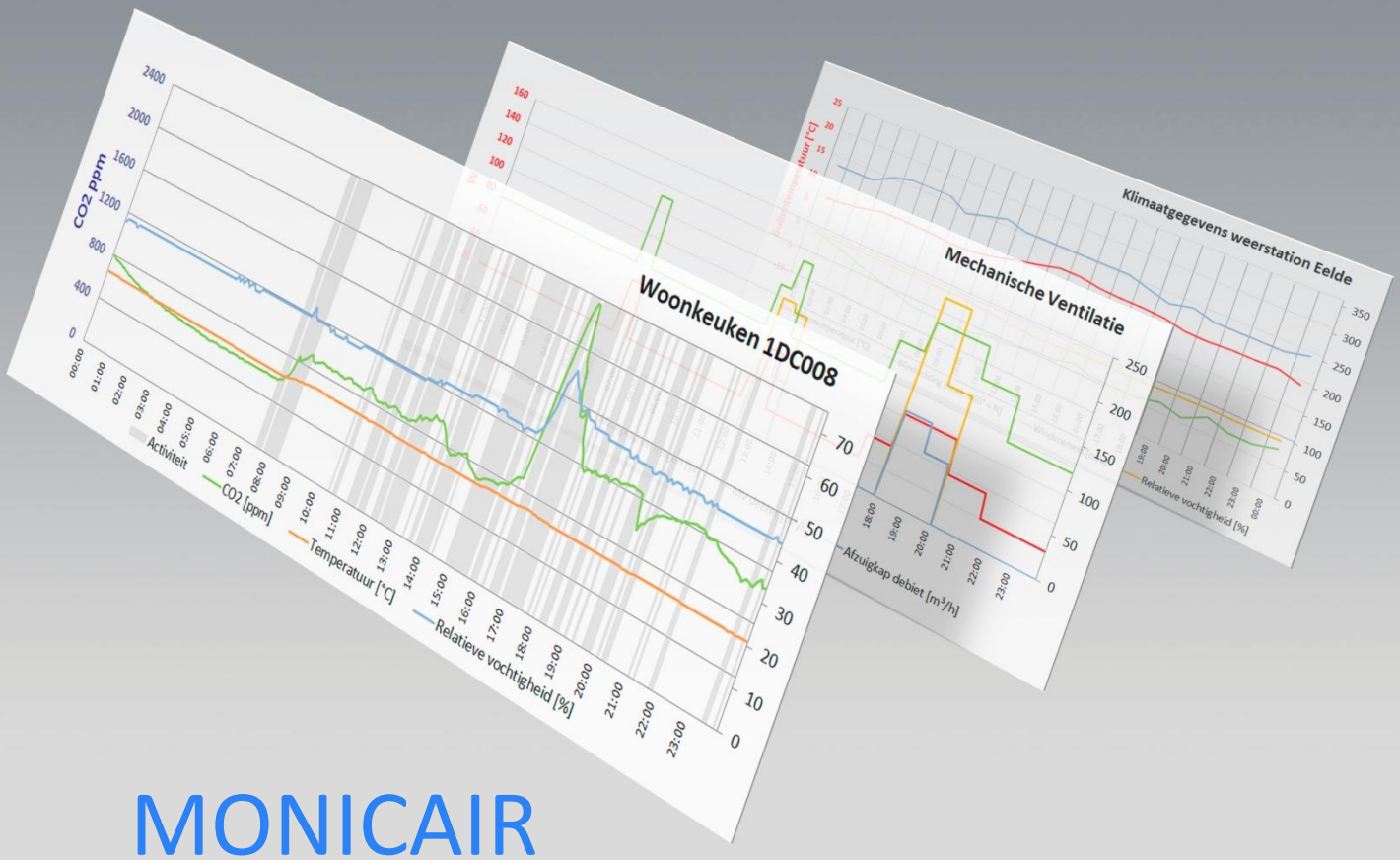



# MONICAIR

MONItoring & Control of Air quality in Individual Rooms

Eindrapport WP1a

## Resultaten van een monitoring onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit- en energieprestaties van ventilatiesystemen in de woningbouw .


Consortium MONICAIR deel A
Ir. R.C.A. van Holsteijn
Ir. W.L. Li


Delft , December 2014


MONICAIR is a research project initiated by the Dutch Ventilation Industry and co-financed by the Dutch Ministry of Economic Affaires within the framework of TKI (Top consortia for Knowledge & Innovation).

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

## MONICAIR Consortium

Het Moniciar praktijkonderzoek wordt uitgevoerd door toonaangevende producenten, adviesburo's en onderzoekscentra die alle actief zijn in de ventilatiebranche.

Het Monicair consortium bestaat uit de volgende partners:

Brink Climate Systems BV

ClimaRad BV

Honeywell Customized Comfort Products

Itho Daalderop Nederland BV

Nieman Raadgevende Ingenieurs BV

Technische Universiteit Delft, OTB

TNO

Van Holsteijn en Kemna BV

Zehnder Group Nederland BV

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

MONICAIR

# INHOUDSOPGAVE


Managementsamenvatting 7

1. Inleiding 13
2. Onderzoeksmethode en werkwijze 15
   - 2.1 Selectie ventilatiesystemen 15
   - 2.2 Woningselectie 17
   - 2.3 Intake interviews bewoners 19
   - 2.4 Data monitoring systeem 24
3. Data Analyse 25
   - 3.1 Beoordeling binnenluchtkwaliteit verblijfsruimtes 25
   - 3.2 Indicator binnenluchtkwaliteit verblijfsruimtes 28
   - 3.3 Indicator binnenluchtkwaliteit natte ruimtes 29
   - 3.4 Indicator energieprestatie 29
4. Resultaten 33
   - 4.1 Ventilatiedebiet en regeling 33
     - 4.1.1 Gemiddeld ventilatiedebiet per woning 33
     - 4.1.2 Bediening ventilatiesysteem 35
     - 4.1.3 CO2-regeling ventilatiesysteem 37
   - 4.2 $CO_2$- overschrijdingen gedurende stookseizoen 42
     - 4.2.1 Illustraties van $CO_2$-overschrijdingen per ventilatiesysteem 42
     - 4.2.2 Gemiddelde $CO_2$-overschrijdingen per ventilatiesysteem 48
     - 4.2.3 Vergelijking $CO_2$-overschrijdingen ventilatiesystemen 55
     - 4.2.4 Correlatie $CO_2$-overschrijding en aantal inwoners 61
     - 4.2.5 Correlatie $CO_2$-overschrijding en luchtdichtheid woning 63
     - 4.2.6 Correlatie $CO_2$-overschrijding en mechanisch ventilatiedebiet 64
   - 4.3 RH- over en onderschrijdingen gedurende stookseizoen 68
     - 4.3.1 Aantal uren met RV>70% 68
     - 4.3.2 Illustratie van RV-uren>70% 70
     - 4.3.3 Aantal uren met RV<30% 72
   - 4.4 Energieverbruik van ventilatiesystemen 74
     - 4.4.1 Energieverbruik 74
     - 4.4.2 Energieverbruik versus $CO_2$-overschrijding 75
5. Conclusies 79

**Bijlagen**

BIJLAGE I : Contactinformatie Consortiumpartners 85

BIJLAGE II : Data tabellen 87

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

# Managementsamenvatting

Monicair is een van de eerste gedetailleerde en langdurige monitorringonderzoeken naar prestaties van correct geïnstalleerde ventilatiesystemen op gebied van binnenluchtkwaliteit en bijbehorende energieprestatie in de praktijk. In 62 woningen is gedurende een heel jaar de binnenluchtkwaliteit van alle individuele verblijfsruimtes iedere vijf minuten gemeten en is het debiet en het real-life energieverbruik van de ventilatie-units continu gemeten. Doel van het onderzoek is meer inzicht te verkrijgen in de daadwerkelijke prestaties om daarmee ventilatiesystemen verder te kunnen optimaliseren. Alhoewel het onderzoek niet voor alle aspecten als representatief kan worden beschouwd (steekproef van 62 woningen is daarvoor te klein), zijn de resultaten uitermate waardevol en leerzaam en geven ze een helder beeld van de werking en prestaties van ventilatiesystemen in de praktijk. Op basis van een uitgebreide analyse van de omvangrijke Monicair database, zijn o.a. de volgende inzichten verkregen over het functioneren van ventilatiesystemen in de praktijk gedurende het stookseizoen.

**Grote verschillen in binnenluchtkwaliteit**

De $CO_2$-overschrijdingen van ventilatiesystemen die volledig voldoen aan bouwbesluiteisen vertonen in de praktijk grote verschillen, zowel tussen systemen onderling, als tussen individuele woningen met hetzelfde ventilatiesysteem. De gemeten $CO_2$-overschrijdingen voor woningen met mechanische ventilatiesystemen variëren van 0 tot 852 kppmh per persoon per stookseizoen. De hoogste waarde is gemeten in een woning met systeem A en bedraagt 997 kppmh. De tijdsduur gedurende welke de $CO_2$-concentraties te hoog zijn varieert van 0 tot meer dan 8 uur per persoon per dag. Onderstaande tabel geeft de gemiddelde waarden per groep ventilatiesystemen, waarbij naast de $CO_2$-overschrijdingsdosis per stookseizoen ook de standaarddeviatie wordt vermeld.

| Ventilatie systemen | Aantal uren per dag waarbij $CO_2$>1200 ppm | Gemiddelde overschrijding >1200 ppm $CO_2$ | Gemiddelde overschrijdings-doses per woning per dag | Gemiddelde overschrijdings-doses per woning per stookseizoen | Gemiddelde Overschrijdingsdoses per persoon per woning per stookseizoen met bijbehorende standaard deviatie | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | [h/day] | [ppm] | [ppmh/day] | [kppmh/st.szn] | [kppmh/pp/st.szn] | stndrd.dev. |
| A | 9.76 | 689 | 6723 | 1425 | 442 | *438* |
| C1 | 10.95 | 512 | 5600 | 1187 | 349 | *276* |
| C.2c | 12.42 | 344 | 4267 | 905 | 244 | *216* |
| C.4a | 7.62 | 731 | 5570 | 1181 | 271 | *389* |
| C.4c | 3.13 | 247 | 773 | 164 | 72 | *78* |
| D.2 | 3.52 | 291 | 1024 | 217 | 68 | *32* |
| D.5a | 2.65 | 494 | 1308 | 277 | 105 | *156* |
| D.x | 3.63 | 199 | 718 | 152 | 76 | *32* |
| D.5b | 4.40 | 509 | 2239 | 475 | 183 | *199* |
| X1/C | 6.84 *(1.45)* | 320 *(217)* | 2186 *(315)* | 463 *(67)* | 175 *(30)* | *139 (33)* |
| X1/A | 2.82 *(1.27)* | 346 *(302)* | 976 *(384)* | 207 *(81)* | 167 *(61)* | *124 (47)* |
| Getallen tussen haakjes hebben betrekking op de prestatie van decentrale wtw-units in woonkamers en bijbehorend oppervlak | | | | | | |

*Tabel 1. Resultaten voor $CO_2$-overschrijding in verblijfsruimtes >1200 ppm, gemiddeld per groep ventilatiesystemen*

Opmerking 1: Systeem C4c betreft hier de variant met mechanische afzuiging in alle natte ruimtes en alle verblijfsruimtes.
Opmerking 2: De hier berekende $CO_2$-overschrijdingstijd en overschrijdingsdosis per persoon is lager dan de in werkelijkheid optredende overschrijding, omdat de hier toegepaste berekeningsmethode geen rekening houdt met het feit dat meerdere mensen in een vertrek (ouderslaapkamer, woonkamer) dezelfde $CO_2$-overschrijdingsdosis ondergaan. Een deling van de totale dosis of overschrijdingstijd door het aantal bewoners, geeft in de regel altijd een te lage waarde. Gelieve hiermee rekening te houden bij de interpretatie van de resultaten.

Zowel de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdosis als de bijbehorende standaarddeviatie is groter naarmate het ventilatiesysteem minder controle heeft over het ventilatievoud in verblijfsruimtes. Dit is het geval bij systemen A, C1, C2c, en C4a, waarbij de verblijfsruimtes zijn voorzien van uitsluitend natuurlijke lucht toe- en afvoervoorzieningen (ventilatieroosters en overstroomcomponenten).
Ventilatiesystemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes hebben een lagere $CO_2$ - overschrijdingsdosis met bovendien een geringere spreiding.
Voor wat betreft over- en/of onderschrijdingen in relatieve luchtvochtigheid tijdens stookseizoen zijn de verschillen tussen de ventilatiesystemen beperkt. Periodes met te hoge RV (>70%) komen vrijwel uitsluitend voor in de badkamer en zijn in de regel korter dan gemiddeld 2 uur per dag (uitzondering hierop vormen enkele woningen met natuurlijke afvoer uit de natte ruimtes (systeem A).
Periodes met lage luchtvochtigheid (RV <30%) komen in alle vertrekken voor en zijn in de regel iets langer dan gemiddeld 5 uur per dag per vertrek.

**Prestaties ventilatiesystemen in de loop der tijd verbeterd** (A, C, C4c, D, X1)
De meetresultaten laten een beeld zien waarbij binnenluchtkwaliteit beter wordt naarmate meer recente ventilatiesystemen worden toegepast. Achterliggende oorzaak ligt met name in het feit dat bij nieuwere ventilatiesystemen *mechanische* toe- en/of afvoervoorzieningen een prominentere plaatst innemen. Het oudste systeem (systeem A) gebruikt uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen, zowel in de natte ruimtes als in de verblijfsruimtes. Systemen C gebruiken een mechanische afvoercomponent in de natte ruimtes en scoren daardoor al beter dan de systemen A.
Deze traditionele systemen C zijn prima in staat om de gewenste luchtuitwisseling over de gehele woning te realiseren en de luchtkwaliteit in de natte ruimtes (RH-waarde) binnen grenzen te houden. Echter, omdat de verblijfsruimtes zijn voorzien van uitsluitend natuurlijke toe- en afvoercomponenten (ventilatierooster en overstroomcomponent), blijken deze systemen minder in staat om dat ventilatievoud op woningniveau - dat in principe voldoende zou moeten zijn voor een goede binnenluchtkwaliteit - te vertalen naar een correct ventilatievoud per verblijfsruimte. Het resultaat is dat gedurende een belangrijk deel van de verblijfstijd het ventilatievoud in de betreffende verblijfsruimte te laag is. De nieuwere variant hierop (systeem C4c), maar ook de systemen D en X1, gebruiken ook mechanische componenten in verblijfsruimtes, waardoor het ventilatievoud op verblijfsruimteniveau kan worden zeker gesteld. Deze nieuwere systemen realiseren daarom een betere binnenluchtkwaliteit in de verblijfsruimtes dan systemen met uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes.

**Lekdichtheid woning nauwelijks invloed op luchtkwaliteit**
De veronderstelling dat lekke woningen (woningen met een hoge qv10-waarde) gemiddeld een betere luchtkwaliteit laten zien, kan vanuit de meetresultaten van Monicair niet worden bevestigd. De feitelijke resultaten laten juist het tegenovergestelde zien. Dit heeft echter niets te maken met de lekdichtheid van de woning maar met het feit dat in lekdichte woningen betere ventilatiesystemen (ventilatiesystemen met mechanische component in de verblijfsruimtes) zijn toegepast.
Ook uit de resultaten van de uitgevoerde lekdichtheidsmetingen kan worden afgeleid dat de gevonden “lekken” zich in de regel niet in de verblijfsruimtes bevinden en dus weinig tot geen invloed hebben op de luchtkwaliteit aldaar.

**Bewoners vertonen geen reactief ventilatiegedrag**

Bewoners vertonen weliswaar een bepaalde gewoonte of vast patroon inzake de bediening van ventilatiecomponenten (gebruik ventilatieroosters, afzuigkap en standenschakelaar), ze vertonen echter geen reactief ventilatiegedrag. In verblijfsruimtes kunnen $CO_2$-concentraties oplopen tot boven de 3500 ppm zonder dat de bewoner hierop reageert en actie onderneemt door bijvoorbeeld de mechanische ventilatie-unit in een hogere stand te zetten. Het is zelfs zo dat voor handbediende systemen het ventilatiedebiet behorende bij stand 1 van de mechanische ventilatie-unit, zo goed als representatief is voor het gemiddeld gerealiseerde ventilatiedebiet. Het tijdelijk hogere debiet dat sommige bewoners inschakelen tijdens douchen, heeft slechts beperkte invloed op het totale gemiddelde ventilatiedebiet.
De meeste gezinnen vertonen een ventilatiegedrag waarbij volgens een min of meer vast patroon ventilatieroosters en /of klepraampjes in de slaapkamers worden gebruikt en de afzuigkap en standenschakelaar wordt bediend tijdens koken en douchen. Per woning kan dit gedrag verschillen.
Onbedoeld reactief gedrag wordt waargenomen bij enkele systemen met een mechanische lucht toe- en/of afvoercomponent in de verblijfsruimtes. Vanwege geluid- en/of tocht hinder wordt in enkele woningen ingegrepen in het ventilatiesysteem, bijvoorbeeld door het dichtdraaien van een toevoerventiel, het uitschakelen van de centrale toevoerfan of het tijdelijk uitschakelen van de (decentrale) wtw-unit.

**Correlatie ventilatiedebiet en luchtkwaliteit groter bij systemen met mechanische component in vr's**

Ventilatiesystemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes vertonen een grotere correlatie tussen het gerealiseerde ventilatiedebiet per persoon en de gemeten $CO_2$-overschrijding, dan systemen met uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes.
Bij deze laatste systemen is er een sterke correlatie tussen het aantal bewoners en de $CO_2$-overschrijding. Ofwel , voor systemen A, C1, C2c, C4a geldt: hoe groter het aantal inwoners, des te groter de $CO_2$-overschrijding.
De ventilatie-effectiviteit kan verder worden vergroot door toepassing van $CO_2$- sensoren, op voorwaarde dat deze sensoren een mechanische component aansturen in dezelfde verblijfsruimte als waarin de meting is verricht. $CO_2$-sensoren die niet gekoppeld zijn aan een mechanische toe- en/of afvoercomponent van het verblijfsruimte waarin de sensor de meting verricht, vertonen niet altijd een betere binnenluchtkwaliteit dan dezelfde systemen zonder $CO_2$-sensor (vergelijk systeem C4a versus C2c). Hetzelfde geldt voor systemen met een $CO_2$- sensor die niet in een verblijfsruimte hangt maar in een verbindingsruimte en waarbij dmv luchttransport via overstroomcomponenten de ventilatie in de aangrenzende verblijfsruimtes moet worden geregeld (vergelijk slaapkamers D5a met D2).

**Grote verschillen in energieprestatie**

Uitgaande van een praktijkrendement van ca. 80% voor de wtw-installatie als geheel, verbruiken de mechanische systemen ventilatiesystemen D2, D5a, Dx gemiddeld 29 MJ per $m^2$ woningoppervlak aan primaire energie voor elektriciteit en thermische energie-inhoud van uitgewisselde lucht. Dit is dus exclusief energieverlies als gevolg van infiltratie, spuien en dwarsventilatie. Wanneer voor de warmtewisselaars de EN13141-7/8 rendementen worden aangehouden bedraagt het gemiddelde primaire energieverbruik ca. 20 MJ per $m^2$. De mechanische systemen C1, C2c en C4a gebruiken daarentegen gemiddeld 122 MJ per m2.
Systemen D verbruiken daarmee gemiddeld tenminste 75% minder primaire energie dan systemen C. Bovendien zijn de gemeten prestaties op gebied van luchtkwaliteit van systemen D gemiddeld meer dan een factor 3 beter dan die van traditionele systemen C (89 versus 290 kppmh per persoon per stookseizoen).

**Prestaties ventilatiesystemen moeten en kunnen beter**

Met dit onderzoek geeft Monicair een eerste inzicht in de werkelijke prestaties van ventilatiesystemen op het gebied van binnenluchtkwaliteit in de praktijk. De systemen worden weliswaar beter, maar vertonen op meerdere aspecten eigenschappen die voor verbetering vatbaar zijn. Systemen met uitsluitend natuurlijke lucht toe- en afvoervoorzieningen in verblijfsruimtes blijken in de praktijk maar beperkt in staat het ventilatievoud in deze ruimtes te controleren. Grotere $CO_2$-overschrijdingen zijn het gevolg. Systemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes scoren weliswaar beter op dat punt maar zetten enkele bewoners aan tot oneigenlijk gedrag als gevolg van geluid- en of tocht hinder. Verder bevestigt het onderzoek dat bewoners niet in staat zijn om adequaat te reageren op hogere $CO_2$-concentraties, simpelweg omdat dit vanwege adaptatie niet wordt waargenomen. Ventilatiesystemen zullen deze taak daarom moeten vervullen op een zo effectief mogelijke manier.

Op het gebied van energieprestatie scoren de systemen met warmteterugwinning beduidend beter dan de systemen zonder wtw. Als we daarbij ook de betere prestatie qua binnenmilieu bij betrekken en het binnenmilieu als referentie aanhouden, zijn de verschillen tussen systemen onderling nog groter. De ontwikkelingsrichting voor energiezuinige en qua binnenmilieu optimaal presterende ventilatiesystemen lijkt daarmee bepaald.

**Aanbevelingen**

Het onderzoek dat binnen dit werkpakket van Monicair is uitgevoerd beperkt zich tot systemen die correct zijn geïnstalleerd en ingeregeld en voldoen aan het bouwbesluit. In die zin zijn de resultaten illustratief voor slechts een beperkt (en wel het betere) deel van de markt. Om een representatief beeld te krijgen van het volledige woningbestand en daarmee ook van het grote aandeel woningen waarbij de ventilatiesystemen niet correct zijn ingeregeld en geïnstalleerd, is veel meer praktijkonderzoek van het type Monicair nodig.

De ventilatiesystemen die momenteel worden geselecteerd en geïnstalleerd voor nieuwbouw en grootschalige renovatie voldoen allen aan het Bouwbesluit, maar vertonen in de praktijk significante verschillen mbt hun prestaties op het gebied van de binnenluchtkwaliteit. Deze verschillen blijven nu onbenoemd, en in de energetische beoordeling volgens NEN7120/ NEN8088 wordt er impliciet van uitgegaan dat de systemen eenzelfde binnenluchtkwaliteit realiseren. Aanbevolen wordt daarom om deze verschillen zichtbaar te maken en niet langer appels met peren te vergelijken.

Dit kan bijvoorbeeld door IAQ- klassen in te voeren, waarbij duidelijk wordt aangegeven welke CO2-grenswaarde van toepassing is en hoeveel overschrijding hierop maximaal toelaatbaar is. Praktijk-onderzoek, gecombineerd met modelonderzoek, kan de basis vormen voor de beoordeling van ventilatiesystemen op dit punt.

Een andere mogelijkheid is om, alweer via de combinatie van praktijkonderzoek en modelonderzoek, vast te stellen welke luchtstromen een gegeven ventilatiesysteem nodig heeft om een gedefinieerde luchtkwaliteit te realiseren. Op basis van aldus berekende ventilatievouden wordt vervolgens de energiebehoefte van het systeem bepaald. Hiermee wordt het energieverbruik bepaald op basis van eenzelfde prestatie qua luchtkwaliteit.

Tevens wordt aanbevolen om de huidige methodiek voor de energetische beoordeling van ventilatiesystemen (NEN7120 / NEN8088) te vergelijken met de uitkomsten uit het Monicair onderzoek en waar nodig en zinvol deze rekenmodellen te *tunen* in de richting van de praktijkwaarden.

In het Bouwbesluit wordt NEN1087 aangewezen als bepalingsmethode voor de inrichting van lucht toe- en afvoervoorzieningen. Aanbevolen wordt om deze bepalingsmethode uit 2001opnieuw tegen het licht te houden en te beoordelen waar deze kan worden aangescherpt.

Tenslotte wordt aanbevolen om de resultaten en inzichten uit dit Monicair onderzoek te gebruiken bij de ontwikkeling van de toekomstige ventilatiesystemen. In werkpakket 3a van dit TKI-EnerGo project zullen op basis van de onderzoeksresultaten richtlijnen worden opgesteld, die ventilatiefabrikanten kunnen raadplegen bij het formuleren van hun nieuwe ontwikkelingsactiviteiten.

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

# 1. Inleiding

De gebouwde omgeving is verantwoordelijk voor ca. 40% van het totale Europese energieverbruik, met ruimteverwarming als de belangrijkste post (>50%). Het is dus niet verwonderlijk dat Europese wetgeving (EPBD en EcoDesign) zich o.a. richt op het verhogen van de isolatiewaarde en luchtdichtheid van woningen en gebouwen. Als gevolg hiervan neemt de natuurlijke infiltratie verder af en is de binnenluchtkwaliteit steeds meer afhankelijk van de kwaliteit van het ventilatiesysteem. Belangrijke vraag in dit kader is natuurlijk: “Hoe goed presteren ventilatiesystemen in de praktijk op het gebied van binnenluchtkwaliteit en energieprestatie in moderne goedgeïsoleerde en kierdichte woningen, en hoe kan deze prestatie verder worden verbeterd?”
Tot nu toe uitgevoerd onderzoek heeft met name betrekking op onderzoek of geïnstalleerde ventilatiesystemen voldoen aan bouwbesluiteisen en belangrijke conclusies hier zijn dat er op vele punten nog het nodige te verbeteren valt, met name in het installatie-, inregel- en oplevertraject [1].
Echter, onderzoek dat zich richt op de daadwerkelijk gerealiseerde binnenluchtkwaliteit per vertrek en de bijbehorende energieprestatie van ventilatiesystemen die volledig voldoen aan bouwbesluiteisen, is zeer schaars [2,3]. Met een woningbestand dat geleidelijk aan wordt verbeterd in termen van isolatie en kierdichtheid, wordt het hoog tijd deze omissie in het kennisbestand op te vullen. Duidelijkheid moet worden verkregen over de vraag of huidige ventilatiesystemen die volledig voldoen aan het bouwbesluiteisen  in staat zijn om te allen tijde een acceptabele binnenluchtkwaliteit te realiseren in de vertrekken waarin bewoners zich bevinden.

Om deze vraag te beantwoorden is een consortium opgericht (bestaande uit fabrikanten, gespecialiseerde ingenieursbureaus en kennisinstellingen), dat het project MONICAIR (MONItoring & Control of Air quality in Individual Rooms) heeft geïnitieerd en antwoorden probeert te vinden op deze cruciale vraag.
MONICAIR is een 1,6 miljoen euro kostend precompetitief veldonderzoeksproject, dat deels wordt gefinancierd door de consortium partners en deels door het Ministerie van Economische Zaken binnen het kader van TKI-EnerGo (Top consortia Kennis en Innovatie).
Een van de doelen van het MONICAIR project is om gedurende een heel jaar de daadwerkelijk optredende binnenluchtkwaliteit te monitoren in *alle individuele verblijfsruimtes* gedurende aanwezigheid en afwezigheid van bewoners in meer dan zestig woningen die alle voorzien zijn van goed ingeregelde en bouwbesluit conforme ventilatiesystemen. Tweede doel is om ook het energieverbruik van het ventilatiesysteem te monitoren. Met deze informatie wordt het mogelijk voor ieder ventilatiesysteem de IAQ-prestatie te koppelen aan het bijbehorende energieverbruik.

De veronderstelling is, dat met een volledige analyse van de aldus verkregen logdata, systeemparameters kunnen worden geïdentificeerd die consortiumpartners kunnen helpen bij het verbeteren van de IAQ- en energieprestatie van hun ventilatiesysteem. Daarnaast kan de kennis die uit dit onderzoek wordt verkregen worden gebruikt om de huidige berekenings- en bepalingsmethoden voor de inschatting van de IAQ- en energieprestatie van ventilatiesystemen (EPA en EPC berekeningen) verder aan te scherpen.

Dit rapport bevat de eindresultaten van werkpakket WP1a, en omvat de analyses van een vol jaar aan monitoring data van 62 woningen met tien verschillende en heden ten dage frequent toegepaste ventilatiesystemen. Alle systemen zijn voorafgaand aan het onderzoek ingeregeld en gecheckt op conformiteit aan bouwbesluiteisen om te voorkomen dat ontwerp, installatie of inregel fouten de metingen beïnvloeden.

# 2. Onderzoeksmethode en werkwijze

Dit hoofdstuk beschrijft de keuzes die zijn gemaakt bij het veldonderzoek. Het geeft een toelichting op de selectie van de ventilatiesystemen en de bijbehorende woningen. Ook wordt het data monitoring system dat in het onderzoek is gehanteerd hier nader beschreven. Tenslotte wordt uitgelegd welke werkwijze is gehanteerd bij de omzetting van de logdata (100 miljoen datapunten) naar bruikbare informatie.

## 2.1
## Selectie van Ventilatiesystemen

De aan het consortium deelnemende fabrikanten produceren ventilatiesystemen van zowel het type C als het type D en type X.
Traditionele ventilatiesystemen type C zijn systemen met natuurlijke toevoer (ventilatieroosters) in de verblijfsruimtes (woon en slaapkamers) en mechanische afvoer in de natte ruimtes (badkamer, keuken en wc). Het is hierbij de bedoeling dat de buitenlucht binnenkomt via de roosters in de verblijfsruimtes en vervolgens via overstroomcomponenten (kier onder de gesloten tussendeuren) of via openstaande tussendeuren naar de natte ruimtes wordt getransporteerd en via de mechanische afzuiging aldaar naar buiten wordt afgevoerd.
Ventilatieystemen type D zijn systemen die op mechanische wijze (via toevoerventielen) buitenlucht toevoeren in de verblijfsruimtes, en eveneens op mechanische wijze luchtafvoeren vanuit de natte ruimtes. Ook hier moet de aan de verblijfsruimtes toegevoerde lucht via overstroomcomponenten of openstaande tussendeuren van de verblijfsruimtes naar de natte ruimtes worden getransporteerd en aldaar worden afgevoerd. Bij deze systemen wordt gebruik gemaakt van warmteterugwinning, ofwel de afgevoerde lucht staat de warmte af aan de toegevoerde buitenlucht, waardoor het energieverbruik wordt ruimteverwarming aanzienlijk wordt gereduceerd.
Ventilatiesystemen type X zijn in feite een mengvorm van beide systemen. In de woonkamer wordt een lokale ventilatieunit geplaatst met warmteterugwinning. Deze unit verzorgt zowel de toevoer van verse buitenlucht als de afvoer van gebruikte lucht en past daarbij wtw toe. De slaapverdieping wordt geventileerd m.b.v. systeem C, waarbij de af te voeren debieten uit de natte ruimtes zijn aangepast aan het oppervlak van de slaapkamers.

Systeem C is in Nederland het meest toegepast in zowel het bestaande woningbestand maar ook in nieuwbouw en renovatie, simpelweg omdat het een eenvoudig en relatief goedkoop systeem is dat voldoet aan het bouwbesluit en waarmee met enige creativiteit ook aan de EPC- (energie) eisen kan worden voldaan. Systeem D wordt (ondanks de hogere investering) in de nieuwbouw steeds meer toegepast vanwege de energieprestatie. Systeem X wordt zowel in nieuwbouw als renovatie toegepast en probeert beide pluspunten (energiebesparing en kostprijs c.q. eenvoud) te combineren.

Al deze types ventilatiesystemen met hun specifieke varianten zijn geselecteerd voor de monitoring studie. Tabel 2.1.1 geeft een nadere specificatie van de geselecteerde systemen. Per systeem wordt hier aangegeven wat de ventilatievoorzieningen per vertrek zijn, welk type regeling er is toegepast en of er

sprake is van warmteterugwinning of niet. De typenummers refereren aan de classificatie die wordt gehanteerd in de NEN8088-1, 2011.

Op verzoek van de betrokken woningcorporaties is ook gezocht naar woningen met systeem A (woningen met natuurlijke toevoervoorzieningen in verblijfsruimtes en natuurlijke afvoer vanuit natte ruimtes). Er is daarom ook een groep woningen geselecteerd met volledig natuurlijke voorzieningen (Systeem A), en een groep woningen waarbij alleen de slaapverdieping op volledig natuurlijke wijze wordt geventileerd en de woonkamer met een decentrale wtw-unit (Systeem X1/A).

*Tabel 2.1.1:*
*Type ventilatiesystemen die zijn geselecteerd voor het monitoring onderzoek MONICAIR deel A.*

| Systeem type | | Deel v.d. woning dat wordt bediend | Ventilatievoorzieningen | | | Controls | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Afvoer | Toevoer | WTW | Afvoer | Toevoer |
| Type A | A | Hele woning | Natuurlijke afvoer vanuit natte ruimtes | Natuurlijke toevoer-roosters verblijfsruimtes | Nee | Geen | Handbediend |
| Type C | C.1 | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit natte ruimtes | Natuurlijke toevoer-roosters verblijfsruimtes | Nee | 3-standen schakelaar | Handbediend |
| | C.2c | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit natte ruimtes | Drukgeregelde natuurlijke toevoer verblijfsruimtes | Nee | 3-standen schakelaar | Handbediend |
| | C.4a | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit natte ruimtes | Drukgeregelde natuurlijke toevoer verblijfsruimtes | Nee | $CO_2$-sensor woonkamer | Handbediend |
| | C.4c | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit alle ruimtes | Drukgeregelde natuurlijke toevoer verblijfsruimtes | Nee | $CO_2$ & RV regeling alle ruimtes | Handbediend |
| Type D | D.2 | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit natte ruimtes | Mechanische toevoer verblijfsruimtes | Ja | 3-standen schakelaar | |
| | D.5a | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit natte ruimtes | Mechanische toevoer verblijfsruimtes | Ja | 3-standen schakelaar icm met $CO_2$-sturing (2 zone meting) | |
| | D.5b | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit alle ruimtes | Mechanische toevoer verblijfsruimtes | Ja | $CO_2$ en RV -gestuurde regeling ventilatiedebiet | |
| | D.x | Hele woning | Mechanische afvoer vanuit alle ruimtes | Mechanische toevoer verbindingsruimtes | Ja | $CO_2$ en RV gestuurde regeling ventilatiedebiet | |
| Hybride | X1/C | Woongedeelte: D | Mechanische afvoer vanuit woonkamer | Mechanische toevoer verblijfsruimtes | Ja | $CO_2$ en RV -gestuurde regeling ventilatiedebiet | |
| | | Slaapgedeelte: C.2c | Mechanische afvoer vanuit natte ruimtes | Drukgeregelde natuurlijke toevoer slaapkamers | Nee | 3-standen schakelaar | Handbediend |
| | X1/A | Woongedeelte: D | Mech. extraction in hab.rooms | Mechanische toevoer verblijfsruimtes | Ja | $CO_2$ en RV -gestuurde regeling ventilatiedebiet | |
| | | Slaapgedeelte: A | Natuurlijke afvoer vanuit natte ruimtes | Drukgeregelde natuurlijke toevoer slaapkamers | Nee | Geen | Handbediend |

## 2.2.
## Woningselectie

Het zoeken en realiseren van voor dit onderzoek geschikte meetlocaties is een forse uitdaging gebleken. Zonder hulp van de betrokken woningcorporaties was dit vermoedelijk niet binnen de gegeven termijn gelukt. De eerste vereiste was om clusters van vergelijkbare woningen te vinden waarin een van de geselecteerde ventilatiesystemen is toegepast, dit moesten tevens woningen zijn die vanwege het bereik van de datacommunicatie apparatuur ook niet te ver uit elkaar konden liggen.
De tweede voorwaarde betrof de bewoners zelf; zij moesten vanzelfsprekend de bereidheid tonen om mee te werken aan een onderzoek waarbij er in ieder vertrek sensoren worden geïnstalleerd waarmee continu informatie over de binnenluchtkwaliteit en het energieverbruik gemeten en gelogd kunnen worden. Ook hier bleek de backing en medewerking van de betrokken woningcorporaties onontbeerlijk.
De derde eis betrof de luchtdichtheid van de woning ofwel de $q_{v;10}$ -waarde, welke bij voorkeur kleiner of gelijk dient te zijn aan 1,0 $dm^3/s.m^2$. Veel aanvankelijk geselecteerde woningclusters die op papier een $q_{v;10}$ van ≤ 1.0 $dm^3/s.m^2$ hebben, bleken daar in de praktijk bij een *blower door* sample meting niet aan te voldoen. Uiteindelijk is deze strikte eis iets versoepeld tot woningen met een $q_{v;10}$ –waarde van om en nabij de 1.0 $dm^3/s.m^2$. Van iedere woningcluster is uiteindelijk bij één woning *blower door* test uitgevoerd, waarvan het resultaat als representatief wordt gezien voor de overige woning in die betreffende cluster.
Tenslotte was het een uitdrukkelijke wens, dat in alle deelnemende woningen een bepaald type HR-combiketel is geïnstalleerd, die het loggen van het instantane gasverbruik voor ruimteverwarming en warm tapwater zou faciliteren. Deze wens heeft er toe geleid dat, speciaal voor dit onderzoek, in een aantal woningen de combiketel is vervangen.

Uiteindelijk zijn tweeënzestig families uit evenzoveel woningen bereid gevonden mee te werken aan het MONICAIR project. Tabel 2.2.1. geeft een geanonimiseerd overzicht van de woningen en aantal bewoners per ventilatiesysteem.

*Tabel 2.2.1: Typering van woningen/gezinnen die deelnemen aan het MONICAIR onderzoek, ingedeeld naar type ventilatiesysteem*

| Type Vent. Syst. | Nr. | Woningtype | Ag [m2] | Aantal inwoners | $q_{v;10}$ [$dm^3/s.m^2$] | Aantal gemeten verblijfsruimtes (incl. woonkeuken) | Aantal gemeten natte ruimtes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | A-1 | portiekwoning | 56,13 | 1 | 1,568 | 3 | 2 |
| | A-2 | tussenwoning | 66,07 | 2 | 1,242 | 4 | 2 |
| | A-3 | hoekwoning | 85,30 | 4 | 3,082 | 4 | 2 |
| | A-4 | tussenwoning | 85,30 | 3 | 3,713 | 4 | 2 |
| | A-5 | tussenwoning | 85,30 | 2 | 3,713 | 4 | 2 |
| Type C.1 | C1-1 | hoekwoning | 70,00 | 1 | 2,637 | 3 | 2 |
| | C1-2 | hoekwoning | 68,00 | 2 | 2,637 | 3 | 2 |
| | C1-3 | tussenwoning | 70,00 | 3 | 2,637 | 3 | 2 |
| | C1-4 | tussenwoning | 103,36 | 4 | 1.312 | 4 | 2 |
| | C1-5 | tussenwoning | 103,36 | 3 | 1.312 | 4 | 2 |
| | C1-6 | hoekwoning | 125,62 | 4 | 1.312 | 5 | 2 |
| Type C.2c | C2c-1 | tussenwoning | 96,12 | 1 | 1,003 | 4 | 1 |
| | C2c-2 | tussenwoning | 96,12 | 3 | 1,003 | 4 | 1 |
| | C2c-3 | tussenwoning | 96,12 | 4 | 1,003 | 4 | 1 |
| | C2c-4 | hoekwoning | 96,12 | 3 | 1,003 | 4 | 1 |
| | C2c-5 | hoekwoning | 96,12 | 5 | 1,003 | 5 | 1 |
| | C2c-6 | tussenwoning | 96,12 | 4 | 1,003 | 5 | 1 |

| Type Vent. Syst. | Nr. | Woningtype | Ag [m2] | Aantal inwoners | $q_{v;10}$ [$dm^3/s.m^2$] | Aantal gemeten verblijfsruimtes (incl. woonkeuken) | Aantal gemeten natte ruimtes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type C .4a | C4a-1 | tussenwoning | 66.07 | 2 | 1,242 | 4 | 2 |
| | C4a-2 | hoekwoning | 66.07 | 2 | 1,242 | 4 | 2 |
| | C4a-3 | tussenwoning | 66.07 | 2 | 1,242 | 3 | 2 |
| | C4a-4 | tussenwoning | 66.07 | 5 | 1,242 | 4 | 2 |
| Type C.4c | C4c-1 | hoekwoning | 108,33 | 1 | 1,440 | 4 | 1 |
| | C4c-2 | tussenwoning | 108,33 | 1 | 1,440 | 3 | 1 |
| | C4c-3 | tussenwoning | 108,33 | 2 | 1,440 | 4 | 1 |
| | C4c-4 | tussenwoning | 108,33 | 2 | 1,440 | 3 | 1 |
| | C4c-5 | hoekwoning | 108,33 | 1 | 1,440 | 3 | 1 |
| | C4c-6 | hoekwoning | 108,33 | 3 | 1,440 | 4 | 1 |
| Type D.2 | D2-1 | 2onder1kap | 139,86 | 2 | 0,602 | 4 | 1 |
| | D2-2 | 2onder1kap | 110,53 | 5 | 0,602 | 4 | 1 |
| | D2-3 | 2onder1kap | 135,63 | 2 | 0,602 | 4 | 1 |
| | D2-4 | 2onder1kap | 146,01 | 4 | 0,602 | 4 | 1 |
| | D2-5 | tussenwoning | 91,90 | 4 | 0,602 | 4 | 1 |
| | D2-6 | tussenwoning | 91,90 | 3 | 0,602 | 4 | 1 |
| Type D.5a | D5a-1 | tussenwoning | 92,92 | 1 | 0,826 | 4 | 1 |
| | D5a-2 | 2onder1kap | 119,85 | 2 | 0,854 | 4 | 1 |
| | D5a-3 | 2onder1kap | 92,92 | 2 | 0,625 | 4 | 1 |
| | D5a-4 | tussenwoning | 92,92 | 3 | 1,283 | 4 | 1 |
| | D5a-5 | 2onder1kap | 92,92 | 2 | 0,826 | 4 | 1 |
| | D5a-6 | 2onder1kap | 119,85 | 3 | 0,625 | 4 | 1 |
| | D5a-7 | hoekwoning | 122,26 | 2 | 0,150 | 5 | 1 |
| | D5a-8 | tussenwoning | 122,26 | 3 | 0,150 | 5 | 1 |
| | D5a-9 | tussenwoning | 122,26 | 3 | 0,150 | 5 | 1 |
| | D5a-10 | tussenwoning | 122,26 | 1 | 0,150 | 5 | 1 |
| Type D.5b | D5b-1 | hoekwoning | 66,07 | 3 | 1,242 | 3 | 2 |
| | D5b-2 | tussenwoning | 66,07 | 2 | 1,242 | 3 | 2 |
| | D5b-3 | hoekwoning | 66,07 | 1 | 1,242 | 3 | 2 |
| | D5b-4 | tussenwoning | 66,07 | 2 | 1,242 | 3 | 2 |
| Type Dx | Dx-1 | tussenwoning | 108,33 | 2 | 1,138 | 4 | 1 |
| | Dx-2 | hoekwoning | 108,33 | 2 | 1,138 | 4 | 1 |
| | Dx-3 | hoekwoning | 108,33 | 2 | 1,138 | 4 | 1 |
| Type X1/C | X1C-1 | tussenwoning | 66,07 | 4 | 1,242 | 4 | 2 |
| | X1C-2 | tussenwoning | 66,07 | 2 | 1,242 | 4 | 2 |
| | X1C-3 | hoekwoning | 66,07 | 2 | 1,242 | 4 | 2 |
| | X1C-4 | tussenwoning | 66,07 | 1 | 1,242 | 4 | 2 |
| | X1C-5 | hoekwoning | 66,07 | 2 | 1,242 | 4 | 2 |
| Typ X1/A | X1A-1 | portiekwoning | 56,13 | 1 | 1,568 | 3 | 2 |
| | X1A-2 | portiekwoning | 56,13 | 2 | 1,568 | 3 | 2 |
| | X1A-3 | portiekwoning | 56,13 | 1 | 1,568 | 3 | 2 |

Alvorens te starten met  de daadwerkelijke monitoring, zijn de ventilatiesystemen gecheckt op ventilatiedebiet en waar nodig ingeregeld volgens de geldende bouwbesluiteisen. Bij de correct ingestelde debieten is ook het bijbehorende stroomverbruik gemeten.

## 2.3
## Intake interviews bewoners

Voor de start van de data monitoring zijn ook intake gesprekken gevoerd met de bewoners. Doel was een indruk te verkrijgen van de perceptie omtrent ventilatie en van het gedrag dat ze zelf denken te vertonen voor wat betreft activiteiten die van invloed zijn op de binnenluchtkwaliteit. Deze paragraaf geeft een impressie van de resultaten van deze intake interviews. Opmerking: er is tijdens dit onderzoek geen kwalitatieve informatie verzameld van de woningen met systeem Dx en systeem X1/A. Deze systemen ontbreken dus in onderstaande kwalitatieve beschouwingen.

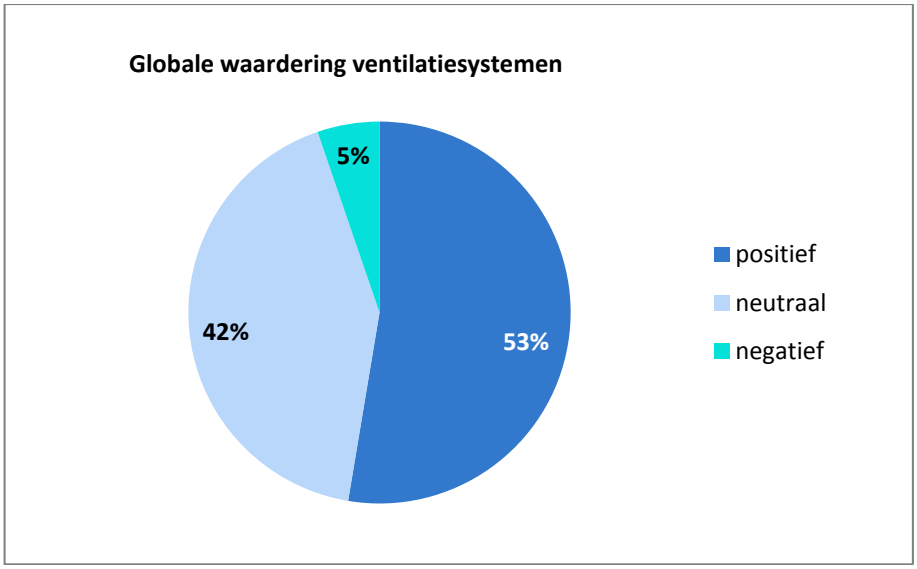
### 2.3.1
### Algemeen beeld ventilatiesystemen

Bewoners associëren ventilatiesystemen met de volgende begrippen:



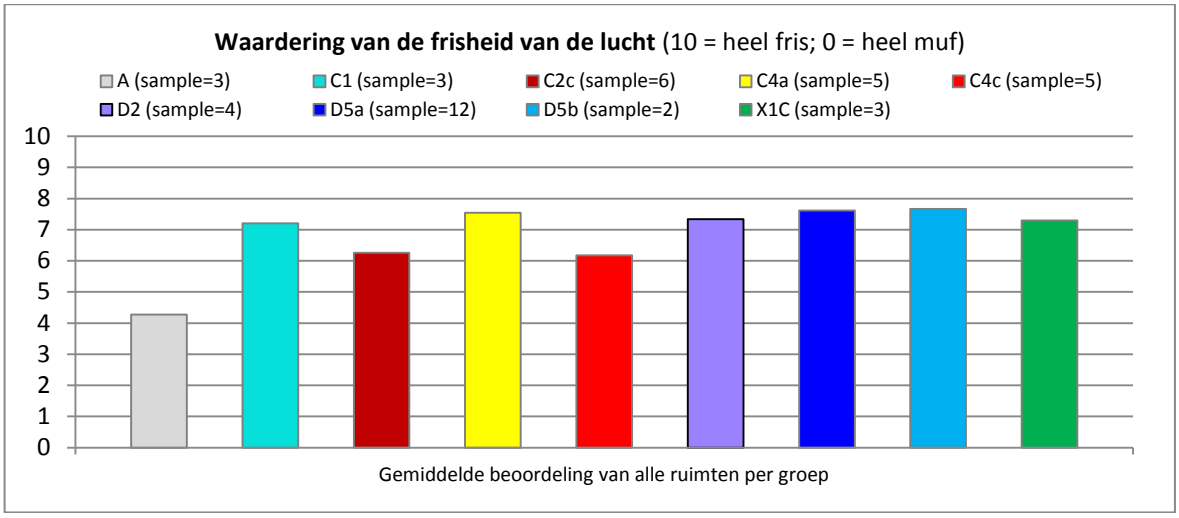

*Figuur 2.3.1.1 Woordbeeld van begrippen die met ventilatiesystemen worden geassocieerd*

Bewoners hebben de volgende waarde associatie bij ventilatiesystemen:



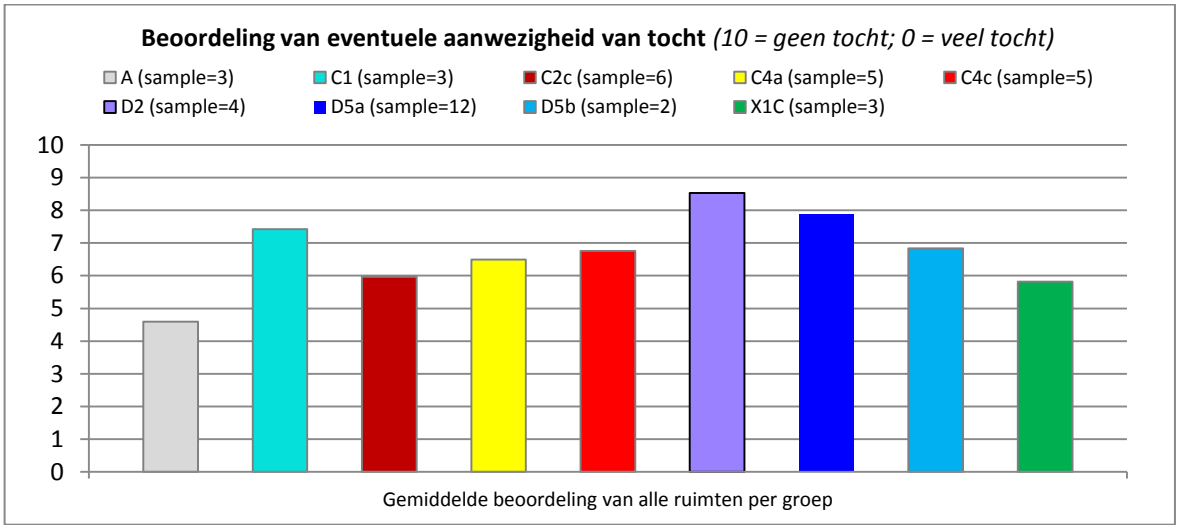

*Figuur 2.3.1.2 Waarde associatie ventilatiesystemen*

De volgende waardering is gegeven over de frisheid van de lucht in de verschillende vertrekken



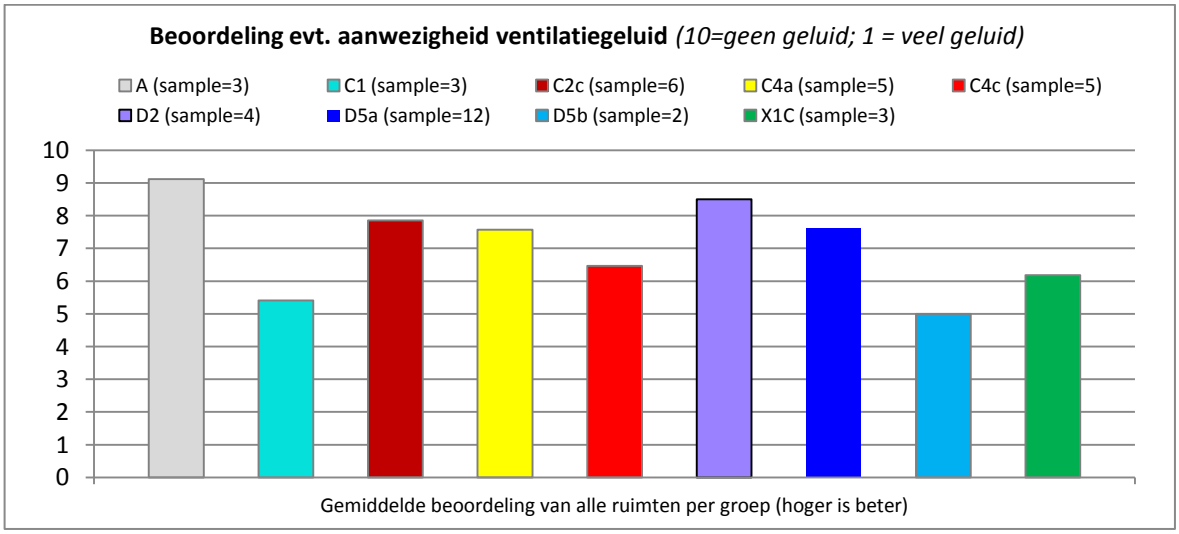

*Figuur 2.3.1.3 Gemiddelde waardering van de frisheid van de lucht in de vertrekken van de woning*

Bewoners geven de volgende beoordeling omtrent de eventuele aanwezigheid van tocht




*Figuur 2.3.1.4 Gemiddelde beoordeling omtrent aanwezigheid van tocht*

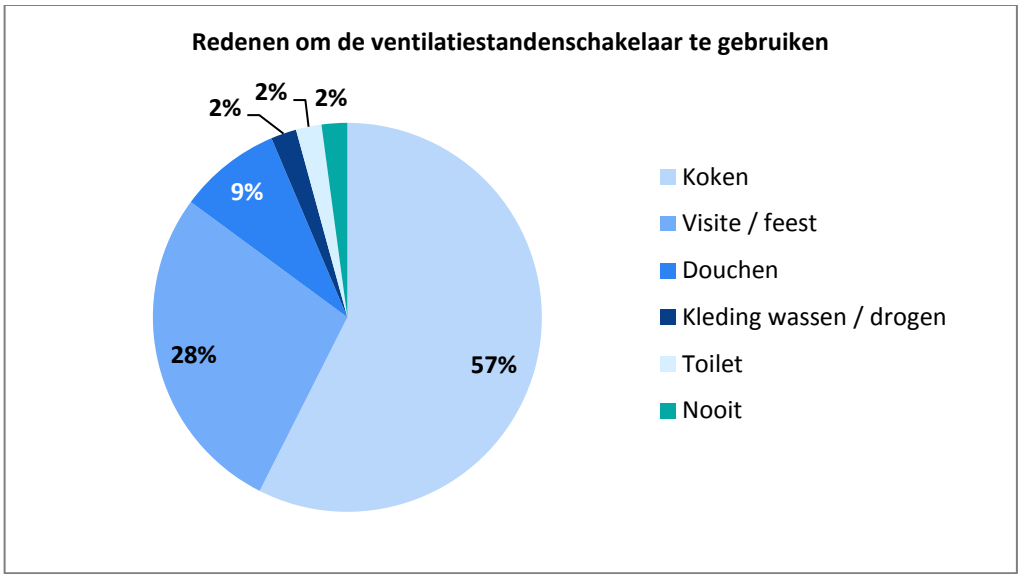
Bewoners geven de volgende waardering mbt de geluidproductie van het ventilatiesysteem




*Figuur 2.3.1.5 Gemiddelde beoordeling omtrent aanwezigheid ventilatiegeluid*

### 2.3.2
### Gebruik standenschakelaar ventilatiesysteem

Slechts in één woning wordt de standenschakelaar niet of nauwelijks gebruikt. In alle andere woningen wordt wel regelmatig de standerschakelaar van het ventilatiesysteem gebruikt. Onderstaande figuur 2.3.2.1 geeft aan welke aanleidingen er zijn om de schakelaar te gebruiken.

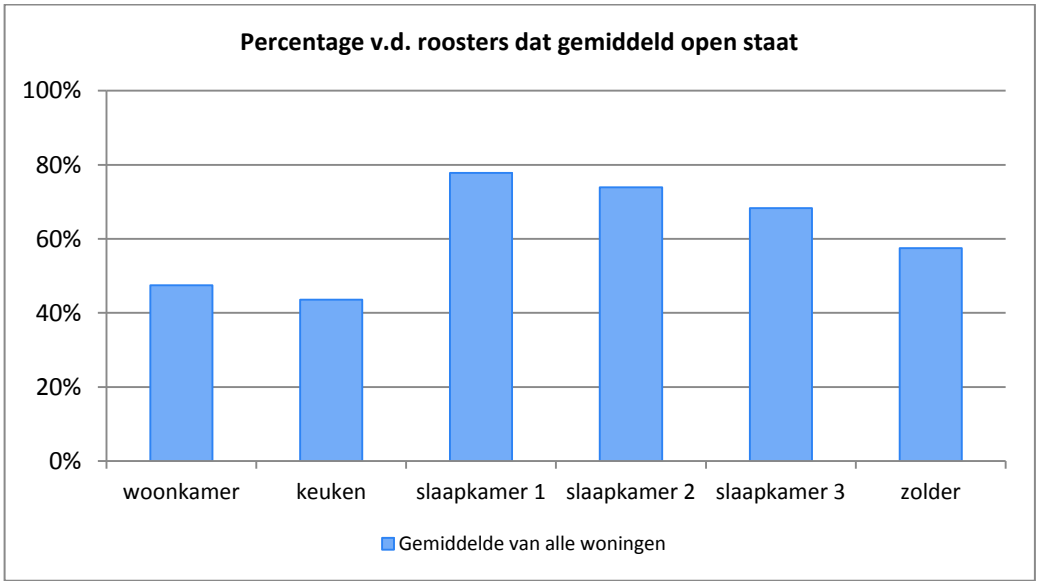



*Figuur 2.3.2.1 Redenen waarom de standenschakelaar van de ventilatie-unit wordt gebruikt*

Eten koken, het incidentele feestje en douchen zijn de voornaamste redenen waarom de ventilatie tijdelijk in een hogere stand wordt gezet.

### 2.3.3
### Gebruik ventilatieroosters

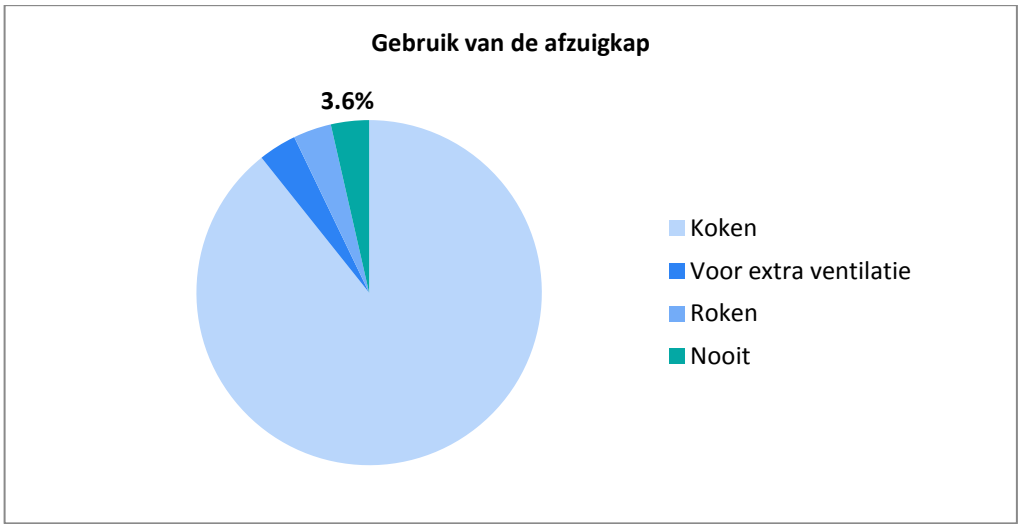
Onderstaande figuur geeft aan in hoeveel  van de woningen de ventilatieroosters open staan in de verschillende verblijfsruimtes (volgens inschattingen van de bewoner zelf).




*Figuur 2.3.3.1 aandeel verblijfsruimtes waarin de ventilatieroosters open staan.*

Volgens opgave van de bewoners staan de roosters in de slaapkamers voor het grootste deel open. Slechts in de helft van de ondervraagde woningen staan ook de roosters in de woonkamer en keuken open.

### 2.3.4
### Gebruik afzuigkap

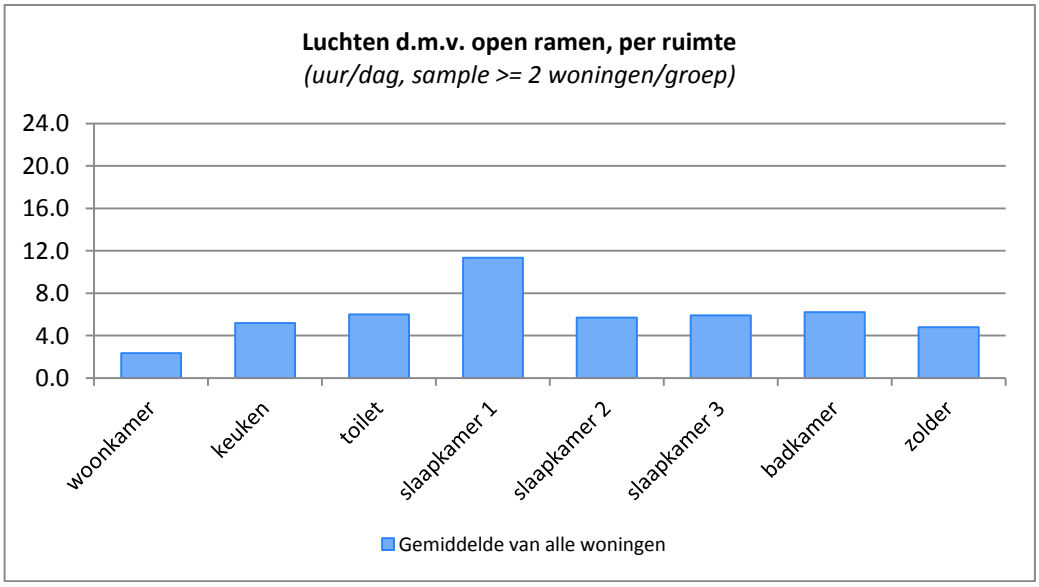



*Figuur 2.3.4.1 Redenen waarom de afzuigkap wordt gebruikt*

Zoals te verwachten noemt men koken (met 90%) als belangrijkste reden voor het gebruik van de afzuigkap. Een enkeling gebruikt de afzuigkap ook om geuroverlast als gevolg van roken weg te nemen.

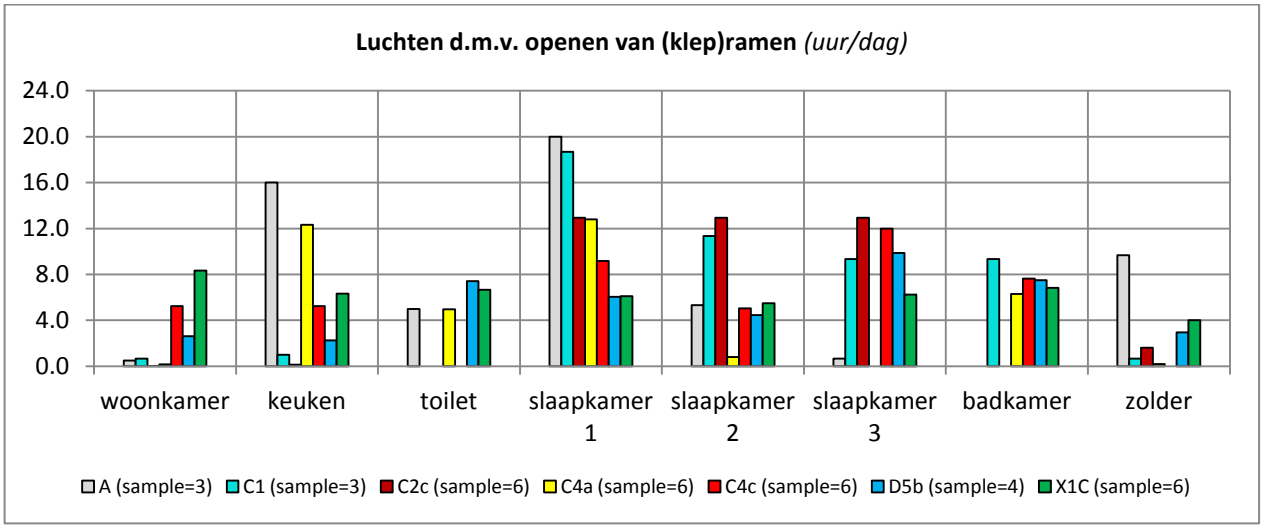
### 2.3.5
### Luchten dmv openen (klep)ramen.

Het luchten van de verschillende vertrekken met behulp van (klep)ramen gebeurd gemiddeld 5 a 6 uur per dag per vertrek. Uitzonderingen zijn de woonkamer met gemiddeld 2 uur per dag en de ouderslaapkamer, met gemiddeld bijna 12 uur per dag.




*Figuur 2.3.5.1 Gemiddeld aantal uren per dat een vertrek wordt gelucht, volgens opgave van de bewoners.*

Wanneer naar de antwoorden van de individuele wordt gekeken, verschillen de opgegeven periodes van 0 tot 24 uur, ofwel sommige mensen luchten nooit en anderen doen dat 24 uur per dag. Onderstaande grafiek geeft een beeld van de verdeling van de luchttijd tussen de verschillende ventilatiesystemen onderling.




*Figuur 2.3.5.2 Gemiddeld aantal uren per ventilatiesysteem dat een vertrek wordt gelucht, volgens opgave van de bewoners.*

## 2.4
## Data monitoring system

De volgende datalog-apparatuur is toegepast voor het MONICAIR onderzoek:

Sensoren verblijfsruimtes

In alle verblijfsruimtes (woonkamers, slaapkamers, studeerkamers, etc.):

- $CO_2$ sensor (NDIR type, nauwkeurigheid van ± 50 ppm). Meetfrequentie : iedere 5 minuten. (Deze sensor voor zover mogelijk centraal in de ruimte geïnstalleerd, op ca. 1,20 m hoogte vanaf de vloer, niet in de nabijheid van deuren en/of ramen).
- Temperatuur sensor (luchttemperatuur). Meetfrequentie : iedere 5 minuten.
- Relatieve luchtvochtigheid sensor. Meetfrequentie : iedere 5 minuten.
- Bewegingssensor (PIR-type). Maximale meetfrequentie: 1 x per ca. 7 minuten

Sensoren natte ruimtes

In alle natte ruimtes (badkamer, separate (dwz van kamer afgesloten) keuken)

- Relatieve luchtvochtigheid sensor. Meetfrequentie : iedere 5 minuten.

Sensoren mechanische ventilatie-units

Alle mechanische ventilatie units (MV-units, centrale en lokale wtw-units) zijn voorzien van sensoren waarmee het actuele stroomverbruik is gemeten. Meetfrequentie: iedere 10 minuten, en iedere verandering binnen deze periode.

Data logging HR combi ketel

Met behulp van het IM protocol wordt ten minste 1 maal per 6 minuten data vanuit de HR-combi ketel gelogd. De gelogde data heeft – naast enkele andere zaken - betrekking op het actuele gasverbruik voor ruimteverwarming en voor warm tapwater.

Overig

Naast bovengenoemde data logging wordt ook de data van ventilatie-units die oven rf-communicatie beschikken gelogd in een frequentie van een sper 5 minuten. Het gaat hier om de systemen C.4c en D.x alsmede om de decentrale wtw-units.

Tenslotte wordt data verzameld van de KNMI-weerstations die het dichtst bij de verschillende woning clusters ligt. Het gaat hierbij om de volgende data betreffende de buitencondities, welke eens per uur wordt verzameld:

- Temperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid
- Windsnelheid
- Windrichting
- Luchtdruk

Per woningcluster wordt de data met bijbehorende *timestamp* via rf-communicatie verzameld en opgeslagen op een locale PC. Via FTP-connectie wordt de alhier opgeslagen data op reguliere basis gekopieerd naar de centrale MONICAIR SQL-database.

# 3. Data analyse

Gedurende een periode van meer dan een jaar is de in de vorige paragraaf beschreven data verzameld van 62 woningen en evenzoveel ventilatiesystemen. Met deze data kan inzicht worden verkregen in de energieprestatie van de betreffende ventilatiesystemen (debiet en energie-inhoud van het uitgewisselde lucht) en in de bijbehorende prestaties op het gebied van binnenluchtkwaliteit ($CO_2$-concentraties, relatieve luchtvochtigheid en ruimtetemperatuur) per vertrek.
De data omtrent het gasverbruik voor ruimteverwarming kan verder inzicht verschaffen in het energieverbruik van de woning in relatie tot de toegepaste installatie, kierdichtheid, isolatiewaarde en oriëntatie van de woning en het stookgedrag (gerealiseerde temperatuur per vertrek). De data geeft immers ook zicht op een aantal aspecten van het bewonersgedrag, waaronder voorkeur t.a.v. ruimtetemperatuur per vertrek, schakelgedrag van mechanische ventilatie-units, het gebruik van afzuigkappen en het warmwaterverbruik.
Meerdere invalshoeken kunnen gekozen worden voor de data analyses. Vanwege de beschikbare budgetten en de focus van werkpakket WP1a, zullen de analyses in dit rapport zich beperken tot de energieprestatie van de verschillende ventilatiesystemen en de bijbehorende prestaties op het gebied van binnenluchtkwaliteit gedurende het stookseizoen. Het stookseizoen is immers de periode waarin de ruimtes worden verwarmd en waarin de roosters en ramen niet per definitie open staan. Om een zo volledig mogelijk beeld van praktijk te krijgen, zal – zolang de datavulling per dag >90% is - alle data bij de analyse worden meegenomen. Het vaststellen van de spreiding in de data is ook een expliciet doel van dit onderzoek. Dit betekent dat ook data van woningen waarin de ventilatie-unit tijdelijk is uitgezet wordt meegenomen, alsmede data die sterk van de gemiddelde waardes afwijkt.
In werkpakket WP1b zullen de analyses worden verricht die betrekking hebben op het energieverbruik voor ruimteverwarming en tapwater en de relatie met woning- en installatiekwaliteit, comfort en bewonersgedrag.

## 3.1
## Beoordeling binnenluchtkwaliteit verblijfsruimtes

Een universele en internationaal geaccepteerde methode voor het bepalen van de gerealiseerde binnenluchtkwaliteit in woningen bestaat (nog) niet. Er is wel volop discussie tussen de betrokken gremia over de relatie tussen ventilatiecapaciteit en binnenluchtkwaliteit.

***Bouwbesluit Nederland***
Het Bouwbesluit stelt eisen aan de ventilatiecapaciteit welke tenminste gerealiseerd moet kunnen worden in een woning en via NEN1087 worden ook eisen gesteld aan de inrichting van ventilatievoorzieningen.
De capaciteitseisen zijn gebaseerd op het oppervlak van de vertrekken : 0,7 en 0,9 l/s/m$^2$ voor verblijfsruimtes respectievelijk verblijfsgebieden, met een minimum van 7 l/s per ruimte. Voor natte ruimtes (keuken, badkamer,toilet) geldt dat afvoervoorzieningen moeten zijn aangebracht met een bepaalde minimale capaciteit.
De veronderstelling hierbij is, dat met deze capaciteit- en inrichtingseisen (NEN1087) de $CO_2$-concentratie in de individuele vertrekken beneden de 1200 ppm $CO_2$ blijft, welke waarde gebaseerd is op het advies van de gezondheidsraad, die daarbij uitgaat van een minimale ventilatie van 25 m$^3$/h per persoon.

De $CO_2$-concentratie is een internationaal algemeen geaccepteerde indicator of maatstaf voor de binnenluchtkwaliteit van ruimtes waarin de verontreiniging hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van mensen. In de literatuur worden geen grenswaarden gedefinieerd met betrekking tot de overschrijdingen c.q. afwijkingen die toelaatbaar zijn op deze concentratie van 1200 ppm $CO_2$.

**Gezondheidsraad**
In een meer recent advies van de Gezondheidsraad aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu wordt aangegeven dat er ontwikkelingen gaande zijn die een structurele monitoring van binnenmilieu voor de toekomst noodzakelijk maken, waaronder de verbeterde isolatie en kierdichtheid van woningen, emissies van bouwmaterialen, emissies van producten in woningen (vlamvertragers, weekmakers, sensibiliserende stoffen), vergrijzing van de bevolking en de bijbehorende afname van fysiologische processen, veranderingen in het buitenmilieu, etc.
Deze ontwikkelingen kunnen er voor zorgen dat de $CO_2$ concentratie straks niet de enige maatstaf is die voor de bepaling van de binnenluchtkwaliteit kan worden gehanteerd.

**EN 15251 Indoor Environmental Criteria for Energy Performance Calculations**
EN 15251 is een door Nederland aanvaarde Europese Norm en geeft binnenmilieu gerelateerde input parameters voor zowel ontwerp als beoordeling van de energieprestatie van gebouwen in relatie tot binnenluchtkwaliteit, thermisch comfort en akoestiek. Deze norm wordt momenteel herzien en er wordt tevens een bijbehorend Technical Report opgesteld, welke als richtlijn kan dienen voor toepassing van deze herziene norm.

Volgens de voorlopige prEN 15251 versie, kunnen de volgende drie methoden worden gehanteerd voor de bepaling van de ontwerpparameters tbv de binnenluchtkwaliteit in woningen:

a) Methode gebaseerd op de waargenomen luchtkwaliteit
b) Methode gebaseerd op de concentratie van een bepaalde vervuilende stof
c) Methode gebaseerd op een vooraf gedefinieerd ventilatiedebiet

Bij methode b) dient te allen tijde ook de $CO_2$-concentratie te worden betrokken in de beschouwing.
Bij methode c) gaat het om de '*ach*' (air change per hour) per ruimte, maar voor woningen mag -vreemd genoeg- ook de *overall ach* van de woning worden beschouwd.
De norm stelt verder dat, om gezondheidsredenen, het totale ventilatiedebiet niet lager mag zijn dan 4 l/s per persoon.
Voor methode b) worden in de prEN 15251 ook grenswaarden genoemd voor verschillende categorieën van binnenluchtkwaliteit:

*Tabel 3.1.1: Ontwerp $CO_2$-concentraties boven de buitenconcentraties en de bijbehorende luchtvolumestromen per persoon*

| Categorie | Toelichting | $CO_2$ concentratie > buitenconcentratie in ppm per persoon |
|---|---|---|
| I | Passend bij hoog verwachtingsniveau, aanbevolen voor ruimtes waarin kwetsbare mensen vertoeven (ouderen, zieken, hele jonge kinderen, etc.) | 550 (10 l/s/pp) |
| II | Passend bij normaal verwachtingsniveau | 800 (7 l/s/pp) |
| III | Passend bij gematigd verwachtingsniveau | 1350 (4 l/s/pp) |
| IV | Passend bij laag verwachtingsniveau; toelaatbaar gedurende beperkte tijd. | >1350 |

Standaard gemiddelde buitenconcentratie is 400 ppm

*Tabel 3.1.2: Ontwerp $CO_2$-concentraties verblijfsruimtes bij een aangenomen standaard $CO_2$-emissie van 20 l/h/pp voor niet slaapkamers en 13,6 l/h/pp voor slaapkamers*

| Categorie | Ontwerp $\Delta CO_2$-concentratie voor verblijfsruimtes (niet slaapkamers) in ppm boven de buitenconcentratie | Ontwerp $\Delta CO_2$-concentratie voor slaapkamers in ppm boven de buitenconcentratie |
|---|---|---|
| I | 550 (10 l/s/pp) | 380 |
| II | 800 (7 l/s/pp) | 550 |
| III | 1350 (4 l/s/pp) | 950 |
| IV | > 1350 | 950 |

De prEN 15251 geeft helaas geen grenswaarden voor de afwijkingen c.q. overschrijdingen die toelaatbaar zijn om nog in een van de klassen te kunnen vallen.

Informatieve Annex G van de conceptversie van de TR 15251 geeft wel wat aanknopingspunten voor een dergelijke evaluatie. Onder de kop '*Recommended criteria for acceptable deviations*' wordt het volgende tekstvoorstel gedaan: "niet meer dan 3% (of 6%) van de aanwezige tijd mag de limiet per jaar overschreden worden om in de aangegeven categorie te kunnen vallen".

**VLA methodiek**

In Nederland heeft de Vereniging Leveranciers Luchttechnische Apparaten (VLA) samen met Peutz, Nieman Raadgevend Ingenieurs, Cauberg-Huygen Raadgevend Ingenieurs en TNO een systematiek ontwikkeld om het energieverbruik (besparing) van ventilatiesystemen te bepalen, om daarmee gecontroleerde gelijkwaardigheidverklaringen af te kunnen geven. Het betreft hier een simulatiemodel waarbij naast het energieverbruik natuurlijk ook wordt gekeken naar de prestatie van het ventilatiesysteem op het gebied de binnenluchtkwaliteit.

Voor de beoordeling van de luchtkwaliteit wordt per bewoner de blootstelling aan $CO_2$-concentries bepaald, gesommeerd over de verschillende verblijfsruimtes. Als grenswaarde voor de $CO_2$-concentratie wordt hierbij uitgegaan van 800 ppm boven de concentratie van de buitenlucht (welke op 400 ppm wordt gesteld). Voor de toetsing wordt zowel gekeken naar de hoogte van de overschrijding (hoeveel hoger is de concentratie boven de 1200 ppm) en de duur van de overschrijding (hoe lang duurt de periode dat de $CO_2$ boven de 1200 ppm is). Het product van beide waardes geeft de LKI-index (luchtkwaliteitindex) .

In formulevorm, LKI voor persoon $i$ :

$$LKI_i = \sum ( C_{optredend} - 1200 ) / 1000 * tijd_{optredend} \quad [kppmh]$$

*Hierin is*

| | |
|---|---|
| $LKI_i$ | : Luchtkwaliteitindex van persoon $i$, in kppmh |
| $C_{optredend}$ | : De optredende waarde van de $CO_2$-concetratie in een verblijfsruimte |
| 1200 | : De som v.d. buitenconcentratie (400 ppm) plus de grenswaarde-concentratie (800 ppm) |
| 1000 | : Getal nodig voor de conversie van ppm naar kppm |
| $tijd_{optredend}$ | : De tijdsduur van de $CO_2$-overschrijding |

De LKI ofwel de $CO_2$-overschrijding wordt dus uitgedrukt in kilo-ppm-uren [pppmh] per persoon. Over de aan te houden grenswaarde voor de LKI worden nog volop discussies gevoerd. Een definitieve grenswaarde is hiervoor nog niet bepaald, laat staan de toegestane afwijkingen op de nog te stellen grenswaarde. Zou men de LVI (Lage Ventilatie Index) van 0,005 uit oudere simulatieprogramma's overnemen en een vergelijkbare luchtkwaliteit voor het nieuwe simulatiemodel eisen, dan zou dat overeenkomen met LKI van 30 kppmh. In hoeverre deze theoretisch bepaalde waarden representatief zijn voor de praktijk, zullen de resultaten van MONICAIR WP1a moeten uitwijzen.

## 3.2
## Indicator binnenluchtkwaliteit verblijfsruimtes

Op basis van de beschouwingen in paragraaf 3.1, zal in deze studie de volgende methode worden gehanteerd voor de bepaling van de prestatie op het gebied van de binnenluchtkwaliteit in verblijfsruimtes:

a) Bepaal voor iedere verblijfsruimte in de woning het gemiddelde aantal uren per dag in het stookseizoen waarin de $CO_2$-concentratie boven de grenswaarde van 1200 ppm ligt (eenheid: *uren/dag*). Deze grenswaarde komt overeen met het advies van de gezondheidsraad welke ook als uitgangspunt voor het bouwbesluit is gehanteerd. Deze grenswaarde komt ook overeen met klasse II van prEN 15251, passende bij 'normaal verwachtingsniveau' vwb binnenluchtkwaliteit.
b) Bepaal voor iedere verblijfsruimte in de woning de gemiddelde concentratie waarmee de grenswaarde van 1200 ppm $CO_2$ gedurende het stookseizoen per uur is overschreden (eenheid: *ppm*)
c) Bereken de totale $CO_2$-overschrijding gedurende het stookseizoen in kppmh van iedere verblijfsruimte in de woning, door de uitkomst van a) en b) met elkaar te vermenigvuldigen en dit getal vervolgens te vermenigvuldigen met het aantal stookdagen (212) en te delen door 1000 om de uiteindelijke uitkomst om te zetten van ppmh naar kppmh.
d) Tel de $CO_2$-overschrijdingen van alle verblijfsruimtes in de woning bij elkaar op en deel dit vervolgens door het aantal inwoners van de betreffende woning; hiermee is de $CO_2$-overschrijding in kppmh per persoon gedurende het stookseizoen bepaald.

Opmerking 1.
De berekeningen onder a) en b) worden per periode van 5 minuten gemaakt (= log frequentie) en vervolgens getotaliseerd naar uren per dag of overschrijding per uur.

Opmerking 2.
De onder d) voorgestelde berekening voor de bepaling van de $CO_2$-overschrijding per persoon zal lager uitvallen dan in werkelijkheid het geval is, omdat deze methode geen rekening houdt met het feit dat meerdere mensen in een vertrek (ouderslaapkamer) dezelfde $CO_2$-overschrijding kunnen ondergaan.

Naast De $CO_2$-concentraties zal ook worden gekeken naar de relatieve luchtvochtigheid van de verschillende ruimtes. Berekend zal worden hoeveel uren per dag de rh gemiddeld > 70% ligt en hoeveel uren per dag gemiddeld onder de 30%.

## 3.3
## Indicator binnenluchtkwaliteit natte ruimtes

Omdat bewoners beperkte tijd aanwezig zijn in de natte ruimtes (badkamer, toilet, separate keuken), zal de $CO_2$ overschrijding in deze ruimtes beperkt zijn. Zwaarte punt vwb de analyse van de luchtkwaliteit zal hier komen te liggen op de relatieve luchtvochtigheid. Als comfort grenzen zal in deze studie een bovenwaarde worden aangehouden van 70% en een onderwaarde van 30% relatieve luchtvochtigheid. Ver vertrek zal worden bekeken hoeveel uren per dag de relatieve luchtvochtigheid boven de 70% ligt en hoeveel uren per dag de relatieve luchtvochtigheid onder de 30% ligt.

Als gevolg van kookactiviteiten zal naar verwachting de keuken tijdens maaltijd bereiding hogere concentraties van vervuilende stoffen laten zien, en zullen ook $CO_2$-concentraties en rh-waarden stijgen. Alleen de laatste kunnen in dit onderzoek zichtbaar worden gemaakt.

## 3.4
## Indicator voor de energieprestatie

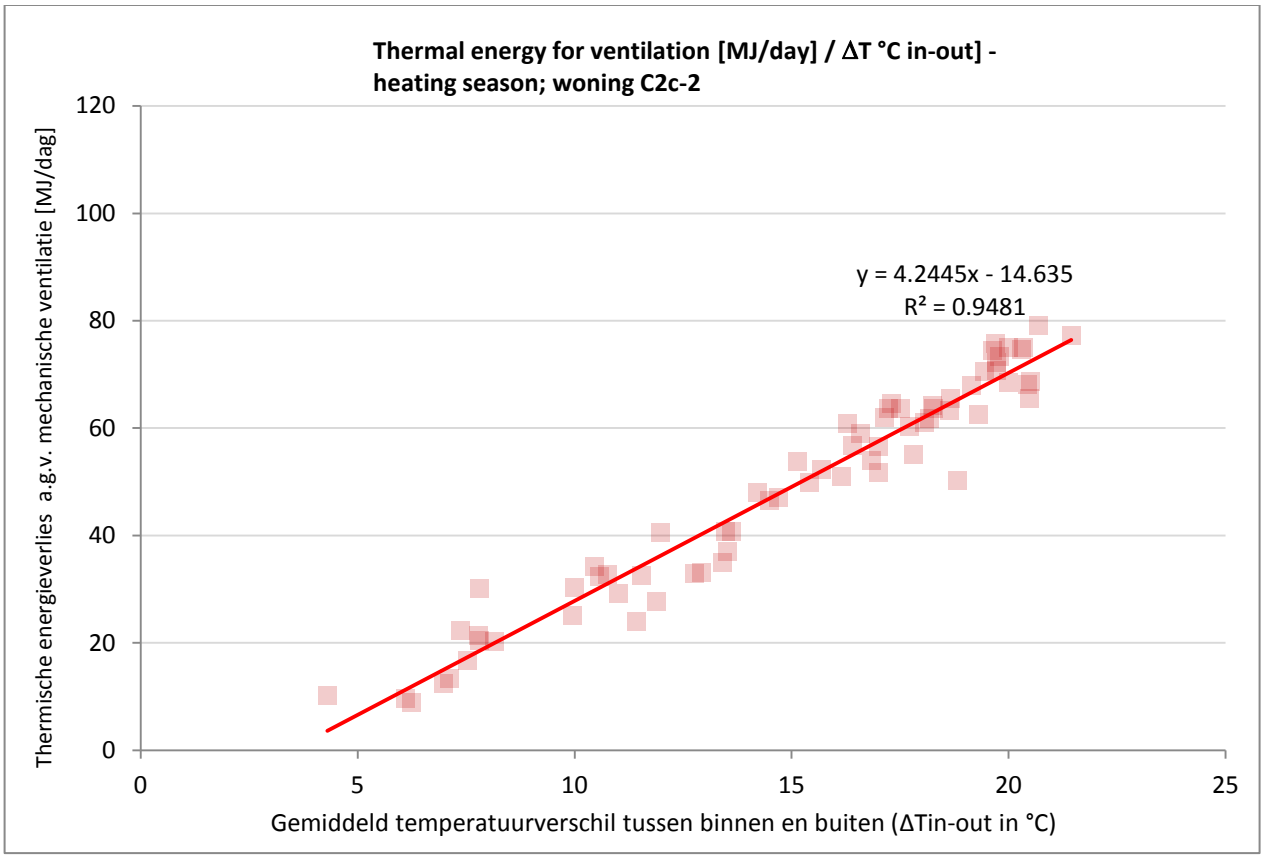
De energieprestatie van een mechanisch ventilatiesysteem is in deze studie gebaseerd op het verschil in energie-inhoud van de daadwerkelijk door het ventilatiesysteem uitgewisselde hoeveelheid lucht. Indien het ventilatiesysteem gebruik maakt van een warmtewisselaar, dan wordt de energie-inhoud van de via de warmtewisselaar uitgewisselde hoeveelheid lucht gecorrigeerd met het EN13141-7 /8 rendement van die warmtewisselaar. De volgende methode wordt daarbij gehanteerd:

e) Bepaal per uur het totaal gemiddelde ventilatiedebiet van de alle mechanische ventilatie-units in de woning (excl. afzuigkap).
f) Bepaal het uurgemiddelde van de binnentemperatuur en de binnenluchtvochtigheid (deze wordt verkregen door het uurgemiddelde van alle woonvertrekken te bepalen en het uurgemiddelde van alle slaapvertrekken te bepalen, deze vervolgens bij elkaar op te tellen en door 2 te delen).
g) Bepaal het uurgemiddelde van de buitentemperatuur, de buitenluchtvochtigheid en de luchtdruk, op basis van data van het meest nabije KNMI weerstation.
h) Bereken per uur het verschil in energie-inhoud van de uitgewisselde lucht op basis van de gegevens uit e), f) en g) en in relatie tot het gemiddelde temperatuurverschil tussen binnen en buiten ($\Delta T_{in-out}$) over het betreffende uur. Voor ventilatiesystemen c.q. units die gebruik maken van warmteterugwinning wordt de berekende energie-inhoud gecorrigeerd op basis van het wtw-rendement (behorende bij het betreffende uurgemiddelde ventilatiedebiet), bepaald volgens EN13141-7/8
i) Bereken per dag de totale energie-inhoud van de uitgewisselde lucht in relatie tot het daggemiddelde van $\Delta T_{in-out}$, en zet deze relatie om in een wiskundige lineaire functie.
j) Bereken het totale primaire energieverbruik voor mechanische ventilatie voor een gemiddelde stookseizoen als volgt:
    - Bepaal de thermische energie-uitwisseling agv mechanische ventilatie per dag bij een $\Delta T_{in-out}$ van 13°C (dit wordt aangehouden als gemiddelde $\Delta T_{in-out}$ voor een Nederlands stookseizoen)

- Vermenigvuldig dit met 212 dagen (duur van het stookseizoen)
- Deel dit door de gemiddelde systeemefficiency van een HR-verwarmingssysteem, zijnde 85% (systeem met condenserende ketel en beperkte distributieverliezen).
- Tel hier bij op het totale stroomverbruik van alle ventilatie-units gedurende het stookseizoen, na het te hebben geconverteerd naar primaire energie (delen door 0,4).

k) Deel de uitkomst van j) door het totale verwarmde oppervlak van de betreffende woning, om daarmee het gemiddelde primaire energieverbruik per $m^2$ woningoppervlak te bepalen voor de het betreffende ventilatiesysteem.

*Figuur 3.4.1.*
*Voorbeeld van de data-analyse volgens paragraaf 3.4 stap e) t/m i).*




Ieder punt in de grafiek representeert een dag waarvan het thermische energieverlies a.g.v. mechanische ventilatie voor woning nr. 6 is uitgerekend, in relatie tussen het gemiddelde temperatuurverschil van die dag tussen binnen en buiten (stappen *e* t/m *i* ). De functie van de trendlijn ($y = 4{,}2445x - 14{,}635$) geeft de relatie weer tussen het dagelijkse thermische energieverlies en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten.
Stap j): bij een ΔTin-out van 13°C bedraagt het thermische energieverlies (13 invullen in de vergelijking) 40,54 MJ/dag, en voor een heel stookseizoen dus 212 x 38,54 = 8595 MJ. Een verwarmingssysteem met een aangenomen systeemrendement van 85% moet deze thermische energie leveren, hetgeen betekent dat hier 8595/0,85 = 10.118 MJ primaire energie voor nodig is per gemiddeld stookseizoen. Het gemiddelde stroomverbruik voor de mechanische ventilatie van deze woning bedraagt 19,53 watt. Voor een stookseizoen met 212 dagen is dit 19,53 x 24 x 212 /1000 = 99,37 kWh. Omgerekend naar primaire energie is dit 99,37 / 0,4 = 248 kWh ofwel 894 MJ per stookseizoen.

Het totale primaire energieverbruik
voor de mechanische ventilatie bedraagt daarmee 10.118 + 894 = 11.012 MJ per stookseizoen.

De woning heeft 96, 12 m2 aan verwarmd oppervlak, waarmee het primaire energieverbruik van het ventilatiesysteem in deze woning 11.012 / 96,12 = 114,5 MJ/m2 bedraagt

Voor alle ventilatiesystemen in alle woningen zijn deze berekeningen uitgevoerd. Op deze manier is een redelijk betrouwbare indicatie verkregen van de energieprestatie van deze ventilatiesystemen.

Opmerking:
Het energieverlies dat optreedt als gevolg van dwarsventilatie en infiltratie is niet inbegrepen in bovenstaande berekeningen.

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

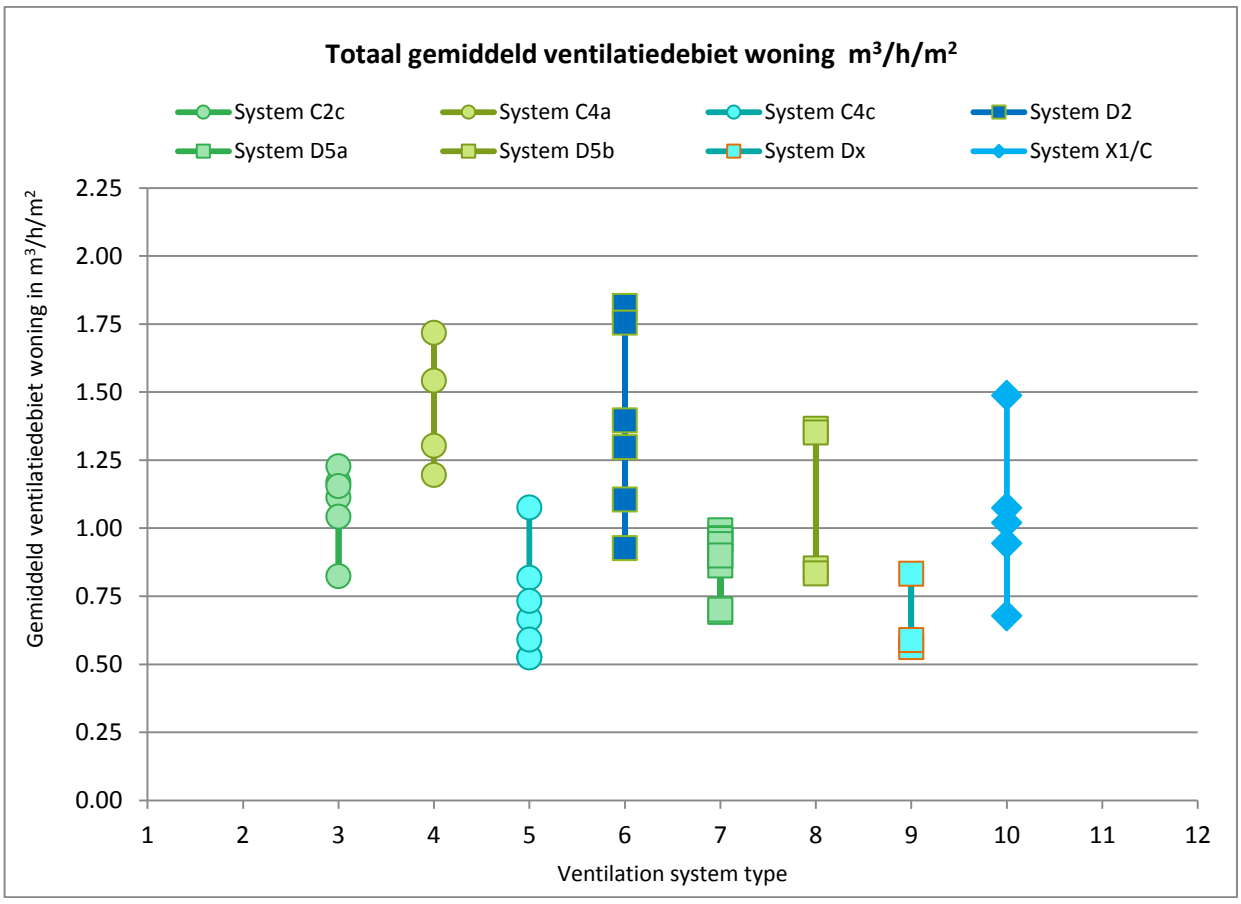
# 4. Resultaten

## 4.1 Ventilatiedebiet en regeling

### 4.1.1
### Gemiddeld ventilatiedebiet per woning

Figuur 4.1.1.1 toont de gemiddeld per woning optredende mechanische ventilatie debieten. Alle systemen zijn ingeregeld volgens Bouwbesluit en realiseren dus ten minste in hun hoogste stand 0,9 l/s ofwel 3,2 $m^3/h$ per m2 verblijfsruimte. Omdat onderstaande figuur 4.1.1.1 betrekking heeft op het verwarmd oppervlak van de woning en niet op het oppervlak van de verblijfsruimtes, moeten -- voor een vergelijking -- deze getallen worden gecorrigeerd met een getal dat de verhouding aangeeft tussen het oppervlak van alle verblijfsruimtes en het totaal verwarmde oppervlak van de woning. Het correctiegetal dat hier zal worden aangehouden is 0,70 , ofwel gemiddeld zeventig procent van het totale verwarmde oppervlak betreft verblijfsruimtes. Dit betekent dat In onderstaande grafiek een waarde van 3,2 * 0,70 = 2,25 $m^3/h/m^2$ ongeveer overeenkomt met de capaciteit die volgens het Bouwbesluit haalbaar moet zijn.

Uit figuur 4.1.1.1 blijkt dat het gemiddeld optredende ventilatiedebiet in geen enkele woning overeenkomt met de capaciteit die het bouwbesluit voorschrijft. Dit ligt in de lijn der verwachting, omdat geen enkel systeem continu op stand 3 zal worden ingesteld.




*Figuur 4.1.1.1 : Gemiddeld optredend mechanisch ventilatiedebiet per woning in m3/h per m2 verwarmd oppervlak*

Slechts een drietal woningen zitten gemiddeld op ca. 70 -80% van de bouwbesluit capaciteit. Dit blijken tevens die enkele woningen te zijn waar bewoners een min of meer actief schakelgedrag vertonen. Gemiddeld over alle systemen ligt het ventilatie debiet zo rond de 1 $m^3/h/m^2$, met een bijbehorend ventilatiedebiet per persoon variërend van 40 tot ca. 50 $m^3/h/pp$. Deze 1 $m^3/h$ per $m^2$ verwarmd oppervlak komt grofweg overeen met een ventilatiedebiet van 0,40 $l/s/m^2$ verblijfsruimte, overeenkomend met ca. 45% van de bouwbesluit eis.
De 40 tot ca. 50 $m^3/h/pp$ betekent dat er bij alle ventilatie systemen in principe ruim voldoende wordt geventileerd om $CO_2$-overschrijding in verblijfsruimtes te kunnen voorkomen. Dat dit niet het geval is komt door het feit dat deze luchtuitwisseling niet in die verblijfsruimtes wordt aangewend waar die daadwerkelijk nodig is.

Figuur 4.1.1.2 toont de gemiddelde waardes voor het mechanische ventilatiedebiet en de bijbehorende $CO_2$-overschrijding per groep ventilatiesystemen.

| Ventilatie system | Gemiddeld mech. ventilatiedebiet | | | $CO_2$-overschrijdingsdosis | |
|---|---|---|---|---|---|
| | [$m^3/h/m^2$] | Stndrd.dev. [$m^3/h/m^2$] | [m3/h/pp] | [kppmh/pp/st.szn] | Stnrd.deviatie [kppmh/pp/st.szn] |
| Systemen A | nvt | nvt | nvt | 442 | 438 |
| | | | | | |
| Systemen C1 | [1] | [1] | [1] | 345 | 276 |
| Systemen C2c | 1,09 | 0,14 | 41,9 | 244 | 216 |
| Systemen C4a | 1,44 | 0,24 | 41,1 | 271 | 389 |
| | | | | | |
| Systemen C4c (met mech.afz vr's) | 0,71 | 0,12 | 48,7 | 72 | 78 |
| | | | | | |
| Systemen D2 | 1,38 | 0,35 | 51,8 | 68 [2] | 32 |
| Systemen D5a | 0,89 | 0,11 | 51,9 | 106 [2] | 156 |
| Systemen D5b | 1,10 | 0,30 | 39,5 | 183 [2] | 199 |
| Systemen Dx | 0,75 | 0,22 | 38,8 | 76 | 32 |
| | | | | | |
| Systemen X1/C | 1,04 | 0,29 | 37,3 | 175 [2] | 139 |
| Systemen X1/A | ? | ? | ? | 167 [2] | 124 |

1. Niet van alle woningen in deze groep kon het debiet worden gemeten.
2. Waardes zijn niet gecorrigeerd voor oneigenlijk gebruik (tijdelijk uitschakelen en/of aanpassen ) ventilatiesysteem agv tocht en/of geluid

*Figuur 4.1.1.2 : Gemiddeld optredend mechanisch ventilatiedebiet in $m^3/h$ per $m^2$ verwarmd oppervlak en $CO_2$-overschrijding in kppmh per persoon per stookseizoen, per groep ventilatiesystemen*

Wat opvalt in deze tabel is dat de systemen met een $CO_2$-sensor in 1 of twee zones (systemen C4a en D5a) een hogere $CO_2$-overschrijding hebben dan dezelfde systemen zonder $CO_2$-sensor (systemen C2c en D2), (zie ook paragraaf 4.1.3).

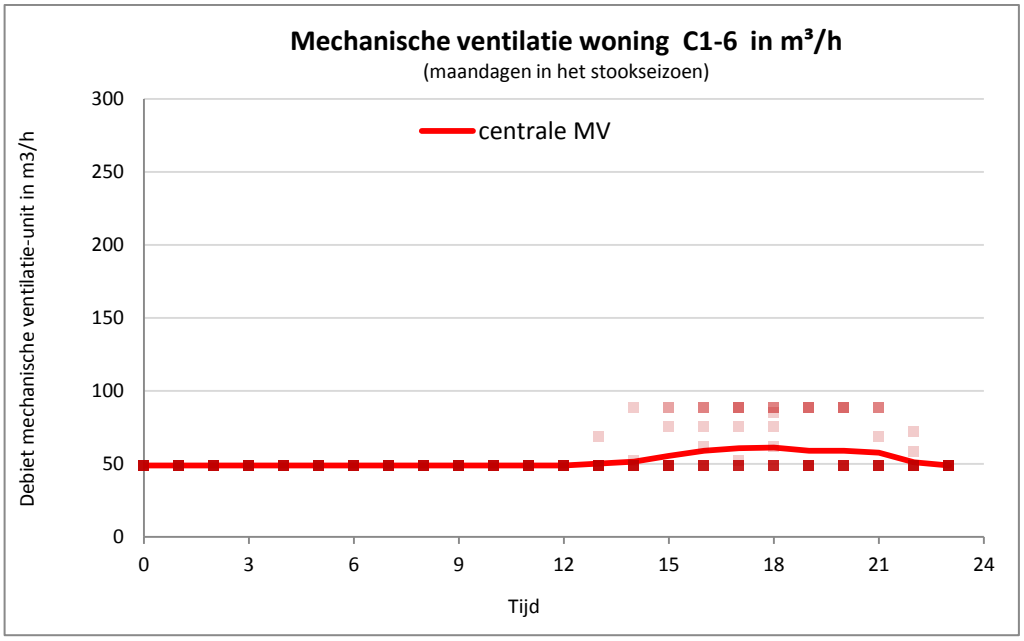
### 4.1.2
### Bediening ventilatiesysteem door bewoner

Bediening ventilatie-units

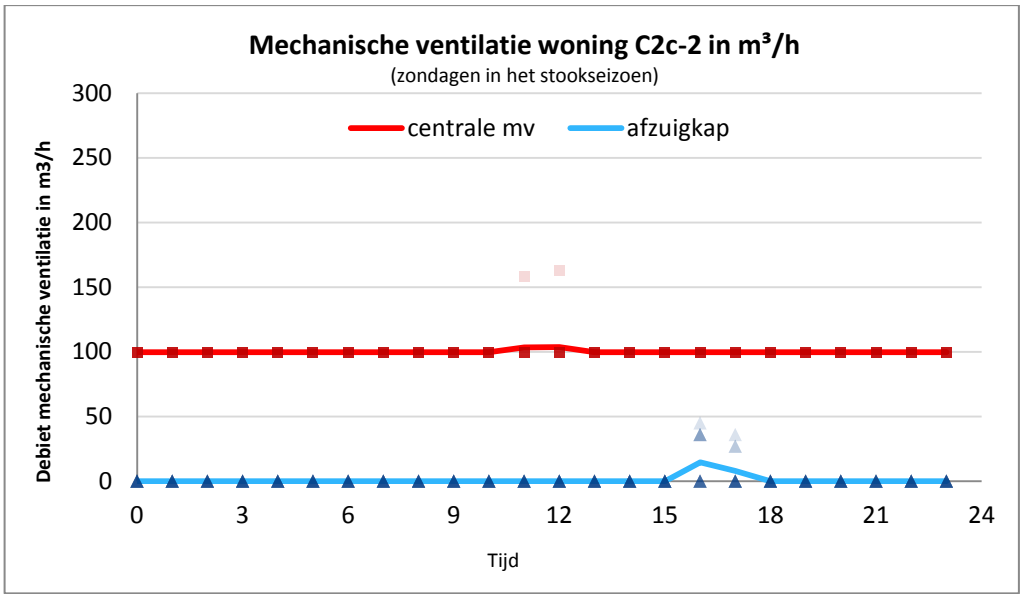
Afgezien van het gebruik van de afzuigkap tijdens koken, vertonen de meeste bewoners geen of slechts een beperkt reactief ventilatiegedrag. Enkele gezinnen uitgezonderd, staat bij de meeste gezinnen met en centrale handbediende mechanische ventilatie-unit de driestandenschakelaar op stand 1. Voor de meeste woningen geld daarom dat het mechanische ventilatiedebiet behorende bij stand 1 zo goed als representatief is voor het gemiddeld gerealiseerde ventilatiedebiet. Het tijdelijk hogere debiet dat sommige bewoners inschakelen tijdens douchen heeft maar beperkt invloed op dit gemiddelde.
Er bestaat geen richtlijn voor de minimaal te behalen debieten. Het debiet bij stand 1 is het debiet dat bij toeval ontstaat, wanneer bij stand 3 het bouwbesluit debiet is ingeregeld. Dit is het debiet dat toevalligerwijs wordt verkregen bij de combinatie van de random door de fabrikant gekozen toerentalreductie van stand 1 t.o.v. stand 3 en de weerstand in het leidingsysteem. Uit de metingen blijkt dat dit minimale debiet kan variëren van 0,4 tot meer dan 1,0 $m^3$/h per vierkante meter verwarmd oppervlak; dit komt overeen met ca. 0,16 tot 0,40 l/s per vierkante meter verblijfsruimte.

Illustraties bediening driestandenschakelaar

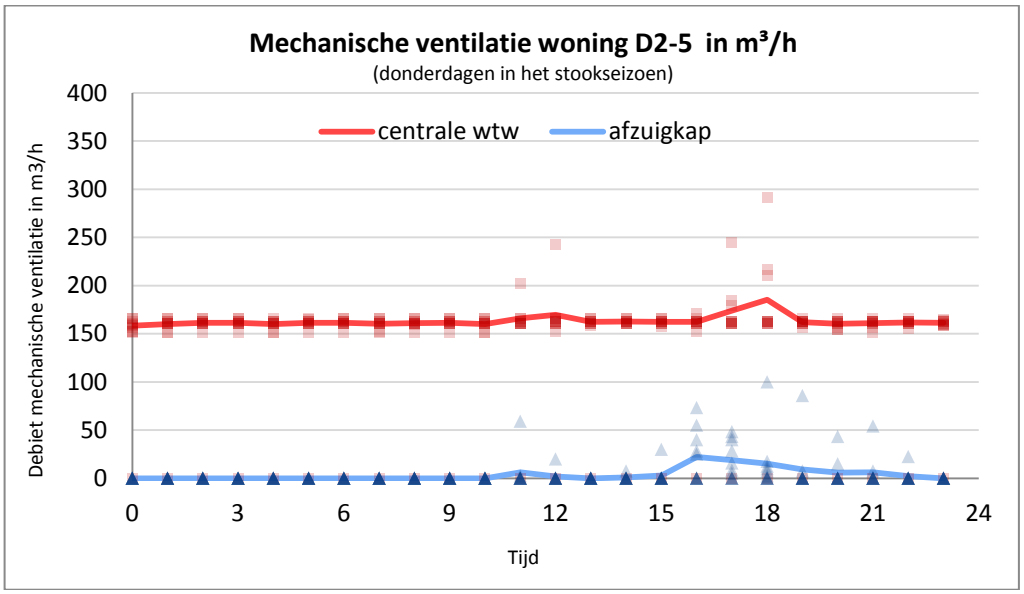
Onderstaande figuren geven een illustratie van de mate waarin de ventilatiesystemen door de bewoners worden bediend. Het betreft hier alleen de handbediende ventilatiesystemen, ofwel de systemen met uitsluitend een driestandenschakelaar (systemen C1, C2c, D2). In de figuur is het gemiddelde debiet per uur per zelfde dag in het stookseizoen weergegeven. Iedere uurgemiddelde is weergegeven dmv een semitransparante markering; hoe donkerder deze markering, hoe vaker dit uurgemiddelde voorkomt. De doorgetrokken lijn representeert het rekenkundig gemiddelde over alle geselecteerde weekdagen in het stookseizoen.




*Figuur 4.1.2.1 Illustratie van bediening ventilatiesysteem C1 door bewoner*




*Figuur 4.1.2.2 Illustratie van bediening ventilatiesysteem C2c door bewoner*




*Figuur 4.1.2.3 Illustratie van bediening ventilatiesysteem D2 door bewoner*

<u>Bediening ventilatieroosters</u>

De meeste gezinnen blijken weinig reactief waar het de bediening van de driestandenschakelaar betreft. Hoge $CO_2$-overschrijdingen leiden niet tot gewenst gedrag bij de bewoners. Wel tonen de meeste bewoners een bepaald en min of meer vast patroon voor wat betreft de bediening van ventilatie-componenten. Dit geld niet allen voor de afzuigkap of voor de driestandenschakelaar tijdens douchen, maar ook voor het gebruik van ventilatieroosters en/of klepraampjes. Uit de intake interviews blijkt dat de toevoerroosters op de slaapkamers door de meeste gezinnen actief en volgens een vast patroon worden gebruikt. Ook uit de simulaties die TNO heeft uitgevoerd (werkpakket WP2a) waarbij gepoogd wordt met modelsimulaties de gemeten $CO_2$-waarden te reproduceren, blijkt dat de gemeten $CO_2$-overschrijdingen in de slaapkamers alleen kunnen worden gereproduceerd, als de ventilatieroosters in de slaapkamers open staan. Voor de woonkamers geldt over het algemeen een veel minder actief patroon in het gebruik van de ventilatieroosters.

Oneigenlijke bediening

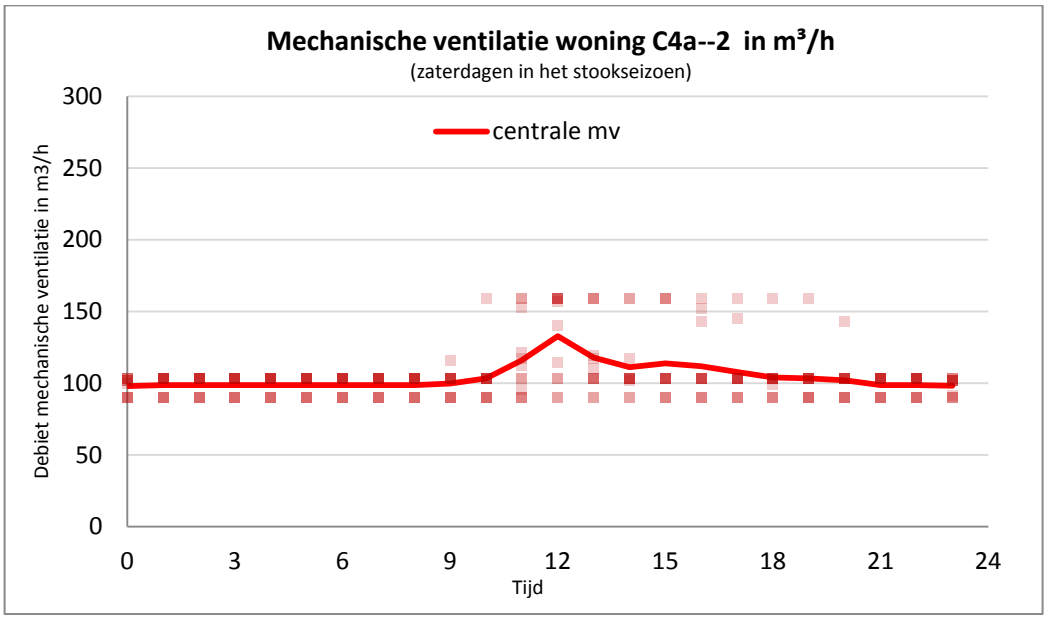
Onder oneigenlijke bediening wordt verstaan dat er een bedieningshandeling wordt verricht die niet bedoeld is te worden uitgevoerd en de functionaliteit van het ventilatiesysteem nadelig beïnvloed. Hieronder wordt bijvoorbeeld verstaan het (tijdelijk) uitschakelen van een ventilator of complete ventilatie- unit of het dicht(er) draaien van een luchttoevoer of luchtafvoer ventiel.
Dergelijke bedieningshandelingen zijn alleen waargenomen bij systemen met zowel mechanische toevoer als mechanische afvoer voorzieningen. Aanleiding tot dit gedrag zijn tocht- en/of geluidshinder. Dit oneigenlijke gedrag is de belangrijkste verklaring voor het feit dat sommige van de woningen met ventilatiesystemen die ook een mechanische component in de verblijfsruimtes hebben, een relatief hogere $CO_2$-overschrijdingen laten zien.

### 4.1.3
### $CO_2$-regeling ventilatiesysteem

Een aantal ventilatiesystemen gebruikt naast de bekende handbediening (standenschakelaar) ook een $CO_2$-sensor waarmee het ventilatiedebiet wordt geregeld (systemen C4a, C4c, D5a, D5b, Dx en X1/C en X1/A). Deze systemen kunnen nog verder worden onderscheiden op basis van het feit of er wel of geen directe koppeling is tussen het de verblijfsruimtes en de $CO_2$-meting en/of debietregeling.

**Systemen zonder directe koppeling tussen verblijfsruimte en de $CO_2$-meting en/of debietregeling**

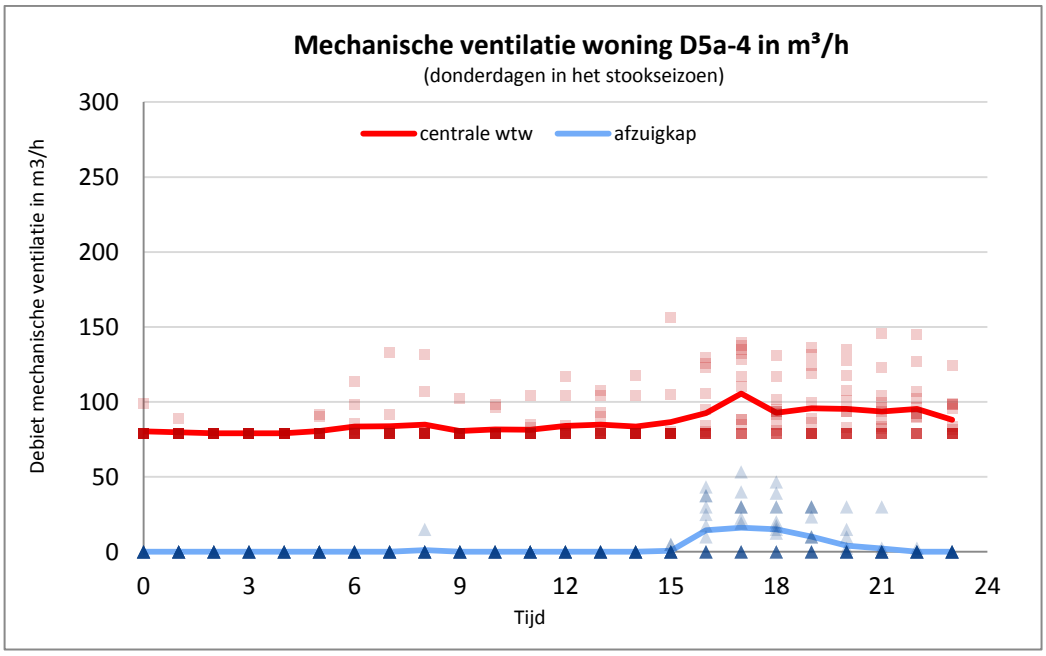
Ventilatiesystemen die naast handbediening (standenschakelaar) ook gebruik maken van een $CO_2$-sensor waarmee het ventilatiedebiet wordt geregeld vertonen over het algemeen een actievere schakeling van het ventilatiedebiet. Zie onderstaande figuren.




*Figuur 4.1.3.1 Illustratie van automatische regeling ventilatiesysteem C4a.*

Ondanks het iets actievere schakelgedrag van systeem C4a en D5a (zie ook figuur op volgende bladzijde) zijn de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingen bij deze systemen niet geringer dan vergelijkbare systemen zonder $CO_2$-sturing (C2c en D2).

Bij systeem C4a zijn met name de $CO_2$-overschrijdingen in de woonkamer hoger en bij systeem D5a zijn de $CO_2$-overschrijdingen in de slaapkamers hoger. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn de volgende. Bij systeem C4a hangt de sensor in de woonkamer, maar is de mechanische ($CO_2$-geregelde) luchtafvoer gepositioneerd in de (separate) keuken. De vanuit de keuken afgevoerde lucht komt dus in onvoldoende mate vanuit de woonkamer.
Bij systeem D5b hangt er een $CO_2$-sensor op de verbindingsruimte (overloop) tussen de slaapkamer. De $CO_2$-sensor aldaar meet waarschijnlijk acceptabele waarden (afhankelijk van instelling van de sensor), hetgeen betekent dat ofwel de verzamelde lucht op de overloop niet representatief is voor de luchtkwaliteit in de verschillende slaapkamers, ofwel de sensorinstelling niet correct is. Ook kunnen beide oorzaken gelijktijdig van toepassing zijn. Waar de lucht uiteindelijk vandaan komt die door het afvoerventiel in de badkamer wordt weggezogen, hangt af van de stand van de slaapkamer deuren en het gemak waarmee lucht via de overloop van de benedenverdieping kan worden aangevoerd. De lucht zal worden aangevoerd via de weg van de minste weerstand en dit is de lucht die door de $CO_2$-sensor op de overloop wordt gemeten. Vanuit welke ruimtes deze lucht afkomstig is, kan dus per moment van de dag veranderen.

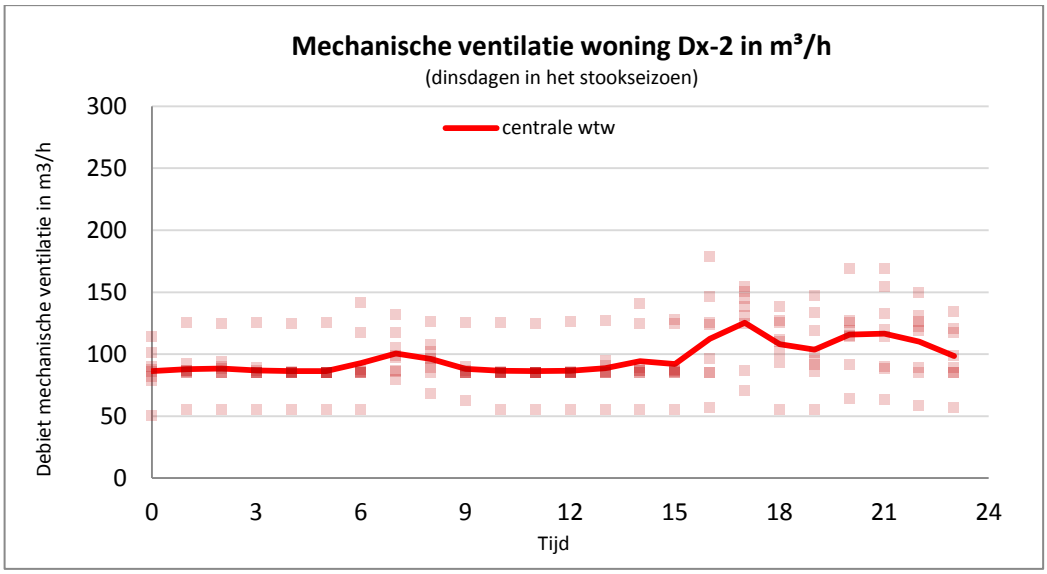



*Figuur 4.1.3.2 Illustratie van automatische regeling ventilatiesysteem D5a.*

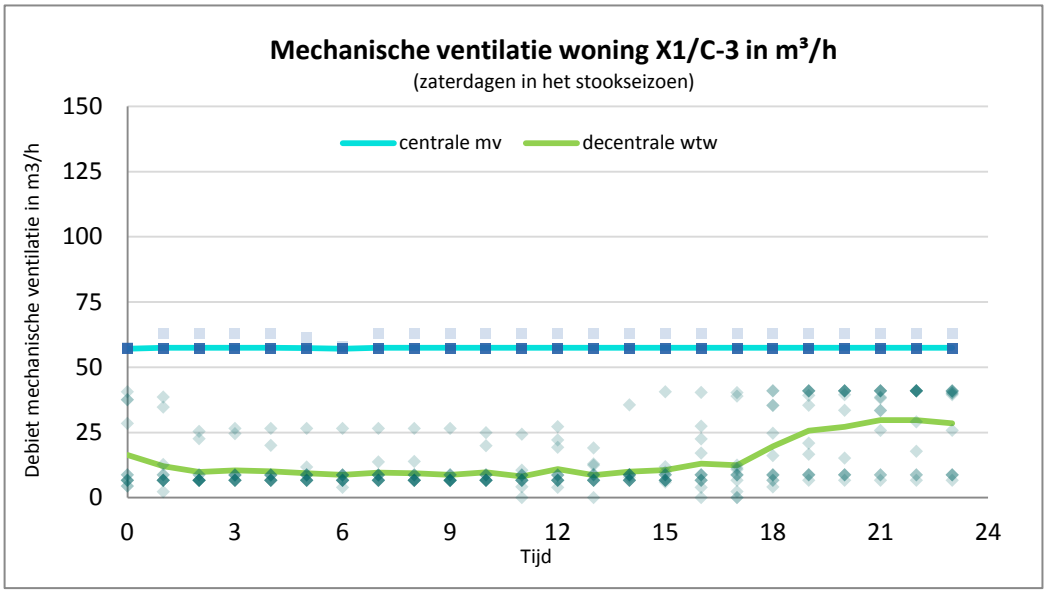
**Systemen met directe koppeling tussen verblijfsruimte en de $CO_2$-meting en/of debietregeling**

Bij ventilatiesystemen C4c en Dx maar ook bij systemen met decentrale wtw (D5b en X1/C en X1/A) worden de $CO_2$-metingen uitgevoerd in een specifieke verblijfsruimte en heeft de bijbehorende $CO_2$-regeling van het ventilatiedebiet betrekking op het mechanische debiet van die specifieke ruimte.

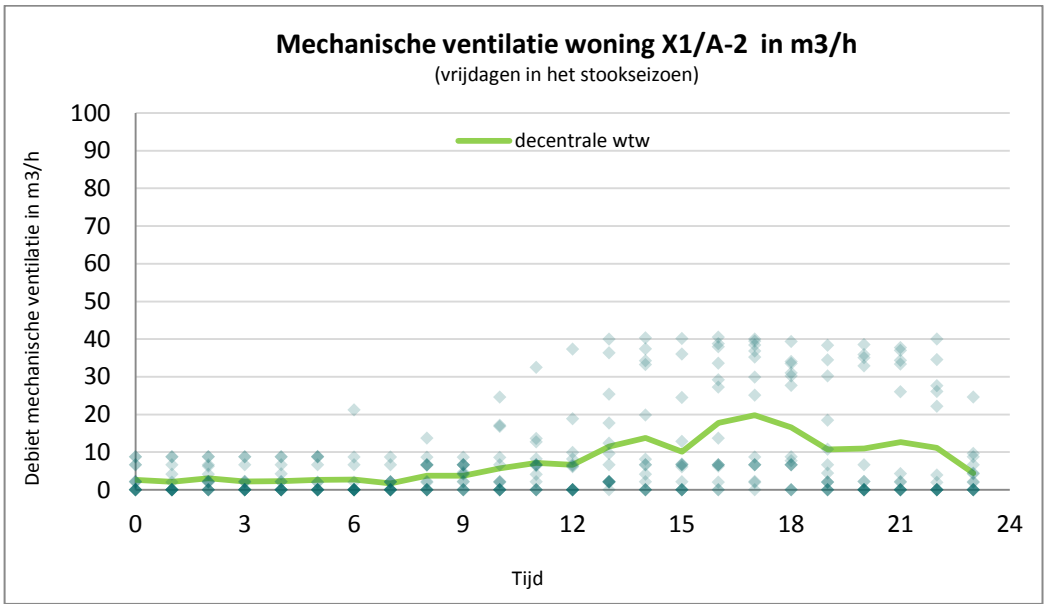
De illustraties van de debietregeling van systemen Dx en X1/C (zie figuren volgende pagina) tonen een zeer actief gedrag. Wanneer deze verblijfsruimte-specifieke $CO_2$-metingen correct worden uitgevoerd en het aangepaste debiet ook daadwerkelijk in deze ruimte terecht komt, verhoogt dit de effectiviteit van de ventilatie en wordt het aantal $CO_2$-overschrijdingen gereduceerd.




*Figuur 4.1.3.3 Illustratie van automatische regeling ventilatiesysteem Dx.*




*Figuur 4.1.3.4 Illustratie van automatische regeling ventilatiesysteem X1/C*




*Figuur 4.1.3.5 Illustratie van automatische regeling ventilatiesysteem X1/A*

Dat een $CO_2$-gestuurde ventilatieregeling ver verblijfsruimte niet per definitie de $CO_2$-overschrijdingsdoses tot minimale waarden reduceert, wordt geïllustreerd in de twee figuren op de volgende pagina. Wanneer de $CO_2$-meting niet representatief is voor de betreffende verblijfsruimte en de hierop gebaseerde mechanische luchtdebieten niet op een correcte manier in de betreffende verblijfsruimte terecht komen zal er nog steeds sprake zijn van $CO_2$-overschrijding. Mogelijke oorzaken hiervan kunnen zijn:

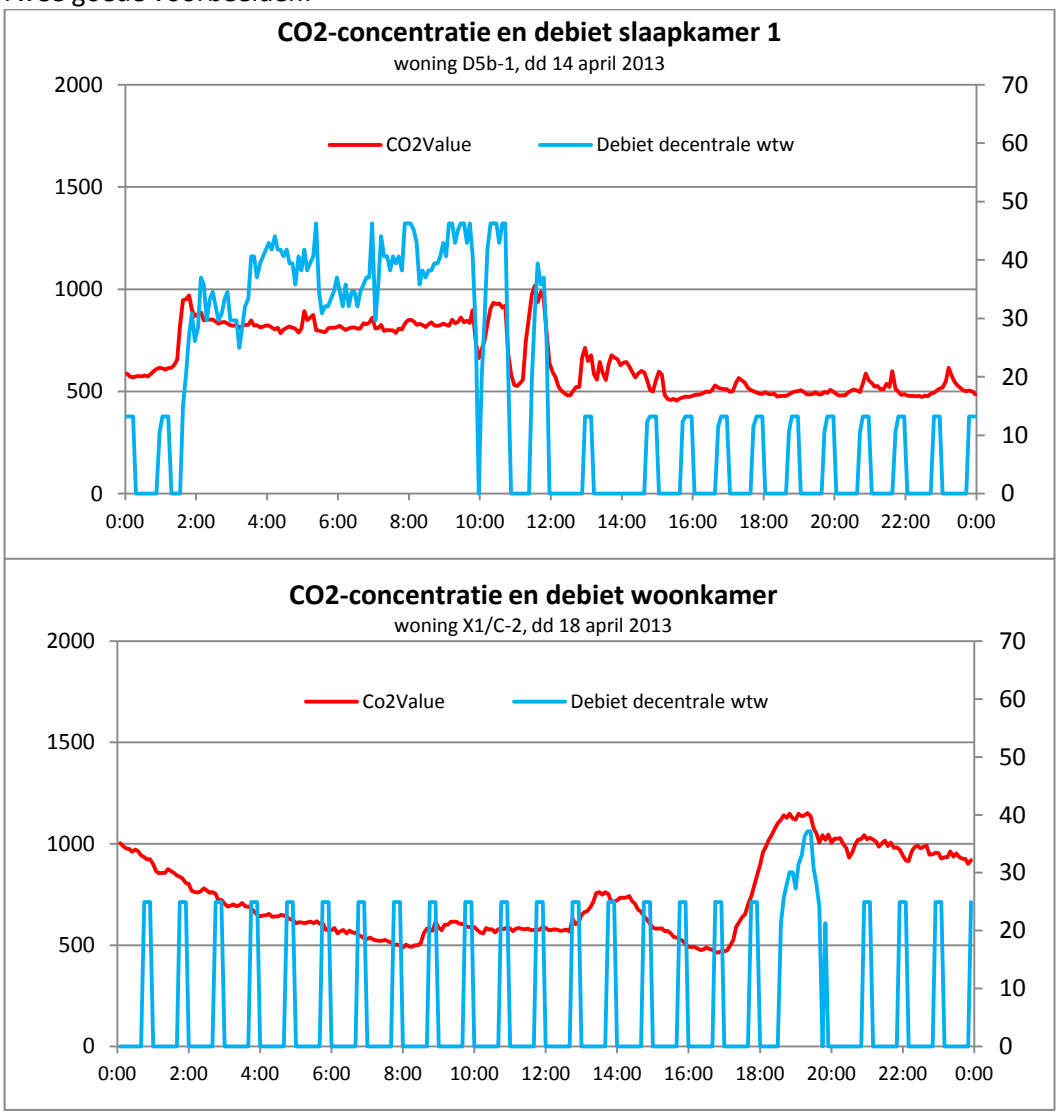
Bij systemen C4c en Dx :

- locatie van afzuigpunt (te dicht bij deur of te dicht bij ventilatierooster (systeem C4c), waardoor verblijfsruimte niet goed wordt doorspoelt);
- relatieve positie van tussendeuren (dwz positie t.o.v. elkaar)

Systemen met decentrale wtw:

- gordijnen die over de decentrale wtw-unit hangen en de $CO_2$-meting en de luchtuitwisseling kunnen hinderen.
- kieren en onbedoelde openingen in de buitengevel (nabij kozijn) kunnen een luchtlek langs de $CO_2$-sensor veroorzaken, waardoor de $CO_2$-meting niet representatief is voor de betreffende verblijfsruimte.

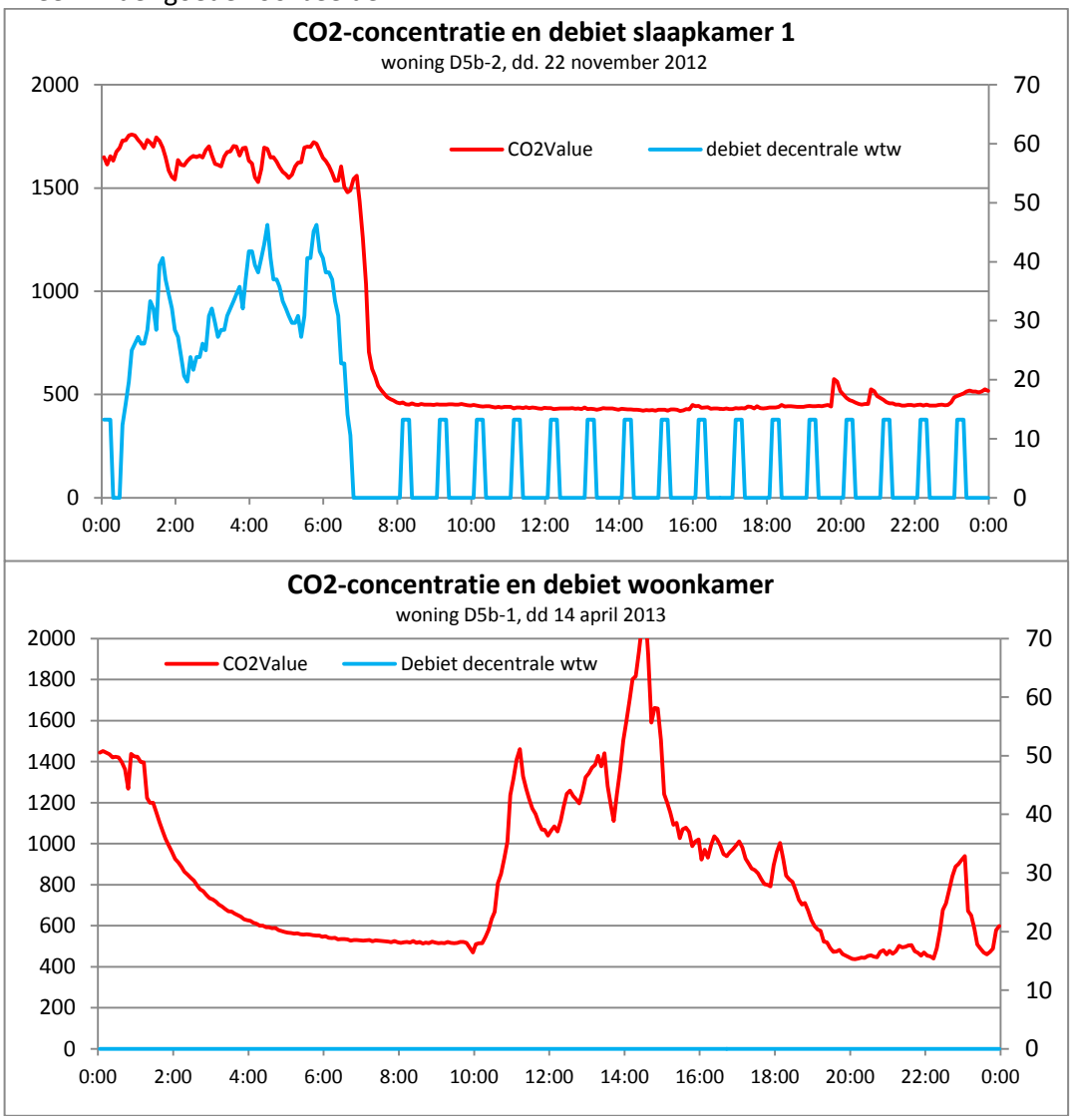
Twee goede voorbeelden:




*Figuur 4.1.3.6 Voorbeelden van een goed werkende $CO_2$-gestuurde debietregeling per verblijfsruimte.*

Overigens zal ook bij een minder goede doorspoeling van de verblijfsruimte de $CO_2$-concentratie dalen als gevolg van partiële drukverschillen in $CO_2$-concentraties tussen de aanwezige binnenlucht en de toegevoerde verse buitenlucht. Dit mechanische werkt echter minder snel en minder effectief dat de methode waarbij de verblijfsruimte ook wordt doorspoelt.

Twee minder goede voorbeelden:




*Figuur 4.1.3.7 Voorbeelden van een minder goed werkende $CO_2$-gestuurde debietregeling per verblijfsruimte.*
(Opmerking: in het laatste voorbeeld is de decentrale wtw/unit door bewoner uitgeschakeld)

Ventilatiesystemen met een $CO_2$-meting in iedere verblijfsruimte en een daaraan gekoppelde mechanische component voor die betreffende verblijfsruimte, kunnen met hoge ventilatie-effectiviteit $CO_2$-overschrijdingen in verblijfsruimtes voorkomen. Voorwaarde is wel dat deze systemen zijn geoptimaliseerd op de volgende aspecten:

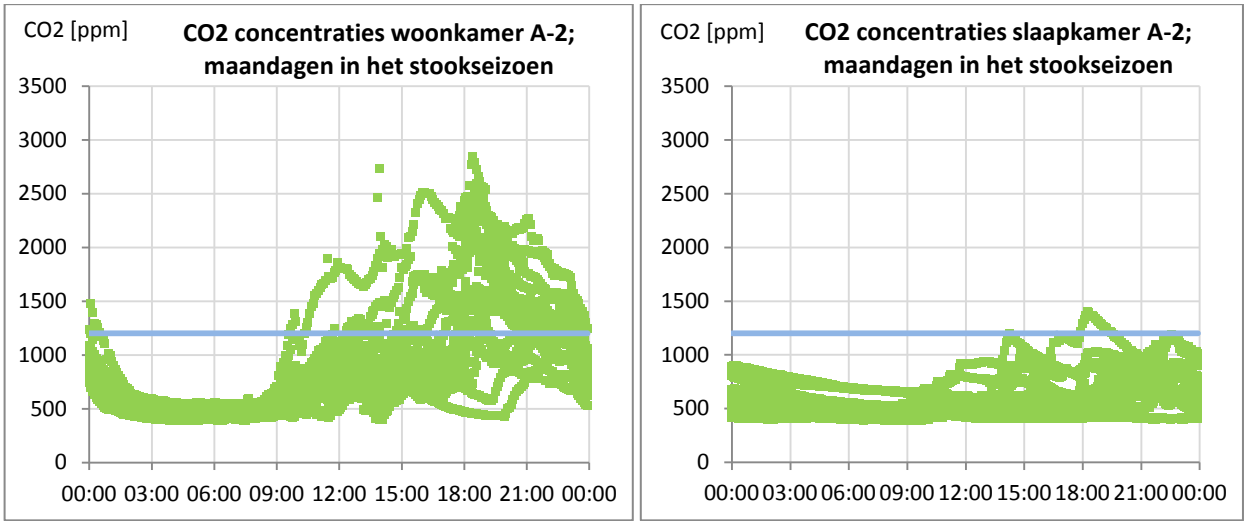
- $CO_2$-meting is te allen tijde representatief voor betreffende verblijfsruimte
- Luchtuitwisseling bij voorkeur ook gebaseerd op doorspoeling van de ruimte
- Systeem veroorzaakt geen tot minimale geluidproductie
- Systeem veroorzaakt geen tochtverschijnselen

## 4.2 Resultaten mbt $CO_2$-overschrijding stookseizoen

### 4.2.1
### Illustraties van $CO_2$-overschrijdingsgedrag per ventilatiesysteem

Om inzicht te geven in het verloop van de $CO_2$-concentraties in verblijfsruimtes bij verschillende ventilatiesystemen, worden hieronder per ventilatiesysteem grafieken getoond van de $CO_2$-concentraties van enkele verblijfsruimtes gedurende enkele willekeurige dagen in het stookseizoen. De blauwe horizontale lijn is de grenswaarde van 1200 ppm $CO_2$.

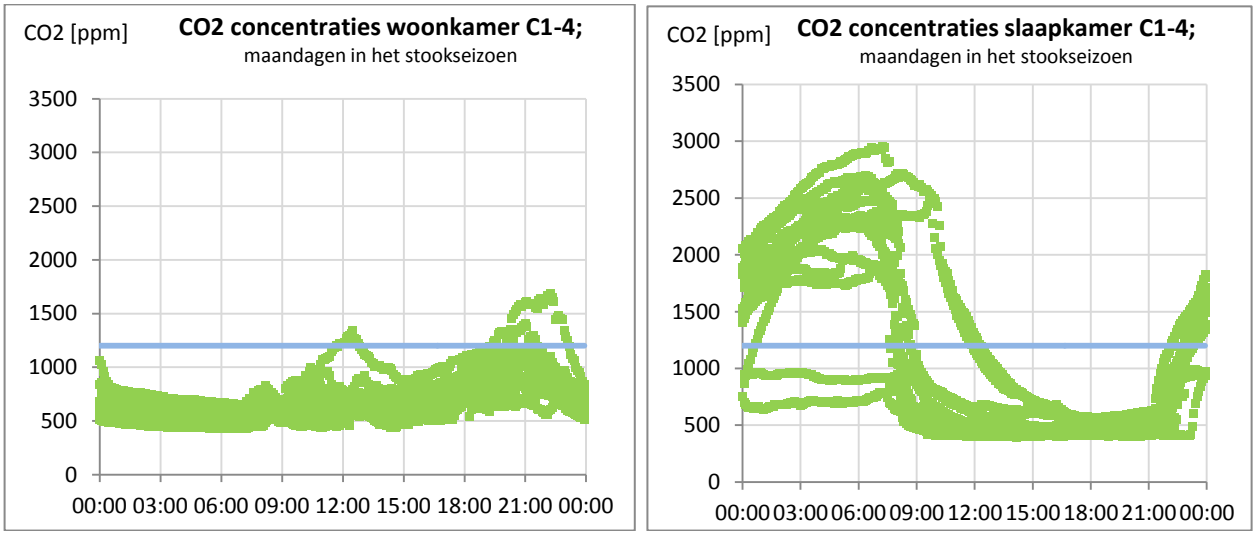
**Systeem A, Woning A-2** | Aantal bewoners: 2




*Figuur 4.2.1.1 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem A*

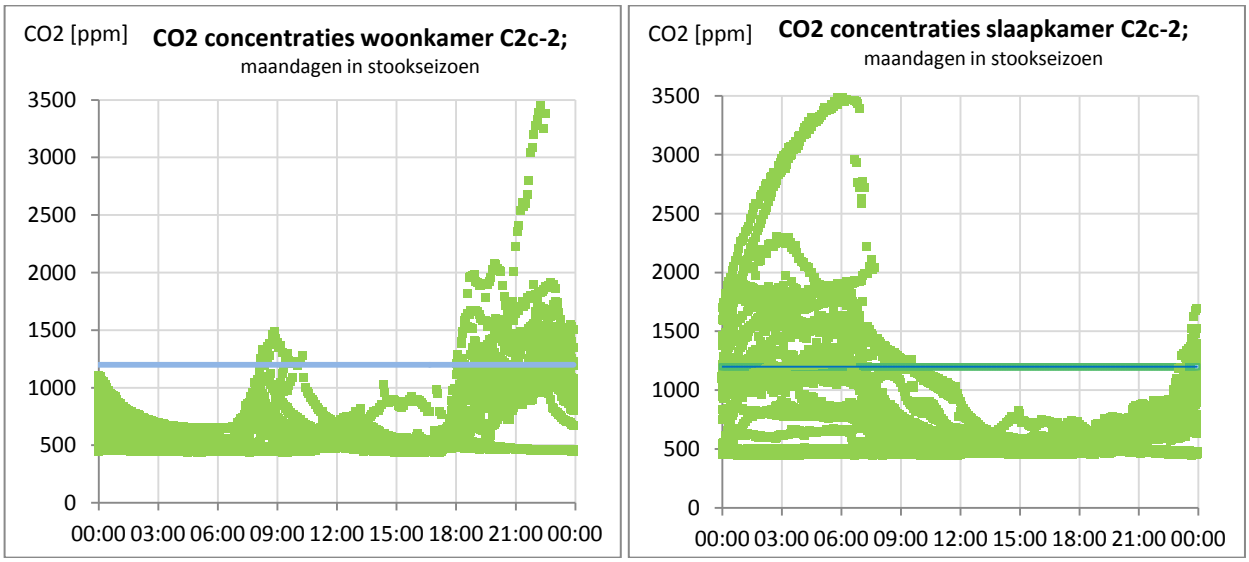
Opmerking: In het intake interview geeft bewoner aan, in de ouderslaapkamer zowel het ventilatierooster als een klepraampje permanent open te laten staan. In de woonkamer staan volgens de bewoner de roosters en ramen voornamelijk dicht.

**Systeem C.1, Woning C1-4** | Aantal bewoners: 4




*Figuur 4.2.1.2 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem C1.*

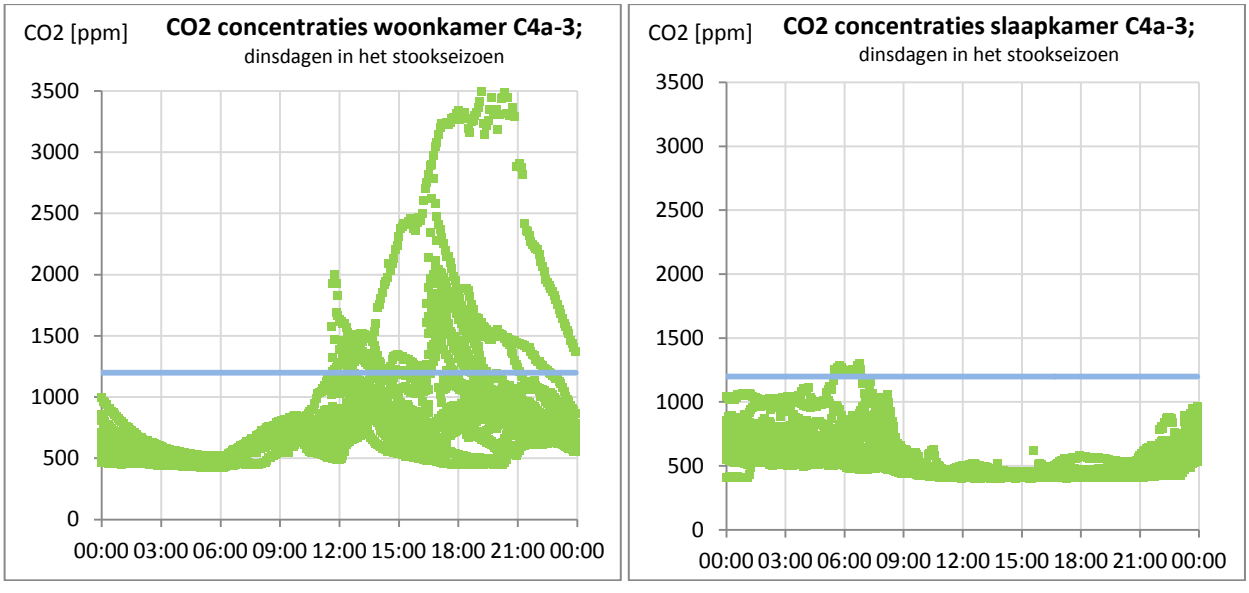
**Systeem C.2c, Woning C2c-2** | Aantal bewoners: 3




*Figuur 4.2.1.3 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem C2*

Opmerking:
In het intake interview geeft betreffende bewoner aan, in de slaapkamers zowel de ventilatieroosters als een klepraampjes permanent open te laten staan. In de woonkamer staan volgens de bewoner de ventilatieroosters voornamelijk dicht.

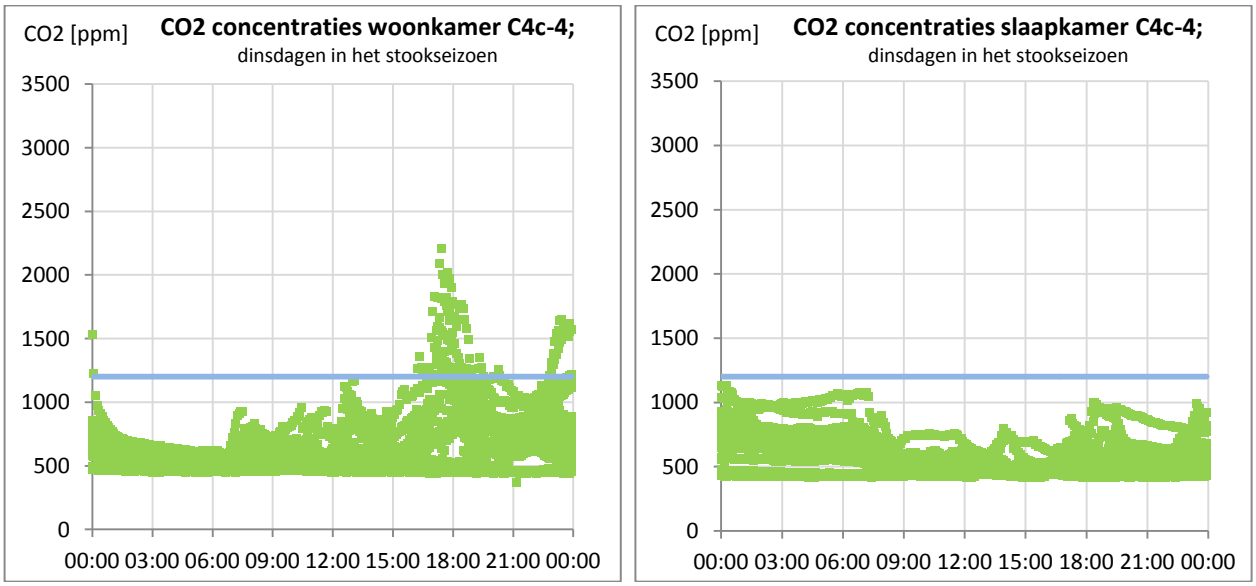
**Systeem C.4a, Woning C4a-3** | Aantal bewoners: 2




*Figuur 4.2.1.4 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem C4a*

Opmerking:
In het intake interview geeft betreffende bewoner aan, in de woon en slaapkamer de ventilatieroosters permanent open te laten staan. De klepraampjes worden in beide vertrekken een paar uur per dag open gezet.

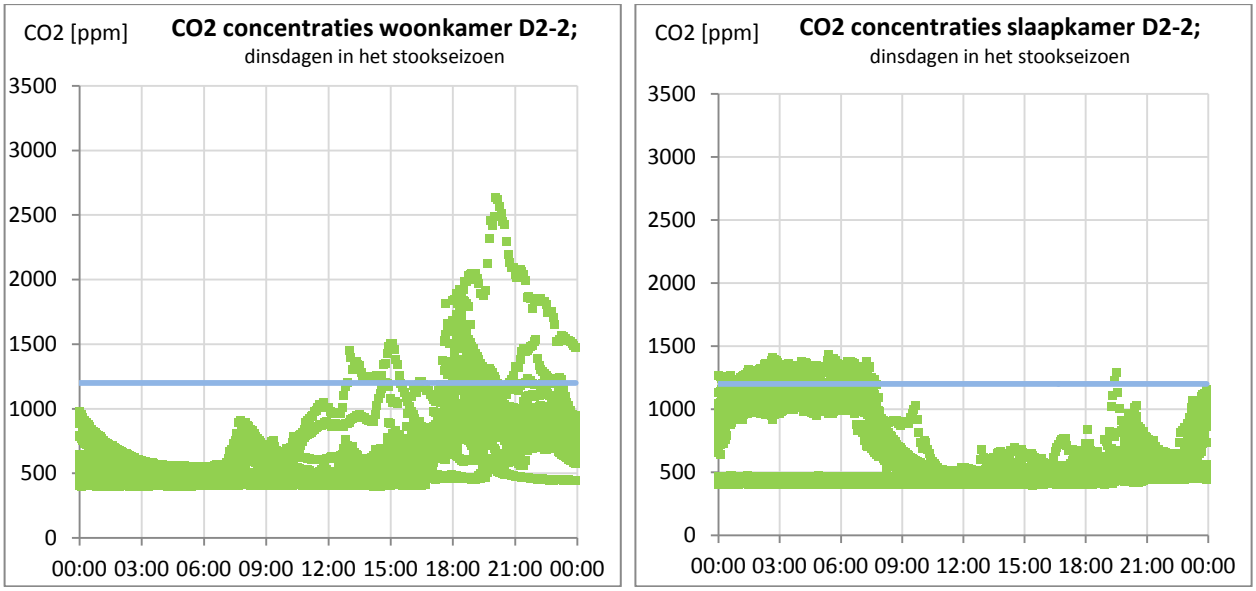
**Systeem C.4c, Woning C4c-4** | Aantal bewoners: 2




*Figuur 4.2.1.5 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem C4c*

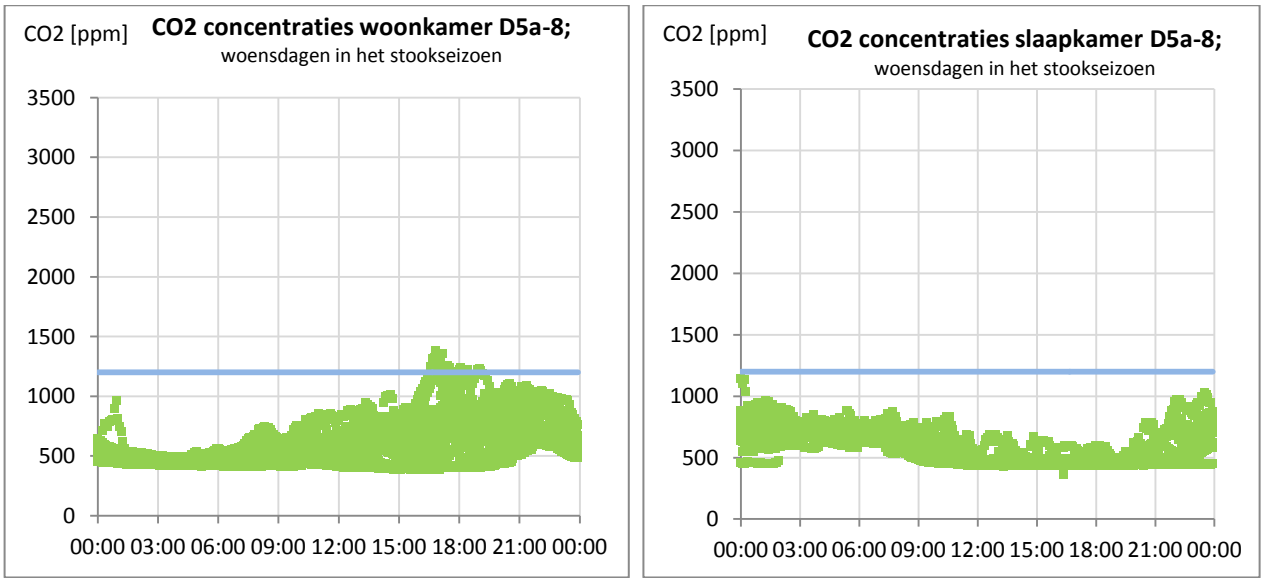
Opmerking:
In het intake interview geeft betreffende bewoner aan, in de woon en slaapkamer de ventilatieroosters permanent open te laten staan. De klepraampjes worden in beide vertrekken gemiddeld een uur per dag open gezet.

**Systeem D.2, Woning D2-5** | Aantal bewoners: 5



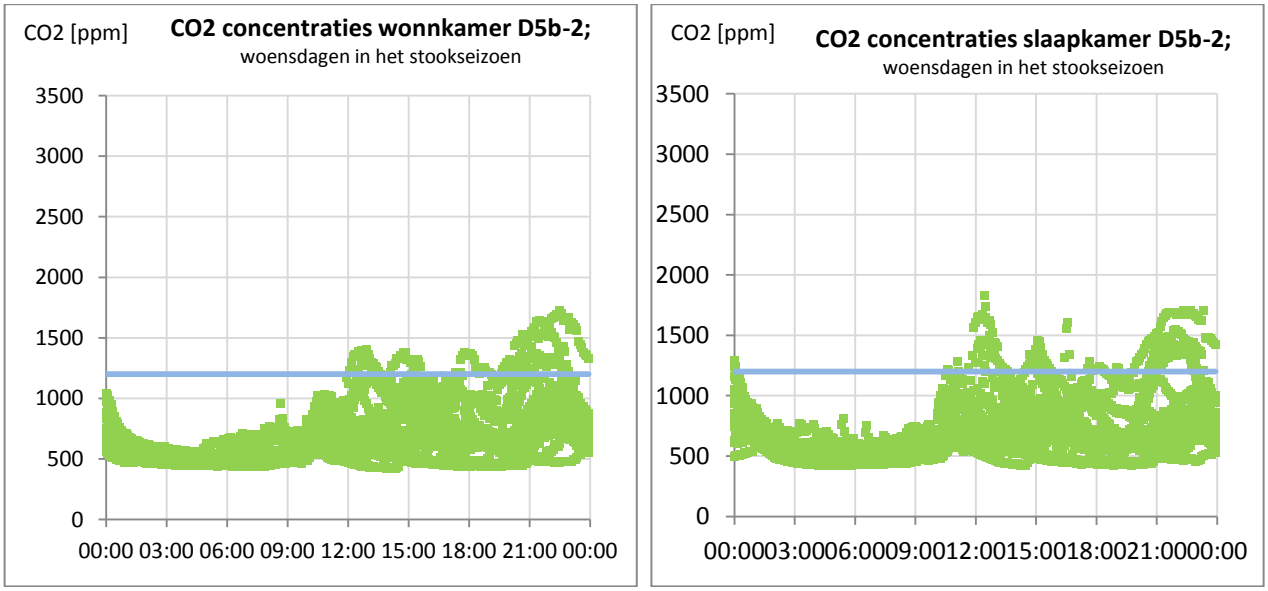

*Figuur 4.2.1.6 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem D2*

**Systeem D.5a, Woning D5a-8** | Aantal bewoners: 3



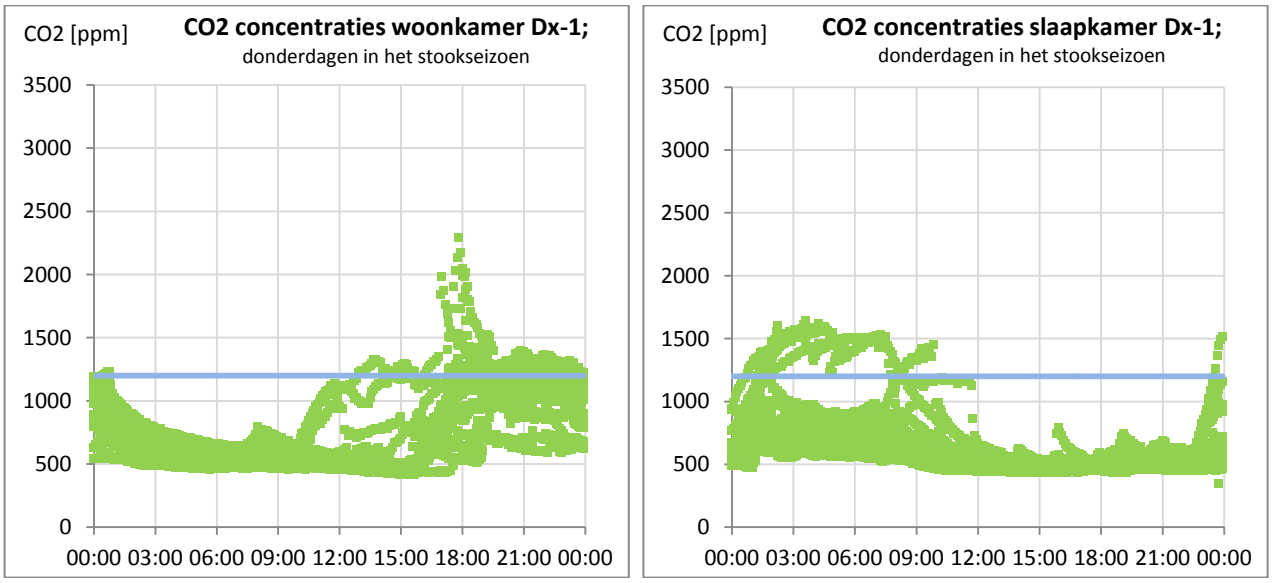

*Figuur 4.2.1.7 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem D5a*

**Systeem D.5b, Woning D5b-2** | Aantal bewoners: 2



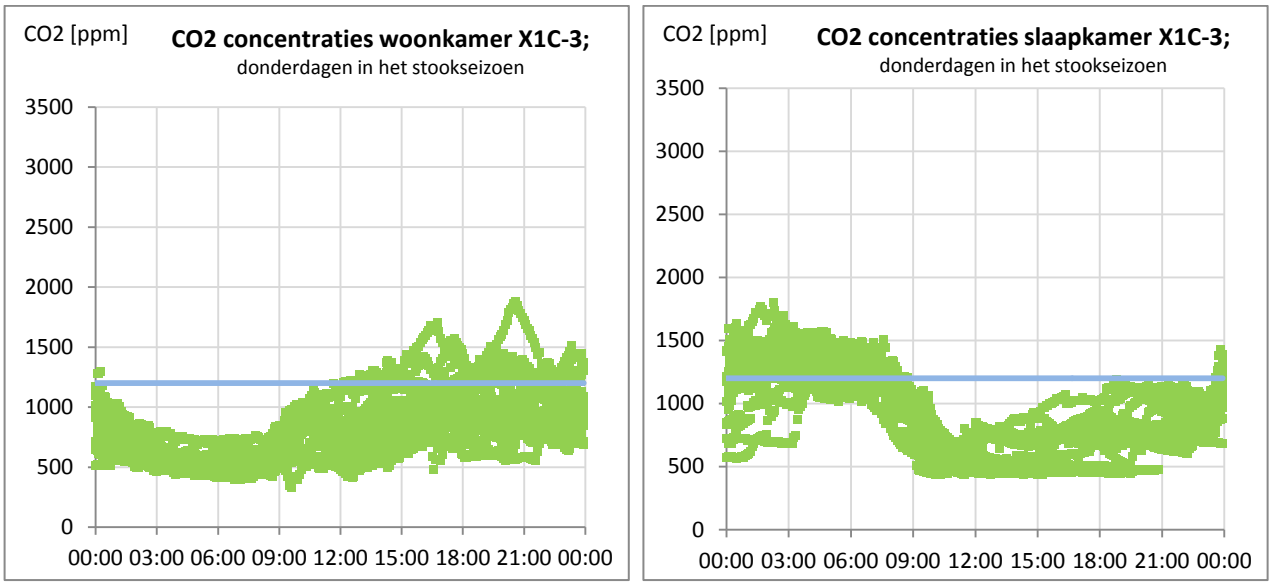

*Figuur 4.2.1.8 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem D5b*

**Systeem D.x, Woning Dx-1** | Aantal bewoners: 2



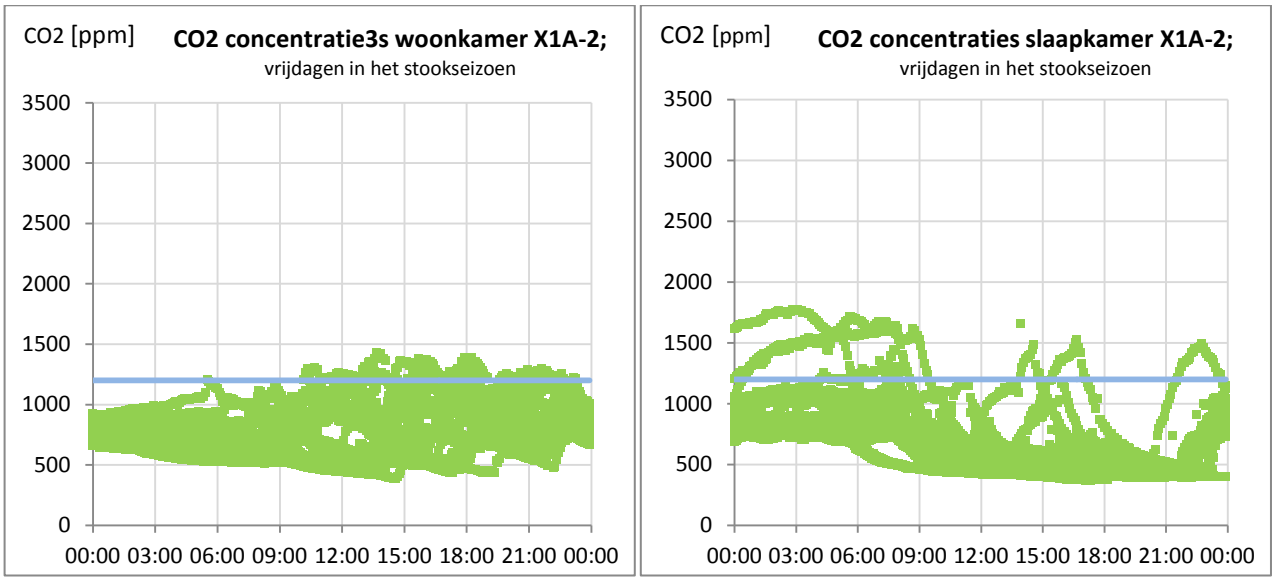

*Figuur 4.2.1.9 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem Dx*

**Systeem X1/C, Woning X1C-3** | Aantal bewoners: 2




*Figuur 4.2.1.10 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem X1/C*

**Systeem X1/A, Woning X1A-3** | Aantal bewoners: 1




*Figuur 4.2.1.11 Illustraties $CO_2$-overschrijding woonkamer en slaapkamer van systeem X1/A*

De in de verblijfsruimtes optredende $CO_2$-concentraties zijn het resultaat van de $CO_2$-belasting (in casu aantal in de ruimte aanwezige mensen) en het op dat moment in dat vertrek gerealiseerde ventilatievoud. Na analyse van het $CO_2$-overschrijdingsgedrag van alle verblijfsruimtes van de verschillende woningen en ventilatiesystemen dient het volgende beeld zich aan.

Als we aannemen dat de $CO_2$-belasting gedurende het grootste deel van het stookseizoen dezelfde is (enkele uitschieters uitgezonderd, bijvoorbeeld omdat er dan mensen op bezoek zijn) en ook het daadwerkelijk gerealiseerde ventilatievoud min of meer vergelijkbaar is, dan zou de spreiding in $CO_2$-concentraties beperkt moeten zijn. De in deze paragraaf getoonde grafieken laten zien dat dit voor een aantal woningen (woningen met systemen A, C1, C2c en C4a) niet het geval is. Genoemde systemen tonen een meer dan incidentele spreiding in de $CO_2$-concentraties in woon- en/of slaapvertrekken. Bijbehorende grafieken illustreren eerder een structurele spreiding in de concentraties met veelvuldig waardes die ver boven de 1200 ppm uitstijgen tot meer dan 3500 ppm $CO_2$. Dit impliceert dat de gerealiseerde ventilatievouden in de betreffende verblijfsruimtes sterk variabel moeten zijn.

De andere woningen met ventilatiesystemen C4c, D2, D5a, D5b, Dx en deels ook X1/C en X1/A tonen een veel gematigder beeld qua spreiding in $CO_2$-concentraties. Dit betekent dat gerealiseerde ventilatievouden in bijbehorende verblijfsruimtes veel constanter zijn.

### 4.2.2
### Totaal gemiddelde $CO_2$-overschrijdingen per ventilatiesysteem

Per ventilatiesysteem zijn gemiddelden bepaald van de parameters die de $CO_2$-overschrijding boven de 1200 ppm typeren. Het betreft hier:

- Gemiddelde duur van de $CO_2$-overschrijding in [uren/dag]
- De gemiddelde hoogte van de $CO_2$-overschrijding boven de 1200 ppm in [ppm]
- De gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdosis per dag (duur $x$ overschrijding) in [ppmh/dag]
- De gemiddelde totale $CO_2$-overschrijdingsdosis per stookseizoen in [kppmh/st.szn]

Omdat het lastig is een voorstelling te maken van begrip $CO_2$-overschrijdingsdosis in kppmh, is ook per persoon aangegeven gedurende welk deel van de tijd de $CO_2$-concentratie boven de 1200 ppm ligt en met welke gemiddelde waarde deze grens wordt overschreden. Daarnaast wordt een indicatie gegeven, gedurende welk deel van de thuis aanwezige tijd de $CO_2$-concentratie te hoog is. Om dit te kunnen doen is aangenomen dat de gemiddelde bewoner gemiddeld 63% van de dag ofwel ca. 15 uur per dag thuis aanwezig is. In de literatuur wordt deze waarde genoemd als de gemiddelde aanwezigheidsfractie in eigen huis (zie percentage in rood in onderstaande tabellen).

Opmerking 1.
De hier berekende $CO_2$-overschrijdingstijd en overschrijdingsdosis per persoon is lager dan de in werkelijkheid optredende overschrijding, omdat de hier toegepaste berekeningsmethode geen rekening houdt met het feit dat meerdere mensen in een vertrek (ouderslaapkamer) dezelfde $CO_2$-overschrijding ondergaan. Een deling van de totale dosis/st.szn of overschrijdingstijd door het aantal bewoners, geeft in de regel altijd een te lage waarde. Gelieve hiermee rekening te houden bij de interpretatie van de resultaten.

#### 4.2.2.1 Ventilatiesysteem A

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem A bedraagt 442 kkpmh.
Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 3,31 uur per dag bij een gemiddelde concentratie van (629 ppm boven de grenswaarde) 1829 ppm $CO_2$. Gemiddeld is daarmee gedurende ca. 22,1% van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$-OVERSCHRIJDING SYSTEEM A | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.40 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Keuken | | 2.00 | 669 | 1341 | 284 |
| Slaapkamer 3 | | 2.17 | 767 | 1665 | 353 |
| Slaapkamer 2 | | 3.12 | 854 | 2663 | 565 |
| Slaapkamer 1 | | 1.16 | 323 | 373 | 79 |
| Woonkamer | | 2.18 | 617 | 1346 | 285 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 9.76 | 689 | 6723 | 1425 |
| Gemiddeld per persoon | | 3.31 | 629 | 2084 | **442** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 22.10% | | | |

*Tabel 4.2.2.1 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem A*

### 4.2.2.2 Ventilatiesysteem C.1

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem C.1 bedraagt 349 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 3,51 uur per dag bij een gemiddelde concentratie van (468 ppm boven de grenswaarde) 1668 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende ca. 23,43 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$-OVERSCHRIJDING SYSTEEM C.1 | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.83 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Keuken | | 1.97 | 353 | 694 | 147 |
| Slaapkamer 3 | | 1.97 | 1080 | 2124 | 450 |
| Slaapkamer 2 | | 3.26 | 427 | 1390 | 295 |
| Slaapkamer 1 | | 2.82 | 609 | 1716 | 364 |
| Woonkamer | | 1.93 | 383 | 738 | 157 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 10.95 | 512 | 5600 | 1187 |
| Gemiddeld per persoon | | 3.51 | 468 | 1644 | **349** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 23,43% | | | |

*Tabel 4.2.2.2 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem C.1*

### 4.2.2.3 Ventilatiesysteem C.2c

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem C.2c bedraagt 244 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 3,41 uur per dag bij een gemiddelde concentratie van (337 ppm boven de grenswaarde) 1537 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 22,74 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM C.2c | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 3.33 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Zolder | | 3.55 | 186 | 660 | 140 |
| Slaapkamer 3 | | 4.10 | 470 | 1924 | 408 |
| Slaapkamer 2 | | 2.02 | 294 | 594 | 126 |
| Slaapkamer 1 | | 2.66 | 282 | 750 | 159 |
| Woonkeuken | | 2.46 | 317 | 780 | 165 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 12.42 | 344 | 4267 | 905 |
| Gemiddeld per persoon | | 3.41 | 337 | 1150 | **244** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 22.74% | | | |

*Tabel 4.2.2.3 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem C.2c*

### 4.2.2.4 Ventilatiesysteem C.4a

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem C.4a bedraagt 271 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 2,04 uur per dag bij een gemiddelde concentratie van (627 ppm boven de grenswaarde) 1827 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 13,57 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM C.4a | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.75 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Keuken | | 0.97 | 322 | 313 | 66 |
| Slaapkamer 3 | | 0.27 | 325 | 88 | 19 |
| Slaapkamer 2 | | 2.68 | 1043 | 2793 | 592 |
| Slaapkamer 1 | | 2.58 | 793 | 2043 | 433 |
| Woonkamer | | 1.19 | 298 | 356 | 75 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 7.62 | 731 | 5570 | 1181 |
| Gemiddeld per persoon | | 2.04 | 627 | 1277 | **271** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 13.57% | | | |

*Tabel 4.2.2.4 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem C.4a*

### 4.2.2.5 Ventilatiesysteem C.4c

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem C.4c bedraagt 72 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 1.40 uur per dag bij een gemiddelde concentratie van (243 ppm boven de grenswaarde) 1443 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 9.31 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM C.4c | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 1.71 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Washok | | | | | |
| Slaapkamer 3 | | 0.07 | 222 | 15 | 3 |
| Slaapkamer 2 | | 1.08 | 238 | 258 | 55 |
| Slaapkamer 1 | | 0.95 | 200 | 190 | 40 |
| Woonkeuken | | 1.06 | 299 | 317 | 67 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 3.13 | 247 | 733 | 164 |
| Gemiddeld per persoon | | 1.40 | 243 | 340 | **72** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 9.31% | | | |

*Tabel 4.2.2.5 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem C.4c*

### 4.2.2.6 Ventilatiesysteem D.2

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem D.2 bedraagt 68 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 1,06 uur per dag bij een gemiddelde concentratie van (303 ppm boven de grenswaarde) 1503 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 7,10 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM D.2 | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 3.33 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| | | | | | |
| Slaapkamer 3 | | 0.82 | 274 | 224 | 47 |
| Slaapkamer 2 | | 0.73 | 220 | 161 | 34 |
| Slaapkamer 1 | | 1.12 | 263 | 294 | 62 |
| Woonkeuken | | 0.86 | 403 | 345 | 73 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 3.52 | 291 | 1024 | 217 |
| Gemiddeld per persoon | | 1.06 | 303 | 322 | **68** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 7.10% | | | |

*Tabel 4.2.2.6 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem D.2*

Opmerking: De gemiddelde resultaten in deze groep zijn niet gecorrigeerd voor de woning waarin de toevoerventilator door de bewoners is uitgeschakeld.

### 4.2.2.7 Ventilatiesysteem D.5a

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem D.5a bedraagt 105 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 1,04 uur bij een gemiddelde concentratie van (479 ppm boven de grenswaarde) 1679 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 6,92 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM D.5a | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.30 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Zolder | | 0.38 | 334 | 125 | 27 |
| Slaapkamer 3 | | 1.46 | 658 | 958 | 203 |
| Slaapkamer 2 | | 0.71 | 294 | 209 | 44 |
| Slaapkamer 1 | | 0.09 | 182 | 17 | 4 |
| Woonkeuken | | 0.24 | 308 | 74 | 16 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 2.65 | 494 | 1308 | 277 |
| Gemiddeld per persoon | | 1.04 | 479 | 497 | **105** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 6.92% | | | |

*Tabel 4.2.2.7 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem D.5a*

Opmerking: De gemiddelde resultaten in deze groep zijn niet gecorrigeerd voor de woning waarin de toevoerventiel door de bewoners is dichtgedraaid

### 4.1.2.8 Ventilatiesysteem D.5b

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem D.5b bedraagt 183 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 1,88 uur bij een gemiddelde concentratie van (461 ppm boven de grenswaarde) 1661 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 12,50 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM D.5b | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.00 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| | | | | | |
| Keuken | | 0.51 | 277 | 141 | 30 |
| Slaapkamer 2 | | 1.80 | 778 | 1401 | 297 |
| Slaapkamer 1 | | 0.70 | 383 | 268 | 57 |
| Woonkamer | | 1.40 | 308 | 429 | 91 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 4.40 | 509 | 2239 | 475 |
| Gemiddeld per persoon | | 1.88 | 461 | 865 | **183** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 12.52% | | | |

*Tabel 4.2.2.8 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem D.5b*

Opmerking: De gemiddelde resultaten in deze groep zijn niet gecorrigeerd voor een woning met permanente $CO_2$-belasting van een slaapvertrek ivm ziekte; resultaten zijn evenmin gecorrigeerd voor periodes waarin decentrale wtw units door bewoners zijn uitgeschakeld.

### 4.2.2.9 Ventilatiesysteem D.x

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem D.x bedraagt 76 kppmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 1,82 uur bij een gemiddelde concentratie van (198 ppm boven de grenswaarde) 1398 ppm $CO_2$. Gemiddeld is gedurende 12.11 % van de thuis aanwezige tijd de ventilatie onvoldoende.

| GEMIDDELDE $CO_2$ OVERSCHRIJDING SYSTEEM D.x | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.00 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| | | | | | |
| Slaapkamer 3 | | 0.04 | 42 | 2 | 0 |
| Slaapkamer 2 | | 0.12 | 89 | 11 | 2 |
| Slaapkamer 1 | | 0.75 | 200 | 150 | 32 |
| Woonkeuken | | 2.72 | 204 | 555 | 118 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning | | 3.63 | 198 | 718 | 152 |
| Gemiddeld per persoon | | 1.82 | 198 | 359 | **76** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 12.11% | | | |

*Tabel 4.2.2.9 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem D.x*

### 4.2.2.10 Ventilatiesysteem X1/C

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem X1/C als geheel bedraagt 175 kkpmh, waarvan het grootste gedeelte voor rekening komt van de slaapverdieping welke is uitgerust met ventilatiesysteem systeem type C. Slecht een klein gedeelte komt voor rekening van de woonverdieping met de decentrale wtw .
Gemiddeld over de hele woning duurt de overschrijding per persoon 2,93 uur bij een gemiddelde concentratie van (283 ppm boven de grenswaarde) 1483 ppm $CO_2$.
In de woonkamer is de gemiddelde overschrijdingstijd 0,66 uur per persoon bij een gemiddelde concentratie van 1417 ppm $CO_2$. Op de slaapverdieping is de gemiddelde overschrijdingstijd 2,13 uur per persoon bij een gemiddelde concentratie van 1551 ppm $CO_2$.

| GEMIDDELDEN $CO_2$-OVERSCHRIJDING SYSTEEM X1/C | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 2.20 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| Keuken | | 0.71 | 321 | 228 | 48 |
| Slaapkamer 3 | | 0.24 | 114 | 27 | 6 |
| Slaapkamer 2 | | 2.21 | 230 | 508 | 108 |
| Slaapkamer 1 | | 2.24 | 496 | 1109 | 235 |
| Woonkamer | | 1.45 | 217 | 315 | 67 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning totaal | | 6.84 | 320 | 2186 | 463 |
| Gem. per persoon | | 2.93 | 283 | 827 | **175** |
| Percentage v.d. thuis aanw. tijd | | 19.51% | | | |
| Slaapgedeelte totaal | | 4.68 | 351 | 1644 | 349 |
| Gem. per persoon | | 2.13 | 351 | 747 | 158 |
| Perc. v.d. aanw. tijd | | 14.18% | | | |
| Separate keuken | | 0.71 | 321 | 228 | 48 |
| Gem. per persoon | | 0.32 | 321 | 103 | 22 |
| Perc. v.d. aanw. tijd | | 2.15% | | | |
| Woongedeelte (excl. keuken) | | 1.45 | 217 | 315 | 67 |
| Gem. per persoon | | 0.66 | 217 | 143 | 30 |
| Perc. v.d. aanw. tijd | | 4.39% | | | |

*Tabel 4.2.2.10 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem X1/C*

Opmerking:
De gemiddelde resultaten zijn niet gecorrigeerd voor periodes waarin decentrale wtw units door bewoners zijn uitgeschakeld.

### 4.2.2.11 Ventilatiesysteem X1/A

De gemiddeld gemeten $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor systeem X1/A als geheel bedraagt 167 kkpmh. Per persoon duurt de overschrijding gemiddeld 2,15 uur bij een gemiddelde concentratie van (365 ppm boven de grenswaarde) 1565 ppm $CO_2$.

In de woonkamer is de gemiddelde overschrijdingstijd 1,27 uur per persoon bij een gemiddelde concentratie van 1502 ppm $CO_2$. Op de slaapverdieping is de gemiddelde overschrijdingstijd 0,67 uur per persoon bij een gemiddelde concentratie van 1440 ppm $CO_2$.

| GEMIDDELDE $CO_2$-OVERSCHRIJDING SYSTEEM X1/A | | uren/dag | gem. waarde>1200 | dosis/dag | dosis/st.seizoen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gem. aantal inwoners/woning | 1.33 | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] |
| | | | | | |
| Keuken | | 0.66 | 574 | 379 | 80 |
| Slaapkamer 2 | | 0.28 | 236 | 67 | 14 |
| Slaapkamer 1 | | 0.60 | 242 | 146 | 31 |
| Woonkamer | | 1.27 | 302 | 384 | 81 |
| | | Totale tijd | gem. waarde | Totale dosis/dag | Totale dosis/st.szn |
| Woning totaal | | 2.82 | 346 | 976 | 207 |
| Gem. per persoon | | 2.15 | 365 | 787 | **167** |
| Perc. v.d. thuis aanw. tijd | | 14.36% | | | |
| Slaapgedeelte totaal | | 0.89 | 240 | 213 | 45 |
| Gem. per persoon | | 0.67 | 240 | 160 | 34 |
| Perc. v.d. aanw. tijd | | 4.43% | | | |
| Separate keuken | | 0.66 | 574 | 379 | 80 |
| Gem. per persoon | | 0.50 | 574 | 284 | 60 |
| Perc. v.d. aanw. tijd | | 3.30% | | | |
| Woongedeelte (excl. keuken) | | 1.27 | 302 | 384 | 81 |
| Gem. per persoon | | 0.96 | 302 | 288 | 61 |
| Perc. v.d. aanw. tijd | | 6.37% | | | |

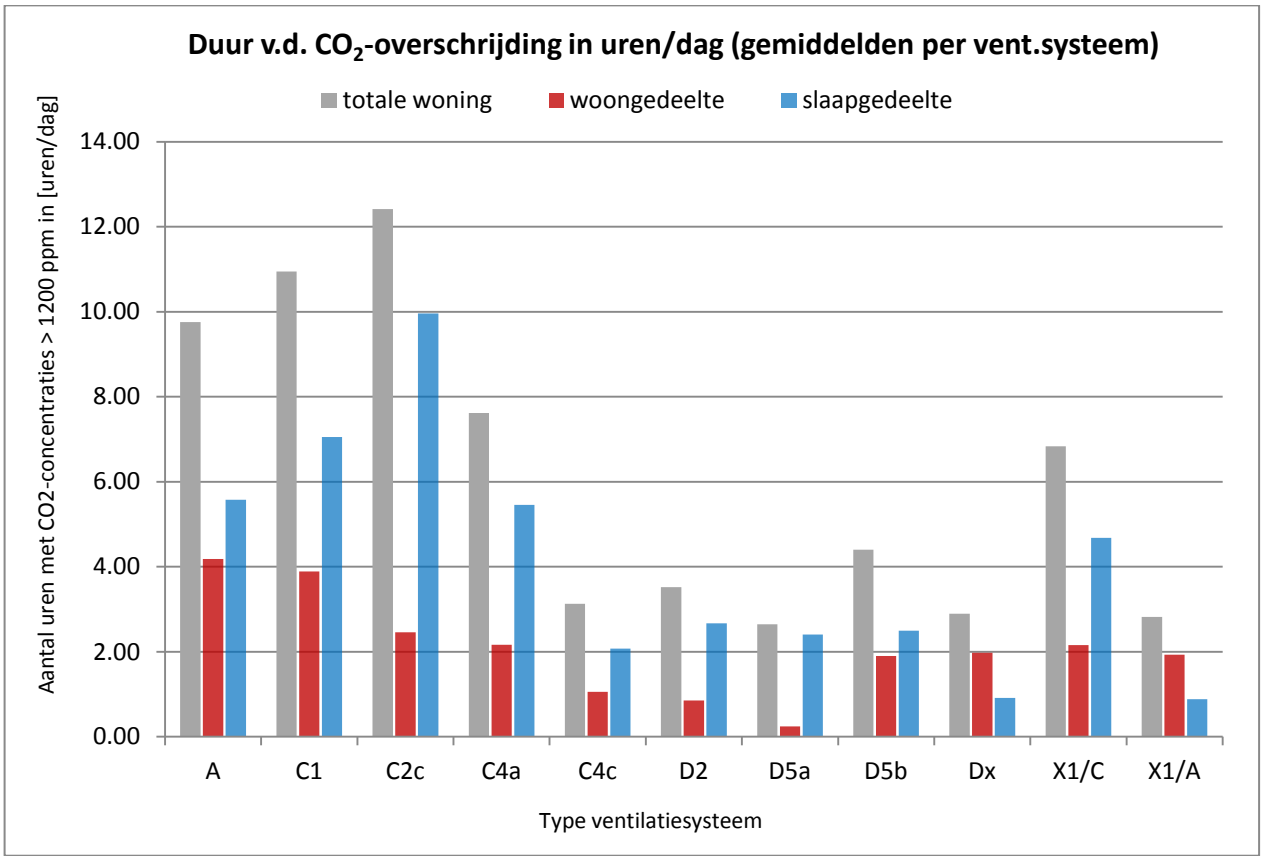
*Tabel 4.2.2.11 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding Systeem X1/A*

Opmerking:
De gemiddelde resultaten zijn niet gecorrigeerd voor periodes waarin decentrale wtw units door bewoners zijn uitgeschakeld.

### 4.2.3
### Vergelijking $CO_2$-overschrijding ventilatiesystemen

#### 4.2.3.1
#### $CO_2$-overschrijding in uren per dag

Onderstaande tabel 4.2.3.1 illustreert de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingstijd in uren per dag voor de gehele woning voor alle onderzochte ventilatiesystemen. Per systeem is ook aangeven welke deel van deze overschrijdingsuren voor rekening komt van woonkamer/keuken, en welk deel voor rekening van de slaapkamers. De volgende zaken vallen op:
1.
Het aantal $CO_2$-overschrijdingsuren is groter bij systemen A, C1, C2c, C4a en X1/C dan bij de overige systemen. Deze vijf systemen bevatten allen verblijfsruimtes waarin uitsluitend natuurlijke toe- en afvoer voorzieningen (ventilatierooster en overstroomvoorziening) zijn toegepast.
2.
Het grootste aantal $CO_2$-overschrijdingsuren komt voor rekening van de slaapkamers (uitgezonderd systeem Dx en X1/A )



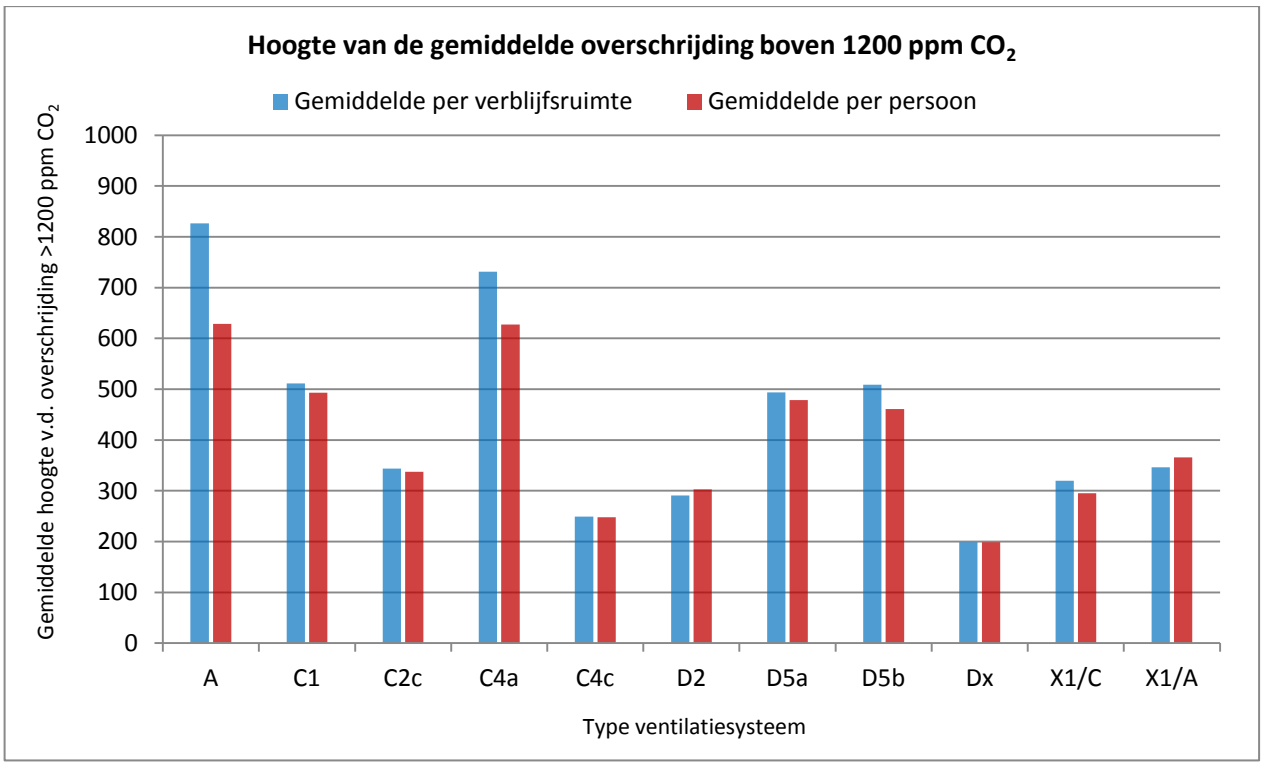

*Figuur 4.2.3.1 : Gemiddeld aantal $CO_2$-overschrijdingsuren per ventilatiesysteem*

Het gemiddelde aantal $CO_2$-overschrijdingsuren voor verblijfsruimtes met uitsluitend *natuurlijke* toe- en afvoervoorzieningen bedraagt 4,63 uren/dag. Voor verblijfsruimtes met een *mechanische* toe- en/of afvoercomponent is het gemiddelde aantal overschrijdingsuren 1,71 uren/dag.

### 4.2.3.2
### Hoogte van $CO_2$-overschrijding > 1200 ppm

Figuur 4.2.3.2 geeft per systeem de gemiddelde hoogte van de overschrijding boven de grenswaarde van 1200 ppm $CO_2$. Deze gemiddelden zijn in eerste instantie per individuele woning berekend, en vervolgens is het gemiddelde bepaald voor alle woningen met hetzelfde ventilatiesysteem.
De grafiek laat zien dat ook deze waardes voor systemen met uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes gemiddeld iets hoger liggen dan bij de andere systemen, zij het dat de verschillen hier minder groot zijn.

Wanneer de overschrijdingsdoses worden gemiddeld over de individuele verblijfsruimtes, dan bedraagt voor verblijfsruimtes met uitsluitend natuurlijke toe- en afvoer componenten (ventilatierooster en overstroomvoorziening) het gemiddelde 469 ppm. Voor verblijfsruimtes met een mechanische component in de toe- en/of afvoer voorzieningen is dat gemiddelde 303 ppm.



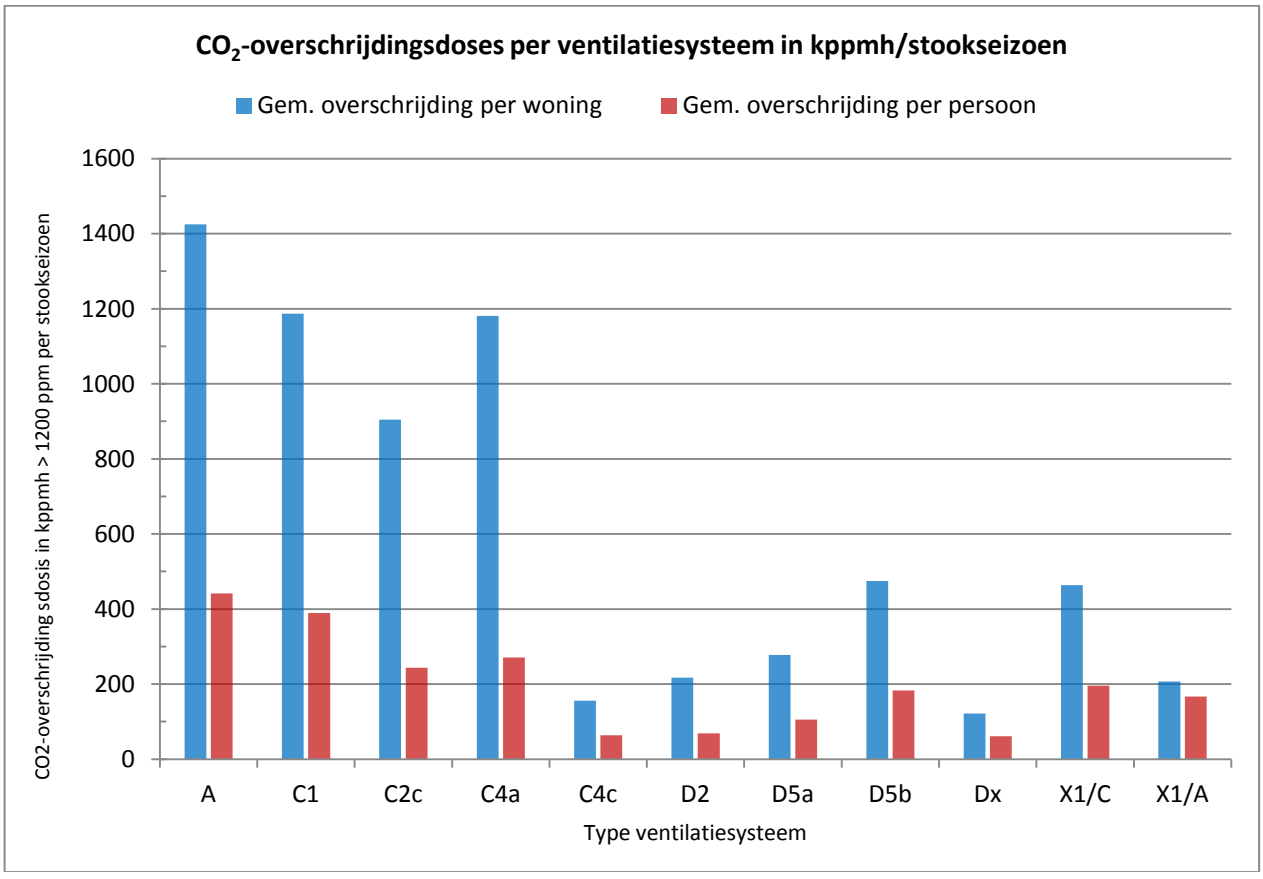

*Figuur 4.2.3.2 : Gemiddelde hoogte van de $CO_2$-overschrijding> 1200 ppm per ventilatiesysteem*

Opmerking 1: De hogere waardes van de systemen D5a en D5b zijn voor een groot deel het gevolg van ongewenst ingrijpen door bewoners van een of enkele woningen: bij systeem D5a is de toevoercomponent in een slaapkamer dicht(er) gedraaid en bij systeem D5b worden enkele decentrale wtw-units tijdelijk uitgeschakeld. De resultaten zijn niet gecorrigeerd voor dit ongewenste gedrag.

Opmerking 2 De hier berekende $CO_2$- overschrijdingsdosis per persoon is lager dan de in werkelijkheid optredende overschrijding, omdat de hier toegepaste berekeningsmethode geen rekening houdt met het feit dat meerdere mensen in een vertrek (ouderslaapkamer) dezelfde $CO_2$-overschrijding ondergaan. Een deling van de totale dosis/st.szn of overschrijdingstijd door het aantal bewoners, geeft in de regel altijd een te lage waarde. Gelieve hiermee rekening te houden bij de interpretatie van de resultaten.

### 4.2.3.3
### $CO_2$-overschrijdingsdoses per stookseizoen in kppmh

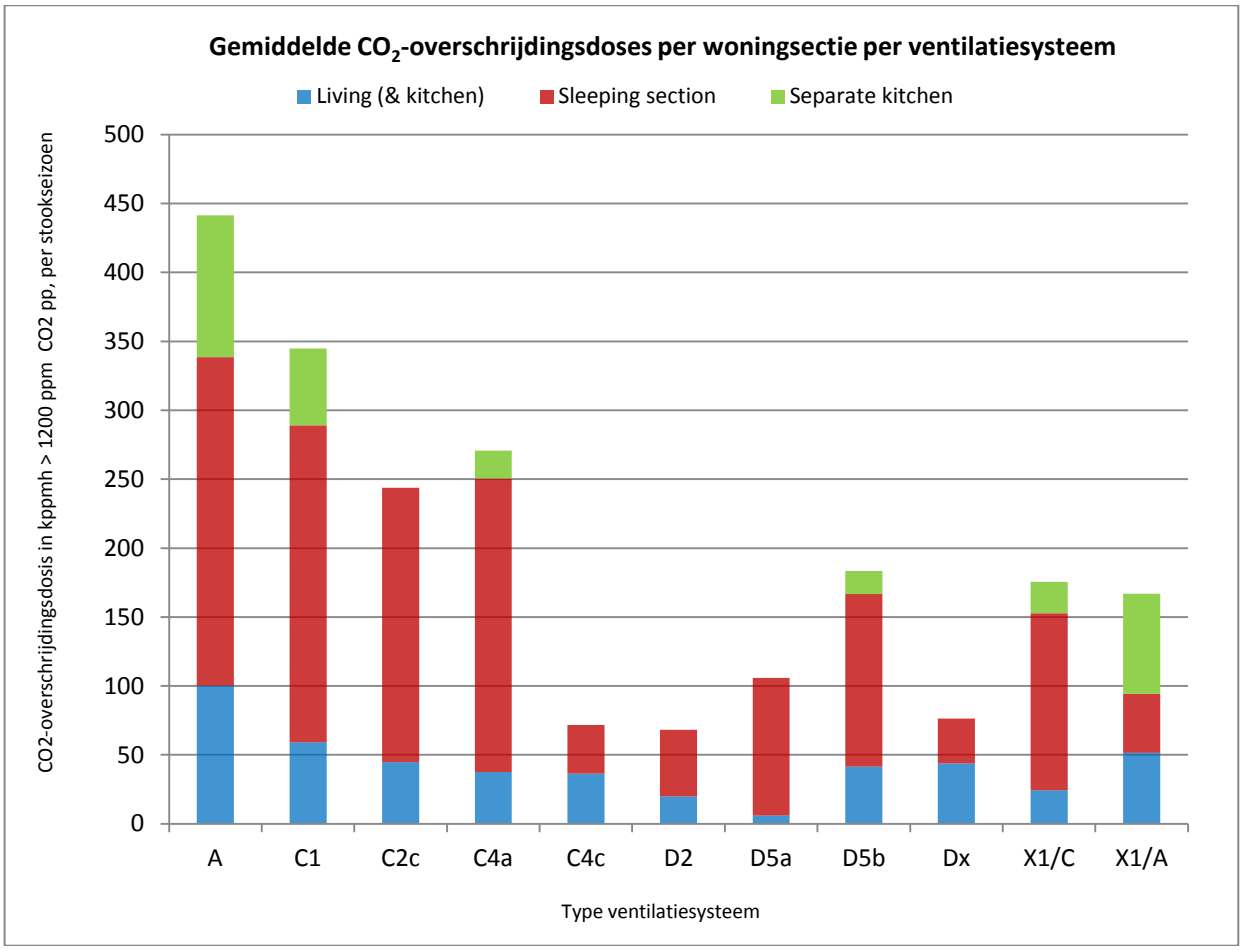
Figuur 4.2.3.3 geeft per ventilatiesysteem de totale $CO_2$-overschrijding in kppmh (= product van overschrijdingsuren en de hoogte van de overschrijding) per stookseizoen, voor zowel de woning als geheel als per persoon. De grafiek laat zien dat de gemiddeld grootse $CO_2$-belasting wordt gemeten in de woningen met ventilatiesysteem A, gevolgd door woningen met die ventilatiesystemen C die uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes toepassen (C1, C2c en C4a). Woningen met ventilatiesystemen die een mechanische component in de toe- en/of afvoervoorzieningen van de verblijfsruimtes gebruiken (systemen C4c, D2, D5a, D5b, Dx, X1/C en X1/A) laten een lagere $CO_2$-belasting zien. De relatief slechtere scores in deze laatste groep woningen (systemen D5a, D5b en X1/C) worden veroorzaakt door ongewenst gebruik van de betreffende ventilatie voorzieningen (bewoners die ventilatoren en/of decentrale wtw-units uitschakelen en/of luchttoevoerventielen dicht(er) draaien (systemen D5a, D5b) of door het feit dat de helft van de woning wordt geventileerd door systemen met uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes (systemen X1/C).




*Figuur 4.2.3.3 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding per ventilatiesysteem in kppmh per stookseizoen*

Opmerking: De hier berekende $CO_2$- overschrijding in kppmh per stookseizoen per persoon is lager dan de in werkelijkheid optredende overschrijding, omdat de hier toegepaste berekeningsmethode geen rekening houdt met het feit dat meerdere mensen in een vertrek (ouderslaapkamer) dezelfde $CO_2$-overschrijding ondergaan. Een deling van de totale dosis/st.szn of overschrijdingstijd door het aantal bewoners, geeft in de regel altijd een te lage waarde. Gelieve hiermee rekening te houden bij de interpretatie van de resultaten.

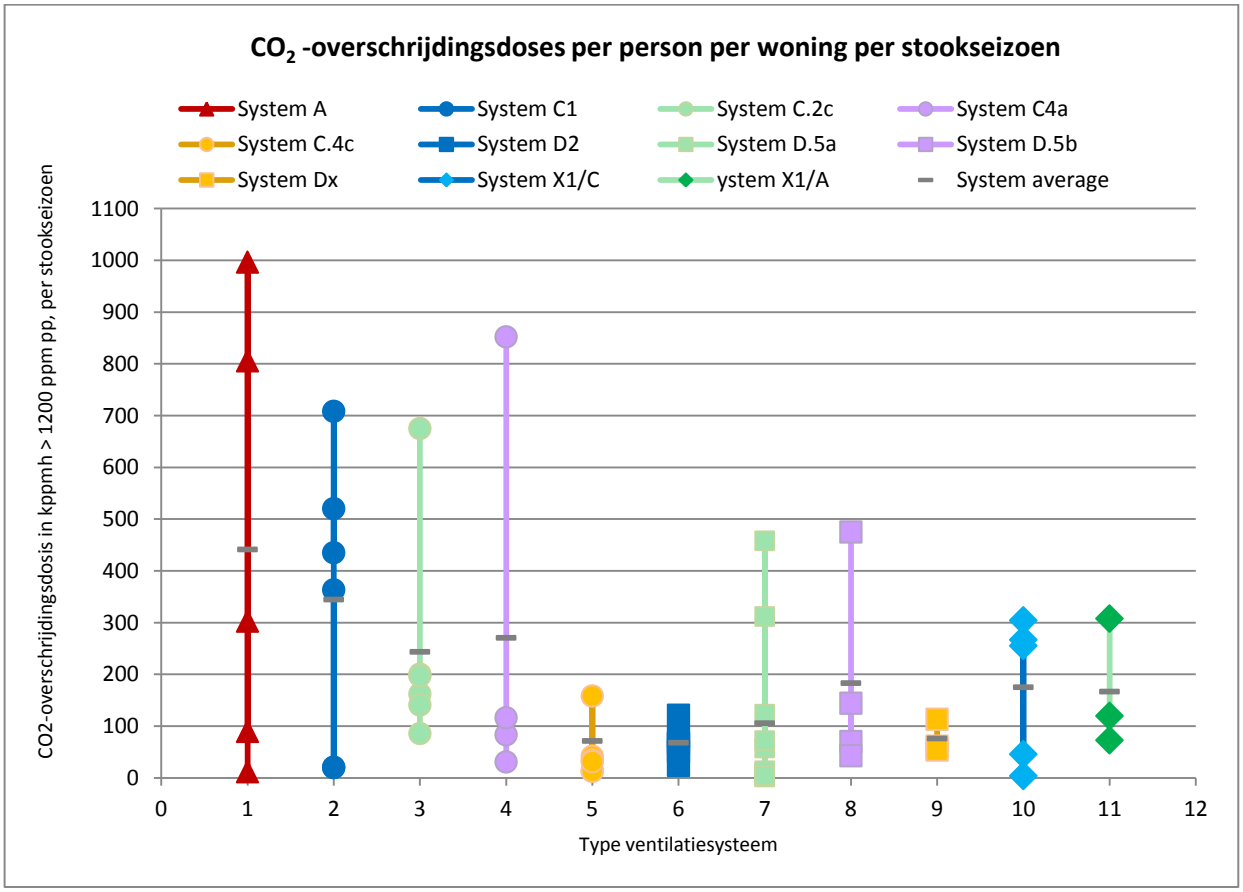
Figuur 4.2.3.4 geeft de verdeling van de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdoses in kppmh per persoon naar woningsectie. De slaapkamers zijn de verblijfsruimtes waar de grootse $CO_2$-belasting optreedt, gevolgd door woon(keuken)kamer en de separate keuken.




*Figuur 4.2.3.4 Gemiddelde $CO_2$-overschrijding in kppmh per woningsectie*

#### 4.2.3.4
#### Spreiding $CO_2$-overschrijdingsdoses [in kppmh/pp] per groep woningen met zelfde ventilatiesysteem

Figuur 4.2.3.5 geeft een overzicht van de gemiddelde $CO_2$-overschrijding per persoon per individuele woning in een groep woningen met hetzelfde ventilatiesysteem.

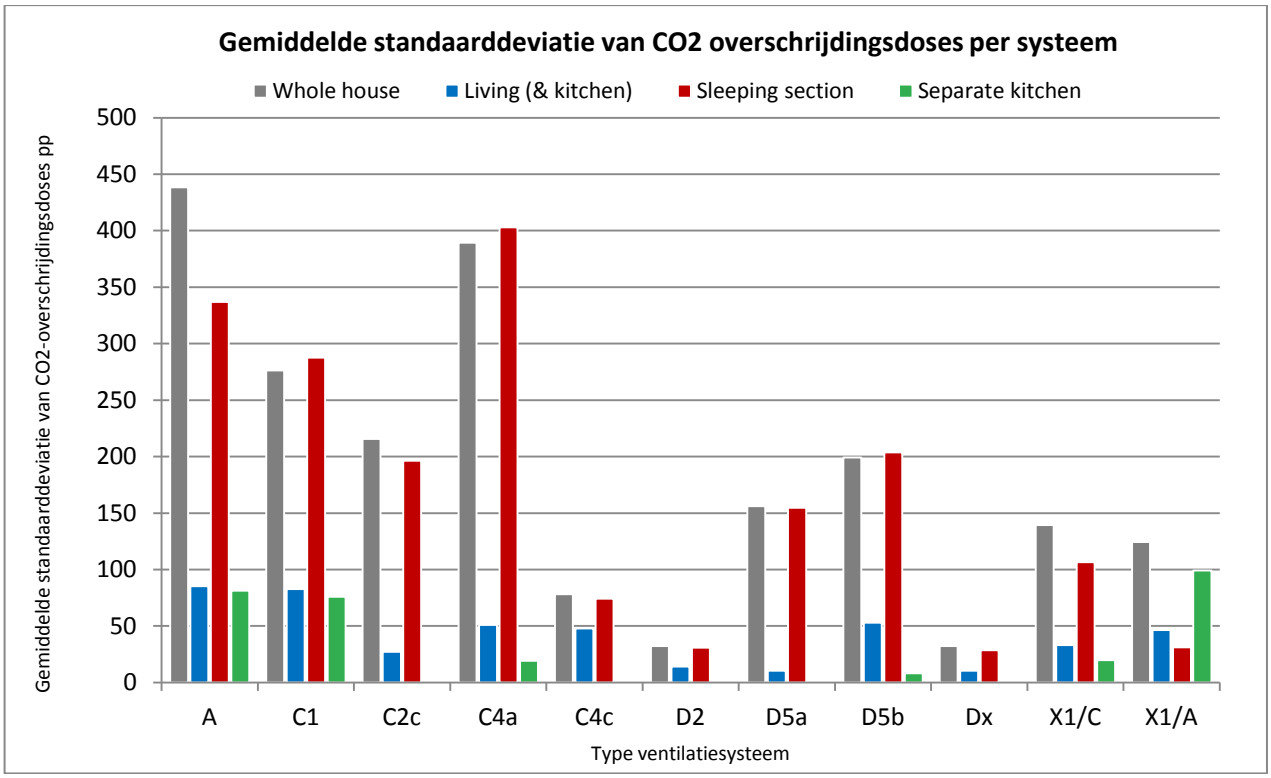



*Figuur 4.2.3.5 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdoses in kppmh per persoon per woning per stookseizoen*

De figuur laat zien dat de systemen A, C1, C2c, en C4a een grotere spreiding hebben in de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdoses (kppmh) per persoon dan de overige systemen. Dit impliceert dat de gerealiseerde ventilatievouden in de verblijfsruimtes van de woningen met deze systemen een grotere variatie vertoont. De figuur laat ook zien dat deze systemen een gemiddeld hogere $CO_2$-overschrijding (kppmh) per persoon hebben en dat er dus gemiddeld een lager ventilatievoud optreedt in de verblijfsruimtes van deze woningen.

Figuur 4.2.3.6 toont de standaard deviatie op de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdoses (in kppmh per persoon per stookseizoen). De grootste spreiding treedt op in de slaapkamers die uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorziening hebben. Aannemende dat het aantal mensen in deze slaapkamers niet al te sterk varieert, betekent dit dat de ventilatievouden daar sterker varieren.

Ook enkele woningen met mechanische componenten in de toe- en/of afvoervoorzieningen in de slaapkamers (systemen D5a en D5b) laten een iets grotere spreiding zien. Detail analyses van deze woningen geven als verklaring dat bewoners hebben ingegrepen in het mechanische systeem (toevoerventielen dicht(er) gedraaid of lokale wtw-units uitgeschakeld). Redenen hiervoor zijn de ervaring van tocht en/of geluid.




*Figuur 4.2.3.6 : Gemiddelde standaard deviatie van de $CO_2$-overschrijdingsdoses in kppmh per persoon per stookseizoen*

Onderstaander tabel geeft per groep ventilatiesystemen de gemiddelde waarde van de gemeten $CO_2$-overschrijdingsdoses >1200 ppm in kppmh per persoon per stookseizoen

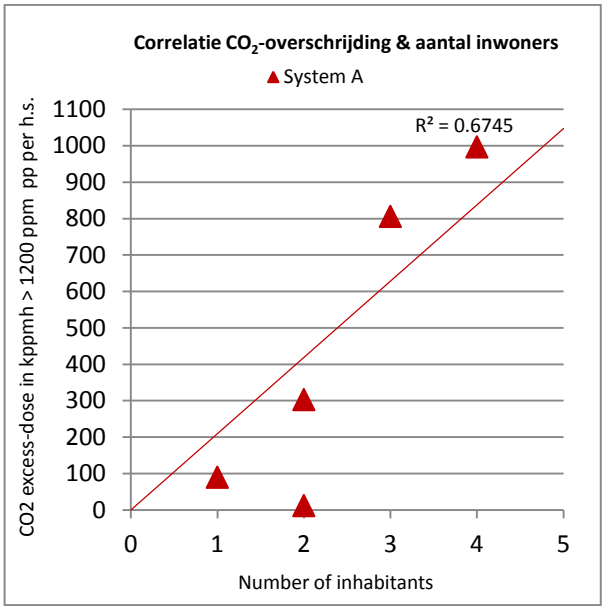
| Systeemgroep | Gem. $CO_2$-overschrijdingsdoses in kppmh/pp | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | totale woning | standaard deviatie | *woon sectie* | *keuken* | *slaap sectie* |
| Systemen A<br>(VR met natuurlijke toe- en afvoer) | **442** | 438 | *100* | *103* | *239* |
| Systemen C1, C2c en C4a<br>(VR's met natuurlijke toe- en afvoer) | **290** | 271 | *48* | *26* | *214* |
| Systemen C4c<br>(VR's met natuurlijke toe- en mechanisch afvoer) | **72** | 78 | *36* | *-* | *35* |
| Systemen D2, D5a, D5b, Dx<br>(VR's met mechanische toe- en/of afvoer) | **106** | 132 | *21* | *3* | *82* |
| Systemen X1/C en X1/A<br>Woonkamer (mech. toe- en afvoer); Slaapkamer (nat. toe- en afvoer) | **172** | 125 | *35* | *41* | *96* |

*Tabel 4.1.3.7 : Gemiddelde $CO_2$-overschrijding >1200 ppm in kppmh per persoon per stookseizoen voor de verschillende groepen ventilatiesystemen.*

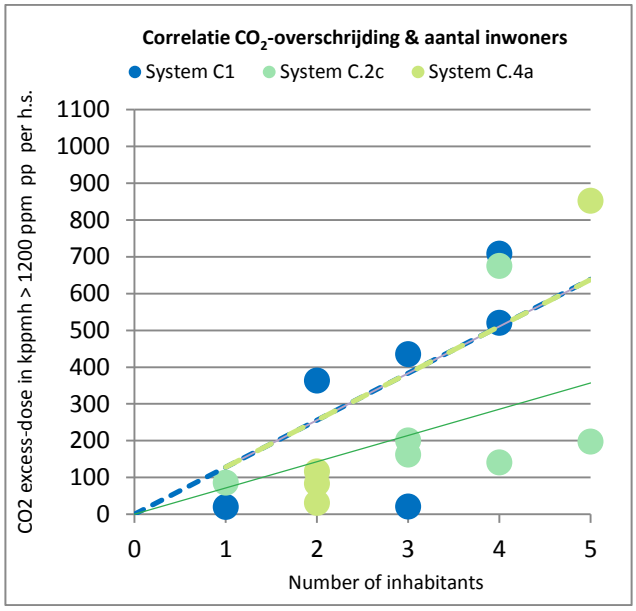
### 4.2.4
### Correlatie $CO_2$-overschrijdingsdosis en aantal inwoners

Figuren 4.2.4.1 t/m 4.2.4.5 geven de correlatie tussen het aantal inwoners en de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdosis in kppmh per persoon per woning voor de verschillende systeemgroepen:

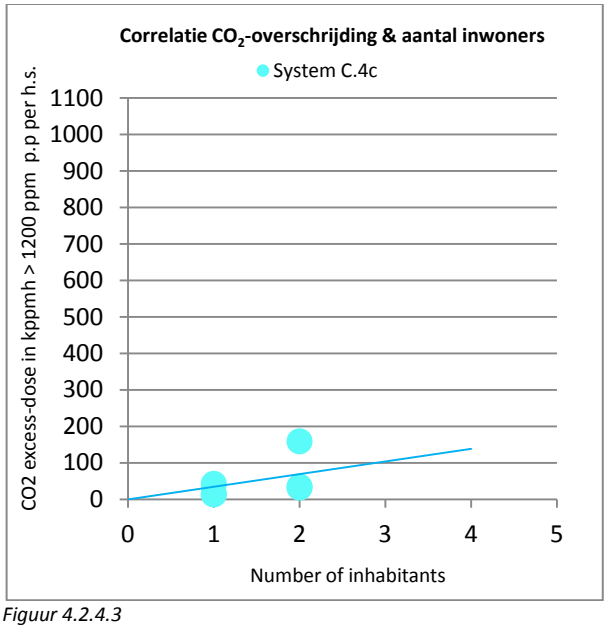
- Systemen A
- Systemen C1, C2c, C4a
- Systemen C4c
- Systemen D2, D5a, D5b, Dx
- Systemen X1/C en X1/A



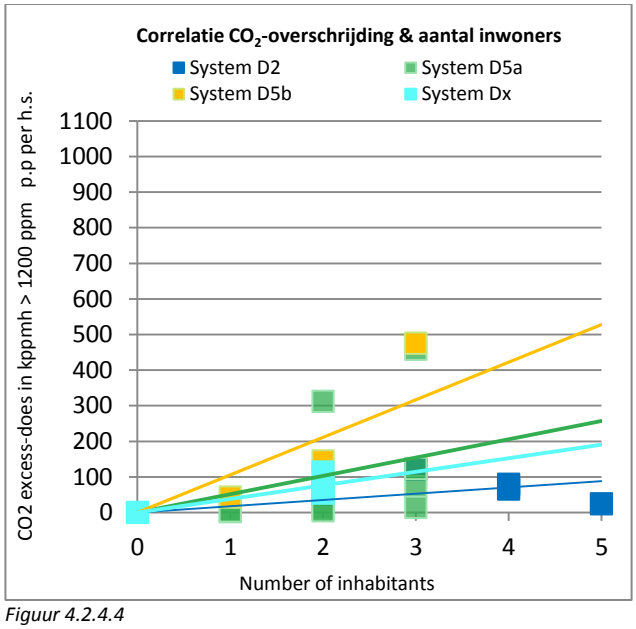

*Figuur 4.2.4.1*
*Correlatie CO2-overschreiding en aantal bewoners systeem A*



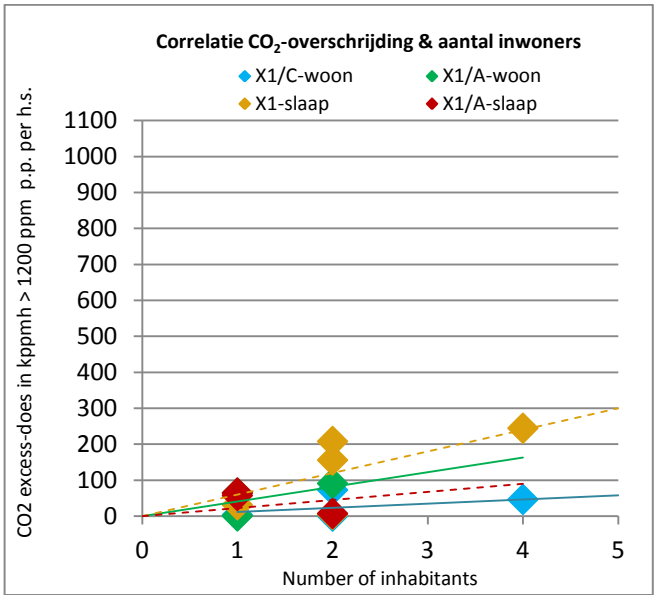

*Figuur 4.2.4.2*
*Correlatie CO2-overschreiding en aantal bewoners systeem C1,2c,C4a*




*Figuur 4.2.4.3*
*Correlatie CO2-overschreiding en aantal bewoners systeem C4c*




*Figuur 4.2.4.4*
*Correlatie CO2-overschreiding en aantal bewoners systeem D2,D5a,D5b, Dx*




*Figuur 4.2.4.5*
*Correlatie CO2-overschreiding en aantal bewoners systeem X1/C en X1/A*

Al hoewel de steekproef aan de kleine kant is om echt harde conclusies te kunnen formuleren, dient zich het volgende beeld aan :

1.
Wanneer de woning slechts één bewoners heeft, realiseren alle ventilatiesystemen een $CO_2$-overschrijdingsdosis van ruim beneden de 100 kpmmh per persoon,.

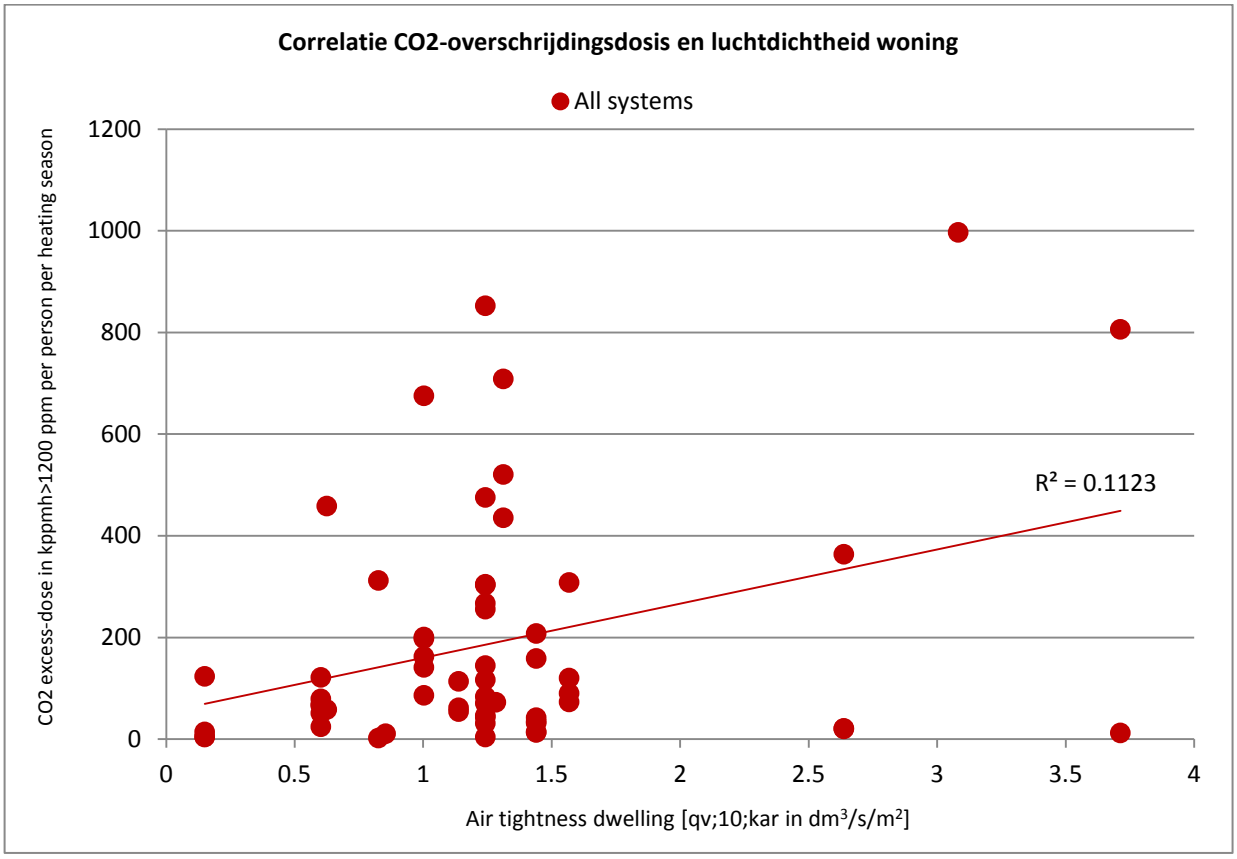
2.
Alle ventilatiesystemen vertonen vwb hun prestatie op het gebied van de binnenluchtkwaliteit een zekere correlatie met de gezinsgrootte. Hoe meer bewoners, hoe groter de $CO_2$-overschrijdingsdoses.

3.
Systemen met uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in verblijfsruimtes (systemen A, C1, C2c en C4a) vertonen een sterkere correlatie tussen aantal inwoners en $CO_2$-overschrijding dan systemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes. Bij systemen met mechanische afzuiging in de natte ruimtes en natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes (systemen C1, C2c, C4a) is deze correlatie weer iets kleiner dan bij systeem A. Vreemd genoeg toont systeem C4a (met een $CO_2$-sensor in de woonkamer) geen beter resultaat dan de systemen zonder $CO_2$-sensor (C1 en C2c).

4.
Systemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes, vertonen de kleinste correlatie tussen $CO_2$-overschrijdingsdosis en aantal inwoners en lijken daarmee beter in staat de $CO_2$-concentraties in de verblijfsruimtes op peil te houden.

### 4.2.5
### Correlatie $CO_2$-overschrijdingsdosis en luchtdichtheid woning

Figuur 4.2.5.1 illustreert de relatie tussen de qv10-waarde van de woningen en de gerealiseerde gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdosis per persoon voor die woning. De algemeen heersende opvatting dat in lekke huizen (woningen met een hoge qv10-waarde) een betere luchtkwaliteit wordt gerealiseerd kan met de data uit Monicair niet worden bevestigd. Sterker nog, het tegenovergestelde lijkt eerder van toepassing. Verdere detail analyse laat zien dat de kierdichte woningen ($qv_{;10;kar}$ < 1,0 l/s/m$^2$ ) vaker een ventilatiesysteem hebben waarbij een mechanische component in de verblijfsruimtes is toegepast en om die reden een geringere $CO_2$-overschrijding laten zien. Dit verklaart het feit dat in de Monicair steekproef lekdichte woningen gemiddeld een betere luchtkwaliteit laten zien.
Maar ook uit de lekdichtheidsmetingen die tbv het Monicair onderzoek zijn uitgevoerd, valt af te leiden dat – gezien de locatie van deze lekken – deze geen tot beperkte invloed kunnen uitoefenen op de binnenluchtkwaliteit in verblijfsruimtes. Het gaat namelijk in veel gevallen over locaties die zich niet in verblijfsruimtes bevinden zoals, dakdoorvoeren cv-ketel en ventilatiesysteem, kelderraam, toiletraam, aansluiting zoldervloer/daklijn, meterkast, kruipluik, etc.

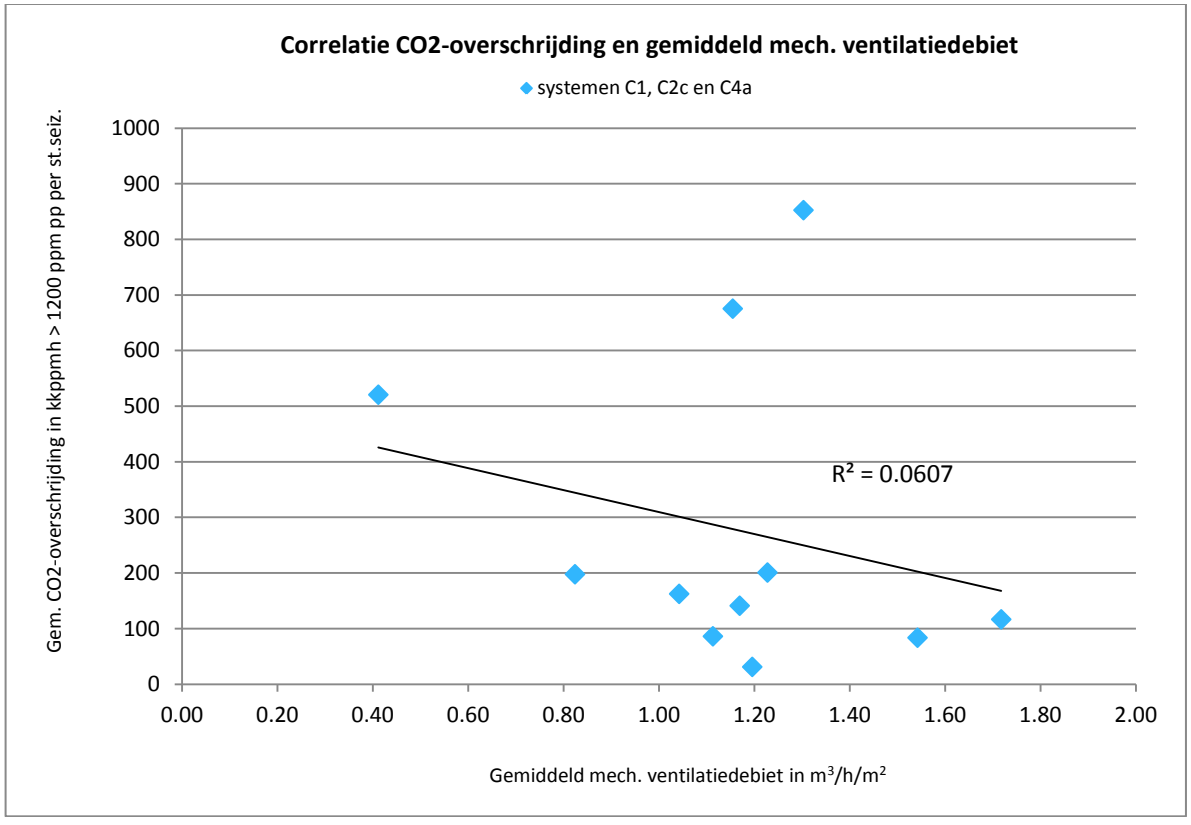



*Figuur 4.2.5.1 : Correlatie tussen gemiddelde $CO_2$-overschrijding per persoon per woning en de bijbehorende luchtdichtheid van de woning*

### 4.2.6
### Correlatie $CO_2$-overschrijding en mechanisch ventilatiedebiet

Het voor de gehele woning gemiddeld optredende mechanische ventilatiedebiet heeft beperkt tot geen invloed op de $CO_2$-overschrijdingen in de verschillende verblijfsruimtes. Figuren 4.1.6.1 laat zien dat de correlatie tussen het in de woning gemiddeld optredende ventilatiedebiet en de gemiddelde $CO_2$-overschrijdingen per persoon uitermate zwak is; in figuur 4.1.6.2 is deze correlatie zelfs volledig afwezig.

Figuur 4.1.6.1 bevat de woningen met ventilatiesystemen die mechanisch lucht afvoer vanuit de natte ruimtes en op natuurlijke wijze lucht toe- (en af) voeren vanuit de verblijfsruimtes (systemen C1, C2c en C4a) . Alleen de woningen waarvan het mechanisch afzuigdebiet kon worden gemeten (11 van de 16 woningen) zijn in deze grafiek meegenomen. Slechts drie van deze elf woningen hebben een $CO_2$-percentage van beneden de 100 kppmh/per persoon. Van deze drie woningen zijn er bovendien twee woningen die maar één inwoner en dus een minimale $CO_2$-belasting hebben.

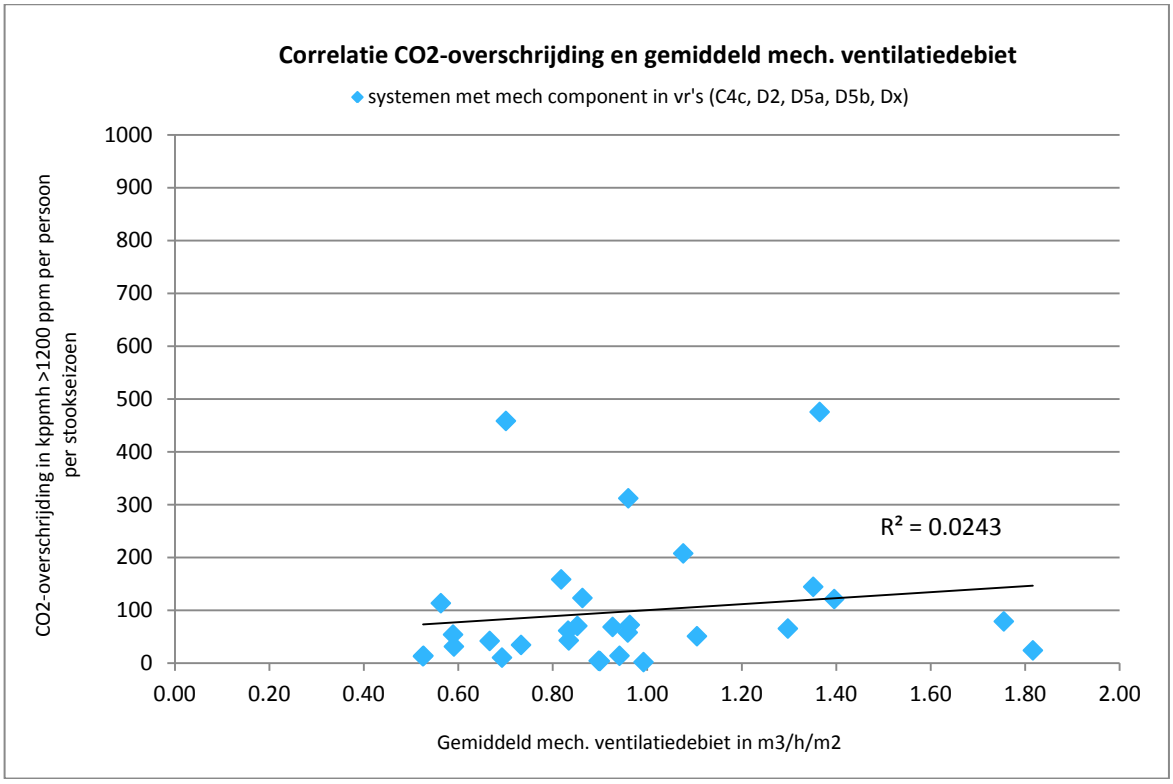



*Figuur 4.2.6.1 : Correlatie tussen gemiddelde $CO_2$-overschrijding per persoon per woning en het gerealiseerde gemiddelde mechanische ventilatiedebiet in m3/h/m2*

Wanneer het gemiddelde van alle woningen van de systemen C1, C2c en C4a wordt berekend dan bedraagt de gemiddelde $CO_2$ –overschrijding **288 kppmh/pp** bij een gemiddeld ventilatiedebiet van **1,15 m3/h/m2**

Figuur 4.2.6.2 bevat de woningen met ventilatiesystemen die – naast mechanische afzuiging vanuit de natte ruimtes – ook een mechanische component hebben in de verblijfsruimtes.
Bij een meerderheid van deze woningen is de $CO_2$-overschrijding lager dan 100 kppmh/pp. De drie woningen die een $CO_2$-overschrijding hebben van meer dan 300 kppmh/pp zijn de woningen waarbij de bewoner oneigenlijk heeft ingegrepen in het ventilatiesysteem, vanwege bijvoorbeeld tocht- en/of geluidhinder. Onder oneigenlijke acties wordt hier bijvoorbeeld verstaan 'het dicht draaien van een toevoerventiel', 'het tijdelijk uitschakelen van een (decentrale) wtw-unit, of het uitschakelen van de centrale toevoerventilator.

Wanneer het gemiddelde van alle woningen van de systemen C4c, D2, D5a, D5b en Dx wordt berekend dan bedraagt de gemiddelde $CO_2$ –overschrijding **98 kppmh/pp** bij een gemiddeld ventilatiedebiet van **0,95 m3/h/m2**



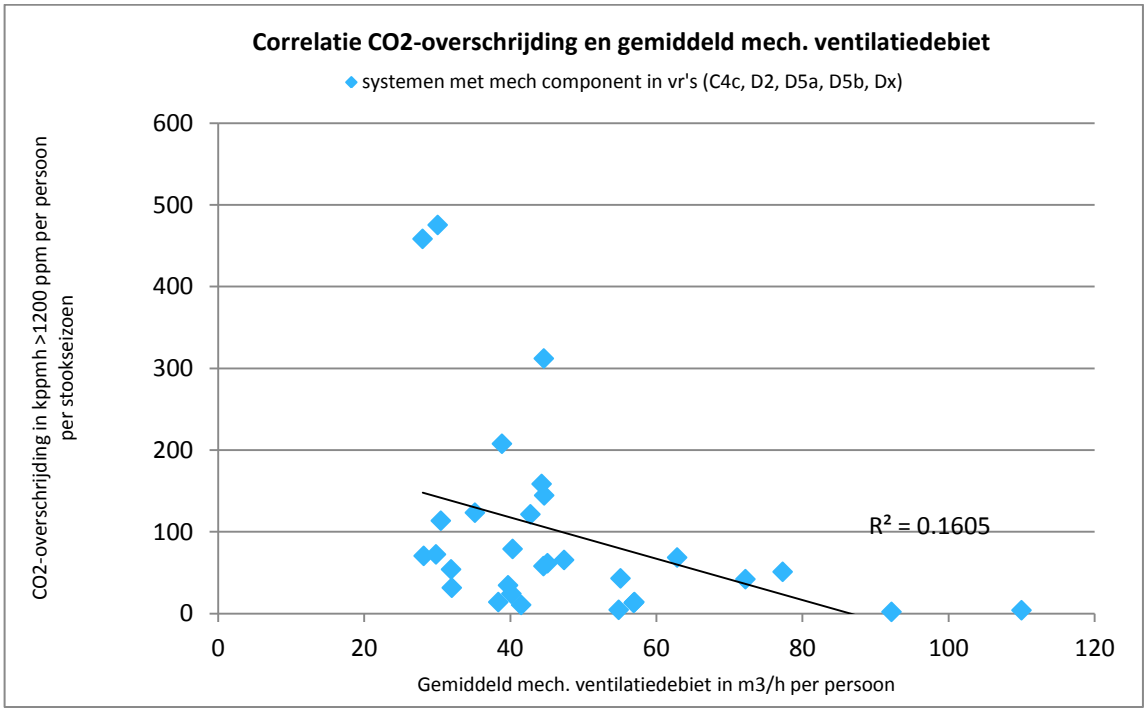

*Figuur 4.2.6.2 : Correlatie tussen gemiddelde $CO_2$-overschrijding per persoon per woning en het gerealiseerde gemiddelde mechanische ventilatiedebiet in m3/h/m2*

Uit deze beschouwingen moet geconcludeerd worden dat het verhogen van het totaal gemiddelde ventilatiedebiet van bijvoorbeeld 1,0 naar 1,5 $m^3/h/m^2$ (bijvoorbeeld dmv het verhogen van de 3-standenschakelaar van de centrale ventilatie-unit) niet of beperkt invloed zal hebben op de $CO_2$-overschrijdingen in de verblijfsruimtes.

Deze conclusie lijkt in eerste instantie tegenstrijdig. Natuurlijk moet er een correlatie zijn tussen de $CO_2$-bron (aantal inwoners) in een verblijfsruimte en het aldaar gerealiseerde ventilatiedebiet. Dat deze correlatie op het niveau van de uitgevoerde analyse niet wordt waargenomen betekent:

1. Het verhogen van het mechanisch ventilatieniveau in de gehele woning (via optoeren van de centrale ventilatie-unit) heeft geen of beperkt effect op het ventilatievoud in de verblijfsruimtes. Dit geldt met name voor systemen waarbij de verblijfsruimtes uitsluitend zijn voorzien van natuurlijke toe- en afvoercomponenten (systemen A, C1, C2c, en C4a)
2. De verhoging van het centrale mechanische ventilatiedebiet is te gering in relatie tot de toename van de $CO_2$-bron in een specifiek vertrek. Bij een verhoging van de bron (drie of vier personen ipv van één persoon) zou het ventilatiedebiet in het betreffende vertrek in principe ook met een factor 3 of 4 omhoog moeten gaan (bijvoorbeeld van 25 m3/h naar ca. 100 m3/h). Een verhoging van het centrale mechanische debiet met 50% zal bij een toename van de $CO_2$-bron met een factor drie of vier slecht beperkt effect hebben. Dit geldt voor alle ventilatiesystemen.

Figuur 4.2.6.2 (zie vorige pagina) heeft betrekking op systemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes en zou dus om z'n minst een zekere correlatie moeten laten zien. In deze grafiek is het ventilatiedebiet echter aangegeven in m3/h/m2. Dit zegt niets over de $CO_2$-bron (aantal personen), met andere woorden een hoger debiet per m2 betekent nog niet dat er meer wordt geventileerd in relatie tot de $CO_2$-bron. In onderstaande grafiek (Figuur 4.2.6.3) wordt daarom de $CO_2$-overschrijding van deze systemen weergegeven in relatie tot het mechanische ventilatiedebiet uitgedrukt in m3/h per persoon.




*Figuur 4.2.6.3 : Correlatie tussen gemiddelde $CO_2$-overschrijding per persoon per woning en het gerealiseerde gemiddelde mechanische ventilatiedebiet in m3/h per persoon*

Uit figuur 4.2.6.3 blijkt dat verhoging van het gemiddelde mechanische ventilatiedebiet per persoon effect heeft – zij het beperkt – op de $CO_2$-overschrijding. Deze figuur impliceert niet alleen dat de variaties in de $CO_2$-bron per verblijfsruimte beduidend groter en dominanter zijn dan de bijbehorende variatie in het ventilatievoud. Figuur 4.1.6.3 illustreert ook dat een verhoging van het totale ventilatiedebiet over de woning maar beperkt invloed heeft op het ventilatiedebiet per persoon in een specifieke verblijfsruimte. Bij debieten van meer dan 30 m3/h/per persoon zouden de $CO_2$-overschrijdingen immers minimaal moeten zijn. Dat de $CO_2$-overschrijdingen in figuur 4.1.6.3 toch nog aanzienlijk zijn betekent dat de hier over de gehele woning berekende *gemiddelde* debieten per persoon niet overeenkomen komen met het gemiddelde debiet dat daadwerkelijk per persoon in een specifieke verblijfsruimte wordt gerealiseerd.

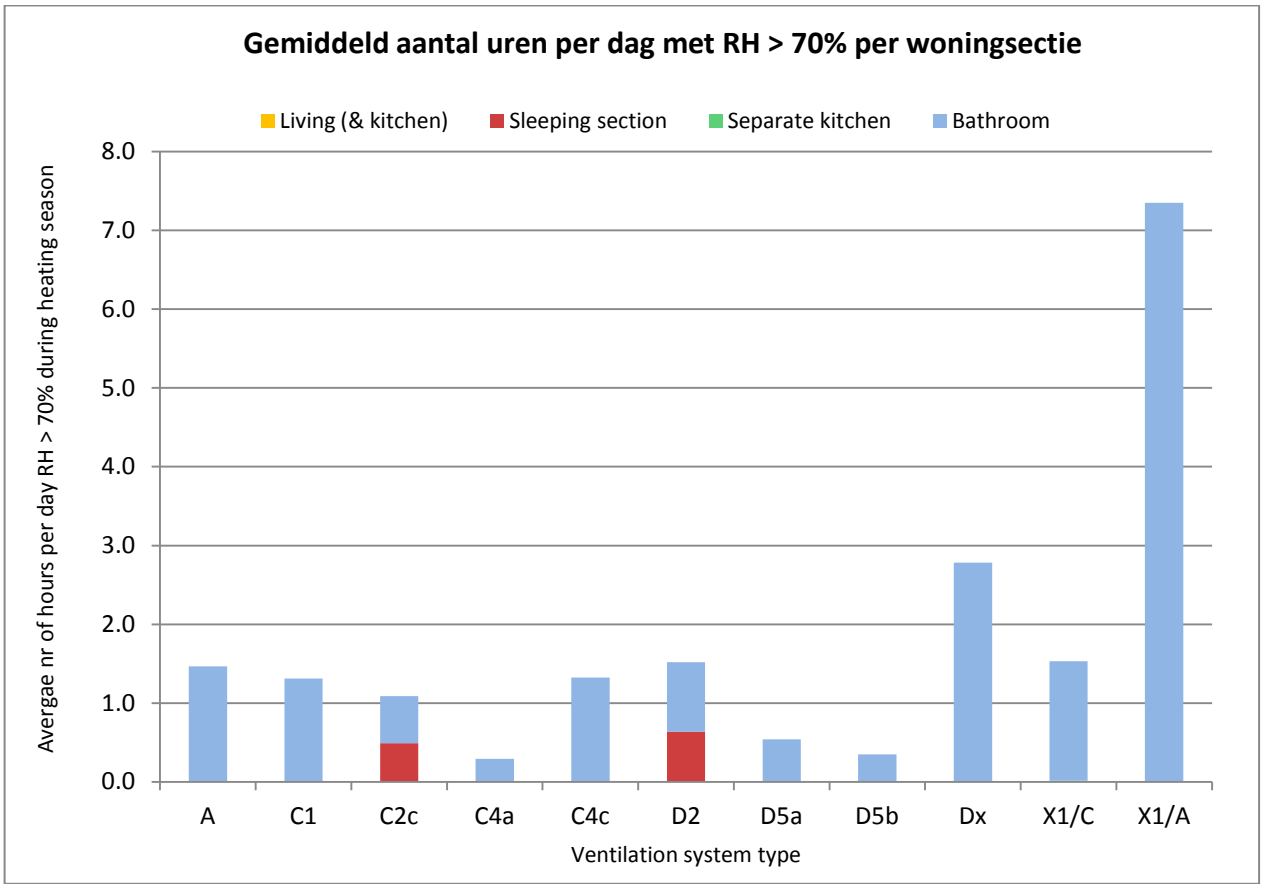
*Rekenvoorbeeld voor systeem met mechanische component in verblijfsruimtes:*
In een woonkamer van 30 $m^2$ wordt - in stand 1 van de driestandenschakelaar – bijvoorbeeld 0,3 l/s per m2 verblijfsruimte geventileerd (zie ook § 4.1.1), ofwel 32 m3/h voor de gehele woonkamer. Wanneer één persoon aanwezig is zal dit ruim voldoende zijn. Wanneer drie, vier of vijf personen in de woonkamer aanwezig zijn is het ventilatievoud onvoldoende en zullen er $CO_2$-overschrijdingen optreden. Wanneer de driestandenschakelaar in stand 2 wordt gezet en het ventilatiedebiet wordt verhoogd naar bijvoorbeeld 0,6 l/s per m2 verblijfsruimte, ofwel 64 m3/h voor de woonkamer, zullen de $CO_2$-overschrijdingen weliswaar afnemen maar nog steeds voorkomen Dit terwijl het totale ventilatievoud over de gehele woning (met ca. 130 m3/h) wel ruim voldoende is om deze $CO_2$-overschrijdingen in de woonkamer te voorkomen. Eenzelfde verhaal gaat op voor een ouderslaapkamer van bijvoorbeeld 14 $m^2$. In stand 1 van de driestandenschakelaar wordt hier 15 m3/h geventileerd. Voor één persoon in rust is dit al aan de lage kant, maar bij aanwezigheid van twee personen zullen ook hier $CO_2$-overschrijdingen optreden. Zelfs wanneer dit debiet met 50% wordt verhoogd en het totale debiet over de gehele woning meer dan genoeg is om $CO_2$-overschrijdingen te voorkomen.

Voorlopige conclusie van deze paragraaf is dat het verhogen van het totale ventilatiedebiet over de woning als geheel (optoeren van centrale ventilatie-unit) geen of beperkt effect heeft op de $CO_2$-overschrijding in de verblijfsruimtes en zal leiden tot een onnodige verhoging van het energieverbruik voor ventilatie.
Dit geldt met name voor systemen uit het onderzoek waarbij uitsluitend natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in verblijfsruimtes worden toegepast, omdat hier het verhoogde afvoerdebiet vanuit de natte ruimtes niet perse wordt vertaald in een verhoogd debiet in de verblijfsruimtes en omdat hier geen warmteterugwinning wordt toegepast.
Het geldt in mindere mate voor systemen die een mechanische toe- en/of afvoercomponent in de verblijfsruimtes hebben. Omdat bij deze systemen een verhoging van het debiet direct resulteert in een verhoging van de luchtuitwisseling in de verblijfsruimtes, zal dit de $CO_2$-overschrijding reduceren.
Echter, omdat maar een deel van de totale debietverhoging (quotiënt van oppervlak verblijfsruimte en totale verblijfsruimte) in het betreffende vertrek terecht komt waar de $CO_2$-bron is verhoogd, zullen CO2-overschrijdingen niet altijd volledig kunnen worden voorkomen. Wanneer deze systemen bovendien warmteterugwinning toepassen blijft de energieverspilling als gevolg van het verhogen van het centrale ventilatiedebiet beperkt.

## 4.3
## Resultaten rh- over en onderschrijding

### 4.3.1
### Aantal uren met RV>70%

Figuur 4.3.1.1 toont per vertrek het gemiddeld aantal uren per dag gedurende welke de relatieve luchtvochtigheid groter is dan 70%. Zoals te verwachten, blijkt dit voornamelijk in badkamer voor te komen en dan slecht  gemiddeld een half tot 2 uren per dag gedurende het stookseizoen. Uitzondering hierop vorm een woning met systeem X1/A, waar de natuurlijke luchtafvoer duidelijk te wensen overlaat en mogelijk ook vochtproblemen veroorzaakt.

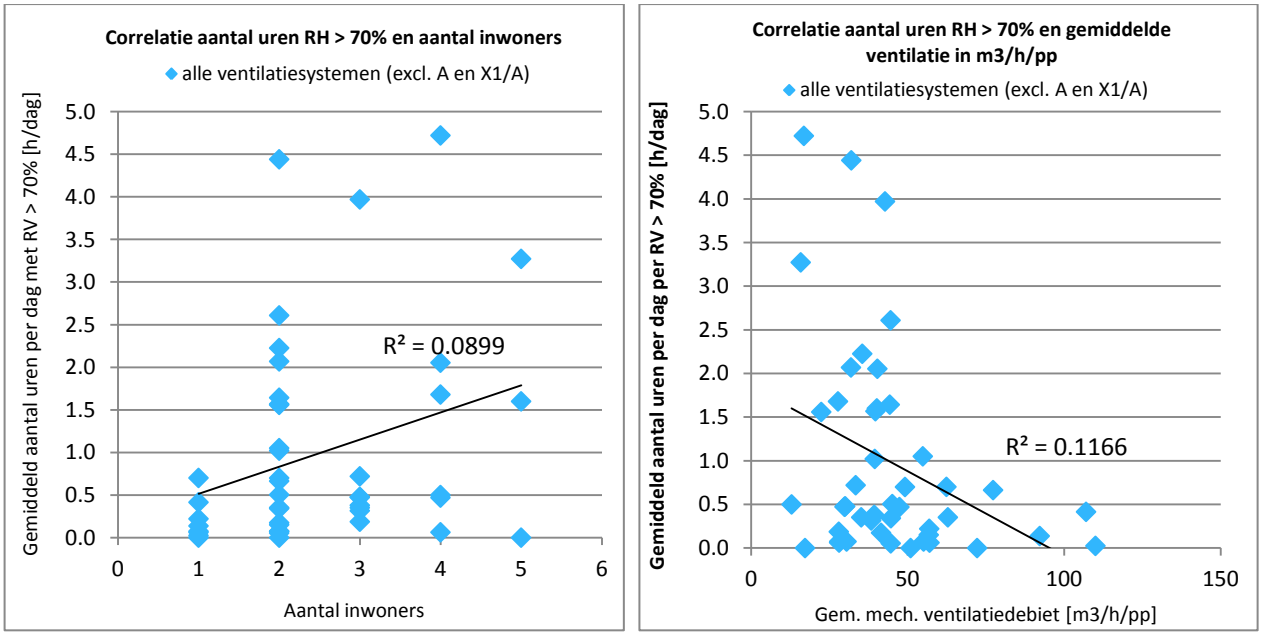



*Figuur 4.3.1.1 : Gemiddeld aantal uren met RV-waardes >70% per woning sectie gedurende stookseizoen*

Slechts in twee (van de tweeënzestig) woningen wordt ook in de slaapkamer een korte periode met hogere RV waargenomen. Dit kan veroorzaakt worden door bijvoorbeeld vochttransport van badkamer naar slaapkamer of door het drogen van wasgoed in de betreffende slaapkamer.

Oorzaken van te hoge RV-waardes hebben te maken met inpandige vochtproductie in combinatie met een te laag ventilatievoud in de betreffende ruimte, ofwel te weinig uitwisseling met lucht die een lagere RV heeft. RV-waardes boven de 70%, komen niet of nauwelijks voor in de verblijfsruimtes (woon- en slaapkamers) en de keuken. Alleen in badkamers blijken deze periodes voor te komen. De vochtproductie is hier aanzienlijk gegeven het feit dat bewoners meerdere malen per week een douche nemen. Wanneer de relatieve luchtvochtigheid in de badkamer beduidend langer dan gemiddeld 2 uur per dag boven de 70% is, is het ventilatievoud voor die ruimte in principe te laag. In een enkele woning met ventilatiesysteem X1/A is dit het geval. In deze woning is de natuurlijke afvoer van de badkamer onvoldoende. In alle overige woningen is het ventilatievoud in de badkamer afdoende.

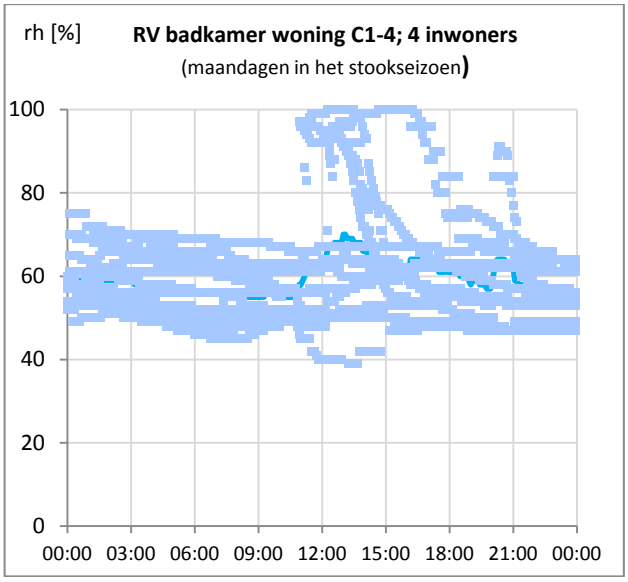
Uit onderstaande grafieken (Figuur 4.3.1.2 ) blijkt verder dat de correlatie tussen te hoge luchtvochtigheid (RV>70%) en het aantal inwoners weliswaar aanwezig maar vrij zwak is. Hetzelfde geldt voor de correlatie tussen het gemiddeld gerealiseerde mechanische ventilatiedebiet en het aantal RV-uren >70%. Inschatting is dat er een veel sterkere correlatie is tussen het aantal RV-uren >70% en het acuut (dwz tijdens vochtproductie) gerealiseerde ventilatiedebiet. Verder kan worden gededuceerd dat bepaalde aspecten in het bewonersgedrag van grote invloed moeten zijn op het aantal RV-uren >70%, omdat alleen daarmee de grote spreiding in resultaten per individuele woning kan worden verklaard. Hieronder vallen bijvoorbeeld het wel of niet gebruiken van klepraampjes/roosters in de badkamer, de tijd en frequentie van het douchen en het al dan niet open laten staan van de badkamerdeur na het douchen.

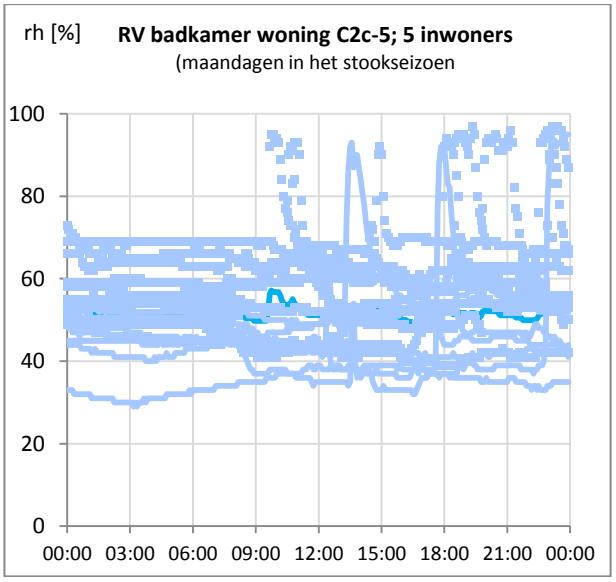


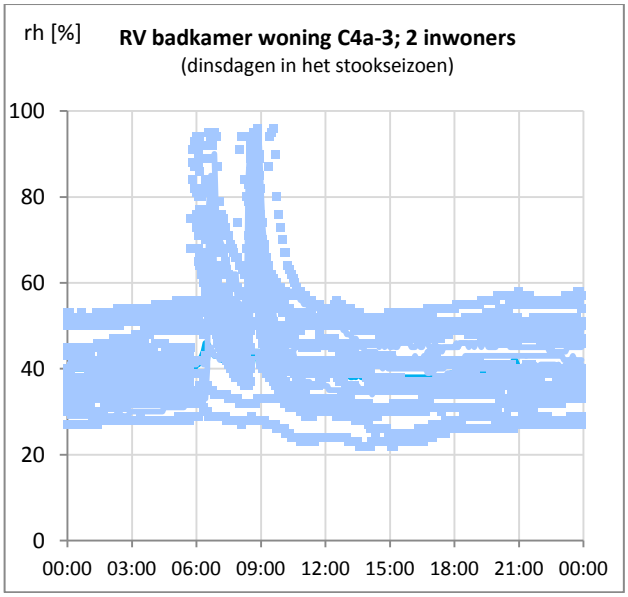

*Figuur 4.3.1.2 : Gemiddeld aantal uren met RV-waardes >70% per woning gedurende stookseizoen in relatie tot aantal inwoners en het gemiddelde mechanische ventilatiedebiet per inwoner.*

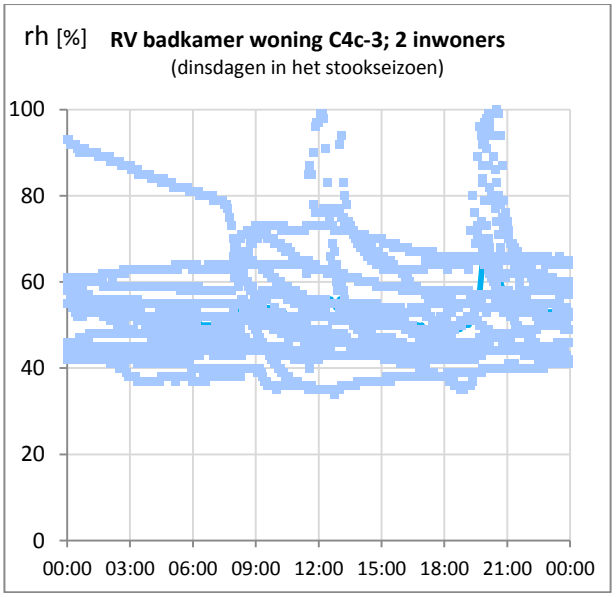
### 4.3.2
### Illustraties van RH-uren > 70%

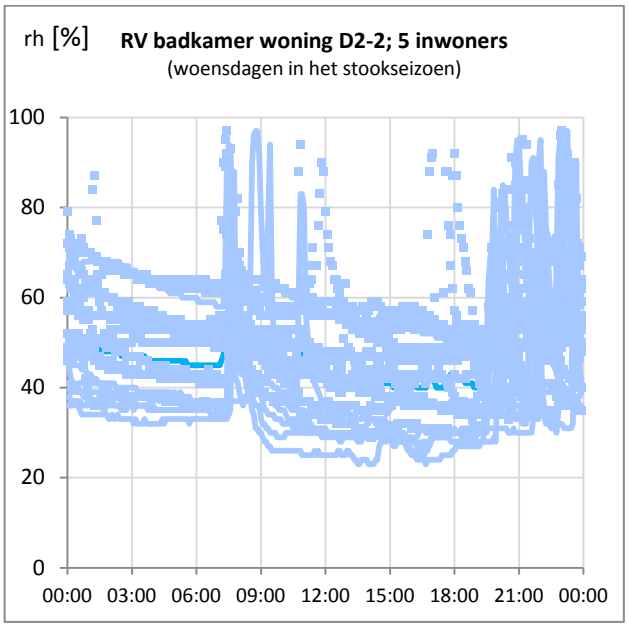
Om inzicht te geven in het RV-verloop in badkamers bij verschillende ventilatiesystemen, worden hieronder van enkele ventilatiesystemen  grafieken getoond van het RV-verloop op een willekeurige dag in het stookseizoen.

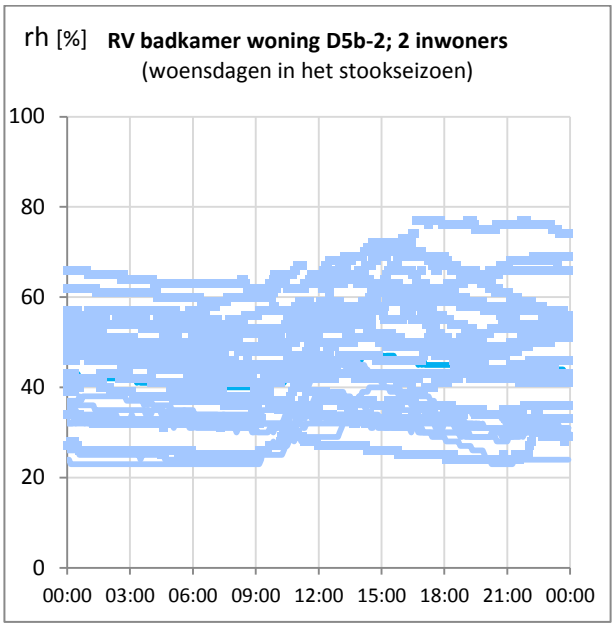


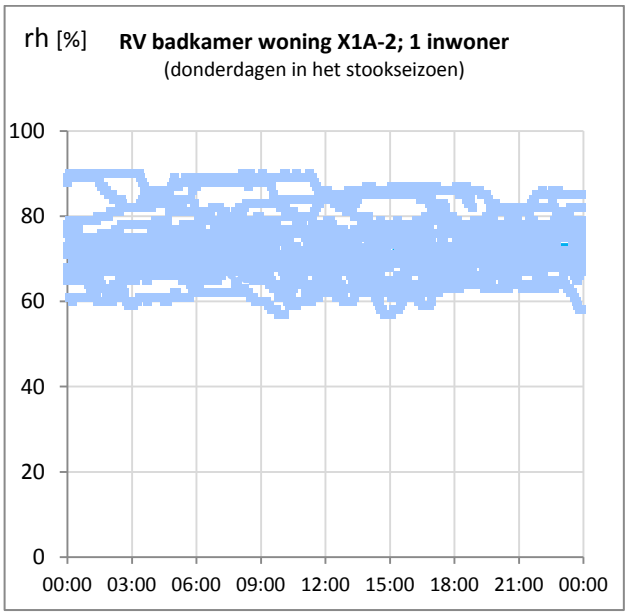





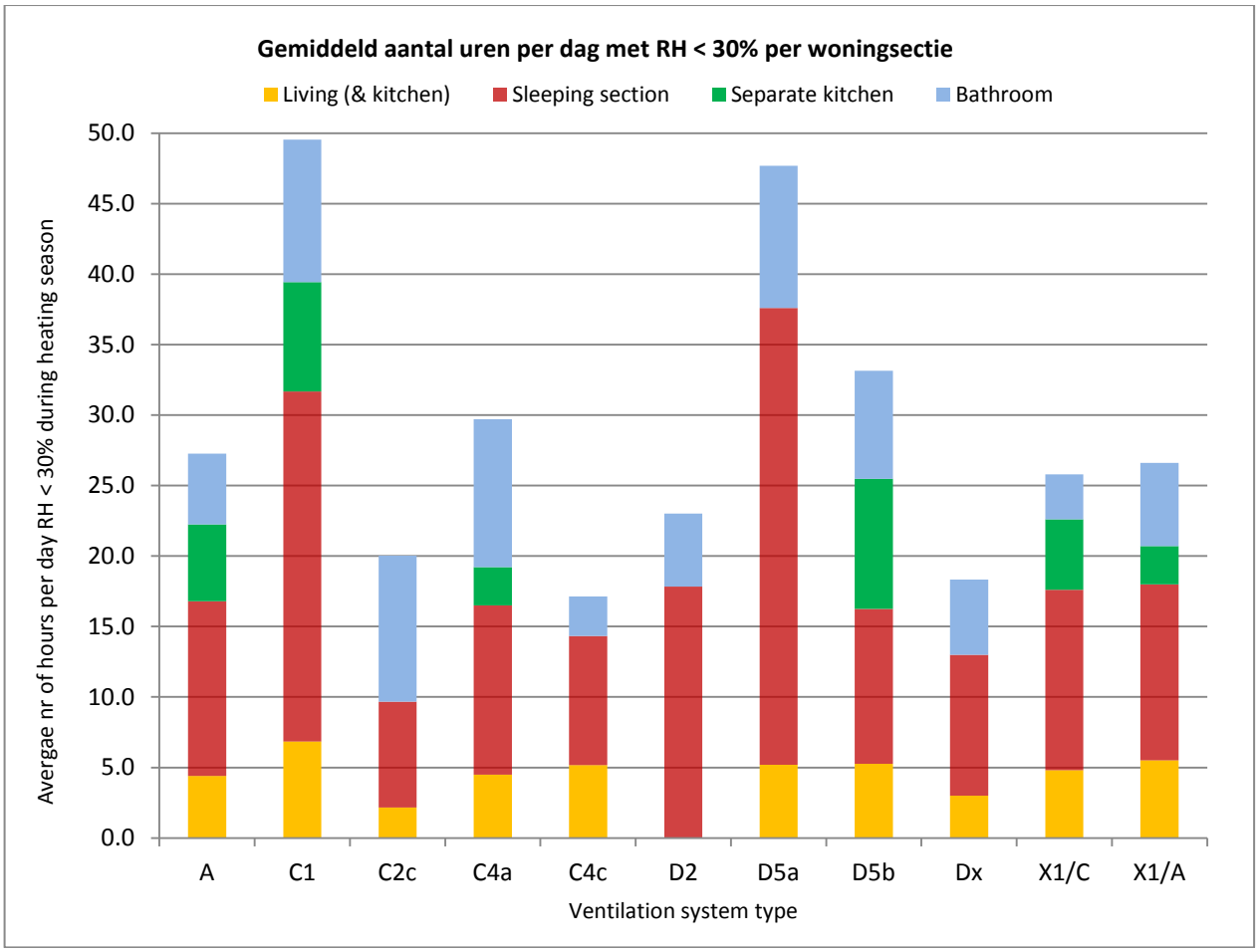




Woning X1A-2 is de enige van alle tweeënzestig onderzochte woningen waarbij de RV-in de badkamer langere tijd boven de 70% is. In deze badkamer lijkt een continue vochtproductie aanwezig en is in ieder geval het optredende ventilatiedebiet onder de maat.

### 4.3.3
### Aantal uren met RV<30%

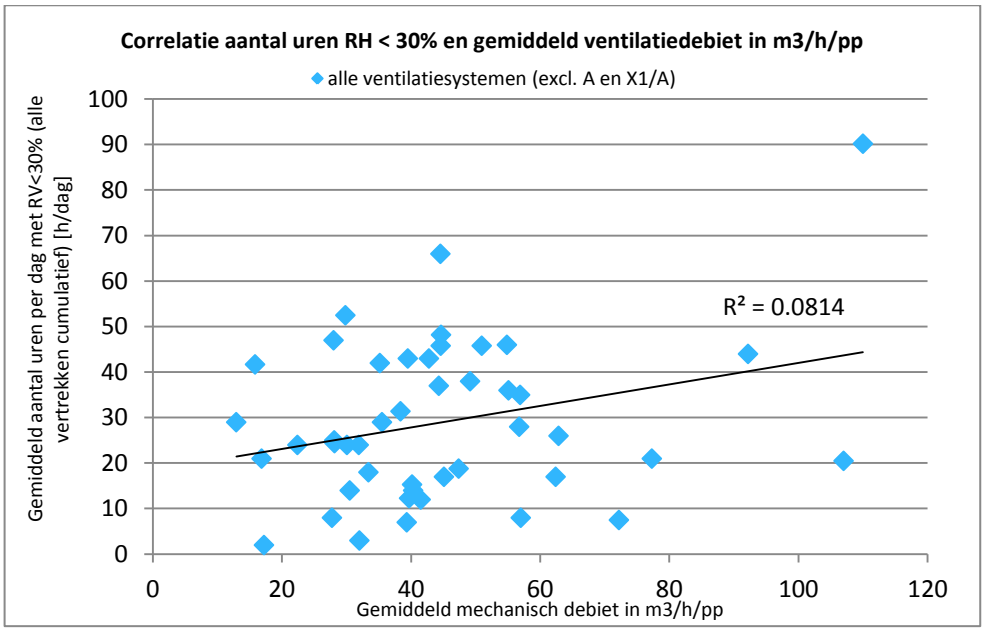
Gedurende een stookseizoen zijn er in alle woonvertrekken meerdere uren per dag waarop de relatieve luchtvochtigheid beneden de 30% daalt. Figuur 4.3.3.1 geeft het aantal onderschrijdingsuren per woonsectie. Per groep woningen zijn alle onderschrijdingsuren per vertrek gemiddeld en cumulatief in onderstaande grafiek weergegeven. Gemiddeld bedraagt het aantal onderschrijdingsuren 4 tot max. ca. 10 uur per vertrek. Omdat er meerdere slaapkamers zijn per woning, is het rode deel in onderstaande histogram vanzelfsprekend het grootst.

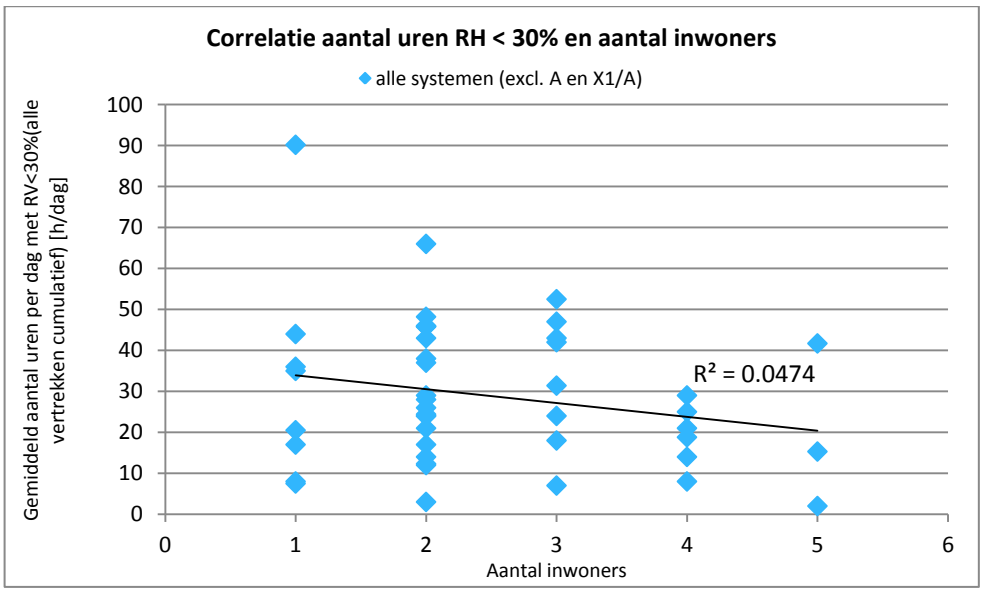



*Figuur 4.3.3.1 : Gemiddeld aantal uren met RV-waardes < 30% per woning sectie gedurende stookseizoen*

Luchtvochtigheid beneden de 30% komt 's winters regelmatig voor. De koudere buitenlucht bevat weinig vocht, en wanneer deze lucht binnenshuis naar ca. 20°C wordt verwarmd, kan de RV tot beneden de 30% dalen. Interne vochtproductie kan deze lage RV-waardes binnenshuis weer iets verhogen.
Uit de volgende grafieken (Figuur 4.2.3.2 ) blijkt dat ook hier de correlatie met het mechanische ventilatiedebiet en het aantal inwoners weliswaar aanwezig maar zwak is. Meer ventilatie impliceert een groter aantal uren met RV<30% en meer mensen resulteert in een hogere vochtproductie en daarmee in een lager aantal uren met RV<30%

De spreiding in onderstaande grafieken wordt met name ingegeven door de variatie in het aantal vertrekken per woning (meer vertrekken geeft per woning een hoger aantal uren met RV<30%).
De gemiddelde waarde van het aantal uren met RV<30% *per vertrek* geeft een veel kleinere spreiding.
Uren met RV<30% zijn structureel aanwezig en variëren, afhankelijk van de vochtproductie- en ventilatiegedrag van gemiddeld ca. 5 tot max. ca. 10 uur per dag.
Slechts één woning wijkt af van dit beeld; het betreft een woning met system D5a met slechts 1 bewoner (= lage vochtproductie) en een vrij hoog gemiddeld mechanisch ventilatiedebiet van 110m3/h




*Figuur 4.3.3.2 : Gemiddeld aantal uren met RV-waardes < 30% per woning gedurende stookseizoen in relatie tot aantal inwoners en het gemiddelde mechanische ventilatiedebiet per inwoner.*

## 4.4 Energieverbruik van ventilatiesystemen

### 4.4.1
### Energieverbruik

In paragraaf 3.4 'Indicator voor de energieprestatie' wordt uiteengezet welke methode is gehanteerd voor het bepalen van de energieprestatie van de onderzochte ventilatiesystemen. In het kort komt deze methode op het volgende neer:

- Bepaal op basis van de gemeten momentane ventilatiedebieten en de daarbij gemeten vochtigheid en temperatuur van de binnen- en de buitenlucht, het saldo van de thermische energie van de uitgewisselde lucht over een geheel stookseizoen: $Q_{th;vent}$, hierbij rekening houdend met al dan niet toegepaste warmteterugwinning (berekening zal worden uitgevoerd voor zowel het wtw rendement volgens EN13141-7/8, als voor 'n aangenomen overall praktijkrendement van 80%).
- Corrigeer dit saldo met het systeemrendement van een HR-verwarmingsinstallatie met beperkte distributieverliezen (delen door 85%) om de hiervoor benodigde hoeveelheid primaire energie te bepalen: $Q_{th;vent} / 0,85$
- Tel hier bij op het totale stroomverbruik van alle ventilatie-units gedurende het stookseizoen en corrigeer dit naar primaire energie (delen door 40%): $Q_{elec;vent} / 0,40$
- Deel de som door het totaal verwarmde oppervlak van de betreffende woning om het primaire energieverbruik per m2 woningoppervlak te bepalen voor het betreffende ventilatiesysteem in de betreffende woning met bijbehorend bewonersgedrag.

Ofwel, in formule vorm

$$Q_{tot;vent} / m^2 = \left( Q_{th;vent} / 0,85 + Q_{elec;vent} / 0,40 \right) / Ag$$

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde resultaten per woning van iedere groep ventilatiesystemen. Ventilatiesystemen A kunnen niet worden berekenend omdat er geen mechanisch ventilatiedebiet kon worden gemeten.

| Ventilatie systeem | $Q_{th;vent} / 0,85$ (η vlgns EN13141-7/8) | $Q_{elec;vent} / 0,40$ | $Q_{tot;vent} / m^2$ (η vlgns EN13141-7/8) | $Q_{tot;vent} / m^2$ (η = 80%) |
|---|---|---|---|---|
| | [MJ/st.seizoen] | [MJ/st.seizoen] | [MJ/m2/st.seizoen] | [MJ/m2/st.seizoen] |
| Systemen C1 | [1] | [1] | [1] | |
| Systemen C2c | 10494 | 968 | 119 | 119 |
| Systemen C4a | 9229 | 259 | 144 | 144 |
| Systemen C4c (met mech.afz vr's) | 7874 | 977 | 82 | 82 |
| | | | | |
| Systemen D2 | 1075 | 1834 | 24 | 40 |
| Systemen D5a | 1098 | 866 | 18 | 25 |
| Systemen D5b | 6307 | 417 | 102 | 103 |
| Systemen Dx | 361 | 1026 | 13 | 23 |
| | | | | |
| Systemen X1/C | 6467 | 305 | 102 | 104 |

[1] Niet van alle woningen in deze groep kon het debiet worden gemeten.

*Figuur 4.4.1.1 Gemiddeld primair energieverbruik per groep ventilatiesystemen*

Wanneer we de resultaten uit de laatste kolom van Figuur 4.4.1 onderling vergelijken, dan vallen de volgende zaken op:

- Systeem C4a met $CO_2$-regeling verbruikt meer energie dan een vergelijkbaar systeem zonder $CO_2$-regeling (C2c).

- Centrale systemen D verbruiken 75 -80% minder primaire energie dan centrale systemen C

- Ventilatiesystemen met decentrale wtw besparen minder t.o.v. centrale systemen C . Belangrijkste oorzaak is het feit dat de systemen in dit onderzoek (D5b en X1/C) zijn gecombineerd met een permanent werkende en niet geregelde centrale afzuig-unit (zonder wtw) die in de laagste stand staat. Het gemiddelde ventilatiedebiet dat door deze centrale afzuigunit wordt gerealiseerd blijkt echter nog altijd een factor 5 tot 10 hoger te liggen dan het gemiddelde ventilatiedebiet van de decentrale wtw-units. De centrale afzuigunit is daarmee voor het overgrote deel verantwoordelijk voor primaire energieverbruik van deze systemen, zonder dat deze unit een bijdrage kan leveren aan de reductie van de $CO_2$-overschrijdingen in verblijfsruimtes (verblijfsruimtes met decentrale wtw hebben immers geen ventilatieroosters). M.a.w. ook al presteren decentrale wtw-units prima in termen van energieverbruik, ventilatie-effectiviteit en binnenluchtkwaliteit, in systemen waarbij ze gecombineerd worden met ongeregelde en continu opererende centrale afzuig-units voor de natte ruimtes, komt deze effectiviteit niet tot uitdrukking.

### 4.4.2
### Energieverbruik versus $CO_2$-overschrijding

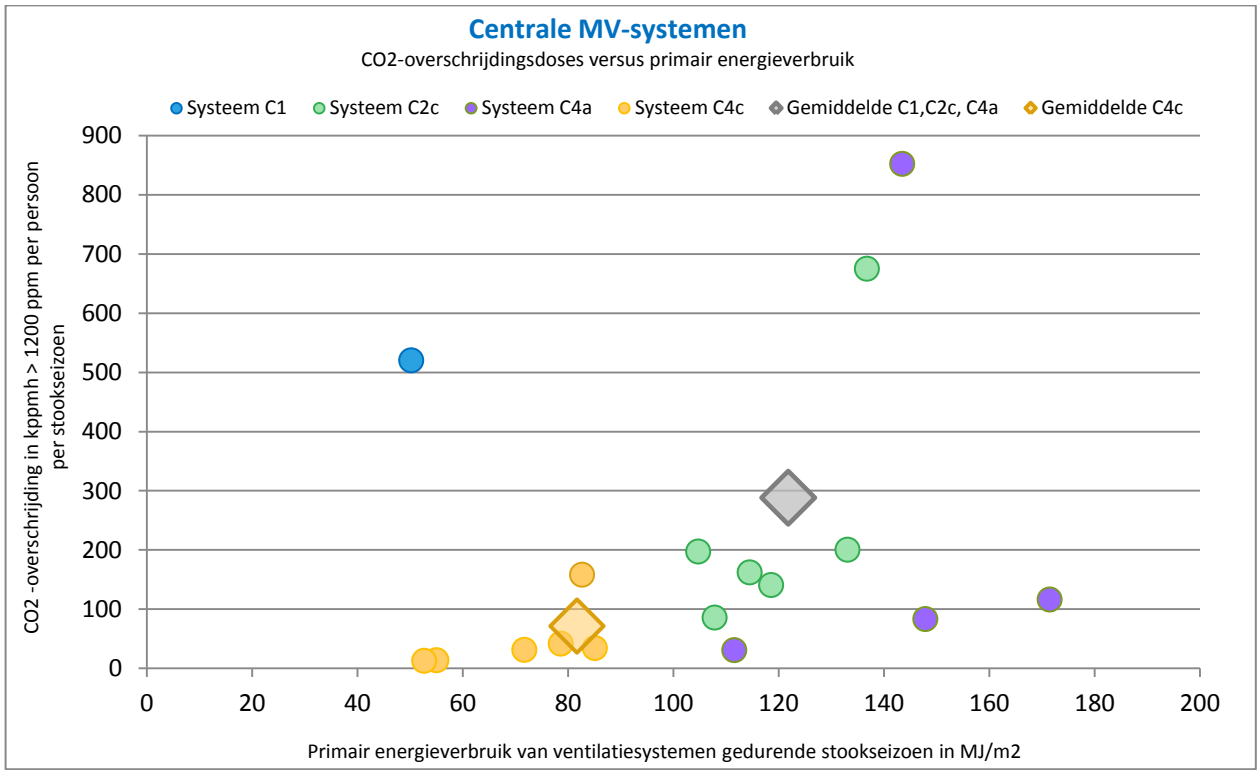
Een belangrijk doel van het project MONICAIR is om inzicht te krijgen in de IAQ- en bijbehorende energie prestaties van verschillende ventilatiesystemen. Onderstaande tabel toont de belangrijkste resultaten op dit punt.

| **Ventilatie systeem** | **$Q_{tot;vent}$ /m²** (η vlgns EN13141-7/8) | **$Q_{tot;vent}$ /m²** (η = 80%) | **$CO_2$-overschrijdingsdoses** | |
|---|---|---|---|---|
| | [MJ/m2/st.szn] | [MJ/m2/st.szn] | kppmh/pp/st.szn. | Stnrd.dev. |
| Systemen C1 | [1] | [1] | 349 | 276 |
| Systemen C2c | 119 | 119 | 244 | 216 |
| Systemen C4a | 144 | 144 | 271 | 389 |
| Systemen C4c (met mech.afz vr's) | 82 | 82 | 72 | 78 |
| | | | | |
| Systemen D2 | 24 | 40 | 68 | 32 |
| Systemen D5a | 18 | 25 | 105 | 156 |
| Systemen D5b | 102 | 103 | 183 | 199 |
| Systemen Dx | 13 | 23 | 76 | 32 |
| | | | | |
| Systemen X1/C | 102 | 104 *(8)* | 175 *(30)* | 139 *(33)* |

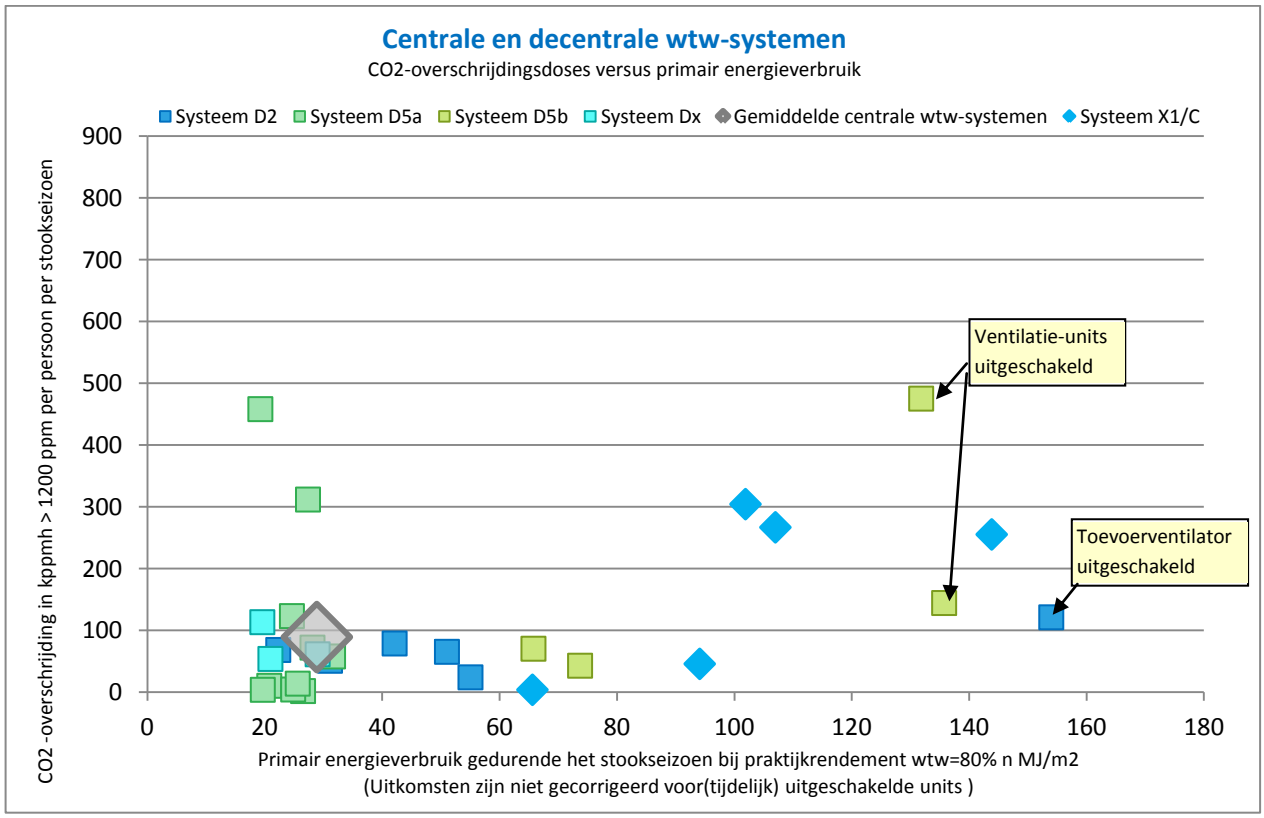
1. Niet van alle woningen in deze groep kon het debiet worden gemeten.
2. Getallen tussen haakjes hebben betrekking op de prestatie van decentrale wtw-units en hieraan gerelateerd oppervlak

*Figuur 4.4.2.1 Gemiddelde $CO_2$-overschrijdingsdoses en primair energieverbruik per groep ventilatiesystemen*

In onderstaande grafieken worden de resultaten per woning grafisch weergegeven, met op de horizontale as het primaire energieverbruik per m2 verwarmd oppervlak en op de verticale as de $CO_2$-overschrijding in pppmh per persoon per stookseizoen.




*Figuur 4.4.2.2 $CO_2$-overschrijding versus primair energieverbruik van centrale MV-systemen*




*Figuur 4.4.2.3 $CO_2$-overschrijding versus primair energieverbruik van centrale en decentrale wtw-systemen*

Systemen C met uitsluitend natuurlijke lucht toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes (systemen C1, C2c en C4a) hebben een gemiddeld primair energieverbruik van **122** MJ per m2 verwarmd oppervlak met een bijbehorende gemiddelde $CO_2$-overschrijding van **290** kppmh per persoon. Woningen met systeem C4a (systeem met de $CO_2$-sturing) scoren gemiddeld slechter -- zowel op primair energieverbruik als op $CO_2$-overschrijdingsdosis – dan een vergelijkbaar systeem zonder $CO_2$-sturing (C2c).

Systeem C4c, dwz de systeemvariant met mechanische afvoervoorzieningen en $CO_2$-sturing in iedere verblijfsruimte, scoort met gemiddeld **82** MJ primaire energie per m2 en een bijbehorende $CO_2$-overschrijding van gemiddeld **72** kppmh per persoon, aanzienlijk beter dan de andere systemen C.

Woningen met centrale wtw systemen hebben -- bij een overall praktijkrendement van 80% voor de wtw -- een gemiddeld primair energieverbruik van **29** MJ per m2 verwarmd oppervlak met een bijbehorende gemiddelde $CO_2$-overschrijding van **89** kppmh per persoon en scoren daarmee beter op zowel het energieverbruik als op binnenluchtkwaliteit.

Systemen met decentrale wtw (D5b en X1/C) zitten daar qua resultaten tussenin. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat deze hybride systemen ongeregelde centrale afzuigunits toepassen voor de natte ruimtes. Deze afzuigunit is verantwoordelijk voor zowel het hogere primaire energieverbruik als voor de hogere CO-overschrijdingsdoses in de slaapkamers.

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

# 5 Conclusies

**Conclusies mbt tot mechanisch ventilatiedebiet**

1.
Voor ongeregelde (dwz handbediende systemen) ligt het gemiddelde ventilatiedebiet dicht in de buurt van het debiet behorende bij stand 1 van de driestandenschakelaar, met uitzondering van de enkele woningen waarin een actief schakelende bewoner woont. Stand 1 is daarmee in belangrijke mate bepalend voor het optredende gemiddelde ventilatiedebiet per vierkante meter woningoppervlak. In de onderzochte woningen bedroeg het gemiddeld gerealiseerde ventilatiedebiet ca. 1 $m^3$/h per $m^2$ verwarmd oppervlak, hetgeen overeenkomt met ca. 0,4 l/s per $m^2$ verblijfsruimte, ofwel ca 45% van de capaciteitseis uit het bouwbesluit.

2.
Het gemiddeld gerealiseerde debiet ligt bij alle ventilatiesystemen en bij alle individuele woningen gemiddeld ruim boven de 35 m3/h per persoon. Dit ventilatievoud per persoon is daarmee in principe voldoende om $CO_2$-overschrijdingen te voorkomen of te minimaliseren. Het feit dat er in de praktijk toch grote $CO_2$-overschrijdingen optreden betekent dat dit ventilatievoud niet altijd wordt aangewend in de verblijfsruimtes waar de $CO_2$-belasting optreedt.

3.
Het verhogen van het totale ventilatiedebiet over de gehele woning (bijvoorbeeld door optoeren van de centrale ventilatie-unit middels de driestandenschakelaar) heeft geen of beperkt effect op de $CO_2$-overschrijding in de verblijfsruimtes, maar verhoogt wel het energieverbruik voor ventilatie. Dit geldt met name voor systemen met uitsluitend natuurlijke lucht toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes, omdat hier een verhoging van het afzuigdebiet in de natte ruimtes niet per definitie wordt vertaald in een verhoging van het ventilatievoud in de CO2-belaste verblijfsruimte. Bovendien wordt er bij deze systemen geen warmteterugwinning toegepast. Bij systemen met een mechanische component in de verblijfsruimtes heeft een verhoging van het centrale ventilatiedebiet wel enig effect op de $CO_2$-overschrijding, maar staat de debietverhoging in een specifieke verblijfsruimte niet altijd in de relatie tot de toename van de $CO_2$-bron. Toepassing van warmteterugwinning zal het energieverlies voor onnodige ventilatie verder reduceren.

4.
Het schakelgedrag in woningen met ongeregelde (handbediende) systemen is minimaal en wordt eerder bepaald door gewoontes (ingesleten gedrag mbt ventilatie) dan door reactief gedrag, waarbij de bewoner reageert op slechte luchtkwaliteit en middels de standenschakelaar het ventilatiedebiet verhoogt.
Uit het onderzoek blijkt dat $CO_2$-concentraties kunnen oplopen tot ver boven de 3000 ppm zonder dat de bewoner hierop actie onderneemt.
Gewoontes en ingesleten gedrag hebben betrekking op hoe vaak de afzuigkap en/of de standenschakelaar van het ventilatiesysteem tijdens douchen en koken wordt gebruikt, maar ook op het gebruik van de ventilatieroosters en klepraampjes. Bewoners vertonen onderling grote verschillen op dit punt.

5.
In woningen met $CO_2$-geregelde systemen ligt het schakelgedrag aanzienlijk hoger. Echter, wanneer de CO2-meting niet in een verblijfsruimte plaatsvindt (maar bijv. op de overloop) of wanneer de CO2-meting niet is gekoppeld aan een mechanische component van de ruimte waarin de CO2-sensor hangt, zal dit hogere schakelgedrag niet altijd leiden tot lagere $CO_2$-overschrijding.

### Conclusies mbt $CO_2$-overschrijding

6.
De $CO_2$-overschrijdingen van ventilatiesystemen die *volledig voldoen aan bouwbesluiteisen*, vertonen in de praktijk grote verschillen, zowel tussen individuele woningen met hetzelfde ventilatiesysteem, als tussen ventilatiesystemen onderling.

7.
De gemeten $CO_2$-overschrijdingen (dwz de hoogte van de overschrijding >1200 ppm $CO_2$ vermenigvuldigd met de tijdsduur dat deze optreedt ) van de volgens bouwbesluit ingeregelde systemen (systemen 2 t/m 10) variëren van *0* tot *852* kppmh per persoon per stookseizoen. Dit betekent dat gedurende het stookseizoen (bij een aangenomen gemiddelde $CO_2$-overschrijding van 350 ppm en een gemiddelde aanwezigheid thuis van ca. 15 uur/dag) gedurende *0* tot respectievelijk ca. *75%* van de thuis bestede tijd, de ventilatie onvoldoende is in de verblijfsruimte waarin men zich bevindt.

8.
De spreiding in $CO_2$-overschrijding per ventilatiesysteem per stookseizoen is groter, naarmate meer toe- en of afvoer voorzieningen worden toegepast die uitsluitend afhankelijk zijn natuurlijke krachten (convectie en luchtdrukverschillen) en van bewonersgedrag:

| Ventilatie systemen | Aantal uren per dag waarbij $CO_2$>1200 ppm | Gemiddelde overschrijding >1200 ppm $CO_2$ | Gemiddelde overschrijdings-doses per woning per dag | Gemiddelde overschrijdings-doses per woning per stookseizoen | Gemiddelde Overschrijdingsdoses per persoon per woning per stookseizoen met bijbehorende standaard deviatie | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | [h/dag] | [ppm] | [ppmh/dag] | [kppmh/st.szn] | [kppmh/pp/st.szn] | stndrd.dev. |
| A | 9.76 | 689 | 6723 | 1425 | 442 | *438* |
| C1 | 10.95 | 512 | 5600 | 1187 | 349 | *276* |
| C.2c | 12.42 | 344 | 4267 | 905 | 244 | *216* |
| C.4a | 7.62 | 731 | 5570 | 1181 | 271 | *389* |
| C.4c | 3.13 | 247 | 773 | 164 | 72 | *78* |
| D.2 | 3.52 | 291 | 1024 | 217 | 68 | *32* |
| D.5a | 2.65 | 494 | 1308 | 277 | 105 | *156* |
| D.x | 3.63 | 199 | 718 | 152 | 76 | *32* |
| D.5b | 4.40 | 509 | 2239 | 475 | 183 | *199* |
| X1/C | 6.84 *(1.45)* | 320 *(217)* | 2186 *(315)* | 463 *(67)* | 175 *(30)* | *139 (33)* |
| X1/A | 2.82 *(1.27)* | 346 *(302)* | 976 *(384)* | 207 *(81)* | 167 *(61)* | *124 (47)* |
| Getallen tussen haakjes hebben betrekking op de prestatie van decentrale wtw-units in woonkamers en bijbehorend oppervlak | | | | | | |

*Tabel 5.1. Gemiddelde $CO_2$-overschrijding >1200 ppm per groep ventilatiesystemen*

Opmerking: De hier berekende $CO_2$-overschrijdingstijd en overschrijdingsdosis per persoon is lager dan de in werkelijkheid optredende overschrijding, omdat de hier toegepaste berekeningsmethode geen rekening houdt met het feit dat meerdere mensen in een vertrek (ouderslaapkamer, woonkamer) dezelfde $CO_2$-overschrijdingsdosis ondergaan. Een deling van de totale dosis of overschrijdingstijd door het aantal bewoners, geeft in de regel altijd een te lage waarde. Gelieve hiermee rekening te houden bij de interpretatie van de resultaten.

9.
De $CO_2$-overschreidingen  treden voornamelijk op in de slaapkamers, en in mindere mate in de woonkamer en de separate keuken (indien aanwezig).

10.
Systemen met mechanische toe- en/of afvoercomponenten in slaapkamers vertonen daar een lagere $CO_2$ overschrijding dan systemen met natuurlijke toe- en afvoervoorzieningen in de slaapkamers.

11.
Systemen die gebruik maken van $CO_2$ sensoren die niet gekoppeld zijn aan een mechanische toe- en/of afvoercomponent van het verblijfsruimte waarin de sensor de meting verricht, vertonen geen betere binnenluchtkwaliteit (lagere $CO_2$-overschrijdingen) dan dezelfde systemen zonder $CO_2$-sensor (vergelijk resultaten van systeem C.4a met $CO_2$-sensor en systeem C.2c zonder $CO_2$-sensor).

Ook systemen waarbij de $CO_2$ sensor niet in een verblijfsruimte hangt maar in een verbindingsruimte en waarbij het ventilatievoud in de aangrenzende verblijfsruimtes dmv luchttransport via overstroomcomponenten moet worden geregeld, vertonen geen betere binnenluchtkwaliteit dan dezelfde systemen zonder $CO_2$-sensor (vergelijk slaapkamers van D.5a met D.2).

12.
Ventilatiesystemen die gebruik maken van uitsluitend natuurlijke toe- en/of afvoer voorzieningen in verblijfsruimtes, vertonen vwb de gerealiseerde binnenluchtkwaliteit, een grotere afhankelijkheid van het aantal inwoners dan systemen met een mechanische toe- en/of afvoercomponent in de verblijfsruimtes.

13.
De luchtdichtheid van de woning blijkt weinig tot geen invloed te hebben op de gerealiseerde binnenluchtkwaliteit

**Conclusies mbt RV over- en onderschrijding**

14.
Periodes met te hoge luchtvochtigheid tijdens stookseizoen (RV >70%) komen vrijwel uitsluitend in de badkamer voor en zijn in de regel korter dan gemiddeld 2 uur per dag. Uitzondering hierop is een enkele woning met natuurlijke afvoervoorziening in de natte ruimtes (systeem X1/A).

15.
Periodes met lage luchtvochtigheid tijdens stookseizoen (RV <30%) komen in alle vertrekken voor en zijn structureel aanwezig, en variëren – afhankelijk van interne vochtproductie en ventilatiegedrag – van gemiddeld ca. 5 uur tot maximaal 10 uur per dag per vertrek.

**Conclusies mbt energieverbruik ventilatiesystemen**

16.
Systemen C met uitsluitend natuurlijke lucht toe- en afvoervoorzieningen in de verblijfsruimtes (systemen C1, C2c en C4a) hebben een gemiddeld primair energieverbruik van **122** MJ per m2 verwarmd oppervlak met een bijbehorende gemiddelde $CO_2$-overschrijding van **290** kppmh per persoon. Woningen met systeem C4a (systeem met de $CO_2$-sturing) scoren gemiddeld slechter -- zowel op primair energieverbruik als op $CO_2$-overschrijdingsdosis – dan een vergelijkbaar systeem zonder $CO_2$-sturing (C2c).

17.
Systeem C4c, dwz de systeemvariant met mechanische afvoervoorzieningen en $CO_2$-sturing in iedere verblijfsruimte, scoort met gemiddeld **82** MJ primaire energie per m2 en een bijbehorende $CO_2$-overschrijding van gemiddeld **72** kppmh per persoon, aanzienlijk beter dan de andere systemen C.

18.
Woningen met centrale wtw systemen hebben -- bij een overall praktijkrendement van 80% voor de wtw -- een gemiddeld primair energieverbruik van **29** MJ per m2 verwarmd oppervlak met een bijbehorende gemiddelde $CO_2$-overschrijding van **89** kppmh per persoon en scoren daarmee beter op zowel het energieverbruik als op binnenluchtkwaliteit.

19.
Systemen met decentrale wtw (D5b en X1/C) zitten daar qua resultaten tussenin. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat deze hybride systemen ongeregelde centrale afzuigunits toepassen voor de natte ruimtes. Deze afzuigunit is verantwoordelijk voor zowel het hogere primaire energieverbruik als voor de hogere $CO_2$-overschrijdingsdoses in de slaapkamers bij systeem X1/C.

# BIJLAGEN

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

# BIJLAGE I

Contact informatie Consortiumpartners

**Penvoerder**

Van Holsteijn en Kemna BV (VHK)
Contactpersoon: dhr. Rob van Holsteijn — e-mail

**Consortium partners**

Brink Climate Systems BV
Contactpersoon: dhr. Jelmer de Jong — e-mail

ClimaRad BV
Contactpersoon: dhr. Rutger Vasters — e-mail

Honeywell Customized Comfort Products
Contactpersoon: dhr. Hans van Klooster — e-mail

Itho Daalderop Nederland BV
Contactpersoon: dhr. Leon van Bohemen — e-mail

Nieman Raadgevende Ingenieurs BV
Contactpersoon: dhr. Harm Valk — e-mail

Technische Universiteit Delft, OTB
Contactpersoon: mw. Laure Itard — e-mail

TNO
Contactpersoon: dhr. Wim Kornaat — e-mail

Van Holsteijn en Kemna BV (VHK)
Contactpersoon: dhr. Rob van Holsteijn — e-mail

Zehnder Group Nederland BV
Contactpersoon: dhr. Bart Cremers — e-mail

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

# BIJLAGE II

Data tabellen

Lege pagina ivm dubbelzijdig printen

## DATASHEET DWELLINGS

| | | | 1 = tussenw.<br>2 = hoekw.<br>3 = 2ond1kap<br>4 = portiekw | | 0 = no<br>1 = mech exh<br>2 = recycling<br>3 = motorloos | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ventilation System Type | | Dwelling type | Nr of hab. rooms (incl combined living/kitchen) | Nr. of seperated wet rooms (bath/kitch.) | Type of kitchen hood | Surface heated living area | Air tightness qv10 | Nr. of inhabitants |
| | Anonym. address | [-] | [-] | [-] | | [m2] | [l/s/m2] | [-] |
| **A** | **TOTAL AVERAGES** | | 3.80 | 2.00 | | 75.62 | 2.66 | 2.40 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.45 | 0.00 | | 13.71 | 1.18 | 1.14 |
| | A-1 | 4 | 3 | 2 | ? | 56.13 | 1.568 | 1 |
| | A-2 | 1 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | A-3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 85.30 | 3.082 | 4 |
| | A-4 | 1 | 4 | 2 | 3 | 85.30 | 3.713 | 3 |
| | A-5 | 1 | 4 | 2 | 1 | 85.30 | 3.713 | 2 |
| **C1** | **TOTAL AVERAGES** | | 3.67 | 2.00 | | 90.06 | 1.97 | 2.83 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.82 | 0.00 | | 24.12 | 0.73 | 1.17 |
| | C1-1 | 2 | 3 | 2 | ? | 70.00 | 2.637 | 1 |
| | C1-2 | 2 | 3 | 2 | ? | 68.00 | 2.637 | 2 |
| | C1-3 | 1 | 3 | 2 | ? | 70.00 | 2.637 | 3 |
| | C1-4 | 1 | 4 | 2 | 1 | 103.36 | 1.312 | 4 |
| | C1-5 | 1 | 4 | 2 | ? | 103.36 | 1.312 | 3 |
| | C1-6 | 2 | 5 | 2 | ? | 125.62 | 1.312 | 4 |
| **C.2c** | **TOTAL AVERAGES** | | 4.33 | 1.00 | | 96.12 | 1.00 | 3.33 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.52 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 1.37 |
| | C2c-1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 96.12 | 1.003 | 1 |
| | C2c-2 | 1 | 4 | 1 | 1 | 96.12 | 1.003 | 3 |
| | C2c-3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 96.12 | 1.003 | 4 |
| | C2c-4 | 2 | 4 | 1 | 1 | 96.12 | 1.003 | 3 |
| | C2c-5 | 2 | 5 | 1 | 1 | 96.12 | 1.003 | 5 |
| | C2c-6 | 1 | 5 | 1 | 3 | 96.12 | 1.003 | 4 |
| **C.4a** | **TOTAL AVERAGES** | | 3.75 | 2.00 | | 66.07 | 1.24 | 2.75 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.50 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 1.50 |
| | C4a-1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | C4a-2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | C4a-3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | C4a-5 | 1 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 5 |
| **TOTAL AVERAGE C1, C2c, C4a** | | | 3.94 | 1.63 | | 86.33 | 1.43 | 3.00 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | | 0.68 | 0.50 | | 18.64 | 0.61 | 1.26 |
| **C.4c** | **TOTAL AVERAGES** | | 3.57 | 1.00 | | 108.33 | 1.44 | 1.50 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.53 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.76 |
| | C4c-1 | 2 | 4 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 1 |
| | C4c-2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 1 |
| | C4c-3 | 1 | 4 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 2 |
| | C4c-4 | 1 | 3 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 2 |
| | C4c-5 | 2 | 3 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 1 |
| | C4c-6a | 2 | 4 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 2 |
| | C4c-6b | 2 | 4 | 1 | 0 | 108.33 | 1.440 | 3 |
| **D2** | **TOTAL AVERAGES** | | 4.00 | 1.00 | | 119.31 | 0.60 | 3.33 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.00 | 0.00 | | 24.42 | 0.00 | 1.21 |
| | D2-1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 139.86 | 0.602 | 2 |
| | D2-2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 110.53 | 0.602 | 5 |
| | D2-3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 135.63 | 0.602 | 2 |
| | D2-4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 146.01 | 0.602 | 4 |
| | D2-5 | 1 | 4 | 1 | 1 | 91.9 | 0.602 | 4 |
| | D2-6 | 1 | 4 | 1 | 1 | 91.9 | 0.602 | 3 |
| **D5a** | **TOTAL AVERAGES** | | 4.40 | 1.00 | | 110.04 | 0.56 | 2.20 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.52 | 0.00 | | 14.77 | 0.40 | 0.79 |
| | D5a-1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 92.92 | 0.826 | 1 |
| | D5a-2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 119.85 | 0.854 | 2 |
| | D5a-3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 92.92 | 0.625 | 2 |
| | D5a-4 | 1 | 4 | 1 | 1 | 92.92 | 1.283 | 3 |
| | D5a-5 | 3 | 4 | 1 | 1 | 92.92 | 0.826 | 2 |
| | D5a-6 | 3 | 4 | 1 | 1 | 119.85 | 0.625 | 3 |
| | D5a-7 | 2 | 5 | 1 | 3 | 122.26 | 0.150 | 2 |
| | D5a-8 | 1 | 5 | 1 | 3 | 122.26 | 0.150 | 3 |
| | D5a-9 | 1 | 5 | 1 | 2 | 122.26 | 0.150 | 3 |
| | D5a-10 | 1 | 5 | 1 | 2 | 122.26 | 0.150 | 1 |
| **D5b** | **TOTAL AVERAGES** | | 3.00 | 2.00 | | 66.07 | 1.24 | 2.00 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.82 |
| | D5b-1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 3 |
| | D5b-2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | D5b-3 | 2 | 3 | 2 | 0 | 66.07 | 1.242 | 1 |
| | D5b-4 | 1 | 3 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| **Dx** | **TOTAL AVERAGES** | | 4.00 | 1.00 | | 108.33 | 1.14 | 2.00 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Dx-1 | 1 | 4 | 1 | ? | 108.33 | 1.138 | 2 |
| | Dx-2 | 2 | 4 | 1 | ? | 108.33 | 1.138 | 2 |
| | Dx-3 | 2 | 4 | 1 | 1 | 108.33 | 1.138 | 2 |
| **TOTAL AVERAGES D2, D5a, Dx** | | | 4.21 | 1.00 | | 112.70 | 0.67 | 2.53 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | | 0.42 | 0.00 | | 17.21 | 0.35 | 1.02 |
| **X1/C** | **TOTAL AVERAGES** | | 4.00 | 2.00 | | 66.07 | 1.24 | 2.20 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 1.10 |
| | X1C-1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 4 |
| | X1C-2 | 1 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | X1C-3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| | X1C-4 | 1 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 1 |
| | X1C-5 | 2 | 4 | 2 | 1 | 66.07 | 1.242 | 2 |
| **X1/A** | **TOTAL AVERAGES** | | 3.00 | 2.00 | | 56.13 | 1.57 | 1.75 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.96 |
| | X1A-# | 4 | 3 | 2 | ? | 56.13 | 1.568 | 3 |
| | X1A-1 | 4 | 3 | 2 | ? | 56.13 | 1.568 | 1 |
| | X1A-2 | 4 | 3 | 2 | ? | 56.13 | 1.568 | 2 |
| | X1A-3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 56.13 | 1.568 | 1 |
| **TOTAL AVERAGES X1/C, X1/A** | | | 3.56 | 2.00 | | 61.65 | 1.39 | 2.00 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | | 0.53 | 0.00 | | 5.24 | 0.17 | 1.00 |

## DATASHEET CO2-OVERSCHRIJDING

Gemiddeld aantal CO2-overschrijdingsuren per dag >1200 ppm gedurende het stookseizoen

(Gemiddeld aantal uren per dag dat de CO2-concentratie boven de 1200 ppm is)

gemiddelde aanwezigheid in uren/pp/dag: **15**

| Woning/ventilatiesysteem | inw. | overschrijding in gemiddeld aantal uren/dag >1200 ppm [h/dag] | | | | | | | | | | als % van de pp aanwezige tijd | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | slaapvertrekken | | | | woonsecties | | | | totale woning | | totale woning | slaapkmrs | wnkmr/keuken | sep. keuken |
| | | zolder | slpkmr 3 | slpkmr 2 | slpkmr 1 | totaal slaap | keuken | woonkamer | woonkeuken | totaal uren | gem. uren/pp | | | | |
| A-1 | 1 | | | 0.41 | 0.09 | 0.50 | 0.87 | 0.66 | | 2.03 | 2.03 | 13.53% | 3.33% | 4.40% | 5.80% |
| A-2 | 2 | | 0.03 | 0.00 | 0.13 | 0.16 | 3.47 | 3.78 | | 7.41 | 3.71 | 24.70% | 0.53% | 12.60% | 11.57% |
| A-3 | 4 | | 6.34 | 10.65 | 4.20 | 21.19 | 3.27 | 4.22 | | 28.68 | 7.17 | 47.80% | 35.32% | 7.03% | 5.45% |
| A-4 | 3 | | 0.14 | 4.48 | 1.20 | 5.82 | 2.22 | 2.02 | | 10.06 | 3.35 | 22.36% | 12.93% | 4.49% | 4.93% |
| A-5 | 2 | | | 0.05 | 0.16 | 0.21 | 0.19 | 0.23 | | 0.63 | 0.32 | 2.10% | 0.70% | 0.77% | 0.63% |
| totaal gemiddeld | 2.40 | | 2.17 | 3.12 | 1.16 | 5.58 | 2.00 | 2.18 | | 9.76 | 3.31 | 22.10% | 10.56% | 5.86% | 5.68% |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.41* | *0.92* | *0.34* | *1.58* | *0.85* | *0.88* | *0.00* | *3.31* | | | | | |
| C1-1 | 1 | | | 0.00 | 0.38 | 0.38 | 0.00 | 0.01 | | 0.39 | 0.39 | 2.60% | 2.53% | 0.07% | 0.00% |
| C1-2 | 2 | | | 2.08 | 2.29 | 4.37 | 3.45 | 3.49 | | 11.31 | 5.66 | 37.70% | 14.57% | 11.63% | 11.50% |
| C1-3 | 3 | | | 0.17 | 0.74 | 0.91 | 0.06 | 0.05 | | 1.02 | 0.34 | 2.27% | 2.02% | 0.11% | 0.13% |
| C1-4 | 4 | | 4.93 | 0.14 | 8.34 | 13.41 | 0.76 | 0.84 | | 15.01 | 3.75 | 25.02% | 22.35% | 1.40% | 1.27% |
| C1-5 | 3 | | 0.40 | 5.85 | 0.05 | 6.30 | 5.69 | 5.55 | | 17.54 | 5.85 | 38.98% | 14.00% | 12.33% | 12.64% |
| C1-6 | 4 | | 0.57 | 11.29 | 5.10 | 16.96 | 1.83 | 1.62 | | 20.41 | 5.10 | 34.02% | 28.27% | 2.70% | 3.05% |
| totaal gemiddeld | 2.83 | | 1.97 | 3.26 | 2.82 | 7.06 | 1.97 | 1.93 | | 10.95 | 3.51 | 23.43% | 13.96% | 4.71% | 4.77% |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.25* | *0.98* | *0.86* | *2.09* | *0.71* | *0.71* | | *3.51* | | | | | |
| C2c-1 | 1 | | 0.00 | 0.00 | 0.87 | 0.87 | | | 0.56 | 1.43 | 1.43 | 9.53% | 5.80% | 3.73% | |
| C2c-2 | 3 | | 1.51 | 1.44 | 2.70 | 5.65 | | | 1.35 | 7.00 | 2.33 | 15.56% | 12.56% | 3.00% | |
| C2c-3 | 4 | | 1.42 | 0.90 | 3.90 | 6.22 | | | 2.51 | 8.73 | 2.18 | 14.55% | 10.37% | 4.18% | |
| C2c-4 | 3 | | 4.03 | 4.25 | 1.20 | 9.48 | | | 0.65 | 10.13 | 3.38 | 22.51% | 21.07% | 1.44% | |
| C2c-5 | 5 | 0.03 | 5.89 | 2.05 | 0.97 | 8.94 | | | 4.26 | 13.20 | 2.64 | 17.60% | 11.92% | 5.68% | |
| C2c-6 | 4 | 7.07 | 11.73 | 3.48 | 6.32 | 28.60 | | | 5.43 | 34.03 | 8.51 | 56.72% | 47.67% | 9.05% | |
| totaal gemiddeld | 3.33 | 3.55 | 4.10 | 2.02 | 2.66 | 9.96 | | | 2.46 | 12.42 | 3.41 | 22.74% | 18.23% | 4.52% | |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | *0.30* | *1.05* | *0.57* | *0.82* | *2.73* | | | *0.68* | *3.41* | | | | | |
| C4a-1 | 2 | | 0.25 | 0.01 | 0.02 | 0.28 | 0.26 | 0.22 | | 0.76 | 0.38 | 2.53% | 0.93% | 0.73% | 0.87% |
| C4a-2 | 2 | | 0.01 | 0.17 | 0.01 | 0.19 | 1.16 | 1.55 | | 2.90 | 1.45 | 9.67% | 0.63% | 5.17% | 3.87% |
| C4a-3 | 2 | | | 0.15 | 0.01 | 0.16 | 0.00 | 3.00 | | 3.16 | 1.58 | 10.53% | 0.53% | 10.00% | 0.00% |
| C4a-4 | 5 | | 0.55 | 10.38 | 10.26 | 21.19 | 2.47 | 0.00 | | 23.66 | 4.73 | 31.55% | 28.25% | 0.00% | 3.29% |
| totaal gemiddeld | 2.75 | | 0.27 | 2.68 | 2.58 | 5.46 | 0.97 | 1.19 | | 7.62 | 2.04 | 13.57% | 7.59% | 3.98% | 2.01% |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.06* | *0.56* | *0.52* | *1.14* | *0.30* | *0.60* | | *2.04* | | | | | |
| **Gewogen gemiddelde C1,C2c, C4a** | 3.00 | 3.55 | 2.61 | 2.65 | 2.70 | | 1.57 | 1.94 | | 10.67 | 3.11 | 20.71% | 13.97% | 4.45% | 2.29% |
| C4c-1 | 1 | | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.10 | | | 0.29 | 0.39 | 0.39 | 2.60% | 0.67% | 1.93% | |
| C4c-2 | 1 | | | 0.36 | 0.05 | 0.41 | | | 0.33 | 0.74 | 0.74 | 4.93% | 2.73% | 2.20% | |
| C4c-3 | 2 | | 0.01 | 1.15 | 0.34 | 1.50 | | | 4.20 | 5.70 | 2.85 | 19.00% | 5.00% | 14.00% | |
| C4c-4 | 2 | | | 0.15 | 0.05 | 0.20 | | | 0.83 | 1.03 | 0.52 | 3.43% | 0.67% | 2.77% | |
| C4c-5 | 1 | | | 0.02 | 0.28 | 0.30 | | | 0.28 | 0.58 | 0.58 | 3.87% | 2.00% | 1.87% | |
| C4c-6a | 2 | | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.15 | | | 1.12 | 1.27 | 0.64 | 4.23% | 0.50% | 3.73% | |
| C4c-6b | 3 | | 0.21 | 5.76 | 5.88 | 11.85 | | | 0.36 | 12.21 | 4.07 | 27.13% | 26.33% | 0.80% | |
| totaal gemiddeld | 1.71 | | 0.07 | 1.08 | 0.95 | 2.07 | | | 1.06 | 3.13 | 1.40 | 9.31% | 5.41% | 3.90% | |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.02* | *0.43* | *0.36* | *0.81* | | | *0.59* | *1.40* | | | | | |
| D2-1 | 2 | | 1.90 | 0.02 | 0.04 | 1.96 | | | 0.36 | 2.32 | 1.16 | 7.73% | 6.53% | 1.20% | |
| D2-2 | 5 | | 0.03 | 0.37 | 2.41 | 2.81 | | | 0.98 | 3.79 | 0.76 | 5.05% | 3.75% | 1.31% | |
| D2-3 | 2 | | 0.77 | 0.12 | 0.11 | 1.00 | | | 0.24 | 1.24 | 0.62 | 4.13% | 3.33% | 0.80% | |
| D2-4 | 4 | | 2.17 | 0.11 | 0.28 | 2.56 | | | 1.82 | 4.38 | 1.10 | 7.30% | 4.27% | 3.03% | |
| D2-5 | 4 | | 0.02 | 2.81 | 0.78 | 3.61 | | | 1.00 | 4.61 | 1.15 | 7.68% | 6.02% | 1.67% | |
| D2-6 | 3 | | 0.01 | 0.96 | 3.09 | 4.06 | | | 0.74 | 4.80 | 1.60 | 10.67% | 9.02% | 1.64% | |
| totaal gemiddeld | 3.33 | | 0.82 | 0.73 | 1.12 | 2.67 | | | 0.86 | 3.52 | 1.06 | 7.10% | 5.49% | 1.61% | |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.32* | *0.20* | *0.31* | *0.82* | | | *0.24* | *1.06* | | | | | |
| D5a-1 | 1 | | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | | | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.47% | 0.13% | 0.33% | |
| D5a-2 | 2 | | 0.02 | 0.39 | 0.00 | 0.41 | | | 0.26 | 0.67 | 0.34 | 2.23% | 1.37% | 0.87% | |
| D5a-3 | 2 | | 0.04 | 2.32 | 0.01 | 2.37 | | | 0.08 | 2.45 | 1.23 | 8.17% | 7.90% | 0.27% | |
| D5a-4 | 3 | | 0.00 | 2.96 | 0.15 | 3.11 | | | 0.03 | 3.14 | 1.05 | 6.98% | 6.91% | 0.07% | |
| D5a-5 | 2 | | 5.08 | 0.00 | 0.05 | 5.13 | | | 0.37 | 5.50 | 2.75 | 18.33% | 17.10% | 1.23% | |
| D5a-6 | 3 | | 8.68 | 0.33 | 0.67 | 9.68 | | | 0.21 | 9.89 | 3.30 | 21.98% | 21.51% | 0.47% | |
| D5a-7 | 2 | 0.20 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | | | 0.03 | 0.27 | 0.14 | 0.90% | 0.80% | 0.10% | |
| D5a-8 | 3 | 0.64 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.67 | | | 0.31 | 0.98 | 0.33 | 2.18% | 1.49% | 0.69% | |
| D5a-9 | 3 | 0.66 | 0.70 | 1.09 | 0.00 | 2.45 | | | 0.94 | 3.39 | 1.13 | 7.53% | 5.44% | 2.09% | |
| D5a-10 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | | | 0.13 | 0.14 | 0.07 | 0.47% | 0.03% | 0.43% | |
| totaal gemiddeld | 2.30 | 0.38 | 1.46 | 0.71 | 0.09 | 2.41 | | | 0.24 | 2.65 | 1.04 | 6.92% | 6.27% | 0.65% | |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | *0.05* | *0.57* | *0.28* | *0.03* | *0.94* | | | *0.10* | *1.04* | | | | | |
| D5b-1 | 3 | | | 5.65 | 1.37 | 7.02 | 0.55 | 2.18 | | 9.75 | 3.25 | 21.67% | 15.60% | 4.84% | 1.22% |
| D5b-2 | 2 | | | 1.07 | 0.57 | 1.64 | 0.84 | 0.67 | | 3.15 | 1.58 | 10.50% | 5.47% | 2.23% | 2.80% |
| D5b-3 | 1 | | | 0.00 | 0.35 | 0.35 | 0.29 | 0.02 | | 0.66 | 0.66 | 4.40% | 2.33% | 0.13% | 1.93% |
| D5b-4 | 2 | | | 0.48 | 0.51 | 0.99 | 0.35 | 2.71 | | 4.05 | 2.03 | 13.50% | 3.30% | 9.03% | 1.17% |
| totaal gemiddeld | 2.00 | | | 1.80 | 0.70 | 2.50 | 0.51 | 1.40 | | 4.40 | 1.88 | 12.52% | 6.68% | 4.06% | 1.78% |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | | *0.66* | *0.34* | *1.00* | *0.27* | *0.61* | | *1.88* | | | | | |
| Dx-1 | 2 | | 0.00 | 0.37 | 2.04 | 2.41 | | | 2.98 | 5.39 | 2.70 | 17.97% | 8.03% | 9.93% | |
| Dx-2 | 2 | | 0.12 | 0.00 | 0.21 | 0.33 | | | 2.83 | 3.16 | 1.58 | 10.53% | 1.10% | 9.43% | |
| Dx-3 | 2 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | 2.35 | 2.35 | 1.18 | 7.83% | 0.00% | 7.83% | |
| totaal gemiddeld | 2.00 | | 0.04 | 0.12 | 0.75 | 0.91 | | | 2.72 | 3.63 | 1.82 | 12.11% | 3.04% | 9.07% | |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.02* | *0.06* | *0.38* | *0.46* | | | *1.36* | *1.82* | | | | | |
| **Gewogen gemiddelde D2, D5a, Dx** | 2.58 | 0.38 | 1.03 | 0.63 | 0.52 | | | | 0.83 | 3.08 | 1.17 | 7.80% | 5.51% | 2.28% | |
| X1C-1 | 4 | | 0.68 | 0.16 | 6.60 | 7.44 | 1.13 | 3.53 | | 12.10 | 3.03 | 20.17% | 12.40% | 5.88% | 1.88% |
| X1C-2 | 2 | | 0.02 | 0.41 | 0.01 | 0.44 | 0.01 | 0.02 | | 0.47 | 0.24 | 1.57% | 1.47% | 0.07% | 0.03% |
| X1C-3 | 2 | | 0.29 | 6.99 | 0.72 | 8.00 | 1.63 | 3.45 | | 13.08 | 6.54 | 43.60% | 26.67% | 11.50% | 5.43% |
| X1C-4 | 1 | | 0.07 | 0.73 | 0.01 | 0.81 | 0.10 | 0.22 | | 1.13 | 1.13 | 7.53% | 5.40% | 1.47% | 0.67% |
| X1C-5 | 2 | | 0.12 | 2.75 | 3.84 | 6.71 | 0.67 | 0.02 | | 7.40 | 3.70 | 24.67% | 22.37% | 0.07% | 2.23% |
| totaal gemiddeld | 2.20 | | 0.24 | 2.21 | 2.24 | 4.68 | 0.71 | 1.45 | | 6.84 | 2.93 | 19.51% | 13.66% | 3.80% | 2.05% |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | *0.09* | *1.17* | *0.79* | *2.05* | *0.31* | *0.57* | | *2.93* | | | | | |
| X1A-1 | 1 | | | 0.00 | 1.42 | 1.42 | 0.23 | 0.00 | | 1.65 | 1.65 | 11.00% | 9.47% | 0.00% | 1.53% |
| X1A-2 | 2 | | | 0.38 | 0.00 | 0.38 | 0.60 | 3.02 | | 4.00 | 2.00 | 13.33% | 1.27% | 10.07% | 2.00% |
| X1A-3 | 1 | | | 0.47 | 0.39 | 0.86 | 1.15 | 0.80 | | 2.81 | 2.81 | 18.73% | 5.73% | 5.33% | 7.67% |
| totaal gemiddeld | 1.33 | | | 0.28 | 0.60 | 0.89 | 0.66 | 1.27 | | 2.82 | 2.15 | 14.36% | 5.49% | 5.13% | 3.73% |
| *totaal gemiddeld per persoon* | | | | *0.22* | *0.60* | *0.82* | *0.56* | *0.77* | | *2.15* | | | | | |
| **Gewogen gemiddelde X1/C & X1/A** | | | 0.24 | 1.49 | 1.62 | 3.26 | 0.69 | 1.38 | | 5.33 | 2.64 | 17.58% | 10.60% | 4.30% | 2.68% |

## DATASHEET CO2-OVERSCHRIJDING

Gemiddelde hoogte van de CO2-overschrijding in ppm >1200

(Gemiddelde waarde waarmee de grens van 1200 ppm CO2 gedurende het stookseizoen wordt overschreden in ppm)

| Woning/ventilatiesysteem | aantal inw. | gemiddelde waarde > 1200 ppm CO2 [ppm] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | slaapvertrekken | | | | woonsecties | | | | totale woning | |
| | | zolder | slpkmr 3 | slpkmr 2 | slpkmr 1 | totaal slaap | keuken | wnkmr | woonkeuken | gem. per VR | gem. PP |
| A-1 | 1 | | | 307 | 67 | 264 | 234 | 138 | | | |
| A-2 | 2 | | 133 | 0 | 146 | 144 | 396 | 387 | | | |
| A-3 | 4 | | 781 | 747 | 345 | 678 | 656 | 545 | | | |
| A-4 | 3 | | 279 | 1166 | 304 | 967 | 1327 | 1401 | | | |
| A-5 | 2 | | | 120 | 163 | 152 | 200 | 204 | | | |
| **A-totaal gemiddeld** | **2.4** | | **767** | **854** | **323** | **724** | **669** | **617** | | **689** | **629** |
| C1-1 | 1 | | | 0 | 242 | 242 | 0 | 100 | | | |
| C1-2 | 2 | | | 116 | 168 | 143 | 403 | 407 | | | |
| C1-3 | 3 | | | 35 | 368 | 305 | 217 | 80 | | | |
| C1-4 | 4 | | 1215 | 1164 | 889 | 1012 | 163 | 124 | | | |
| C1-5 | 3 | | 578 | 193 | 260 | 218 | 396 | 456 | | | |
| C1-6 | 4 | | 261 | 602 | 415 | 535 | 209 | 228 | | | |
| **C1-totaal gemiddeld** | **2.83** | | **1080** | **427** | **609** | **591** | **353** | **383** | | **512** | **468** |
| C2c-1 | 1 | | 0 | 0 | 270 | 270 | | | 307 | | |
| C2c-2 | 3 | | 252 | 230 | 447 | 340 | | | 281 | | |
| C2c-3 | 4 | | 451 | 213 | 302 | 323 | | | 259 | | |
| C2c-4 | 3 | | 297 | 283 | 191 | 277 | | | 326 | | |
| C2c-5 | 5 | 198 | 432 | 135 | 192 | 337 | | | 388 | | |
| C2c-6 | 4 | 186 | 578 | 450 | 231 | 389 | | | 298 | | |
| **C.2c-totaal gemiddeld** | **3.33** | **186** | **470** | **294** | **282** | **350** | | | **317** | **344** | **337** |
| C4a-1 | 2 | | 668 | 100 | 50 | 604 | 262 | 241 | | | |
| C4a-2 | 2 | | 0 | 576 | 100 | 521 | 311 | 211 | | | |
| C4a-3 | 2 | | | 367 | 0 | 344 | 0 | 347 | | | |
| C4a-4 | 5 | | 175 | 1061 | 796 | 910 | 334 | 0 | | | |
| **C.4a-totaal gemiddeld** | **2.75** | | **325** | **1043** | **793** | **899** | **322** | **298** | | **731** | **627** |
| **Gemiddelde C1,C2c, C4a** | **3.00** | **192** | **409** | **345** | **308** | **423** | **229** | **219** | **310** | **529** | **477** |
| C4c-1 | 1 | | 340 | 0 | 120 | 230 | | | 134 | | |
| C4c-2 | 1 | | | 147 | 120 | 144 | | | 424 | | |
| C4c-3 | 2 | | 100 | 108 | 124 | 111 | | | 317 | | |
| C4c-4 | 2 | | | 160 | 80 | 140 | | | 393 | | |
| C4c-5 | 1 | | | 100 | 107 | 107 | | | 107 | | |
| C4c-6a | 2 | | 0 | 87 | 0 | 87 | | | 254 | | |
| C4c-6b | 3 | | 200 | 277 | 211 | 243 | | | 183 | | |
| **C.4c-totaal gemiddeld** | **1.71** | | **222** | **238** | **200** | **220** | | | **299** | **247** | **243** |
| D2-1 | 2 | | 205 | 100 | 175 | 203 | | | 236 | | |
| D2-2 | 5 | | 100 | 143 | 112 | 116 | | | 247 | | |
| D2-3 | 2 | | 595 | 208 | 955 | 588 | | | 238 | | |
| D2-4 | 4 | | 226 | 164 | 121 | 212 | | | 381 | | |
| D2-5 | 4 | | 50 | 206 | 250 | 214 | | | 717 | | |
| D2-6 | 3 | | 100 | 301 | 373 | 355 | | | 372 | | |
| **D.2-totaal gemiddeld** | **3.33** | | **274** | **220** | **263** | **255** | | | **403** | **291** | **303** |
| D5a-1 | 1 | | 0 | 0 | 150 | 150 | | | 120 | | |
| D5a-2 | 2 | | 50 | 131 | 0 | 127 | | | 131 | | |
| D5a-3 | 2 | | 350 | 221 | 100 | 222 | | | 163 | | |
| D5a-4 | 3 | | 0 | 326 | 387 | 329 | | | 67 | | |
| D5a-5 | 2 | | 558 | 0 | 100 | 554 | | | 251 | | |
| D5a-6 | 3 | | 726 | 115 | 146 | 665 | | | 214 | | |
| D5a-7 | 2 | 160 | 100 | 0 | 0 | 150 | | | 100 | | |
| D5a-8 | 3 | 252 | 0 | 150 | 100 | 246 | | | 113 | | |
| D5a-9 | 3 | 467 | 599 | 483 | 0 | 511 | | | 523 | | |
| D5a-10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 154 | | |
| **D.5a-totaal gemiddeld** | **2.30** | **334** | **658** | **294** | **182** | **512** | | | **308** | **494** | **479** |
| D5b-1 | 3 | | | 943 | 555 | 867 | 282 | 221 | | | |
| D5b-2 | 2 | | | 190 | 251 | 211 | 238 | 175 | | | |
| D5b-3 | 1 | | | 0 | 223 | 223 | 431 | 100 | | | |
| D5b-4 | 2 | | | 154 | 176 | 166 | 237 | 411 | | | |
| **D.5b-totaal gemiddeld** | **2.00** | | | **778** | **383** | **668** | **277** | **308** | | **509** | **461** |
| Dx-1 | 2 | | 0 | 89 | 215 | 195 | | | 201 | | |
| Dx-2 | 2 | | 42 | 0 | 57 | 52 | | | 198 | | |
| Dx-3 | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 215 | | |
| **D.x-totaal gemiddeld** | **2.00** | | **42** | **89** | **200** | **178** | | | **204** | **198** | **198** |
| **Gemiddelde D2, D5a, Dx** | **2.58** | **220** | **195** | **139** | **171** | **257** | | | **244** | **327** | **326** |
| X1C-1 | 4 | | 104 | 194 | 684 | 620 | 236 | 245 | | | |
| X1C-2 | 2 | | 0 | 88 | 100 | 84 | 0 | 50 | | | |
| X1C-3 | 2 | | 93 | 191 | 149 | 183 | 225 | 199 | | | |
| X1C-4 | 1 | | 271 | 168 | 0 | 175 | 570 | 73 | | | |
| X1C-5 | 2 | | 142 | 370 | 241 | 292 | 669 | 250 | | | |
| **X1C-totaal gemiddeld** | **2.20** | | **114** | **230** | **496** | **351** | **321** | **217** | | **320** | **283** |
| X1A-1 | 1 | | | 0 | 211 | 211 | 191 | 0 | | | |
| X1A-2 | 2 | | | 182 | 0 | 182 | 353 | 282 | | | |
| X1A-3 | 1 | | | 281 | 356 | 315 | 765 | 375 | | | |
| **X1A-totaal gemiddeld** | **1.33** | | | **236** | **242** | **240** | **574** | **302** | | **346** | **365** |
| **Gemiddelde X1/C & X1/A** | | | | **184** | **217** | **258** | **376** | **184** | | **333** | **324** |

## DATASHEET CO2-OVERSCHRIJDING

Gemiddelde CO2-overschrijdingsdoses per dag gedurende stookseizoen in ppmh >1200 ppm

(Overschrijdingsdoses wordt bepaald door vermenigvuldiging van aantal overschrijdingsuren met de hoogte van de overschrijding

| Woning/ventilatiesysteem | aantal inw. | gemiddelde overschrijdingsdoses >1200 ppm per dag [ppmh/dag] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | slaapvertrekken | | | | woonsecties | | | | totale woning | |
| | | zolder | slpkmr 3 | slpkmr 2 | slpkmr 1 | totaal slaap | keuken | wnkmr | woonkeuken | totale woning | gem. pp |
| A-1 | 1 | | | 126 | 6 | 132 | 204 | 91 | | 427 | 427 |
| A-2 | 2 | | 4 | 0 | 19 | 23 | 1373 | 1461 | | 2857 | 1429 |
| A-3 | 4 | | 4951 | 7959 | 1451 | 14361 | 2144 | 2302 | | 18807 | 4702 |
| A-4 | 3 | | 39 | 5225 | 365 | 5629 | 2947 | 2830 | | 11406 | 3802 |
| A-5 | 2 | | | 6 | 26 | 32 | 38 | 47 | | 117 | 59 |
| **A-totaal gemiddeld** | **2.4** | | **1665** | **2663** | **373** | **4035** | **1341** | **1346** | | **6723** | **2084** |
| C1-1 | 1 | | | 0 | 92 | 92 | 0 | 1 | | 93 | 93 |
| C1-2 | 2 | | | 241 | 384 | 625 | 1389 | 1419 | | 3433 | 1717 |
| C1-3 | 3 | | | 6 | 272 | 278 | 13 | 4 | | 295 | 98 |
| C1-4 | 4 | | 5991 | 163 | 7416 | 13570 | 124 | 104 | | 13798 | 3450 |
| C1-5 | 3 | | 231 | 1129 | 13 | 1373 | 2254 | 2533 | | 6160 | 2053 |
| C1-6 | 4 | | 149 | 6802 | 2119 | 9070 | 382 | 369 | | 9821 | 2455 |
| **C1-totaal gemiddeld** | **2.83** | | **2124** | **1390** | **1716** | **4168** | **694** | **738** | | **5600** | **1644** |
| C2c-1 | 1 | | 0 | 0 | 235 | 235 | | | 172 | 407 | 407 |
| C2c-2 | 3 | | 381 | 331 | 1208 | 1920 | | | 379 | 2299 | 766 |
| C2c-3 | 4 | | 640 | 192 | 1179 | 2011 | | | 649 | 2660 | 665 |
| C2c-4 | 3 | | 1195 | 1202 | 229 | 2626 | | | 212 | 2838 | 946 |
| C2c-5 | 5 | 6 | 2543 | 276 | 186 | 3011 | | | 1651 | 4662 | 932 |
| C2c-6 | 4 | 1315 | 6783 | 1565 | 1460 | 11123 | | | 1616 | 12739 | 3185 |
| **C.2c-totaal gemiddeld** | **3.33** | **660** | **1924** | **594** | **750** | **3488** | | | **780** | **4267** | **1150** |
| C4a-1 | 2 | | 167 | 1 | 1 | 169 | 68 | 53 | | 290 | 145 |
| C4a-2 | 2 | | 0 | 98 | 1 | 99 | 361 | 327 | | 787 | 394 |
| C4a-3 | 2 | | | 55 | 0 | 55 | 0 | 1042 | | 1097 | 549 |
| C4a-4 | 5 | | 96 | 11017 | 8170 | 19283 | 824 | 0 | | 20107 | 4021 |
| **C.4a-totaal gemiddeld** | **2.75** | | **88** | **2793** | **2043** | **4902** | **313** | **356** | | **5570** | **1277** |
| **Gemiddelde C1, C2c, C4a** | | | **1398** | **1358** | **1351** | **3855** | **492** | **532** | **668** | **4793** | **1287** |
| C4c-1 | 1 | | 17 | 0 | 6 | 23 | | | 39 | 62 | 62 |
| C4c-2 | 1 | | | 53 | 6 | 59 | | | 140 | 199 | 199 |
| C4c-3 | 2 | | 1 | 124 | 42 | 167 | | | 1330 | 1497 | 749 |
| C4c-4 | 2 | | | 24 | 4 | 28 | | | 326 | 354 | 177 |
| C4c-5 | 1 | | | 2 | 30 | 32 | | | 30 | 62 | 62 |
| C4c-6a | 2 | | 0 | 13 | 0 | 13 | | | 285 | 298 | 149 |
| C4c-6b | 3 | | 42 | 1593 | 1239 | 2874 | | | 66 | 2940 | 980 |
| **C.4c-totaal gemiddeld** | **1.71** | | **15** | **258** | **190** | **457** | | | **317** | **773** | **340** |
| D2-1 | 2 | | 389 | 2 | 7 | 398 | | | 85 | 483 | 242 |
| D2-2 | 5 | | 3 | 53 | 271 | 327 | | | 242 | 569 | 114 |
| D2-3 | 2 | | 458 | 25 | 105 | 588 | | | 57 | 645 | 323 |
| D2-4 | 4 | | 490 | 18 | 34 | 542 | | | 694 | 1236 | 309 |
| D2-5 | 4 | | 1 | 578 | 195 | 774 | | | 717 | 1491 | 373 |
| D2-6 | 3 | | 1 | 289 | 1153 | 1443 | | | 275 | 1718 | 573 |
| **D.2-totaal gemiddeld** | **3.33** | | **224** | **161** | **294** | **679** | | | **345** | **1024** | **322** |
| D5a-1 | 1 | | 0 | 0 | 3 | 3 | | | 6 | 9 | 9 |
| D5a-2 | 2 | | 1 | 51 | 0 | 52 | | | 34 | 86 | 43 |
| D5a-3 | 2 | | 14 | 512 | 1 | 527 | | | 13 | 540 | 270 |
| D5a-4 | 3 | | 0 | 964 | 58 | 1022 | | | 2 | 1024 | 341 |
| D5a-5 | 2 | | 2836 | 0 | 5 | 2841 | | | 93 | 2934 | 1467 |
| D5a-6 | 3 | | 6303 | 38 | 98 | 6439 | | | 45 | 6484 | 2161 |
| D5a-7 | 2 | 32 | 4 | 0 | 0 | 36 | | | 3 | 39 | 20 |
| D5a-8 | 3 | 161 | 0 | 3 | 1 | 165 | | | 35 | 200 | 67 |
| D5a-9 | 3 | 308 | 419 | 526 | 0 | 1253 | | | 492 | 1745 | 582 |
| D5a-10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 20 | 20 | 10 |
| **D.5a-totaal gemiddeld** | **2.30** | **125** | **958** | **209** | **17** | **1234** | | | **74** | **1308** | **497** |
| D5b-1 | 3 | | | 5328 | 761 | 6089 | 155 | 482 | | 6726 | 2242 |
| D5b-2 | 2 | | | 203 | 143 | 346 | 200 | 117 | | 663 | 332 |
| D5b-3 | 1 | | | 0 | 78 | 78 | 125 | 2 | | 205 | 205 |
| D5b-4 | 2 | | | 74 | 90 | 164 | 83 | 1115 | | 1362 | 681 |
| **D.5b-totaal gemiddeld** | **2.00** | | | **1401** | **268** | **1669** | **141** | **429** | | **2239** | **865** |
| Dx-1 | 2 | | 0 | 33 | 438 | 471 | | | 598 | 1069 | 535 |
| Dx-2 | 2 | | 5 | 0 | 12 | 17 | | | 561 | 578 | 289 |
| Dx-3 | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 506 | 506 | 253 |
| **D.x-totaal gemiddeld** | **2.00** | | **2** | **11** | **150** | **163** | | | **555** | **718** | **359** |
| **Gemiddelde D2, D5a, Dx** | **2.58** | **125** | **575** | **163** | **125** | **889** | | | **236** | **1125** | **420** |
| X1C-1 | 4 | | 71 | 31 | 4513 | 4615 | 267 | 866 | | 5748 | 1437 |
| X1C-2 | 2 | | 0 | 36 | 1 | 37 | 0 | 1 | | 38 | 19 |
| X1C-3 | 2 | | 27 | 1333 | 107 | 1467 | 366 | 685 | | 2518 | 1259 |
| X1C-4 | 1 | | 19 | 123 | 0 | 142 | 57 | 16 | | 215 | 215 |
| X1C-5 | 2 | | 17 | 1018 | 924 | 1959 | 448 | 5 | | 2412 | 1206 |
| **X1C-totaal gemiddeld** | **2.20** | | **27** | **508** | **1109** | **1644** | **228** | **315** | | **2186** | **827** |
| X1A-1 | 1 | | | 0 | 299 | 299 | 44 | 0 | | 343 | 343 |
| X1A-2 | 2 | | | 69 | 0 | 69 | 212 | 852 | | 1133 | 567 |
| X1A-3 | 1 | | | 132 | 139 | 271 | 880 | 300 | | 1451 | 1451 |
| **X1A-totaal gemiddeld** | **1.33** | | | **67** | **146** | **213** | **379** | **384** | | **976** | **787** |
| **Gemiddelde X1/C & X1/A** | **1.88** | | **27** | **343** | **748** | **1107** | **284** | **341** | | **1732** | **812** |

## DATASHEET CO2-OVERSCHRIJDING

Gemiddelde CO2-overschrijdingsdoses per stookseizoen in kppmh >1200 ppm

| Woning/ventilatiesysteem | aantal inw. | overschrijdingsdosis per stookseizoen >1200 ppm in [kppmh/st.szn] | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | slaapvertrekken | | | | woonsecties | | | | totale woning | |
| | | zolder | slpkmr 3 | slpkmr 2 | slpkmr 1 | totaal slaap | keuken | wnkmr | woonkeuken | totale woning | gem. pp |
| A-1 | 1 | | | 27 | 1 | 28 | 43 | 19 | | 91 | 91 |
| A-2 | 2 | | 1 | 0 | 4 | 5 | 291 | 310 | | 606 | 303 |
| A-3 | 4 | | 1050 | 1687 | 308 | 3045 | 455 | 488 | | 3987 | 997 |
| A-4 | 3 | | 8 | 1108 | 77 | 1193 | 625 | 600 | | 2418 | 806 |
| A-5 | 2 | | | 1 | 6 | 7 | 8 | 10 | | 25 | 12 |
| **A-totaal gemiddeld** | **2.4** | | **353** | **565** | **79** | **856** | **284** | **285** | | **1425** | **442** |
| C1-1 | 1 | | | 0 | 20 | 20 | 0 | 0 | | 20 | 20 |
| C1-2 | 2 | | | 51 | 81 | 133 | 294 | 301 | | 728 | 364 |
| C1-3 | 3 | | | 1 | 58 | 59 | 3 | 1 | | 63 | 21 |
| C1-4 | 4 | | 1270 | 35 | 1572 | 2877 | 26 | 22 | | 2925 | 731 |
| C1-5 | 3 | | 49 | 239 | 3 | 291 | 478 | 537 | | 1306 | 435 |
| C1-6 | 4 | | 32 | 1442 | 449 | 1923 | 81 | 78 | | 2082 | 521 |
| **C1-totaal gemiddeld** | **2.83** | | **450** | **295** | **364** | **884** | **147** | **157** | | **1187** | **349** |
| C2c-1 | 1 | | 0 | 0 | 50 | 50 | | | 36 | 86 | 86 |
| C2c-2 | 3 | | 81 | 70 | 256 | 407 | | | 80 | 487 | 162 |
| C2c-3 | 4 | | 136 | 41 | 250 | 426 | | | 138 | 564 | 141 |
| C2c-4 | 3 | | 253 | 255 | 49 | 557 | | | 45 | 602 | 201 |
| C2c-5 | 5 | 1 | 539 | 59 | 39 | 638 | | | 350 | 988 | 198 |
| C2c-6 | 4 | 279 | 1438 | 332 | 310 | 2358 | | | 343 | 2701 | 675 |
| **C.2c-totaal gemiddeld** | **3.33** | **140** | **408** | **126** | **159** | **739** | | | **165** | **905** | **244** |
| C4a-1 | 2 | | 35 | 0 | 0 | 36 | 14 | 11 | | 61 | 31 |
| C4a-2 | 2 | | 0 | 21 | 0 | 21 | 77 | 69 | | 167 | 83 |
| C4a-3 | 2 | | | 12 | 0 | 12 | 0 | 221 | | 233 | 116 |
| C4a-4 | 5 | | 20 | 2336 | 1732 | 4088 | 175 | 0 | | 4263 | 853 |
| **C.4a-totaal gemiddeld** | **2.75** | | **19** | **592** | **433** | **1039** | **66** | **75** | | **1181** | **271** |
| **Gemiddelde C1,C2c, C4a** | **3.00** | **140** | **321** | **306** | **304** | | **115** | **124** | **165** | **1080** | **290** |
| C4c-1 | 1 | | 4 | 0 | 1 | 5 | | | 8 | 13 | 13 |
| C4c-2 | 1 | | | 11 | 1 | 13 | | | 30 | 42 | 42 |
| C4c-3 | 2 | | 0 | 26 | 9 | 35 | | | 282 | 317 | 159 |
| C4c-4 | 2 | | | 5 | 1 | 6 | | | 69 | 75 | 38 |
| C4c-5 | 1 | | | 0 | 6 | 7 | | | 6 | 13 | 13 |
| C4c-6a | 2 | | 0 | 3 | 0 | 3 | | | 60 | 63 | 32 |
| C4c-6b | 3 | | 9 | 338 | 263 | 609 | | | 14 | 623 | 208 |
| **C.4c-totaal gemiddeld** | **1.71** | | **3** | **55** | **40** | **97** | | | **67** | **164** | **72** |
| D2-1 | 2 | | 82 | 0 | 1 | 84 | | | 18 | 102 | 51 |
| D2-2 | 5 | | 1 | 11 | 57 | 69 | | | 51 | 121 | 24 |
| D2-3 | 2 | | 97 | 5 | 22 | 125 | | | 12 | 137 | 68 |
| D2-4 | 4 | | 104 | 4 | 7 | 115 | | | 147 | 262 | 66 |
| D2-5 | 4 | | 0 | 123 | 41 | 164 | | | 152 | 316 | 79 |
| D2-6 | 3 | | 0 | 61 | 244 | 306 | | | 58 | 364 | 121 |
| **D.2-totaal gemiddeld** | **3.33** | | **47** | **34** | **62** | **144** | | | **73** | **217** | **68** |
| D5a-1 | 1 | | 0 | 0 | 1 | 1 | | | 1 | 2 | 2 |
| D5a-2 | 2 | | 0 | 11 | 0 | 11 | | | 7 | 18 | 9 |
| D5a-3 | 2 | | 3 | 109 | 0 | 112 | | | 3 | 114 | 57 |
| D5a-4 | 3 | | 0 | 204 | 12 | 217 | | | 0 | 217 | 72 |
| D5a-5 | 2 | | 601 | 0 | 1 | 602 | | | 20 | 622 | 311 |
| D5a-6 | 3 | | 1336 | 8 | 21 | 1365 | | | 10 | 1375 | 458 |
| D5a-7 | 2 | 7 | 1 | 0 | 0 | 8 | | | 1 | 8 | 4 |
| D5a-8 | 3 | 34 | 0 | 1 | 0 | 35 | | | 7 | 42 | 14 |
| D5a-9 | 3 | 65 | 89 | 112 | 0 | 266 | | | 104 | 370 | 123 |
| D5a-10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 4 | 4 | 2 |
| **D.5a-totaal gemiddeld** | **2.30** | **27** | **203** | **44** | **4** | **262** | | | **16** | **277** | **105** |
| D5b-1 | 3 | | | 1130 | 161 | 1291 | 33 | 102 | | 1426 | 475 |
| D5b-2 | 2 | | | 43 | 30 | 73 | 42 | 25 | | 141 | 70 |
| D5b-3 | 1 | | | 0 | 17 | 17 | 27 | 0 | | 43 | 43 |
| D5b-4 | 2 | | | 16 | 19 | 35 | 18 | 236 | | 289 | 144 |
| **D.5b-totaal gemiddeld** | **2.00** | | | **297** | **57** | **354** | **30** | **91** | | **475** | **183** |
| Dx-1 | 2 | | 0 | 7 | 93 | 100 | | | 127 | 227 | 113 |
| Dx-2 | 2 | | 1 | 0 | 3 | 4 | | | 119 | 123 | 61 |
| Dx-3 | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 107 | 107 | 54 |
| **D.x-totaal gemiddeld** | **2.00** | | **0** | **2** | **32** | **34** | | | **118** | **152** | **76** |
| **Gemiddelde D2, D5a, Dx** | **2.58** | **27** | **122** | **35** | **27** | **189** | | | **50** | **239** | **89** |
| X1C-1 | 4 | | 15 | 7 | 957 | 978 | 57 | 184 | | 1219 | 305 |
| X1C-2 | 2 | | 0 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | | 8 | 4 |
| X1C-3 | 2 | | 6 | 283 | 23 | 311 | 78 | 145 | | 534 | 267 |
| X1C-4 | 1 | | 4 | 26 | 0 | 30 | 12 | 3 | | 46 | 46 |
| X1C-5 | 2 | | 4 | 216 | 196 | 415 | 95 | 1 | | 511 | 256 |
| **X1C-totaal gemiddeld** | **2.20** | | **6** | **108** | **235** | **349** | **48** | **67** | | **463** | **175** |
| X1A-1 | 1 | | | 0 | 63 | 63 | 9 | 0 | | 73 | 73 |
| X1A-2 | 2 | | | 15 | 0 | 15 | 45 | 181 | | 240 | 120 |
| X1A-3 | 1 | | | 28 | 29 | 57 | 187 | 64 | | 308 | 308 |
| **X1A-totaal gemiddeld** | **1.33** | | | **14** | **31** | **45** | **80** | **81** | | **207** | **167** |
| **Gemiddelde X1/C & X1/A** | **1.88** | | **6** | **73** | **159** | **235** | **60** | **72** | | **367** | **172** |

## DATASHEET RELATIVE HUMIDITY (RH)

Average number of hours per day outside comfortzone 30 - 70% RH

| | | **RH > 70%** [in hours per day during heasting season] | | | | | **RH < 30%** [in hours per day during heasting season] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ventilation System Type | | Cumulative Whole dwelling | Living section (& i.a. comb kitchen) | Sleeping section | Kitchen | Bathroom | Cumulative Whole dwelling | Living section | Sleeping section | Kitchen | Bathroom & i.a. utility room |
| | Anonym. address | h/day | h/day | h/day | h/day | h/day | h/day | h/day | h/day | h/day | h/day |
| **A** | **TOTAL AVERAGES** | 1.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.46 | 27.26 | 4.40 | 12.40 | 5.44 | 5.02 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.45* | *0.00* | *0.01* | *0.00* | *1.45* | *5.69* | *1.67* | *5.98* | *5.37* | *6.18* |
| | A-1 | 3.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.67 | 28.00 | 6.00 | 14.00 | 7.00 | 1.00 |
| | A-2 | 0.47 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.45 | 27.00 | 4.00 | 5.00 | 4.00 | 14.00 |
| | A-3 | 0.81 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 34.00 | 2.00 | 9.00 | 14.00 | 9.00 |
| | A-4 | 2.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.18 | 29.00 | 6.00 | 21.00 | 1.00 | 1.00 |
| | A-5 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 18.30 | 4.00 | 13.00 | 1.20 | 0.10 |
| **C1** | **TOTAL AVERAGES** | 1.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.31 | 49.53 | 6.83 | 24.83 | 7.77 | 10.10 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.91* | *0.00* | *0.00* | *0.00* | *1.91* | *40.73* | *9.83* | *25.97* | *9.91* | *10.72* |
| | C1-1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 66.00 | 0.00 | 66.00 | 0.00 | 0.00 |
| | C1-2 | 0.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 74.20 | 15.00 | 30.00 | 14.60 | 14.60 |
| | C1-3 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 110.00 | 23.00 | 42.00 | 24.00 | 21.00 |
| | C1-4 | 1.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.98 | 14.00 | 3.00 | 1.00 | 8.00 | 2.00 |
| | C1-5 | 4.93 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.93 | 4.00 | 0.00 | 4.00 | 0.00 | 0.00 |
| | C1-6 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 29.00 | 0.00 | 6.00 | 0.00 | 23.00 |
| **C.2c** | **TOTAL AVERAGES** | 1.09 | 0.00 | 0.49 | | 0.60 | 20.03 | 2.17 | 7.50 | | 10.37 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.21* | *0.00* | *1.20* | | *0.57* | *12.75* | *2.86* | *7.66* | | *6.21* |
| | C2c-1 | 0.42 | 0.00 | 0.00 | | 0.42 | 20.50 | 0.00 | 7.00 | | 13.50 |
| | C2c-2 | 0.72 | 0.00 | 0.00 | | 0.72 | 18.00 | 4.00 | 8.00 | | 6.00 |
| | C2c-3 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | | 0.06 | 25.00 | 2.00 | 3.00 | | 20.00 |
| | C2c-4 | 0.38 | 0.00 | 0.00 | | 0.38 | 7.00 | 0.00 | 0.00 | | 7.00 |
| | C2c-5 | 3.27 | 0.00 | 2.94 | | 0.33 | 41.70 | 7.00 | 22.00 | | 12.70 |
| | C2c-6 | 1.68 | 0.00 | 0.00 | | 1.68 | 8.00 | 0.00 | 5.00 | | 3.00 |
| **C.4a** | **TOTAL AVERAGES** | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.29 | 29.70 | 4.50 | 12.00 | 2.73 | 10.48 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *0.49* | *0.00* | *0.00* | *0.00* | *0.49* | *20.05* | *3.11* | *8.04* | *2.74* | *7.83* |
| | C4a-1 | 1.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.02 | 43.00 | 6.00 | 15.00 | 6.00 | 16.00 |
| | C4a-2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.80 | 5.00 | 20.00 | 3.90 | 16.90 |
| | C4a-3 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 28.00 | 7.00 | 12.00 | 0.00 | 9.00 |
| | C4a-5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| **TOTAL AVERAGE C1, C2c, C4a** | | 0.97 | 0.00 | 0.18 | 0.00 | 0.79 | 33.51 | 4.50 | 15.13 | 5.75 | 10.29 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | *1.39* | *0.00* | *0.73* | *0.00* | *1.25* | *29.44* | *6.42* | *17.91* | *7.99* | *7.97* |
| **C.4c** | **TOTAL AVERAGES** | 1.32 | 0.00 | 0.00 | | 1.32 | 17.13 | 5.17 | 9.17 | | 2.80 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.70* | *0.00* | *0.00* | | *1.70* | *14.92* | *3.66* | *9.60* | | *4.11* |
| | C4c-1 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | | 0.06 | 8.00 | 2.00 | 5.00 | | 1.00 |
| | C4c-2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 7.50 | 7.00 | 0.00 | | 0.50 |
| | C4c-3 | 1.64 | 0.00 | 0.00 | | 1.64 | 37.00 | 11.00 | 24.00 | | 2.00 |
| | C4c-4 | 1.57 | 0.00 | 0.00 | | 1.57 | 12.30 | 4.00 | 6.00 | | 2.30 |
| | C4c-5 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | | 0.22 | 35.00 | 6.00 | 18.00 | | 11.00 |
| | C4c-6a | 4.44 | 0.00 | 0.00 | | 4.44 | 3.00 | 1.00 | 2.00 | | 0.00 |
| | C4c-6b | | | | | | | | | | |
| **D2** | **TOTAL AVERAGES** | 1.52 | 0.00 | 0.64 | | 0.88 | 23.02 | 0.00 | 17.83 | | 5.18 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.38* | *0.00* | *1.56* | | *0.76* | *10.69* | *0.00* | *5.88* | | *5.91* |
| | D2-1 | 0.66 | 0.00 | 0.00 | | 0.66 | 21.00 | 0.00 | 19.00 | | 2.00 |
| | D2-2 | 1.60 | 0.00 | 0.00 | | 1.60 | 15.30 | 0.00 | 11.00 | | 4.30 |
| | D2-3 | 0.35 | 0.00 | 0.00 | | 0.35 | 26.00 | 0.00 | 23.00 | | 3.00 |
| | D2-4 | 0.47 | 0.00 | 0.00 | | 0.47 | 18.80 | 0.00 | 15.00 | | 3.80 |
| | D2-5 | 2.05 | 0.00 | 0.00 | | 2.05 | 14.00 | 0.00 | 13.00 | | 1.00 |
| | D2-6 | 3.97 | 0.00 | 3.81 | | 0.16 | 43.00 | 0.00 | 26.00 | | 17.00 |
| **D5a** | **TOTAL AVERAGES** | 0.54 | 0.00 | 0.00 | | 0.54 | 47.69 | 5.20 | 32.40 | | 10.09 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *0.79* | *0.00* | *0.00* | | *0.79* | *20.43* | *5.65* | *20.79* | | *8.69* |
| | D5a-1 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | | 0.14 | 44.00 | 11.00 | 22.00 | | 11.00 |
| | D5a-2 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | | 0.18 | 12.00 | 6.00 | 6.00 | | 0.00 |
| | D5a-3 | 2.61 | 0.00 | 0.00 | | 2.61 | 66.00 | 16.00 | 27.00 | | 23.00 |
| | D5a-4 | 0.47 | 0.00 | 0.00 | | 0.47 | 52.50 | 3.00 | 29.00 | | 20.50 |
| | D5a-5 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | | 0.05 | 45.80 | 6.00 | 27.00 | | 12.80 |
| | D5a-6 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | | 0.19 | 47.00 | 10.00 | 17.00 | | 20.00 |
| | D5a-7 | 1.05 | 0.00 | 0.00 | | 1.05 | 46.00 | 0.00 | 44.00 | | 2.00 |
| | D5a-8 | 0.32 | 0.00 | 0.00 | | 0.32 | 31.40 | 0.00 | 29.70 | | 1.70 |
| | D5a-9 | 0.35 | 0.00 | 0.00 | | 0.35 | 42.00 | 0.00 | 39.00 | | 3.00 |
| | D5a-10 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | | 0.03 | 90.20 | 0.00 | 83.30 | | 6.90 |
| **D5b** | **TOTAL AVERAGES** | 0.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.35 | 33.15 | 5.25 | 11.00 | 9.23 | 7.68 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *0.20* | *0.00* | *0.00* | *0.00* | *0.20* | *11.47* | *3.77* | *3.65* | *7.93* | *4.46* |
| | D5b-1 | 0.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.48 | 24.00 | 5.00 | 7.00 | 5.00 | 7.00 |
| | D5b-2 | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 24.40 | 0.00 | 15.00 | 5.80 | 3.60 |
| | D5b-3 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 36.00 | 8.00 | 9.00 | 5.00 | 14.00 |
| | D5b-4 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 48.20 | 8.00 | 13.00 | 21.10 | 6.10 |
| **Dx** | **TOTAL AVERAGES** | 2.78 | 0.00 | 0.00 | | 2.78 | 18.33 | 3.00 | 10.00 | | 5.33 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.70* | *0.00* | *0.00* | | *1.70* | *5.13* | *1.73* | *5.57* | | *1.53* |
| | Dx-1 | 2.07 | 0.00 | 0.00 | | 2.07 | 14.00 | 4.00 | 5.00 | | 5.00 |
| | Dx-2 | 4.72 | 0.00 | 0.00 | | 4.72 | 17.00 | 1.00 | 9.00 | | 7.00 |
| | Dx-3 | 1.56 | 0.00 | 0.00 | | 1.56 | 24.00 | 4.00 | 16.00 | | 4.00 |
| **TOTAL AVERAGES D2, D5a, Dx** | | 1.20 | 0.00 | 0.20 | | 1.00 | 35.26 | 3.21 | 24.26 | | 7.79 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | 1.36 | 0.00 | 0.87 | | 1.20 | 20.66 | 4.69 | 17.71 | | 7.34 |
| **X1/C** | **TOTAL AVERAGES** | 1.53 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 1.52 | 25.80 | 4.80 | 12.80 | 5.00 | 3.20 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1.55* | *0.00* | *0.00* | *0.03* | *1.54* | *8.11* | *3.11* | *4.92* | *2.83* | *1.79* |
| | X1C-1 | 2.23 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 2.16 | 21.00 | 7.00 | 11.00 | 0.00 | 3.00 |
| | X1C-2 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 24.00 | 0.00 | 15.00 | 6.00 | 3.00 |
| | X1C-3 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 29.00 | 4.00 | 16.00 | 6.00 | 3.00 |
| | X1C-4 | 3.92 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.92 | 17.00 | 5.00 | 5.00 | 6.00 | 1.00 |
| | X1C-5 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 38.00 | 8.00 | 17.00 | 7.00 | 6.00 |
| **X1/A** | **TOTAL AVERAGES** | 7.35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.35 | 26.60 | 5.50 | 12.50 | 2.70 | 5.90 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *10.39* | *0.00* | *0.00* | *0.00* | *10.39* | *29.98* | *7.78* | *17.68* | *3.82* | *8.34* |
| | X1A-# | | | | | | | | | | |
| | X1A-1 | 14.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 14.70 | 5.40 | 0.00 | 0.00 | 5.40 | 0.00 |
| | X1A-2 | | | | | | | | | | |
| | X1A-3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.80 | 11.00 | 25.00 | 0.00 | 11.80 |
| **TOTAL AVERAGES X1/C, X1/A** | | 3.19 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 3.18 | 26.03 | 5.00 | 12.71 | 4.34 | 3.97 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | 5.26 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 5.26 | 13.92 | 4.08 | 8.26 | 3.00 | 3.93 |

## DATASHEET MECHANICAL VENTILATION RATES

Heating season average mechanical hourly ventilation rates and power consumption

Measured Mechanical Ventilation Rates

| Ventilation System Type | | Centr. MEV-unit | | Centr. WTW-unit | | Local HR Living | | Local HR bedrooms | | Total of Local HR-units | | Total mech vent. rate (kitchen hood excluded) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | heating season average ventilation rate | average power consumption | heating season average ventilation rate | average power cons. | heating season average ventilation rate | average power cons. | heating season average ventilation rate | average power cons. | heating season average ventilation rate | average power cons. | heating season average ventilation rate | average power cons. | average ventilation rate per m2 heated area | | average ventilation rate per person |
| | Anonym. address | [m3/h] | [W] | [m3/h] | [W] | [m3/h] | [W] | [m3/h] | [W] | [m3/h] | [W] | [m3/h] | [W] | l/s/m2 | m3/h/m2 | m3/h/pp |
| **A** | **TOTAL AVERAGES** | | | | | | | | | | | | | | | |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A-1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-3 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-4 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-5 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| **C1** | **TOTAL AVERAGES** | | | | | | | | | | | 51.7 | 22.3 | 0.11 | 0.41 | 12.93 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C1-1 | no data | no data | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | no data | no data | no data | no data | no data |
| | C1-2 | no data | no data | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | no data | no data | no data | no data | no data |
| | C1-3 | no data | no data | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | no data | no data | no data | no data | no data |
| | C1-4 | no data | no data | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | no data | no data | no data | no data | no data |
| | C1-5 | no data | no data | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | no data | no data | no data | no data | no data |
| | C1-6 | 51.7 | 22.3 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 51.7 | 22.3 | 0.11 | 0.41 | 12.93 |
| **C.2c** | **TOTAL AVERAGES** | 104.6 | 21.1 | | | | | | | | | 104.6 | 21.1 | 0.30 | 1.09 | 41.9 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 13.8 | 2.5 | | | | | | | | | 13.8 | 2.5 | 0.04 | 0.14 | 32.8 |
| | C2c-1 | 107.0 | 20.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 107.0 | 20.2 | 0.309 | 1.11 | 107.00 |
| | C2c-2 | 100.2 | 19.5 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 100.2 | 19.5 | 0.290 | 1.04 | 33.40 |
| | C2c-3 | 112.4 | 26.3 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 112.4 | 26.3 | 0.325 | 1.17 | 28.10 |
| | C2c-4 | 118.0 | 20.5 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 118.0 | 20.5 | 0.341 | 1.23 | 39.33 |
| | C2c-5 | 79.2 | 20.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 79.2 | 20.2 | 0.229 | 0.82 | 15.84 |
| | C2c-6 | 111.0 | 20.1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 111.0 | 20.1 | 0.321 | 1.15 | 27.75 |
| **C.4a** | **TOTAL AVERAGES** | | | | | | | | | | | 95.1 | 5.7 | 0.40 | 1.44 | 41.1 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | | | 15.5 | 0.5 | 0.07 | 0.24 | 17.5 |
| | C4a-1 | 79.0 | 5.3 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 79.0 | 5.3 | 0.332 | 1.20 | 39.50 |
| | C4a-2 | 101.9 | 6.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 101.9 | 6.2 | 0.428 | 1.54 | 50.95 |
| | C4a-3 | 113.5 | 6.0 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 113.5 | 6.0 | 0.477 | 1.72 | 56.75 |
| | C4a-5 | 86.1 | 5.1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 86.1 | 5.1 | 0.362 | 1.30 | 17.22 |
| **TOTAL AVERAGE C1, C2c, C4a** | | 96.4 | 15.6 | | | | | | | | | 96.4 | 15.6 | 0.32 | 1.15 | 39.0 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | 20.2 | 8.1 | | | | | | | | | 20.2 | 8.1 | 0.1 | 0.3 | 26.6 |
| **C.4c** | **TOTAL AVERAGES** | 76.4 | 21.3 | | | | | | | | | 76.4 | 21.3 | 0.20 | 0.71 | 48.7 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 21.2 | 9.2 | | | | | | | | | 21.2 | 9.2 | 0.05 | 0.20 | 13.9 |
| | C4c-1 | 57.0 | 12.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 57.0 | 12.2 | 0.146 | 0.53 | 57.00 |
| | C4c-2 | 72.2 | 22.0 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 72.2 | 22.0 | 0.185 | 0.67 | 72.20 |
| | C4c-3 | 88.6 | 20.7 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 88.6 | 20.7 | 0.227 | 0.82 | 44.30 |
| | C4c-4 | 79.4 | 25.7 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 79.4 | 25.7 | 0.204 | 0.73 | 39.70 |
| | C4c-5 | 56.9 | 13.9 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 56.9 | 13.9 | 0.146 | 0.53 | 56.90 |
| | C4c-6 | 64.0 | 15.7 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 64.0 | 15.7 | 0.164 | 0.59 | 32.00 |
| | C4c-6 | 116.6 | 39.2 | | | | | | | | | 116.6 | 39.2 | 0.299 | 1.08 | 38.87 |
| **D2** | **TOTAL AVERAGES** | 128.3 | 17.0 | 166.4 | 40.0 | | | | | | | 160.0 | 36.2 | 0.38 | 1.38 | 51.8 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | 29.7 | 21.6 | | | | | | | 30.8 | 21.5 | 0.10 | 0.35 | 15.1 |
| | D2-1 | n.a. | n.a. | 154.6 | 36.0 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 154.6 | 36.0 | 0.307 | 1.11 | 77.30 |
| | D2-2 | n.a. | n.a. | 200.8 | 52.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 200.8 | 52.2 | 0.505 | 1.82 | 40.16 |
| | D2-3 | n.a. | n.a. | 125.7 | 19.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 125.7 | 19.2 | 0.257 | 0.93 | 62.85 |
| | D2-4 | n.a. | n.a. | 189.5 | 70.8 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 189.5 | 70.8 | 0.361 | 1.30 | 47.38 |
| | D2-5 | n.a. | n.a. | 161.3 | 22.0 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 161.3 | 22.0 | 0.488 | 1.76 | 40.33 |
| | D2-6 | 128.3 | 17.0 | | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 128.3 | 17.0 | 0.388 | 1.40 | 42.77 |
| **D5a** | **TOTAL AVERAGES** | | | 96.7 | 18.9 | | | | | | | 96.7 | 18.9 | 0.25 | 0.89 | 51.9 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | 12.0 | 0.5 | | | | | | | 12.0 | 0.5 | 0.03 | 0.11 | 27.4 |
| | D5a-1 | n.a. | n.a. | 92.2 | 19.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 92.2 | 19.2 | 0.276 | 0.99 | 92.20 |
| | D5a-2 | n.a. | n.a. | 83.0 | 18.0 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 83.0 | 18.0 | 0.192 | 0.69 | 41.50 |
| | D5a-3 | n.a. | n.a. | 89.1 | 19.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 89.1 | 19.2 | 0.266 | 0.96 | 44.55 |
| | D5a-4 | n.a. | n.a. | 89.5 | 19.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 89.5 | 19.2 | 0.268 | 0.96 | 29.83 |
| | D5a-5 | n.a. | n.a. | 89.2 | 18.8 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 89.2 | 18.8 | 0.267 | 0.96 | 44.60 |
| | D5a-6 | n.a. | n.a. | 84.0 | 18.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 84.0 | 18.2 | 0.195 | 0.70 | 28.00 |
| | D5a-7 | n.a. | n.a. | 109.7 | 18.8 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 109.7 | 18.8 | 0.249 | 0.90 | 54.85 |
| | D5a-8 | n.a. | n.a. | 115.1 | 19.0 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 115.1 | 19.0 | 0.262 | 0.94 | 38.37 |
| | D5a-9 | n.a. | n.a. | 105.5 | 19.4 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 105.5 | 19.4 | 0.240 | 0.86 | 35.17 |
| | D5a-10 | n.a. | n.a. | 110.0 | 19.1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 110.0 | 19.1 | 0.250 | 0.90 | 110.00 |
| **D5b** | **TOTAL AVERAGES** | 64.7 | 6.3 | | | 6.2 | 1.6 | 6.7 | 2.6 | 10.8 | 3.7 | 72.7 | 9.1 | 0.31 | 1.10 | 39.5 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 23.6 | 0.5 | | | 0.1 | 0.0 | 4.3 | 1.7 | 5.6 | 2.0 | 19.7 | 2.2 | 0.08 | 0.30 | 12.8 |
| | D5b-1 | 80.4 | 6.7 | n.a. | n.a. | 0 | 0.0 | 9.8 | 3.6 | 9.8 | 3.6 | 90.2 | 10.3 | 0.379 | 1.37 | 30.07 |
| | D5b-2 | 43.2 | 6.0 | n.a. | n.a. | 6.1 | 1.6 | 7 | 3.1 | 13.1 | 4.7 | 56.3 | 10.7 | 0.237 | 0.85 | 28.15 |
| | D5b-3 | 45.7 | 6.9 | n.a. | n.a. | 6.2 | 1.6 | 3.2 | 1.2 | 9.4 | 2.8 | 55.1 | 9.7 | 0.232 | 0.83 | 55.10 |
| | D5b-4 | 89.3 | 5.8 | n.a. | n.a. | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 89.3 | 5.8 | 0.375 | 1.35 | 44.65 |
| **Dx** | **TOTAL AVERAGES** | | | 71.7 | 22.4 | | | | | | | 71.7 | 22.4 | 0.18 | 0.66 | 35.8 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | 16.1 | 4.7 | | | | | | | 16.1 | 4.7 | 0.04 | 0.15 | 8.1 |
| | Dx-1 | n.a. | n.a. | 61.0 | 17.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 61.0 | 17.2 | 0.156 | 0.56 | 30.50 |
| | Dx-2 | n.a. | n.a. | 90.2 | 26.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 90.2 | 26.2 | 0.231 | 0.83 | 45.10 |
| | Dx-3 | n.a. | n.a. | 63.8 | 23.8 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 63.8 | 23.8 | 0.164 | 0.59 | 31.90 |
| **TOTAL AVERAGES D2, D5a, Dx** | | | | | | | | | | | | 112.76 | 24.92 | 0.28 | 1.01 | 49.33 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | | | | 39.16 | 13.95 | 0.10 | 0.34 | 21.94 |
| **X1/C** | **TOTAL AVERAGES** | 59.6 | 4.5 | | | 9.2 | 2.1 | | | 9.2 | 2.1 | 68.8 | 6.7 | 0.29 | 1.04 | 37.3 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 19.7 | 0.4 | | | 2.9 | 0.5 | | | 2.9 | 0.5 | 19.3 | 0.5 | 0.08 | 0.29 | 18.8 |
| | X1C-1 | 56.0 | 4.3 | n.a. | n.a. | 11.4 | 2.6 | n.a. | n.a. | 11.4 | 2.6 | 67.4 | 6.9 | 0.283 | 1.02 | 16.85 |
| | X1C-2 | 37.5 | 4.7 | n.a. | n.a. | 7.3 | 1.7 | n.a. | n.a. | 7.3 | 1.7 | 44.8 | 6.4 | 0.188 | 0.68 | 22.40 |
| | X1C-3 | 57.8 | 4.3 | n.a. | n.a. | 13.2 | 2.8 | n.a. | n.a. | 13.2 | 2.8 | 71.0 | 7.1 | 0.299 | 1.07 | 35.50 |
| | X1C-4 | 55.0 | 4.2 | n.a. | n.a. | 7.4 | 1.7 | n.a. | n.a. | 7.4 | 1.7 | 62.4 | 5.9 | 0.262 | 0.94 | 62.40 |
| | X1C-5 | 91.7 | 5.2 | n.a. | n.a. | 6.6 | 1.7 | n.a. | n.a. | 6.6 | 1.7 | 98.3 | 6.9 | 0.413 | 1.49 | 49.15 |
| **X1/A** | **TOTAL AVERAGES** | | | | | 7.10 | 1.95 | | | 7.10 | 1.95 | | | | | |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | | | 4.51 | 0.62 | | | 4.51 | 0.62 | | | | | |
| | X1A-# | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 5.5 | 1.8 | n.a. | n.a. | 5.5 | 1.8 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | X1A-1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 11.9 | 2.7 | n.a. | n.a. | 11.9 | 2.7 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | X1A-2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 9.4 | 2.1 | n.a. | n.a. | 9.4 | 2.1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | X1A-3 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 1.6 | 1.2 | n.a. | n.a. | 1.6 | 1.2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| **TOTAL AVERAGES X1/C, X1/A** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | | | | | | | | |

## DATASHEET ENERGY CONSUMPTION

| Ventilation System Type | | Thermal energy content of the mechanically echanged air per average heating season | Propotion of mechanically induced air that passes HR-unit | Average $\eta_{HR}$ @achieved flow rates according to. EN131241 -7/8 | Thermal energy losses due to mechanical ventilation with $\eta_{HR}$ acc. to. EN131241 -7/8 | Thermal energy losses due to mechanical ventilation with default real-life $\eta_{HR}$ = 80% | Thermal energy losses due to mechanical ventilation with default real-life $\eta_{HR}$ = 80% AND $\eta_{heating\,syst}$ = 85% | Power consumption for mechanical ventilation units (electricity converted to primary) per heating season | Total primary energy use for mechanical ventilation per av. heating season per dwelling | Total primary energy use for mechanical ventilation per av. heating season per m2 of heated surface |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Anonym. address | MJ/h.s. | % | % | MJ/h.s. | MJ/h.s. | MJ/h.s. | MJ/h.s. | MJ/h.s. | MJ/m2/h.s. |
| **A** | **TOTAL AVERAGES** | | | | | | | | | |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | |
| | A-1 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-2 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-3 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-4 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| | A-5 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| **C1** | **TOTAL AVERAGES** | | | | 4496 | 4496 | 5289 | 1019 | 6308 | 50 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | |
| | C1-1 | no data | 0.00% | n.a. | | | | | | |
| | C1-2 | no data | 0.00% | n.a. | | | | | | |
| | C1-3 | no data | 0.00% | n.a. | | | | | | |
| | C1-4 | no data | 0.00% | n.a. | | | | | | |
| | C1-5 | no data | 0.00% | n.a. | | | | | | |
| | C1-6 | 4496 | 0.00% | n.a. | 4496 | 4496 | 5289 | 1019 | 6308 | 50.22 |
| **C.2c** | **TOTAL AVERAGES** | 8920 | 0 | | 8920 | 8920 | 10494 | 968 | 11463 | 119 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 1077 | 0 | | 1077 | 1077 | 1267 | 116 | 1262 | 13 |
| | C2c-1 | 8025 | 0.00% | n.a. | 8025 | 8025 | 9441 | 925 | 10366 | 107.85 |
| | C2c-2 | 8595 | 0.00% | n.a. | 8595 | 8595 | 10112 | 894 | 11006 | 114.50 |
| | C2c-3 | 8665 | 0.00% | n.a. | 8665 | 8665 | 10194 | 1203 | 11398 | 118.58 |
| | C2c-4 | 10075 | 0.00% | n.a. | 10075 | 10075 | 11853 | 940 | 12793 | 133.09 |
| | C2c-5 | 7769 | 0.00% | n.a. | 7769 | 7769 | 9140 | 926 | 10066 | 104.73 |
| | C2c-6 | 10392 | 0.00% | n.a. | 10392 | 10392 | 12226 | 920 | 13146 | 136.77 |
| **C.4a** | **TOTAL AVERAGES** | 7845 | 0 | | 7845 | 7845 | 9229 | 259 | 9488 | 144 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 1371 | 0 | | 1371 | 1371 | 1613 | 25 | 1628 | 25 |
| | C4a-1 | 6060 | 0.00% | n.a. | 6060 | 6060 | 7129 | 243 | 7372 | 111.58 |
| | C4a-2 | 8063 | 0.00% | n.a. | 8063 | 8063 | 9486 | 284 | 9770 | 147.87 |
| | C4a-3 | 9396 | 0.00% | n.a. | 9396 | 9396 | 11054 | 276 | 11330 | 171.48 |
| | C4a-5 | 7859 | 0.00% | n.a. | 7859 | 7859 | 9246 | 234 | 9479 | 143.48 |
| **TOTAL AVERAGE C1, C2c, C4a** | | 8127 | 0 | | 8127 | 8127 | 9561 | 715 | 10276 | 122 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | 1695 | 0 | | 1695 | 1695 | 1994 | 371 | 2064 | 31 |
| **C.4c** | **TOTAL AVERAGES** | 6693 | 0 | | 6693 | 6693 | 7874 | 977 | 8851 | 82 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 2522 | 0 | | 2522 | 2522 | 2968 | 422 | 3377 | 31 |
| | C4c-1 | 4590 | 0.00% | n.a. | 4590 | 4590 | 5400 | 559 | 5959 | 55.00 |
| | C4c-2 | 6383 | 0.00% | n.a. | 6383 | 6383 | 7509 | 1007 | 8517 | 78.62 |
| | C4c-3 | 6807 | 0.00% | n.a. | 6807 | 6807 | 8008 | 948 | 8956 | 82.67 |
| | C4c-4 | 6836 | 0.00% | n.a. | 6836 | 6836 | 8042 | 1177 | 9219 | 85.10 |
| | C4c-5 | 4309 | 0.00% | n.a. | 4309 | 4309 | 5069 | 637 | 5706 | 52.67 |
| | C4c-6a | 5991 | 0.00% | n.a. | 5991 | 5991 | 7048 | 719 | 7767 | 71.70 |
| | C4c-6b | 11932 | 0.00% | n.a. | 11932 | 11932 | 14038 | 1795 | 15833 | 146.15 |
| **D2** | **TOTAL AVERAGES** | 12964 | 100.00% | 93.25% | 914 | 2656 | 3124 | 1834 | 4958 | 40 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 3219 | 0.00% | *0.83%* | 319 | 699 | 822 | 991 | 1787 | 14 |
| | D2-1 | 11494 | 100.00% | 93.44% | 754 | 2299 | 2704 | 1649 | 4353 | 31.12 |
| | D2-2 | 15694 | 100.00% | 92.08% | 1243 | 3139 | 3693 | 2392 | 6085 | 55.05 |
| | D2-3 | 9123 | 100.00% | 94.40% | 511 | 1825 | 2147 | 879 | 3026 | 22.31 |
| | D2-4 | 17899 | 100.00% | 93.10% | 1235 | 3580 | 4211 | 3242 | 7453 | 51.05 |
| | D2-5 | 12180 | 100.00% | 93.21% | 827 | 2436 | 2866 | 1006 | 3872 | 42.13 |
| | D2-6 | 11395 | 0.00% | 0.00% | 11395 | 11395 | 13406 | 778 | 14184 | 154.35 |
| **D5a** | **TOTAL AVERAGES** | 7774 | 1 | 87.89% | 933 | 1555 | 1829 | 866 | 2695 | 25 |
| | **STANDARD DEVIATION** | *1252* | *0* | *1.44%* | *130* | *250* | *295* | *21* | *303* | *4* |
| | D5a-1 | 6735 | 100.00% | 86.70% | 896 | 1347 | 1585 | 880 | 2465 | 26.53 |
| | D5a-2 | 7078 | 100.00% | 86.96% | 923 | 1416 | 1665 | 824 | 2490 | 20.77 |
| | D5a-3 | 8752 | 100.00% | 86.62% | 1171 | 1750 | 2059 | 881 | 2940 | 31.64 |
| | D5a-4 | 7368 | 100.00% | 86.74% | 977 | 1474 | 1734 | 881 | 2615 | 28.14 |
| | D5a-5 | 7157 | 100.00% | 86.74% | 949 | 1431 | 1684 | 860 | 2543 | 27.37 |
| | D5a-6 | 6259 | 100.00% | 86.93% | 818 | 1252 | 1473 | 835 | 2308 | 19.26 |
| | D5a-7 | 9253 | 100.00% | 89.56% | 966 | 1851 | 2177 | 861 | 3038 | 24.85 |
| | D5a-8 | 9611 | 100.00% | 89.20% | 1038 | 1922 | 2261 | 871 | 3133 | 25.62 |
| | D5a-9 | 9026 | 100.00% | 89.84% | 917 | 1805 | 2124 | 888 | 3012 | 24.64 |
| | D5a-10 | 6503 | 100.00% | 89.59% | 677 | 1301 | 1530 | 875 | 2405 | 19.67 |
| **D5b** | **TOTAL AVERAGES** | 5931 | 17.06% | 89.00% | 5361 | 5419 | 6375 | 417 | 6792 | 103 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 1909 | 6.20% | *0.00%* | 2140 | 2115 | 2488 | 103 | 2426 | 37 |
| | D5b-1 | 7755 | 10.86% | 89.00% | 7005 | 7081 | 8330 | 469 | 8800 | 133.19 |
| | D5b-2 | 4135 | 23.27% | 89.00% | 3279 | 3366 | 3960 | 489 | 4448 | 67.32 |
| | D5b-3 | 4437 | 17.06% | 89.00% | 3763 | 3831 | 4507 | 444 | 4951 | 74.94 |
| | D5b-4 | 7398 | 0.00% | 89.00% | 7398 | 7398 | 8704 | 266 | 8969 | 135.75 |
| **Dx** | **TOTAL AVERAGES** | 6319 | 100.00% | 95.30% | 307 | 1264 | 1487 | 1026 | 2513 | 23 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 1712 | 0.00% | 0.86% | 142 | 342 | 403 | 213 | 551 | 5 |
| | Dx-1 | 5673 | 100.00% | 95.84% | 236 | 1135 | 1335 | 788 | 2122 | 19.59 |
| | Dx-2 | 8260 | 100.00% | 94.31% | 470 | 1652 | 1944 | 1200 | 3143 | 29.02 |
| | Dx-3 | 5023 | 100.00% | 95.74% | 214 | 1005 | 1182 | 1090 | 2272 | 20.97 |
| **TOTAL AVERAGES D2, D5a, Dx** | | 9183 | 100.00% | 90.61% | 1380 | 2316 | 2725 | 1141 | 3866 | 29 |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | 3350 | 0.00% | 3.41% | 2443 | 2296 | 2701 | 639 | 2847 | 31 |
| **X1/C** | **TOTAL AVERAGES** | 6249 | 14.07% | 88.73% | 5497 | 5571 | 6554 | 305 | 6858 | 104 |
| | **STANDARD DEVIATION** | 1579 | 4.81% | 0.39% | 1570 | 1569 | 1846 | 21 | 1856 | 28 |
| | X1C-1 | 6417 | 16.91% | 88.60% | 5455 | 5548 | 6527 | 316 | 6843 | 103.57 |
| | X1C-2 | 4016 | 16.29% | 88.98% | 3434 | 3493 | 4109 | 295 | 4404 | 66.66 |
| | X1C-3 | 6856 | 18.59% | 88.10% | 5733 | 5836 | 6866 | 325 | 7191 | 108.84 |
| | X1C-4 | 5650 | 11.86% | 88.97% | 5054 | 5114 | 6017 | 272 | 6289 | 95.18 |
| | X1C-5 | 8307 | 6.71% | 88.98% | 7811 | 7861 | 9248 | 315 | 9563 | 144.75 |
| **X1/A** | **TOTAL AVERAGES** | | 100.00% | 87.51% | 105 | 166 | 196 | 89 | 285 | 5.08 |
| | **STANDARD DEVIATION** | | 0.00% | 0.86% | 69 | 106 | 125 | 29 | 149 | 2.65 |
| | X1A-# | no data | 100.00% | 86.59% | 157 | 234 | 275 | 82 | 358 | 6.38 |
| | X1A-1 | no data | 100.00% | 87.56% | 168 | 270 | 318 | 124 | 441 | 7.86 |
| | X1A-2 | no data | 100.00% | 88.65% | 70 | 123 | 145 | 96 | 241 | 4.30 |
| | X1A-3 | no data | 100.00% | 87.23% | 24 | 38 | 44 | 55 | 99 | 1.77 |
| **TOTAL AVERAGES X1/C, X1/A** | | | | | | | | | | |
| **OVERALL STANDARD DEVIATION** | | | | | | | | | | |