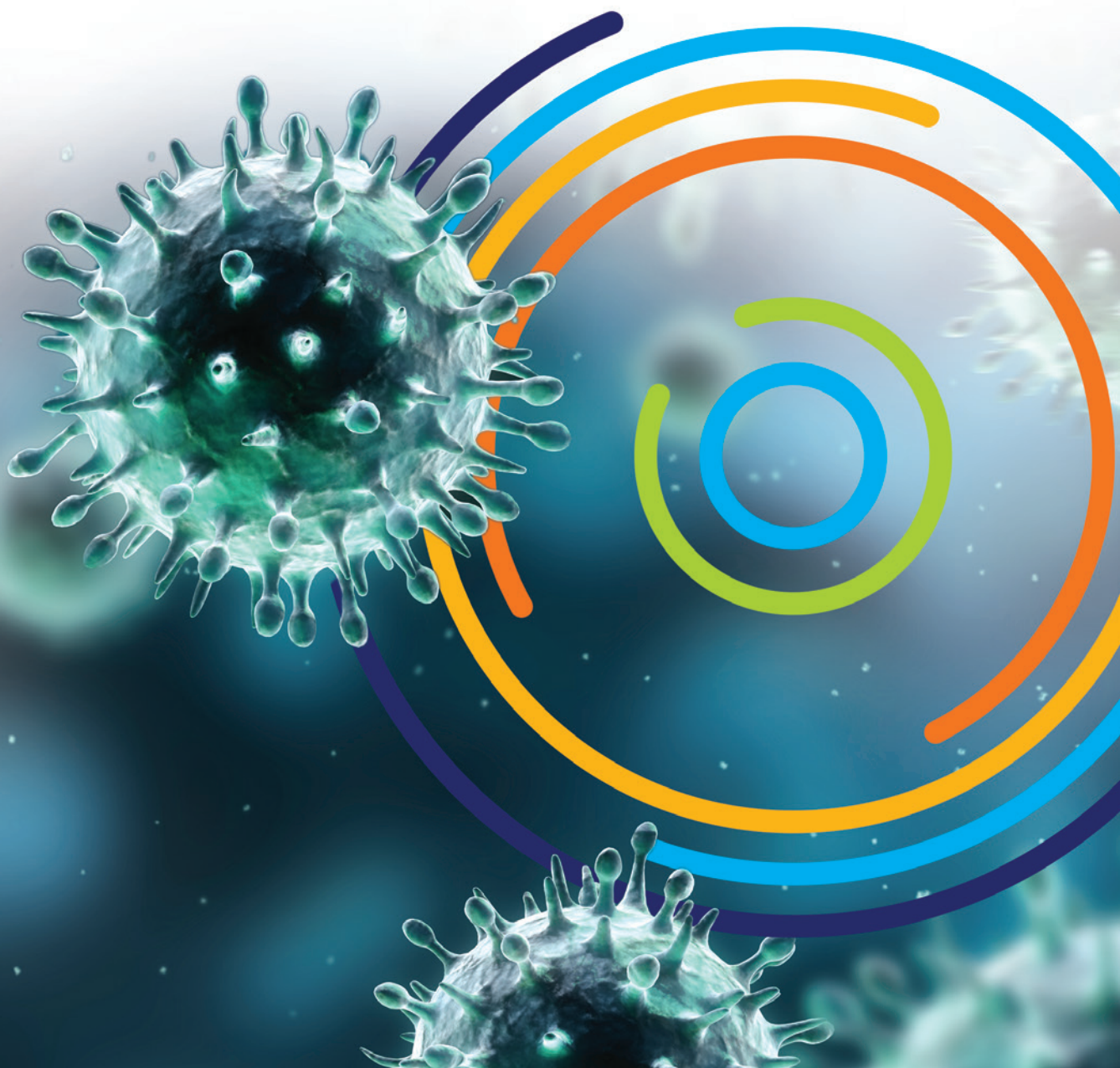


Ventilatie en binnenlucht- kwaliteit in relatie tot COVID-19

Aanbevelingen voor praktische
implementatie en bewaking





Voorwoord

De oorspronkelijk versie van dit rapport is uitgebracht door de Taskforce Ventilatie van het Regeringscommissariaat Corona in België. Gezien de inhoud van dit rapport en de intenties met betrekking tot ventilatie in Nederland, hebben TVVL en Binnenklimaat Nederland besloten om gebruik te maken van dit rapport als basis voor de aanbevelingen die in Nederland gesteld zouden kunnen worden aan de ventilatie, op de korte termijn en in het kader van de COVID-19 pandemie, maar ook daarna. Dit kan worden gezien als een aanvulling op de tools die beschikbaar zijn op het platform Binnenklimaattechniek (www.binnenklimaattechniek.nl/corona) en een meer gedetailleerde uitwerking van de Quickscans. Het toepassingsgebied is ook breder.

Het originele rapport (versie 1.0, 27 april 2021), inclusief de update (versie 2.0, 12 juli 2021), is in grote mate in stand gehouden, maar er zijn aanpassingen gemaakt daar waar dit inhoudelijk noodzakelijk was gezien de verschillen in bestuur en zaken gerelateerd daaraan. Daarnaast is op sommige plekken enige verduidelijking of nuancering toegevoegd en is het woord- en zinsgebruik aangepast aan wat in het Nederlands meer gangbaar wordt geacht. In het rapport is bij de voorbeelden in het algemeen Klasse B van het Programma van Eisen Gezonde Kantoren 2021 aangehouden ten aanzien van het gewenste CO₂-concentratie niveau. Klasse B gaat uit van een niveau van maximaal +450 ppm boven de buitenluchtconcentratie. De buitenluchtconcentratie wordt daarbij gesteld op 450 ppm, en resulteert derhalve in het gesommeerde niveau van 900 ppm.

Het is belangrijk om op te merken dat de keuze voor een bepaalde gewenste CO₂-concentratie vrij is en dat een lagere concentratie in principe tot

een betere situatie en lager risico zal leiden.

De informatie is dusdanig gegeven dat ook voor andere uitgangspunten de informatie kan worden afgeleid. Verder is het goed erop te wijzen dat de CO₂-concentratie niet 1-op-1 gerelateerd is aan de productie van aerosolen die potentieel het virus kunnen bevatten. Daarnaast laten de nieuwe varianten van het SARS-CoV-2 virus een grotere besmettelijkheid zien. Bij een gelijkblijvend risico betekent dit dat er meer geventileerd zou moeten worden.

Het doel van dit document is vooral om een goed basisuitgangspunt te creëren voor de ventilatie van ruimtes waarin mensen verblijven. De keuzes ten aanzien van een aanvaardbaar niveau voor de besmettingskans (en daaraan gerelateerd het gewenste ventilatieniveau) moet per situatie bepaald worden. Vervolgens moet daarop worden geacteerd. Of dat met enkel ventilatie is op te lossen is afhankelijk van het geaccepteerde niveau en de situatie.

Behoudens bovenstaande opmerkingen stoelt de inhoud van deze (Nederlandse) versie in belangrijke mate op hetgeen in de genoemde taskforce is voorbereid. We zijn dan ook zeer erkentelijk voor de mogelijkheid om hiervan gebruik te kunnen maken en danken de leden van de werkgroep en de stuurgroep hiervoor. De individuele namen van beide groepen zijn hieronder genoemd.

Met dank ook aan de meelezers Francesco Franchimon (Franchimon ICM) en Gertjan Middendorf (Binnenklimaat Nederland).

Marcel Loomans

(namens TVVL, TU Eindhoven – 27 augustus 2021)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Vormgeving: Vicky Capitein | Het Licht Multimedia
© Platform Binnenklimaattechniek | 2021





Leden van de werkgroep:

Sarah Benoy	Vlaanderen
Benjamin Bienfait	FOD Economie
Pieter Bolle	FOD WASO
Samuel Caillou	WTCB
Arnold Janssens	UGent
Jelle Laverge	UGent
Sofie Vandenbroeck	Vlaanderen
Peter Wouters	WTCB

Werden betrokken via de stuurgroep:

Pierre-Yves Badot	Regie der gebouwen
Bart Bautmans	Vlaanderen
Lois Bosson	Federatie Wallonië-Brussel
Stijn Callebaut	Vlaanderen
Guillaume Creusat	Bozar
Brecht De Vos	Sport Vlaanderen
Manu Dierckx	Vlaanderen
Marc Francaux	UCLouvain
Thomas Gilson	Federatie Wallonië-Brussel
Vincent Hitabatuma	Federatie Wallonië-Brussel
Anthony Kets	Vlaanderen
Cindy Lemoine	Federatie Wallonië-Brussel
Eric Lambert	Regie der gebouwen
Erik Smeets	Vlaanderen
Marianne Stranger	VITO
Nathalie Snackers	DGOV
Ellen Thielens	Vlaanderen
Kim Vanderpoorten	Vlaanderen
Stephane Vanreppelen	Bozar
Alfred Volckaerts	FOD WASO
Pierre Wilquet	Federatie Wallonië-Brussel
Joerg Zimmerman	DGOV

Inhoud

1. Inleiding	6
2. Ventilatie, CO₂ en COVID-19	8
3. Implementatieplan	10
3.0 STAP 0: Open ramen en/of buitendeuren waar mogelijk	10
3.1 STAP 1: Informatie over de activiteiten	11
3.2 STAP 2: Zijn er mechanische ventilatiesystemen aanwezig?	12
3.3 STAP 3: Analyse van de mechanische ventilatie-installatie	12
3.3.1 STAP 3.1: Debiet verse lucht in kader van wettelijke en/of arbeidstechnische en/of hygiënische richtlijnen	13
3.3.2 STAP 3.2: Bepaling debiet verse lucht via rechtstreekse debietmetingen	13
3.3.3 STAP 3.3: Raming van het debiet aan verse lucht op basis van gemeten CO ₂ -concentraties	13
3.4 STAP 4: Bepaling van de nominaal toegelaten bezetting op basis van het ventilatiedebiet	14
3.5 STAP 5: Is er een CO ₂ -meter beschikbaar?	15
3.6 STAP 6: Is er minstens één CO ₂ -meter per ruimte?	15
3.7 STAP 7: Uitvoering van permanente CO ₂ -metingen	15
3.8 STAP 8: Is de CO ₂ -concentratie zelden hoger dan 900 ppm?	15
3.9 STAP 9: Maatregelen bij permanente CO ₂ -metingen waarbij soms hoge CO ₂ -concentraties vastgesteld worden	16
3.10 STAP 10: Steekproefsgewijze CO ₂ -metingen	16
3.11 STAP 11: Zijn de steekproefsgewijze metingen van de CO ₂ -concentraties voldoende laag?	17
3.12 STAP 12: Maatregelen als er te hoge CO ₂ -waarden zijn bij steekproefsgewijze metingen	17
3.13 STAP 13: Ramen en deuren altijd openhouden	17
3.14 STAP 14: Acties als de situatie voldoende is	18
3.15 STAP 15: Actieplan voor het verbeteren van de ventilatievoorzieningen op langere termijn	19
3.16 STAP 16: Luchtreiniging	20

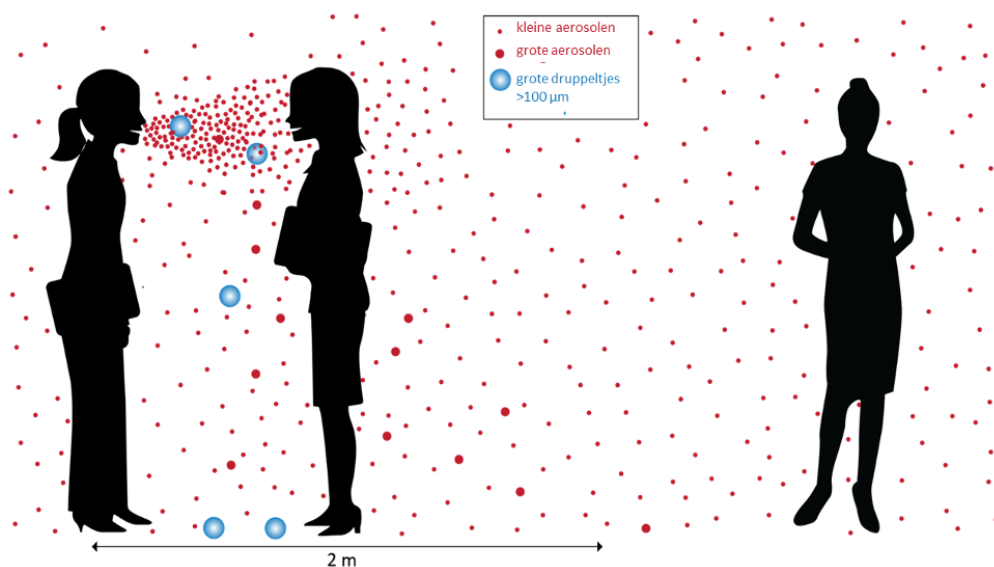


Bijlage 1: Checklist	22
Bijlage 2: Tips voor het creëren van een draagvlak	26
Bijlage 3: BSOH-tool – het voorspellen van het verloop van de CO₂-concentratie	27
Bijlage 4: Specifieke aandachtspunten	29
Bijlage 5: Keuze en gebruik van CO₂-meters in de context van COVID-19	30
Bijlage 6: Bepalen van de nominale bezettingsgraad bij open ramen en buitendeuren	34
Bijlage 7: Ventilatie met ramen en deuren – hoe pak je het aan?	36
Bijlage 8: Toegelaten CO₂ niveaus bij combinatie van ventilatie en luchtreiniging	38
Bijlage 9: Ventilatievoud	40
Bijlage 10: Symbolen, eenheden en definities	42

1. Inleiding

Dit document beschrijft een pragmatische aanpak voor de implementatie van voldoende ventilatie, eventueel in combinatie met luchtreiniging, om de kans op besmetting met het coronavirus, of andere virussen binnen te verkleinen. Recent wetenschappelijk onderzoek toont aan dat voor het corona-virus aerosolen de hoofdroute zijn waarlangs besmettingen verlopen, zie afbeelding 1. Overdracht via aerosolen kan zowel op korte afstand ($<1,5$ meter) als op grotere afstand in de ruimte plaatsvinden. Ventilatie heeft in het algemeen een effect op de overdracht via aerosolen op grotere afstand in een ruimte ($>1,5$ m). Op kortere afstand, en bij andere manieren van virusoverdracht speelt ventilatie minder een rol. Andere manieren van overdracht zijn, de rechtstreekse overdracht via grote druppels op korte afstand ($< 1,5$ m) en het contact met besmette oppervlakken. Aerosolen zijn kleine druppeltjes die uit de luchtwegen vrijkomen tijdens het ademen, het praten, roepen of zingen. De afmetingen van aerosolen liggen tussen ongeveer $0,5\text{ }\mu\text{m}$ en $100\text{ }\mu\text{m}$. Doordat deze aerosolen klein zijn, kunnen ze langere tijd in de ruimte blijven zweven. Bij een besmet persoon bevatten deze aerosolen virusdeeltjes die nog vatbare personen kunnen infecteren. De kans op infectie hangt onder andere af van de hoeveelheid virusdeeltjes, in combinatie met de besmettelijkheid van het virus, die een vatbaar persoon inademt. Dit betekent dat de kans op besmetting via aerosolen verminderd kan worden door de aanwezigheid van

ventilatie, eventueel in combinatie met luchtreiniging. Een mondmasker bij een (potentieel) geïnficeerd persoon zal de afgifte van besmettelijke aerosolen in de ruimte verminderen. Het dragen van een mondneusmasker is dan ook duidelijk een bronmaatregel. Er is een verschil in de kwaliteit van mondneusmaskers. FFP2-maskers zijn efficiënter dan bijvoorbeeld chirurgische maskers. De aard van het stemgebruik heeft ook een effect. In vergelijking tot licht ademen, zal fluisteren gemiddeld al 6x meer aerosolen produceren. Voor gewoon praten is dit orde grootte 17x meer, roepen 34x meer en bij zingen zelfs 250x meer. Om de blootstelling te beperken is het dan ook zinvol, als mogelijke maatregel, om binnen een mondmasker te dragen bij het gebruik van de stem. Daarnaast geldt dat ook het ademhalingsdebiet een invloed heeft op de besmettingskans. Bij grotere inspanningen worden grotere volumes lucht in- en uitgeademd. Hierdoor stijgt de potentiële dosis aan besmettelijke aerosolen die wordt ontvangen. Verder wordt de dosis ook bepaald door de tijdsduur waarover men zich in een ruimte bevindt waar besmettelijke aerosolen aanwezig zijn. Tot slot wordt het maatschappelijke risico bepaald door het aantal vatbare mensen die samen in diezelfde ruimte samen zijn. Dit betekent dan ook enerzijds dat het al dan niet goed geventileerd zijn van een ruimte niet de enige maatstaf voor de kans op besmetting is, maar anderzijds dat hoe beter er geventileerd wordt, hoe lager deze kans zal zijn.



Afbeelding 1: Visualisatie van lucht- en directe transmissieroutes van een virus zoals SARS-CoV-2¹

¹ Figuur (aangepast) uit Jimenez et al. 2021. Echoes through time: the historical origins of the droplet dogma and its role in the misidentification of airborne respiratory infection transmission (submitted)

Zoals aangegeven is alleen ventileren niet per se voldoende. Dat is maar een van de maatregelen om ons te beschermen tegen COVID-19 (zie afbeelding 2). Het toepassen van andere maatregelen, als aanvulling op ventileren, blijft noodzakelijk. Dat zijn bijvoorbeeld de veiligheidsafstand, mondkmaskers, het ontsmetten van oppervlakken, handenwassen, testen en vaccineren. Het afzonderlijke belang van de individuele transmissieroutes is verder niet gekwantificeerd.

In dit document richten we ons in eerste instantie op de kortetermijnacties. Op de lange termijn is het belangrijk dat een goede binnenluchtkwaliteit permanent gegarandeerd kan worden in alle ruimten. Onderdeel hiervan is een correcte en continue wijze van ventilatie van de ruimte, eventueel in combinatie met luchtreiniging.

Bescherm jezelf en anderen tegen COVID-19

Elke maatregel heeft beperkingen.

Meerdere maatregelen zijn nodig om de kans op besmetting zo klein mogelijk te maken.



Gebaseerd op 'The Swiss cheese model of accident causation', door James T. Reason, 1990.

Afbeelding 2: Maatregelen om jezelf en anderen te beschermen tegen COVID-19. - Bron: 4.02.2021 ventileren, verluchten en CO₂-meting ter preventie van covid-19 in publiek toegankelijke gebouwen – Vlaanderen is zorg.

Bij de keuze van de maatregelen is het belangrijk om de preventiehiërarchie te bewaken:

1. **Vermijd risico** | Organiseer bijeenkomsten en vergaderingen digitaal of kijk naar een mogelijkheid om dit buiten te doen.
2. **Bronbestrijding** | Geïnfecteerde personen moeten thuisblijven (in quarantaine)
3. **Technische maatregelen** | Open ramen en

deuren, zet ventilatiesystemen in werking. Ter aanvulling kan luchtreiniging toegepast worden.

4. **Administratieve maatregelen** | Hanteer een aangepaste bezettingsgraad.
5. **Informatievoorziening** | Geef actuele informatie aan medewerkers, vrijwilligers, deelnemers en klanten.

2. Ventilatie, CO₂ en COVID-19

- Ventilatie is, door reductie van de concentratie aan aerosolen, een doeltreffend middel om het risico op een coronabesmetting door aerosolen te verminderen.
- Via onze ademhaling komen er aerosolen vrij die virussen bevatten als iemand besmettelijk is. Tegelijkertijd ademen we CO₂ uit (metabolisme). De concentratie daarvan in de lucht kunnen we eenvoudig meten en wordt daarom vaak gebruikt als indicator voor het ventilatiedebiet in ruimten waar personen aanwezig zijn. Door het gebruik van mondmaskers kan de verspreiding van aerosolen in de ruimte beperkt worden bij een gelijkblijvende CO₂-productie. Ook is de productie van aerosolen niet volledig gelijk aan de CO₂-productie, onder andere doordat bij praten, schreeuwen, zingen een andere hoeveelheid aan aerosolen (potentiële virusdeeltjes) geproduceerd wordt. CO₂ is slechts de maat voor ventilatie en niet de maat voor het aantal aerosolen. Hoeveel geventileerd moet worden is afhankelijk van de aerosol-productie in een ruimte.
- Bij het uitademen komt er dus CO₂ vrij. Bij een rustige activiteit (metabolisme: 1,2 MET) is dit ongeveer 15 l/uur bij volwassenen. Bij een iets hogere activiteit (bijvoorbeeld 2 MET) is dit ongeveer 25 l/uur. Meer informatie over de impact van de activiteit en van de MET-waarde op de CO₂-productie wordt beschreven in [Bijlage 3](#).
- In een ruimte met een permanente bezetting en vaste activiteit is er een eenduidige relatie tussen het verschil in CO₂-concentratie binnen en buiten en het ventilatiedebiet. Tabel 1 geeft de resultaten weer voor enkele typen activiteiten. Een belangrijk uitgangspunt daarbij is dat er geen andere CO₂-bronnen in de ruimte zijn, zoals bijvoorbeeld in het geval van koken op gas.
- Voor het risico op virusoverdracht via aerosolen bestaat er geen drempelwaarde voor het ventilatiedebiet, de luchtverversingsgraad of de CO₂-concentratie waarmee het risico op besmetting uitgesloten kan worden. Over het algemeen is het uitgangspunt: hoe meer er geventileerd wordt, hoe kleiner de kans wordt.
- Naast het ventilatiedebiet zijn er nog andere factoren die een grote invloed hebben op de kans op virusoverdracht. Dat zijn met name: het aantal besmette personen in deze ruimte, de duur van de blootstelling, het stemgebruik (zingen, roepen) en de activiteit (gerelateerd aan de ademhaling).
- Om de besmettingskans te beperken door middel van ventilatie, moet er in de eerste plaats gezorgd worden voor voldoende ventilatie in alle ruimten en moet er voorrang gegeven worden aan het nemen van corrigerende maatregelen in ruimten waar de ventilatie aantoonbaar onvoldoende is.
- Een CO₂-concentratie die lager is dan 900 ppm wanneer een ruimte nominaal bezet is, wordt momenteel beschouwd als een maatschappelijk aanvaardbare waarde om de verspreiding van het virus via aerosolen beperkt te houden. Dit gaat uit van de nu bekende gegevens over de besmettelijkheid van het virus. Er zijn besmettelijkere varianten in omloop, waaronder recent de delta-variant, die wellicht om strengere eisen (lage concentraties) vraagt. De waarde van 900 ppm komt overeen met de klasse B eis uit het Programma van Eisen Gezonde Kantoren 2021². Een ventilatiedebiet van 33 m³/h/persoon kan in de praktijk gegarandeerd zorgen voor het niet of zelden overschrijden van 900 ppm voor een volwassene die een rustige activiteit uitoefent. Als er intensieve activiteiten worden uitgevoerd, moet het ventilatiedebiet verhoogd worden. In zulke situaties worden er namelijk meer CO₂ en aerosolen geproduceerd. Zoals al eerder aangegeven, is er niet per se een directe relatie tussen CO₂-productie (metabolisme) en de productie van aerosolen in verschillende situaties. Denk bijvoorbeeld aan een situatie waarbij gezongen wordt. In zulke gevallen is een hoger ventilatieniveau wenselijk op basis van de hogere aerosol (potentieel virus) productie. Voor deze specifieke situatie moet een expert ingeschakeld worden.
- In het algemeen geldt echter wel dat hoe lager de CO₂-concentratie is, hoe kleiner de kans op besmetting door aerosolen als een ruimte nominaal bezet is.

² <https://twvconnect.nl/thema/gezonde-gebouwen/documenten/2888-rapport-pve-gezonde-kantoren-update-2021>



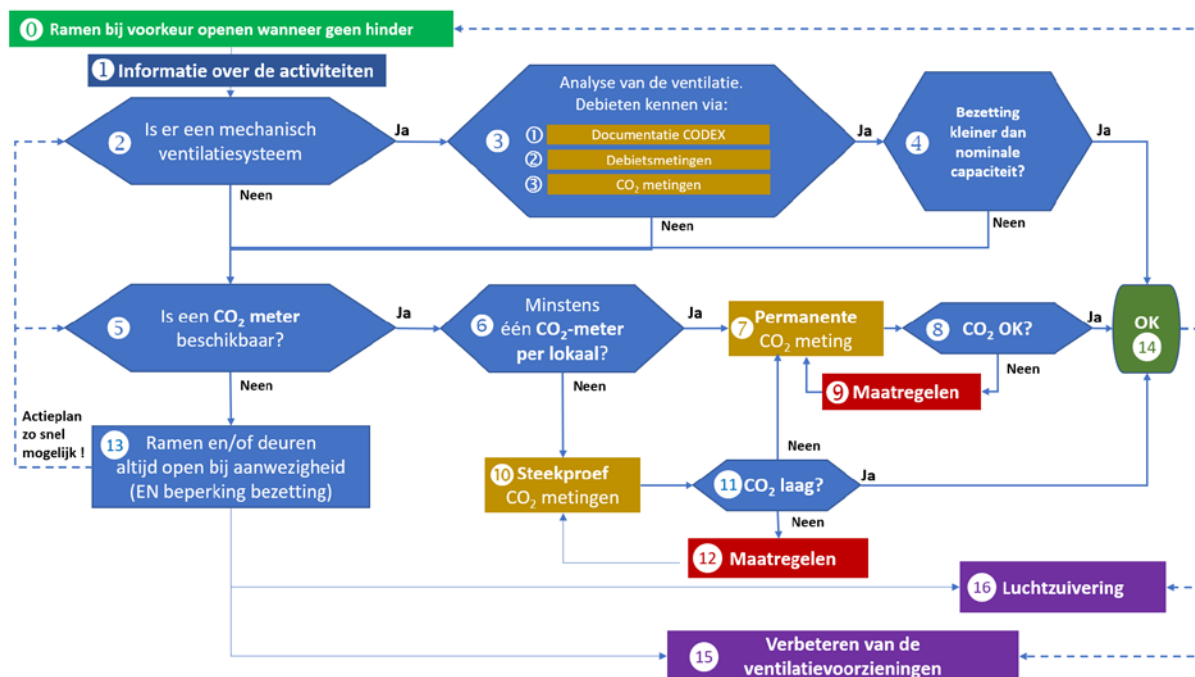
Tabel 1: Relatie tussen CO₂-concentratie en ventilatiedebieten bij verschillende typen activiteiten.

CO ₂ concentratie toename t.o.v. buiten- concentratie	Indien CO ₂ concentratie buiten 450 ppm	Ventilatiedebiet (m ³ /h/persoon) referentie: bureau werk	Ventilatiedebiet (m ³ /h/persoon) referentie: licht kantoor werk	Ventilatiedebiet (m ³ /h/persoon) referentie: licht fysiek werk	PvE Gezonde Kantoren klasse (kantoor werk)
		1,2 MET, CO ₂ - productie 15 l/uur	1,6 MET, CO ₂ - productie 20 l/uur	2 MET, CO ₂ - productie 25 l/uur	
200	650	75	100	125	
300	750	50	67	83	Klasse A PvE Gezonde Kantoren
450	900	33	44	56	Klasse B PvE Gezonde Kantoren
750	1200	20	27	33	Klasse C PvE Gezonde Kantoren
1050	1500	14	19	24	

3. Implementatieplan

Het implementatieplan zoals we dat in afbeelding 3 weergeven, focust op korte- en langetermijnmaatregelen die het toe moeten laten om een voldoende ventilatie te garanderen in het kader van de COVID-19-pandemie. Hierbij gaan we ervan uit dat één of meerdere van de volgende beperkingen van toepassing kunnen zijn:

1. Onvoldoende CO₂-meters beschikbaar
2. Lange procedures voor het bestellen en leveren van CO₂-meters
3. Geen mogelijkheid om op korte termijn mechanische ventilatiedebieten te meten of een degelijk ventilatiesysteem te installeren



Afbeelding 3: Algemeen schema van het implementatieplan.

3.0 STAP 0: Open ramen en/of buitendeuren waar mogelijk

Open waar dat kan ramen en/of buitendeuren.

Het openen van ramen of buitendeuren draagt bij aan meer ventilatie. Daarom is het advies om dit zoveel mogelijk te doen. Als deze openingen relatief groot zijn in verhouding tot de afmetingen van de ruimten, en zeker wanneer er een doorstroommogelijkheid is van raam naar deur (of vice versa), is er in principe maar een kleine kans op te hoge CO₂-concentraties.

Het openen van ramen en deuren is niet altijd mogelijk of vanzelfsprekend, bijvoorbeeld:

- in situaties met een veiligheidsrisico, zoals in bankgebouwen, musea en gevangenissen;

- in situaties waar de veiligheid van personen niet gegarandeerd kan worden, zoals psychiatrische zorginstellingen;
- in situaties met veel buitenlawaai, druk verkeer;
- bij slechte weersomstandigheden (regen, wind);
- in specifieke ruimten die actief verwarmd of gekoeld moeten worden waarbij het openen van ramen en/of buitendeuren het bereiken van het thermisch comfort bemoeilijken;
- wanneer men op basis van debiet- of CO₂-metingen (STAP 14) kan aantonen dat er voldoende ventilatie is zonder het openen van de ramen. In dat geval is het sluiten van de ramen aanvaardbaar.



Permanent of tijdelijk openen van ramen en buitendeuren?

Het beste resultaat wordt verkregen bij het permanent openen van ramen en/of buitendeuren. Indien dit niet mogelijk is, kan men proberen om de ramen en/of buitendeuren te openen tijdens perioden van niet-bezetting, bv. vóór aanvang van het gebruik van de ruimte, tijdens rust- of (speel-) pauzes. Dit wordt ook wel spuien genoemd. Op deze manier wordt de eventueel opgebouwde concentratie CO₂, maar ook aerosolen, tijdens gebruik extra omlaag gebracht ten opzichte van de aanwezige ventilatie. In dat geval is een CO₂-monitoring wenselijk (STAP 7 of STAP 10). Omdat hier dan sprake is van een niet-stationaire situatie levert [Bijlage 3](#) aanvullende informatie hoe hiermee om te gaan. Indien er geen ventilatiesysteem aanwezig is of een systeem met onvoldoende capaciteit, kunnen de CO₂-concentraties snel oplopen als de ramen gesloten zijn. Een ruimte zou niet gebruikt moeten worden indien er geen mogelijkheid tot ventileren is tijdens het gebruik. In ieder geval voldoet de ruimte dan niet aan de wettelijke eisen.

Eén of meerdere openingen?

Een grotere luchtverversing wordt meestal bereikt met meerdere openingen in verschillende buitengevels, zelfs als het om kleine openingen gaat. Indien een opening slechts mogelijk is in één gevel, kan een grotere opening noodzakelijk zijn. Het verdient ook de voorkeur om de openingen op verschillende hoogten te openen, voor zover dit mogelijk is.

Zijn open ramen en buitendeuren altijd nodig?

Bij een goed werkend ventilatiesysteem kan een voldoende lage CO₂-concentraties (900 ppm) bereikt worden en is het niet strikt noodzakelijk om de ramen en/of buitendeuren te openen. Maar zoals eerder vermeld, een lagere CO₂-concentratie in een bepaalde situatie veronderstelt een betere ventilatie bij een nominale bezetting en daarmee een kleinere kans op besmetting.

3.1 STAP 1: Informatie over de activiteiten

De hoeveelheid ventilatie die nodig is om de CO₂-concentratie onder een bepaalde actiewaarde te houden hangt ook af van de aard van de fysieke activiteit die in een ruimte wordt uitgeoefend. Naarmate personen in een ruimte meer inspannende activiteiten uitoefenen produceren ze ook meer CO₂ via de ademhaling en is er dus meer ventilatie nodig.

Als maat voor de fysieke inspanning wordt de MET-waarde gebruikt. Dit getal drukt de verhouding uit tussen het metabolisme bij een bepaalde activiteit en dat van een standaard persoon in rusttoestand. Voor een gegeven MET-waarde kan de CO₂-productie van een persoon bepaald worden, en hieruit het verse luchtdebiet dat nodig is om de CO₂-concentratie te beperken tot een bepaalde concentratie, bijvoorbeeld 900 ppm (of 450 ppm boven buitenluchtconcentratie), of 1200 ppm (of 750 ppm boven de buitenluchtconcentratie). Dit verse luchtdebiet wordt aangeduid met resp. V_{900} en V_{1200} (m³/h/persoon).

Tabel 2 geeft een overzicht van deze debieten als functie van typische activiteitsniveaus en bijhorende gebouwfuncties. Met de kennis van de ventilatiebehoefte voor een bepaalde functie kan men een betere inschatting maken van de maximaal toegestane bezetting in een ruimte met die functie gegeven de kennis over de ventilatievoorzieningen in die ruimte (STAP 3). De MET-waarden en de daaruit afgeleide debieten in de tabel zijn gemiddelde waarden over een groot aantal personen en over een langere tijd. De MET-waarde kan echter sterk variëren van persoon tot persoon als functie van leeftijd, geslacht, BMI, etc... Bij het uitoefenen van een activiteit varieert de MET-waarde ook in de tijd. Omwille van deze variatie blijft het dus belangrijk om op basis van CO₂-metingen te verifiëren of de doelstellingen bereikt zijn (STAP 6). In [Bijlage 3](#) is meer informatie over de verschillen in CO₂-productie te vinden. Het is goed er nogmaals op te wijzen dat de CO₂-productie niet zondermeer 1-op-1 correleert met de productie van aerosolen.

Tabel 2: Enkele voorbeelden van activiteitsniveaus met bijhorende MET-waarde, CO₂-productie per persoon en de minimaal vereiste hoeveelheid verse lucht per volwassen persoon voor een CO₂-concentratie van 900 ppm en 1200 ppm.

Algemene indeling ³	MET	CO ₂ -productie [l/h/persoon]	V ₉₀₀ [m ³ /h/persoon]	V ₁₂₀₀ [m ³ /h/persoon]	Voorbeelden
Rustig	1.2	15	33	20	Bureauwerk, relaxed staan, school ⁴
Laag	1.6	20	44	27	Licht kantoorwerk, school
Licht	2	25	56	33	Licht fysiek werk (tillen, koken)
Middelmatig	3	37	82	49	Wandelen (~5 km/uur), schoonmaken
Hoog	4	50	111	67	Zwaar machinewerk, 50 kg zakken verwerken, sporten

3.2 STAP 2: Zijn er mechanische ventilatiesystemen aanwezig?

Als er mechanische ventilatiesystemen aanwezig zijn met luchttoevoer en/of -afvoer in dezelfde ruimte, is het zinvol om het ventilatiedebiet te bepalen. Dit is de meest directe manier om de ventilatie in de ruimte te beoordelen. Bepaal bij voorkeur het ventilatiedebiet in de hoogste stand en eventueel ook de debieten in andere standen.

Op basis van deze debieten kan dan een **nominale bezettingsgraad**, bijvoorbeeld N_{900} , bepaald

worden (STAP 4). Dit is het aantal personen dat permanent in de ruimte mag verblijven zonder dat er een (belangrijke) overschrijding van de toelaatbare CO₂-concentratie (in het voorbeeld 900 ppm) zal plaatsvinden en zonder de noodzaak om CO₂-metingen uit te voeren op voorwaarde dat de ventilatie correct gebruikt wordt. Let op dat de nominale bezettingsgraad wellicht lager is dan de bezettingsgraad waarvoor de ruimte origineel is ontworpen.

3.3 STAP 3: Analyse van de mechanische ventilatie-installatie

Deze analyse kan men opdelen in twee activiteiten:

1. Begrijpen hoe de installatie is opgebouwd en de regeling functioneert
2. Bepalen van de ventilatiedebieten

Opbouw van de installatie en regeling

In sommige gevallen is de aanwezige mechanische ventilatie installatie zeer eenvoudig (bijvoorbeeld een ventilator in de muur met aan/uit schakelaar), in andere gevallen kan de installatie (zeer) complex zijn (bijvoorbeeld als onderdeel van een luchtbehandelingsinstallatie, een installatie met recirculatie, een installatie die dient voor meerdere ruimten, complexe regelsystemen, ...). Het is belangrijk dat men bekend is met de opbouw en de werking van de installatie, alvorens de debieten te bepalen.

Bepaling van de ventilatiedebieten

Een bepaling van het ventilatiedebiet kan op verschillende manieren plaatsvinden:

1. er is in het kader van wettelijke en/of arbeids-technische en/of hygiënische richtlijnen reeds geverifieerde informatie over het debiet van de mechanische ventilatie bekend (§ 3.3.1);
2. via het direct meten van het debiet met een debietmeter (§ 3.3.2) en
3. via een inschatting van het ventilatiedebiet op basis van (het verloop) van de CO₂-concentratie (§ 3.3.3).

BELANGRIJK: De debieten van de mechanische ventilatie moeten bepaald worden bij gesloten ramen en deuren, inclusief binnendeuren.

³ Losjes afgeleid van ASHRAE. 2021. ASHRAE Transactions Fundamentals Handbook (SI Edition). ASHRAE. Peachtree Corners, USA. en Parsons, K. 2003, Human thermal environments. 2nd edition. Taylor&Francis, New York, USA.

⁴ De ventilatiebehoefte in klaslokalen hangt sterk af van de aard van de lesactiviteit en de leeftijd van leerlingen of studenten; jongere leerlingen produceren minder CO₂ dan oudere.



3.3.1 STAP 3.1: Debiet verse lucht in kader van wettelijke en/of arbeidstechnische en/of hygiënische richtlijnen

In het kader van de richtlijnen met betrekking tot het welzijn van de gebruiker van een gebouw, is de aanwezigheid van een ventilatievoorziening voorgeschreven. Als er recent (orde grootte maximaal 1 jaar oud) geverifieerde informatie over de debieten die deze voorziening kan leveren beschikbaar is,

dan kan dit gebruikt worden. Dit debiet hoeft niet in lijn te zijn met de eis om bij de ontworpen bezetting op een CO₂-concentratie van 900 ppm uit te komen. Afhankelijk van de situatie zijn meerdere opties aanwezig om een gewenste situatie te bereiken (zie onder andere [Bijlage 4](#)).

3.3.2 STAP 3.2: Bepaling debiet verse lucht via rechtstreekse debietmetingen

Als er geen recente informatie over het mechanische ventilatiedebiet in de ruimte beschikbaar is, dan moet dit gemeten worden. De Q_{mech}-debieten moeten minstens bepaald worden in de maximale stand en bij voorkeur ook bij andere regelstanden. Het correct meten van mechanische ventilatie-

debieten vereist geschikte apparatuur en de benodigde nodige competentie. Schakel hier een specialist voor in. Normaal gesproken is dat een bouwtechnisch of installatietechnisch adviesbureau. Typisch zal een debietmeting uitgevoerd worden aan het rooster en niet in een luchtkanaal⁵.

3.3.3 STAP 3.3: Raming van het debiet aan verse lucht op basis van gemeten CO₂-concentraties

Als het niet mogelijk is om het mechanische ventilatiedebiet te meten, bijvoorbeeld vanwege de bereikbaarheid van roosters, en/of indien het niet evident is om de debieten te meten (grote ruimten), kan er op basis van de CO₂-concentratie in een stationaire situatie een inschatting gemaakt worden van het mechanische ventilatiedebiet (Q_{mech}). Om enkel het mechanische ventilatiedebiet te bepalen, is het belangrijk dat de ramen en deuren in dat geval gesloten zijn tijdens de meetperiode.

Als de CO₂-concentratie min of meer gestabiliseerd is bij een bepaalde (bekende) bezetting en activiteit, kan het mechanische-ventilatiedebiet ingeschat worden: $Q_{mech} = CO_2\text{-productie [ml/h]} \cdot N [-] / (CO_{2,binnen} [ppm] - CO_{2,buiten} [ppm]) [m^3/h]$, waarbij N het aantal aanwezigen is.

Tabel 3 geeft voor het gemeten CO₂-verschil tussen binnen en buiten het overeenkomstige ventilatiedebiet per volwassen persoon (Q_{mech}/N [m³/h/persoon]), uitgaande van de aangegeven CO₂-productie. Het totale mechanische ventilatiedebiet van de ruimte is dan gelijk aan het aantal aanwezigen N tijdens de meting, vermenigvuldigd met de waarde per persoon uit tabel 3.

Tabel 3: Relatie tussen CO₂-toename en het ventilatiedebiet per uur voor enkele activiteitsniveaus.

CO _{2,binnen} - CO _{2,buiten} [ppm]	Debiet [m ³ /h/persoon]		
	1,2 MET	1,6 MET	2 MET
250	60	80	100
350	43	57	71
450	33	44	56
550	27	36	45
650	23	31	38
750	20	27	33
850	18	24	29
950	16	21	26
1050	14	19	24
1150	13	17	22
1250	12	16	20
1350	11	15	19
1450	10	14	17
1550	10	13	16

⁵ <https://open.issn.nl/publicatie/isso-publicatie-31-meetpunten-en-meetmethoden-voor-klimaatinstallaties/2014>

Belangrijke aandachtspunten en randvoorwaarden:

1. Een voldoende precieze Q_{mech} -debietbepaling is alleen mogelijk indien het verschil in CO_2 -concentratie (binnen – buiten) groter is dan 300 ppm. Bij voorkeur dient de achtergrondconcentratie met dezelfde meter te worden bepaald.
2. Het is nodig om het verloop van de CO_2 -concentratie gedurende enige tijd te monitoren. Op die manier kan worden vastgesteld of er daadwerkelijk een stationaire situatie bereikt is. Indien er geen stationaire situatie bereikt wordt, kan deze methode NIET toegepast worden. Dit veronderstelt min of meer dat, in de ruimte waarin wordt gemeten, de gebruikers van die ruimte deze niet (tijdelijk) verlaten en tijdens de meting continu op een vergelijkbaar activiteitsniveau bezig zijn.
3. Het is belangrijk dat de analyse uitgevoerd wordt door een persoon met de benodigde ervaring
4. Als er een keuze is tussen een rechtstreekse debietmeting (STAP 3.2) of een debietbepaling op basis van een CO_2 -meting (STAP 3.3), dan heeft de rechtstreekse debietmeting de voorkeur.

Voorbeeld: debietbepaling op basis van CO_2 -metingen

Als men in een zaal met mechanische ventilatie en met gesloten ramen en deuren en met 10 aanwezigen ($N = 10$) met een rustige activiteit (1,2 MET, CO_2 -productie van 15 l/h) een CO_2 -concentratie tussen binnen en buiten van 450 ppm meet, is er een ventilatiedebiet aanwezig van ongeveer 33 m³/h per persoon.

Het totale mechanische ventilatiedebiet

Q_{mech} bedraagt dan:

- volgens tabel 3: $Q_{\text{mech}} = 10 * 33 = 330 \text{ m}^3/\text{h}$
- volgens formule: $Q_{\text{mech}} = 15.000 * 10/450 = 333 \text{ m}^3/\text{h}$.

Het is ook mogelijk om de debieten te bepalen op basis van de afname en/of toename van de CO_2 -concentratie. Dit is een meer complexe methode die uitgevoerd moet worden door een expert.

3.4 STAP 4: Bepaling van de nominaal toegelaten bezetting op basis van het ventilatiedebiet

In stap 3 wordt het mechanische-ventilatiedebiet Q_{mech} bepaald in m³/h. Gezien het doel om de CO_2 -concentratie te beperken tot 900 ppm (of een toename van 450 ppm ten opzichte van de buitenconcentratie die gesteld is op 450 ppm), komt dit voor rustige activiteiten overeen met een minimaal noodzakelijk ventilatiedebiet van 33 m³/h per persoon, voor een lage of lichte activiteit respectievelijk 44 of 56 m³/h per persoon. (zie tabel 3 blz 13). Gezien het streefdoel van 900 ppm, wordt dit ook als V_{900} aangeduid (zie tabel 2).

De nominale bezetting N_{900} (die permanent is toegestaan) voor rustige activiteiten bedraagt dan $N_{900} = Q_{\text{mech}} / V_{900}$.

- Als de effectieve bezetting N_{eff} niet groter is dan N_{900} , is er een zeer grote kans dat de CO_2 -concentratie niet boven de 900 ppm zal komen en kan men de situatie als voldoende beschouwen (STAP 14).
- Als de effectieve bezetting N_{eff} groter is dan N_{900} , zal 900 ppm mogelijk wel

overschreden worden en dient men over te gaan naar STAP 5.

- Wanneer CO_2 -metingen niet mogelijk zijn, is een hogere bezetting alleen toegestaan op voorwaarde dat de ramen en deuren geopend kunnen worden en deze altijd open staan (STAP 13).

Wanneer bij de oorspronkelijke bepaling en het ontwerp van het mechanische ventilatiedebiet, gegeven een veronderstelde bezettingsgraad, is uitgegaan van een hogere CO_2 -concentratie, bijvoorbeeld 1200 ppm, dan zal de nominale bezettingsgraad (N) lager zijn wanneer het ventilatiedebiet uit het oorspronkelijke ontwerp als uitgangspunt wordt genomen. Dit laat zich relatief eenvoudig omrekenen. Uitgaande van een nominale bezetting bepaald op basis van 1200 ppm CO_2 (N_{1200}), kan de gecorrigeerde nominale bezetting bij 900 ppm CO_2 (N_{900}) worden berekend volgens:

$$N_{900} = (900-450)/(1200-450) * N_{1200} = 0,6 * N_{1200}$$





Voorbeeld: kapperszaak

Wanneer werkzaamheden in een kapsalon worden aangemerkt als een lichte activiteit, is V_{900} gelijk aan 44 m³/h per persoon. Indien er een mechanische ventilatie is met een Q_{mech} -debiet = 100 m³/h, is $N_{900} = 100/44 = 2.3$ personen. Dit betekent dat er bij de kapper permanent 1 klant aanwezig kan zijn zonder dat er een te hoge CO₂-concentratie bereikt wordt.

3.5 STAP 5: Is er een CO₂-meter beschikbaar?

Wat de keuze en het gebruik van CO₂-meters betreft, verwijzen we naar de bijlage 'Keuze en gebruik van CO₂-meters in de context van COVID-19' (Bijlage 5).

Als er een CO₂-meter beschikbaar is, kan er direct gecontroleerd worden of een concentratie van 900 ppm niet overschreden wordt. Meters kennen echter altijd een meetonauwkeurigheid. Bij een gemiddelde waarde van 900 ppm zal bij 10% onnauwkeurigheid,

de werkelijke waarde tussen 810 en 990 ppm liggen. Dit betekent dat bij de keuze voor dit gemiddelde, afhankelijk van het instrument, een iets lichtere eis, dan wel een iets zwaardere eis geldt.

Als men over een CO₂-meter beschikt, kan men controleren of 900 ppm (of 450 ppm boven buitenluchtconcentratie) niet overschreden wordt (STAP 6). Als er geen CO₂-meter beschikbaar is, moet men over gaan naar STAP 13.

3.6 STAP 6: Is er minstens één CO₂-meter per ruimte?

Het is ideaal als er in elke ruimte minstens één CO₂-meter zichtbaar aanwezig is. Omwille van diverse redenen (zoals budget, levertermijnen en marktaanbod) kan dit niet altijd gerealiseerd worden.

- Volg STAP 7 als er voor iedere ruimte wel een CO₂-meter beschikbaar is.
- Volg STAP 10 als er niet voor iedere ruimte een CO₂-meter beschikbaar is.

3.7 STAP 7: Uitvoering van permanente CO₂-metingen

Als de CO₂-concentratie in een ruimte permanent gemeten wordt **EN** als de gemeten concentratie ook regelmatig afgelezen wordt, kan er een goede inschatting gemaakt worden of er voldoende ventilatie is. Dit kan dan zowel voor mechanische-ventilatiesystemen als ook voor natuurlijke ventilatie. Het is belangrijk daarbij een goede positie van de meter

te kiezen, die relevante waardes oplevert. Raadpleeg hiervoor de bijlage (Bijlage 5) over de keuze en het gebruik van CO₂-meters. Voor het bepalen van de ventilatiehoeveelheid is aanvullend dan nog wel informatie over het aantal mensen, de activiteiten die die mensen uitvoeren en hun leeftijd noodzakelijk om de relevante CO₂-productie te bepalen (zie STAP 3).

3.8 STAP 8: Is de CO₂-concentratie zelden hoger dan 900 ppm?

JA:

- Dan is er in principe voldoende ventilatie voor de aanwezige bezetting en zijn er geen bijkomende maatregelen nodig STAP 14
- Aangezien de CO₂-concentratie beïnvloed wordt door de bezetting, de weersomstandigheden en het gebruik van ramen en deuren is het noodzakelijk dat de concentratie regelmatig

gecontroleerd wordt. Mochten er soms kritische situaties ontstaan kan van de maatregelen onder STAP 9 gebruik worden gemaakt.

CO₂-concentratie wel vaak hoger dan 900 ppm?

- Dan is het noodzakelijk om maatregelen te nemen STAP 9.

3.9 STAP 9: Maatregelen bij permanente CO₂-metingen waarbij soms hoge CO₂-concentraties vastgesteld worden

Als de CO₂-concentratie regelmatig hoger is dan 900 ppm (meer dan 5% van de tijd), zijn er maatregelen nodig. Type en omvang van de maatregelen kunnen variëren afhankelijk van de ventilatiecontext en het niveau van de CO₂-concentratie. Houd rekening met de volgende aspecten:

- Als er een werkende mechanische ventilatie aanwezig is met een bekend debiet (zie STAP 3) en de installatie correct functioneert, zijn te hoge concentraties in principe te wijten aan het feit dat de effectieve bezetting N_{eff} groter is dan de nominale bezetting N_{900} . Bij te hoge concentraties moet de bezetting beperkt worden tot N_{900} of minder en/of moet het ventilatiedebiet verhoogd worden. Dat laatste kan door ramen en/of deuren te openen. Zodra de CO₂-concentratie lager dan of gelijk is aan 900 ppm, kan een bezetting N_{900} aangehouden worden. Te hoge CO₂-concentraties

kunnen ook het gevolg zijn van een niet-correct gebruik van de ventilatie-installatie of een gebrekkig onderhoud.

- Als er geen mechanische ventilatie aanwezig is, is er in principe geen sprake van een nominale bezetting en zijn de mogelijke maatregelen: het openen van ramen en deuren, het verlagen van de bezetting of luchtreiniging (STAP 16). Luchtreiniging is hierbij een specifiek geval, omdat dit de CO₂-concentratie niet hoeft te beïnvloeden terwijl het wel de aerosolconcentratie kan reduceren. In dat geval, redenerend vanuit de besmettingskans, zou een hogere CO₂-concentratie toegestaan zijn. In alle gevallen geldt dat er een controle moet zijn of de genomen maatregelen al dan niet voldoende zijn. Aanvullend moeten een voorstel en een planning uitgewerkt worden om de ventilatievoorzieningen te verbeteren (STAP 15).

3.10 STAP 10: Steekproefsgewijze CO₂-metingen

Niet-continue monitoring van de CO₂-concentratie kan een eerste indicatie geven over de luchtkwaliteit en de ventilatievoorzieningen en of er mogelijk kritische situaties zijn. Deze aanpak is nuttig als niet in alle ruimten CO₂-meters ingezet kunnen worden (vanwege lange leveringstermijnen of beperkte budgetten).

Wat de steekproefsgewijze aanpak betreft, zijn er diverse mogelijkheden:

- a. **Regelmatig een relatief korte meting** uitvoeren in de verschillende ruimten (bij voorkeur op het einde van een bezettingsperiode). Het aantal mensen, de activiteit die mensen uitvoeren en hun leefstijl zijn bepalend om

de ventilatiehoeveelheid te bepalen.

- b. **Langere metingen per ruimte uitvoeren** (1 dag, 1 week) waarbij er telkens van ruimte veranderd wordt. Hiervoor wordt bij voorkeur een CO₂-meter gebruikt die een (grafisch) overzicht kan geven van het verloop van de CO₂-concentratie over de gemonitorde periode.
- c. **Een combinatie van korte en langere meetperioden**, waarbij de korte meetperioden het toelaten om risicosituaties in kaart te brengen en om de impact van bepaalde maatregelen snel te beoordelen, en de langere meetperioden een meer globaal beeld geven van de ventilatie in een ruimte.





3.11 STAP 11: Zijn de steekproefsgewijze metingen van de CO₂-concentraties voldoende laag?

Er kunnen zich twee situaties voordoen:

1. CO₂-concentraties zijn globaal laag tot zeer laag (500 - 700 ppm)

Als de gebruiksomstandigheden representatief zijn voor een maximale bezetting, is de kans op te hoge CO₂-concentraties relatief klein (STAP 14).

Het blijft belangrijk om de steekproefsgewijze CO₂-metingen met enige regelmaat te herhalen. De frequentie van deze steekproefsgewijze CO₂-metingen hangt af van de weersomstandigheden, de bezettingsgraad, het gebruik van de voorzieningen (open ramen en/of deuren), en vooral waarin hier veranderingen in optreden.

2. Als de CO₂-concentraties regelmatig in de buurt liggen van 800 - 900 ppm of meer

Als er geen permanente mechanische ventilatie is, is de kans reëel dat (al dan niet op regelmatige basis) de CO₂-concentratie hoger is dan 900 ppm. In dat geval is het nodig om over te schakelen op continue CO₂-metingen zodat ongewenste situaties continu kunnen worden geïdentificeerd – zie STAP 7.

Het is eveneens noodzakelijk om maatregelen te nemen zodat de concentratie onder het gewenste niveau blijft, bij de gegeven (nominale) bezetting en activiteit. STAP 12.

3.12 STAP 12: Maatregelen als er te hoge CO₂-waarden zijn bij steekproefsgewijze metingen

De te nemen maatregelen zijn in grote mate vergelijkbaar met de maatregelen bij permanente CO₂-metingen en te hoge CO₂-waarden (zie STAP 9).

Naarmate de steekproefsgewijze CO₂-waarden hoger zijn, hoe belangrijker een continue CO₂-meting wordt. Als dit praktisch niet mogelijk is, moeten de steekproefsgewijze metingen met een voldoende hoge

frequentie uitgevoerd worden om probleemsituaties snel te identificeren.

Indien er een permanente mechanische ventilatie aanwezig is, hoeven er geen maatregelen genomen te worden zolang de CO₂-concentratie niet hoger is dan 900 ppm..

3.13 STAP 13: Ramen en deuren altijd openhouden

Als er geen gegevens beschikbaar zijn over de ventilatie van de ruimte (geen debietmetingen bij mechanische ventilatie en geen meting van de CO₂-concentraties), zijn de volgende stappen van cruciaal belang:

- Maximaal inzetten op het openen van ramen en/of deuren.
- Als er mechanische ventilatie beschikbaar is, deze op de maximale stand zetten.
- Het beperken van de bezetting, waarbij de volgende vuistregel gehanteerd kan worden (bij een rustige activiteit; 1.2 MET):
 - maximaal 4 personen per m² netto-opening van ramen
 - maximaal 7 personen per m² netto-opening van buitendeuren
- Voor ruimtes waarin sprake is van een ander activiteitsniveau moet de bezetting beperkt

worden tot:

- maximaal $160/V_{900}$ personen per m² netto-opening van ramen
- maximaal $260/V_{900}$ personen per m² netto-opening van buitendeuren

Waardes voor V_{900} zijn te vinden in Tabel 2. De onderbouwing van deze regel, de berekening van de netto-oppervlakte alsook een meer verfijnde berekening, staat beschreven in [Bijlage 6](#).

- Op korte termijn CO₂-metingen uitvoeren (STAP 5) of, in het geval van mechanische ventilatie, debietmetingen (STAP 2).
- Het verbeteren van de ventilatie-installatie (STAP 15) en het eventueel toepassen van luchtreiniging als de voorzieningen ontoereikend zijn voor het gebruik van de ruimte (STAP 16).

In ruimtes met grote afmetingen (sporthallen, auditoria,...) zal het vaak in theorie langer duren voordat de CO₂- en aerosol-concentraties toenemen tot een bepaalde grenswaarde. Hierdoor zou een dergelijke ruimte, ook al is geen informatie over de ventilatie van de ruimte beschikbaar, gedurende een bepaalde tijd kunnen blijven voldoen aan een gestelde eis voor de CO₂-concentratie. Echter, de daadwerkelijke ventilatie-efficiency in zo een grotere ruimte is meestal niet eenvoudig vast te stellen. Er mag vanuit gegaan worden dat er geen sprake is van een directe volledige menging. De voorkeur wordt derhalve toch gegeven om de ventilatie te optimaliseren waar mogelijk (ramen, deuren open) en de CO₂-concentratie op meerdere locaties in de ruimte te volgen wanneer de ruimte gebruikt wordt. Ook geldt dat na gebruik er voldoende tijd moet zijn om de concentratie weer naar een achtergrondniveau te doen laten afnemen.

Met bovenstaande voorbehoud in acht nemend kan berekend worden wat de maximale bezetting mag zijn, uitgaande van geen ventilatie, maar wel een perfecte menging van de geproduceerde CO₂ door de bezoekers van een grote ruimte.

Deze bezetting moet dan beperkt blijven tot maximaal $\text{Vol}_{\text{ruimte}} / (V_{900} \cdot t_{\text{activiteit}})$ personen. Hierbij is $\text{Vol}_{\text{ruimte}}$ het volume van de ruimte [m³], V_{900} de ventilatiebehoefte per persoon [m³/h], en $t_{\text{activiteit}}$ de duur van de activiteit [h]. Er wordt verondersteld dat bij het begin van de activiteit de CO₂-concentratie gelijk is aan die van de buitenomgeving.

Voorbeeld:

in een theater met een volume van 3000 m³ wordt een voorstelling van 1.5 uur gehouden. De ventilatiebehoefte V_{900} is 33 m³/h (rustige activiteit; zie STAP 1). Bijgevolg kunnen maximaal $3000 / (33 \cdot 1.5)$ of 60 personen aan de voorstelling deelnemen danwel deze bijwonen, ook al is er geen informatie over de ventilatie van deze zaal bekend. Let op dat in alle gevallen sterk wordt aangeraden om desondanks alle mogelijkheden om te ventileren via ramen en/of deuren in te zetten.

3.14 STAP 14: Acties als de situatie voldoende is

Wanneer er op basis van de debietmeting/-bepaling (STAP 4) of CO₂-metingen (STAP 8 en STAP 11) een behoorlijk grote zekerheid is dat de ventilatie voldoende is voor de (gehanteerde) bezetting, is het waarschijnlijk dat de CO₂-streefwaarde zelden overschreden zal worden.

De volgende aandachtspunten blijven hierbij belangrijk:

- Bij mechanische ventilatie is het belangrijk dat de installatie tijdens de bezetting van de ruimte op dezelfde manier functioneert als tijdens de meting van het mechanische-ventilatie-debiet.
- Daarnaast is het noodzakelijk dat de installatie al enige tijd vóór de aanvang van de activiteiten in werking is, en dat deze na het beëindigen van de activiteiten ook nog een tijdje functioneert totdat de CO₂-concentraties voldoende laag zijn. Onder normale omstandigheden kan een tijdsduur gehanteerd worden die nodig is om tenminste drie keer het volledige volume van de ruimte te doorspoelen. In formule: $t_{\text{spoel}} [\text{h}] = 3 \times \text{Vol}_{\text{ruimte}} [\text{m}^3] / Q_{\text{mech}} [\text{m}^3/\text{h}]$.

Als de activiteiten in de ruimte met geopende ramen uitgevoerd kunnen worden zonder al te veel hinder (STAP 1), is dit een goede manier om in extra ventilatie te voorzien om de CO₂-concentraties verder te verlagen.

Wanneer de CO₂-richtwaarden enkel bereikt kunnen worden met geopende ramen of deuren, dan is het wenselijk om een actieplan uit werken om de ventilatie te verbeteren (STAP 15).

Een situatie is in orde als:

- de volgende maatregelen genomen worden:
 - Naast een voldoende mechanische ventilatie wordt er maximaal voorzien in natuurlijke ventilatie door gebruik van de beschikbare mogelijkheden (het openen van ramen en deuren).
 - De systemen worden onderhouden en afgesteld zodat het debiet gemaximaliseerd wordt en er een aanvoer is van 100 % verse buitenlucht. De ventilatiesystemen zorgen daarnaast voor voldoende ventilatie voorafgaand en na het gebruik van de ruimte.





- er minimaal de volgende resultaten aangetoond kunnen worden:
 - ofwel ventilatie kan ervoor zorgen dat de CO₂-concentratie doorgaans (> 95 % van de tijd) onder 900 ppm of 450 ppm boven de buitenluchtconcentratie blijft. Deze situatie wordt eveneens als in orde beschouwd als voor elke aanwezige persoon in iedere ruimte 33 m³/h verse buitenlucht aangevoerd kan worden, uitgaande van een rustige activiteit (1,2 MET) in de ruimte. Voor andere type activiteiten zijn waarden voor het debiet per persoon te vinden in Tabel 2 (STAP 1) en Tabel 3 (STAP 3.3).
 - ofwel er worden bijkomende (tijdelijke) maatregelen (zoals specifieke mondkmaskers, luchtreiniging) genomen op basis van een risicoanalyse om ervoor te zorgen dat de dosis ingeademde aerosolen in de ruimte niet hoger ligt dan het geval bij toepassing van ventilatie conform de specificaties van dit

document. Let op dat in dat geval er alsnog voor voldoende ventilatie gezorgd moet worden zodat de CO₂-concentratie niet stijgt boven de 1200 ppm, of 750 ppm boven de buitenluchtconcentratie (450 ppm). Deze situatie, bij toepassing van de gehanteerde bijkomende maatregelen, wordt eveneens als in orde beschouwd als elke aanwezige persoon, bij een rustige activiteit (1,2 MET), in iedere ruimte ten minste 20 m³/h verse buitenlucht aangevoerd kan worden, uitgaande van een rustige activiteit in de ruimte.

In alle gevallen geldt dat afhankelijk van de geaccepteerde besmettingskans en/of de besmettelijkheid van een bepaald virus (variant), bijvoorbeeld de deltavariant voor SARS-CoV-2, andere waarden voor de CO₂-concentratie wenselijk kunnen zijn indien ventilatie onderdeel is van de strategie om de aerosol-concentratie te verlagen.

3.15 STAP 15: Actieplan voor het verbeteren van de ventilatievoorzieningen op langere termijn

Als er in een ruimte onvoldoende of geen degelijke ventilatievoorziening aanwezig is en er alleen aan de CO₂-richtwaarden kan worden voldaan door het openen van ramen of deuren, is het wenselijk om een actieplan uit te werken. Hierin moet beschreven worden welke ventilatievoorzieningen op termijn in een ruimte worden opgenomen waarmee de ventilatie wel op orde komt, zonder dat het nodig is om de ramen en/of deuren te openen of de bezetting te verminderen. Voor de korte termijn is een ventilatiestrategie nodig waarbij men via het openen van ramen en deuren zorgt voor een passende ventilatie (zie [Bijlage 7](#)).

Waarschijnlijk zullen ruimtes daarmee ook (weer) voldoen aan de wettelijke eisen of andere geldende richtlijnen die aan het ontwerp ten grondslag hebben gelegen. Aanvullend geldt dat een degelijke ventilatie ook kan zorgen voor (i) minder besmettingen bij griep of andere virussen, (ii) lagere prevalentie van chronische ziekten en minder klachten bij chronisch zieken en (iii) ze kan eveneens een positieve invloed hebben op de prestaties van personen die aanwezig zijn in de ruimte.

Om de kans op een besmetting met COVID-19 in afgesloten ruimtes te verminderen, moet een hiërarchie van maatregelen in acht genomen worden:

- Ventileer zo veel mogelijk, waarbij de luchtrecirculatie op gebouwniveau volledig wordt uitgezet en 100 % verse lucht wordt aangevoerd.
- Als het niet mogelijk is om het gebruik van gerecirculeerde lucht (vanuit de centrale installatie, of door overstort vanuit andere ruimtes) naar de ruimte te voorkomen, moet de toevoer van verse lucht maximaal verhoogd worden en de gerecirculeerde lucht bij voorkeur aanvullend worden gefilterd.
- Als het verhogen van het debiet van de verse lucht niet voldoende is, moet de technische haalbaarheid van het installeren van een centraal filtratiesysteem worden onderzocht. Dit heeft specifiek effect op de concentratie aerosolen. De eis aan de CO₂-concentratie kan dan iets worden opgehoogd (in het algemeen maximaal 1200 ppm).
- Zorg bij renovatie of de plaatsing van een nieuw systeem voor een gecentraliseerde luchtfiltratie.

3.16 STAP 16: Luchtreiniging

Het gebruik van luchtreiniging, als aanvulling op de ventilatie, biedt mogelijkheden om de concentratie aan potentieel besmettelijke aerosolen, in het kader van SARS-CoV-2, maar ook als het gaat om blootstelling aan andere luchtwegvirussen, verder te verlagen. Luchtreiniging kan toegepast worden wanneer, afhankelijk van de geaccepteerde besmettingskans, het niet mogelijk is om praktisch gezien dit enkel via ventilatie volledig te realiseren. In dit geval kan er dus sprake zijn van een situatie waarbij de ventilatie dusdanig hoog is dat de CO₂-concentratie lager is dan 900 ppm. Bij de besmettingskans wordt gekeken naar de aerosol-concentratie, niet naar de CO₂-concentratie. Bij de luchtreiniging worden de potentieel besmettelijke aerosolen uit de lucht verwijderd of geïnactiveerd. Dit heeft geen effect op de CO₂-concentratie.

Er zijn verschillende technieken die ingezet kunnen worden om de lucht te reinigen. Inmiddels is er ook een relatief groot aanbod van leveranciers die apparaten voor luchtreiniging aanbieden. Het lijkt in alle gevallen verstandig om in overleg met een expert de keuze voor een bepaalde techniek en/of een bepaald apparaat te bepalen. Luchtreiniging kan zowel centraal gebeuren in het HVAC-systeem als via mobiele luchtreinigigers.

De werking van luchtreiniging

Er bestaan twee types luchtreiniging:

- **Filtratie:** afvang van potentieel virus bevattende deeltjes/aerosolen (bv. HEPA-filter, elektrostatische filters [ESP])
- **Inactivatie:** beschadiging van alle of specifieke micro-organismen in een luchtstroom, zodat deze zich niet meer kunnen vermeerderen of verspreiden (bv. UV-C, ...)

Luchtreinigigers garanderen niet het behalen van een algemeen goede binnenluchtkwaliteit en zijn dus geen gelijkwaardig alternatief voor voldoende ventilatie in algemene zin. Ventilatie zorgt namelijk voor de afvoer van alle verontreinigingen in de binnenlucht (gassen, fijnstof, micro-organismen) naar buiten toe alsook voor de aanvoer van 'verse' buitenlucht, waardoor de concentraties van deze verontreinigingen zullen dalen. Luchtzuivering daarentegen richt zich op het afvangen, filtratie of inactivatie van één of meerdere specifieke verontreinigingen (bv. inactivatie van micro-organismen) en laat andere verontreinigingen ongemoeid. Zo hebben

sommige luchtreinigingstechnieken, relevant voor SARS-CoV-2, doorgaans geen invloed op gasvormige verontreinigingen. Het CO₂-gehalte in de ruimte zal in dat geval dan ook niet dalen door gebruik te maken van luchtreiniging (ongeacht de techniek waarop deze gebaseerd is). Daardoor ontstaat er een andere relatie tussen de CO₂-concentratie en de besmettingskans wanneer er geen luchtreiniging is. In dat geval zal er een equivalente CO₂-grens moeten worden aangehouden (zie voor meer informatie hierover [Bijlage 8](#)).

Wanneer men kiest voor luchtreiniging, dan is het nuttig om in kaart te brengen welke verontreinigingen er allemaal in de binnenlucht aanwezig zijn of aanwezig kunnen zijn zodat gekozen kan worden voor een oplossing die deze specifieke verontreinigingen zo veel als mogelijk verwijderd. Let wel: het gaat om apparaten die rechtstreeks de binnenlucht reinigen. Apparaten en filters die enkel de verse buitenlucht reinigen (als onderdeel van een mechanisch ventilatiesysteem) zijn in deze context niet relevant. Er wordt verondersteld dat de verse buitenlucht virusvrij is.

Het gebruik van luchtreiniging

Er zijn verschillende typen apparaten beschikbaar die op een van de genoemde principes is gebaseerd. Bij elektrostatische filters (ESP) kunnen ongewenste nevenproducten ontstaan zoals O₃ of OH. Het is belangrijk om bij de keuze ook hier op te letten. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor de eventuele geluid-productie als het om mobiele apparaten gaat. Wees ervan bewust dat in de ruimte opgestelde systemen geluid produceren. Dit is hoofdzakelijk afkomstig van de in het systeem aanwezige ventilator(en) en varieert dus ook met de debietstand. Daarnaast moet er onderhoud aan worden gepleegd. De werking wordt negatief beïnvloed als bijvoorbeeld filters niet tijdig vervangen worden. Houdt er in dat geval overigens rekening mee dat filters potentieel verontreinigd kunnen zijn en gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen bij het onderhoud.

Om de effectiviteit van een luchtreinigingsapparaat te optimaliseren is een goede positionering van het apparaat belangrijk:

- Niet in de buurt van buitendeuren en openstaande ramen
- Niet in de hoek van een ruimte, bij voorkeur zo centraal mogelijk





- Voldoende vrije ruimte rond de aanzuigzijde van het toestel
- In functie van de vorm van de ruimte, beter twee kleine in plaats van een grote met eenzelfde totale CADR
- De aangegeven CADR-waarde in de technische documentatie geldt over het algemeen enkel in de hoogste stand met het hoogste debiet. Indien andere standen gebruikt worden, moet men de CADR-waarde van deze stand kennen.
- Volg de richtlijnen van de fabrikant

Het equivalente ventilatiedebiet voor luchtreiniging (CADR)

Voor elk apparaat geeft de Clean Air Delivery Rate (CADR) voor fijn stof (PM 2.5) het equivalente ventilatiedebiet aan waarin met het betreffende apparaat kan worden voorzien. De CADR dient opgegeven te zijn in de technische documentatie van het toestel en wordt uitgedrukt in m³/h. Het totale nominale debiet Q_{tot} voor een ruimte is dan gelijk aan $Q_{\text{tot}} = Q_{\text{mech}} + \text{CADR}$.

Het toepassen van luchtreiniging leidt tot een verlaging van de aerosol- of fijnstofconcentraties, maar vertaalt zich niet in een verlaging van de CO₂ concentratie. Het ventilatiedebiet (Q_{mech}) moet dan ook minimaal voldoende zijn om een CO₂ concentratie in de ruimte van maximaal 1200 ppm te garanderen, maar bij voorkeur lager.

Voorbeeld:

1) Debiet van 33 m³/h/persoon buitenlucht voor standaard lichte activiteit (1,2 MET) betekent een verhoging van CO₂ concentratie met 450 ppm (900 ppm absoluut).

2) De combinatie van 20 m³/h/persoon buitenlucht (bij lichte activiteit) met een luchtreiniging overeenstemmend met een CADR van 13 m³/h/persoon leidt tot een equivalent debiet aan buitenlucht van 33 m³/h/persoon. De toename van de CO₂-concentratie bedraagt nu echter 750 ppm (1200 ppm absoluut).

Voor beide voorbeelden geldt dat de luchtreiniging voor wat betreft de aerosolen gelijk is, maar de CO₂-concentratie wordt wel beïnvloed. Wanneer luchtreiniging wordt toegepast in combinatie met CO₂ monitoring, kan derhalve een gecorrigeerde CO₂ limiet gehanteerd worden. Het blijft echter in alle gevallen belangrijk dat deze waarde onder de 1200 ppm blijft.

Bijlage 1: Checklist

Stap	Omschrijving	Vul in of omcirkel	Opmerkingen	Volgende stap
0.	Zorg voor een maximale natuurlijke ventilatie door ramen en deuren te openen.		Houd ook rekening met risico's in verband met (brand)veiligheid	1
1.	Informatie over de activiteiten	Bepaal als functie van de activiteit de benodigde hoeveelheid verse lucht (V_{900}).	Zie Tabel 2 voor voorbeelden en waardes	2
2	Zijn er mechanische-ventilatiesystemen aanwezig?	Ja Nee		Ja: 3.1 Nee: 5
3.1	Is het debiet in overeenstemming met de gehanteerde wettelijke eisen of richtlijnen?	Q_{mech} in overeenstemming of beter Nee		Ja: de debieten voldoen in principe aan de gestelde eisen (informatie bij voorkeur maximaal 1 jaar oud), ga naar stap 4. Nee: 3.2
3.2	Voer in elke ruimte een debietmeting uit.	Q_{mech} wordt voor elke ruimte bepaald in m^3/h .	Meet minstens op de maximale stand en bij voorkeur ook op de andere regelstanden van het aanwezig ventilatiesysteem. Dit moet gebeuren door een expert.	Kan bepaald worden: ga naar stap 4. Kan niet (snel) bepaald worden: ga naar stap 3.3
3.3	Maak een schatting van het debiet op basis van het verschil in CO_2 -concentratie tussen binnen en buiten.	$Q_{\text{mech}} = S_{\text{CO}_2} \cdot N / (\text{CO}_{2,\text{binnen}} - \text{CO}_{2,\text{buiten}})$ [m^3/h], waarbij S_{CO_2} [ml/h] de CO_2 productie van een persoon bij een bepaalde activiteit (zie tabel 2) en N het aantal aanwezigen (allen dezelfde activiteit).	Bekijk de verschillende voorwaarden waaraan voldaan moet worden zodat deze methode gebruikt mag worden.	Kan bepaald worden: stap 4. Kon niet bepaald worden: stap 5.
4	Nominale capaciteit van elke ruimte	$N_{\text{eff}} =$ $N_{900} = Q_{\text{mech}} / V_{900} =$	N_{eff} is de effectieve bezetting waarbij een bepaalde CO_2 concentratie niet wordt overschreden aantal personen dat permanent aanwezig mag zijn zodat 900 ppm CO_2 niet overschreden wordt.	Indien $N_{\text{eff}} \leq N_{900}$: stap 14 Indien $N_{900} \leq N_{\text{eff}} \leq N_{1200}$: stap 4.1 Anders: stap 5





4.1	Als het aanwezige ventilatiedebiet conform wettelijke eisen of richtlijnen is ontworpen, geïnstalleerd en geverifieerd, bij een bepaalde ontwerp bezetting, kan een bezetting bij een CO ₂ -concentratie van 900 ppm worden afgeleid.		Voorbeeld bij 1200 ppm ontwerp is de effectieve bezetting voor 900 ppm gelijk aan: $N_{900} = (900-450)/(1200-450) N_{1200} = 0,6 N_{1200}$	Ga naar stap 5 .
5	Zijn er CO ₂ -meters beschikbaar?		Overweeg het aankopen, huren of lenen van CO ₂ -meters. Zie de bijlage over CO ₂ -meters en CO ₂ -metingen: Keuze en gebruik van CO ₂ -meters in de context van COVID-19 (Bijlage 5)	Ja: stap 6 Nee: stap 13
6	Is er een CO ₂ -meter beschikbaar voor iedere ruimte?			Ja: stap 7 Nee: stap 10
7	Monitor permanent de CO ₂ -concentratie.		Registreer de waarde regelmatig en neem maatregelen. Gebruik de praktische checklist na deze tabel om de monitoring in te bedden in de gangbare kwaliteitszorg.	Bepalen waarde: stap 8
8	Evalueer de CO ₂ -concentratie.	Ligt de CO ₂ -concentratie gedurende 95% van de tijd lager dan 900 ppm?	Bij wisselende bezetting en wanneer er alleen natuurlijke ventilatie gebruikt wordt, is het nodig om deze metingen regelmatig te herhalen. Gebruik de praktische checklist na deze tabel om de monitoring in te bedden in de gangbare kwaliteitszorg.	Ja: ga naar stap 14 Nee: volg stap 9
9	Neem bijkomende maatregelen.	De CO ₂ -concentratie is meer dan 5 % van de tijd hoger dan 900 ppm?	Bij mechanische ventilatie: <ul style="list-style-type: none">• de ventilatie aanvullen door het openen van ramen en/of deuren• de bezettingsgraad beperken. Bij natuurlijke ventilatie: <ul style="list-style-type: none">• openen van extra ramen en deuren• een ventilatie-installatie en eventuele luchtreiniging overwegen• een actieplan opmaken.	Als er bijkomende maatregelen genomen zijn: stap 7 Actieplan: stap 15 Luchtreiniging: stap 16

10	Monitor steekproefsgewijs de CO ₂ -concentratie.		Er zijn diverse mogelijkheden: <ul style="list-style-type: none"> • regelmatig een korte meting uitvoeren, in het bijzonder op het einde van een bezettingsperiode • metingen uitvoeren voor de duur van 1 dag of 1 week per ruimte • een combinatie van bovenstaande mogelijkheden. 	Evaluatie metingen: stap 11
11	Evalueer de CO ₂ -concentratie.	CO ₂ -concentraties zijn laag tot zeer laag (grootte orde van 500 tot 700 ppm)? CO ₂ -concentraties aan de hogere kant (800 ppm)?	Laag tot zeer laag bij een maximale bezetting: situatie in orde, blijf wel steekproeven nemen. Eerder hoog: stap over op permanente metingen en naar aanleiding daarvan indien noodzakelijk bijkomende maatregelen nemen.	Laag tot zeer laag: stap 14 Eerder hoog: stap 7, 12
12	Maatregelen bij onvoldoende lage CO ₂ -concentraties tijdens steekproefsgewijze metingen		Bij mechanische ventilatie: <ul style="list-style-type: none"> • ventilatie aanvullen door het openen van ramen en/of deuren • de bezettingsgraad beperken Bij natuurlijke ventilatie: <ul style="list-style-type: none"> • extra openen van ramen en deuren • het inzetten van luchtreiniging • een actieplan opmaken Evalueer deze ruimte opnieuw via een permanente meting	Neem maatregelen en meet opnieuw: stap 10 Actieplan: stap 15 Luchtreiniging: stap 16
13	Steeds ramen openen als tijdelijke oplossing		<ul style="list-style-type: none"> • maximaal inzetten op het openen van ramen en/of deuren • de bezettingsgraad beperken • compenserende maatregelen nemen, zoals het continu dragen van mondkapjes in afwachting van verdere maatregelen • op korte termijn CO₂-metingen uitvoeren of, in het geval van mechanische ventilatie, debietmetingen 	Maatregelen nemen: stap 15 + 16 Indien ventilatiesysteem: stap 2 Indien natuurlijke ventilatie: stap 5
14	Situatie is OK, maar bijkomende maatregelen kunnen zinvol zijn.		Situatie is aanvaardbaar, maar het is zinvol om bijkomende maatregelen te overwegen: <ul style="list-style-type: none"> • ramen en deuren openen waar mogelijk • bij natuurlijke ventilatie in een mechanische ventilatie voorzien, eventueel luchtreiniging toepassen. 	



15	Verbeteren van de ventilatievoorzieningen		Actieplan opstellen om in continue ventilatievoorzieningen te voorzien, zodat er geventileerd kan worden zonder het openen van ramen of deuren. Dit zal ook een positieve invloed hebben op de prestaties van de aanwezigen en besmettingen verminderen bij griep of andere infectieziekten. Bovendien kan er dan bij alle weersomstandigheden correct geventileerd worden.	Permanente metingen: stap 7 Steekproefsgewijze metingen: stap 10 Herevaluatie: stap 2
16	In aanvullende luchtreiniging voorzien	Om te voldoen aan de voorwaarde dat $CO_{2, \text{equivalent}}$ niet hoger dan 1200 ppm is moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan: 1. $Q_{\text{mech}} + CADR \geq V_{900} * N$ 2. $Q_{\text{mech}} \geq V_{1200} * N$	$CO_{2, \text{equivalent}}$ kan worden berekend middels: $CO_{2, \text{equivalent}} = (N * S_{CO_2} / Q_{\text{mech}}) + CO_{2, \text{buiten}}$, waarbij N het aantal aanwezigen, S_{CO_2} de CO_2 -productie bij een bepaalde activiteit (zie Tabel 2; zelfde activiteit voor iedereen).	

Als er op basis van bovenstaand stappenplan permanente of periodieke CO_2 -metingen uitgevoerd moeten worden:

Opvolgen van de ventilatie op basis van CO_2 -metingen	
	Vul in
Er is een verantwoordelijke aangesteld voor de opvolging van de ventilatie/ CO_2 -metingen. Naam verantwoordelijke:	
Er worden op regelmatige basis controle CO_2 -metingen uitgevoerd en de resultaten worden bijgehouden in een logboek. Frequentie metingen, identificatie logboek:	
Er wordt actie ondernomen als er in ruimten herhaaldelijk overschrijdingen vastgesteld werden. Naam verantwoordelijke, identificering acties + omschrijving (logboek) en opvolging daarvan:	

Bijlage 2: Tips voor het creëren van draagvlak

Hoe creëer je draagvlak en zorg je ervoor dat iedereen in jouw organisatie meewerkt aan een goede ventilatie. Enkele tips!

Informeer iedereen over het nut van ventileren en het belang van een goede luchtkwaliteit.

Benoem de verschillende meerwaarden van voldoende ventileren. Niet alleen het beperken van de besmettingskans, maar ook minder gezondheidsklachten en een 'frissere' lucht [perceptie]. Geef ook aan welk ventilatiesysteem er aanwezig is in het gebouw en hoe dit functioneert. Wat kunnen de werknemers zelf doen rond ventilatie? Maak bijvoorbeeld afspraken over het openen van ramen en/of deuren en communiceer deze aan iedereen.

Moedig het gebruik van CO₂-meters aan en stel ze ter beschikking. Organiseer een opleiding over het gebruik ervan. Geef tips om de CO₂-meter te gebruiken in je organisatie. Bespreek de ervaringen met het gebruik van deze meters.

Onderneem direct actie als (je meldingen ontvangt dat) de CO₂-meters vaak hoge waarden aangeven of in het oranje/rood gaan. Onderzoek wat de oorzaak is en koppel dit terug naar de direct betrokkenen:

- In het geval van natuurlijke ventilatie zijn mogelijke oorzaken: ontoereikende ventilatiemogelijkheden en ramen die gesloten worden vanwege straatlawaai.
- Mogelijke problemen met mechanische-ventilatiesystemen zijn: verstopte filters, te weinig ventilatiedebiet, slechte afregeling, ventilatiesysteem is uitgeschakeld, te lage stand van het systeem, bij systeem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer) zijn de roosters dicht of afgeplakt, onvoldoende

luchtdoorstroming bij gesloten binnendeuren. Bij een installatie met CO₂-sturing is het mogelijk dat de instellingen aangepast moeten worden (bijvoorbeeld de waarde waarop gestuurd wordt). Kijk de volgende zaken na: is jouw systeem van het type C (natuurlijke toe-/mechanische afvoer) of D (mechanische toe- en afvoer)? Werk je met een vraaggestuurd systeem en met welke factoren houdt het systeem rekening, bijvoorbeeld CO₂-gehalte, bezettingsgraad of andere factoren? Is het aanpasbaar per ruimte of aanpasbaar voor een deel van het gebouw of wordt het centraal geregeld? Contacteer indien nodig het bedrijf dat het onderhoud van deze gebouwinstallaties verzorgt.

Maak afspraken rond de bezettingsgraad van de ruimten

Stel een verantwoordelijke aan voor het ventilatiebeleid en voor de werking van het ventilatiesysteem. Wijs een aanspreekpunt aan voor klachten dat eveneens ondersteuning kan bieden bij ventilatie en luchtkwaliteit, inclusief het gebruik van de CO₂-meter(s).

Maak afspraken met de schoonmaakdienst over het reinigen van de ventilatieroosters en ventilatieopeningen. Laat dit opnemen in hun planning.

Maak afspraken over het onderhoud van het ventilatiesysteem. Bepaal in het onderhoudsschema (en -contract) de frequentie van controle en vervanging van onderdelen (bijvoorbeeld filters).



Bijlage 3: BSOH-tool – het voorspellen van het verloop van de CO₂-concentratie

De rekentool CO₂sim van de BSOH (Belgian Society for Occupational Health, de Belgische wetenschappelijke vereniging voor de arbeidshygiëne) laat toe om een inschatting te maken van het verloop van de CO₂-concentratie als functie van de tijd. Hierbij zijn er veel variabelen die een rol spelen en die gebruikt kunnen worden in de rekentool. Aanvullende achtergrondinformatie over het ventilatievoud en tijdconstantes is te vinden in [Bijlage 9](#).

De voornaamste variabelen zijn:

- het volume van de ruimte
- het ventilatiedebiet in m³/h
- het aantal aanwezige personen in de ruimte
- de CO₂-concentratie bij aanvang

- de karakteristieken van de aanwezige personen (volwassene/kind, activiteitsgraad).

Wat de impact van de activiteit op de CO₂-productie betreft, is de MET-waarde belangrijk. De MET-waarde (Metabool Equivalent) is voor volwassenen de hoeveelheid energie die een bepaalde fysieke inspanning kost ten opzichte van de hoeveelheid benodigde energie in rust. Eén MET komt overeen met de hoeveelheid energie die verbruikt wordt tijdens het stilzitten.

Een overzicht van de CO₂ productie als functie van de MET-waarde en de leeftijd is weergegeven in onderstaande tabel en tabel 2.

Tabel B3.1: Overzicht CO₂-productie als functie van activiteiten en leeftijd (50% man, 50% vrouw), in liter/s/persoon.⁶

	creche (0-4)	PO	VO	volwassene
activiteit	0 tot <4	4 tot <12	12 tot <21	>=21-60
Rustig (1.2 MET)	0.0017	0.0028	0.0039	0.0041
Laag (1.6 MET)	0.0022	0.0038	0.0052	0.0055
Licht(2 MET)	0.0028	0.0047	0.0065	0.0069
Middelmatig (3 MET)	0.0042	0.0071	0.0098	0.0104
Hoog (4 MET)	0.0056	0.0094	0.0131	0.0138

Let op dat de waardes in de tabel, bijvoorbeeld in een kantoor situatie, niet constant zijn over de dag en kunnen verschillen per persoon. Neem dan een gemiddelde waarde als aanname. De CO₂-productie verandert lineair evenredig met de MET-waarde. De MET-waarde is één van de parameters in de rekentool. De productie van aerosolen is niet op deze wijze gekoppeld aan de MET-waarde, hoewel bij grotere inspanning wel een grotere productie verwacht mag worden. In het algemeen zal het stemgebruik de meeste invloed hebben.

Het gebruik van de tool is vrij eenvoudig. Bovendien kunnen meerdere simulaties automatisch aan elkaar gekoppeld worden. Let op: er wordt uitgegaan van ideale (volledige) menging. Voor grotere ruimtes of een specifieke manier van ventileren zal deze aanname niet per se gerechtvaardigd zijn. In dat geval zou de hulp van een expert moeten worden ingeroepen om die aanname beter te verifiëren.

⁶Afgeleid uit Persily, A., de Jonge, L. 2016. Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*. 2017;27:868-879

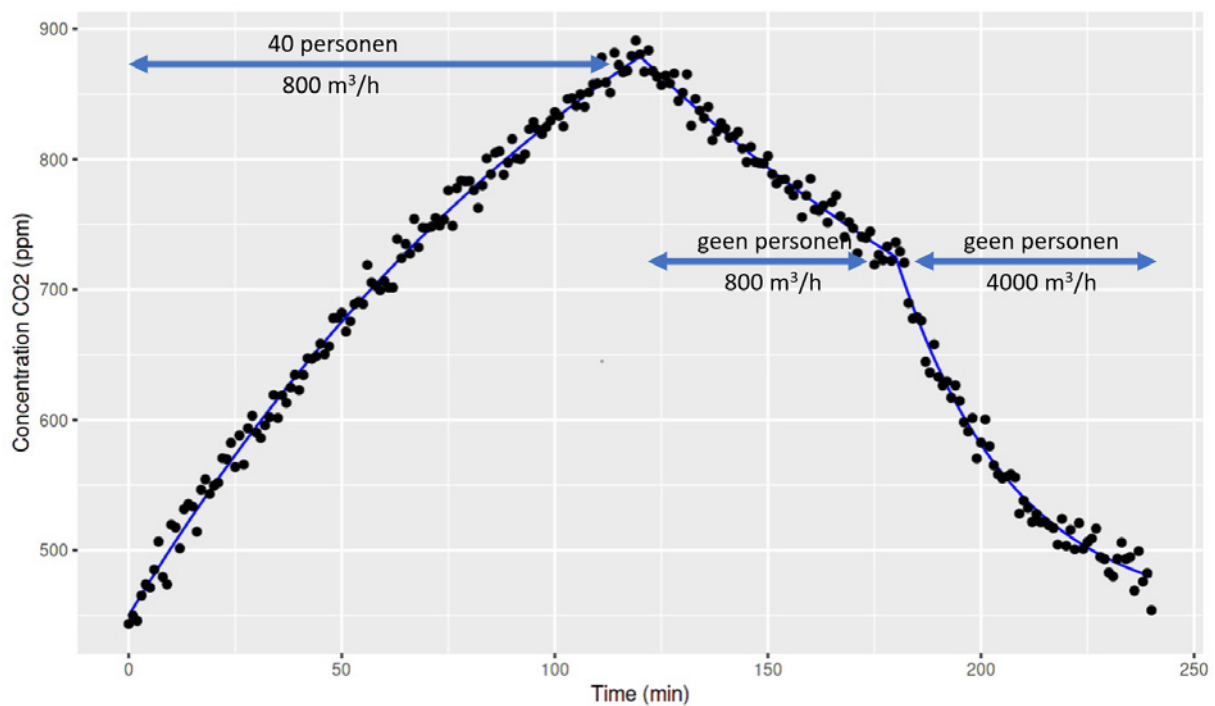
Voorbeeld

Indien $Q_{\text{mech}} = 800 \text{ m}^3/\text{h}$, is de nominale bezettingsgraad voor een rustige activiteit $N_{900} = 800/33 = 24$ personen. Een grotere bezetting is tijdelijk toegestaan op voorwaarde dat de CO_2 -concentratie gemonitord wordt (STAP 6). Met de BSOH-tool CO_2sim kan een inschatting gemaakt worden van de maximale tijd waarbinnen een grotere bezetting mogelijk is.

Afbeelding 3 toont het verloop van de CO_2 -concentratie wanneer er 40 personen aanwezig zijn in een ruimte die vrij groot is (20 m lang, 15 m breed, 6 m hoog = 1.800 m^3) en er een mechanische ventilatie is van $800 \text{ m}^3/\text{h}$ ($N_{900} = 24$ personen).

Op basis van de simulatie mag je verwachten dat na ongeveer 90 minuten de CO_2 -concentratie 900 ppm zal bedragen. Wanneer de aanwezigen de ruimte verlaten en de ventilatie blijft werken ($800 \text{ m}^3/\text{h}$), daalt de CO_2 -concentratie, maar weliswaar vrij langzaam.

De grafiek geeft ook het verloop weer van de CO_2 -concentratie wanneer er na ongeveer 60 minuten zonder aanwezigen meer intensief geventileerd wordt (het openen van ramen en/of deuren overeenstemmend met $4.000 \text{ m}^3/\text{h}$). De CO_2 -concentratie zal dan veel sneller terugkeren naar 450 ppm.



Afbeelding B3.1: Verloop van de CO_2 -concentratie bij een variërende bezettingsgraad en ventilatiedebiet.

Bijlage 4: Specifieke aandachtspunten

In specifieke omstandigheden kan het onmogelijk zijn om een bepaalde ruimte of bepaalde werkplek snel aan te passen om deze in overeenstemming te brengen met de hierboven bepaalde maatregelen.

In dat geval moet er een evenwicht gezocht worden tussen:

- de afmetingen van de ruimte
- de mate van ventilatie
- de luchtvochtigheid
- de activiteit en dus de ademhalingsfrequentie en -intensiteit
- het al dan niet dragen van mondklappers en het type mondklapper
- de tijdsduur dat personen aanwezig zijn.

De omvang van een besmettingskans kan ingeschat worden met behulp van diverse rekentools, bijvoorbeeld van MasterplanVentilatie en REHVA. Deze zijn gebaseerd op de Wells-Riley vergelijking. Het is wel belangrijk om te benadrukken dat deze rekentools een grote onzekerheid hebben, onder andere vanwege de bepaling van het aantal quanta (1 quantum is een maat voor de dosis die nodig is om een 63% kans op besmetting te hebben). Deze tools zijn dan ook vooral nuttig om het

effect van de verschillende maatregelen onderling te vergelijken (relatief).

In elk geval is bijzondere aandacht nodig voor gekoelde ruimten waarin gewerkt wordt, zoals de snijzalen in slachterijen en beenhouwerijen, bepaalde ruimten in de voedingssector zoals industriële bakkerijen en de productie van diepvriesvoeding. Dit zijn voorbeelden van ruimtes waar vaak met een systeem van constante lucht-circulatie gewerkt wordt met weinig of geen aanvoer van buitenlucht. Daarnaast is er veel achtergrond-lawaai waardoor men eerder geneigd is om te roepen en tot slot omdat het virus langer actief blijft bij lagere (koude) temperaturen. De besmettingskans is in dergelijke gevallen groter.

Daarnaast moet er ook aandacht zijn voor de ventilatie in vervoersmiddelen en de ventilatie in eetzaal en ontspanningsruimten. Bij het gemeenschappelijke vervoer van personen die niet tot een huishouden behoren, is het belangrijk dat, als aanvulling op de bestaande richtlijnen, de ventilatie op de maximale stand staat en dat er zoveel mogelijk met geopende ramen (al dan niet op een spleet) gereden wordt, bij voorkeur aangevuld met het dragen van een mondklapper.

Bijlage 5: Keuze en gebruik van CO₂-meters in de context van COVID-19

De oorspronkelijk versie van deze bijlage is als afzonderlijk rapport uitgebracht door de Taskforce Ventilatie van het Regeringscommissariaat Corona in België (oorspronkelijke versie 21 juni 2021; zie voor meer informatie ook het Voorwoord).

Gezien de inhoud van dit rapport en de intenties met betrekking tot ventilatie in Nederland is besloten om dit deel over CO₂-meters op te nemen als bijlage bij de aanbevelingen zoals weergegeven in dit document.

Keuze van een CO₂-meter

Bij het kiezen van een geschikte en gebruiksvriendelijke CO₂-meter zijn er een aantal zaken waar je op moet letten:

- **Type:** Kies voor een sensor die werkelijk CO₂ meet: in principe een NDIR (niet-dispersieve infrarood) CO₂-sensor. Kies niet voor sensoren die een CO₂-“equivalent” of indirect meten.
- **Mogelijkheden van kalibratie:** Door veroudering van de sensor kan er “drift” optreden (= lichte, constante verandering van de meetresultaten van eenzelfde toestel in dezelfde omstandigheden) waardoor de nauwkeurigheid van de meting niet meer juist is. Er zijn verschillende oplossingen voor de kalibratie van de sensor (= het afstellen van de sensor zodat die weer de juiste waarde meet). In de huidige context wordt de voorkeur gegeven aan een “dual beam” of “ABC Logic” sensor. Een sensor die handmatig kan worden geijkt op basis van de buitenlucht is ook een oplossing. Een “dual beam” sensor is uitgerust met een interne dubbele sensor die een automatische driftcorrectie mogelijk maakt. Deze sensoren zijn normaal gesproken duurder, maar kunnen verscheidene jaren zonder externe kalibratie worden gebruikt.
Een sensor van het “ABC Logic”-type (ABC (Automatic Background Calibration) Logic™) kalibreert automatisch door de waarde 400 ppm toe te kennen aan de laagste gemeten waarde die voor een bepaalde tijd voldoende stabiel is. Dat type automatische ijking vereist dat de sensor voldoende vaak en regelmatig aan een concentratie van 400 ppm wordt blootgesteld (periode van niet-bezetting van de ruimte met ventilatie bijvoorbeeld; of kalibratie met buitenlucht).
Er zijn ook sensoren die handmatig kunnen worden gekalibreerd door de sensor in contact te brengen met buitenlucht en een door de

fabrikant beschreven procedure te volgen. Soms is dit mogelijk naast de hierboven genoemde opties.

Opmerking: andere sensoren die regelmatig extern moeten worden gekalibreerd door de fabrikant of een extern laboratorium, worden in dit verband niet aanbevolen omdat die kalibratie in het algemeen duurder is en wellicht niet vaak genoeg kan worden uitgevoerd.

- **Meetbereik:** Kies voor een meetbereik tot minstens 2.000 ppm en bij voorkeur tot 5.000 ppm.
- **Meetfout:** Elk meetinstrument heeft een meetfout. Dat is de mate waarin het resultaat afwijkt van de reële waarde. De maximale meetfout is terug te vinden in de technische specificaties van het meetinstrument. Voor de CO₂-concentratie, geeft de ene hem weer als een absolute waarde in ppm of in procenten, bij andere is sprake van een combinatie van beide, bijvoorbeeld weergegeven als: +/- X % [van de gemeten waarde] + Y ppm. In de huidige context wordt een fout van maximaal 10 % van de meting tot 2.000 ppm aanvaardbaar geacht. Deze fout wordt door de meeste kwaliteits-sensoren die op de markt beschikbaar zijn niet overschreden. Merk op dat een 10 % meetfout bij 900 ppm overeenkomt met ±90 ppm. Dat betekent dat bij een meetwaarde van 900 ppm, en een fout van 10%, de correcte waarde zich bevindt tussen 810 en 990 ppm.
- **Type verstrekte informatie:** Verschillende soorten CO₂-meters kunnen op een verschillende manier de meetgegevens weergeven, doorgeven en/of opslaan. Sommige instrumenten combineren informatiemogelijkheden.
 - Directe weergave: de gemeten CO₂-concentratie (in ppm) wordt rechtstreeks getoond op een scherm.



- Gegevensregistratie: de meetgegevens worden verzonden en extern opgeslagen (bv. op een server) waar deze kunnen worden geraadpleegd via bijvoorbeeld een applicatie op een smartphone of via een website.
- Indirecte weergave: de gemeten CO₂-concentratie wordt vertaald naar een kleurcode, bv. een groene, oranje of rode LED-indicator. De kleurcodering is afhankelijk van de geprogrammeerde CO₂-drempelwaarden (normaal gesproken in de handleiding aangegeven).
- Indirecte weergave: bij overschrijding van een bepaalde drempelwaarde voor de CO₂-concentratie wordt een geluidsalarm gegeven of een smartphone-bericht gestuurd.

Een instrument dat de gemeten CO₂-concentratie rechtstreeks op een scherm weergeeft, heeft het voordeel dat het gemakkelijk het resultaat van een meting beschikbaar maakt, en eventueel rechtstreekse informatie biedt aan de mensen in de ruimte.

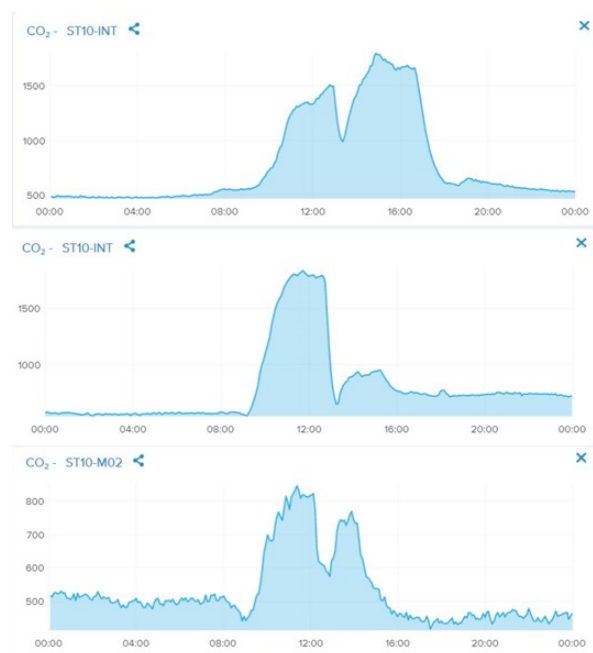


Afbeelding B5.1: Voorbeeld van een draagbare CO₂-meter.



Afbeelding B5.2: Voorbeeld van een CO₂-meter met informatie het verloop van de CO₂-concentratie

Sommige meters kunnen metingen opslaan, waardoor de waarden later uitgelezen of online bekeken kunnen worden. Dat heeft als voordeel dat men het verloop van de CO₂-waarden gedurende een bepaalde periode eenvoudig kan visualiseren en interpreteren. Met behulp van bijvoorbeeld een logboek kan zo ook het effect van bepaalde interventies (bv. openen van extra ramen of deuren), om de mate van luchtverversing te verbeteren, in kaart worden gebracht en geanalyseerd. Die optie is niet noodzakelijk maar kan wel handig zijn in geval van overleg met bijvoorbeeld externe partijen om de ventilatie meer gedetailleerd in kaart te brengen.



Afbeelding B5.3: Voorbeeld van het verloop van de CO₂-concentratie met gegevens zoals beschikbaar bij gegevensregistratie van een CO₂-meter.

In Afbeelding B5.3 is het effect van verschillende activiteiten en een interventie in de ruimte zichtbaar via de CO₂-concentratie:

- **Boven:** hoge CO₂-concentratie gedurende de dag in een vergaderzaal.
- **Midden:** hoge CO₂-concentratie in een vergaderzaal 's morgens; daarna lagere concentratie in de namiddag als gevolg van een daling van het aantal aanwezigen.
- **Beneden:** CO₂-concentratie niet hoger dan ongeveer 800 ppm in een vergaderzaal waar het ventilatiedebiet aan het aantal aanwezigen is aangepast.

Een kleurindicator of een alarm heeft het voordeel dat de gebruikers van een ruimte rechtstreeks worden geïnformeerd wanneer de drempelwaarde wordt overschreden, zodat de nodige corrigerende maatregelen kunnen worden getroffen. Dat is bijzonder relevant in het geval van permanente CO₂-metingen. De gebruiker hoeft daardoor geen kennis te hebben van de wenselijke CO₂-concentratie, die vooraf is ingesteld.

Het wordt wel aanbevolen dat de gebruiker (of een vertegenwoordiger daarvan) de gebruikte drempelwaarden kan instellen naargelang het doel van de meting (zie implementatieplan) en dat die drempelwaarde(n) duidelijk op of bij de meter is/zijn aangegeven.

Naast de kleurindicator of het alarm wordt een directe weergave van de CO₂-concentratie sterk

aanbevolen. Op die manier kunnen de gebruikers weten in welke mate de drempelwaarde is overschreden en de meest geschikte maatregel(en) treffen.

Tot slot, sommige sensoren zijn draagbaar, andere kunnen op een tafel of een meubel worden geplaatst, of aan de muur worden bevestigd. De keuze hangt af van het doel van de meting (steekproefsgewijs of permanent). Toestellen die werken op batterijen hebben als voordeel dat ze gemakkelijk kunnen worden geplaatst, maar de batterij moet wel af en toe vervangen of opgeladen worden. Toestellen die op netvoeding werken hebben dat nadeel niet, maar de noodzaak van een kabel tussen een stopcontact en het toestel beperkt de flexibiliteit. Er zijn ook sensoren die via de USB-poort van een computer van stroom kunnen worden voorzien.

Gebruik van een CO₂-meter

- **Werking:** Weet hoe uw meetinstrument werkt. De meeste meters zijn eenvoudig te bedienen, maar het is altijd goed om de handleiding even door te nemen, met name ook al vanwege de kalibratie. Kijk daarom na of er bij uw CO₂-meter een duidelijke handleiding zit. Kent iedereen die met het toestel aan de slag gaat, de werking van het toestel?
- **Kalibratie:** In principe hoeven sensoren van het type "dual beam" of "ABC Logic" gedurende verscheidene jaren niet te worden gekalibreerd. Indien de sensor een manuele kalibratie op basis van de buitenlucht toelaat of nodig heeft, zal die kalibratie met enige regelmaat moeten worden uitgevoerd volgens de instructies van de fabrikant. In andere gevallen is een externe kalibratie (fabrikant of laboratorium) nodig volgens de instructies van de fabrikant (in het algemeen om de 2 of 3 jaar). Controleer met enige regelmaat of de meter (nog) correct meet. Dit kan eenvoudig door het toestel in de buitenlucht of in de opening van een open raam, waar buitenlucht door naar binnen stroomt, te plaatsen. De CO₂-concentratie in de buitenlucht ligt tussen de 400 en 500 ppm (in de stad hoger dan op het platteland). Ook zullen in de herfst hogere CO₂-buitenconcentraties te meten zijn dan in de lente. Meet uw toestel een veel lagere waarde dan 400 ppm of een veel hogere waarde dan 500 ppm? Neem dan contact op

met de verantwoordelijke contactpersoon voor het opvolgen van de kwaliteit van de binnenlucht of contacteer de leverancier of fabrikant. Uw toestel moet misschien gekalibreerd, hersteld of zelfs vervangen worden.

- **Instellingen:** In het geval van CO₂-meters met een kleurgecodeerd display of alarm moet de CO₂-drempelwaarden aangepast worden aan het doel van de meting. Indien de drempelwaarden niet zijn aangepast en/of niet kunnen worden bijgesteld, moeten die displays of alarmen worden gedeactiveerd. Als er geen alternatieve weergave aanwezig is, bijvoorbeeld door direct de CO₂-concentratie af te lezen of via een web- of mobiele app interface, dan zijn die meters in principe ongeschikt.
- **Waar zet u de CO₂-meter?:** Het uitgangspunt is vaak dat de lucht die in de ruimte wordt gebracht goed gemengd is en de CO₂-concentratie in de ruimte in principe homogeen. Maar door de aanwezigheid van scheidingswanden, openstaande ramen, of in een grote ruimte, enz. kan de CO₂-concentratie verschillen tussen plaatsen in dezelfde ruimte. Daarom is het zinvol om in grotere ruimtes (> 50 m²) of in ruimtes met openstaande ramen of deuren op verschillende plaatsen metingen uit te voeren. In alle gevallen gelden de volgende basisuitgangspunten voor de plaatsing van een CO₂-meter:
 - Adem niet uit vlakbij de CO₂-meter, dat kan de meting beïnvloeden.





- Zet de CO₂-meter niet naast een deur, een geopend raam of de toevoer van het ventilatiesysteem en ook niet direct naast personen. Ga uit van een afstand van minstens 1,5 meter.
- Plaats het instrument zo veel mogelijk in het gebruikte gedeelte van de ruimte, op een tafel, een meubelstuk of eventueel aan een muur op hoofdhoogte.
- Zorg dat de meter veilig staat, zodat hij niet omvalt of er niet op gemorst kan worden.
- **Wanneer meten?:** Het tijdstip en de duur van de meting zijn afhankelijk van het doel (steekproefsgewijs of permanent, zie voor meer informatie hierover de hoofdtekst van dit document).
- Meet minstens wanneer er mensen in de ruimte aanwezig zijn. Naast de bezetting (aantal personen) is ook de activiteit van personen en in geval van kinderen ook de leeftijd belangrijk om te bepalen wat de ventilatiehoeveelheid in een ruimte is.
- Controleer ook of er geen andere mogelijke CO₂-bronnen dan personen in de ruimte zijn.
- De CO₂-waarde in de ruimte zal schommelen onder invloed van het aantal aanwezige personen, hun activiteit en de mate van ventilatie. Zo kan gevolgd worden of er genoeg verse lucht is of wanneer zich problemen voordoen.
- In het geval van een spotmeting wordt aanbevolen te meten aan het eind van de maximale bezettingsperiode van de ruimte, wat overeenkomt met de meest kritische situatie.
- Vergeet niet dat een zelfkalibrerende sensor, om te kunnen kalibreren, ook moet kunnen meten in een situatie (ruimte) waar de concentratie CO₂ in de binnenlucht teruggaat tot achtergrondniveau (= concentratie in de buitenlucht). Bekijk wat de handleiding van uw CO₂-meter daarover zegt.
- Een stabilisatieperiode van de meting van enkele minuten is gewoonlijk noodzakelijk. Sommige sensoren kunnen een langere tijd nodig hebben.

Bijlage 6: Bepalen van de nominale bezettingsgraad bij open ramen en buitendeuren

Als er geen informatie over de mechanische-ventilatie-debietten of over de CO₂-concentraties beschikbaar is, mag je alleen rekenen op de ventilatie die voortkomt uit het openen van ramen en/of buitendeuren.

Het ventilatie-debiet is dan een functie van vele parameters, zoals de windsnelheid, de binnen- en buitentemperaturen, de grootte en de positie van deze openingen (ook ten opzichte van elkaar).

In het kader van dit document kan een inschatting van de ventilatie gemaakt worden op basis van de Europese norm EN 15242 waarbij de volgende aannames gehanteerd worden:

- het temperatuurverschil tussen binnen en buiten bedraagt 3 °C
- het is windstil weer
- elk raam op zich wordt geëvalueerd in de veronderstelling dat alle openingen zich in dezelfde gevel bevinden.

De volgende formule kan dan gebruikt worden:

- Debiet (m³/h) = $Q_{open} = 1800 * A_{open} * (0,0035 * H_{open} * (T_{binnen} - T_{buiten}))^{0,5}$ met $T_{binnen} - T_{buiten} = 3^{\circ}C$.
- Debiet (m³/h) = $Q_{open} = 184 * A_{open} * H_{open}^{0,5}$.

De overeenstemmende nominale bezetting bij een CO₂-concentratie van 900 ppm voor een gegeven activiteit is:

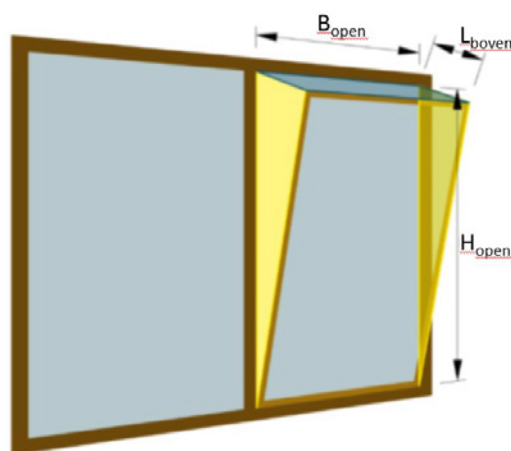
- $N_{900,formule} = (184/V_{900}) * A_{open} * H_{open}^{0,5}$.

De volgende eenvoudige vuistregel kan gebruikt worden:

- geopende ramen: $N_{900,vuistregel} = (159/V_{900}) * A_{open}$ (dit komt overeen met een openingshoogte van 75 cm)

- geopende deuren: $N_{900,vuistregel} = (260/V_{900}) * A_{open}$ (dit komt overeen met een openingshoogte van ongeveer 2 meter).

Als er meer ramen of buitendeuren zijn, moet de berekening voor elk raam en iedere buitendeur uitgevoerd te worden. Het is belangrijk om de netto-opening op te nemen en niet de bruto-oppervlakte. Bij kiepramen is A_{open} een functie van de netto-opening bovenaan het raam L_{boven} , waarbij $A_{open} = L_{boven} * (H_{open} + B_{open})$.



Afbeelding B6.1: Grafische weergave maten bij een kiepraam.

Tabel B6.1 geeft op basis van de formule voor een geopend raam of deur een indicatie van de nominale bezetting (bij 900 ppm CO₂-concentratie) voor een rustige activiteit, per m² netto-openingsoppervlakte (A_{open} [m²]), als functie van de hoogte van de opening (H_{open} [m]).

Tabel B6.1: Toegelaten nominale bezetting voor elk permanent geopend raam of iedere permanent geopende buitendeur (rustige activiteit 1,2 MET, volwassene).

Hoogte opening H_{open}	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
$N_{900,formule}$ per m ² netto-opening	3,9	5,6	6,8	7,9	8,8	9,7

Voorbeeld (zie tabel B6.2):

Een ruimte met 2 ramen en 1 buitendeur:

- **Bruto-afmetingen:**

- draairaam: breedte 0,9 m en hoogte 1,2 m
- kiepraam: breedte 0,9 m en hoogte 1,2 m
- buitendeur: breedte 0,9 m en hoogte 2,0 m

- **Netto-openingen:**

- volledig geopend draairaam: netto-openingsbreedte $B_{\text{open}} = 0,8$ m en netto-openingshoogte $H_{\text{open}} = 1,05$ m
 $\rightarrow A_{\text{open}} = 0,8 * 1,05 = 0,84 \text{ m}^2$

- kiepraam: netto-openingsbreedte $B_{\text{open}} = 0,8$ m en netto-openingshoogte $H_{\text{open}} = 1,1$ m, veronderstel dat bovenaan de netto-opening $L_{\text{open}} = 0,06$ m bedraagt
 $\rightarrow A_{\text{open}} = 0,06 * (0,80 + 1,10) = 0,11 \text{ m}^2$
- volledig geopende buitendeur: breedte $B_{\text{open}} = 0,8$ m en hoogte $H_{\text{open}} = 2,0$ m
 $\rightarrow A_{\text{open}} = 1,60 \text{ m}^2$.

Tabel B6.2: Voorbeelden van de toegelaten nominale bezetting via de vuistregel en via de formule.

	$A_{\text{open}} \text{ (m}^2\text{)}$	$N_{900,\text{vuistregel}}$	$N_{900,\text{formule}}$
Volledig open draairaam	0,84	4,0	4,8
Kiepraam 6 cm netto-opening bovenaan	0,11	0,5	0,6
Volledig geopende deur	1,60	12,6	12,6
TOTAAL	2,55	17,2	18,1

De berekening via de formule zal in de meeste gevallen een iets grotere nominale bezetting geven dan bij het hanteren van de vuistregel. De hier gegeven inschattingen van het debiet en de daaruit afgeleide nominale capaciteit zijn in het algemeen aan de veilige kant. Afhankelijk van de weersomstandigheden

kunnen de optredende debieten aanzienlijk hoger zijn. Vooral de wind kan een belangrijke invloed hebben, zeker wanneer er ramen aan tegenoverliggende zijden van een ruimte worden opengezet (dwarsventilatie; zie ook [Bijlage 7](#)).

Bijlage 7: Ventilatie met ramen en deuren – hoe pak je het aan?

Tijdens onderzoek uitgevoerd door de Vlaamse overheid werden verschillende maatregelen uitgetest om te bepalen of en hoe het mogelijk is voldoende (CO_2 -concentratie onder 900 ppm) te ventileren in ruimtes zonder ventilatiesysteem. Deze maatregelen kunnen een inspiratie zijn voor maatregelen die kunnen genomen worden tijdens het streven naar voldoende verse lucht in publieke gebouwen zoals sporthallen, restaurants, ... voor de korte termijn, wanneer de ventilatie nog niet op orde is gebracht.

Tijdens de onderzoeken werd uitgegaan van de het werkingsprincipe 'geschakelde opening'. Bij geschakelde openingen worden ventilatieopeningen zoals ramen, deuren of roosters in tegenovergestelde gevelvlakken geopend. Door wind en temperatuurverschillen ontstaan er luchtstromen die zorgen voor luchtverversing (openingen in overdruk- en onderdrukzone).

Een andere manier om te ventileren is via zogenaamde 'thermische trek'. Dan wordt ingezet op hoogteverschillen in ventilatieopeningen bv. een raam in een ruimte en een raam in de gang van de verdieping erboven. De hoogteverschillen in ventilatieopeningen kunnen ook in één ruimte gecreëerd worden. De lucht verplaatst zich dan van beneden naar boven waardoor er luchtverversing plaatsvindt.

Uit het onderzoek kwamen een aantal maatregelen naar voren die bijna altijd zorgen voor een voldoende lage CO_2 -concentratie (zie Tabel B7.1 in de kolom 'situaties die voldoen'). Daarnaast bleken een aantal

maatregelen mogelijk te voldoen afhankelijk van de ruimte, ligging van die ruimte en locatie van de ventilatieopeningen (kolom 'situaties die mogelijk voldoen'). Andere maatregelen resulteerden niet in voldoende lage CO_2 -concentraties (kolom 'situaties die nooit voldoen').

In alle situaties is het belangrijk om te controleren of de CO_2 -concentraties voldoende laag zijn door het uitvoeren van CO_2 -metingen. Dit wordt sterk aangeraden omdat bij deze manier van ventilatie er onder andere een grote afhankelijkheid is van de weersomstandigheden.

Ramen/deuren openen aan tegenoverliggende zijden van een lokaal geeft bijna altijd een goed resultaat. Er moet dan wel meer dan één raam op de kiepstand staan, samen met een open deur aan de andere zijde van het lokaal. Een dergelijke maatregel zou daarnaast bij voorkeur gecombineerd kunnen worden met spuien tussen verschillende activiteiten als dat van toepassing is, bijvoorbeeld in een sporthal. Op die manier creëer je een goed startpunt voor de nieuw activiteit.

Ramen/deuren aan één zijde van een lokaal openzetten zorgt in het algemeen niet voor voldoende luchtverversing. De enige manier om in dit scenario de CO_2 -concentratie toch onder 900 ppm te houden, is door ramen volledig open te zetten. CO_2 -meters zijn dan zeker noodzakelijk om het verloop van de concentratie, en daarmee de ventilatie, te volgen.

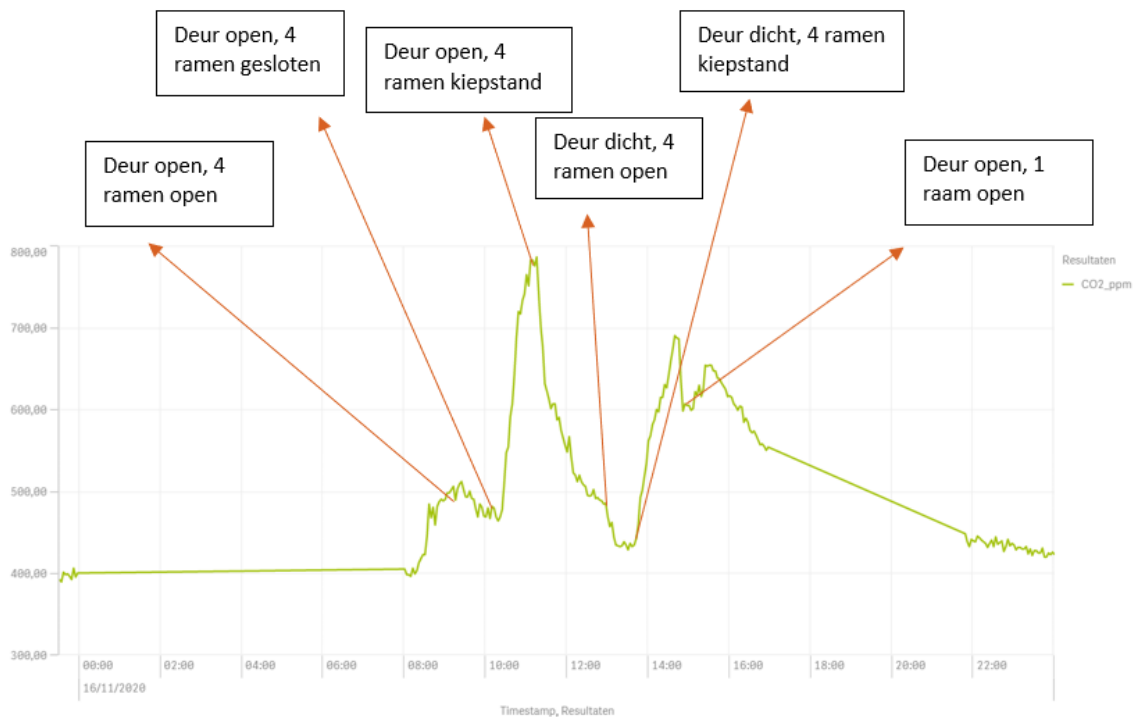
Tabel B7.1: Overzicht van ventilatie mogelijkheden en effect bij gebruik van ramen en deur.

Situaties die voldoen	Situaties die mogelijk voldoen	Situaties die nooit voldoen
Geschakeld met meerdere ramen volledig open	Geschakeld met 1 raam op kiepstand	Alle ramen en deuren gesloten
Geschakeld met meerdere ramen op kiepstand	Eenzijdig met meerdere ramen op kiepstand	Ruimtes met te kleine ventilatieopeningen
Eenzijdig meerdere ramen volledig open (minder efficiënt)	Toepassen thermische trek	
<i>In alle gevallen geldt dat het monitoren van de CO_2-concentratie zeer wenselijk is.</i>		



In Afbeelding B7.1 wordt, ter illustratie, het verloop weergegeven van de CO₂-concentratie bij verschillende manieren van ventileren met ramen en deuren.

De pijl geeft het moment aan waarop de actie wordt ingezet. Het effect ervan volgt na dit punt.



Afbeelding B7.1: Verloop van de CO₂-concentratie gedurende de dag bij het openen of sluiten van ramen of deuren

Deur open, 4 ramen open: Dit is een situatie met ramen volledig open en een deur open aan de andere zijde van het lokaal. Daardoor is de CO₂-concentratie in de ruimte erg laag en nauwelijks hoger dan de concentratie buiten (ongeveer 400-450 ppm). De geopende ramen zorgen voor veel verse lucht.

Deur open, 4 ramen gesloten: In deze situatie is er slechts aan een zijde van de ruimte een opening. In de grafiek is duidelijk de stijging van CO₂-concentratie richting 900 ppm te zien, en daarmee de conclusie dat de ruimte minder goed wordt geventileerd.

Deur open, 4 ramen kiepstand: Om de stijging tegen te gaan, worden de ramen weer geopend op kiepstand, samen met de deur. De CO₂-concentratie daalt weer tot bijna de achtergrondwaarde.

Deur dicht, 4 ramen open: Deze situatie geeft aan dat ventileren in één vlak ook lukt, maar enkel als de ramen volledig open staan. In dit geval lijkt de situatie op spuien.

Deur dicht, 4 ramen kiepstand: Dit is weer een situatie waarbij de ramen op de kiepstand staan, maar slechts aan één zijde van het lokaal. De stijging van de CO₂-concentratie wordt gestopt door het einde van het gebruik van de ruimte.

Deur open, 1 raam open: Met maar één raam open en de deur open stijgt de CO₂-concentratie, ondanks dat het gaat om openingen aan twee zijden van de ruimte. De stijging wordt hier gestopt door het einde van het gebruik van de ruimte.

Bijlage 8: Toegelaten CO₂ niveaus bij combinatie van ventilatie en luchtreiniging

Het toepassen van luchtreiniging leidt niet tot een verlaging van de CO₂ concentratie. Indien men 900 ppm (bij een buitenconcentratie van 450 ppm) als limietwaarde oplegt voor de maximale CO₂-concentratie zonder luchtreiniging, mag bij gebruik van luchtreiniging een hogere waarde CO_{2,equivalent} (de equivalente CO₂ limietwaarde bij luchtreiniging) worden gehanteerd. Wel geldt als beperking dat CO_{2,equivalent} niet hoger mag zijn dan 1200 ppm.

Het aandeel van de luchtreiniging wordt gekarakteriseerd door de CADR-waarde. De activiteiten, en daarmee de CO₂ productie in een ruimte (S_{CO2}), worden gekarakteriseerd door het aantal personen N en hun activiteit (MET-waarde). Om te voldoen aan de voorwaarde dat CO_{2,equivalent} niet hoger dan 1200 ppm is moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- $Q_{\text{mech}} + \text{CADR} \geq V_{900} * N$
- $Q_{\text{mech}} \geq V_{1200} * N$

Waarbij V₉₀₀ en V₁₂₀₀ de minimaal vereiste hoeveelheid verse lucht per persoon voor een CO₂-concentratie van 900 ppm respectievelijk 1200 ppm bij een bepaalde activiteit (zie Tabel 2).

CO_{2,equivalent} kan worden berekend met de volgende formule:

- $\text{CO}_{2,\text{equivalent}} = (N * S_{\text{CO}_2} / Q_{\text{mech}}) + \text{CO}_{2,\text{buiten}}$, waarbij S_{CO2} [ml/h] de CO₂-productie bij een bepaalde activiteit (zie Tabel 2 voor waarden voor deze CO₂-productie).

Tabel B8.1 geeft een overzicht van CO_{2,equivalent} [ppm] voor verschillende activiteitsniveaus en CADR. Een waarde >1200 ppm dient niet overschreden te worden (CO_{2,buiten} = 450 ppm).

Tabel B8.1: CO_{2,equivalent} [ppm] als functie van verschillende activiteitsniveaus (volwassene).

Activiteit (MET)	1.2	1.6	2	3	4
V ₉₀₀ [m ³ /h/persoon]	33	44	56	82	111
CADR [m ³ /h/persoon]					
0	900	900	900	900	900
5	979	957	945	929	921
10	1093	1031	999	962	945
15	>1200	1129	1066	1000	970
20	>1200	>1200	1153	1045	999
25	>1200	>1200	>1200	1097	1031
30	>1200	>1200	>1200	1159	1066
35		>1200	>1200	>1200	1107
40		>1200	>1200	>1200	1153
45			>1200	>1200	>1200
50			>1200	>1200	>1200



Indien er een mechanische ventilatie is, is de te volgen procedure als volgt.

1. Meet het aanwezige mechanisch ventilatiedebiet aan buitenlucht Q_{mech} (bijvoorbeeld 600 m³/h)
2. Bepaal het maximum aantal personen N_{max} waarvoor de ruimte gebruikt wordt (bijvoorbeeld. $N_{\text{max}} = 20$ personen)
3. Bepaal het mechanische ventilatiedebiet per persoon ($Q_{\text{mech}}/N_{\text{max}} = 600/20 = 30$ m³/h)
4. Bepaal de MET-waarde en V_{900} . (bijvoorbeeld licht kantoorwerk : 1.6 MET, $V_{900} = 44$ m³/h)
5. De minimaal noodzakelijke CADR aan luchtzuivering, om een gelijkwaardige situatie te creëren voor de aerosolconcentratie wanneer alleen van ventilatie gebruik wordt gemaakt, is het verschil tussen V_{900} en Q_{mech} per persoon (minstens $44 - 30 = 14$ m³/h).
6. Uit de tabel kan afgelezen worden dat $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ t in dat geval ongeveer 1100 ppm is.

Wanneer men voor een bepaalde ruimte het $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ wil communiceren, dan is het noodzakelijk om in ieder geval de volgende informatie te verstrekken:

1. Aanwezige apparaten voor luchtreiniging met overeenstemmende CADR-waarde voor de stand waarin het apparaat wordt gebruikt (Indien de CADR waarde enkel is opgegeven voor de maximale stand, dan moet het apparaat gebruikt worden in de maximale stand)
2. Type van activiteiten en de bijbehorende MET-waarde
3. Het maximum aantal personen dat aanwezig mag zijn gegeven het $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$. $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ kan ook voor verschillende bezettingen vastgesteld worden

Bijlage 9: Ventilatievoud

Het begrip 'ventilatievoud' of 'n' [h^{-1}], wordt soms gebruikt. Dit verwijst naar het aantal keer per uur dat de lucht in een ruimte wordt verversd. Het ventilatievoud [h^{-1}] is gelijk aan het totale ventilatiedebiet in de ruimte [m^3/h] gedeeld door het volume van de ruimte [m^3]. Het totale debiet laat zich bijvoorbeeld bepalen vanuit het benodigde debiet per persoon en het aantal personen in de ruimte.

In de context van ventilatie en om het risico op besmetting met Covid-19 te beperken, is vooral het debiet per persoon relevant. Bij eenzelfde debiet per

persoon kan het ventilatievoud dus sterk variëren naargelang de capaciteit en het volume van de ruimte. Het is dan ook niet echt mogelijk om een minimumwaarde voor het ventilatievoud te bepalen die van toepassing is op alle verschillende situaties.

Onderstaande tabel toont enkele waarden voor typische gevallen. Voor een ruimte met een relatief reproduceerbare afmeting en bezetting zal het ventilatievoud relatief constant zijn. Voor een klaslokaal (zie tabel) bedraagt het ventilatievoud bijvoorbeeld orde grootte 6 h^{-1} bij een debiet van $40 \text{ m}^3/\text{h}$ per persoon.

Soort ruimte	Oppervlakte vloer [m^2]	Hoogte [m]	Volume [m^3]	Aantal personen	Debiet per persoon [$\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$]	Totaal debiet [m^3/h]	Ventilatievoud [h^{-1}]
Kleine vergaderzaal	40	2.5	100	20	40	800	8
Grote zaal	150	8	1200	15	40	600	0.5
Grote zaal	150	8	1200	120	40	4800	4
Klaslokaal	55	3	165	25	40	1000	6

Het begrip ventilatievoud is desondanks nuttig om niet-stationaire effecten in te schatten die zich voordoen bij de ingebruikname of na het gebruik van een ruimte.

Het verloop van de concentratie van een verontreiniging in een ruimte (CO_2 , fijnstof, aerosol) als functie van de tijd, bij ingebruikname, kan worden berekend met de vergelijking:

$$C_t = C_0 + (C_{\text{eind}} - C_0) (1 - e^{-nt})$$

Waarbij C_t de concentratie op tijdstip t , C_0 de beginconcentratie, C_{eind} de eindconcentratie, n het ventilatievoud [h^{-1}] en t de tijd die is verstreken [h]. De parameter $1/n$ wordt de tijdconstante genoemd. Het betreft de tijd waarbij het ventilatiedebiet gelijk is aan het volume van de ruimte. Dit betekent niet dat na deze tijd alle lucht in de ruimte volledig verversd

is, want ventilatie werkt door verdunning. Wanneer $nt = 1$ (de verstreken tijd is gelijk aan de tijdconstante), is de toename (of afname) van de concentratie 63% ten opzichte van de eindwaarde. Wanneer $nt = 3$ (de verstreken tijd is gelijk aan drie keer de tijdconstante), is de concentratie 95% ten opzichte van de eindwaarde. Vaak wordt dan verondersteld dat de eindwaarde is bereikt. Een belangrijk uitgangspunt is ook nog dat er wordt verondersteld dat er sprake is van volledige menging en een constante productie (bijvoorbeeld aanwezigheid van mensen met een continue activiteit). In de praktijk zal dit zeker niet altijd het geval zijn.

Met bovenstaande vergelijking kan ingeschat worden hoelang het duurt voordat een eindwaarde van een concentratie wordt bereikt. De tabel geeft enkele voorbeelden.

Ventilatievoud n [h^{-1}]	Tijdconstante 1/n	Tijdsduur 63% eindwaarde	Tijdsduur 95% eindwaarde
5	12 min	12 min	36 min
1	1 h	1 h	3 h
0.5	2 h	2 h	6 h

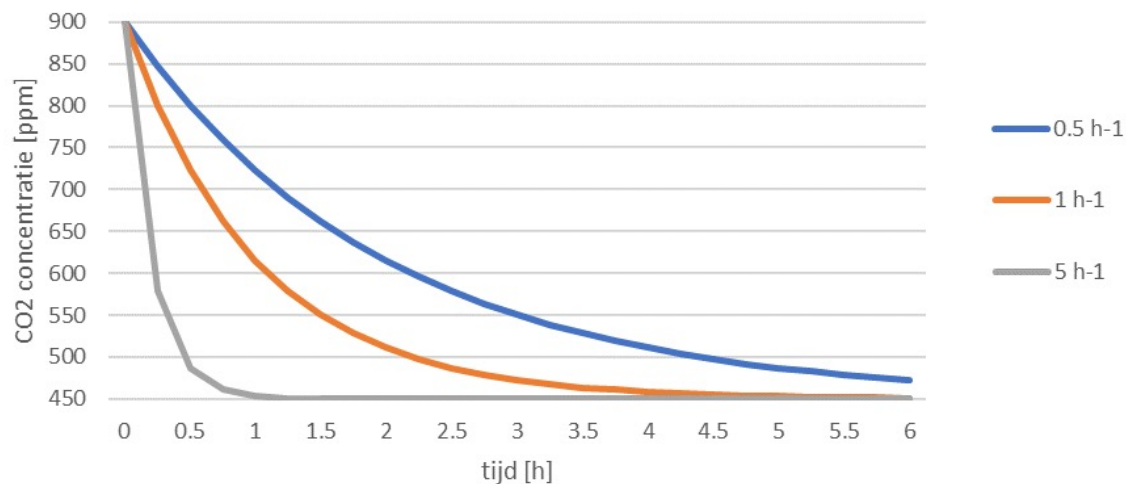


Het bepalen van de tijd die nodig is om weer de achtergrondconcentratie te bereiken na gebruik kent een vergelijkbare aanpak. De vergelijking is in dat geval:

- $C_t = C_{\text{eind}} + (C_0 - C_{\text{eind}}) (1 - e^{-nt})$

Opnieuw geldt dat na de tijdsduur van de tijdsconstante er een afname is van 63% en

na drie tijdconstanten 95%. Bij een startwaarde C_{eind} van 900 ppm en een achtergrondconcentratie C_0 van 450 ppm, is dit na 1 tijdconstante 616 ppm, en na drie tijdconstanten 472 ppm. Afbeelding B9.1 laat dit verloop zien voor een paar waarden van het ventilatievoud.



Afbeelding B9.1: Verloop van de CO_2 -concentratie bij verschillende waarden voor het ventilatievoud ($C_0 = 450$ ppm, $C_{\text{eind}} = 900$ ppm).

Bij een luchtreinigingsapparaat wordt gesproken van de Clean Air Delivery Rate (CADR), waarmee min of meer op dezelfde manier een ventilatievoud kan worden bepaald:

- $\text{Luchtreinigingsgraad [h}^{-1}\text{]} = \text{CADR [m}^3\text{/h]} / \text{volume ruimte [m}^3\text{]}$

Het hierboven beschreven verloop in de tijd is in principe ook van toepassing bij luchtreiniging. Echter, hierbij moet de aanwezige ventilatie worden meegenomen in de berekening. Voor verontreiniging die niet door de luchtreiniging wordt weggenomen moet alleen met het ventilatievoud gerekend worden.

Bijlage 10: Symbolen, eenheden en definities

- **N_{900}** : nominale bezettingsgraad die permanent aangehouden kan worden indien de streefwaarde voor de CO_2 -concentratie 900 ppm bedraagt (500 ppm boven de buitenconcentratie)
- **N_{1200}** : nominale bezettingsgraad waar de limietwaarde 1.200 ppm bedraagt
- **N_{eff}** : effectieve bezettingsgraad van de ruimte
- **Q_{mech}** : debiet van de mechanische ventilatie [m^3/h]
- **A_{open}** : de netto-oppervlakte van de openingen tussen de ruimte en de buitenomgeving [m^2]
 - klassiek opengaande ramen: lengte * breedte
 - kipramen, klapramen, ...: netto-afmetingen van de openingen
 - indien insectengaas: slechts 50 % van de oppervlakte in rekening brengen
 - openingen met lamellen: productgegevens gebruiken
- **H_{open}** : de netto-hoogte van het opengaande deel van een raam of opening [m]
- **MET**: indicator met betrekking tot de metabolische activiteit (Metabool Equivalent)
- **Rustige activiteit**: een activiteit die overeenstemt met een MET-waarde van 1,2
- **Natuurlijke ventilatie**: alle vormen van ventilatie die geen gebruikmaken van mechanische ventilatie (ventilatioeroosters, opengaande ramen en deuren)
- **Permanente CO_2 -metingen**: er gebeurt altijd een continue CO_2 -meting in de ruimte
- **Steekproefsgewijze CO_2 -metingen**: er wordt slechts gedurende bepaalde perioden een CO_2 -meting uitgevoerd. Dit kan zowel gaan om korte perioden voor momentane metingen of om metingen gedurende één of meerdere dagen.
- **CADR**: *Clean Air Delivery Rate* van een toestel voor luchtreiniging. De CADR geeft voor een bepaalde verontreiniging (meestal fijnstof) het debiet aan gereinigde lucht weer dat het toestel inblaast. Dit komt overeen met het debiet aan buitenlucht (in m^3/h) dat nodig zou zijn om dezelfde hoeveelheid verontreiniging af te voeren als het luchtreinigingsstoestel.





© Platform Binnenklimaattechniek

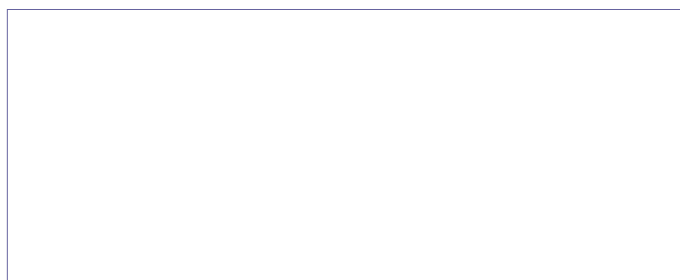
www.binnenklimaattechniek.nl

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd, hergebruikt, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande toestemming van Binnenklimaattechniek.



Deze publicatie wordt u aangeboden door:



Deze publicatie is ontwikkeld door:
www.binnenklimaattechniek.nl



Binnenklimaattechniek

Heeft u een opmerking of een vraag?

Wij helpen u graag via **www.binnenklimaattechniek.nl**

© Platform Binnenklimaattechniek | 2021