

Aanbevelingen voor de praktische implementatie en bewaking van ventilatie en binnenluchtkwaliteit in het kader van COVID-19

Taskforce Ventilatie
Version 2.0 – 12 juli 2021



Deze tekst kwam tot stand in de schoot van de taskforce ventilatie van het coronacommissariaat.

Leden van de werkgroep:

Sara Benoy (Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid)
Ann Beusen (VIPA)
Pierre-Yves Badot (Regie der gebouwen)
Benjamin Bienfait (FOD Economie)
Pieter Bolle (FOD WASO)
Samuel Caillou (WTCB)
Niels De Kempeneer (Vlaanderen – Departement Omgeving)
Arnold Janssens (UGent)
Jelle Laverge (UGent)
Yannick Paulet (Centre Régional de Crise de Wallonie)
Marianne Stranger (VITO)
Sofie Vandenbroeck (Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid)
Mart Verlaek (Vlaanderen – Departement Omgeving)
Peter Wouters (WTCB)

Werden betrokken via de stuurgroep:

Bart Bautmans (Vlaanderen)
Amaury Bertholome (Federatie Wallonië-Brussel)
Loic Bosson (Federatie Wallonië-Brussel)
Stijn Callebaut (Vlaanderen)
Guillaume Creusat (Bozar)
Christophe Delepine (AVIQ)
Brecht De Vos (Sport Vlaanderen)
Manu Dierckx (Vlaanderen)
Jean-Marie Dochy (Coronacommissariaat)
Marc Francaux (UCLouvain)
Thomas Gilson (Federatie Wallonië-Brussel)
Milis Gonzague (Waalse overheid)
Vincent Hitabatuma (Federatie Wallonië-Brussel)
Anthony Kets (Vlaanderen)
Cindy Lemoine (Federatie Wallonië-Brussel)
Eric Lambert (Regie der gebouwen)
Carl Maschietto (Service Publique de Wallonie)
Erik Smeets (Agentschap Facilitair Bedrijf, Vlaamse overheid)
Nathalie Snackers (DGOV)
Ellen Thielens (Vlaanderen)
Myriam Vanderlinden (AVIQ)
Kim Vanderpoorten (Departement Cultuur, Jeugd en Media, Vlaamse Overheid)
Stephane Vanreppelen (Bozar)
Alfred Volckaerts (FOD WASO)
Pierre Wilquet (Federatie Wallonië-Brussel)
Joerg Zimmerman (DGOV)

INHOUDSTABEL

1.	WIJZIGINGEN TEN OPZICHTE VAN DE VORIGE VERSIE	3
2.	INLEIDING	3
3.	VENTILATIE, CO ₂ EN COVID-19	6
4.	IMPLEMENTATIEPLAN	7
4.1	STAP 0: Open ramen en/of buitendeuren waar mogelijk	9
4.2	STAP 1: Informatie over de activiteiten.....	10
4.3	STAP 2: Zijn er mechanische-ventilatiesystemen aanwezig?	11
4.4	STAP 3: Analyse van de mechanische ventilatie-installatie	11
4.4.1	STAP 3.1: <i>Debiet verse lucht gekend in kader codex welzijn op het werk</i>	12
4.4.2	STAP 3.2: <i>Bepaling debiet verse lucht via rechtstreekse debietmetingen</i>	12
4.4.3	STAP 3.3: <i>Raming nominale capaciteit en/of debieten op basis van CO₂-metingen</i>	12
4.5	STAP 4: Bepaling van de nominale capaciteit op basis van het ventilatiedebiet	13
4.6	STAP 5: Is er een CO ₂ -meter beschikbaar?	14
4.7	STAP 6: Is er minstens één CO ₂ -meter per ruimte?	14
4.8	STAP 7: Uitvoering van permanente CO ₂ -metingen.....	14
4.9	STAP 8: Is de CO ₂ -concentratie zelden hoger dan 900 ppm?	14
4.10	STAP 9: Maatregelen bij hoge CO ₂ -waarden bij permanente metingen	15
4.11	STAP 10: Steekproefsgewijze CO ₂ -metingen.....	15
4.12	STAP 11: Zijn de steekproefsgewijze CO ₂ -concentraties voldoende laag?	15
4.13	STAP 12: Maatregelen indien steekproefsgewijze CO ₂ -waarden onvoldoende laag	16
4.14	STAP 13: Ramen en deuren altijd openhouden	16
4.15	STAP 14: Acties als de situatie OK is	17
4.16	STAP 15: Actieplan voor het verbeteren van de ventilatievoorzieningen	18
4.17	STAP 16: Luchtzuivering	18
5.	CHECKLIST	21
	BIJLAGE 1: CHECKLIST	0
	BIJLAGE 2: TIPS VOOR HET CREËREN VAN EEN DRAAGVLAK	0
	BIJLAGE 3: BSOH-TOOL – HET VOORSPELLEN VAN DE EVOLUTIE VAN DE CO ₂ -CONCENTRATIE	1
	BIJLAGE 4: BEPALEN VAN DE NOMINALE CAPACITEIT BIJ OPEN RAMEN EN BUITENDEUREN	3
	BIJLAGE 5: BEPALEN VAN VENTILATIEDEBIET OF NOMINALE CAPACITEIT OP BASIS VAN CO ₂ METINGEN	7
	BIJLAGE 6: CODEX OVER HET WELZIJN OP HET WERK.....	9
	BIJLAGE 7: INSCHATTING BESMETTINGSRISICO EN SPECIFIEKE STITUATIES.....	11
	BIJLAGE 8: TOEGELATEN CO ₂ NIVEAUS BIJ COMBINATIE VAN VENTILATIE EN LUCHTZUIVERING	12
	BIJLAGE 9: VENTILATIEVOUD	15
	BIJLAGE 10 -VENTILATIE MET RAMEN EN DEUREN – HOE PAK JE HET AAN?	20
	BIJLAGE 11: RELEVANTE DOCUMENTEN EN HYPERLINKS	23
	BIJLAGE 12: SYMBOLEN, EENHEDEN EN DEFINITIES	26

1. Wijzigingen ten opzichte van de vorige versie

De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de vorige versie zijn:

- In de inleiding wordt het risico van aerosoltransmissie genoemd. Ventilatie is één van de preventiemaatregelen naast het beperken van contacten, het beperken van de tijdsduur, het dragen van mondklappers, enz.
- Het algemeen schema werd aangepast en bevat nu een extra stap waarin de nodige ventilatiedebieten per persoon in functie van de activiteit worden bepaald. De nodige ventilatie hangt af van de activiteit. Om dit te bepalen werden verschillende activiteitsklassen ingevoerd.
- Na het verschijnen van het Ministerieel Besluit van 12 mei 2021 houdende de voorlopige bepaling van de voorwaarden voor het op de markt brengen van luchtzuiveringssystemen in het kader van de bestrijding van SARS-CoV-2 buiten medische doeleinden, werd de stap in verband met luchtzuivering verder uitgewerkt.
- De aanbevelingen in verband met de toegelaten bezetting bij openstaande ramen en buitendeuren werd verder verduidelijkt.
- Er werd praktische informatie toegevoegd over het ventilatievoud.
- Er werd een praktische bijlage toegevoegd in verband met het bepalen van een ventilatiestrategie.

2. Inleiding

Dit document beschrijft een pragmatische aanpak voor de implementatie van voldoende ventilatie en luchtzuivering om de verspreiding van het coronavirus en bij uitbreiding andere virussen binnen te kunnen minimaliseren.

Recent wetenschappelijk onderzoek toont aan dat aerosolen de hoofdroute zijn waarlangs de besmettingen verlopen, zie afbeelding 1. Daarnaast zijn er nog andere manieren van virusoverdracht waarbij ventilatie minder een rol speelt, zoals 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. Deze aerosolen zijn eerder klein (ongeveer 0,5 µm tot ongeveer 100 µm). 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 af van de hoeveelheid virusdeeltjes die een vatbaar persoon inademt. Dit betekent dat het risico op infectie via aerosolen verminderd kan worden door het voorzien van ventilatie en luchtzuivering. Daarnaast zal een mondklapper bij een (potentieel) geïnfecteerd persoon zorgen voor minder afgifte van deze besmettelijke aerosolen in de ruimte. Bijgevolg is het dragen van een mondklapper een maatregel aan de bron. Daarbij zijn FFP2-maskers efficiënter dan chirurgische mondklappers, die op hun beurt efficiënter zijn dan meerlagige katoenen mondklappers, enz. De aard van het stemgebruik zal ook een effect hebben. Zo zal, in vergelijking met licht ademen, fluisteren gemiddeld al 6x meer aerosolen produceren, gewoon praten 17x meer, roepen 34x meer en zingen zelfs 250x meer. Dit betekent bijgevolg dat het bijzonder zinvol is om binnen een mondklapper te dragen bij het gebruik van de stem. Verder zal ook het ademhalingsdebiet een invloed hebben. Bij grotere inspanningen worden grotere volumes lucht in- en uitgeademd. Hierdoor stijgt de potentiële dosis aan besmettelijke aerosolen. Deze dosis wordt ook bepaald door de tijdsduur dat men zich samen met een besmet persoon in een ruimte bevindt of in een besmette ruimte bevindt (d.i. een ruimte waarin zich

gedurende een tijd een besmet persoon heeft bevonden). 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 het risico is, maar anderzijds dat hoe beter er geventileerd wordt, hoe lager het besmettingsrisico zal zijn. Verdere info rond risicobepaling is opgenomen in [bijlage 7](#).



Afb. 1: Transmissiewijzen van SARS-CoV-2 en bij uitbreiding andere luchtwegvirussen.

Verder willen we erop wijzen dat ventileren en verluchten alleen niet voldoende is maar wel één van de maatregelen is om ons beter te beschermen tegen COVID-19 (zie afbeelding 2). Het toepassen van andere maatregelen blijft dus noodzakelijk: veiligheidsafstand, dragen van een mondkap, ontsmetten van oppervlakken, wassen van de handen, veiligheidsschermen voor zover ze de ventilatie niet hinderen ...

Het is ook belangrijk om te benadrukken dat dit document zich vooral **focust op korte- en middellange termijnacties**. Op langere termijn is het essentieel dat een goede binnenluchtkwaliteit permanent gegarandeerd kan worden in alle ruimten, doordat deze op een correcte wijze geventileerd kunnen worden. Hiervoor moet algemeen de aandacht voor ventilatie en de kennis over ventilatie(systemen) binnen de inrichting verhogen en de ventilatiesystemen beter onderhouden worden.

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.

Afb. 2 Maatregelen om jezelf en anderen te beschermen tegen COVID-19.

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

- vermijd het risico: kan een bijeenkomst elektronisch plaatsvinden, doe dit dan. Kan een activiteit buiten georganiseerd worden, dan biedt dit meer zekerheid dan binnen, laat je vaccineren
- beperken van het aantal vatbare aanwezigen in het lokaal.
- maatregelen aan de (potentiële) bron: draag een mondmasker, vooral binnen en zeker bij het gebruik van de stem (spreken, roepen, zingen), technische maatregelen: ramen en deuren openen, ventilatiesystemen, luchtzuivering ...
- persoonlijke bescherming: een mondmasker zal in een zekere mate de opname van aerosolen verminderen
- informatie voorzien voor medewerkers, vrijwilligers, deelnemers en klanten.

3. Ventilatie, CO₂ en COVID-19

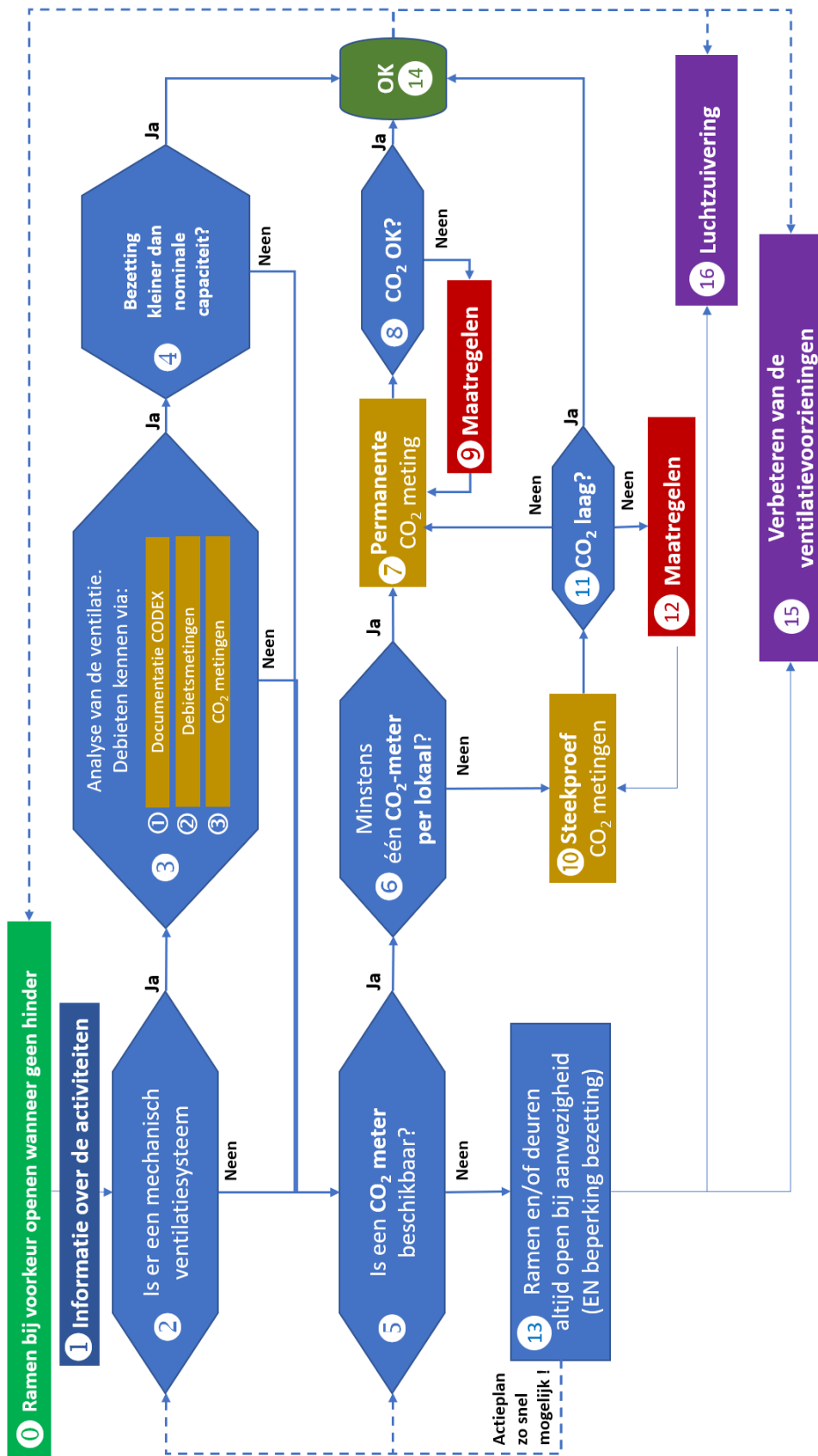
- Ventilatie is een doeltreffend middel om het risico op een COVID-19-besmetting door aerosolen te verminderen.
- Via de ademhaling en zeker bij stemgebruik komen er aerosolen vrij, die virussen bevatten als de persoon besmet is. Tegelijkertijd wordt er CO₂ uitgeademd, een gas waarvan de concentratie in de lucht eenvoudig gemeten kan worden. De CO₂-concentratie wordt daarom vaak gebruikt als indicator voor het ventilatiedebiet in ruimten waar personen in aanwezig zijn. Mondmasker houden geen CO₂ tegen, maar wel aerosolen. Door het gebruik van mondmaskers zal men de verspreiding van aerosolen in de ruimte dus kunnen beperken bij een gelijkblijvende CO₂-concentratie. Hoe lager de CO₂-concentratie, hoe lager de concentratie aan aerosolen, hoe kleiner het risico op besmetting door aerosolen.
- Naast het ventilatiedebiet zijn er nog andere factoren die een grote invloed hebben op het risico op virusoverdracht via aerosolen, met name: het aantal blootgestelde nog vatbare personen in een ruimte, het aantal besmette personen in deze ruimte, de duur van de blootstelling, het stemgebruik (zingen, roepen), het al dan niet dragen van een mondmasker, persoonlijke kenmerken van besmette en blootgestelde personen, ...
- Bij het uitademen, komt er CO₂ vrij. Bij een fysiek lichte activiteit is dit ongeveer 20 l/uur. De hoeveelheid CO₂ die vrijkomt neemt toe bij zwaardere activiteiten.
- In een ruimte met een permanente bezetting is er een eenduidige relatie tussen het verschil in CO₂-concentratie binnen en buiten en het ventilatiedebiet voor een specifieke activiteit. Tabel 1 geeft de resultaten weer voor een zittende activiteit en een zware activiteit.
- Voor het risico op virusoverdracht via aerosolen bestaat er geen drempelwaarde voor het ventilatiedebiet, de luchtverversingsgraad of de CO₂-concentratie waarmee men het risico op besmetting kan uitsluiten. Hoe meer ventilatie er voorzien wordt, hoe kleiner het risico wordt. Daarom moet men streven om binnen een CO₂-concentratie te hebben van vergelijkbare concentratie als buitenlucht (i.e. ± 400 ppm).
- Om dit risico 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 duidelijk onvoldoende is.
- Als de CO₂-concentratie lager is dan 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie), beschouwen we de ruimte als goed geventileerd. In de context van COVID-19 is dit een aanvaardbare waarde om op maatschappelijk vlak de verspreiding van het virus via aerosolen beperkt te houden. In de praktijk kan men het niet of zelden overschrijden van 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) voor een volwassene die een standaard lichte activiteit uitoefent min of meer garanderen bij een ventilatiedebiet van 40 m³/h.persoon aan verse buitenlucht. Dit minimale ventilatiedebiet zal hoger zijn bij intensieve activiteiten, aangezien er dan meer CO₂ en dus ook meer aerosolen geproduceerd worden.

CO ₂ -toename t.o.v. buitenconcentratie	CO ₂ -concentratie binnen, indien CO ₂ buiten 400 ppm	Ventilatiedebiet Standaard lichte activiteit (m ³ /h.persoon)	Ventilatiedebiet Zware activiteit (m ³ :h/persoon)
200	600	100	252
400	800	50	126
500	900	40	101
800	1.200	24	63
1.100	1.500	18	46

Tabel 1 Relatie tussen CO₂-concentratie en ventilatiedebieten .

4. Implementatieplan

Het implementatieplan dat voorgesteld wordt in afbeelding 2, focust zich op korte- en middellangetermijnmaatregelen die het toe moeten laten om een voldoende ventilatie te garanderen in het kader van de COVID-19-pandemie. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat één of meerdere van de volgende beperkingen van toepassing kunnen zijn: onvoldoende CO₂-toestellen beschikbaar, lange procedures voor het bestellen en leveren van CO₂-meters, geen mogelijkheid om op korte termijn mechanische-ventilatiegebieten te meten of een degelijk ventilatiesysteem te installeren ...



Afb. 3 Algemeen schema van het implementatieplan.

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

- **Open indien mogelijk de ramen en/of buitendeuren.** Het openen van ramen of buitendeuren zal bijdragen tot meer ventilatie en dient daarom zoveel mogelijk toegepast te worden waar dit mogelijk is. Wanneer deze openingen relatief groot zijn in verhouding tot de afmetingen van de ruimten, is er in principe maar een kleine kans op te hoge CO₂-concentraties, zie [bijlage 4](#).
- Het openen van ramen en deuren is niet altijd mogelijk of evident, zoals:
 - in situaties met een veiligheidsrisico, bv. banksector, musea, gevangenissen ...
 - in situaties waar de veiligheid van personen niet gegarandeerd kan worden, bv. psychiatrische centra ...
 - in situaties met veel buitenlawaai, druk verkeer ...
 - bij slechte weersomstandigheden (regen, wind ...)
 - voor de perioden of de ruimten waarin er actief verwarmd of gekoeld moet worden, kan 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, is het sluiten van de ramen aanvaardbaar. Maar het blijft wel zinvol om de ramen maximaal open te houden wanneer dit geen hinder veroorzaakt.

- **Permanent of tijdelijk openen van ramen en buitendeuren?**

Het beste resultaat wordt bekomen bij het permanent, maar eventueel op kipstand of op een kier 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 speelpauzes ... In dat geval is een CO₂-monitoring aangeraden ([STAP 7](#) of [STAP 10](#)).

Indien er geen ventilatiesysteem aanwezig is, kunnen de CO₂-concentraties snel oplopen als de ramen gesloten zijn.

- **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, zie bijlage 4.

- **Zijn open ramen en buitendeuren altijd nodig?**

Bij een goed werkend ventilatiesysteem kan men voldoende lage CO₂-concentraties (≤ 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie)) bekomen en is het niet strikt noodzakelijk om de ramen en/of buitendeuren te openen. Maar zoals eerder vermeld, is een lagere CO₂-concentratie altijd beter om het risico op besmetting te beperken. De REHVA ontwikkelde een '[guidance document](#)' waarin uitgebreid is opgenomen waar een goed werkend ventilatiesysteem allemaal aan voldoet.

4.2 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 nodige verse luchtdebiet dat nodig is om de CO₂-concentratie te beperken tot een bepaalde concentratie, hier 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie), of 1200 ppm (of 800 ppm boven de buitenluchtconcentratie). Dit verse luchtdebiet wordt aangeduid met resp. V_{900} en V_{1200} (m³/h/persoon).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van deze debieten in functie van typische activiteitsklassen en bijhorende gebouwfuncties. In alle omstandigheden waar de Codex welzijn op het werk geldt dient weliswaar minimum $V_{1200} = 25$ of $V_{900} = 40$ m³/h per persoon verse lucht gehanteerd te worden.

Met de kennis van de ventilatienoden voor een bepaalde functie kan men een betere inschatting maken over welke bezetting maximaal kan toegelaten worden in een lokaal met die functie als men meer informatie heeft over de aanwezige ventilatievoorzieningen ([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 in functie van leeftijd, geslacht, BMI, etc... Bij het uitoefenen van een activiteit varieert de MET-waarde ook in functie van 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](#)). Bijvoorbeeld bij kinderen tussen 6 en 11 jaar bedraagt de CO₂-productie gemiddeld ongeveer 65% van die van volwassenen bij eenzelfde activiteit, en kunnen de debieten in principe evenredig verminderd worden zonder de CO₂-grenswaarden te overschrijden.

Klasse	MET	CO ₂ -productie (*) (l/h)	V_{900} (m ³ /h)	V_{1200} (m ³ /h)	Voorbeelden
Rustig zittend	1.5	18	37	23	Neerzittend kijken of luisteren naar film, muziek of theater, toeschouwer in sporthal, leslokaal (**), zittend een religieuze dienst bijwonen
Standaard	1.63	20	40	25	Minimum standaard voor werklokalen (Codex), secretariaats- en kantoorwerk
Licht	1.8	22	44	28	Licht zittend handwerk, iets eten of drinken, haar- of schoonheidssalon, rondwandelen in een museum
Middelmatig	3.0	37	74	46	Gestadig werken met armen en handen, winkelen, indoor bowling
Zwaar	4.1	50	101	63	Intense arbeid met de armen en de romp

Zeer zwaar	5.2	64	128	80	Zeer intense en snelle arbeid, sporten zoals badminton, turnen, fitnessen, zwemmen, klimzaal
Intensief	7.3	90	180	112	Schaatsen, boksen, discodansen, baanwielrennen, squashen, tennissen

Tabel 2: Activiteitsklassen met bijhorende MET-waarde, CO₂-productie per persoon en behoefte aan verse lucht per persoon.

* gebaseerd op een CO₂-productie van 12,3*MET l/h

** de ventilatiebehoefte in leslokalen hangt sterk af van de aard van de lesactiviteiten en de leeftijd van leerlingen of studenten; jongere leerlingen produceren minder CO₂ dan oudere.

4.3 STAP 2: Zijn er mechanische-ventilatiesystemen aanwezig?

Indien er mechanische ventilatiesystemen aanwezig zijn met luchttoevoer en/of -afvoer in dezelfde ruimte, is het zinvol om het ventilatiedebiet te bepalen. Men bepaalt bij voorkeur het ventilatiedebiet in de hoogste stand en best ook de debieten in andere standen, zeker als het ventilatiesysteem een debietsregeling bevat waardoor het systeem niet altijd het maximale debiet levert. Daarnaast moet men nakijken wat het aandeel aan verse buitenlucht is.

Op basis van deze debieten met verse buitenlucht kan dan een **nominale capaciteit** 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-concentraties zal plaatsvinden en zonder de noodzaak om CO₂-metingen uit te voeren op voorwaarde dat de ventilatie correct gebruikt wordt. Bijvoorbeeld N₉₀₀ is dan de nominale capaciteit om de 900 ppm CO₂ niet te overschrijden.

Zorg ervoor dat het ventilatiesysteem werkt en onderhouden wordt volgens de voorschriften van de fabrikant of installateur (filters vervangen, reiniging, instellingen, ...). In dat verband blijven CO₂-metingen nuttig om te verifiëren dat het ventilatiesysteem goed blijft werken.

4.4 STAP 3: Analyse van de mechanische ventilatie-installatie

Deze analyse kan men opdelen in 2 activiteiten:

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

Opbouw van de installatie en regeling

In sommige gevallen is mechanische ventilatie installatie zeer eenvoudig (bvb. muurventilator met aan/uit schakelaar), in andere gevallen kan de installatie (zeer) complex zijn (bvb. als onderdeel van een HVAC installatie, installatie met recirculatie, installatie die dient voor meerdere ruimten, complexe regelsystemen, ...).

Het is belangrijk dat men de opbouw en de werking van de installatie goed kent, alvorens een bepaling van de debieten te willen uitvoeren.

Bepaling van de ventilatiedebieten

Een bepaling van de ventilatiedebieten per lokaal kan op meerdere manieren gebeuren:

1. indien er in het kader van de codex over het welzijn op het werk al een evaluatie uitgevoerd is, zal het debiet van de mechanische ventilatie normaal gezien gekend zijn (§ 4.4.1)

2. het is ook mogelijk om het debiet te meten met een debietmeter (§ 4.4.2)
3. een inschatting van het ventilatiedebiet kan ook gebeuren op basis van de evolutie van de CO₂-concentraties (§ 4.4.3).

BELANGRIJK: De debieten dienen bepaald te worden bij gesloten ramen en deuren, inclusief binnendeuren.

De codex over het welzijn op het werk moet verplicht nageleefd worden door werkgevers. De codex kan fungeren als een code van goede praktijk in alle andere gevallen.

4.4.1 **STAP 3.1:** Debiet verse lucht gekend in kader codex welzijn op het werk

In het kader van de codex over het welzijn op het werk moet elke werkgever beschikken over een risicoanalyse van de binnenluchtkwaliteit. De codex over het welzijn op het werk specificeert de maximale CO₂-concentraties of ventilatiedebieten. Als de voorziene CO₂-concentraties of ventilatiedebieten niet bereikt worden, moet er een actieplan toegepast worden. Zie [BIJLAGE 6](#).

In ruimten met mechanische ventilatie is het meten van de debieten van de mechanische ventilatie (Q_{mech}) de eenvoudigste manier om de conformiteit met de codex over het welzijn op het werk aan te tonen.

4.4.2 **STAP 3.2:** Bepaling debiet verse lucht via rechtstreekse debietmetingen

De Q_{mech} -debieten dienen minstens bepaald te worden in de maximale stand en eventueel ook bij andere regelstanden.

Het correct meten van mechanische-ventilatiedebieten vereist geschikte apparatuur alsook de nodige competentie. Praktische informatie over meetapparatuur kan men terugvinden in [Mechanische-ventilatiedebieten opmeten « WTCB-Contact • WTCB](#) (in NL en FR).

In het Vlaamse Gewest is er in het kader van de EPB-wetgeving een systeem van erkende ventilatieverslaggevers, die in principe beschikken over de geschikte apparatuur alsook over de nodige competentie voor residentiële installaties. Zie [Ventilatieverslaggever - Energiesparen](#)

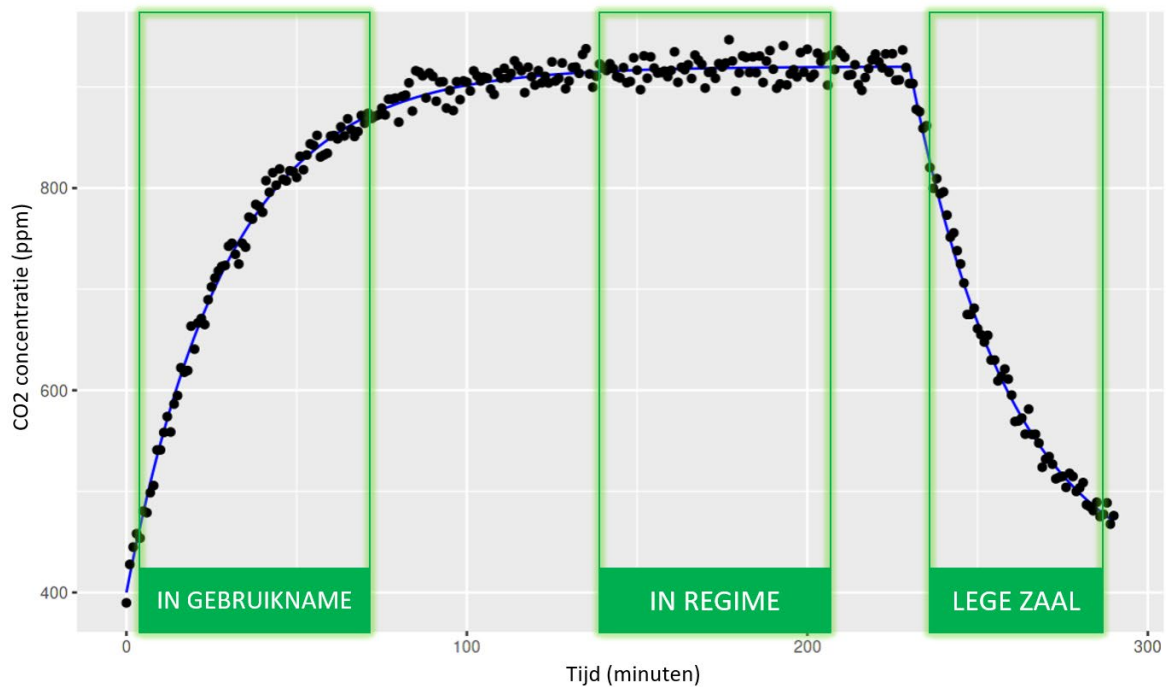
4.4.3 **STAP 3.3:** Raming nominale capaciteit en/of debieten op basis van CO₂-metingen

Als men niet over de nodige meetapparatuur voor debietmetingen beschikt en/of indien het niet evident is om de debieten te meten (grote ruimten ...), kan er op basis van de CO₂-concentratie in een stationair regime een inschatting gemaakt worden van het mechanische-ventilatiedebiet Q_{mech} en/of de nominale capaciteit.

Om een raming te maken van de prestaties van de mechanische ventilatie installatie is het belangrijk dat de ramen en deuren gesloten zijn tijdens de meetperiode. Het bekomen resultaat zal tevens de toevoer van buitenlucht via lucht lekkage door de gebouwschil omvatten.

Een raming van de debieten en/of nominale capaciteit kan in principe gebeuren in 3 verschillende regimes (Afbeelding 3):

- Bij ingebruikname van de ruimte
- Bij min of meer stationaire CO₂ concentratie
- Na verlaten van de zaal



Afb. 4: evolutie van de CO₂-concentratie van een lokaal met wisselende bezetting

Hoe je de nominale capaciteit of ventilatiedebieten berekent kan je terugvinden in [bijlage 5](#).

4.5 STAP 4: Bepaling van de nominale capaciteit op basis van het ventilatiedebiet

In [STAP 3](#) wordt het mechanische-ventilatiedebiet Q_{mech} bepaald in m³/h. Gezien het streefdoel is om de CO₂-concentratie te beperken tot 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie), komt dit overeen met een noodzakelijk ventilatiedebiet van V_{900} m³/h per persoon, waarvan de waarde afhangt van de activiteit van de aanwezigen (zie [STAP 1](#)).

De nominale capaciteit N_{900} , het aantal personen dat er permanent kan zijn zonder dat 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie) wordt overschreden, bedraagt bijgevolg:

$$N_{900} = \frac{Q_{mech}}{V_{900}}$$

- indien de effectieve bezetting N_{eff} niet groter is dan N_{900} , is er een zeer grote kans dat de CO₂-concentratie niet boven 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) zal komen en kan men de situatie als OK beschouwen (→ [STAP 14](#))
- indien de effectieve bezetting N_{eff} groter is dan N_{900} , zal 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) mogelijk wel overschreden worden en dient men over te gaan naar [STAP 5](#). Wanneer CO₂-metingen niet mogelijk zijn, is een hogere bezetting alleen toegelaten op voorwaarde dat de ramen en deuren geopend kunnen worden en deze altijd open staan ([STAP 13](#)).

OPMERKING: Wanneer in het kader van de codex over het welzijn op het werk de nominale capaciteit bepaald werd op basis van 1.200 ppm CO₂ (N₁₂₀₀), is het nodig om een correctie uit te voeren om de nominale capaciteit N₉₀₀ te bepalen:

$$N_{900} = (900-400)/(1200-400) * N_{1200} = 0,625 * N_{1200}.$$

Voorbeeld

Kapper: Volgens de tabel in stap 1 wordt een kapsalon gekenmerkt als een lichte activiteit met V₉₀₀ gelijk aan 44 m³/h per persoon. Indien er een mechanische ventilatie is met een Q_{mech}-debiet = 100 m³/h, is de nominale capaciteit N₉₀₀ = 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.

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

Wat de keuze en het gebruik van CO₂-meters betreft: zie document [‘Keuze en gebruik van CO₂-meters in het kader van COVID-19’ op de website van de FOD Economie](#).

Als men over een CO₂-meter beschikt, kan men checken of 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie) niet overschreden wordt → [STAP 6](#).

Als er geen CO₂-meters zijn, dient men over te gaan naar [STAP 13](#).

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

Het is ideaal om in elke ruimte minstens één CO₂-meter te hebben. Omwille van diverse redenen (budget, levertermijnen, marktaanbod ...) kan het evenwel mogelijk zijn dat men niet in elke ruimte een CO₂-meter kan plaatsen:

- 1) als er voor iedere ruimte wel een CO₂-meter beschikbaar is → [STAP 7](#)
- 2) als er niet voor iedere ruimte een CO₂-meter beschikbaar is → [STAP 10](#).

4.8 STAP 7: Uitvoering van permanente CO₂-metingen

Indien men permanent de CO₂-concentratie in een ruimte meet **EN** indien men de concentratie ook effectief opvolgt, kan men zeer goed inschatten of er voldoende ventilatie is en dit zowel voor mechanische-ventilatiesystemen als voor natuurlijke ventilatie.

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

Indien JA:

- er is in principe voldoende ventilatie en er zijn 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 wenselijk dat de concentraties regelmatig gecontroleerd worden.

Indien NEE:

- het is nodig om maatregelen te nemen → [STAP 9](#).

4.10 STAP 9: Maatregelen bij hoge CO₂-waarden bij permanente metingen

Als de CO₂-concentratie regelmatig (> 5% van de tijd) hoger is dan 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie), zijn er maatregelen nodig. Het type en de omvang van de maatregelen kunnen variëren in functie van de ventilatiecontext, het niveau van de CO₂-concentraties ...:

- indien er een werkende mechanische ventilatie aanwezig is met een gekend 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 capaciteit N_{900} . Bij te hoge concentraties moet men de bezetting beperken tot N_{900} of minder en/of moet men trachten de ventilatie te verhogen (het openen van ramen en/of deuren) en/of bijkomend luchtzuivering installeren. Zodra de CO₂-concentratie lager dan of gelijk is aan 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie), 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, een gebrekkig onderhoud ... Men kan een planning uitwerken om de ventilatiedebieten te verhogen.
- indien er geen mechanische ventilatie aanwezig is, is er geen sprake van een nominale capaciteit en zijn de mogelijke maatregelen: het openen van ramen en deuren, mechanische ventilatie installeren, luchtzuivering ([STAP 16](#)) of het verlagen van de bezetting. Men moet dan permanent opvolgen of de genomen maatregelen al dan niet voldoende zijn. Men dient ook een planning uit te werken om de ventilatievoorzieningen te verbeteren ([STAP 15](#)).

4.11 STAP 10: Steekproefsgewijze CO₂-metingen

Niet-continue monitoring van de CO₂-concentratie kan een eerste indicatie geven over de luchtkwaliteit en de ventilatievoorzieningen.

Deze aanpak is nuttig als men wel gebruik kan maken van een CO₂-meter, maar wanneer er een onvoldoende beschikbaarheid is om alle ruimten met CO₂-meters uit te rusten (vanwege lange leveringstermijnen, beperkte budgetten ...).

Wat de steekproefsgewijze aanpak betreft, zijn er diverse mogelijkheden:

- a) **regelmatig een relatief korte meting** uitvoeren in de verschillende ruimten (bij voorkeur naar het einde van een bezettingsperiode toe)
- b) **langere metingen per ruimte uitvoeren** (1 dag, 1 week ...) waarbij er telkens van ruimte veranderd wordt. Hiervoor gebruikt men bij voorkeur een CO₂-meter die een (grafisch ...) overzicht kan geven van de evolutie van de CO₂-concentratie
- 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.

4.12 STAP 11: Zijn de steekproefsgewijze CO₂-concentraties voldoende laag?

Er kunnen zich twee situaties voordoen:

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

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

Het is dan wel belangrijk om de steekproefsgewijze CO₂-metingen verder te zetten. De frequentie van deze steekproefsgewijze CO₂-metingen hangt af van de gemeten CO₂-niveaus, de weersomstandigheden (zie [bijlage 4](#)), de bezettingsgraad, het gebruik van de voorzieningen (open ramen en/of deuren) ...

2. als de CO₂-concentraties regelmatig in de buurt liggen van 800 - 900 ppm (of 400-500 ppm boven buitenluchtconcentratie) of meer

Indien er geen permanente mechanische ventilatie is, is de kans reëel dat (al dan niet op regelmatige basis) de CO₂-concentratie vaak hoger ligt dan 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie). In dat geval is het nodig om over te schakelen op permanente CO₂-metingen – zie [STAP 7](#).

Het is eveneens noodzakelijk om maatregelen te nemen → [STAP 12](#).

4.13 **STAP 12: Maatregelen indien steekproefsgewijze CO₂-waarden onvoldoende laag**

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 permanente CO₂-meting wordt. Indien dit praktisch niet mogelijk is, moeten de steekproefsgewijze metingen met een voldoende hoge frequentie uitgevoerd worden.

Indien er een permanente mechanische ventilatie aanwezig is, moeten er geen maatregelen genomen worden zolang de CO₂-concentratie niet hoger is dan 900 ppm (of 500 ppm boven buitenluchtconcentratie).

4.14 **STAP 13: Ramen en deuren altijd openhouden**

Als men geen indicaties heeft 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 en indien er mechanische ventilatie beschikbaar is, deze op de maximale stand zetten
- het beperken van de bezetting, waarbij de volgende vuistregel gehanteerd kan worden voor personen met een rustig zittende activiteit:
 - o maximaal 4 personen per m² netto-opening van ramen
 - o maximaal 7 personen per m² netto-opening van buitendeuren

Voor ruimtes met een andere activiteitsklasse moet de bezetting beperkt worden tot:

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

De onderbouwing van deze regel, de berekening van de netto-oppervlakte alsook een meer verfijnde berekening, kan men terugvinden in BIJLAGE 4

- op korte termijn CO₂-metingen uitvoeren ([STAP 7](#)) of, in het geval van mechanische ventilatie, debietmetingen ([STAP 3](#))
- het verbeteren van de ventilatie-installatie ([STAP 15](#)) en het eventueel toepassen van luchtzuivering ([STAP 16](#)).

In ruimtes met grote afmetingen (sporthallen, auditoria,...) duurt het ook enige tijd vooraleer de CO₂- en aerosol-concentraties toenemen. Hierdoor kan een dergelijke ruimte, ook al zijn er geen indicaties over de ventilatie van de ruimte, gedurende een bepaalde tijd gebruikt worden door een aantal aanwezigen vooraleer de CO₂-concentratie hoger is dan 900 ppm (of 500 ppm boven de buitenconcentratie). De bezetting moet in dit geval beperkt blijven tot:

- o maximaal $V/(V_{900} \cdot t)$ personen. Hierbij is V het volume van de ruimte (m³), V₉₀₀ de ventilatiebehoefte per persoon (m³/h), en t de duur van de activiteit (in h).

Deze formule gaat er van uit dat de geproduceerde CO₂ gelijkmatig verdeeld wordt over de ruimte en dat er geen luchtverversing is. De inschatting van de toelaatbare bezetting is dus aan de veilige kant, op voorwaarde dat bij het begin van de activiteit de CO₂-concentratie gelijk is aan die van de buitenomgeving. Deze vuistregel is dus enkel nuttig voor ruimtes die intermitterend gebruikt worden, en waar er voldoende tijd is tussen opeenvolgende activiteiten om er voor te zorgen dat de CO₂-concentratie voor aanvang van een nieuwe activiteit sterk afgenomen is.

Voorbeeld: in een theater met een volume van 3000 m³ wordt een voorstelling van 1.5 uur gehouden. De ventilatiebehoefte V_{900} is 37 m³/h (zie [STAP 1](#)). Bijgevolg kunnen maximaal $3000/(37*1.5)$ of 54 personen de voorstelling bijwonen, ook al is er geen informatie over de ventilatie van deze zaal bekend.

4.15 [STAP 14](#): Acties als de situatie OK is

Wanneer er op basis van de debietsbepalingen ([STAP 3](#)) of CO₂-metingen ([STAP 7](#) en [STAP 10](#)) een behoorlijk grote zekerheid is dat de ventilatie voldoende is voor de bezetting, kan men veronderstellen dat de CO₂-streefwaarden zelden overschreden zullen worden.

De volgende aandachtspunten zijn 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. Een regelmatige controle van de CO₂ concentraties is in die context zeker nuttig.
- daarnaast is het aangewezen dat de installatie al enige tijd vóór de aanvang van de activiteiten in werking is, en dat ze na het beëindigen van de activiteiten ook nog een tijdje functioneert totdat de CO₂-concentraties voldoende laag zijn.

Indien men de activiteiten met geopende ramen kan uitvoeren zonder al te veel hinder ([STAP 0](#)), is dit aangewezen zodat de CO₂-concentraties verlaagd worden.

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

Een situatie kan men als in orde beschouwen wanneer:

- de volgende maatregelen genomen worden:
 - o waar mogelijk wordt er maximaal voorzien in natuurlijke ventilatie door het openen van ramen en deuren ofwel
 - o de systemen worden onderhouden en afgesteld zodat het debiet gemaximaliseerd wordt en er een aanvoer is van 100 % verse buitenlucht. De ventilatiesystemen zorgen voor voldoende voor- en na-ventilatie
- en er minimaal de volgende resultaten aangetoond kunnen worden:
 - o ofwel kan er via ventilatie voor gezorgd worden dat de CO₂-concentratie doorgaans (> 95 % van de tijd) onder 900 ppm of 500 ppm boven de buitenluchtconcentratie blijft. Deze situatie wordt eveneens als in orde beschouwd indien men kan garanderen dat er voor elke aanwezige persoon in iedere ruimte voldoende verse buitenlucht (40 m³/h voor een lichte activiteit, hogere waarden voor andere activiteiten,... zie tabel 2) aangevoerd kan worden
 - o ofwel neemt men bijkomende maatregelen (specifieke mondmaskers, luchtzuivering ...) op basis van een risicoanalyse om ervoor te zorgen dat de hoeveelheid aerosolen in de binnenlucht niet hoger ligt dan wanneer de ventilatie gebeurt conform de specificaties van dit document en men dus via ventilatie onder de 900 ppm CO₂ zou blijven. In dat geval dient er alsnog voldoende ventilatie voorzien te worden zodat de

CO₂-concentratie niet stijgt boven de 1200 ppm of 800 ppm boven de buitenluchtconcentratie. Deze situatie wordt eveneens als in orde beschouwd indien men kan garanderen dat er voor elke aanwezige persoon in iedere ruimte voldoende verse buitenlucht (25 m³/h voor een lichte activiteit, hogere waarden voor andere activiteiten,... zie tabel 2) aangevoerd kan worden

4.16 STAP 15: Actieplan voor het verbeteren van de ventilatievoorzieningen

Indien er in een ruimte geen degelijke of onvoldoende ventilatievoorziening aanwezig is en men enkel aan de CO₂-richtwaarden kan voldoen door het openen van ramen of deuren, is het wenselijk om een actieplan uit te werken om er op termijn voor te zorgen dat er ventilatievoorzieningen aanwezig zijn waarmee men een voldoende ventilatie kan bekomen, zonder dat het nodig is om de ramen en 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 10](#)).

Dit zal er trouwens ook voor zorgen dat de ruimten waarin werknemers actief zijn, beantwoorden aan de bepalingen uit de codex over het welzijn op het werk. Bovendien kan een degelijke ventilatie ook zorgen voor minder besmettingen bij griep of andere virussen, en ze kan eveneens een positieve invloed hebben op de prestaties van personen die aanwezig zijn in de ruimte.

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

- Verlucht en/of ventileer zo veel mogelijk, waarbij de luchtrecirculatie zo veel mogelijk en indien mogelijk volledig wordt afgesneden en 100 % verse lucht wordt aangevoerd.
- Als het niet mogelijk is om de recirculatie van lucht uit de ruimte volledig af te sluiten, moet de toevoer van verse lucht maximaal verhoogd worden.
- 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.
- Zorg bij renovatie of de plaatsing van een nieuw systeem voor een gecentraliseerde luchtfiltratie.

4.17 STAP 16: Luchtzuivering

Het gebruik van luchtzuiveringstoestellen, als aanvulling op de ventilatie, biedt mogelijkheden in het kader van de COVID-19-pandemie om het besmettingsrisico verder te doen dalen. Luchtzuivering kan toegepast worden wanneer het verzekeren van het beoogde ventilatiedebiet om praktische redenen niet volledig haalbaar is, of als aanvullende maatregel in een ruimte die reeds voldoende geventileerd wordt. Door potentieel besmettelijke aerosolen uit de lucht te verwijderen of te inactiveren, zal de luchtzuivering het besmettingsrisico verder beperken.

De eisen waaraan dergelijke toestellen in de strijd tegen SARS-CoV-2 dienen te voldoen zijn vastgelegd in een [ministerieel besluit](#) dat van kracht ging op 28 mei 2021. Het besluit is van toepassing op systemen voor gebruik in publiek toegankelijke ruimtes, specifiek ingezet om het risico op COVID-19 te beperken. Een actuele lijst van gecontroleerde en op de markt toegestane systemen voor gebruik in publiek bezochte ruimtes kan teruggevonden worden op www.corona-ventilation.be. Het is aangewezen om de lijst van goedgekeurde toestellen te raadplegen.

Luchtreiniging kan zowel centraal gebeuren in het HVAC-systeem of via mobiele luchtreinigers. Het hierboven vermelde ministerieel besluit behandelt beide types systemen.

De werking van luchtzuivering

Luchtreinigers garanderen niet het behalen van een algemeen goede binnenluchtkwaliteit en zijn dus geen evenwaardig alternatief voor adequate ventilatie in algemene termen. Ventilatie zorgt namelijk voor de afvoer van het geheel aan pollutanten in de binnenlucht (gassen, partikels, micro-organismen) naar buiten toe alsook voor de aanvoer van ‘verse’ buitenlucht, waardoor de concentraties van alle binnenpolluenten zullen dalen. Luchtzuivering daarentegen richt zich op de captatie, filtratie of inactivatie van één of meerdere specifieke pollutanten (bv. inactivatie op micro-organismen) en laat andere pollutanten ongemoeid. Zo hebben sommige luchtzuiveringstechnologieën relevant voor SARS-CoV-2 doorgaans geen invloed op gasvormige pollutanten. Het CO₂-gehalte in de ruimte zal ook niet dalen door gebruik te maken van luchtzuivering (ongeacht de technologie waarop deze gebaseerd is). Daardoor ontstaat er een andere relatie tussen de CO₂-concentratie en het infectierisico dan wanneer er geen luchtzuivering is. Hierdoor zal er een equivalente CO₂-limiet moeten worden gehanteerd (zie [bijlage 8](#)).

Wanneer men kiest voor luchtzuivering, dan is het nuttig om in kaart te brengen welke pollutanten er allemaal in de binnenlucht aanwezig zijn of aanwezig kunnen zijn en om te kiezen voor een toestel die deze pollutanten zo veel als mogelijk verwijdert.

Let wel: het gaat om toestellen die rechtstreeks de binnenlucht zuiveren. Toestellen en filters die enkel de verse buitenlucht zuiveren (als onderdeel van een mechanisch ventilatiesysteem) zijn in deze context niet relevant, gezien de verse buitenlucht kan worden verondersteld virusvrij te zijn.

Twee types luchtzuivering:

Captatie: afvang van potentieel virus bevattende partikels (bv. HEPA-filter, ESP gebaseerde systemen)

Inactivatie: beschadiging van alle of specifieke micro-organismen in een luchtstroom, zodat deze zich niet meer kunnen vermeerderen of verspreiden (bv. UV-C, ...)

Er bestaan verschillende types toestellen, waarvan HEPA filters en elektrostatische stofvangers (ESP) de meest aangewezen types zijn voor toepassing ter vermindering van het besmettingsrisico door aerosolen. ESP kan ook ongewenste nevenproducten zoals O₃ of OH-produceren, doorgaans in uiterst beperkte hoeveelheden. Voor de werkzaamheid en veiligheid van de toestellen kan verwezen worden naar [de toestellenlijst van FOD Volksgezondheid](#). Voor de reeds geïnstalleerde toestellen die niet op deze lijst staan, is het nuttig om de fabrikant te vragen om het nodige te doen om opgenomen te worden op deze lijst.

Het gebruik van luchtzuivering

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. Een lagere debietstand zal een lagere efficiëntie van de luchtzuivering met zich meebrengen. Informatie over het geluidsniveau kan veelal teruggevonden worden in de technische documentatie van het toestel.

Elk luchtzuiveringstoestel dient onderhouden en gereinigd te worden volgens de instructies op de technische informatie van het toestel. Onzuiverheden in het toestel of verzadigde filters kunnen de doeltreffendheid van de luchtreiniging en bij sommige toestellen ook het energieverbruik beïnvloeden. Houd er rekening mee dat filters potentieel gecontamineerd kunnen zijn, dus gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen is aangewezen tijdens onderhoud.

Positionering toestel: do's & don'ts

- Niet in de buurt van buitendeuren en openstaande ramen
- Niet in de hoek van een ruimte, best zo centraal mogelijk
- Voldoende vrije ruimte rond de aanzuigzijde van het toestel
- In functie van de vorm van de ruimte, beter twee kleine i.p.v. 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 luchtzuivering

Voor elk type toestel duidt de Clean Air Delivery Rate (CADR) voor fijn stof (PM 2.5) het equivalente ventilatiedebiet aan dat met dit toestel 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} is dan gelijk aan $Q_{mech} + CADR$.

Dit debiet dient (substantieel) groter te zijn dan het minimale ventilatiedebiet voor de nominale capaciteit zoals gedefinieerd in [STAP 4](#).

Let wel: Luchtzuivering als alternatief of aanvullend voor ventilatie zal de CO₂ concentratie niet verlagen. In alle omstandigheden waar de CODEX geldt, dient minstens 25 of 40 m³/h.persoon buitenlucht gehanteerd te worden.

Het toepassen van luchtzuivering leidt tot een verlaging van de aerosol- of fijnstofconcentraties, maar vertaalt zich niet in een verlaging van de CO₂ concentratie.

Voorbeeld:

- Veronderstel: debiet van 40 m³/h buitenlucht voor standaard lichte activiteit betekent een verhoging van CO₂ concentratie met 500 ppm (900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) absoluut)
- Indien men 25 m³/h buitenlucht combineert met een luchtzuivering overeenstemmend met een CADR van 15 m³/h.persoon heeft men een equivalent debiet aan buitenlucht van 40 m³/h, maar zal de toename van de CO₂-concentratie 800 ppm bedragen (1200 ppm absoluut)
- Wanneer men in een dergelijke situatie (25/40 (62.5%) buitenlucht en 15/40 (37.5%) via luchtzuivering) de CO₂-concentratie beneden 1200 ppm kan houden heeft men een

m.b.t. aerosolen, een luchtkwaliteit vergelijkbaar met 100% buitenlucht en 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie).

Bepaling van een aangepaste CO₂ limiet bij gebruik van luchtzuivering

Indien men luchtzuivering toepast in combinatie met CO₂ monitoring is het belangrijk om een gecorrigeerde CO₂ limiet te hanteren. Daarbij is het wel belangrijk dat de gemeten CO₂-waarde nooit hoger dan 1200 ppm komt.

5. Checklist

In BIJLAGE 1 vindt men een checklist die als hulp kan dienen bij de evaluatie.

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.		Hou ook rekening met risico's in verband met (brand)veiligheid ...	1																																
1	Informatie over de activiteiten	<p>Bepaal in functie van de activiteit de nodige hoeveelheid verse lucht (V_{900}).</p> <p>Voorzie in minstens 5/8^{ste} van dit nodig debiet in verse buitenlucht eventueel aangevuld met minstens 3/8^{ste} van het nodige debiet aan luchtzuivering. Meer luchtzuivering zal het risico verder doen dalen.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Klasse</th> <th>MET</th> <th>V_{900} (m³/h)</th> <th>V_{1200} (m³/h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rustig zittend</td> <td>1.5</td> <td>37</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Standaard</td> <td>1.63</td> <td>40</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Licht</td> <td>1.8</td> <td>44</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Middelmatig</td> <td>3.0</td> <td>74</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>Zwaar</td> <td>4.1</td> <td>101</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>Zeer zwaar</td> <td>5.2</td> <td>128</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Intensief</td> <td>7.3</td> <td>180</td> <td>112</td> </tr> </tbody> </table> <p>Zie omschrijving in tabel 2</p>	Klasse	MET	V_{900} (m ³ /h)	V_{1200} (m ³ /h)	Rustig zittend	1.5	37	23	Standaard	1.63	40	25	Licht	1.8	44	28	Middelmatig	3.0	74	46	Zwaar	4.1	101	63	Zeer zwaar	5.2	128	80	Intensief	7.3	180	112	2
Klasse	MET	V_{900} (m ³ /h)	V_{1200} (m ³ /h)																																	
Rustig zittend	1.5	37	23																																	
Standaard	1.63	40	25																																	
Licht	1.8	44	28																																	
Middelmatig	3.0	74	46																																	
Zwaar	4.1	101	63																																	
Zeer zwaar	5.2	128	80																																	
Intensief	7.3	180	112																																	
2	Zijn er mechanische-ventilatiesystemen aanwezig?	Ja Nee		Ja: 3.1 Nee: 5																																
3.1	Debiet gekend in het kader van de codex over het welzijn op het werk?	Q_{mech} gekend	Elke werkgever zou reeds moeten beschikken over een risicoanalyse van de binnenluchtkwaliteit.	Ja: de debieten zijn in principe gekend, ga naar stap 4.																																

		Nee		Nee: 3.2
3.2	Voer in elke ruimte een debietmeting uit.	Q_{mech} wordt voor elke ruimte bepaald in m ³ /h.	Doe dit minstens op maximale stand en bij voorkeur ook op andere regelstanden. Dit moet gebeuren door een expert.	Kan bepaald worden: stap 4 . Kon niet (snel) bepaald worden: stap 3.3 .
3.3	Raam het debiet op basis van het verschil in CO ₂ -concentratie tussen binnen en buiten.	$Q_{mech} = \frac{500 * 40 * MET * N}{1,63 * (CO_{2,binnen} - CO_{2,buiten})}$ waarbij N het aantal aanwezigen is en MET de MET-waarde van de activiteit. Voor personen die een rustige activiteit uitoefenen is de MET-waarde 1,63.	Bekijk de verschillende voorwaarden waaraan voldaan moet worden opdat men deze methode mag gebruiken.	Kan bepaald worden: stap 4 . Kon niet bepaald worden: stap 5 .
4	Nominale capaciteit van elke ruimte	$N_{eff} =$ $N_{900} = Q_{mech} / V_{900} =$	= aantal personen dat permanent aanwezig mag zijn zodat 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) CO ₂ niet overschreden wordt N _{eff} is de effectieve bezetting.	Indien $N_{eff} \leq N_{900}$: stap 14 Indien $N_{900} \leq N_{eff} \leq N_{1200}$: stap 4.1 Anders: stap 5
4.1	Indien conformiteit met de codex over het welzijn op het werk mogelijk is op basis van 1200 ppm.		Indien N_{1200} gekend is: $N_{eff} = 0,625 * N_{1200}$ Ofwel: een bijzondere risicoanalyse wijst uit dat er een evenwicht gevonden wordt tussen de afmetingen van de ruimte, de mate van ventilatie, de luchtvochtigheid, de activiteit, het al dan niet dragen van mondklappers en het type mondklapper en de tijdsduur dat men aanwezig is.	Ga naar stap 5 .

5	Zijn er CO ₂ -meters beschikbaar?		Overweeg het aankopen, huren of lenen van CO ₂ -meters. Er is een afzonderlijk document beschikbaar over CO ₂ -meters en CO ₂ -metingen: ‘Keuze en gebruik van CO₂-meters in het kader van COVID-19’ .	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 het CO ₂ -gehalte.		Blijf de waarde monitoren en neem maatregelen. Bekijk de tabel onder deze checklist om dit op te volgen.	Bepalen waarde: stap 8 Bepalen maatregelen: stap 9 Als er voldoende vertrouwen is na een meetperiode: stap 14
8	Evalueer de CO ₂ -concentratie.	Ligt de CO ₂ -concentratie gedurende 95 % van de tijd lager dan 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie)?	Bij wisselende bezetting en wanneer er alleen natuurlijke ventilatie gebruikt wordt, is het nodig om deze metingen regelmatig te herhalen. Bekijk de tabel onder deze checklist om dit op te volgen	Indien OK: stap 14 Indien niet OK: stap 9
9	Neem bijkomende maatregelen.		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"> - bijkomend openen van ramen en deuren - een ventilatie-installatie en eventuele luchtzuivering overwegen - een actieplan opmaken. 	Indien er bijkomende maatregelen genomen zijn: stap 7 Actieplan: stap 15 Luchtzuivering: stap 16

10	Monitor steekproefsgewijs het CO ₂ -gehalte.		<p>Er zijn diverse mogelijkheden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - regelmatig een korte meting uitvoeren, in het bijzonder op het einde van een bezettingsperiode - metingen uitvoeren van 1 dag of 1 week per ruimte - een combinatie van bovenstaande mogelijkheden. 	<p>Evaluatie metingen: stap 11 Bepalen maatregelen: stap 12 Als er voldoende vertrouwen is na een meetperiode: stap 14</p>
11	Evalueer de CO ₂ -concentratie.	<p>CO₂-concentraties laag tot zeer laag (grootteorde van 500 tot 700 ppm)? CO₂-concentraties eerder hoog (≥ 750 ppm)?</p>	<p>Indien laag tot zeer laag bij een maximale bezetting: situatie OK, verder steekproeven nemen.</p> <p>Indien eerder hoog: overstappen op permanente metingen en bijkomende maatregelen nemen.</p>	<p>Indien laag tot zeer laag: stap 14</p> <p>Indien eerder hoog: stap 12</p>
12	Maatregelen bij onvoldoende lage CO ₂ -concentraties tijdens steekproefsgewijze metingen		<p>Indien mechanische ventilatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ventilatie aanvullen door het openen van ramen en/of deuren - de bezettingsgraad beperken. <p>Indien natuurlijke ventilatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - het bijkomend openen van ramen en deuren - het inzetten van luchtzuivering - een actieplan opmaken. <p>Evalueer deze ruimte onmiddellijk opnieuw via een permanente meting</p>	<p>Neem maatregelen en meet direct opnieuw: stap 10 Actieplan: stap 15 Luchtzuivering: stap 16</p>
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 conform tabel 3 (bijlage 4) 	<p>Maatregelen nemen: stap 15 + 16 Indien ventilatiesysteem: stap 2</p>

			<ul style="list-style-type: none"> - onmiddellijk compenserende maatregelen nemen, zoals het continu dragen van mondklappers in afwachting van verdere maatregelen - op korte termijn CO₂-metingen uitvoeren of, in het geval van mechanische ventilatie, debietmetingen. 	Indien natuurlijke ventilatie: stap 5
14	Situatie is OK, maar bijkomende maatregelen kunnen zinvol zijn.		<p>Situatie is aanvaardbaar, maar het is zinvol om bijkomende maatregelen te overwegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ramen en deuren openen waar mogelijk - bij natuurlijke ventilatie een mechanische ventilatie en een eventuele luchtzuivering voorzien 	
15	Verbeteren van de ventilatievoorzieningen.		Actieplan opstellen om ventilatievoorzieningen te voorzien, zodat er geventileerd kan worden zonder het openen van ramen of deuren. Dit zal 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.	<p>Permanente metingen: stap 7</p> <p>Steekproefsgewijze metingen: stap 10</p> <p>Herevaluatie: stap 2</p>
16	Bijkomende luchtzuivering voorzien	Om te voldoen aan de voorwaarde dat CO _{2,equivalent} niet hoger dan 1200 ppm is moet aan de volgende 3 voorwaarden worden voldaan:	CO _{2,equivalent} kan dan worden berekend met de volgende formule:	

		<ol style="list-style-type: none"> 1. $Q_{mech} + CADR \geq 25 * MET * N$ 2. $Q_{mech} \geq 15 * MET * N$ 3. $CA DR \geq 25 * MET * N - Q_{mech}$ 	$CO_{2,equivalent}$ $= Min \left(\frac{Q_{mech} + CADR}{Q_{mech}} \cdot 500, 800 \right)$ $+ 400$ <p>Zie lijst met goedgekeurde toestellen op de website van FOD Volksgezondheid</p>	
--	--	---	---	--

Indien er op basis van bovenstaand stappenplan permanente of periodieke CO₂-metingen uitgevoerd moeten worden:

Opvolgen van de ventilatie op basis van CO ₂ -metingen	
	Vul in
Er is een verantwoordelijke aangeduid 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.	
Er wordt opvolging voorzien als er in ruimten herhaaldelijk overschrijdingen vastgesteld werden.	
Omschrijf welke acties er ondernomen werden.	

BIJLAGE 2: Tips voor het creëren van een draagvlak

Hoe creëer je een groot draagvlak en zorg je ervoor dat heel je organisatie meewerkt aan een goede ventilatie. Enkele tips!

Informeer iedereen over het nut van ventileren en verluchten. Welk ventilatiesysteem is er aanwezig in het gebouw? Wat kunnen de werknemers zelf doen rond ventilatie? Maak bv. 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 van CO₂-meters. Geef tips om de CO₂-meter te gebruiken in je organisatie. Bespreek de ervaringen in verband met het gebruik van deze CO₂-meters.

Onderneem actie als de CO₂-meters vaak hoge waarden aangeven of in het oranje/rood gaan. Onderzoek wat de oorzaken zijn:

- in het geval van natuurlijke ventilatie zijn mogelijke oorzaken: ontoereikende ventilatiemogelijkheden, ramen die gesloten worden vanwege straatlawaai ... Voor meer informatie, zie [‘Het effect van het gebruik van een CO₂-meter op het ventilatie-en verluchtingsgedrag in de klas’](#).
- mogelijke problemen met mechanische-ventilatiesystemen zijn: verstopte filters, te weinig ventilatiedebiet, slechte afregeling, ventilatiesysteem is uitgeschakeld, te lage stand van het debiet van het systeem, bij systeem C staan de roosters toe of zijn ze afgeplakt, onvoldoende luchtdoorstroming bij gesloten binnendeuren ... Bij een installatie met CO₂-sturing is het mogelijk dat de instellingen aangepast moeten worden. Kijk de volgende zaken na: is jouw systeem van het type C of D? Werk je met een vraaggestuurd systeem en met welke factoren houdt het systeem rekening, bv. CO₂-gehalte, bezettingsgraad of andere factoren? Is het aanpasbaar per lokaal of aanpasbaar voor een deel van het gebouw of wordt het centraal afgeregeld? Contacteer indien nodig de onderhoudsfirma.

Maak afspraken rond de bezettingsgraad van de ruimten

Stel een verantwoordelijke aan voor het ventilatiebeleid. Stel een verantwoordelijke aan voor de werking van het ventilatiesysteem.

Duid een aanspreekpunt aan voor klachten dat eveneens ondersteuning biedt omtrent ventileren en verluchten, inclusief het gebruik van de CO₂-meter.

Maak afspraken met de poetsdienst over het reinigen van de ventilatieroosters en ventilatieopeningen. Neem dit op in hun planning.

Maak afspraken omtrent het onderhoud van het ventilatiesysteem. Bepaal in het onderhoudsschema (en -contract) de frequentie van het nazicht en de vervanging van onderdelen (bv. filters).

BIJLAGE 3: BSOH-tool – het voorspellen van de evolutie van de CO₂-concentratie

De [rekentool CO_{2sim}](#) van de [BSOH](#) (*Belgian Society for Occupational Health* of de Belgische wetenschappelijke vereniging voor de arbeidshygiëne) laat toe om een inschatting te maken van de evolutie van de CO₂-concentratie in functie van de tijd. Hierbij zijn er een groot aantal variabelen die een rol spelen en die men kan selecteren in de rekentool.

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 Task) is voor volwassenen een maat voor de hoeveelheid energie die een bepaalde fysieke inspanning kost.

De CO₂-productie verandert lineair evenredig met de MET-waarde. De MET-waarde is één van de parameters in de rekentool.

Het gebruik van de [tool](#) is vrij eenvoudig. Op de startpagina moet men de keuze maken voor het empirische model of het wetenschappelijke model. Het empirische model bevat de activiteitsklassen zoals ze bepaald werden in deze tekst. Bovendien kan men meerdere simulaties automatisch aan elkaar koppelen.

- Hiervoor dient men na de 1^{ste} simulatie de grafiek te bewaren (“Add to combined plot” die dan onderaan de pagina verschijnt).
- Vervolgens kan men de gegevens in de tabbladen “Subjects”, “Room” en “Simulate” wijzigen, waarbij de simulatie dan vertrekt van de eindwaarde van de eerste simulatie. Door te klikken op “Add to combined plot” wordt de grafiek toegevoegd aan de vorige grafiek
- Deze procedure kan men meermaals herhalen.
- Afbeelding 5 is een voorbeeld en het resultaat van 3 simulaties:
 - o 1^{ste} simulatie: 40 personen gedurende 90 minuten in lokaal van 1800 m³ en mechanische ventilatie met buitenlucht 800 m³/h
 - o 2^{de} simulatie: geen personen met hetzelfde ventilatiedebiet gedurende 1 uur
 - o 3^{de} simulatie: geen personen met verhoogd ventilatiedebiet van 4000 m³/h gedurende 1 uur

Voorbeeld

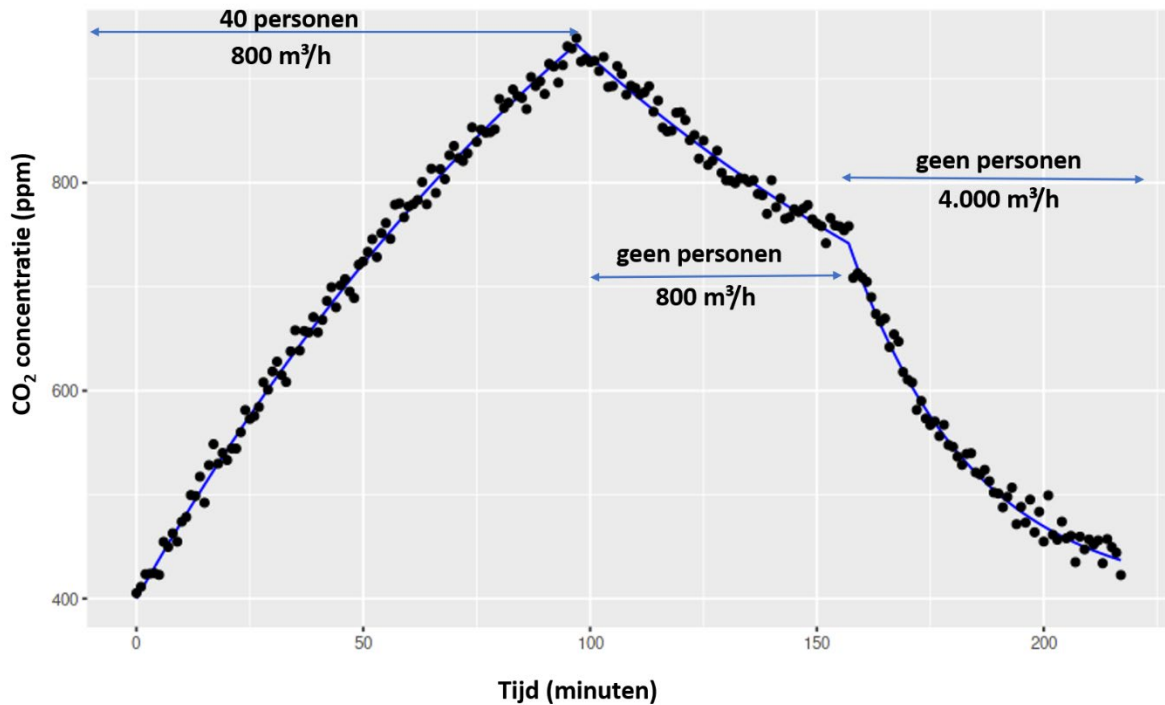
Indien $Q_{\text{mech}} = 800 \text{ m}^3/\text{h}$, is de nominale bezettingsgraad voor een rustige activiteit $N_{900} = 800/40 = 20$ personen. Een grotere bezetting is tijdelijk toegelaten op voorwaarde dat de CO₂-concentratie gemonitord wordt ([STAP 6](#)). Met de BSOH-tool CO_{2sim} kan men een raming maken van de maximale tijd waarin een grotere bezetting mogelijk is.

In afbeelding 3 ziet men de evolutie van de CO₂-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 m³) en er een mechanische ventilatie is van 800 m³/h ($N_{900} = 20$ personen).

Op basis van de simulatie kan men verwachten dat de CO₂-concentratie 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) zal bedragen na ongeveer 90 minuten.

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 de evolutie weer van de CO_2 -concentratie wanneer er na ongeveer 60 minuten zonder aanwezigen een intensieve ventilatie uitgevoerd 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 richting 400 ppm .



Afb. 5: De evolutie van de CO_2 -concentratie met veranderlijke bezettingsgraad en ventilatiedebiet.

BIJLAGE 4: Bepalen van de nominale capaciteit bij open ramen en buitendeuren

Indien er geen informatie over de mechanische-ventilatie debieten of over de CO₂-concentraties beschikbaar is, mag men alleen rekenen op de ventilatie door het openen van ramen en/of buitendeuren.

Het ventilatiedebiet is functie van vele parameters, zoals o.a. de windsnelheid, de binnen- en buitentemperaturen, de typologie van raam- of deuropening (draairaam, kipraam, schuifdeur,...), de grootte en de positie van deze openingen ...

In het kader van dit document is een veilige inschatting gemaakt, dit is eerder aan de lage kant, op basis van de Europese norm EN 15242 waarbij de volgende aannames gehanteerd worden:

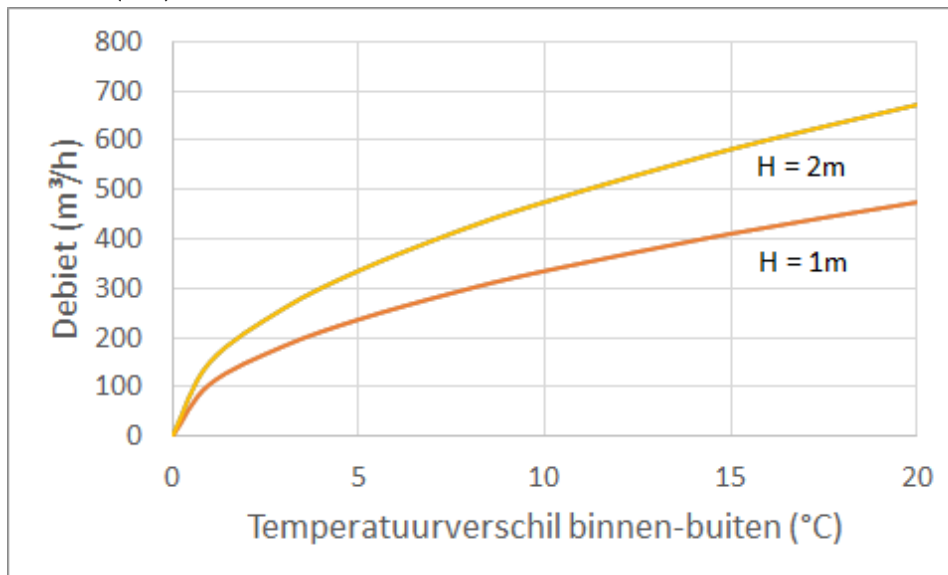
- het temperatuurverschil tussen binnen en buiten bedraagt 3 °C, d.i. kenmerkend voor een zomersituatie
- het is windstil weer
- elk raam op zich wordt geëvalueerd in de veronderstelling van dat alle openingen zich in dezelfde gevel bevinden (enkelzijdige ventilatie).

De volgende formule kan dan gebruikt worden:

$$\text{Debiet} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = Q_{\text{open}} = 1800 * A_{\text{open}} * \sqrt{0,0035 * H_{\text{open}} * (T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}})}$$

met $T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}} = 3^\circ\text{C}$:

$$\text{Debiet} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = Q_{\text{open}} = 184 * A_{\text{open}} * \sqrt{H_{\text{open}}}$$



Afb. 6: De evolutie van het debiet in functie van het temperatuurverschil binnen-buiten voor een raam met hoogte 1m (oranje) en hoogte 2m (geel).

De overeenstemmende nominale capaciteit voor een rustig zittende activiteit (1,63 MET) is:

$$N_{900} = N_{900, \text{formule}} = 5 * A_{\text{open}} * \sqrt{H_{\text{open}}}$$

De volgende eenvoudige vuistregel kan gebruikt worden:

- geopende ramen: $N_{900, \text{vuistregel}} = 4 * A_{\text{open}}$ (dit komt overeen met een openingshoogte van 75 cm)

- geopende deuren: $N_{900, \text{vuistregel}} = 7 * A_{\text{open}}$ (dit komt overeen met een openingshoogte van ongeveer 2 meter).

Tabel 3 geeft op basis van de formule voor geopende ramen een indicatie van de nominale capaciteit voor een rustig zittende activiteit in functie van de netto-openingsoppervlakte van een open raam (A_{open}) en van de hoogte van de opening (H_{open}).

Hoogte opening H_{open}	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
$N_{900, \text{vuistregel}}$ per m^2 netto-raamopening	3,5	5,0	6,1	7,1	7,9	8,7

Tabel 3 Toegelaten nominale capaciteit voor elk permanent geopend raam of iedere permanent geopende buitendeur.

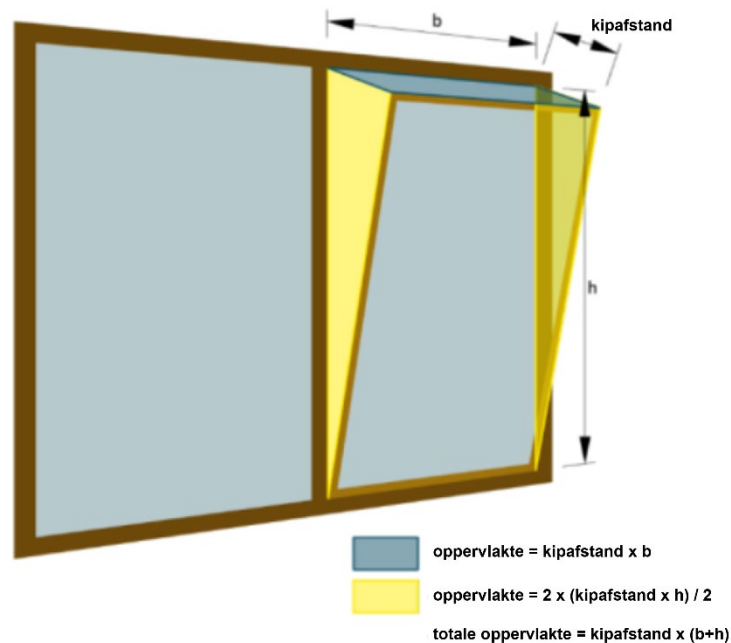
Voor ruimtes met een andere activiteitsklasse (zie stap 1) volgt de nominale capaciteit uit:

$$N_{900} = Q_{\text{open}} / V_{900}$$

Met als vuistregels:

- Geopende ramen: $N_{900, \text{vuistregel}} = A_{\text{open}} * 160 / V_{900}$
- Geopende deuren: $N_{900, \text{vuistregel}} = A_{\text{open}} * 260 / V_{900}$

Indien er meerdere ramen of buitendeuren zijn, dient de berekening voor elk raam en iedere buitendeur uitgevoerd te worden. Het is belangrijk te benadrukken dat men de netto-opening dient te nemen en niet de bruto-raamoppervlakte. Bij kipramen is A_{open} functie van de netto-opening bovenaan het raam L_{boven} , waarbij $A_{\text{open}} = L_{\text{boven}} * (H_{\text{open}} + B_{\text{open}})$.



Afb. 7: De totale open oppervlakte berekenen van een raam in kipstand.

Voorbeeld (zie tabel 4):

Een ruimte met 2 ramen en 1 buitendeur:

- Bruto-afmetingen:
 - draairaam: breedte 90 cm en hoogte 120 cm
 - kipraam: breedte 90 cm en hoogte 120 cm
 - buitendeur: breedte 90 cm en hoogte 202 cm
- Netto-openingen:
 - volledig geopend draairaam: netto-openingsbreedte $B_{open} = 80$ cm en netto-openingshoogte $L_{open} = 105$ cm $\rightarrow A_{open} = 0,8 * 1,05 = 0,84$ m²
 - kipraam: netto-openingsbreedte $B_{open} = 80$ cm en netto-openingshoogte $L_{open} = 110$ cm, veronderstel dat bovenaan de netto-opening 6 cm bedraagt $\rightarrow A_{open} = 0,06 * (0,80 + 1,10) = 0,11$ m²
 - volledig geopende buitendeur: breedte $B_{open} = 80$ cm en hoogte $L_{open} = 200$ cm: $\rightarrow A_{open} = 1,60$ m².

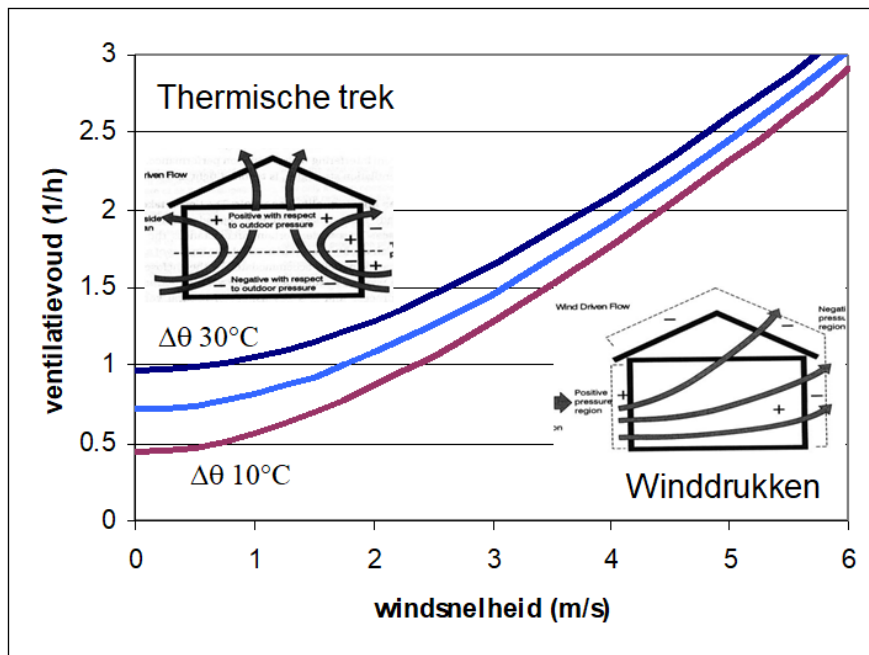
	A_{open} (m ²)	$N_{900, \text{vuistregel}}$	$N_{900, \text{formule}}$
Volledig open draairaam	0,84	3,4	4,3
Kipraam 6 cm netto-opening bovenaan	0,11	0,4	0,6
Volledig geopende deur	1,60	112	11,3
TOTAAL	2,55	15,0	16,1

Tabel 4 Vergelijking tussen de berekening van de toegelaten nominale capaciteit via de vuistregel en via de formule.

De berekening via de formule zal in de meeste gevallen een iets grotere nominale capaciteit geven dan bij gebruik van de vuistregel.

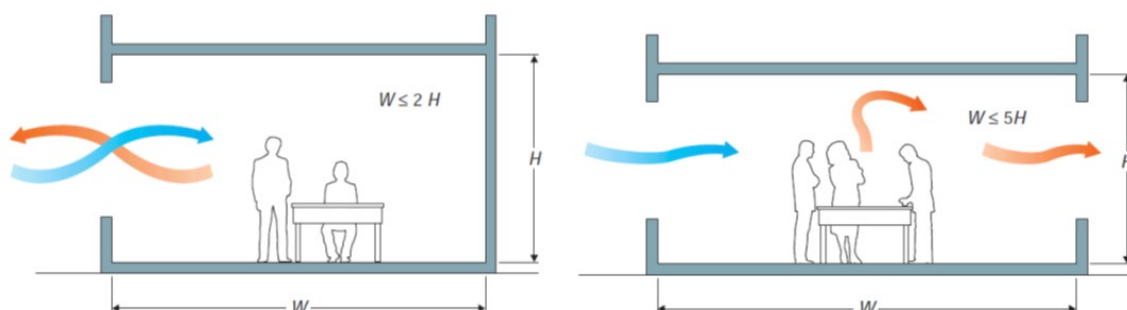
De hier gegeven inschattingen van het debiet en de daaruit afgeleide nominale capaciteit zijn zoals gezegd aan de veilige kant. Afhankelijk van de weersomstandigheden kunnen de optredende debieten aanzienlijk hoger zijn. Vooral de wind kan een belangrijke invloed hebben, zeker wanneer er ramen aan tegenoverliggende zijden van een ruimte worden opengezet (dwarsventilatie). CO₂-metingen laten toe om het effect van het openen van ramen te evalueren, en verschillende raamopeningsscenario's af te toetsen om zo tot een ventilatiestrategie te komen (zie [bijlage 10](#)).

Onderstaande figuur geeft een indicatie van de variatie van ventilatie in functie van windsnelheid en temperatuurverschil tussen binnen en buiten, en van de kenmerkende ventilatiepatronen. De figuur illustreert dat bij lage windsnelheden het ventilatiedebiet hoofdzakelijk bepaald wordt door temperatuurverschillen ('thermische trek'). Bij grotere windsnelheden neemt het ventilatiedebiet evenredig toe en wordt de invloed van de temperatuur kleiner.



Afb. 8: Evolutie van het ventilatievoud in functie van het temperatuursverschil en de windsnelheid.

Door het openen van ramen en deuren kunnen dus aanzienlijke verluchttingsdebieten tot stand gebracht worden, vaak veel hoger dan de debieten die door mechanische ventilatiesystemen verdeeld worden. Toch zijn er ook aandachtspunten op vlak van binnenluchtkwaliteit, met name wat betreft de luchtverdeling. Aangezien de toevoer van lucht via geopende ramen of deuren lang één zijde van de ruimte gebeurt, wordt niet elk punt in de ruimte op een even efficiënte manier van verse lucht voorzien. Dicht bij het geopend raam is er een grotere garantie op een efficiënte toevoer van verse lucht dan dieper in de ruimte. Zeer diepe ruimtes kunnen bijgevolg niet op een goede manier van verse lucht worden voorzien via geopende ramen en deuren. Als vuistregel geldt hierbij dat de diepte van de ruimte niet groter mag zijn dan 2 keer de hoogte van de ruimte bij enkelzijdige ventilatie, en niet groter dan 5 keer de hoogte van de ruimte bij dwarsventilatie (zie figuur, CIBSE AM10).



Afb. 9: de verste diepte van een lokaal dat nog op natuurlijke wijze van verse lucht kan worden voorzien.

BIJLAGE 5: Bepalen van ventilatiedebiet of nominale capaciteit op basis van CO₂ metingen

Een raming van de debieten en/of nominale capaciteit kan in principe gebeuren in 3 verschillende regimes (Afbeelding 2):

- A. Bij min of meer stationaire CO₂ concentratie
- B. Na verlaten van de zaal
- C. Bij ingebruikname van de ruimte

A. Bepaling debieten en/of nominale capaciteit bij min of meer stabiele CO₂ concentratie

Indien de CO₂-concentratie min of meer gestabiliseerd is bij een constante bezetting, kan men het mechanische-ventilatiedebiet inschatten. Dit onderstelt dan wel dat men het aantal aanwezigen kent en ook hun activiteitsniveau (MET-waarde met bijhorende CO₂ productie).

Belangrijke aandachtspunten en randvoorwaarden:

- een voldoende precieze Q_{mech}-debietbepaling is alleen mogelijk indien het verschil in CO₂-concentratie tussen binnen en buiten voldoende groot (≥ 300 ppm)
- het is nodig om de evolutie van de CO₂-concentratie regelmatig of voortdurend te monitoren, om te kunnen vaststellen of men effectief een stationair regime bereikt heeft. Indien er geen stationair regime bereikt wordt, kan deze methode NIET toegepast worden
- het is belangrijk dat de analyse uitgevoerd wordt door een persoon met de nodige ervaring
- indien men de keuze heeft tussen een rechtstreekse debietmeting (STAP 3.2) of een debietbepaling op basis van een CO₂-meting (STAP 3.3), is de rechtstreekse debietmeting te verkiezen.

Bij een stabiele CO₂-concentratie kan men het mechanisch ventilatiedebiet schatten op basis van onderstaande formule:

$$Q_{mech} = \frac{500 * 40 * MET * N}{1,63 * (CO_{2,binnen} - CO_{2,buiten})}$$

Hierbij staat MET voor de gemiddelde MET-waarde (zie tabel 2) van de activiteit die in het lokaal wordt uitgevoerd, N voor het aantal aanwezige personen en CO_{2,binnen} en CO_{2,buiten} voor de CO₂-concentratie respectievelijk binnen en buiten in ppm uitgedrukt.

Voorbeeld van een debietbepaling op basis van CO₂-metingen

Indien men in een zaal met mechanische ventilatie en met gesloten ramen en deuren voor 10 aanwezigen (N = 10) met een rustige activiteit (1,63 MET) in een stationair regime een verschil in CO₂-concentratie tussen binnen en buiten van 400 ppm meet, is er een ventilatiedebiet van ongeveer 50 m³/h per persoon. Het totale mechanische-ventilatiedebiet Q_{mech} bedraagt dan:

- volgens tabel 1: Q_{mech} = 10 * 50 = 500 m³/h
- volgens formule: Q_{mech} = (20.000 * 1,63 * 10)/(1,63 * 400) = 500 m³/h.

Men kan ook een directe raming maken van de nominale capaciteit. Hierbij vermenigvuldigt men het aantal personen met 500/ΔCO₂, waarbij ΔCO₂ het gemeten verschil in CO₂ concentratie is tussen binnen en buiten. Deze aanpak heeft het voordeel dat men geen raming van de MET-

waarde dient te doen, waarbij dan wel impliciet wordt ondersteld dat het type van activiteit (MET-waarde) niet wijzigt.

B. Raming van het ventilatiedebiet bij lege zaal

De debietsbepaling vereist dat men het volume van de ruimte kent.

C. Raming van het ventilatiedebiet en/of nominale capaciteit bij ingebruikname van de ruimte

Hierbij is het belangrijk het aantal aanwezigen te kennen en het volume van de ruimte.

Bij de 3 methodes en zeker bij methode B. en C. kan er een vrij grote onzekerheid zijn in de bekomen resultaten. Het vereist de nodige expertise om een correcte rapportering te kunnen uitvoeren.

BIJLAGE 6: Codex over het welzijn op het werk

Toepassingsdomein van de codex over het welzijn op het werk

De eisen van de codex over het welzijn op het werk zijn van toepassing op alle werklokalen waarin werknemers aanwezig zijn. De werkgever is er verantwoordelijk voor dat de ruimten voldoen aan de eisen uit de codex. Het spreekt vanzelf dat deze eisen in alle andere situaties als een code van goede praktijk gebruikt kunnen worden.

Eisen in de codex over het welzijn op het werk met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit?

De codex over het welzijn op het werk legt limietwaarden op met betrekking tot de maximaal toegelaten CO₂-concentratie:

- in het algemeen: maximaal 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) CO₂ of een maximale toename ten opzichte van de buitenconcentratie van 500 ppm. Dit komt voor lichte activiteiten overeen met 40 m³/h per persoon
- voor emissiearme ruimten: maximaal 1.200 ppm CO₂ of een maximale toename ten opzichte van de buitenconcentratie van 800 ppm. Dit komt voor lichte activiteiten overeen met 25 m³/h per persoon.

Voor de aanpak in kader van de codex over het welzijn op het werk, verwijzen we naar [de website van FOD WASO](#), en in het bijzonder naar [de praktijkrichtlijn](#) die als handleiding gebruikt kan worden bij het uitvoeren van de risicoanalyse.

In een eerste stap voert de werkgever een risicoanalyse uit. Hierbij gaat hij na welke factoren er allemaal een invloed hebben op de binnenluchtkwaliteit:

- ventilatie in de ruimte
- verontreiniging door de aanwezige personen
- verontreiniging door aanwezige toestellen of materialen
- verontreiniging afkomstig van het ventilatie-, luchtbehandelings- of verwarmingssysteem
- de kwaliteit van de toegevoerde (buiten)lucht.

Praktisch gezien pakt men dit aan via een snelle screening door: het verzamelen van de documentatie van het gebouw, het uitvoeren van visuele inspecties en het bevragen van de werknemers. Indien nodig, zal men berekeningen maken of eventueel metingen uitvoeren.

Na de risicoanalyse moet er tot actie overgegaan worden aan de hand van een actieplan waarbij de technische maatregelen ingepland worden (zoals het installeren van een ventilatiesysteem) en er organisatorische maatregelen genomen worden (zoals een adequaat onderhoud van de installaties en een juist gebruik van het gebouw en de infrastructuur).

Voor de uitwerking van de risicoanalyse en het actieplan zal de werkgever een beroep doen op de bevoegde interne of externe preventiedienst. Het sociaal overleg moet hierbij betrokken worden.

Toepassing in het kader van dit document

Conform de praktijkrichtlijn, kan men bij mechanische ventilatie voldoen aan de eisen uit de codex over het welzijn op het werk indien er 40 m³/h.persoon beschikbaar is (eis van 900 ppm

(of 500 ppm boven buitenconcentratie)) of 25 m³/h.persoon (eis van 1200 ppm of 800 ppm boven de buitenconcentratie). Wanneer men het debiet van de mechanische ventilatie kent, kent men dus de nominale capaciteit N₉₀₀ of N₁₂₀₀.

BIJLAGE 7: Inschatting besmettingsrisico en specifieke situaties

In specifieke omstandigheden kan het onmogelijk zijn om een bepaalde ruimte of bepaalde werkplek snel te gaan aanpassen in overeenstemming met de hierboven bepaalde maatregelen.

In dat geval zal men een evenwicht moeten zoeken 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 mondmaskers en het type mondmasker
- de tijdsduur dat men aanwezig is.

Een ruwe grootteorde van het besmettingsrisico kan ingeschat worden met behulp van diverse rekentools, o.a. van [MIT](#) en [REHVA](#). Het is wel belangrijk om te benadrukken dat deze rekentools een grote onzekerheid hebben. Deze tools zijn vooral nuttig om het relatieve belang van de verschillende maatregelen onderling te vergelijken.

Er zal in elk geval bijzondere aandacht nodig zijn voor de gekoelde ruimten waarin gewerkt wordt, zoals de snijzalen in slachterijen en beenhouwerijen, bepaalde ruimten in de voedingssector zoals bij industriële bakkerijen, de productie van diepvriesvoeding ... In dergelijke gevallen zijn de risico's vaak groot omdat er met een systeem van constante luchtcirculatie gewerkt wordt met weinig of geen aanvoer van buitenlucht, er veel achtergrondlawaai is waardoor men meer roept en tot slot omdat het virus langer aanwezig blijft in koudere temperaturen.

Daarnaast moet men ook aandacht hebben voor de ventilatie in de wagen en de ventilatie in refters en ontspanningsruimten.

Bij het gemeenschappelijke vervoer van personen die niet onder hetzelfde dak wonen, 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.

BIJLAGE 8: Toegelaten CO₂ niveaus bij combinatie van ventilatie en luchtzuivering

Het toepassen van luchtzuivering leidt niet tot een verlaging van de CO₂ concentratie. Indien men 900 ppm (bij een buiten concentratie van 400 ppm) als limietwaarde oplegt voor de maximale CO₂ concentratie zonder luchtzuivering, mag bij gebruik van luchtzuivering een hogere waarde CO_{2,equivalent} (de equivalente CO₂ limietwaarde indien luchtzuivering) worden gehanteerd. Wel geldt als beperking dat CO_{2,equivalent} niet hoger mag zijn dan 1200 ppm.

Het aandeel van de luchtzuivering wordt gekarakteriseerd door de CADR-waarde.

De activiteiten in een ruimte 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 3 voorwaarden worden voldaan:

1. $Q_{mech} \geq 25 \cdot MET \cdot N$
2. $Q_{mech} \geq 15 \cdot MET \cdot N$
3. $CADR \geq 25 \cdot MET \cdot N - Q_{mech}$

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

$$4. \quad CO_{2,equivalent} = \text{Min} \left(\frac{Q_{mech} + CADR}{Q_{mech}} \cdot 500, 800 \right) + 400$$

In tabel 5 vindt men voor verschillende MET-waarden en gewenste totaaldebieten de waarde CO_{2,equivalent}.

CADR m ³ /h.persoon	MET-waarde en totaaldebieten in m ³ /h						
	1.5	1.63	1.8	3.0	4.1	5.2	7.3
	37	40	44	74	101	101	180
0	900	900	900	900	900	900	
1	914	913	912	907	905	905	
2	929	926	924	914	910	910	
3	944	941	937	921	915	915	
4	961	956	950	929	921	921	
5	978	971	964	936	926	926	
6	997	988	979	944	932	932	
7	1017	1006	995	952	937	937	
8	1038	1025	1011	961	943	943	
9	1061	1045	1029	969	949	949	
10	1085	1067	1047	978	955	955	
12	1140	1114	1088	997	967	967	
14	1200	1169	1133	1017	980	980	942
15	1200	1200	1159	1027	987	987	945
16	1200	1200	1186	1038	994	994	949
18	1200	1200	1200	1061	1008	1008	956
20	1200	1200	1200	1085	1023	1023	963
22	1200	1200	1200	1112	1039	1039	970
24	1200	1200	1200	1140	1056	1056	977
26	1200	1200	1200	1171	1073	1073	984
28	1200	1200	1200	1200	1092	1092	992
30	1200	1200	1200	1200	1111	1111	1000
35	1200	1200	1200	1200	1165	1165	1021
40	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1043
45	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1067
50	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1092
55	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1120
60	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1150
65	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1183
70	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
75	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Tabel 5: CO₂,equivalent i.f.v. MET-waarde en CADR per persoon

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

1. Meet het aanwezig mechanisch ventilatiedebiet aan buitenlucht Q_{mech} (bvb. $600 \text{ m}^3/\text{h}$)
2. Bepaal het maximum aantal personen N_{max} waarvoor u de ruimte wil gebruiken (bvb. $N_{\text{max}} = 20$ personen)
3. Bepaal het mechanisch ventilatiedebiet per persoon ($Q_{\text{mech}}/N_{\text{max}} = 600/20 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$)
4. Bepaal de MET-waarde en V_{900} (zie stap1) Bvb. Kantoorwerk : 1.63 MET en $V_{900} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$
5. De minimaal noodzakelijke CADR aan luchtzuivering is het verschil tussen V_{900} en Q_{mech} per persoon (minstens $10 \text{ m}^3/\text{h}$)
6. In Tabel 1 vindt men dan $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ i.f.v. effectief geïnstalleerde CADR per persoon en de MET-waarde (indien CADR per persoon $10 \text{ m}^3/\text{h}$: 1067 ppm)

Indien men voor een bepaalde ruimte $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ wenst te communiceren is het noodzakelijk om de volgende informatie te verstrekken:

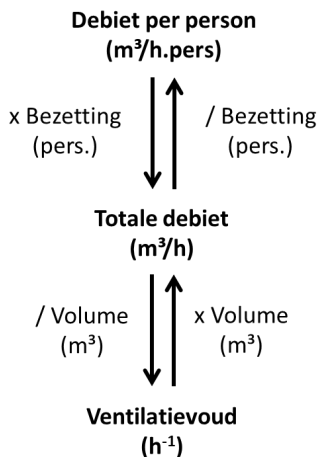
1. Aanwezige toestellen voor luchtzuivering met overeenstemmende CADR-waarde voor de stand waarin het toestel wordt gebruikt (Indien de CADR-de waarde enkel is opgegeven in de maximale stand, dient het toestel ook te werken in de maximale stand)
2. Type van activiteiten met overeenstemmende MET-waarde
3. Maximum aantal personen dat aanwezig mag zijn bij het hanteren van $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ (eventueel kan $\text{CO}_{2,\text{equivalent}}$ worden opgegeven voor verschillende bezettingen)

BIJLAGE 9: Ventilatievoud

Wat is het ventilatievoud?

Het begrip 'ventilatievoud' of 'n', 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 debiet in de ruimte (m^3/h) gedeeld door het volume van de ruimte (m^3). Ter herinnering, het totale debiet in de ruimte (m^3/h) is gelijk aan het debiet per persoon ($m^3/h.pers$) vermenigvuldigd met het aantal aanwezige personen, de bezetting – zie onderstaand schema.



Kan een minimaal ventilatievoud worden bepaald?

In de context van ventilatie en om het risico op besmetting met covid-19 te beperken, is hoofdzakelijk 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 bijgevolg niet mogelijk om een minimumwaarde voor de luchtverversing te bepalen die toepasselijk is op al deze verschillende situaties.

Onderstaande tabel toont enkele waarden voor typische gevallen.

Voor een soort ruimte met een relatief reproduceerbare afmeting en bezetting zal het ventilatievoud echter relatief constant zijn. Voor een klaslokaal (zie tabel) bedraagt het ventilatievoud bijvoorbeeld $6 h^{-1}$ bij een debiet van $40 m^3/h$ per persoon.

Soort ruimte	Oppervlakte vloer (m^2)	Hoogte (m)	Volume (m^3)	Aantal personen	Debiet per persoon ($m^3/h.pers$)	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

Toepassing van het ventilatievoud

Het begrip ventilatievoud is niettemin nuttig om overgangsfenomenen in te schatten die zich voordoen aan het begin van de ingebruikname of na het gebruik van een ruimte.

De evolutie van de concentratie van een bestanddeel in een ruimte in functie van de tijd stemt overeen met de volgende formule:

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

Waarbij

- C_t gelijk is aan de concentratie bij temperatuur t
- C_0 gelijk is aan de beginconcentratie
- C_{plateau} gelijk is aan de eindplateauconcentratie
- n gelijk is aan het ventilatievoud
- t gelijk is aan de verstreken tijd (in uren)

Met deze formule kan voor deze overgangsfenomenen de concentratie berekend worden in functie van de tijd.

De parameter $1/n$ wordt de tijdconstante genoemd. Het betreft de tijd waarna de debietwaarde van de ruimte gelijk is aan de volumewaarde van de ruimte.

Let op, dit betekent niet dat na deze tijd alle lucht in de ruimte volledig ververs is, want ventilatie werkt door verdunning.

We kunnen er echter van uitgaan dat

- wanneer $nt = 1$ (de verstreken tijd is gelijk aan voormelde tijdconstante), de toename (of afname) van de concentratie 63% bedraagt ten opzichte van de plateauwaarde.
- wanneer $nt = 3$ (de verstreken tijd is gelijk aan 3 keer de voormelde tijdconstante), de toename (of afname) van de concentratie 95% bedraagt ten opzichte van de plateauwaarde. Er wordt dan geacht dat het plateau bereikt is.

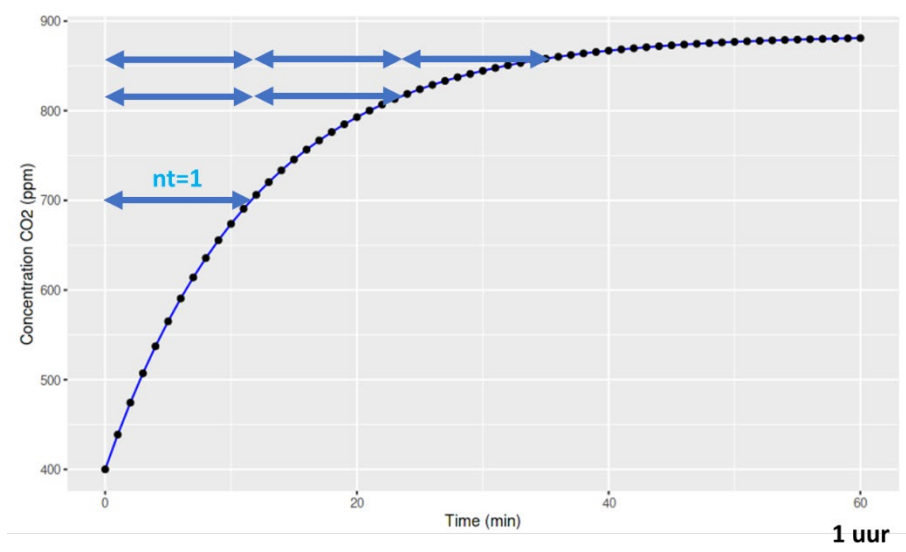
Hoe lang duurt het alvorens een relatief stabiele maximumconcentratie in een ruimte wordt bereikt?

Voor het overgangsfenomeen van het debiet van de bezettingsperiode van een lokaal wordt de formule, voor CO_2 :

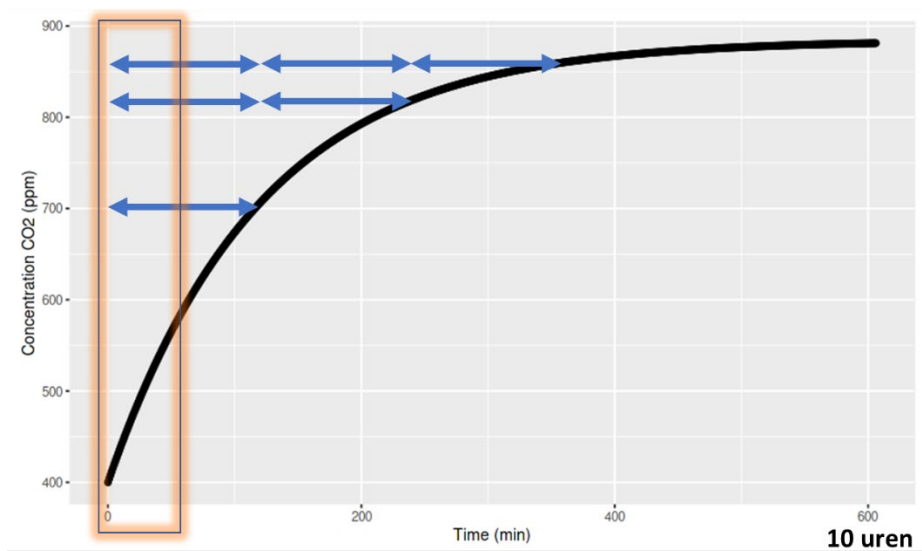
$$C_t = 400 + (C_{\text{max}} - 400) \cdot (1 - e^{-nt})$$

Onderstaande tabel toont enkele voorbeelden van de tijd die nodig is om een toename van de CO_2 -concentratie te bereiken van 63% en 95% bij verschillende ventilatievouden en met een maximale CO_2 -concentratie van 900 ppm (plateauwaarde).

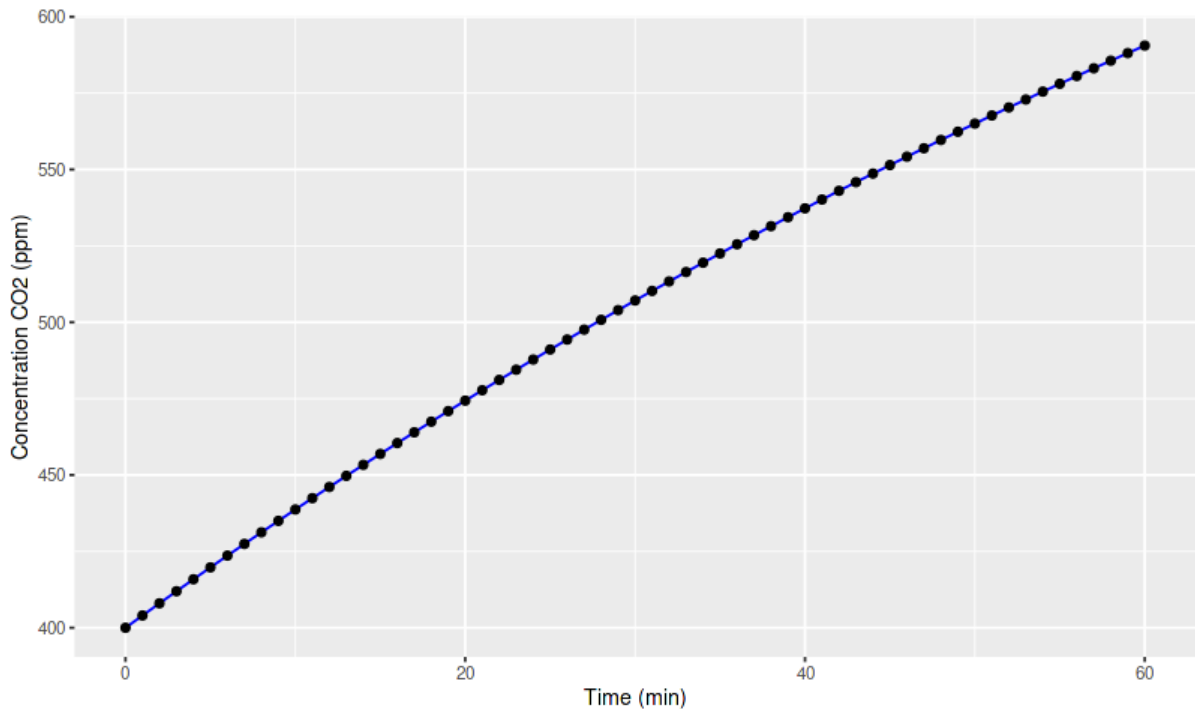
Ventilatievoud n	Tijdconstante 1/n	Nodige tijd om een toename van 63% te bereiken hetzij 715 ppm	Tijd nodig om een toename van 95% te bereiken of 875 ppm
5 h ⁻¹ (Figuur 10)	12 min	12 min	36 min
0.5 h ⁻¹ (Figuur 11) en (Figuur 12)	2h	2h	6h



Afb. 10: Evolutie van de CO₂ concentratie bij een ventilatievoud n= 5 h⁻¹. De tijdconstante bedraagt dan 0.2uur of 12 minuten.



Afb. 11: Evolutie van de CO₂ concentratie bij een ventilatievoud n= 0.5 h⁻¹. De tijdconstante bedraagt dan 2 uur of 120 minuten



Afb. 12: Voor dezelfde situatie als in figuur 2 de CO₂-evolutie gedurende het 1^{ste} uur

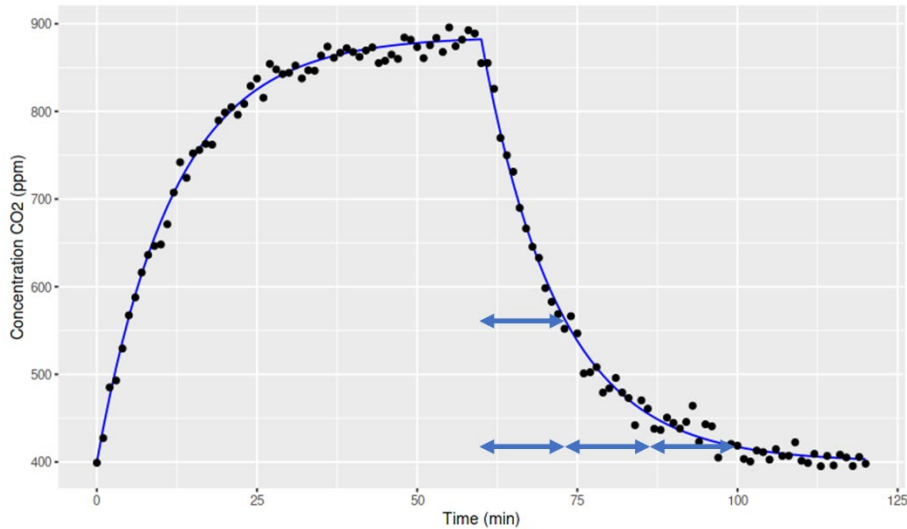
Hoe lang duurt het voordat de buitenconcentratie bereikt wordt in een lege ruimte na een periode van gebruik?

Voor het overgangsfenomeen na de gebruikperiode van een lokaal wordt de formule, voor CO₂:

$$C_t = C_{\max} + (400 - C_{\max}) \cdot (1 - e^{-nt})$$

Onderstaande tabel toont enkele voorbeelden van de tijd die nodig is om een afname van de CO₂-concentratie te bereiken van 63% en 95% bij verschillende ventilatievouden en met een maximale CO₂-concentratie van 900 ppm (plateauwaarde).

Ventilatievoud n	Tijdsconstante 1/n	Tijd nodig om een afname met 63% te verkrijgen, dit is 585 ppm	Tijd nodig om een afname met 95% te verkrijgen, dit is 425 ppm
5 h ⁻¹ (Figuur 4)	12 min	12 min	36 min
0.5 h ⁻¹	2h	2h	6h



Afb. 13: na het verlaten van de zaal is de CO₂-concentratie na 12 minuten gedaald met 63% en bereiken we 585 ppm. Na 36 minuten is de CO₂-concentratie gedaald tot 95% of 425 ppm.

Wat met luchtzuivering?

Voor een luchtzuiveringstoestel in een ruimte bestaat een begrip dat gelijkaardig is aan het voormelde ventilatievoud.

Het gaat dan om de CADR van het toestel (m³/h) gedeeld door het volume van de ruimte (m³) waarin het geplaatst is.

$$\text{Luchtzuiveringsgraad} = \text{CADR} / \text{volume}$$

De eerder vermelde redenering over de ventilatie is dus ook van toepassing op luchtzuivering. Daarbij is ook dezelfde voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van die gegevens. Een werkingstijd die gelijk is aan de tijdconstante van de combinatie toestel-ruimte betekent niet dat het volledige lokaal gezuiverd is na die tijd, maar verwijst naar een afname van 63% van de concentratie van de pollutie die de luchtzuivering afvoert.

Bijlage 10 -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 (CO₂-concentratie onder 900ppm) 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 sportinfrastructuur, restaurants, ...

Werkingsprincipe: geschakelde opening – thermische trek

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

Een andere manier om te ventileren is via 'thermische trek'. Dan wordt ingezet op hoogteverschillen in ventilatieopeningen bv. 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.

Mogelijke maatregelen

Uit het onderzoek kwamen een aantal maatregelen naar voren die bijna altijd zorgen voor voldoende lage CO₂-concentratie (kolom 'situaties die voldoen'). Daarnaast bleken een aantal maatregelen mogelijk te voldoen afhankelijk van de ruimte, ligging van die ruimte en locatie ventilatieopeningen (kolom 'situaties die mogelijk voldoen'). Andere maatregelen gaven geen aanleiding tot voldoende lage CO₂ concentraties (kolom 'situaties die nooit voldoen').

In alle situaties is het belangrijk om te controleren of de CO₂-concentraties voldoende laag zijn. Meer info daarover is opgenomen in de andere bijlages. Controleren kan door het uitvoeren van CO₂-metingen. Opvolging van de CO₂-concentratie is aangeraden omdat de ventilatie oa. afhankelijk 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 kiep staan, samen met een open deur aan de andere zijde van het lokaal. Deze maatregel moet gecombineerd worden met intensief verluchten tussen verschillende activiteiten als dat van toepassing is (bv. In sportinfrastructuur. Op die manier blijft de CO₂-concentratie lager dan 900 ppm. Zonder het intensief verluchten daalt de concentratie niet voldoende, waardoor je toch hogere waarden kan krijgen.

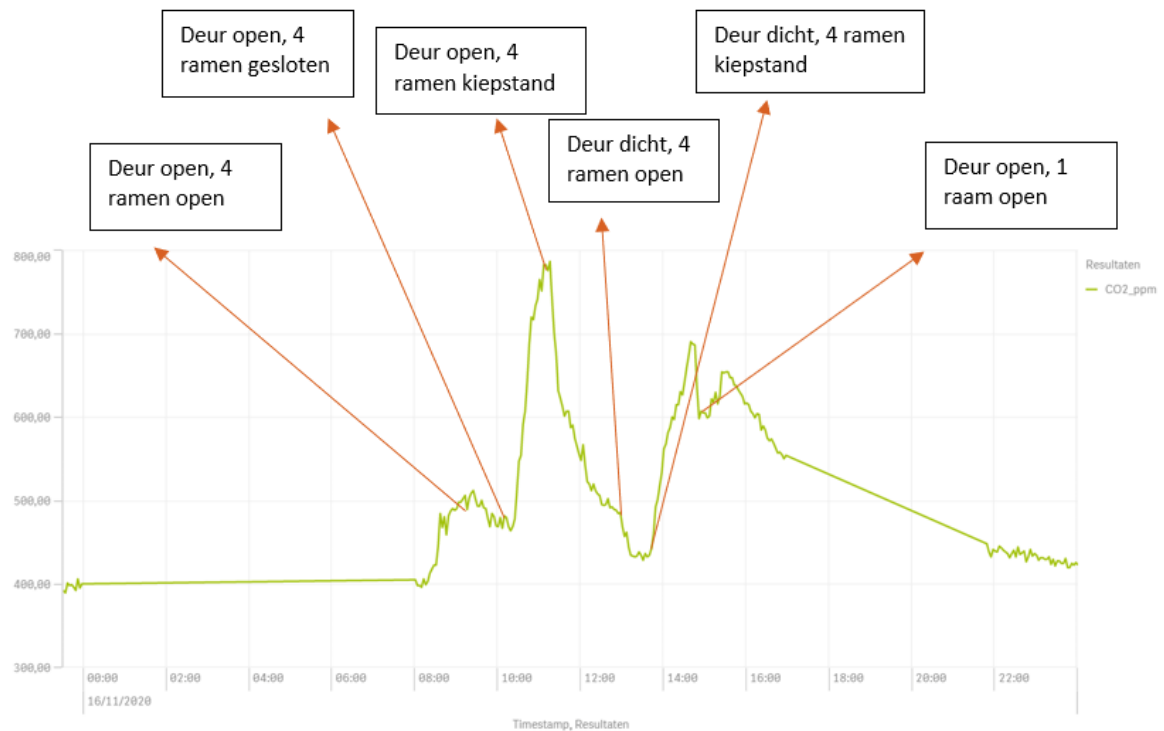
Ramen/deuren aan één zijde van een lokaal openzetten zorgt in het algemeen niet voor voldoende luchtverversing. De enige manier om in dit scenario de CO₂-concentratie toch onder 900 ppm te houden, is door ramen volledig open te zetten. CO₂-meters zijn noodzakelijk om de mogelijkheden te testen in dit scenario.

Situaties die 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 ventilatie- openingen

Eenzijdig meerdere ramen volledig open (minder efficiënt)	Toepassen thermische trek	
---	---------------------------	--

Voorbeelden van maatregelen en invloed op de CO₂-concentratie

Onderstaande grafiek geeft een aantal mogelijke pistes voor ventileren.



Afb. 14: evolutie van de CO₂-concentratie doorheen 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 is, nauwelijks hoger dan de concentratie buiten (ongeveer 400-450 ppm). De geopende ramen zorgen voor heel veel verse lucht.

Deur open, 4 ramen gesloten

In deze situatie is er slechts aan een zijde van de ruimte een opening, je kan op de grafiek duidelijk de stijging waarnemen omdat er maar aan één zijde van de ruimte een opening is. De CO₂-concentratie stijgt heel snel richting 900 ppm.

Deur open, 4 ramen kiepstand

Om de stijging tegen te gaan, worden de ramen terug geopend op kiepstand, samen met de deur, dat zorgt voor een zeer snelle daling van de CO₂-concentratie tot weer bijna de achtergrondwaarde.

Deur dicht, 4 ramen open

Deze situatie geeft aan dat ventileren in één vlak ook lukt, maar enkel als ramen volledig open staan. Deze situatie is eigenlijk intensief verluchten (kan je doen als dit mogelijk is, gelet op het gebruik van de ruimte).

Deur dicht, 4 ramen kiepstand

Dit is weer een situatie waarbij de ramen op kiep staat, maar slechts aan één zijde van het lokaal. De stijging 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 een openingen aan twee zijden van de ruimte. De stijging wordt hier gestopt door het einde van het gebruik van de ruimte.

BIJLAGE 11: Relevante documenten en hyperlinks

Federale overheid

- [Toelichting in verband met luchtverversing en binnenluchtklimaat](#)
- [Wetgeving: zie codex over het welzijn op het werk boek III titel I art. 34 en verder.](#)
- [Praktijkrichtlijn "binnenluchtkwaliteit in werklokalen"](#)
- HGR: [Advies 9616 - Ventilatie en overdracht van SARS-CoV-2 | FOD Volksgezondheid \(belgium.be\)](#)

Vlaams Gewest/Vlaamse Gemeenschap

Een overzicht van de inzichten, richtlijnen, sensibiliseringsmaterialen, technische richtlijnen, protocollen en procedures zoals deze gehanteerd worden in Vlaanderen, kan u terugvinden via de volgende hyperlinks:

- basisdocumenten waar inhoudelijk op afgestemd wordt in de diverse beleidsdomein en sectoren:
 - <https://www.zorg-en-gezondheid.be/binnenmilieu>
 - [Maatregelen voor een gezond binnenmilieu tijdens corona-epidemie - Zorg en Gezondheid \(zorg-en-gezondheid.be\)](#)
 - <https://www.zorg-en-gezondheid.be/binnenmilieu-in-wzc>
 - Meer specifiek:
 - [Luchtzuiveringstoestellen voor de beperking van airborne transmissie van COVID-19](#)
 - [Algemene maatregelen m.b.t. ventileren en verluchten tijdens corona](#)
 - [CO₂ als indicator voor COVID-19-risico](#)
 - [Tips voor een goede CO₂-meter](#)
 - [Ventileren, verluchten en CO₂-meting in publiek toegankelijke gebouwen](#)
 - [Standpunt CO₂-concentratie t.a.v. HGR-advies 9616](#)
- onderwijs:
 - [Coronamaatregelen: verlucht en ventileer voldoende je lokalen - Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming \(vlaanderen.be\)](#)
 - <https://www.zorg-en-gezondheid.be/binnenmilieu-op-school>
 - <https://omgeving.vlaanderen.be/bouw-gezond>: binnenluchtkwaliteit in schoolgebouwen
- omgeving:
 - Fiches over ventilatiesystemen (keuze, onderhoud, ...) voor woningen /publieke gebouwen: <https://omgeving.vlaanderen.be/fiches-bouw-gezond>
 - Checklist 'binnenmilieu op school' (actuele situatie ventileren en verluchten in kaart brengen: <https://omgeving.vlaanderen.be/checklist-binnenmilieu-op-school>

- Pocket (ism NAV) over binnenmilieu op school (nieuwbouw en verbouwing): <https://omgeving.vlaanderen.be/pocket-binnenluchtkwaliteit-in-schoolgebouwen>
- Fiches over ventilatie voor scholen: <https://omgeving.vlaanderen.be/fiches-bouw-gezond#ventilatie-scholenbouw>
- Onderzoek naar ventilatie in scholen tijdens koudere periode zonder ventilatiesysteem: <https://researchportal.be/nl/publicatie/ventilatie-op-school-koudere-periodes-tijdens-een-pandemie-zoals-covid-19>
- [Bouw gezond - Departement Omgeving \(vlaanderen.be\)](#)
- [Onderzoek naar kwaliteit van het binnenmilieu: woningen en scholen](#)
- Sport Vlaanderen:
 - [Wat zijn de maatregelen als je wil sporten? | Sport Vlaanderen](#)
 - [basisprotocol-sport.pdf](#)
- Facilitair Bedrijf:
 - [Veilige werkomgeving bij coronamaatregelen: Gebouwen en installaties | Vlaanderen Intern](#)
- jeugd en cultuur (basisprotocollen):
 - [Protocollen | Departement Cultuur, Jeugd & Media \(vlaanderen.be\)](#)
- luchtzuivering
 - https://www.zorg-en-gezondheid.be/sites/default/files/atoms/files/Adviesvraag%20luchtzuivering-AZG-VITO_20201204.pdf

Waalse gemeenschap

- [Agence Wallonne de l’Air & du Climat](#)
- [Service Public de Wallonie - performance énergétique des bâtiments](#)
- [AVIQ – Santé environnementale](#)

Duitstalige gemeenschap

- <https://beschaeftigung.belgien.be/sites/default/files/content/documents/Coronavirus/AllgemeinerLeitfaden.pdf>
- <https://beschaeftigung.belgien.be/de/themen/coronavirus/sicheres-arbeiten-waehrend-der-coronavirus-krise-allgemeiner-leitfaden>
- Bildung und Kinderbetreuung:
 - http://www.ostbelgienbildung.be/PortalData/21/Resources/downloads/coronavirus/20210324_Rundschreiben_Covid19_Bildung_und_Kinderbetreug.pdf
- Jugend:
 - https://www.ostbelgienlive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/coronavirus/20210329_Rundschreiben_Jugendprotokoll.pdf
- Sport:
 - https://www.ostbelgienlive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/coronavirus/20210322_20210324Protokoll_Sport_DG.pdf
- Kultur:

- https://www.ostbelgienlive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/coronavirus/RS_Kulturprotokoll_30112020.pdf

Documenten van specifieke sectoren

- [Schoolventilatiegids in tijden van COVID-19, Agoria](#)

Internationale hyperlinks

- SCOEH (*Swiss Centre for Occupational and Environmental Health*) ontwikkelde een tool om een snelle simulatie mogelijk te maken van de virusblootstelling in verschillende indoor scenario's. De tool kan je [hier](#) gratis downloaden, meer info over de tool vind je op de website van [SCOEH](#)
- [HSE \(UK\): Ventilation and air conditioning during the coronavirus pandemic](#)
- <https://ieq-ga.net/covid-19/information-center>
- <https://www.aivc.org/resources/faqs>
- <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>
- https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2011/08000/2011_Compndium_of_Physical_Activities_A_Second.25.aspx
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.12383> (Carbon dioxide generation rates)
- <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q20000008I7m2AAC> (Natural ventilation in non-domestic buildings)

BIJLAGE 12: Symbolen, eenheden en definities

- **N₉₀₀**: nominale capaciteit die permanent aangehouden kan worden indien de streefwaarde voor de CO₂-concentratie 900 ppm (of 500 ppm boven buitenconcentratie) bedraagt (500 ppm boven de buitenconcentratie)
- **N₁₂₀₀**: nominale capaciteit in het kader van de codex over het welzijn op het werk in situaties waar de limietwaarde 1.200 ppm bedraagt
- **V₉₀₀**: het nodige debiet aan verse buitenlucht om voor een aantal personen en onder een bepaalde MET-waarde een CO₂-concentratie te hebben die op 900 ppm stabiliseert.
- **V₁₂₀₀**: het nodige debiet aan verse buitenlucht om voor een aantal personen en onder een bepaalde MET-waarde een CO₂-concentratie te hebben die op 1200 ppm stabiliseert.
- **N_{eff}**: effectieve bezettingsgraad van de ruimte
- **Q_{mech}**: debiet van de mechanische ventilatie met buitenlucht (m³/h)
- **A_{open}**: de netto-oppervlakte van de openingen tussen de ruimte en de buitenomgeving [m²]
 - 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
- **CO_{2,equivalent}**: de CO₂-concentratie die bij luchtzuivering overeenstemt met 900 ppm indien er geen luchtzuivering is
- **H_{open}**: de nettohoogte van het opengaande deel van een raam of opening [m]
- **MET**: indicator met betrekking tot de metabolische activiteit (Metabool Equivalente Taak)
- **Rustige activiteit**: een activiteit die overeenstemt met een MET-waarde van 1,63
- **Natuurlijke ventilatie**: alle vormen van ventilatie zoals infiltratie, ventilatieroosters, opengaande ramen en deuren die geen gebruikmaken van mechanische ventilatie
- **Permanente CO₂-metingen**: er gebeurt altijd een continue CO₂-meting in de ruimte
- **Steekproefsgewijze CO₂-metingen**: er wordt slechts gedurende bepaalde perioden een CO₂-meting uitgevoerd. Dit kan zowel gaan om korte perioden voor ogenblikkelijke metingen of om metingen gedurende één of meerdere dagen.
- **CADR**: *Clean Air Delivery Rate* van een toestel voor luchtzuivering. De CADR geeft voor een bepaalde pollutant (meestal fijnstof) het debiet aan gezuiverde lucht weer dat het toestel inblaast. Dit komt overeen met het debiet aan buitenlucht (in m³/h) dat nodig zou zijn om dezelfde hoeveelheid pollutanten af te voeren als het luchtzuiveringstoestel.