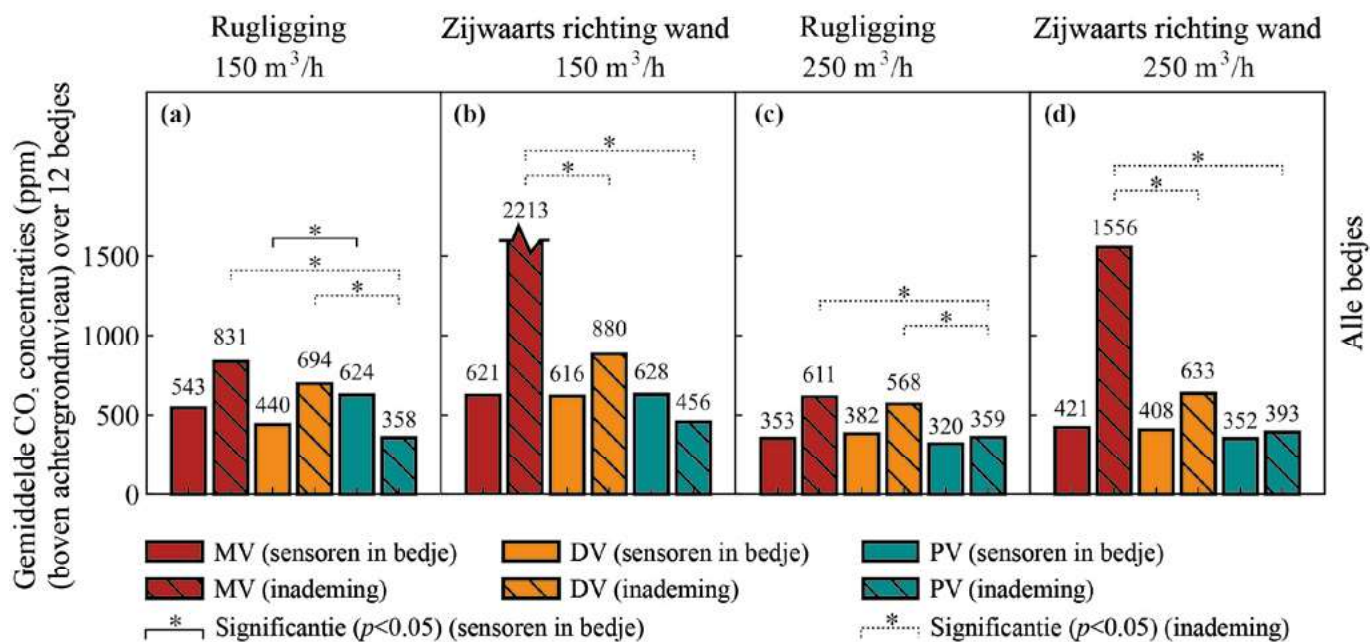
de nadruk op de luchtkwaliteit op bedniveau. In de opstelling is de verspreiding en inademing van CO₂ in de bedjes onderzocht met behulp van een ademend thermisch babymodel (Figuur 3). Hierbij is rekening gehouden met enkele variabelen, te weten de slaaphouding (rugligging, zijwaarts richting de muur, zijwaarts richting de gang), de leeftijd van de baby (12 en 30 maanden oud) en ventilatie-debiet in de kamer (55 en 250 m³/u).

Uit de studie kwam duidelijk naar voren dat de ventilatie in de semi-ingesloten bedjes, en daarmee de luchtverversing, ontoereikend was. De verschillen in concentraties tussen bed- en ruimteniveau waren duidelijk meetbaar, ondanks de aanwezigheid van voldoende mengventilatie op ruimteniveau. In de meeste gevallen werd een duidelijk hogere CO₂-concentratie gemeten (zie Figuur 4). Die concentratie, ingeademd door de baby's, was drie keer zo hoog als de concentratie bij de afvoer in de ruimte, met gemiddelde waarden tot 1647 ppm. In enkele gevallen bedroeg de ingeademde CO₂-concentratie meer dan 4300 ppm, wat serieuze gezondheidsrisico's met zich kan meebrengen voor baby's.

Ook kon worden geconcludeerd dat de slaaphouding, de leeftijd van de baby en het ventilatie-debiet een significante invloed hadden op de CO₂-verdeling en de ingeademde concentratie. De zijligging richting de muur leidde tot de hoogste niveaus, gevolgd door de zijligging richting de gang en rugligging. Hogere debieten (250 m³/u), verhoogden paradoxaal genoeg de ingeademde CO₂-concentratie in vergelijking met een lager debiet (55 m³/u), wanneer geslapen werd in zijligging richting de gang. In vergelijking met baby's van 12 maanden oud stoten oudere baby's (30 maanden) meer CO₂ uit, waardoor er zich ook meer CO₂ ophoopt in het bed en wordt ingeademd.



Figuur 5: Geschematiseerde ventilatieconfiguraties voor mengventilatie (MV), verdringingsventilatie (DV) en gepersonaliseerde ventilatie (PV).



Figuur 6: Vergelijking van de drie ventilatieconfiguraties voor de gemiddelde CO₂ concentratie in het bed (12 bedden, boven het achtergrondniveau) en voor de ingeademde CO₂-concentratie.

Ventilatie op ruimteniveau

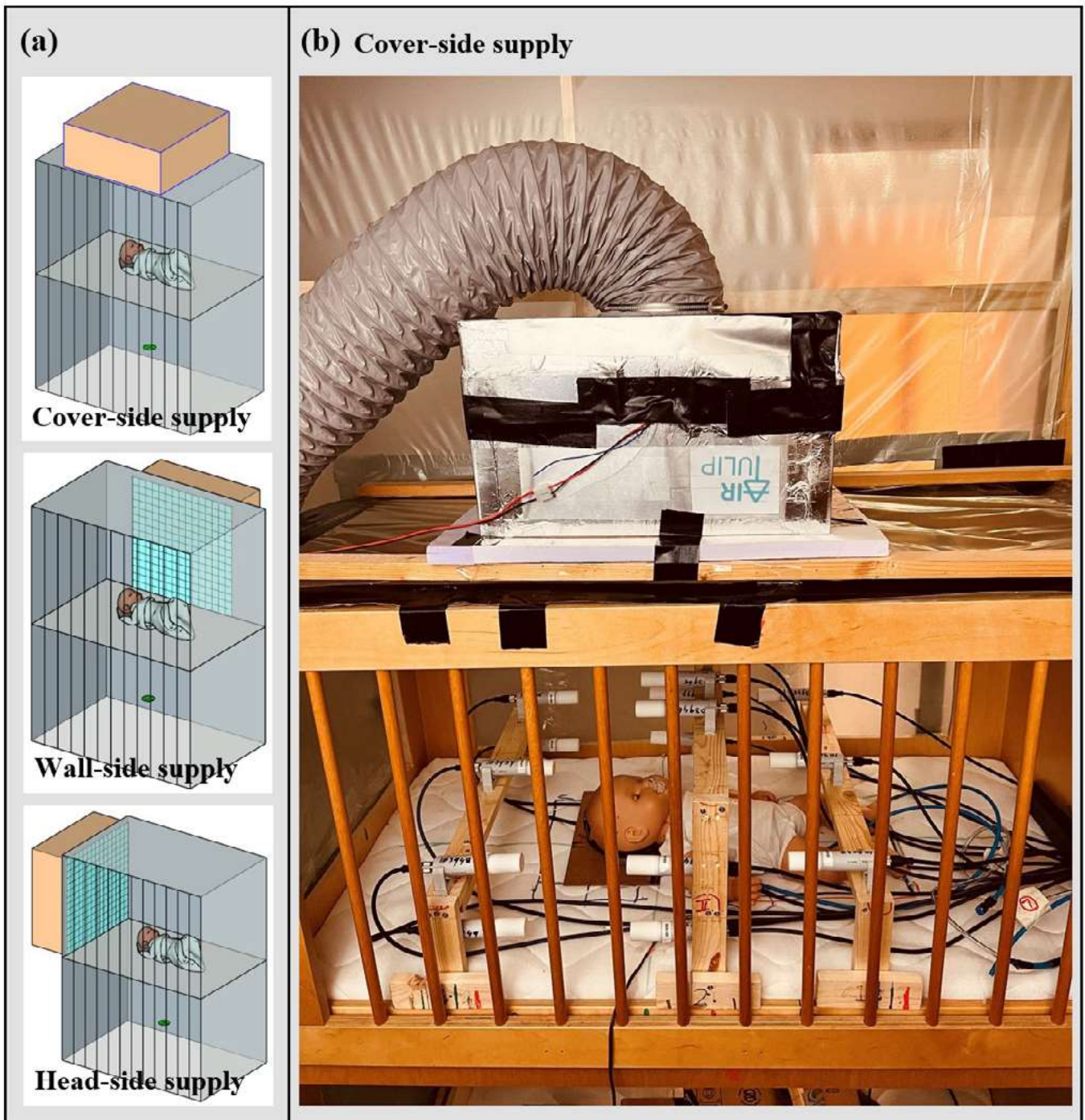
Gezien de ontoereikende ventilatiecondities in de semi-ingesloten babybedjes is tot slot onderzocht wat de effectiviteit is van verschillende ventilatiestrategieën op ruimteniveau voor de situatie in de bedjes. Hierbij zijn mengventilatie (MV), verdringsventilatie (DV) en gepersonaliseerde ventilatie (PV) met elkaar vergeleken (zie Figuur 5) [15]. Ook dit deel van het onderzoek maakte gebruik van de eerder besproken slaapkameropstelling op ware grootte. In deze deelstudie zijn er twaalf baby simulatoren gebruikt, die de ademhaling en warmteontwikkeling van baby's van 30 maanden oud nabootsten. De prestaties van de drie ventilatiestrategieën zijn vergeleken voor twee soorten slaaphoudingen (rugligging en zijligging) en twee ventilatiedebieten (55 en 250 m³/u). Met behulp van onder andere 58 CO₂-sensoren is gedetailleerde informatie over de CO₂-concentratieniveaus in de ruimte en bedden verzameld.

Uit de metingen bleek dat PV duidelijk het beste presteert, gevolgd door DV en MV. Er werden met PV significant

lagere ingeademde CO₂-concentraties per baby gemeten (zie Figuur 6). De gemiddelde concentratie in de bedjes (gemeten in een vlak) over de twaalf bedden, voor de drie verschillende ventilatiestrategieën en bij dezelfde slaaphouding en debieten, waren echter vergelijkbaar. Dus om de ventilatie efficiëntie goed te kunnen beoordelen is kennis van de ingeademde luchtkwaliteit belangrijk. Slaaphoudingen en debieten beïnvloedden de prestaties van MV en DV aanzienlijk. Het is interessant om op te merken dat PV ook een duidelijk energiebesparend potentieel liet zien, doordat een vergelijkbare ingeademde luchtkwaliteit kon worden bereikt bij een lager debiet ten opzichte van DV en MV. Deze uitkomsten laten zien dat persoonlijke ventilatiesystemen in slaapkamers van KDV's niet alleen een effectieve oplossing zijn vanuit het oogpunt van luchtkwaliteit, maar ook van energieverbruik.

Persoonlijke Ventilatie een praktijkoplossing

Gegeven de effectiviteit van PV, is deze strategie nog wat verder onderzocht. In het onderzoek hierboven was het eenvoudige PV-systeem zelf ontworpen en had slechts relatief beperkte



Figuur 7: (a) De drie gepersonaliseerde ventilatiestrategieën voor luchttoevoer (b) de foto van de toevoer aan de bovenzijde.

afmetingen en één luchttoevoerrichting die naar de muur was gericht [7]. In een vervolgstudie zijn verschillende luchtstroomrichtingen en -snelheden onderzocht met behulp van een PV-ontwerp (zie Figuur 7). Drie luchttoevoerrichtingen (muurzijde, hoofdzijde, bedekkingszijde), vijf debieten (21, 37, 55, 65, 75 m³/u) en drie slaapposities (rugligging, zijwaarts

richting de muur, zijwaarts richting de gang) zijn onderzocht. Opnieuw is gebruik gemaakt van de experimentele slaapkamer opstelling. Voor een vergelijk, is ook een MV controlescenario onderzocht.

Dit onderzoek bevestigde nogmaals dat met PV de luchtkwaliteit op inhalatie- en bedniveau

voor zuigelingen beter is dan met MV. De PV-strategie waarbij lucht aan de hoofdzijde wordt toegevoerd bleek het meest efficiënt te zijn bij lagere debieten. De resultaten gaven ook aan dat, hoewel hogere debieten doorgaans de luchtkwaliteit op bedniveau verbeteren, het optimale debiet beïnvloed wordt door de specifieke positionering van het PV-systeem en slaaphouding. De resultaten ondersteunen de noodzaak van de toepassing van nieuwe ventilatieoplossingen in de slaapkamers van KDV's.

Conclusie

Met het promotieonderzoek is een bijdrage geleverd aan de kennis over de luchtkwaliteit in kinderdagverblijven. Een onderwerp dat nog onvoldoende aandacht heeft gehad in de wetenschappelijke literatuur. De resultaten van het onderzoek laten zien dat er nog veel te winnen valt als het gaat om dit soort gebouwen, specifiek de slaapkamers, waar een groot deel van onze jongste én kwetsbare generatie de nodige tijd doorbrengt. Goede monitoring en een zorgvuldige selectie van materialen zijn belangrijke stappen daarbij. Een verbetering van de ventilatie in de slaapkamers van kinderdagverblijven is een ander zeer belangrijk aandachtspunt dat hopelijk bij nieuwbouw en renovatie onderkend wordt. Enkel voldoende 'lucht' in een ruimte brengen is in ieder geval niet voldoende. Het bouwbesluit (Besluit bouwwerken leefomgeving) en de richtlijnen voor kinderdagverblijven zouden hierop dienen te worden aangepast.

Dankwoord

Dr. Arjen de Jong van AirTulip wordt bedankt voor het leveren van een gepersonaliseerde ventilatieopstelling en voor het assisteren bij de experimentele voorbereidingen. We zijn ook de collega's van het Building Physics and Services lab dankbaar voor hun onmisbare ondersteuning bij alle metingen.

Meer lezen over het proefschrift? Ga naar:
bit.ly/Luchtkwaliteit-kinderdagverblijven

Referenties

1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Exposure Factors Handbook 2011 Edition (Final Report). 2011: U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
2. Zheng, H., S. Walker, and W. Zeiler. IAQ Aspects of Daycare Centers: A Systematic Review of Exposure to Particulate Matter. in ASHRAE Topical Conference Proceedings. 2022. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. DOI: https://www.aivc.org/sites/default/files/2_C3.pdf.
3. Zhang, Y., P.K. Hopke, and C. Mandin, Handbook of Indoor Air Quality. 2022: Springer Nature Singapore Pte Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-7680-2>.
4. Bearer, C.F., How are children different from adults? Environmental health perspectives, 1995. 103(suppl 6): p. 7-12. DOI: <https://doi.org/10.2307/3432337>.
5. Schwartz, J., Air pollution and children's health. Pediatrics, 2004. 113(4): p. 1037-1043. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.113.53.1037>.
6. WHO, WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021, License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO: World Health Organization. DOI: <https://iris.who.int/handle/10665/345329>.
7. Zheng, H., Indoor Air Quality in Daycare Centers: Assessing and Mitigating Indoor Exposure on Young Children. Vol. 380. 2024, Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Built Environment. DOI: https://research.tue.nl/files/322463579/20240507_Zheng_H_hf.pdf
8. WHO. Monitoring air pollution levels is key to adopting and implementing WHO's Global Air Quality Guidelines. 2023; Available from: <https://www.who.int/news/item/10-10-2023-monitoring-air-pollution-levels-is-key-to-adopting-and-implementing-who-s-global-air-quality-guidelines>.
9. Zheng, H., et al., Laboratory evaluation of low-cost air quality monitors and single sensors for monitoring typical indoor emission events in Dutch daycare centers. Environment International, 2022. 166: p. 107372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107372>.
10. Zheng, H., et al., Response of low-cost environmental monitors to typical emission events in daycare centers. CLIMA 2022 conference, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34641/clima.2022.213>.
11. Zheng, H., et al., Species profile of volatile organic compounds emission and health risk assessment from typical indoor events in daycare centers. Science of The Total Environment, 2024. 918: p. 170734. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170734>.
12. Zheng, H., et al., Bed-level ventilation conditions in daycare centers. Building and Environment, 2023: p. 110638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110638>.
13. Offermans, A., H. Zheng, and W. Zeiler, Indoor Air Quality conditions within the baby bunk beds at Dutch daycare centers indicate the necessity for an improved ventilation design, in 16th International Conference on Indoor Air Quality and Climate (INDOOR AIR 2020). 2020, International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ). p. 1-6.
14. Wang, Z., et al. A survey of indoor air quality conditions in bedrooms of Dutch daycare centers. 18th Healthy Buildings Europe Conference 2023; Available from: https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/301657351/Wang_1312_A_1.pdf.
15. Zheng, H., et al., Bedroom ventilation performance in daycare centers under three typical ventilation strategies. Building and Environment, 2023. 243: p. 110634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110634>.