

Eindrapport

Binnenhuismilieu referentietaak 2: IDA klassen

Swaans Wendy, Stranger Marianne, Verbeke Stijn

Studie uitgevoerd in opdracht van: Agenschap Zorg en gezondheid
2015/MRG/R/0453

December 2015



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

VERSPREIDINGSLIJST

Hana Chovanova, AZG
Sofie Vandenbroek, AZG
Sara Benoy, AZG
Maja Mampaey, LNE
Karen Van Campenhout, LNE
Kim Constandt, LNE
Marianne Stranger, VITO
Stijn verbeke, VITO
Wendy Swaans, VITO

SAMENVATTING

In de norm EN 13779 voor ontwerp en prestatie-eisen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen in niet residentiële gebouwen wordt de binnenlucht in vier IDA-klassen ingedeeld waarbij klasse IDA-1 overeenstemt met een hoge binnenluchtkwaliteit en klasse IDA-4 met een lage binnenluchtkwaliteit. Verschillende methoden voor de classificatie van binnenlucht zijn in de norm beschreven waaronder:

- Onrechtstreekse classificatie op basis van het buitenlucht ventilatiedebiet per persoon
- Classificatie op basis van het verschil in de CO₂-concentratie binnen/buiten ($\Delta[\text{CO}_2\text{binnen} - \text{CO}_2\text{ buiten}]$)

Het toepassen van de twee verschillende classificatiemethoden uit deze norm leidde bij de studie 'Clean Air, Low Energy' tot verschillende IDA-klassen.

In deeltaak 2 van referentietask 10 'binnenhuis' 2015 werd deze discrepantie tussen de twee toegepaste methoden verder onderzocht:

- In een eerste fase werden bepalingen rond binnenluchtkwaliteit en toegepaste classificatiemethoden vanuit verschillende normen voor ventilatie (EN 13779, EN 15251, NBN D50-001) samengevat en werden eventuele verbanden tussen de classificatiemethoden en mogelijke oorzaken voor de discrepantie vanuit overige literatuur nagegaan
- Op basis van de literatuurreview werd een verdere evaluatie van een aantal gegevens van de studie 'Clean Air, Low Energy' uitgevoerd

Er werd eveneens contact opgenomen met de convenor van de werkgroep CEN/TC 156/WG 20 'revision of EN 13779' waaruit blijkt dat alle aspecten met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit, waaronder de IDA klassen, bij een volgende revisie uit de norm zullen verdwijnen (EN 13779 wordt EN 16798-3) en vervolgens in de EN 15251 (wordt EN 16798-1) behandeld zullen worden.

In het WTCB document 'Ventilatie in kantoorgebouwen' wordt verduidelijkt dat de indirecte classificatie op basis van het ventilatiedebiet per persoon volgens de EN 13779 gebaseerd is op de classificatie volgens het CO₂-peil. Vanuit een gemiddelde CO₂-productie van een gebouwgebruiker bij zittend kantoorwerk en een toegelaten CO₂ concentratieverschil op basis van de IDA klassen, werden overeenkomstige ventilatiedebieten per klasse afgeleid. De op CO₂ gebaseerde IDA-klassen zijn dus nominaal gelijkwaardig met de buitenluchtdebieten voor rookvrije ruimten, bij een zeker niveau van activiteit. De CO₂-productie is in de realiteit echter afhankelijk van diverse factoren zoals de leeftijd, het activiteitsniveau, het geslacht, gewicht en lengte van een persoon. De toegepaste formule voor omrekening van een toegelaten CO₂-concentratie naar een ventilatiedebiet is geldig voor een stabiele toestand met een langdurig constante emissie dus bij een evenwichtssituatie.

Classificatie volgens het CO₂-niveau is gangbaar voor bezette ruimten waar een rookverbod geldt en de vervuiling hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de menselijke stofwisseling.

In een studie uitgevoerd door Cauberg-Huygen (2013) werd een sterke-zwakte analyse voor toepassing van CO₂ als grenswaarde in het bouwbesluit toegepast, naast of als alternatief voor een luchtvolumestroom. In de studie wordt geconcludeerd dat het toepassen van een eis in termen van een CO₂-concentratie sterker naar voren komt dan een eis in termen van een luchtvolumestroom, maar dat de voordelen van het toepassen van een CO₂-concentratie zich in de gebruiksfase bevinden. Tot en met het moment van oplevering is er nog geen bezetting en kunnen enkel

luchtvolumestromen gehanteerd worden. Na de oplevering is er bezetting en een mogelijkheid om CO₂-concentraties te meten en te toetsen.

In literatuur wordt verder aangegeven dat CO₂ een goede indicator is voor ventilatie, maar dat deze slechts beperkt bruikbaar is als maat voor de binnenluchtkwaliteit (wel een goede indicator voor luchtverontreiniging voornamelijk te wijten aan menselijke bezetting en bij rookverbod).

Door te handhaven op de CO₂-concentratie in plaats van alleen op de geïnstalleerde capaciteit wordt het onderhoud en bediening van de ventilatievoorziening en de bezetting van de ruimte betrokken in de beoordeling van de binnenluchtkwaliteit.

Op basis van de literatuur werden mogelijke oorzaken voor de discrepantie tussen de onrechtstreekse classificatie op basis van het buitenlucht ventilatiedebiet per persoon en de classificatie op basis van het verschil in de CO₂-concentratie binnen/buiten gegeven. Eén van de mogelijke verklaringen is dat er bij de IDA-classificatie uitgegaan wordt van een evenwichtssituatie (constante emissie en bezetting i.f.v. de tijd) terwijl dit bij scholen niet het geval is indien de gemiddelde CO₂-concentratie tijdens de lessen in beschouwing wordt genomen. Het duurt een tijd vooraleer de evenwichtconcentratie van CO₂ bereikt is en deze concentratie wordt vlug verstoord bijvoorbeeld door het openzetten van een binnendeur of het openen van een raam.

Op basis van de literatuur werden een aantal bijkomende berekeningen op gegevens van de scholen uit de studie 'Clean Air Low Energy' uitgevoerd. Verschillende ventilatiedebieten voor de klaslokalen werden naast elkaar gezet:

- Het mechanisch ventilatieluchtdebiet dat gemeten werd met de flow box methode en het ventilatievoud berekend vanuit dit ventilatiedebiet en het volume van ieder klaslokaal;
- Het totaal ventilatiedebiet als de som van het mechanisch ventilatieluchtdebiet en het lekdebiet gemeten met de blower door test en het ventilatievoud volgens deze methode (ACH) berekend vanuit dit totaal ventilatiedebiet en het volume van ieder klaslokaal;
- Het ventilatievoud bepaald volgens de ASTM rate of decay methode en het ventilatiedebiet dat hieruit aan de hand van het volume van het klaslokaal berekend werd;

De klaslokalen werden op basis van de verschillende debieten ingedeeld in de IDA-classes en deze classificatie werd op grafiek uitgezet. Aangezien alle aspecten rond IAQ in de revisie van de EN 13779 zullen verdwijnen, werden de klaslokalen eveneens ingedeeld volgens de comfortklassen uit de EN 15251 waarbij rekening gehouden werd met een ventilatiedebiet voor personen en voor materiaalemissies. Op basis van deze laatste indeling wordt praktisch voor ieder klaslokaal de slechtste comfortklasse bekomen. Bij het ontwerp van de bestudeerde ventilatiesystemen werd echter EN 13779 nog toegepast, waarbij nog geen rekening gehouden wordt met een bijkomend ventilatiedebiet voor materiaalemissies.

Naast de gemiddelde ΔCO_2 -concentraties (ΔCO_2 wordt in dit rapport gebruikt om aan te duiden dat we spreken over het verschil tussen de binnen- en de buitenconcentraties) over de lessen ('8h teaching') en over 24h (alle meetdata over de 5-daagse meetperiode), werden eveneens ΔCO_2 concentraties berekend waarbij resp. de maximum CO₂-concentraties over de meetperiodes en het 98^{ste} percentiel van de metingen tijdens de lessen gebruikt werden. De klaslokalen werden in de IDA-classes ingedeeld op basis van de verschillende ΔCO_2 -concentraties.

Uit evaluatie van de gegevens blijkt:

- een goede overeenkomst tussen het ventilatieluchtdebiet en het totale debiet (= ventilatieluchtdebiet+lekdebiet) in deze groep van duurzame, lage-energie scholen. Bij dergelijk type scholen, uitgerust met een mechanisch ventilatiesysteem, kan een meting van het ventilatieluchtdebiet dus volstaan (lekdebiet is relatief klein).

- de rate-of decay-methode volgens ASTM voor bepaling van het ventilatievoud geen geschikte methode wegens de subjectieve keuze van meetpunten
- het toepassen van een classificatie op basis van ventilatieluchtdebieten steeds een betere IDA-klasse op te leveren dan een classificatie op basis van CO₂-metingen. Vermoedelijk is dit toe te schrijven aan het openen van binnen- of buitendeuren, ramen, ... door de leerkrachten tijdens de meetperiode.
- dat bij gebruik van de ΔCO_2 [piek] i.p.v. ΔCO_2 [8 h] of ΔCO_2 [24 h] de beste overeenkomst tussen de classificatie op basis van het ventilatieluchtdebiet en de classificatie op basis van de CO₂-metingen bekomen wordt. Een classificatie op basis van ΔCO_2 [8 h] of ΔCO_2 [24 h] levert steeds klasse IDA-1 op.

De finaal toe te passen strategie voor indeling van scholen op basis van IDA-klassen, die vanuit de literatuurreview en herevaluatie van de gegevens van de gegevens van scholen 'Clean Air, Low Energy' voorgesteld wordt, bestaat uit:

1) Een meting van het ventilatieluchtdebiet (bij voorkeur bij oplevering) d.m.v. de flow box methode om te controleren of de ontwerpdebieten gehaald worden. Een belangrijk gegeven hierbij is een correcte inschatting van de bezettingsgraad van de ruimte aangezien het ontwerpdebiet berekend wordt op basis van de ontwerpbezetting. Deze meting levert de IDA-klasse op die minimum gehaald wordt (= worst case scenario).

2) Periodieke CO₂-metingen op latere tijdstippen. Afhankelijk van eventueel bijkomend toegepaste verluchting door het openen van ramen en deuren zal hier waarschijnlijk een betere IDA-klasse bekomen worden dan bepaald onder 1).

In geval van gebouwen met natuurlijke ventilatie is enkel een classificatie op basis van een CO₂-meting mogelijk. Ook dient opgemerkt te worden, dat de studie hier beperkt is tot laag-energie gebouwen, die typisch een relatief laag lekdebiet hebben.

INHOUD

HOOFDSTUK 1.	Inleiding	9
HOOFDSTUK 2.	Overzicht normen ventilatie en andere relevante literatuur	10
2.1.	<i>EN 13779:2007</i>	12
2.1.1.	Toepassingsgebied van de norm	12
2.1.2.	Algemene gebouwkenmerken, gebruik en eisen van de ruimten met betrekking tot de luchtkwaliteit	12
2.1.3.	Specificatie en classificatie van de lucht	13
→	Afvoerlucht en afgevoerde lucht	15
→	Buitenlucht	16
→	Toevoerlucht	16
→	Binnenlucht	16
2.1.4.	Classificatiemethoden voor binnenlucht	19
2.1.4.1.	Onrechtstreekse classificatie op basis van het buitenluchtdebiet per persoon	19
2.1.4.2.	Onrechtstreekse classificatie op basis van het luchtdebiet per vloeroppervlakte	20
2.1.4.3.	Classificatie op basis van het CO ₂ -niveau	20
2.1.4.4.	Classificatie op basis van de concentratieniveaus van specifieke verontreinigende stoffen	21
2.1.5.	Binnenluchtkwaliteit	22
2.1.5.1.	Ontwerpaannames	22
2.1.5.2.	Toevoerluchtdebieten	22
→	Algemeen	22
→	Menselijke bezetting	22
→	Andere gekende emissies	22
2.2.	<i>EN 15251:2007</i>	23
2.2.1.	Toepassingsgebied van de norm	23
2.2.2.	Binnenluchtkwaliteit en ventilatiedebieten	24
2.2.2.1	Niet residentiële gebouwen	24
2.2.2.2	Residentiële gebouwen	24
2.2.3.	Binnenmilieuparameters voor energieberekeningen: Binnenlucht en ventilatie	25
2.2.3.1	Niet residentiële gebouwen	25
2.2.3.2	Residentiële gebouwen	25
→	Mechanische ventilatie	25
→	Natuurlijke ventilatie	25
2.2.4.	Beoordeling van de binnenluchtkwaliteit en ventilatie	26
2.2.4.1	Ventilatiemethode	26
2.2.4.2	Luchtkwaliteitsmethode	26
2.2.5.	Inspecties en meting van de binnenomgeving in bestaande gebouwen	26
2.2.6.	Classificatie en certificatie van het binnenmilieu	27
2.2.6.1	Algemeen	27
2.2.6.2	Gedetailleerde classificatie en certificatie	27
2.2.6.3	Aanbevolen totale evaluatie van het binnenmilieu en certificatie	28
2.2.7.	Basis voor de criteria voor binnenluchtkwaliteit en ventilatiedebieten uit Annex B (informatief) van de norm	29

2.2.7.1	Aanbevolen ontwerp ventilatiedebieten in niet residentiële gebouwen (B.1 van de norm)	29
→	Algemeen	29
→	Berekening van het vereiste ventilatiedebiet gebaseerd op een component voor mens en gebouw	29
→	Methode gebaseerd op het ventilatiedebiet per persoon en per m ² vloeroppervlakte	32
→	Aanbevolen CO ₂ waarden voor energieberekeningen	33
2.2.7.2	Aanbevolen ventilatiedebieten in residentiële gebouwen bij ontwerp (B.2 van de norm)	34
2.3.	<i>NBN D 50-001</i>	36
2.3.1.	Toepassingsgebied van de norm	36
2.3.2.	Eisen gesteld aan de ventilatie-inrichtingen in de gewone kamers en ruimten van woningen	36
2.4.	<i>Bijlage X Ventilatievoorzieningen in niet-residentiële gebouwen van het energiebesluit</i>	38
2.4.1.	Onderwerp en toepassingsgebied	38
2.4.2.	Minimale prestatieniveaus	38
2.4.2.1	Kwaliteit van de binnenlucht	38
2.4.2.2	Ventilatiedebieten	38
→	In ruimten voor menselijke bezetting	38
→	In ruimten niet voor menselijke bezetting	40
2.4.2.3	Luchtkwaliteit van toevoerdebieten	40
2.5.	<i>CO₂ measurements for IAQ analysis (Woodcock, 2000)</i>	41
2.6.	<i>Ventilatie van kantoorgebouwen (WTCB, versie 29 augustus 2005)</i>	43
2.7.	<i>Onderzoek prestatie-eisen ventilatie in scholen (Cauberg-Huygen, 2013)</i>	46
2.8.	<i>Samenvatting literatuurreview</i>	51
2.9.	<i>Mogelijke verklaringen van de discrepantie tussen de classificatie van binnenlucht op basis van ventilatiedebieten per persoon en op basis van CO₂-metingen vanuit literatuur</i>	54
HOOFDSTUK 3.	Evaluatie IDA-classificatie op basis van ventilatiedebieten of CO₂ voor de scholen van de studie ‘Clean Air, Low energy’	56

Bijlage A:	Berekening IDA-klassen en comfortklassen op basis van ventilatiedebieten en CO ₂ -metingen voor een aantal scholen van de studie ‘Clean Air, Low Energy’	64
------------	---	----

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de verschillende normen voor ventilatie/energieprestatie van gebouwen	10
Tabel 2: Relatie tussen verschillende normen (volgens EN 13779)	11
Tabel 3: Vloeroppervlakte per persoon verondersteld bij het ontwerp van een ventilatiesysteem	12
Tabel 4: Beschrijving van de types lucht in een gebouw en in een ventilatie- of airconditioning systeem	13
Tabel 5: Classificatie van afvoerlucht (ETA) en afgevoerde lucht (EHA)	15
Tabel 6: Classificatie van buitenlucht (ODA)	16
Tabel 7: Basisclassificatie van de binnenluchtkwaliteit (IDA)	17
Tabel 8: Ventilatiegebieden met buitenlucht per persoon	19
Tabel 9: Ventilatiegebieden met buitenlucht of doorstroomlucht per eenheid van vloeroppervlakte (netto oppervlakte) voor ruimten die niet ontworpen zijn voor menselijke bezetting	20
Tabel 10: Classificatie van de binnenluchtkwaliteit op basis van het CO ₂ -niveau in ruimten	20
Tabel 11: Beschrijving van de toepasselijkheid van de gebruikte criteria	23
Tabel 12: Voorbeeld van de indeling van een gebouw op basis van de ontwerpcriteria	28
Tabel 13: Basis ventilatiegebieden (q_p) vereist voor verdunning van emissies van mensen (bio effluenten)	30
Tabel 14: Ventilatiegebieden (q_B) vereist voor de gebouwemissies	30
Tabel 15: Voorbeelden van aanbevolen ventilatiegebieden voor niet residentiële gebouwen met standaard bezettingsdichtheid voor 3 categorieën van pollutie van de gebouwen zelf (indien roken toegelaten is, dan worden de bijkomend vereiste ventilatiegebieden in de laatste kolom gegeven)	31
Tabel 16: Voorbeelden van aanbevolen ventilatiegebieden voor niet residentiële gebouwen voor 3 categorieën van verontreiniging ten gevolge van het gebouw zelf.	32
Tabel 17: Voorbeelden van aanbevolen CO ₂ -concentraties bovenop de buitenconcentratie (ΔCO_2) voor energieberekeningen en vraaggestuurde ventilatie	33
Tabel 18: Voorbeeld van ventilatiegebieden voor woningen. Ononderbroken werking van de ventilatie gedurende uren van bezetting. Volledige menging.	35
Tabel 19: Nominale ventilatiegebieden	36
Tabel 20: Vereenvoudigde ventilatiesystemen volgens NBN D 50-001	37
Tabel 21: Te hanteren waarden bij de bepaling van de bezetting nodig voor de berekening van het minimum ontwerpdebiet in ruimten bestemd voor menselijke bezetting (zie tekst)	39
Tabel 22: CO ₂ productie per persoon (rapport Cauberg-Huygen, 2013 -bronnen TNO en LUMC 1997; Het activiteitsniveau en bijbehorend metabolisme is een onderbouwde aanname).	47
Tabel 23: Gehanteerde gemiddelde CO ₂ -productie per schooltype (bron: Cauberg-Huygen, 2013)	48
Tabel 24: Toepassen van een eis in termen van een luchtvolumestroom, sterkte-zwakke analyse (bron: Cauberg-Huygen, 2013)	48
Tabel 25: Toepassen van een eis in termen van een CO ₂ grenswaarde, sterkte-zwakke analyse	49
Tabel 26: Grenzen EN 15251 comfortklassen toegepast voor klaslokalen in dit rapport	58
Tabel 27: Klassen op basis van CO ₂ -metingen EN 13779 en EN 15251	60
Tabel 28: Berekening IDA-klasse en comfortklasse op basis van het ventilatievoud	65
Tabel 29: Berekening IDA-klasse en comfortklasse op basis van CO ₂ -metingen	66

LIJST VAN FIGUREN

<i>Figuur 1: Illustratie van de luchttypes met behulp van de nummers in Tabel 4</i>	14
<i>Figuur 2: Soorten verontreiniging in een kantoorgebouw (bron: Ventilatie van kantoorgebouwen, WTCB)</i>	43
<i>Figuur 3: Indeling klaslokalen 'Clean Air, Low Energy' op basis van ventilatiemetingen</i>	59
<i>Figuur 4: Indeling klaslokalen 'Clean Air, Low Energy' op basis van CO₂-metingen</i>	60
<i>Figuur 5: Vergelijking indeling IDA-klassen op basis van ventilatieluchtdebieten en ΔCO_2 [piek]</i>	61

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

In verschillende normen voor ventilatie zijn classificatiesystemen en –methoden voor de binnenluchtkwaliteit opgenomen. In de norm EN 13779 voor niet residentiële gebouwen wordt de binnenluchtkwaliteit ingedeeld in vier IDA klassen waarbij IDA 1 overeenkomt met een hoge binnenluchtkwaliteit en IDA 4 met een lage binnenluchtkwaliteit. In deze norm zijn verschillende methoden voor deze classificatie van de binnenlucht beschreven waaronder:

- Classificatie op basis van het ventilatiedebiet met buitenlucht per persoon
- Classificatie op basis van het verschil in de CO₂ concentratie binnen/buiten

De resultaten van de studie 'Clean Air, Low Energy' wijzen echter op een discrepantie tussen de methodes die worden gebruikt om IDA-klassen toe te kennen aan klaslokalen. De berekening via het 'ventilatiedebiet per leerling' en de berekening door het 'meten van CO₂-concentraties binnen en buiten' komen niet overeen met elkaar. Deze moeilijkheid werd ook door studie bureaus en architecten al benoemd.

Deze deeltaak heeft tot doel om te onderzoeken welk het verschil is tussen beide methodes om de IDA-klasse te berekenen, en aan te geven welke methode het beste aansluit bij de realiteit.

HOOFDSTUK 2. OVERZICHT NORMEN VENTILATIE EN ANDERE RELEVANTE LITERATUUR

Er zijn meerdere normen voor ventilatie en energieprestatie van gebouwen ter beschikking, die binnenluchtkwaliteit vermelden. Dit overzicht geeft een samenvatting van de voornaamste bepalingen met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit uit de normen voor ventilatie.

Tabel 1: Overzicht van de verschillende normen voor ventilatie/energieprestatie van gebouwen

EN 13779, zal verdwijnen en EN 16798-3 worden	Toepassingsgebied norm	Ventilatie voor niet-residentiële gebouwen Behandelt prestatie-eisen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen Ontwerp, prestaties van het systeem Natuurlijke systemen en woningen worden niet in deze norm behandeld Hoofdttekst + 5 informatieve bijlagen
	Classificatie van afvoerlucht (ETA) en afgevoerde lucht (EHA)	Tabel zonder voorbeelden zijn normatief Dezelfde tabel is eveneens met voorbeelden opgenomen in de bijlagen van de norm (=informatief)
	Classificatie van de binnenluchtkwaliteit (IDA)	Beschrijving normatief Tabellen met typische waarden en standaardwaarden zijn in bijlage van de norm opgenomen (= informatief)
EN 15251, nieuwe naam: EN 16798-1	Toepassingsgebied norm	Deze norm bepaalt de binnenomgevingsparameters die van invloed kunnen zijn op de energieprestatie van gebouwen. (relatie tussen het binnenmilieu en energieprestatie van een gebouw) voor residentiële en niet-residentiële gebouwen Vooral toepasbaar in niet-industriële gebouwen waar de criteria voor het binnenmilieu bepaald worden door menselijke aanwezigheid en waar de productie of het proces geen grote impact op het binnenmilieu heeft. De norm is bijvoorbeeld toepasbaar voor volgende gebouwtypes: Huizen, appartementen, kantoorgebouwen, scholen, ziekenhuizen, hotels en restaurants, sportfaciliteiten, ... (residentiële en niet residentiële gebouwen)
	Basis voor de criteria voor binnenluchtkwaliteit en ventilatiedebieten	In bijlage B van de norm EN 15251 zijn tabellen met aanbevolen ventilatiedebieten per persoon of per m ² en CO ₂ -concentraties opgegeven (=informatief) alsook aanbevolen ventilatiedebieten gebaseerd op een component voor mens en gebouw (i.f.v. pollutieniveau)
prEN 16798-1 (mei 2015)	Classificatie gebaseerd op 'perceived air quality'	Beschrijving normatief, categoriën met luchtdebieten i.f.v. het procentueel aantal ontevreden personen, voor verdunnen bioëffluenten en materiaalemissies in gebouwen Tabellen met typische waarden en standaardwaarden zijn in bijlage van de (nieuwe) norm opgenomen (= informatief)
NBN D 50-001	Toepassingsgebied norm	Eisen betreffende luchtverversing in woongebouwen Richtlijnen voor ventilatievoorzieningen in woongebouwen (op voorwaarde dat geen rekening dient gehouden met emissie van schadelijke stoffen door de gebruikte materialen of de bodem; ventilatie in hoofdzaak bedoeld ter bestrijding van de verontreiniging ten gevolge van de bewoning door de mens)

In EN 13779 wordt volgende relatie tussen een aantal bestaande normen voor ventilatie weergegeven, zoals opgenomen in Tabel 2.

Tabel 2: Relatie tussen verschillende normen (volgens EN 13779)

Type gebouw →	Residentieel	Niet residentieel
Doel ↓		
Berekening/ventilatie debieten	EN 15242	
Berekening/ ventilatie energie	EN 15241	
Ontwerp, systeemprestatie	CEN/TR 14788 ^a	EN 13779rev (wordt EN 16798-3)
Criteria voor het binnenmilieu	EN 15251 (wordt EN 16798-1)	

^a een nieuw werkitem werd benoemd om de CEN/TR 14788 te reviseren en tot een Europese norm te bevorderen

2.1. EN 13779:2007

2.1.1. TOEPASSINGSGEBIED VAN DE NORM

In deze norm worden een aantal richtlijnen voor ontwerp en uitvoering van ventilatie-, airconditioning- en luchtbehandelingssystemen in niet-residentiële gebouwen bestemd voor menselijke bezetting gegeven met het oog op het bereiken van een comfortabele en gezonde binnenomgeving. Natuurlijke ventilatiesystemen worden niet door deze norm behandeld.

In dit document wordt een overzicht gegeven van de criteria met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit van het gebouw.

2.1.2. ALGEMENE GEBOUWKENMERKEN, GEBRUIK EN EISEN VAN DE RUIMTEN MET BETREKKING TOT DE LUCHTKWALITEIT

De omgevingskenmerken van het gebouw en de categorie van buitenlucht dienen beschreven te worden.

Het ontwerp van het ventilatiesysteem is ondermeer afhankelijk van de bezettingsgraad van de ruimte (zie Tabel 3). Het bezettingsprofiel op typische dagen, tijdens jaarlijkse perioden van niet-bezetting (bijv. scholen) en de algemene gebruiksomstandigheden (bijv. tijdens het weekend, 's nachts enz) moeten worden beschreven. Daarnaast moeten de activiteit en aankleding bepaald zijn.

Tabel 3: Vloeroppervlakte per persoon verondersteld bij het ontwerp van een ventilatiesysteem

Type gebruik	Vloeroppervlakte per persoon m ² per persoon - standaardwaarde
Landschapskantoor	12
Kleine kantoorruimte	10
Vergaderzaal	3,0
Opslagruimte	4,0
Klaslokaal	2,5
Ziekenhuiszaal	10
Slaapkamer van een hotel	10
Restaurant	1,5

Het vereiste luchtkwaliteitsniveau en de toegepaste classificatiemethode moeten bepaald zijn. Het al dan niet toegestaan zijn van roken is een belangrijk invoergegeven. De luchtdebieten die noodzakelijk zijn om te voldoen aan de voorgeschreven eisen, moeten berekend worden.

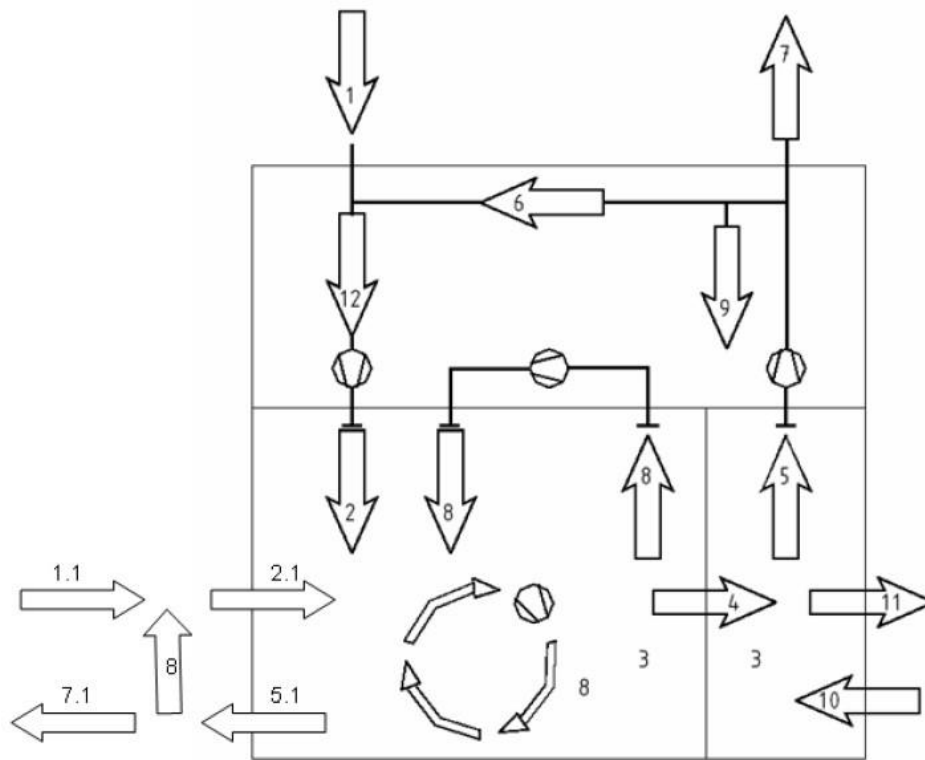
Indien hieromtrent niets opgegeven is, dan kunnen de buitenluchtdebieten per persoon voor klasse IDA-2 van de binnenluchtkwaliteit als standaardwaarde gebruikt worden.

2.1.3. SPECIFICATIE EN CLASSIFICATIE VAN DE LUCHT

De types lucht die in een gebouw en in een ventilatie- of airconditioning systeem voorkomen, worden beschreven in Tabel 4 en geïllustreerd aan de hand van Figuur 1.

Tabel 4: Beschrijving van de types lucht in een gebouw en in een ventilatie- of airconditioning systeem

Nr. in Figuur 1	Luchttype	Afkorting	Kleur	Definitie
1	Buitenlucht	ODA	Groen	Lucht die in het systeem of door openingen van buiten binnenkomt, vóór enige luchtbehandeling
2	Toevoerlucht	SUP	Blauw	Lucht die in de te behandelen ruimte binnenkomt of die in het systeem binnenkomt na een behandeling
3	Binnenlucht	IDA	Grijs	Lucht in de te behandelen ruimte of zone
4	Doorstroamlucht	TRA	Grijs	Binnenlucht die van de ene te behandelen ruimte naar de andere te behandelen ruimte stroomt
5	Afvoerlucht	ETA	Geel	Lucht die de te behandelen ruimte verlaat
6	Herbruikte lucht	RCA	Oranje	Afvoerlucht die naar het luchtbehandelingsstelsel wordt teruggevoerd en opnieuw als toevoerlucht wordt gebruikt
7	Afgevoerde lucht	EHA	Bruin	Lucht die in de atmosfeer wordt geloosd
8	Secundaire lucht	SEC	Oranje	Lucht die aan een ruimte wordt onttrokken en naar diezelfde ruimte terugkeert na een behandeling
9	Lekkage	LEA	Grijs	Ongecontroleerde doorgang van lucht via lekken in het systeem
10	Infiltratie	INF	Groen	Ongecontroleerde doorgang van lucht in een gebouw via lekken in de gebouwschil
11	Exfiltratie	EXF	Grijs	Ongecontroleerde doorgang van lucht uit een gebouw via lekken in de gebouwschil
12	Menglucht	MIA	Stromen met afzonderlijke kleuren	Lucht die een mengsel is ten gevolge van twee of meer luchtstromingen
1.1	Buitenlucht voor één ruimte	SRO	Groen	Onbehandelde lucht die via de luchtbehandelingseenheid van één enkele ruimte of via één opening binnenstroomt
2.1	Toevoerlucht voor één ruimte	SRS	Blauw	Lucht die de te behandelen ruimte binnenstroomt
5.1	Afvoerlucht voor één ruimte	SET	Geel	Lucht die vanuit de te behandelen ruimte naar een luchtbehandelingseenheid voor één ruimte stroomt
7.1	Afgevoerde lucht voor één ruimte	SEH	Bruin	Lucht die vanuit de luchtbehandelingseenheid voor één ruimte in de atmosfeer wordt geloosd



Figuur 1: Illustratie van de luchttypes met behulp van de nummers in Tabel 4

De volgende classificaties kunnen worden gebruikt om de kwaliteit van de verschillende in Tabel 4 gedefinieerde luchttypes te beschrijven. In bijlage A van de norm EN 13779 worden een aantal toepassingen van deze classificaties gegeven.

→ **Afvoerlucht en afgevoerde lucht**

De classificaties van de afvoerlucht en de afgevoerde lucht zijn weergegeven in Tabel 5.

- In het geval dat de **afvoerlucht** verschillende klassen van afvoerlucht uit verschillende ruimten bevat, bepaalt de luchtstroom met het hoogste klassennummer typisch de klasse van de totale luchtstroom.
- De klassen van **afgevoerde** lucht hebben betrekking op de lucht na eender welke vorm van reiniging. Indien de afgevoerde lucht wordt gereinigd, moeten de reinigingsmethode en het verwachte effect ervan duidelijk worden vermeld en moet de aanvankelijke en blijvende werkzaamheid van het reinigingsproces worden aangetoond.

Er moet ook rekening worden gehouden met het economisch rendement (zie Bijlage B van de norm voor de methodologie), vooral indien men ernaar streeft om de afvoerlucht met meer dan één klasse te verbeteren. Afvoerlucht van klasse EHA 1 kan niet via reiniging worden verkregen.

Tabel 5: Classificatie van afvoerlucht (ETA) en afgevoerde lucht (EHA)

Klasse	Beschrijving	Voorbeelden
ETA 1 EHA 1	Afvoerlucht met lage vervuilingsgraad	
	Lucht afkomstig uit ruimten waarin de vervuiling voornamelijk afkomstig van bouwmaterialen en constructies, en lucht uit bezette ruimten waar de belangrijkste emissiebronnen menselijke stofwisseling en bouwmaterialen en -constructies zijn, met uitzondering van ruimten waar mag worden gerookt.	Kantoren, met inbegrip van kleine geïntegreerde opslagruimten, openbare ruimten, klaslokalen, trappen, gangen, vergaderzalen, handelsruimten zonder bijkomende emissiebronnen.
ETA 2 EHA 2	Afvoerlucht met matige vervuilingsgraad	
	Lucht afkomstig uit bezette ruimten, die meer onzuiverheden bevat dan lucht van klasse 1, afkomstig van dezelfde bronnen en/of van menselijke activiteiten. Ruimten die normaal gesproken tot klasse ETA 1 zouden behoren, maar waar mag worden gerookt.	Restaurants, keukens om warme dranken te bereiden, winkels, opslagruimten in kantoorgebouwen, hotelkamers, kleedkamers.
ETA 3 EHA 3	Afvoerlucht met hoge vervuilingsgraad	
	Lucht afkomstig uit ruimten waar de luchtkwaliteit sterk beperkt wordt door de geproduceerde vochtigheid, processen, chemicaliën enz.	Toiletten en sanitaire ruimten, sauna's, keukens, fotokopieerzalen, rokerssalons.
ETA 4 EHA 4	Afvoerlucht met zeer hoge vervuilingsgraad	
	Lucht die geuren en onzuiverheden bevat in concentraties die aanzienlijk hoger zijn dan deze toegelaten voor de binnenlucht van bezette ruimten.	Afzuiging voor professioneel gebruik, grills en keukendampkappen, garages en wegtunnels, parkings, ruimten waar verven en oplosmiddelen worden verwerkt, ruimten voor ongewassen wasgoed, ruimten voor voedselafval, centrale stofzuigsystemen en veelvuldig gebruikte rokerssalons.

→ Buitenlucht

Tijdens de ontwerpfase moet rekening gehouden worden met de kwaliteit van de buitenlucht rond het gebouw. Twee manieren kunnen bijdrage tot een vermindering van de effecten van slechte buitenlucht op het binnenmilieu:

- De luchtinlaten worden aangebracht op plaatsen waar de buitenlucht het minst vervuild is (indien de verontreiniging van de buitenlucht niet gelijkmatig rond het gebouw verdeeld is)
- Het toepassen van één of andere vorm van luchtreiniging

Er zijn verschillende luchtfiltertechnieken beschikbaar, waarvan de geschiktheid afhankelijk is van de verontreiniging van de buitenlucht met gassen, stof of beide (ook rekening houdend met de grootte van de betrokken deeltjes).

Tabel 6 geeft een classificatie van de buitenlucht. Deze klassen helpen bij het nemen van het besluit of reducering van de van buiten afkomstige verontreiniging vereist is.

Tabel 6: Classificatie van buitenlucht (ODA)

Categorie	Beschrijving
ODA 1	Zuivere lucht die slechts tijdelijk stofbelast (bijvoorbeeld pollen) mag zijn
ODA 2	Buitenlucht met een hoog stofgehalte en/of een hoge concentratie aan gasvormige verontreinigende stoffen
ODA 3	Buitenlucht met een zeer hoge concentratie aan gasvormige verontreinigende stoffen en/of een zeer hoog stofgehalte

ODA 1 is van toepassing wanneer aan de richtlijnen van de WHO (1999) en eventuele nationale normen of regelgeving in verband met de kwaliteit van de buitenlucht is voldaan.

ODA 2 is van toepassing wanneer de concentraties van de verontreinigende stoffen de WHO-richtlijnen of eventuele nationale normen of regelgeving in verband met de kwaliteit van de buitenlucht met een factor tot 1,5 overschrijden.

ODA 3 is van toepassing wanneer de concentraties van de verontreinigende stoffen de WHO-richtlijnen of eventuele nationale normen of regelgeving in verband met de kwaliteit van de buitenlucht met een factor groter dan 1,5 overschrijden.

→ Toevoerlucht

De kwaliteit van de toevoerlucht voor gebouwen met menselijke bezetting moet zodanig zijn dat een geschikte binnenluchtkwaliteit bekomen wordt, rekening houdend met de verwachte emissies van binnenbronnen (menselijke stofwisseling, activiteiten en processen, bouwmaterialen, meubilair) en emissies van het ventilatiesysteem zelf.

→ Binnenlucht

De basisclassificatie van binnenlucht is gegeven in Tabel 7. Deze classificatie is van toepassing op de binnenlucht in de bezette zone.

Tabel 7: Basisclassificatie van de binnenluchtkwaliteit (IDA)

Klasse	Beschrijving
IDA 1	Hoge binnenluchtkwaliteit
IDA 2	Middelmatige binnenluchtkwaliteit
IDA 3	Aanvaardbare binnenluchtkwaliteit
IDA 4	Lage binnenluchtkwaliteit

De waarden van de binnenluchtklassen kunnen in nationale regelgeving zijn opgenomen. De in EN 15251 gegeven waarden kunnen als standaardwaarden worden gebruikt. De precieze definitie van de klassen hangt af van de aard van de verontreinigingsbronnen waarmee rekening wordt gehouden, en van de effecten van deze verontreinigingen. De verontreinigingsbronnen kunnen bijvoorbeeld:

- ruimtelijk bepaald zijn of verdeeld over het gebouw;
- continu of met onderbrekingen emitteren;
- (anorganische, levensvatbare of andere organische) deeltjes of (organische of anorganische) gassen/dampen afgeven.

De effecten kunnen worden beschouwd in termen van perceptie van de luchtkwaliteit of effecten op de gezondheid. De effecten kunnen afhankelijk zijn van de blootgestelde personen, bv. of het gaat om gezonde volwassenen, kinderen of ziekenhuispatiënten. Bijgevolg valt een alomvattende definitie van de klassen van binnenluchtkwaliteit buiten het toepassingsgebied van deze norm. Niettemin kan de bedoeling van de klassen worden geïllustreerd door verwijzing naar de situatie waarin:

- mensen (d.w.z. menselijke stofwisseling) de enige bron van luchtvervuiling zijn waarmee rekening moet worden gehouden;
- men uitsluitend de perceptie van niet-aangepaste personen in aanmerking neemt.

Voor praktische toepassingen moeten de vier klassen van binnenluchtkwaliteit worden gekwantificeerd met één van de methoden beschreven in hoofdstuk 2.1.4 verder in dit verslag. De methode mag vrij worden gekozen, maar moet aangepast zijn aan het gebruik van de ruimte en aan de eisen. De verschillende methoden leiden tot dezelfde klasse van binnenluchtkwaliteit, maar niet noodzakelijk tot dezelfde hoeveelheid toevoerlucht. In speciale gevallen mogen andere methoden worden gebruikt om de binnenluchtkwaliteit te kwantificeren.

Verdere aanwijzingen in verband met het bepalen van de klasse van binnenluchtkwaliteit worden gegeven in EN 15251, waarbij ook rekening wordt gehouden met andere verontreinigingsbronnen dan bezetting door personen en roken. Het wordt sterk aanbevolen om niet-vervuilende of weinig vervuilende bouwmaterialen te kiezen, eerder dan het buitenluchtdebiet te verhogen om vermijdbare emissies te verdunnen. Dit geldt ongeacht de benadering die is gekozen om de luchtkwaliteit te bepalen, en daarbij moeten ook de emissies worden omvat die afkomstig zijn van alle interne bronnen, d.w.z. meubels, tapijten en het ventilatie- of airconditioningsysteem zelf.

Indien de emissies van de materialen kunnen worden geschat op een “per m²” basis, kan een totaal vereist ventilatiedebiet worden berekend door de eis per persoon en de eisen per m² te combineren. Wanneer verontreinigingen aanwezig zijn, maar niet meteen worden waargenomen, dient hiermee bijkomend rekening te worden gehouden. Bij wijze van alternatief kan de noodzakelijke luchtreiniging om aanvaardbare concentraties te bereiken (of een procentuele eliminatie) worden voorgeschreven. Dit is bijvoorbeeld een gebruikelijke werkwijze met betrekking

tot ziekenhuizen. Deze methoden zijn afhankelijk van de gebouwen, de aanwezige verontreinigende stoffen en de toepasselijke nationale codes.

Alle klassen en figuren zijn informatief. Normatieve waarden en berekeningswijzen voor het totale ventilatiedebiet, rekening houdend met de verschillende vervuilingbronnen, kunnen op nationaal niveau worden verstrekt.

Voor ruimten met menselijke bezetting, moeten de ventilatie-opties voor periodes van niet-bezetting worden voorgeschreven in overeenstemming met de nationale regelgeving, zodat de nagestreefde binnenluchtkwaliteit wordt bereikt bij het begin van de bezetting. De belangrijkste opties voor ventilatie buiten de periodes van bezetting zijn:

- een basisventilatiedebiet gedurende de volledige periode van niet-bezetting, bv. gebruikmakend van de afvoerlucht van hygiënische ruimten
- vroegtijdig starten van de ventilatie vóór de bezetting
- het ventilatiesysteem gedurende korte tijdspannen laten werken tijdens de niet-bezettingsperiodes

Een minimumwaarde van 0,1 tot 0,2 l.s⁻¹.m⁻² wordt aanbevolen indien geen nationale eisen beschikbaar zijn.

Verdere aanwijzingen in verband met het uitdrukken van de binnenluchtkwaliteit en de manier waarop het binnenmilieu moet worden gespecificeerd bij het gebouwo ontwerp, worden in de norm ISO 16814 gegeven.

2.1.4. CLASSIFICATIEMETHODEN VOOR BINNENLUCHT

De vier IDA-klassen van binnenluchtkwaliteit worden gekwantificeerd met één van volgende vier methoden.

2.1.4.1. Onrechtstreekse classificatie op basis van het buitenluchtdebiet per persoon

Deze methode is een gevestigde, praktische methode voor alle situaties waarin de ruimten dienen voor typische menselijke bezetting.

De buitenluchtdebieten moeten zijn gespecificeerd in overeenstemming met de nationale regelgeving en richtlijnen. Aan de voorgeschreven waarden moet in de bezette zone voldaan zijn.

De waarden uit Tabel 8 die in de bijlagen van de norm EN 13779 zijn opgenomen, mogen als standaardwaarden worden gebruikt. De waarden uit de norm uitgedrukt in $l.s^{-1}$ per persoon worden in Tabel 8 eveneens uitgedrukt in $m^3.h^{-1}$ per persoon.

Het ontwerp-ventilatie-debiet met buitenlucht kan ook rekening houden met emissies van andere bronnen, zoals bouwmaterialen of meubels.

Tabel 8: Ventilatie-debieten met buitenlucht per persoon

Klasse	Eenheid	Ventilatie-debiet met buitenlucht per persoon			
		Niet rokerszone		Rokerszone	
		Typische waarden	Standaard-waarde	Typische waarden	Standaard-waarde
IDA 1	$l.s^{-1}.persoon^{-1}$	> 15	20	> 30	40
	$m^3.h^{-1}.persoon^{-1}$	> 54	72	> 108	144
IDA 2	$l.s^{-1}.persoon^{-1}$	10 – 15	12,5	20 – 30	25
	$m^3.h^{-1}.persoon^{-1}$	36 – 54	45	72 – 108	90
IDA 3	$l.s^{-1}.persoon^{-1}$	6 – 10	8	12 – 20	16
	$m^3.h^{-1}.persoon^{-1}$	22 – 36	29	43 – 72	58
IDA 4	$l.s^{-1}.persoon^{-1}$	< 6	5	< 12	10
	$m^3.h^{-1}.persoon^{-1}$	< 22	18	< 43	36

2.1.4.2. Onrechtstreekse classificatie op basis van het luchtdebiet per vloeroppervlakte

Deze methode kan in sommige gevallen worden gebruikt om een systeem te ontwerpen voor ruimten die niet bestemd zijn voor menselijke bezetting en waarvan het gebruik niet duidelijk is bepaald (bijvoorbeeld opslagruimten). Tabel 9 geeft standaardwaarden voor deze gevallen. De waarden uit de norm uitgedrukt in $l.s^{-1}$ per m^2 worden in deze tabel eveneens uitgedrukt in $m^3.h^{-1}$ per m^2 .

Tabel 9: Ventilatie-debiet met buitenlucht of doorstroomlucht per eenheid van vloeroppervlakte (netto oppervlakte) voor ruimten die niet ontworpen zijn voor menselijke bezetting

Klasse	Eenheid	Ventilatie-debiet met buitenlucht of doorstroom per eenheid van vloeroppervlakte	
		Typisch gebied	Standaardwaarde
IDA 1	$l.s^{-1}.m^{-2}$ $m^3.h^{-1}.m^{-2}$	a	a
IDA 2	$l.s^{-1}.m^{-2}$ $m^3.h^{-1}.m^{-2}$	> 0,7 > 2,5	0,83 3
IDA 3	$l.s^{-1}.m^{-2}$ $m^3.h^{-1}.m^{-2}$	0,35 – 0,7 1,3 – 2,5	0,55 2
IDA 4	$l.s^{-1}.m^{-2}$ $m^3.h^{-1}.m^{-2}$	< 0,35 < 1,3	0,28 1

a Voor IDA 1 volstaat deze methode niet

2.1.4.3. Classificatie op basis van het CO₂-niveau

De binnenluchtkwaliteit kan worden geclassificeerd aan de hand van de CO₂-concentratie. CO₂ is een goede indicator voor de emissie van menselijke bio-effluenten. Classificatie volgens het CO₂-niveau is gangbaar voor bezette ruimten waar een rookverbod geldt en de vervuiling hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de menselijke stofwisseling.

Standaardwaarden voor de binnenluchtkwaliteit, geclassificeerd volgens de CO₂-concentratie, worden gegeven in onderstaande Tabel 10 uit bijlage A van de norm EN 13779 en in EN 15251:2007, Bijlage B.

Tabel 10: Classificatie van de binnenluchtkwaliteit op basis van het CO₂-niveau in ruimten

Klasse	CO ₂ -niveau boven niveau van buitenlucht in ppm ΔCO_2	
	Typische waarden	Standaardwaarde
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1000	800
IDA 4	> 1000	1200

De op CO₂ gebaseerde klassen zijn nominaal gelijkwaardig met de buitenluchtdebieten voor rookvrije ruimten, bij een zeker niveau van activiteit. De vermelde debieten voor rookvrije ruimten houden rekening met de menselijke stofwisseling, maar ook met typische emissies in weinig

vervuilende gebouwen. In gevallen met een hoog niveau van activiteit ($M > 1.2$ met), behoren de buitenluchtdebieten te worden verhoogd in overeenstemming met EN ISO 7730. Indien het aantal personen dat het gebouw per vierkante meter bezet, gekend is, kan de luchtkwaliteit worden uitgedrukt als een luchtdebiet per vierkante meter. Deze methode kan in sommige gevallen worden gebruikt om een systeem te ontwerpen voor ruimten die niet bestemd zijn voor menselijke bezetting en waarvan het gebruik niet duidelijk is bepaald (bijvoorbeeld opslagruimten).

2.1.4.4. Classificatie op basis van de concentratieniveaus van specifieke verontreinigende stoffen

Deze classificatiemethode is geschikt voor situaties met significante emissies van specifieke verontreinigende stoffen. Indien er voldoende informatie beschikbaar is over alle interne emissies, dan kunnen de eisen met betrekking tot het ventilatiedebiet worden berekend op de hieronder getoonde wijze. Indien de emissiegraad niet gekend is, kan de vereiste luchtkwaliteit ook onrechtstreeks worden voorgeschreven door middel van het ventilatiedebiet op basis van de ervaring.

Het nodige ventilatiedebiet bij een emissie en een bepaalde toegelaten concentratie in de ruimte geven de verdunning van een gekende emissie, als volgt:

$$q_{v,SUP} = \frac{q_{m,E}}{C_{IDA} - C_{SUP}} \quad (1)$$

Met:

$q_{v,SUP}$	is het volumedebiet van de toevoerlucht in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$q_{m,E}$	is het emissiemassadebiet in de ruimte in $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$
C_{IDA}	is de toegelaten concentratie binnen de ruimte in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
C_{SUP}	is de concentratie in de toevoerlucht in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

In geval van verschillende verontreinigende stoffen, is het noodzakelijk om alle relevante verontreinigende stoffen na te gaan, om te bepalen welke het meest kritisch is. In de regel verdient een beheersing aan de bron de voorkeur boven ventilatie.

De hiervoor gegeven vergelijking (1) is geldig voor een stabiele toestand (standaardtoestand) met een langdurige constante emissie. In het geval van een emissie van korte duur, is het mogelijk dat de stationaire evenwichtsconcentratie niet wordt bereikt of kan het luchtdebiet voor een gegeven maximaal concentratieniveau worden verminderd. De tijdsafhankelijkheid van het concentratieniveau in de ruimte wordt gegeven door (toevoerluchtdebiet = afvoerluchtdebiet):

$$C_{IDA}(t) - C_{SUP} = C_{IDA}(0) + \frac{q_{m,E}}{q_{v,SUP}} \left(1 - e^{-\frac{q_{v,SUP}}{V_r} \cdot t} \right) \quad (2)$$

Met:

$C_{IDA}(t)$	is de concentratie binnen de ruimte op het tijdstip t in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
C_{SUP}	is de concentratie in de toevoerlucht in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
$C_{IDA}(0)$	is de concentratie binnen de ruimte bij het begin ($t=0$) in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
$q_{v,SUP}$	is het volumedebiet van de toevoerlucht in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$q_{m,E}$	is het emissiemassadebiet in de ruimte in $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$
V_r	is het luchtvolume binnen de ruimte in m^3
t	is de tijd in s

2.1.5. BINNENLUCHTKWALITEIT

2.1.5.1. Ontwerpaannames

De belangrijkste ontwerpaannames met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit zijn informatie over de menselijke bezetting, het al of niet toegestaan zijn van roken en emissies van andere bronnen dan de menselijke stofwisseling en roken. Men behoort er ook rekening mee te houden dat de luchtkwaliteit doorgaans negatiever wordt ervaren naarmate de temperatuur en vochtigheid toenemen.

Typische waarden voor de menselijke bezetting worden gegeven in Tabel 3 van hoofdstuk 2.1.2 in dit verslag. Het ontwerp moet zoveel mogelijk gebaseerd zijn op de feitelijke projectgegevens. Indien echter geen waarden zijn opgegeven, gelden de in Tabel 3 gegeven standaardwaarden. Indien geen informatie met betrekking tot roken is opgegeven, moet men aannemen dat voor alle in Tabel 3 vermelde soorten gebruik een rookverbod geldt. Nationale regelgeving met betrekking tot het roken kan bijkomende eisen en richtlijnen geven in verband met de ventilatie van gebouwen die zowel rokerszones als niet-rokerszones omvatten.

Emissies afkomstig van andere bronnen dan de menselijke stofwisseling en roken zullen zo duidelijk mogelijk gespecificeerd worden. Indien met geen andere emissies rekening is gehouden, moet dit worden vermeld in de ontwerpdocumentatie.

2.1.5.2. Toevoerluchtdebieten

→ Algemeen

Het buitenluchtdebiet moet worden bepaald aan de hand van de volgende criteria:

- menselijke bezetting met of zonder roken
- andere gekende emissies
- de warmte- of koellast die door de ventilatie moet worden afgevoerd.

De leidingen moeten voldoende luchtdicht zijn, om ongecontroleerd verlies van de toevoerlucht te voorkomen. In EN 15242 worden methoden beschreven om de invloed van luchtlekken in leidingen en luchtbehandelingseenheden te schatten.

Aanbevolen ontwerpventilatievoudens zijn gegeven in EN 15251:2997, Bijlage B.

→ Menselijke bezetting

Het ventilatiedebiet voor menselijke bezetting moet worden bepaald met behulp van de informatie in 2.1.4 of aan de hand van specifieke waarden van het luchtdebiet, gebaseerd op regelgeving.

→ Andere gekende emissies

zie 2.1.4.4

2.2. EN 15251:2007

2.2.1. TOEPASSINGSGEBIED VAN DE NORM

Deze Europese norm bepaalt de binnenomgevingsparameters die van invloed kunnen zijn op de energieprestatie van gebouwen. Een energieverklaring zonder verklaring gerelateerd aan het binnenmilieu heeft geen zin. Er is daarom een behoefte om criteria voor het binnenmilieu te omschrijven voor het ontwerp, energieberekeningen, performantie en de exploitatie van gebouwen. De norm bevat een aantal ontwerpparameters voor gebouwen en verwarmings-, koel-, ventilatie- en verlichtingssystemen.

De norm is vooral toepasbaar in niet industriële gebouwen waar de criteria voor het binnenmilieu bepaald worden door menselijke aanwezigheid en waar de productie of het proces geen grote impact op het binnenmilieu heeft. Voorbeelden hiervan zijn huizen, appartementen, kantoorgebouwen, scholen, ziekenhuizen, hotels en restaurants, sportfaciliteiten, ...

Verschillende categorieën van criteria voor het binnenmilieu worden in de norm opgegeven maar het gebruik van bepaalde criteria wordt niet opgelegd. Dit laatste moet in nationale wetgeving of individuele projectspecificaties worden vastgelegd. Een beschrijving van de toepasselijkheid van de gebruikte criteria is in Tabel 11 weergegeven:

Tabel 11: Beschrijving van de toepasselijkheid van de gebruikte criteria

Categorie	Toelichting
I	Hoog verwachtingsniveau, aanbevolen voor ruimten die bezet worden door zeer gevoelige en zwakke personen met bijzondere vereisten zoals gehandicapten, zieken, zeer jonge kinderen en oudere personen
II	Normaal verwachtingsniveau dat gebruikt zou moeten worden voor nieuwe gebouwen en renovaties
III	Een aanvaardbaar, gemiddeld verwachtingsniveau dat gebruikt kan worden voor bestaande gebouwen
IV	Waarden buiten de criteria van bovenvermelde categorieën. Deze categorie is enkel aanvaardbaar voor een beperkt deel van het jaar

In andere normen zoals de EN 13779 en EN ISO 7730 worden eveneens criteria gebruikt maar deze zijn anders benoemd (A, B, C of 1, 2, 3 enz).

Enkele methoden waarmee het mogelijk is om de verkregen binnenomgeving op lange termijn te beoordelen worden eveneens beschreven in de norm.

2.2.2. BINNENLUCHTKWALITEIT EN VENTILATIEDEBIETEN

2.2.2.1 Niet residentiële gebouwen

Voor het ontwerp van ventilatiesystemen en de berekening van het warmte- en koelvermogen moet het vereiste ventilatiedebiet in ontwerpdocumenten omschreven worden. De ontwerpdocumenten zijn gebaseerd op nationale vereisten of op één van de aanbevolen methoden van bijlage B.1 van de EN 15251.

Het ontwerp kan op verschillende categorieën binnenluchtkwaliteit gebaseerd zijn die de vereiste ventilatiedebieten zullen bepalen. De verschillende categorieën voor de luchtkwaliteit kunnen op verschillende manieren uitgedrukt worden zoals in bijlage B van de norm weergegeven:

- combinatie van ventilatie voor personen en bouwmaterialen
- ventilatie per m² vloeroppervlakte
- ventilatie per persoon
- op basis van het vereiste CO₂-niveau

Het ontwerpdocument moet aangeven welke methode gebruikt werd.

De ventilatiedebieten voor luchtkwaliteit zijn onafhankelijk van het seizoen maar hangen af van de bezetting, activiteiten binnenshuis (bijvoorbeeld roken, koken, wassen, poetsen, ...), processen (bijvoorbeeld kopieerapparaten in kantoren, chemische stoffen in schoolgebouwen enz) en emissies van bouwmaterialen en meubilair. In het ontwerp en de werking moeten de belangrijkste bronnen van verontreiniging geïdentificeerd en geëlimineerd of op elk mogelijke manier verminderd worden.

2.2.2.2 Residentiële gebouwen

De binnenlucht in residentiële gebouwen hangt van veel parameters en bronnen af zoals:

- Aantal personen (tijd van bezetting);
- Emissies ten gevolge van activiteiten (roken, vochtigheid, intensief koken);
- Emissies van meubilair, vloermaterialen en reinigingsproducten, hobbies enz.

Vochtigheid is van bijzonder belang bij residentiële ventilatie aangezien de meeste nadelige gezondheidseffecten en problemen in gebouwen in verband gebracht worden met vochtigheid. Een aantal van deze bronnen kan niet beïnvloed of gecontroleerd worden door de ontwerper.

De vereiste ventilatiedebieten tijdens het ontwerp zullen uitgedrukt worden als luchtverversing per uur voor elke ruimte, en/of buitenluchttoevoer en/of vereiste afvoerdebieten (badkamer, toiletten en keukens) of opgegeven worden als alles omvattende vereiste luchtverversingsdebieten. In de meeste nationale reglementeringen en codes zijn gedetailleerde aanwijzingen betreffende luchtdebieten per vertrek opgenomen. De vereiste debieten zullen voor het ontwerp van mechanische-, natuurlijke- en afzuigventilatiesystemen gebruikt worden. In bijlage B.2. van de EN 15251 worden standaardwaarden opgegeven in het geval geen nationale reglementeringen beschikbaar zijn. De standaardwaarden voor de ventilatiedebieten die in deze bijlage zijn weergegeven, zijn gebaseerd op een gemiddeld gebruik van de woning. In bepaalde woningen zal meer ventilatie nodig zijn en in andere woningen zullen lagere ventilatiedebieten volstaan. Nationale reglementeringen en internationale normen helpen de ontwerper met aannames betreffende gebruikelijke residentiële bronnen om zo het juiste luchtdebiet te verwezenlijken.

2.2.3. BINNENMILIEUPARAMETERS VOOR ENERGIEBEREKENINGEN: BINNENLUCHT EN VENTILATIE

Genormaliseerde invoerwaarden voor energieberekeningen zijn nodig voor de berekeningen die in artikel 3 en in de bijlage van de EPBD omschreven zijn. Om een jaarlijkse energieberekening uit te voeren zullen criteria voor het binnenmilieu opgegeven en gedocumenteerd worden.

2.2.3.1 Niet residentiële gebouwen

Tijdens de werkingsuren zullen de ventilatiedebieten voor energieberekeningen dezelfde zijn als gespecificeerd tijdens de dimensionering van het ventilatiesysteem bij ontwerp.

Om een goede binnenluchtkwaliteit in het begin van de bezetting van de ruimte te garanderen, zal de ventilatie vóór de bezetting gestart worden of zal er een minimum ventilatiedebiet tijdens de uren van niet-bezetting voorzien worden. Indien geen nationale reglementeringen bestaan, dan moeten de aanbevelingen in bijlage B.4 van de norm EN 15251 gevolgd worden.

In systemen met variabele luchtdebieten en vraaggestuurde ventilatiesystemen, mag het ventilatiedebiet variëren tussen het maximum debiet bij volledige bezetting/maximale vraag en het minimum voor een niet bezette ruimte. In het geval van een CO₂-gecontroleerde ventilatie mag de CO₂-concentratie de ontwerpwaarden niet overschrijden. Aanbevolen waarden voor de waarden van de CO₂-concentraties boven de CO₂-buitenluchtconcentratie worden verder in Tabel 17 opgegeven.

2.2.3.2 Residentiële gebouwen

→ Mechanische ventilatie

In residentiële gebouwen is het minimum ventilatiedebiet gewoonlijk constant zoals weergegeven in het ontwerp voor periodes met bezetting.

Residentiële gebouwen moeten tijdens niet bezette periodes met een lager debiet geventileerd worden dan tijdens periodes met bezetting. Het minimum ventilatiedebiet zal gedefinieerd worden op basis van de maat van verontreiniging van de ruimten. Indien geen nationale reglementeringen beschikbaar zijn, dan worden de waarden in B.4 van de norm aanbevolen.

In systemen met variabele luchtdebieten kan het ventilatiedebiet tussen het minimum en maximum gevarieerd worden, afhankelijk van de bezettingsgraad en de maat van verontreiniging zoals de vochtproductie in de ruimte. Vraaggestuurde ventilatiesystemen of systemen met detectie van de bezetting moeten de gekozen criteria behalen. Regels en criteria voor deze relatie of equivalentie moeten volgens nationale reglementeringen en op nationaal niveau verondersteld worden.

→ Natuurlijke ventilatie

Ventilatiedebieten in natuurlijk geventileerde gebouwen worden berekend op basis van het gebouwo ontwerp, locatie en weersomstandigheden volgens de norm EN 15242. Het minimum ventilatiedebiet gespecificeerd bij het ontwerp wordt voor energieberekeningen tijdens uren met bezetting gebruikt.

Tijdens periodes zonder bezetting zal een minimum ventilatie voor de gebouwen voorzien worden. Indien geen nationale reglementeringen en codes bestaan, dan kunnen de aanbevolen waarden in B.4 van de norm gebruikt worden.

2.2.4. BEOORDELING VAN DE BINNENLUCHTKWALITEIT EN VENTILATIE

De belasting van een gebouw varieert van plaats tot plaats en van tijd tot tijd. Hierdoor is het mogelijk dat het ontworpen systeem niet in alle ruimten en gedurende alle tijdstippen voldoet aan de opzet tijdens ontwerp. Daarom moet de lange-termijn performantie van een gebouw rekening houdend met het binnenmilieu geëvalueerd worden.

De binnenluchtkwaliteit en de ventilatie van een gebouw worden beoordeeld op basis van representatieve stalen van verschillende luchtbehandelingseenheden en zones in het gebouw.

2.2.4.1 Ventilatiemethode

De ventilatie van gebouwen kan geëvalueerd worden door het meten van luchtdebieten in kanalen of door het uitvoeren van tracergas metingen.

2.2.4.2 Luchtkwaliteitsmethode

In gebouwen waar mensen de belangrijkste bron van verontreiniging zijn, kan de luchtkwaliteit van een gebouw geëvalueerd worden door het meten van de gemiddelde CO₂-concentratie in het gebouw bij maximale bezetting. Representatieve stalen van de lucht in de vertrekken kunnen hiervoor genomen worden of de concentratie in de afvoerlucht kan gemeten worden.

2.2.5. INSPECTIES EN METING VAN DE BINNENOMGEVING IN BESTAANDE GEBOUWEN

Het is vaak nodig om metingen van het binnenmilieu van het gebouw tijdens de inspectie uit te voeren om advies te geven over het warmtevermogen en de dimensionering van het systeem en de werking.

Metingen van de kwaliteit van de binnenlucht zijn gebaseerd op de indirecte methode waarbij ventilatiedebieten gemeten worden. Als specifieke klachten (bijvoorbeeld, geurhinder, "sick building" symptomen) aanhouden en ventilatiemetingen aantonen dat voldaan is aan de vereisten voor de aanvoer van verse lucht, dan moeten metingen van specifieke verontreinigende stoffen (bijvoorbeeld formaldehyde, andere VOC's, fijn stof) uitgevoerd worden. Dit valt buiten het echter toepassingsgebied van de norm EN 15251.

Een uitzondering is het meten van CO₂. In gebouwen waar mensen de voornaamste bron van verontreiniging zijn, kunnen ventilatiedebieten (per persoon en per m²) afgeleid worden vanuit een CO₂-meting. De metingen worden uitgevoerd daar waar de bewoners de meeste tijd doorbrengen, bij voorkeur ter hoogte van het hoofd bij typisch sterke belastingscondities.

CO₂-metingen worden bij voorkeur in de winter uitgevoerd aangezien de aanvoer van verse lucht het laagst is tijdens de koudste maanden (beperkt gebruik van ramen, gedeeltelijk gesloten rolluiken ten gevolge van het risico op trek). In bepaalde gevallen kunnen ogenblikkelijke metingen op het slechtste moment (bijvoorbeeld op het eind van de ochtend of namiddag in een school of kantoor) volstaan.

In grote gebouwen moeten niet alle kamers geëvalueerd worden; metingen in 5 of 10% van de (representatief gekozen) kamers kan voldoende zijn.

In mechanisch geventileerde gebouwen is het meten van de hoeveelheid aangevoerde verse lucht meestal praktischer en preciezer dan het meten van de CO₂-concentraties. De meetapparatuur die gebruikt wordt voor de evaluatie van de luchttoevoer moet voldoen aan de vereisten van de EN 12599.

Eerst moet het totaal aangevoerde debiet aan verse lucht van het volledige gebouw gemeten worden en vertaald worden in een gemiddelde per m². Daarnaast wordt de luchttoevoer in een representatief geselecteerd aantal kamers (bijvoorbeeld 5 of 10% van het totaal) op “kamerniveau” gemeten. Deze laatste metingen worden rekening houdend met de reële bezettingsgraad en de bezettingsniveaus vanuit het ontwerp, vertaald in een aanvoer van verse lucht per m² en per persoon.

De debietsmetingen worden bij de half-slechtste weerscondities uitgevoerd, dit zijn normaal de wintermaanden. In veel mechanisch geventileerde gebouwen wordt tijdens de winter recirculatie van lucht toegepast. De luchttoevoer op kamerniveau moet gecorrigeerd worden voor recirculatie tijdens periodes dat recirculatie gebruikt wordt.

Indien constant volume mechanische ventilatiesystemen worden gebruikt, dan zijn ogenblikkelijke metingen voldoende. In gebouwen/ruimten met variabele volumesystemen, moet de luchttoevoer (op kamerniveau) in de minimum en maximum positie gemeten worden.

2.2.6. CLASSIFICATIE EN CERTIFICATIE VAN HET BINNENMILIEU

2.2.6.1 Algemeen

De informatie van het binnenmilieu van het gebouw moet bij het energiecertificaat van het gebouw gevoegd worden zodat de totale prestatie van het gebouw geëvalueerd kan worden. Voor dit certificaat is de classificatie van het binnenmilieu nodig. Voor de certificatie kan het nodig zijn om complexe informatie over het binnenmilieu te integreren in een simpele allesomvattende indicator voor de kwaliteit van het binnenmilieu in het gebouw.

Ten gevolge van de vele parameters en onvoldoende kennis over de gecombineerde invloed van de binnenmilieuparameters, wordt aanbevolen om een allesomvattende classificatie te maken die enkel gebaseerd is op de thermische omgeving en de binnenluchtkwaliteit.

2.2.6.2 Gedetailleerde classificatie en certificatie

De evaluatie van het binnenmilieu omvat:

- (1) Thermische criteria voor de winter
- (2) Thermische criteria voor de zomer
- (3) Lichtcriteria
- (4) Akoestische criteria
- (5) De classificatie van het binnenmilieu kan gebaseerd zijn op het tonen van de ontwerpcriteria voor iedere parameter, of op basis van berekeningen of metingen over een tijdsperiode

(week, maand, jaar) van relevante parameters zoals kamertemperatuur, ventilatiedebieten, vochtigheid en CO₂-concentraties. De basis voor de evaluatie moet gespecificeerd worden.

In bijlage I (informatief) van de norm EN 15251 is een voorbeeld opgenomen. Het binnenmilieu in een gebouw kan ingedeeld worden op basis van:

- a) Criteria gebruikt voor energieberekeningen (nieuwe gebouwen) – zie voorbeeld in Tabel 12
- b) Computersimulaties van de binnenomgeving en energieprestatie gedurende een heel jaar (nieuwe en bestaande gebouwen)
- c) Lange-termijnsmetingen van geselecteerde parameters voor de binnenomgeving (bestaande gebouwen). Kamertemperatuur, ventilatiedebiet en/of CO₂-concentraties worden bijvoorbeeld in representatieve ruimten gedurende een heel jaar of gedurende representatieve perioden gemeten. Vervolgens wordt berekend hoe de temperaturen, ventilatiedebieten, CO₂-concentraties verdeeld zijn over de 4 categorieën.
- d) Subjectieve antwoorden van bewoners (bestaande gebouwen)

Tabel 12: Voorbeeld van de indeling van een gebouw op basis van de ontwerpcriteria

Criteria voor de binnenomgeving	Categorie van het gebouw	Ontwerpcriteria
Thermische condities tijdens de winter	II	20-24 °C
Thermische condities tijdens de zomer	III	22-27 °C
Indicator voor luchtkwaliteit, CO ₂	II	500 ppm boven de CO ₂ -concentratie van de buitenlucht
Ventilatiedebiet	II	1 l/s/m ²
Verlichting		E _m > 500 lx; UGR < 19; 80 < Ra
Akoestiek omgeving		Geluid binnen < 35 dB (A) Geluid afkomstig van buiten < 55 dB(A)

2.2.6.3 Aanbevolen totale evaluatie van het binnenmilieu en certificatie

Voor de totale evaluatie wordt aanbevolen om een afzonderlijke comfort “voetafdruk” van de thermische condities en de binnenluchtkwaliteitscondities te geven. Dit kan aan de hand van het percentage van de tijd dat de binnenomgeving (temperaturen, ventilatiedebieten of CO₂-concentraties) binnen de verschillende categorieën I, II, III en IV valt.

In de informatieve annex G van de norm wordt vermeld dat de verschillende parameters voor het binnenmilieu van het gebouw aan de criteria van een bepaalde categorie voldoen indien:

de parameter in de kamers, representatief voor 95% van de bezette ruimte, niet meer dan bijvoorbeeld 3% (of 5%) van de uren per dag, per week, per maand en per jaar tijdens bezetting buiten de limieten van de gespecificeerde categorie ligt.

2.2.7. BASIS VOOR DE CRITERIA VOOR BINNENLUCHTKWALITEIT EN VENTILATIEDEBIETEN UIT ANNEX B (INFORMATIEF) VAN DE NORM

2.2.7.1 Aanbevolen ontwerp ventilatiedebieten in niet residentiële gebouwen (B.1 van de norm)

→ Algemeen

Er bestaat geen algemene standaardindex voor de binnenluchtkwaliteit. De binnenluchtkwaliteit wordt daarom uitgedrukt als het vereiste niveau voor ventilatie of als CO₂-concentraties. Het is algemeen aanvaard dat de binnenluchtkwaliteit beïnvloed wordt door de emissies van mensen en hun activiteiten (bio effluenten, roken), van het gebouw en de inrichting en van het HVAC (heating, ventilation and air conditioning) systeem zelf. De vereiste ventilatie is gebaseerd op gezondheids- en comfortcriteria. In de meeste gevallen zal ook voldaan zijn aan de gezondheidscriteria indien voldaan is aan het vereiste ventilatiedebiet voor comfort. Gezondheidseffecten kunnen toegeschreven worden aan specifiek geëmitteerde componenten. Indien de concentratie van één bron beperkt wordt, dan zullen de concentraties van andere bronnen eveneens gereduceerd worden. Comfort houdt meer verband met de waargenomen luchtkwaliteit (geur, irritatie). In dit geval kunnen verschillende emissiebronnen een geurcomponent hebben die allemaal bijdragen tot het geurniveau. Er is echter geen overeenstemming over de manier van samenvoegen van verschillende emissiebronnen. In bijlage B.1 van de norm EN 15251 worden de criteria op verschillende manieren uitgedrukt:

- Berekening van het vereiste ventilatiedebiet voor de menselijke component (roken, niet-roken) en samenvoegen met het vereiste ventilatiedebiet voor de gebouwcomponent
- Berekening van het vereiste ventilatiedebiet per persoon of per m² vloeroppervlakte
- Berekening van het vereiste ventilatiedebiet op basis van een massabalans en vereiste criteria voor het CO₂-niveau.

→ Berekening van het vereiste ventilatiedebiet gebaseerd op een component voor mens en gebouw

Het ventilatiedebiet bij ontwerp wordt berekend op basis van twee componenten:

- (a) Ventilatie voor de verontreiniging ten gevolge van de aanwezigen (bio-effluenten)
- (b) Ventilatie voor de verontreiniging ten gevolge van gebouwen en systemen

De ventilatie voor iedere categorie is de som van deze twee componenten en wordt met volgende vergelijking beschreven:

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A \cdot q_B$$

waarbij:

q_{tot} = het totale ventilatiedebiet van de kamer in l/s

n = ontwerpwaarde voor het aantal personen in de ruimte

q_p = ventilatiedebiet voor de bezetting per persoon in l/s, per persoon

A = oppervlakte van de kamer in m²

q_B = ventilatiedebiet voor emissies van het gebouw in l/s per m²

De ventilatiedebieten die vereist zijn voor de aanwezigen (q_p) zijn in Tabel 13 opgenomen, de ventilatiedebieten (q_B) voor de gebouwemissies in Tabel 14.

Tabel 13: Basis ventilatiedebieten (q_p) vereist voor verdunning van emissies van mensen (bio effluenten)

Categorie	Verwacht percentage mensen ontevreden	Luchtdebiet per persoon l/s per persoon
I	15	10
II	20	7
III	30	4*
IV	>30	<4

* getal ontbreekt in de norm EN 15251:2007

Tabel 14: Ventilatie-debieten (q_B) vereist voor de gebouwemissies

Categorie	Zeer laag pollutieniveau gebouw*	Laag pollutieniveau gebouw	Niet laag pollutieniveau gebouw
I	0,5 l/s, m ²	1,0 l/s, m ²	2,0 l/s, m ²
II	0,35 l/s, m ²	0,7 l/s, m ²	1,4 l/s, m ²
III	0,2 l/s, m ²	0,4 l/s, m ²	0,8 l/s, m ²

* de waarden voor een zeer laag pollutie niveau gebouw uit de norm EN 15251: 2007 zijn niet overall identiek; in bovenstaande tabel werden de waarden vanuit prEN 16798-1:2015 weerhouden, dit is resp. 0,5 – 0,35 – 0,2 l/s per m² voor de categorie I, II en III; in Tabel 15 die werd overgenomen vanuit de EN 15251 worden de waarden 0,5- **0,3** en 0,2 l/s per m² gebruikt

Tabel 15 geeft voorbeelden van de totale ventilatiedebieten voor niet industriële, niet residentiële gebouwen gebaseerd op de waarden uit bovenstaande tabellen en bij standaard bezetting. De waarden in Tabel 15 zijn gebaseerd op een volledige menging in de ruimte (concentratie van de verontreiniging is gelijk in de uitlaat en in de bezette zone). De ventilatiedebieten kunnen overeenkomstig de ventilatie-efficiëntie aangepast worden indien de lucht niet volledig gemengd is. De extra ventilatie voor het roken is gebaseerd op de veronderstelling dat 20% van de aanwezigen rokers zijn en dat zij gemiddeld 1,2 sigaretten per uur roken. Indien intensiever gerookt wordt, dan moeten de ventilatiedebieten verhoudingsgewijs aangepast worden. De ventilatiedebieten voor het roken zijn op comfort gebaseerd en niet op gezondheidscriteria.

Een gebouw wordt “gebouw met laag of zeer laag pollutieniveau” genoemd indien de meerderheid van de bouwmaterialen gebruikt voor de binneninrichting voldoen aan nationale of internationale criteria voor lage of zeer lage verontreinigende materialen. In bijlage C van de norm EN 15251 worden voorbeelden van definities van laag en zeer laag verontreinigende bouwmaterialen gegeven. Laag verontreinigende materialen zijn natuurlijke traditionele materialen zoals steen en glas waarvan geweten is dat ze veilig zijn met betrekking tot emissies en materialen die aan volgende vereisten voldoen:

- Emissies van totaal vluchtige organische componenten (TVOS) < 0,2 mg/m²h
- Formaldehyde-emissie < 0,05 mg/m²h
- Ammoniak-emissie < 0,03 mg/m²h
- Emissies van carcinogene verbindingen < 0,005 mg/m²h
- Het materiaal geeft geen geur af (ontevredenheid met de geur < 15%)

Een gebouw heeft een zeer laag pollutieniveau als alle materialen zeer laag verontreinigend zijn, er nooit gerookt werd en roken verboden is.

Zeer laag verontreinigende materialen zijn natuurlijke traditionele materialen zoals steen, glas en metalen waarvan geweten is dat ze veilig zijn met betrekking tot emissies en materialen die aan volgende vereisten voldoen:

- Emissies van totaal vluchtige organische componenten (TVOS) < 0,1 mg/m²h
- Formaldehyde-emissie < 0,02 mg/m²h
- Ammoniak-emissie < 0,01 mg/m²h
- Emissies van carcinogene verbindingen < 0,002 mg/m²h
- Het materiaal geeft geen geur af (ontevredenheid met de geur < 10%)

Tabel 15: Voorbeelden van aanbevolen ventilatiedebieten voor niet residentiële gebouwen met standaard bezettingsdichtheid voor 3 categorieën van pollutie van de gebouwen zelf (indien roken toegelaten is, dan worden de bijkomend vereiste ventilatiedebieten in de laatste kolom gegeven)

Type gebouw of ruimte	Categorie	Vloeropp m ² /persoon	q _P	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	Toevoegen bij roken
			l/s, m ² bij bezetting	l/s, m ² voor gebouwen met een zeer laag pollutieniveau		l/s, m ² voor gebouwen met een laag pollutieniveau		l/s, m ² voor gebouwen met een niet laag pollutieniveau		l/s, m ²
Enkel kantoor	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Landschapskantoor	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7	0,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9	0,5
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1	0,3
Conferentiezaal	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	5,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	3,6
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	2,0
Auditorium	I	0,75	13,3	0,5	13,8	1,0	16	2,0	17	
	II	0,75	9,3	0,3	9,6	0,7	11,2	1,4	11,9	
	III	0,75	5,3	0,2	5,5	0,4	6,4	0,8	6,8	
Restaurant	I	1,5	7,0	0,5	7,5	1,0	8,0	2,0	9,0	
	II	1,5	4,9	0,3	5,2	0,7	5,6	1,4	6,3	5,0
	III	1,5	2,8	0,2	3,0	0,4	3,2	0,8	3,6	2,8
Klaslokaal	I	2,0	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	
	II	2,0	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	
	III	2,0	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	
Kleuterschool	I	2,0	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	
	II	2,0	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	
	III	2,0	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	
Warenhuis	I	7	1,4	0,5	1,9	1	2,4	2,0	3,4	
	II	7	1,0	0,3	1,3	0,7	1,7	1,4	2,4	
	III	7	0,6	0,2	0,8	0,4	1,0	0,8	1,4	

Opmerking: de waarden in het rood stonden foutief in tabel B.2. uit EN 15251 en werden in dit rapport aangepast

→ **Methode gebaseerd op het ventilatiedebiet per persoon en per m² vloeroppervlakte**

In Tabel 16 zijn de aanbevolen ventilatiedebieten uitgedrukt per persoon of per m² vloeroppervlakte weergegeven voor verschillende categorieën.

De waarden per persoon gaan uit van de veronderstelling dat de aanwezigen de enige bron van verontreiniging zijn. De waarden per m² vloeroppervlakte houden enkel rekening met de verontreiniging ten gevolge van materiaalemissies. Voor het ontwerp van de ventilatie in het gebouw zal met alle aanwezige bronnen van verontreiniging rekening gehouden worden. Verschillende methoden worden hiervoor gebruikt:

- Optellen van de waarden (zie “Berekening van het vereiste ventilatiedebiet gebaseerd op een component voor mens en gebouw”);
- Gebruik van de hoogste waarde (maximum van de berekende waarde per persoon en van de waarde per m² vloeroppervlakte uit Tabel 16)
- Gebruik van een waarde tussen de hoogste waarde en de waarde op basis van additie (Tabel 15)

Indien de methode niet in de wetgeving is opgenomen, dan moet de ontwerper zelf een methode kiezen en rapporteren.

Tabel 16: Voorbeelden van aanbevolen ventilatiedebieten voor niet residentiële gebouwen voor 3 categorieën van verontreiniging ten gevolge van het gebouw zelf.

Categorie	Luchtdebiet per persoon l/s/persoon	Luchtdebiet voor verontreiniging ten gevolge van gebouwemissies (l/s/m ²)		
		Gebouw met een zeer laag pollutieniveau	Gebouw met een laag pollutieniveau	Gebouw met niet laag pollutieniveau
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

→ **Aanbevolen CO₂ waarden voor energieberekeningen**

De vereiste ventilatiedebieten kunnen ook berekend worden op basis van een massabalans voor de CO₂-concentratie (EN 13779) waarbij de CO₂-concentratie in de buitenlucht in rekening wordt gebracht. Aanbevolen criteria voor de CO₂-berekening zijn in Tabel 17 opgenomen.

Als de ventilatie automatisch geregeld wordt, dan moet het maximum ventilatiedebiet bij het ontwerp overeenkomen met de maximum berekende concentratie van de verontreiniger. Het ventilatiedebiet mag tussen het maximum en minimum ventilatiedebiet gevarieerd worden, maar het vermelde minimum ventilatiedebiet moet tijdens periodes met bezetting voorzien worden.

Tabel 17: Voorbeelden van aanbevolen CO₂-concentraties bovenop de buitenconcentratie (ΔCO_2) voor energieberekeningen en vraaggestuurde ventilatie

Categorie	Overeenkomstige CO ₂ -concentratie bovenop de buitenconcentratie (in ppm) voor energieberekeningen
I	350
II	500
III	800
IV	> 800*

* in de norm staat '< 800' voor deze categorie

2.2.7.2 Aanbevolen ventilatiedebieten in residentiële gebouwen bij ontwerp (B.2 van de norm)

De bekomen binnenluchtkwaliteit hangt hoofdzakelijk van 3 criteria af:

- Uitlaat van verontreinigende stoffen in natte ruimten (badkamer, keuken, toiletten)
- Algemene ventilatie van alle kamers in de woning
- Algemene ventilatie van alle kamers in de woning met criteria voor verse lucht in de belangrijkste kamer (slaapkamer en woonkamer)

De criteria kunnen bijvoorbeeld met drie verschillende methoden uitgedrukt worden:

- Vereiste dat afvoer in natte ruimten noodzakelijk is om plaatselijke verontreiniging op deze plaatsen te verwijderen (een lage luchtdruk is eveneens noodzakelijk)
- Algemene ventilatievereiste (alle ruimten moeten geventileerd worden). Deze vereiste laat meestal ook transfer van de belangrijkste ruimten (woonkamer, eetkamer, slaapkamers, ...) via gangen naar natte ruimten toe (keukens, badkamers, toiletten, ...).
- Bepaalde reglementeringen beschouwen het algemeen ventilatiedebiet in een gebouw, andere benadrukken bijkomend de minimum luchttoevoer per bed en living. Deze toevoeging zorgt bij eenzelfde niveau voor een betere binnenluchtkwaliteit aangezien de systemen aangepast moeten worden en moeten ventileren in de ruimten waar de echte bezetting plaatsvindt.

De binnenluchtkwaliteit wordt uitgedrukt als het vereiste niveau van ventilatie. Voor vraaggestuurde ventilatie moeten equivalenten op nationaal niveau gedefinieerd worden. In

Tabel 18 worden de criteria op verschillende manieren uitgedrukt.

De luchtventilatiedebieten van slaapkamers en woonkamers voor algemene ventilatie worden uitgedrukt als:

- Luchtverversing per uur voor elke kamer en/of buitenluchtvoorziening om aan de vereisten in de belangrijkste kamers te voldoen. Indien deze optie gekozen wordt, is het in het algemeen eveneens vereist om te voldoen aan één van de twee volgende criteria om om te gaan met de verontreiniging in de natte ruimten
- Vereiste afvoerdebieten (badkamers, toiletten en keukens)

Als luchttoevoer voor keukens, badkamers en toiletten mag transferlucht van slaapkamers en woonkamers gebruikt worden.

Tabel 18: Voorbeeld van ventilatiedebieten voor woningen. Ononderbroken werking van de ventilatie gedurende uren van bezetting. Volledige menging.

Categorie	Luchtverversing ^a		Woonkamers en slaapkamers, voornamelijk buitenlucht debiet		Afvoerluchtdebiet, l/s		
	l/s, m ² (1)	ach ^c	l/s, pers ^b (2)	l/s/m ² (3)	Keuken (4a)	Slaapkamers (4b)	Toiletten (4)
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

^ade luchtverversing uitgedrukt in l/s, m² en ach komen overeen indien het plafond 2,5 m hoog is.

^bhet aantal aanwezigen in een woning kan geschat worden op basis van het aantal slaapkamers. Aannames op nationaal niveau moeten gebruikt worden indien bestaande; deze aannames kunnen verschillen voor energie en IAQ berekeningen.

^cach= air changes/h = ventilatievoud (geeft aan hoeveel keer per uur de ruimte van verse lucht wordt voorzien)

Voorbeeld van een procedure voor selectie van het ventilatiedebiet:

Indien de waarden van een bepaalde categorie in de tabel tot verschillende ventilatiedebieten leiden afhankelijk van het aantal bewoners, vloeroppervlakte en uitlaat van het aantal keukens, badkamers en toiletten, dan moet volgend principe toegepast worden:

- 1) Bereken het totaal ventilatiedebiet voor de woning aan de hand van:
 - a. Vloeroppervlakte, kolom (1)
 - b. Aantal bewoners of aantal slaapkamers, kolommen (2) en (3)
- 2) Selecteer de hoogste waarde van a en b voor het totaal ventilatiedebiet van de woning
- 3) Pas de luchtafvoerdebieten van de keuken, badkamer en toiletten (kolommen 4) aan
 - a. In woningen met een klein vloeroppervlakte zullen de luchtafvoerdebieten kleiner worden
 - b. In grote woningen hoger
- 4) Buitenlucht moet voornamelijk in woonkamers en slaapkamers voorzien worden

2.3. NBN D 50-001

2.3.1. TOEPASSINGSGEBIED VAN DE NORM

Deze norm bepaalt de eisen inzake luchtverversing in woongebouwen en is van toepassing op nieuwe gebouwen of gedeelten hiervan, bestemd als woning.

De norm geeft richtlijnen voor ventilatievoorzieningen in woongebouwen op voorwaarde dat:

- Deze woongebieden gelegen zijn in gebieden waar de lucht voldoende zuiver is om als ventilatielucht te kunnen worden gebruikt of, indien niet, waar de lucht voldoende voorgezuiverd wordt;
- geen rekening dient gehouden met bijzondere risico's ten gevolge van de emissie van schadelijke stoffen door de gebruikte materialen of de bodem en dat die ventilatie in hoofdzaak bedoeld is ter bestrijding van de verontreiniging ten gevolge van de bewoning door de mens.

2.3.2. EISEN GESTELD AAN DE VENTILATIE-INRICHTINGEN IN DE GEWONE KAMERS EN RUIMTEN VAN WONINGEN

In Tabel 19 worden de ventilatiedebieten opgegeven die tenminste gerealiseerd moeten kunnen worden in de diverse kamers of ruimten van woningen en die de nominale debieten van deze ruimten genoemd worden.

Tabel 19: Nominale ventilatiedebieten

Ruimte	
Woonkamer	1 l/s per m ² vloeroppervlakte (3,6 m ³ /hm ²) met een minimum van 21 l/s (75 m ³ /h). Men moet de 42 l/s (150 m ³ /h) niet overschrijden
Slaapkamer Studeerkamer Speelkamer	1 l/s per m ² vloeroppervlakte (3,6 m ³ /hm ²) met een minimum van 7 l/s (25 m ³ /h)
Keuken (1) Badkamer Wasplaats, droogplaats + analoge ruimten	1 l/s per m ² vloeroppervlakte (3,6 m ³ /hm ²) met een minimum van 14 l/s (50 m ³ /h). Men moet de 21 l/s (75 m ³ /h) niet overschrijden
W.C.	7 l/s (25 m ³ /h)
Gangen, trapzalen Nacht- en daghall en analoge doorgangsruidten	1 l/s per m ² vloeroppervlakte (3,6 m ³ /hm ²)
(1) Voor keukens met een open doorgang naar andere kamers of ruimten is het minimaal ventilatiedebiet 21 l/s (75 m ³ /h)	

Belangrijke opmerkingen :

1) Aan de algemeen gestelde debietseisen van Tabel 19 kan slechts op een gecontroleerde wijze voldaan worden indien elke kamer of ruimte beschikt over een of meerdere toevoeropeningen en over een of meerdere afvoeropeningen langswaar de lucht op mechanische wijze wordt toegevoerd en afgevoerd. Dit meest volledige geval zal slechts uiterst zelden voorkomen in de praktijk.

2) Deze norm geeft dan ook de mogelijkheid tot de realisatie van vereenvoudigde gemengde systemen

- waarbij de buitenlucht op natuurlijke wijze toestroomt of op mechanische wijze toegevoerd wordt in sommige kamers;
- waarbij de bedorven lucht op natuurlijke wijze wegstroomt of op mechanische wijze afgevoerd wordt uit andere kamers;
- waarbij de lucht van uit de eerste soort kamers in de tweede soort kamers terecht komt via gangen, halls, trapzalen en dergelijke en dit dank zij het bestaan van de nodige doorstroomopeningen.

3) Bij dit soort gemengde systemen kan nooit de garantie gegeven worden dat de opgelegde nominale debieten van Tabel 19 steeds zullen gerealiseerd worden. Vandaar dat in de norm een viertal vereenvoudigde gemengde systemen worden gedefinieerd (zie Tabel 20) en richtlijnen worden gegeven die voor deze systemen moeten gevolgd worden opdat volgens deze norm kan aangenomen worden dat ze kunnen voldoen aan de nominale debietseisen van Tabel 19.

Tabel 20: Vereenvoudigde ventilatiesystemen volgens NBN D 50-001

Type ventilatiesysteem	Kenmerken
A	Natuurlijke toe- en afvoer van lucht
B	Mechanische toevoer en vrije afvoer van lucht
C	Vrije toevoer en mechanische afvoer van lucht
D	Mechanische toe- en afvoer van lucht

2.4. BIJLAGE X VENTILATIEVOORZIENINGEN IN NIET-RESIDENTIËLE GEBOUWEN VAN HET ENERGIEBESLUIT

2.4.1. ONDERWERP EN TOEPASSINGSGEBIED

Deze bijlage legt minimale eisen op aan het ontwerp en de realisatie van ventilatiesystemen om in niet-residentiële gebouwen, bestemd voor menselijk gebruik, een gezonde en aangename luchtkwaliteit te bekomen. Deze bepalingmethode behandelt niet het gebruik van deze ventilatiesystemen en waarborgt evenmin dat de gewenste luchtkwaliteit altijd en op alle plaatsen wordt bereikt.

De bijlage is van toepassing op niet-residentiële gebouwen of gedeelten hiervan, bestemd voor menselijk gebruik.

2.4.2. MINIMALE PRESTATIENIVEAUS

2.4.2.1 Kwaliteit van de binnenlucht

Bij de dimensionering van ventilatiesystemen mag het ontwerpdebiet niet kleiner zijn dan het minimum debiet overeenkomend met binnenluchtklasse IDA3. Hierbij is de waarde uitgedrukt in [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$] van toepassing.

2.4.2.2 Ventilatie debieten

Het ontwerpdebiet van een ruimte moet zowel bij de afvoer als bij de toevoer gerealiseerd kunnen worden.

De ventilatievoorzieningen in de ruimten van niet-residentiële gebouwen die worden verbouwd en waar vensters worden vervangen of toegevoegd, moeten voor de luchttoevoer-eisen voldoen aan het minimum van:

- de debieten verder bepaald (ruimten voor menselijke/niet voor menselijke bezetting)
- $45 \text{ m}^3/\text{h}$ per lopende meter venster dat vervangen of toegevoegd wordt.

→ In ruimten voor menselijke bezetting

Het minimum ontwerpdebiet in ruimten bestemd voor menselijke bezetting moet worden bepaald op basis van tabel A.11 (Rates of outdoor air per person) van de norm NBN EN 13779. Daarbij wordt in principe uitgegaan van de ontwerpbezetting voor elke ruimte zoals vastgelegd door het bouwteam.

Indien echter

- de ontwerpbezetting voor een ruimte kleiner is dan de waarde bepaald op basis van Tabel 21,
- of het bouwteam zelf geen ontwerpbezetting vastlegt,

dan dient bij de bepaling van het minimum ontwerpdebiet de bezetting volgens onderstaande tabel aangehouden te worden. Bij de bepaling van de bezetting aan de hand van de tabel dient het berekende aantal personen op de eenheid naar boven afgerond te worden.

Bij het gebruik van tabel A.11 van de norm NBN EN 13779 dient er te worden vanuit gegaan dat roken niet is toegestaan, tenzij uitdrukkelijk wordt opgegeven dat er mag gerookt worden.

De hoofdcategorieën in Tabel 21 (vette druk) zijn slechts indicatief. Binnen 1 gebouw kunnen in principe alle typen van ruimten uit de tabel voorkomen.

Tabel 21: Te hanteren waarden bij de bepaling van de bezetting nodig voor de berekening van het minimum ontwerpdebiet in ruimten bestemd voor menselijke bezetting (zie tekst)

	Vloeroppervlakte per persoon (m ² /pers)
Horeca	
restaurants, cafetaria, snelbuffet, kantine, bars, cocktailbars	1,5
keukens, kitchenettes	10
Hotels, motels, vakantiecentra	
slaapkamers in hotel, motel, vakantiecentra, ...	10
slaapzalen in vakantiecentra	5
lobby, inkomhal	2
vergaderzaal, ontmoetingsruimte, polyvalente zaal	2
Kantoorgebouwen	
kantoor	15
ontvangstruimten, receptie, vergaderzalen	3,5
hoofdingang	10
Publieke ruimten	
vertrekhal, wachtzaal	1
Bibliotheek	10
Publieke verzamelplaatsen	
kerken en andere religieuze gebouwen, regeringsgebouwen, gerechtszalen, musea en galerijen	2,5
Detailhandel	
verkoopruimte, winkel (behalve winkelcentra)	7
winkelcentrum	2,5
kapsalon, schoonheidssalon	4
winkels voor meubilair, tapijten, textiel, ...	20
supermarkt, grootwarenhuis, dierenspeciaalzaak	10
wasserettes, wassalon	5
Sport en ontspanning	
sporthal, sportterrein/speelterrein, turnzaal	3,5
kleedkamers (waarin personen tewerkgesteld zijn)	2
toeschouwerterruimte, tribunes	1
discotheek / dansgelegenheden	1
sportclub: aerobicruimten, fitnessruimte, bowlingclub	10
Werkruimten	
fotostudio, donkere kamer, ...	10
apotheek (bereidingsruimte)	10
lokettenzaal in banken / kluisenzaal voor publiek	20
kopieerruimte / ruimte voor printers	10
computerruimte (zonder ruimte voor printers)	25

Onderwijsinstellingen	
leslokalen	4
polyvalente zaal	1
Gezondheidszorg	
ziekenzaal	10
behandeling- en onderzoekskamers	5
operatie- en verloskamers, ontwaakzaal en intensieve zorgen, kinesitherapiezaal, fysiotherapie	5
Correctionele instellingen	
cellen, dagverblijf	4
bewakingsposten	7
inschrijving / registratie / wachtruimte	2
Overige ruimten	
overige ruimten	15
opslagmagazijn	100

De minister kan in nadere specificaties de te hanteren waarden bij de bepaling van de bezetting die nodig zijn voor de berekening van het minimum ontwerpdebiet vastleggen voor de ruimtes die in Tabel 21 vallen onder “overige ruimten”.

→ In ruimten niet voor menselijke bezetting

Het minimum ontwerpdebiet in ruimten niet bestemd voor menselijke bezetting moet worden bepaald op basis van tabel A.9 (Rates of outdoor or transferred air per unit floor area (net area) for rooms not designed for human occupancy) van de norm NBN EN 13779.

In afwijking van het voorgaande bedraagt in toiletruimten het minimum ontwerpdebiet $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per wc (met inbegrip van de urinoirs) of $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per m^2 vloeroppervlakte indien het aantal wc's niet gekend is op het ogenblik van de dimensionering van het ventilatiesysteem. In doucheruimten en badkamers bedraagt het minimum ontwerpdebiet $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per m^2 vloeroppervlakte, met een minimum van $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ per ruimte.

2.4.2.3 Luchtkwaliteit van toevoerdebieten

Het minimum ontwerptoevoerdebiet moet gerealiseerd worden met buitenlucht. Alle bijkomende debieten mogen gerealiseerd worden met buitenlucht, herbruikte lucht of doorstroomlucht.

Bij hergebruik van afvoerlucht dient voldaan te worden aan elk van de richtlijnen gegeven in bijlage A.6 van de norm NBN EN 13779.

In afwijking van beide voorgaande eisen kan in ruimten niet bestemd voor menselijke bezetting het ontwerptoevoerdebiet volledig worden gerealiseerd met afvoerlucht uit andere ruimten van de kwaliteit ETA 1 of ETA 2.

De bijdrage van afvoerlucht uit andere ruimten van kwaliteit ETA 1 of ETA 2, in het ontwerpdebiet van een ruimte hangt af van het ontwerpdebiet van de ruimte(n) waaruit deze lucht betrokken wordt. De som van de ontwerpdebieten vanuit een ruimte naar andere ruimten, kan niet groter zijn dan het eigen ontwerpdebiet van die ruimte.

2.5. CO₂ MEASUREMENTS FOR IAQ ANALYSIS (WOODCOCK, 2000)

Volgens Woodcock (2000) geven CO₂-metingen objectieve informatie over de ventilatie in een gebouw en een vrij goede correlatie met subjectieve impressies van de binnenluchtkwaliteit. In de publicatie worden een aantal voorbeelden van het gebruik van CO₂-metingen als een diagnose-tool voor binnenluchtkwaliteitsmetingen gegeven.

Indien het aantal personen in een gebouw, hun activiteitsniveau of het ventilatiedebiet wijzigt, dan worden de berekeningen ingewikkeld. Maar indien deze factoren constant blijven, dan wordt de steady-state CO₂-concentratie in een kamer relatief ten opzichte van de buitenluchtconcentratie gegeven door:

$$(1) \quad C_r - C_0 = N/Q$$

Met:

C_r = CO₂-concentratie in de kamer

C_0 = CO₂-concentratie buiten

N = CO₂ generatiesnelheid

Q = buitenluchtdebiet in de kamer

Met een typische generatiesnelheid van 0,31 liter/min voor zittende personen en een luchtdebiet van 7,5 liters/sec, bedraagt de CO₂ verschilconcentratie ($C_r - C_0$) ongeveer 700 ppm.

Indien iedereen de kamer verlaat en al de rest hetzelfde blijft, dan daalt de CO₂-concentratie exponentieel:

$$(2) \quad C_t = C_i \cdot e^{-\frac{Q \cdot t}{V}} \text{ of } Q = -\left(\frac{V}{t}\right) \cdot \ln \frac{C_t}{C_i}$$

Met:

C_i = initiële CO₂-concentratie

C_t = CO₂ concentratie na de verstreken tijd t

t : verstreken tijd

V = volume van de kamer

Q = buitenluchtdebiet in de kamer

Met deze vergelijking kan het buitenluchtdebiet dat wordt aangevoerd in een kamer gemakkelijk berekend worden aan de hand van het uitvoeren van CO₂-metingen bijvoorbeeld 20 minuten of meer nadat iedereen de kamer verlaten heeft. De vergelijking veronderstelt een snelle menging en een gelijkmatige CO₂-concentratie in de kamer, meestal een goede veronderstelling in dit geval. Indien het ventilatiesysteem verschillende takken heeft die afzonderlijk gebalanceerd worden, dan kunnen CO₂-metingen leerzamer zijn dan een meting van de ingevoerde hoeveelheid buitenlucht gedeeld door het aantal kamers. Het kan eveneens een verschil maken of de thermostaat al dan niet om lucht vraagt, zowel in een variabel volumesysteem of wanneer de circulatieventilator op auto staat. CO₂-metingen moeten geïnterpreteerd worden in een samenhang van verschillende factoren die het ventilatiedebiet beïnvloeden. De CO₂-sampler dient uit de buurt van mensen geplaatst te worden. Een gebruikelijke vraag is eveneens wanneer CO₂-metingen uitgevoerd moeten worden. De CO₂-concentratie begint toe te nemen wanneer mensen 's morgens op het werk of in de school aankomen en neemt toe tot wanneer de evenwichtssituatie bereikt is. Op dat moment is de hoeveelheid CO₂ dat geproduceerd wordt door de ademhaling gelijk aan de

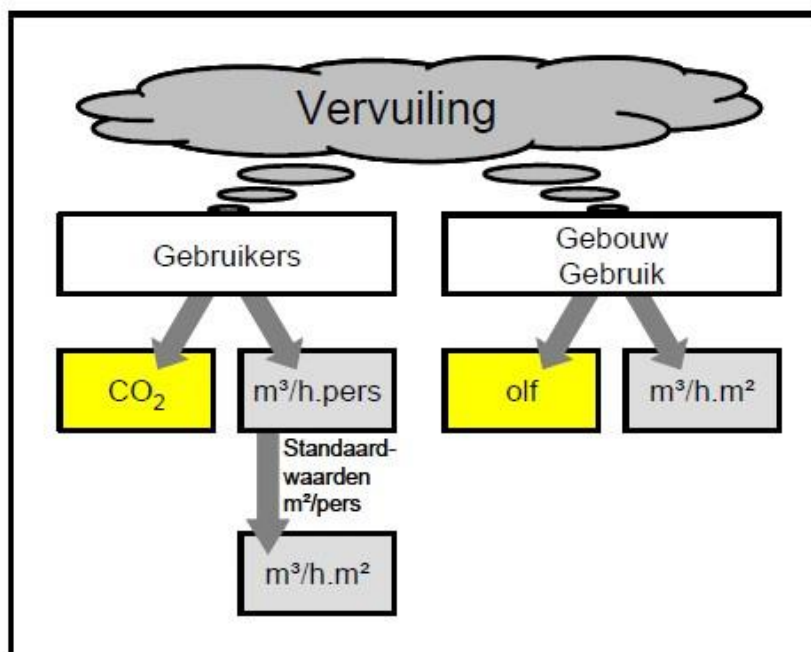
hoeveelheid dat door ventilatie verwijderd wordt en is de concentratie constant. Dit is de situatie die door vergelijking (1) gegeven wordt. Dit kan vroeg of laat of nooit gebeuren afhankelijk van het ventilatiedebiet en hoeveel mensen komen en gaan.

De auteur geeft aan dat de CO₂-metingen samen met voldoende informatie gedocumenteerd moeten worden om een gepaste interpretatie mogelijk te maken. Bijvoorbeeld om een onderscheid tussen de effecten van natuurlijke en mechanische ventilatie mogelijk te maken of om te begrijpen hoe de resultaten beïnvloed worden door het aantal mensen in het gebouw en wat zij aan het doen zijn. Of hoe de metingen in verband staan met het soort en het ontwerp van het HVAC (heating, ventilation and air conditioning) systeem en de manier waarop dit systeem geregeld is of voor gebruik bedoeld is.

2.6. VENTILATIE VAN KANTOORGEBOUWEN (WTCB, VERSIE 29 AUGUSTUS 2005)

In het WTCB-document “Ventilatie van kantoorgebouwen” wordt gemeld dat de beschrijvingen van de vier IDA-klassen van binnenluchtkwaliteit van de EN 13779 vaag en onbruikbaar zijn zonder objectieve methode om te bepalen tot welke klasse de luchtkwaliteit behoort. Men moet bijgevolg de soorten verontreiniging beschrijven.

In een kantoorgebouw onderscheidt men twee soorten verontreiniging: deze die verband houdt met de menselijke bezetting en deze die verbonden is met het gebouw en zijn gebruik. Wanneer men de soorten verontreiniging en hun karakteristieken kent, kan men objectief kwantificeerbare criteria geven om de klassen IDA 1 tot IDA 4 af te bakenen.



Figuur 2: Soorten verontreiniging in een kantoorgebouw (bron: Ventilatie van kantoorgebouwen, WTCB)

De voordelen en opmerkingen die in dit document gegeven worden betreffende de methoden voor classificatie van de luchtverontreiniging ten gevolge van menselijke bezetting worden hier samengezet.

Directe classificatie door meting van het CO₂

Voordelen

- CO₂ is een goede indicator is van de luchtverontreiniging ten gevolge van de menselijke stofwisseling
- CO₂ kan objectief en met een goede nauwkeurigheid gemeten worden. Het is dus eenvoudig om een classificatie volgens het CO₂-peil op te stellen.

Opmerkingen

- Deze classificatie impliceert dat de luchtverontreiniging voornamelijk te wijten is aan de menselijke bezetting (aangezien CO₂ hiervoor een indicator is) en dat er een rookverbod geldt (aangezien CO₂ geen goede indicator is voor de aanwezigheid van sigarettenrook)
- Het is belangrijk op te merken dat het wel degelijk gaat om een verschil tussen de concentraties binnen en buiten. Dit houdt in dat eenzelfde absolute CO₂-concentratie binnen gebouwen gelegen in een landelijk of in een stedelijk milieu niet dezelfde binnenluchtkwaliteitsklasse impliceert. De CO₂-sensoren meten de omgevingsconcentratie en niet een verschil in concentratie. Indien het ventilatiesysteem gestuurd wordt door een sensor, dan zou het controlealgoritme moeten beschikken over de CO₂-concentratie buiten. Zoniet moet men rekening houden met een gemiddelde waarde (doorgaans 350 tot 450 pm)
- Momenteel blijft de prijs van de sensoren een hinderpaal voor hun doorbraak op de markt (dit zou in de nabije toekomst echter moeten verbeteren). Om deze reden werd ook een indirecte classificatiemethode voorgesteld.

Indirecte classificatie volgens het ventilatievoud met buitenlucht

Deze indirecte methode is gebaseerd op de classificatie volgens het CO₂-peil. Wanneer men weet dat een kantoorbediende ongeveer 18 liter CO₂ per uur produceert, heeft men :

$$q_{v,sup} = \frac{q_{m,E}}{\Delta C_r}$$

waarbij

$q_{v,sup}$ het debiet van de toevoerlucht voorstelt, in m³/h

$q_{m,E}$ het massadebiet van de uitgestoten verontreinigende stof voorstelt, hetzij 18 l/h \cong 35,6 g/h

ΔC_r het toegelaten verschil in concentratie voorstelt volgens de klasse (zie Tabel 10).

Voor de klasse IDA1 geldt :

$$q_{v,sup} = (35600 \text{ mg/h}) / (400 \text{ ppm} * 1,8 \text{ mg/m}^3/\text{ppm}) = 49 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Deze waarde gaat uit van een perfect doeltreffend ventilatiesysteem, van de werkomstandigheden op een kantoor en van een ruimte waar de materialen geen vervuilende stoffen afgeven. Om deze vereenvoudigingen weg te werken, kan men dit debiet delen door een correctiefactor die willekeurig werd vastgelegd op 0,9. $q_{v,sup}$ wordt dan $49/0,9 = 54 \text{ m}^3/\text{h}$.

De debieten in de zones waar wel mag worden gerookt moeten vermenigvuldigd worden met 2 (ongeacht het percentage rokers).

Opmerkingen betreffende deze indirecte methode vanuit het document

- Het gaat hier om buitenlucht, ongeacht haar klasse. Men veronderstelt dat de lucht correct gefilterd werd. Een tabel met de te gebruiken filter volgens de klasse van de buitenlucht en de gewenste binnenluchtkwaliteit is in het document opgenomen.
- De waarden werden berekend aan de hand van een veronderstelde CO₂-uitstoot van 18 l/h, wat overeenstemt met zittend kantoorwerk (met een stofwisseling van $\pm 1,2$ met). De waarden impliceren eveneens dat de doeltreffendheid van de ventilatie gelijk is aan 1 en dat de materialen weinig verontreinigende stoffen afgeven. Als niet aan deze veronderstellingen wordt voldaan, moeten de voorgestelde debieten naar boven toe herzien worden (de correctiecoëfficiënt ten spijt)

- Het ventilatievoud van een ruimte kan variëren volgens het aantal in de ruimte aanwezige personen. Net zoals bij de classificatie volgens het CO₂-peil, is het ook met de indirecte classificatie mogelijk de ventilatie aan te passen aan de reële vraag. Een dergelijke strategie kan dus leiden tot energiebesparingen.
- Indien de nominale bezetting niet gekend is tijdens de dimensionering van het ventilatiesysteem, baseert men zich op standaardwaarden.

2.7. ONDERZOEK PRESTATIE-EISEN VENTILATIE IN SCHOLEN (CAUBERG-HUYGEN, 2013)

Cauberg-Huygen hebben een onderzoek in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties in Nederland uitgevoerd met als titel “Voorschriften Luchtverversing in onderwijsgebouwen op basis van CO₂-concentraties”. Eisen die internationaal aan de luchtverversing van schoolgebouwen worden gesteld, werden geïnventariseerd met als doel om een prestatie-eis te stellen aan de ventilatievoorziening in lesruimten van onderwijsgebouwen in de vorm van een maximale CO₂-concentratie in de binnenlucht. Aangezien iedere luchthoeveelheid correspondeert met een CO₂-evenwichtsconcentratie, werden de eisen naar CO₂-concentraties omgerekend.

Uit de inventarisatie is gebleken dat de meeste landen een debiet per persoon hanteren, sommige landen hanteren een combinatie van een debiet per persoon en een debiet per vloeroppervlakte. Eén land (Estland) kent een keuzemogelijkheid tussen debiet per persoon en per oppervlakte, één land (Italië) hanteert een ventilatievoud. De drie opgenomen Aziatische landen kennen een eis in termen van een CO₂ concentratie. Een aantal landen kent een eis in termen van een luchthoeveelheid, aangevuld met een grenswaarde voor CO₂. Naast de gestelde eisen werd de wettelijke status van de eisen in de verschillende landen (wet, norm of anderszins) eveneens in kaart gebracht.

Om luchthoeveelheden per persoon om te rekenen naar een (evenwichts) CO₂-concentratie zijn gegevens nodig betreffende de CO₂-productie per persoon. De CO₂ productie is afhankelijk van diverse factoren zoals de leeftijd, het activiteitsniveau, het geslacht, gewicht en lengte van de persoon. Tabel 22 met CO₂-productiewaarden in functie van deze factoren is overgenomen vanuit het rapport. Er werd gerekend met representatieve uitgangspunten. De waarden zijn gemiddelden voor mannen en vrouwen. Afwijkingen in CO₂ productie kunnen ontstaan als gevolg van bijvoorbeeld afwijkende activiteitsniveaus en lichaamsgewicht.

In het rapport wordt verwezen naar een CO₂-model dat bij TNO ontwikkeld werd en het verloop van de CO₂-concentratie in de tijd geeft na invoer van een aantal gegevens (volume van de ruimte, man/vrouw, gewicht, activiteit, metabolisme, CO₂-productie en ventilatiedebiet). Het programma gebruikt een numerieke massabalans, die qua resultaat overeenkomt met de formule:

$$C_t = C_{\text{buiten}} + p/q_v (1 - e^{-t/\tau})$$

Met:

C _t :	de concentratie op tijdstip t*
C _{buiten} :	de buitenconcentratie*
p:	de bronsterkte CO ₂ (m ³ /s)**
q _v :	de ventilatievolumestroom (m ³ /s)
τ:	de ventilatieconstante[s] (τ= 3600/ventilatievoud[per uur])
t:	de tijd[s]

* C_t en C_{buiten} zijn volgens het rapport in ppm uitgedrukt

** Aangezien 1 ppm CO₂ = 1 cm³ CO₂/m³ lucht, dient de bronsterkte hier als cm³/s i.p.v. m³/s ingegeven te worden

Tabel 22: CO₂ productie per persoon (rapport Cauberg-Huygen, 2013 -bronnen TNO en LUMC 1997; Het activiteitsniveau en bijbehorend metabolisme is een onderbouwde aanname).

Onderwijs-type	Leeftijd	Massa kg	Lengte cm	Activiteit MET	Metabolisme W	CO ₂ productie kg/s*10 ⁻⁶
peuterspeel	1	10	76	2	53	4,22
	2	13	87	2	65	5,10
	3	15	98	2	74	5,90
basis	4	17	105	2	81	6,47
	8	28	132	1,6	90	7,22
	12	43	155	1,4	98	7,89
middelbaar	13	48	161	1,4	103	8,27
	15	56	170	1,4	110	8,82
	17	64	175	1,4	113	9,08
hoger	18	65	176	1,4	111	8,95
	22	66	177	1,4	110	8,84
	26	67	178	1,4	110	8,80

Om per onderwijstype te komen tot een gemiddelde CO₂-productie, werd steeds het gemiddelde genomen van de drie berekende waarden per onderwijstype uit Tabel 22.

De productie werd vervolgens omgerekend naar een productie in m³/s, bij de volgende condities:

- Binnentemperatuur van 293,15 K (20°C)
- Een luchtdruk van 1013 mbar (1 atm)

Uitgaande van een molmassa van CO₂ van 44,01 g/mol leidde dit per schooltype tot de omrekeningsfactoren in Tabel 23.

Gestelde eisen in termen van een debiet per tijdseenheid werden omgerekend naar een stijging van de CO₂-concentratie ten opzichte van de buitenlucht door per eis-per onderwijstype de berekende gemiddelde CO₂ productie voor dat onderwijstype te delen door de vereiste lucht volumestroom.

De berekende CO₂ concentratie ten opzichte van de buitenlucht is de evenwichtsconcentratie die na een zekere tijd wordt bereikt. Uitgaande van een concentratie in de buitenlucht van 400 ppm werden equivalente CO₂ grenswaarden in de binnenlucht berekend. De grenswaarde is een waarde in de binnenlucht die bij een goed onderhouden en bediende voorziening en bij de bezetting waarvoor de ruimte bestemd is, niet wordt overschreden.

Tabel 23: Gehanteerde gemiddelde CO₂-productie per schooltype (bron: Cauberg-Huygen, 2013)

Onderwijstype	Gemiddelde CO ₂ productie in m ³ /s bij 20°C/ 1 atm
peuterspeel	2,77 E-06
basis	3,93 E-06
middelbaar	4,77 E-06
hoger	4,84 E-06
docent	4,84 E-06

Een sterkte-zwakte analyse voor toepassing van CO₂ als grenswaarde in het bouwbesluit, naast of alternatief voor een luchtvolumestroom per persoon werd uitgevoerd. De resultaten van de beoordeling van de referentiesituatie zijn in Tabel 24 opgenomen, die van het alternatief in Tabel 25.

Tabel 24: Toepassen van een eis in termen van een luchtvolumestroom, sterkte-zwakte analyse (bron: Cauberg-Huygen, 2013)

Beoordelingscriteria		Sterk of zwak
Robuustheid	In geval van mechanische ventilatie in voldoende mate robuust, wel afhankelijkheid van uitvoering en onderhoud. Bij natuurlijke ventilatie via praktijkrichtlijn, minder robuust door afhankelijkheid luchtvolumestroom van drijvende kracht wind en temperatuurverschil.	Neutraal
Toepasbaarheid in de ontwerp-, bouwphase	Goed toepasbaar in ontwerp en bouwphase	Zeer sterk ++
Toepasbaarheid in de beheerfase	In de beheerfase is de luchtvolumestroom afhankelijk van het gebruik van de voorzieningen	Zwak -
Impact op het ontwikkeling- en bouwproces	Neutraal	0
Eenduidigheid van de eis	In geval van mechanische ventilatie op één manier te interpreteren, bij natuurlijke ventilatie via praktijkrichtlijn.	Neutraal
Meetbaarheid/Controleerbaarheid, bij oplevering	In geval van mechanische ventilatie meetbaar, in geval van natuurlijke ventilatie via praktijkrichtlijn, in principe meetbaar.	Sterk +
Meetbaarheid/Controleerbaarheid, tijdens het gebruik	In geval van mechanische ventilatie in principe meetbaar, maar niet door de gebruiker. In geval van natuurlijke ventilatie niet goed meetbaar.	Zwak -
Feitelijke kwaliteit van de binnenlucht	Door afhankelijkheid van onderhoud, bediening en bezetting uiteindelijk vaak onvoldoende	Zeer zwak --
Totaal score		(-1)

Tabel 25: Toepassen van een eis in termen van een CO₂ grenswaarde, sterkte-zwakke analyse

Beoordelingscriteria		Sterk of zwak
Robuustheid	Veranderingen in gebruik van een ruimte zijn gemakkelijk meetbaar door bepaling van de CO ₂ -concentratie. Snelle reactie mogelijk.	Sterk ++
Toepasbaarheid in de ontwerp-, bouw- en beheerfase	Hiervoor is een eenduidige specificatie/omrekening nodig van CO ₂ naar te installeren capaciteit. Deze ontbreekt op dit moment.	Zwak -
Toepasbaarheid in de beheerfase	Goed toepasbaar.	Sterk ++
Impact op het ontwikkelings- en bouwproces	Een eis uitsluitend in termen van CO ₂ zal zonder uniforme omrekening leiden tot verschillende interpretaties, en geeft ruimte voor onderscheid in luchtvolumestromen tussen verschillende onderwijstypes. Het staat niet vast in welke mate bij toepassing van natuurlijke ventilatie aan een CO ₂ voorschrift kan worden voldaan. Deze onzekerheid leidt mogelijk tot het toepassen van minder natuurlijke ventilatiesystemen en meer systemen met mechanische toevoer.	0
Eenduidigheid van de eis	De vertaling van CO ₂ evenwichtsconcentratie naar luchtvolumestroom is afhankelijk van de CO ₂ productie van de personen, via leeftijd, lichaamsmassa en activiteit.	Zwak -
Meetbaarheid/Controleerbaarheid, bij oplevering	Er is bij oplevering geen bezetting aanwezig die de juiste hoeveelheid CO ₂ -produceert. De controle bij oplevering zal daarom niet op CO ₂ concentratie kunnen plaats vinden.	Zwak --
Meetbaarheid/Controleerbaarheid, tijdens het gebruik	De meting is relatief eenvoudig uitvoerbaar (te maken) voor niet technisch-geschoolde gebruikers.	Sterk ++
Feitelijke kwaliteit van de binnenlucht: A) exclusief signalering	Zonder (permanente of periodieke) signaleringsfunctie zal de gebruiker niet kunnen constateren dat grenswaarden worden overschreden, en zal de kwaliteit van de binnenlucht niet anders zijn dan in het geval van het hanteren van een eis in luchtvolumestroom per persoon.	0
Feitelijke kwaliteit van de binnenlucht: B) inclusief signalering	Met (permanente of periodieke) signaleringsfunctie (CO ₂ monitoring) wordt de gebruiker in staat gesteld te constateren dat grenswaarden worden overschreden, wat een positieve uitwerking op de kwaliteit van de binnenlucht kan hebben, door: I) Signaleren van noodzaak tot onderhoud II) Signaleren van onjuist gebruik voorzieningen III) Signaleren van te hoge bezetting	Sterk ++
Totaal score		(+1/+3)*

* opmerking: de totaalscores komen niet overeen met de sommatie van het aantal in de tabel vermelde +/- quoteringen; in deze tabel staat de melding 'sterk' en 'zwak' eveneens bij '++' en '- -' terwijl dit in de vorige tabel als 'zeer sterk/zeer zwak' wordt aangeduid

Cauberg-Huygen concluderen vanuit deze sterkte-zwakte analyse dat toepassen van een eis in termen van een CO₂ concentratie sterker naar voren komt dan een eis in termen van een luchtvolumestroom maar dat de voordelen van het toepassen van een CO₂ concentratie zich met name in de gebruiksfase bevinden. Deze constatering kan worden benut bij het vaststellen van de meest geschikte wijze van implementatie in regelgeving.

Vanuit de sterkte-zwakte analyse voor verschillende fases in het proces blijkt eveneens dat het ontwerp-/bouwteam met concrete luchtvolumestromen aan de slag gaat, en tot en met het moment van oplevering er geen bezetting, CO₂ productie of CO₂ meting aan de orde is. Ook de oplevering zelf zal dus nog in termen van een luchtvolumestroom plaats vinden. Pas na ingebruikname is er, bij een bezetting en CO₂ productie conform ontwerp en vergunning, een mogelijkheid om CO₂ concentraties te meten en te toetsen. Vóór het moment van ingebruikname scoort een voorschrift in termen van CO₂ daarom zwak, ná het moment van ingebruikname juist sterk.

2.8. SAMENVATTING LITERATUURREVIEW

Een overzicht van de voornaamste bepalingen rond binnenluchtkwaliteit vanuit een aantal belangrijke normen voor ventilatie EN 13779, EN 15251 en NBN D 50-001 alsook vanuit bijkomende publicaties is in HOOFDSTUK 2 opgenomen.

Uit contact met de convenor van de werkgroep CEN/TC 156/WG 20 “revision of EN 13779” blijkt dat alle aspecten met betrekking tot binnenluchtkwaliteit bij een volgende revisie van de EN 13779 uit de norm zullen verdwijnen en in EN 15251 (wordt in de toekomst de EN 16798-1) behandeld zullen worden. EN 13779 zal een andere referentie krijgen, nl. EN 16798-3.

Uit de resultaten van de studie “Clean Air, Low Energy” is gebleken dat twee methodes die gebruikt worden om IDA-klassen toe te kennen aan klaslokalen niet met elkaar overeen komen. De subdeeltaak 2b “berekening van IDA-klassen” heeft dus als doel om te onderzoeken welk het verschil is tussen beide methodes om de IDA-klasse te berekenen en aan te geven welke methode het best aansluit bij de realiteit.

Een aandachtspunt bij de literatuurreview was deze discrepantie tussen onderstaande 2 methoden die gebruikt worden om IDA-klassen toe te kennen aan klaslokalen:

- Berekening via het ventilatiedebiet per persoon;
- Berekening door het meten van CO₂-concentraties binnen en buiten;

De norm EN 13779 geeft richtlijnen voor ontwerp en uitvoering van ventilatie-, airconditioning- en luchtbehandelingssystemen in niet residentiële gebouwen bestemd voor menselijke bezetting. In deze norm komen verschillende classificatiemethoden voor binnenlucht aan bod:

- Onrechtstreekse classificatie op basis van het buitenluchtdebiet per persoon;
- Onrechtstreekse classificatie op basis van het luchtdebiet per vloeroppervlakte (voor ruimten die niet bestemd zijn voor menselijke bezetting);
- Classificatie op basis van het CO₂-niveau;
- Classificatie op basis van de concentratieniveaus van specifieke verontreinigende stoffen;

De basisclassificatie van binnenlucht in de EN 13779 gebeurt op basis van “IDA-klassen”. Iedere klasse komt overeen met een bepaalde kwaliteit binnenlucht. De vier klassen van binnenluchtkwaliteit worden gekwantificeerd met één van bovenstaande vier methoden. De verschillende methoden leiden tot dezelfde klasse van binnenluchtkwaliteit, maar niet noodzakelijk tot dezelfde hoeveelheid toevoerlucht.

In de informatieve bijlagen van de norm EN 13779 worden tabellen met waarden voor ventilatiedebieten per persoon of per vloeroppervlakte en voor CO₂ verschilconcentraties (CO₂-niveau boven het niveau van buitenlucht) gegeven. Formules om ventilatiedebieten te berekenen, vertrekkend vanuit de classificatie op basis van de concentratieniveaus van specifieke verontreinigende stoffen zijn eveneens in de norm opgenomen. Het nodige ventilatiedebiet bij een emissie en een bepaalde toegelaten concentratie in de ruimte kan berekend worden. In de formules wordt een onderscheid gemaakt tussen een stabiele toestand met een langdurige constante emissie waarbij de stationaire evenwichtsconcentratie bereikt is en tussen emissies van korte duur waarbij geen evenwichtssituatie bereikt wordt.

In de EN 13779 worden geen details over de omrekening van ΔCO_2 naar ventilatiedebieten per persoon (activiteitsniveau, leeftijd, ...) gegeven.

In het WTCB-document 'Ventilatie van kantoorgebouwen' wordt verduidelijkt hoe ventilatiedebieten uit de EN 13779 gebaseerd zijn op de CO₂-classificatie van binnenlucht. De vereiste ventilatiedebieten per persoon uit de bijlagen van de norm EN 13779 worden afgeleid vanuit de tabel met CO₂-verschilconcentraties (= CO₂-niveau boven het niveau van buitenlucht) en de gemiddelde CO₂-productie van een persoon. De toegepaste formules in dit document gaan uit van een CO₂-evenwichtssituatie. Er wordt dus vertrokken vanuit een CO₂-concentratie in de ruimte die niet overschreden mag worden.

Cauberg-Huygen (2013) geven een overzicht van ventilatievereisten of CO₂-eisen in een aantal landen om te komen tot CO₂-eisen voor scholen in Nederland. Eenzelfde omrekening als in het WTCB document wordt toegepast waarbij verschillende waarden voor CO₂-productie i.f.v. leeftijd/activiteit gehanteerd worden en uitgegaan wordt van een CO₂-evenwichtssituatie. In dit rapport wordt het gebruik van een CO₂-grenswaarde in plaats dan wel aanvullend op een eis in termen van de luchtvolumestroom gemotiveerd. Een sterkte-zwakte analyse voor toepassing van CO₂ als grenswaarde in het bouwbesluit, naast of alternatief voor een luchtvolumestroom per persoon werd uitgevoerd. Vanuit deze sterkte-zwakte analyse wordt geconcludeerd dat het toepassen van een eis in termen van een CO₂ concentratie sterker naar voren komt dan een eis in termen van een luchtvolumestroom maar dat de voordelen van het toepassen van CO₂ concentratie zich met name in de gebruiksfase bevinden terwijl het ontwerp-/bouwteam met luchtvolumestromen aan de slag gaat aangezien er tot en met het moment van oplevering geen bezetting, CO₂ productie of CO₂ meting aan de orde is. Ook de oplevering zelf zal dus nog in termen van een luchtvolumestroom plaats vinden. Pas na ingebruikname is er, bij een bezetting en CO₂ productie conform ontwerp en vergunning, een mogelijkheid om CO₂ concentraties te meten en te toetsen. Vóór het moment van ingebruikname scoort een voorschrift in termen van CO₂ daarom zwak, ná het moment van ingebruikname juist sterk.

De EN 15251 bepaalt binnenomgevingsparameters die van invloed kunnen zijn op de energieprestatie van gebouwen. De norm is vooral toepasbaar in niet industriële gebouwen (bijvoorbeeld huizen, appartementen, kantoorgebouwen, scholen, ziekenhuizen, hotels en restaurants, sportfaciliteiten, ...) waar de criteria voor het binnenmilieu bepaald worden door menselijke aanwezigheid en waar de productie of het proces geen grote impact op het binnenmilieu heeft. In de norm worden eveneens verschillende categorieën van criteria voor het binnenmilieu opgegeven (categorieën I, II, III, IV). In de EN 15251 wordt eveneens rekening gehouden met andere verontreinigingsbronnen (emissies van materialen) dan bezetting door personen en roken. De classificatie van de binnenlucht in de norm EN 15251 gebeurt op basis van comfort.

Een aantal belangrijke aspecten betreffende het uitvoeren van (Δ)CO₂-metingen vanuit het literatuuroverzicht worden hier samengevat:

- CO₂ is een goede indicator voor ventilatie maar is slechts beperkt bruikbaar als maat voor de binnenluchtkwaliteit
- CO₂ is een goede indicator van de luchtverontreiniging ten gevolge van de menselijke stofwisseling dus bij luchtverontreiniging voornamelijk te wijten aan menselijke bezetting en bij rookverbod aangezien CO₂ geen goede indicator is voor de aanwezigheid van sigarettenrook
- CO₂-metingen moeten worden uitgevoerd met voldoende context voor interpretatie
- De op CO₂ gebaseerde klassen vanuit de norm EN 13779 zijn nominaal gelijkwaardig met de buitenluchtdebieten voor rookvrije ruimten, bij een zeker niveau van activiteit (evenwichtssituatie voor CO₂). De EN 13779 geeft geen verdere verduidelijking over het gehanteerde activiteitsniveau, leeftijd, ...

- Met betrekking tot regelgeving is het veel makkelijker om binnenluchtkwaliteit te controleren door het meten van CO₂ dan door luchtstromen
- Door te handhaven op de CO₂-concentratie in plaats van alleen op de geïnstalleerde capaciteit wordt het onderhoud en gebruik van de ventilatievoorziening, de bediening van de ventilatievoorziening en de bezetting van de ruimte, betrokken in de beoordeling van de binnenluchtkwaliteit
- De CO₂ productie van de mens is afhankelijk van het metabolisme, zuurstofgebruik, geslacht, bij vrouwen het stadium van zwangerschap, leeftijd, de massa van personen, de lengte van de persoon (rapport Cauberg-Huygen)
- De norm EN 15251 vermeldt dat ventilatiedebieten (per persoon en per m²) afgeleid kunnen worden vanuit een CO₂-meting in gebouwen waar mensen de voornaamste bron van verontreiniging zijn. De CO₂-metingen worden uitgevoerd daar waar bewoners de meeste tijd doorbrengen. De metingen vinden bij voorkeur plaats ter hoogte van het hoofd, bij typisch sterke belastingscondities, in de winter (aanvoer van verse lucht het laagst). In bepaalde gevallen kunnen ogenblikkelijke metingen op het slechtste moment (bv eind van de ochtend of namiddag in de school of kantoor) volstaan. In de norm EN 15251 wordt aangegeven dat het meten van de hoeveelheid aangevoerde verse lucht in mechanisch geventileerde gebouwen meestal praktischer en preciezer is dan het meten van de CO₂-concentraties. De meetapparatuur die gebruikt wordt voor de evaluatie van de luchttoevoer moet voldoen aan de vereisten van de EN 12599.

2.9. MOGELIJKE VERKLARINGEN VAN DE DISCREPANTIE TUSSEN DE CLASSIFICATIE VAN BINNENLUCHT OP BASIS VAN VENTILATIEDEBIETEN PER PERSOON EN OP BASIS VAN CO₂-METINGEN VANUIT LITERATUUR

De IDA-classificatie volgens de norm EN 13779 op basis van de CO₂-verschilconcentratie binnen/buiten en op basis van het ventilatiedebiet per persoon zijn gelijkwaardig bij een stabiele toestand met een langdurige constante emissie waarbij de stationaire evenwichtsconcentratie bereikt is. Bij een constante bezetting en dus een langdurige constante emissie, wordt de evenwichtssituatie bereikt en zou de classificatie via beide methoden overeen moeten komen.

De discrepantie tussen de classificatiemethode op basis van het ventilatiedebiet per persoon en op basis van de CO₂-verschilconcentratie binnen/buiten kan mogelijk verklaard worden door het feit dat er bij de IDA-classificaties uitgegaan wordt van een evenwichtssituatie (constante emissie en constante bezetting ifv de tijd), terwijl dit bij scholen niet het geval is indien de gemiddelde CO₂-concentratie tijdens de lessen in beschouwing genomen wordt.

In een Nederlands rapport “Toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra”, in 2006 uitgebracht door de GGD Nederland, wordt de samenhang tussen luchtstroom en CO₂-concentratie besproken. Dit rapport refereert naar studies waarbij de CO₂-concentratie en de ventilatiestroom tegelijk gemeten werden. De gemeten gemiddelde Δ CO₂-concentraties per lokaal werden vergeleken met verwachte Δ CO₂ concentraties op basis van de ventilatie. De uitkomsten per lokaal verschilden nogal van de theoretisch te verwachten gehalten, ook als rekening werd gehouden met het aantal leerlingen en het ventilatievoud of luchtstroom. De meetwaarden bleken ook afhankelijk van andere factoren. In het rapport worden volgende mogelijke verklaringen voor de verschillen gegeven:

- De verschillen worden deels aan de meetmethoden toegeschreven aangezien de CO₂-concentraties door sommige onderzoekers kortdurend aan het eind van de les gemeten werden. Ook werd de CO₂-concentratie en ventilatievoud of luchtstroom soms niet gelijktijdig gemeten;
- Menging van de ventilatielucht en de uitademingslucht is niet volledig voor het bereiken van het meetapparaat, met name bij een verdringingsventilatie. De meeste scholen hebben echter wel mengventilatie en daarbij zijn de gehalten op diverse meetpunten vaak ongeveer gelijk
- Bij die scholen waar de luchtstroom via de ventilatievoorzieningen zeer klein is bijvoorbeeld 130 of 140 m³/h, kan de luchtverversing relatief sterk toenemen door andere luchtstromen, zoals infiltratie via naden en kieren. Ook het openstaan van een deur tussen lokaal en gang is van belang.
- Voor de omrekening van ventilatiedebieten per persoon naar Δ CO₂ concentraties werd een gemiddelde CO₂-productie van 0,010 m³/h gebruikt. Een andere mogelijkheid voor het verschil is dat kinderen vaak meer CO₂ produceren. In het rapport liggen de verwachte Δ CO₂ o.b.v. ventilatie dikwijls lager dan de gemiddelde gemeten Δ CO₂ concentraties. Bij de omrekening van de IDA-klassen op basis van Δ CO₂ naar ventilatiedebieten, werd volgens het WTCB document ‘Ventilatie van kantoorgebouwen (2005)’ uitgegaan van een CO₂-productie van 18 l/h (\approx 35,6 g/h).

In dit Nederlands rapport wordt aangegeven dat de CO₂-productie en ventilatie vaak niet constant zijn. Een kortdurende meting kan de situatie op andere tijdstippen niet voorspellen. Een langdurig continu gemeten CO₂-concentratie laat sterk wisselende waarden zien. De gemiddelde waarde geeft weinig informatie over eventuele te hoge waarden. De hoogste waarde kan een indicatie geven voor de mate van tekortschieten van ventilatie, zodat het logisch is om deze plafondwaarde te toetsen aan een norm. Door wijzigende factoren die een invloed hebben zoals o.a. het activiteitsniveau van de leerlingen houdt de hoogste waarde meestal niet langdurig aan. Het duurt

een tijd voordat de evenwichtsconcentratie van CO₂ bereikt is en deze concentratie wordt vlug verstoord bijvoorbeeld door het openzetten van een binnendeur. Toch zijn de hoogste waarden volgens dit rapport een maat voor de relatieve zwakheid van het afvoersysteem, bijvoorbeeld afhankelijkheid van een open binnendeur.

HOOFDSTUK 3. EVALUATIE IDA-CLASSIFICATIE OP BASIS VAN VENTILATIEDEBIETEN OF CO₂ VOOR DE SCHOLEN VAN DE STUDIE 'CLEAN AIR, LOW ENERGY'

In de norm EN 13779 voor niet-residentiële gebouwen wordt de binnenluchtkwaliteit ingedeeld in vier IDA-klassen waarbij IDA 1 overeenstemt met een hoge binnenluchtkwaliteit en IDA 4 met een lage binnenluchtkwaliteit. De norm beschrijft verschillende classificatiemethoden voor de indeling in deze IDA klassen waaronder een classificatie op basis van het ventilatiedebiet per persoon en op basis van het CO₂-niveau boven het niveau van de buitenlucht (ΔCO_2). De resultaten van de studie 'Clean Air, Low Energy' wijzen echter op een discrepantie tussen de indeling op basis van deze twee methoden.

Wat de classificatie op basis van het CO₂-niveau boven het niveau van de buitenlucht (ΔCO_2) betreft, is het vanuit de norm EN 13779 niet duidelijk gedurende hoeveel percent van de tijd de ΔCO_2 -concentratie binnen de grenzen van een bepaalde klasse moet liggen, opdat de lucht in de ruimte bij de betreffende IDA-klasse kan ingedeeld worden. In de Clean Air, Low Energy en Renovair studies werd de gemiddelde CO₂-concentratie tijdens de lesuren (8h30-16h00) gebruikt voor de IDA-classificatie.

In de informatieve annex G van de norm EN 15251 wordt vermeld dat de verschillende parameters voor het binnenmilieu van het gebouw aan de criteria van een bepaalde categorie voldoen indien de parameter in de kamers, representatief voor 95% van de bezette ruimte, niet meer dan bijvoorbeeld 3% (of 5%) van de uren per dag, per week, per maand en per jaar tijdens bezetting buiten de limieten van de gespecificeerde categorie ligt. In die norm wordt aanbevolen om het percentage van de tijd dat de binnenomgeving (temperaturen, ventilatiedebieten of CO₂-concentraties) binnen de verschillende categorieën I, II, III en IV valt uit te zetten voor lange-termijnsmetingen van geselecteerde parameters voor de binnenomgeving.

Volgens het WTCB-document 'Ventilatie van kantoorgebouwen' (2.6) is de indirecte classificatie volgens het ventilatievoud met buitenlucht gebaseerd op de classificatie volgens het CO₂-peil. De omrekening van een toegelaten verschil in CO₂-concentratie volgens een bepaalde IDA klasse naar een ventilatiedebiet gebeurt in dit document met de formule voor een stabiele toestand met een langdurig constante emissie (evenwichtstoestand) en aan de hand van de CO₂-productie van een volwassen persoon die zittend kantoorwerk uitvoert.

Uit de grafieken met het verloop van de CO₂ binnenluchtkoncentraties in scholen blijkt de CO₂-concentratie bij aanwezigheid van de leerlingen te variëren, volgens een concentratieprofiel waarin de aan- en tijdelijke afwezigheid van de leerlingen weerspiegeld wordt. De maximum concentratie bij aanwezigheid van leerlingen zal de evenwichtskoncentratie het best benaderen.

In het rapport 'Toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra', uitgebracht door de GGD Nederland, wordt aangegeven dat er een verband bestaat tussen het ventilatiedebiet per persoon en het CO₂-gehalte van de lucht in een ruimte wanneer aan enkele voorwaarden voldaan wordt:

- Een constante CO₂-productie
- Een constant ventilatievoud
- Een goede menging van lucht binnen de ruimte

Uit het CO₂-gehalte kan dus het ventilatiedebiet berekend worden en andersom. In de praktijk worden in dit rapport echter eveneens verschillen tussen de te verwachten Δ CO₂ concentraties op basis van ventilatiedebieten en de werkelijk gemeten gehalten vastgesteld. Het rapport vermeldt dat de CO₂-productie en ventilatie in de praktijk vaak niet constant zijn en dat sterk wisselende [CO₂] waarden gemeten worden. Er wordt aangegeven dat de gemiddelde waarde weinig informatie geeft over eventueel te hoge waarden. De hoogste waarde kan een indicatie geven voor de mate van tekortschieten van ventilatie en daarom zou het logisch zijn om de plafondwaarde aan een norm te toetsen.

In de Nederlandse studie 'Gezond (venti-)leren op school!' van het Bureau Medische Milieukunde van de GGD'en Brabant/Zeeland waarbij de CO₂-concentratie, de temperatuur en de luchtvochtigheid in klassen gedurende één week continu gemeten werden, wordt de gemiddelde CO₂-concentratie, het 98^{ste} percentiel en het percentage overschrijding van 1200 ppm berekend. Alleen de metingen gedurende de lesdag werden weerhouden. De metingen buiten de lesdag en gedurende de middagpauzes werden niet mee opgenomen. De studie vermeldt dat de gemiddelde CO₂-concentratie een algemeen beeld van de toegepaste ventilatie in een meetperiode geeft, maar geen duidelijke maat is om de luchtkwaliteit ten gevolge van ventilatie aan te geven. Het 98ste percentiel, de waarde die in de meetperiode slechts gedurende 2% van de lesdag wordt overschreden, geeft weer tot welke waarde de CO₂-concentratie stijgt. Door te kijken naar het 98^{ste} percentiel in plaats van de maximum CO₂-concentratie werden extreme dagen niet meegenomen.

Op basis van de informatie van bovenstaande studies/bronnen werden een aantal bijkomende berekeningen op gegevens van de scholen van de studie 'Clean Air, Low Energy' uitgevoerd.

In Tabel 28 werden verschillende ventilatiedebieten voor de klaslokalen van een aantal scholen uit de studie 'Clean Air, Low Energy' naast mekaar gezet:

- Het mechanisch ventilatieluchtdebiet dat gemeten werd met de flow box methode en het ventilatievoud berekend vanuit dit ventilatiedebiet en het volume van ieder klaslokaal;
- Het totaal ventilatiedebiet als de som van het mechanisch ventilatieluchtdebiet en het lekdebiet gemeten met de blower door test en het ventilatievoud volgens deze methode (ACH) berekend vanuit dit totaal ventilatiedebiet en het volume van ieder klaslokaal;
- Het ventilatievoud bepaald volgens de ASTM rate of decay methode en het ventilatiedebiet dat hieruit aan de hand van het volume van het klaslokaal berekend werd;

In Figuur 3 werden de klaslokalen op basis van deze verschillende ventilatiedebieten ingedeeld in de 4 IDA-klassen.

Alle aspecten van IAQ en de IDA-classificatie zullen bij de revisie van de EN 13779 (wordt EN 16798-3) uit de norm verdwijnen en behandeld worden in de EN 15251 (zal de EN 16798-1 worden). Dit impliceert dat de IDA-classificatie zal verdwijnen aangezien in de EN 15251 over comfortklassen I, II, III, IV gesproken wordt. In de EN 15251 zijn voor de verschillende klassen aanbevolen ventilatiedebieten voor niet residentiële gebouwen opgenomen waarbij zowel rekening gehouden wordt met een ventilatiedebiet voor de aanwezige personen als met een bijkomend ventilatiedebiet voor materiaalemissies (zie Tabel 15). Het vereist ventilatiedebiet voor de materiaalemissies hangt af van het pollutieniveau van de gebouwen (zeer laag, laag of niet laag). Voor een klaslokaal in een gebouw met een niet laag pollutieniveau worden voor de comfortklassen I, II, III totale ventilatiedebieten van resp. 7,0, 4,9 en 2,8 l/s per m² berekend. Hierbij wordt opgemerkt te worden dat in de norm EN 15251 voor een klaslokaal wordt uitgegaan van 2,0 m² vloeroppervlak per persoon terwijl volgens de tabel in 'Bijlage X ventilatievoorzieningen in niet-residentiële gebouwen van het energiebesluit (zie Tabel 21)' voor leslokalen 4 m²

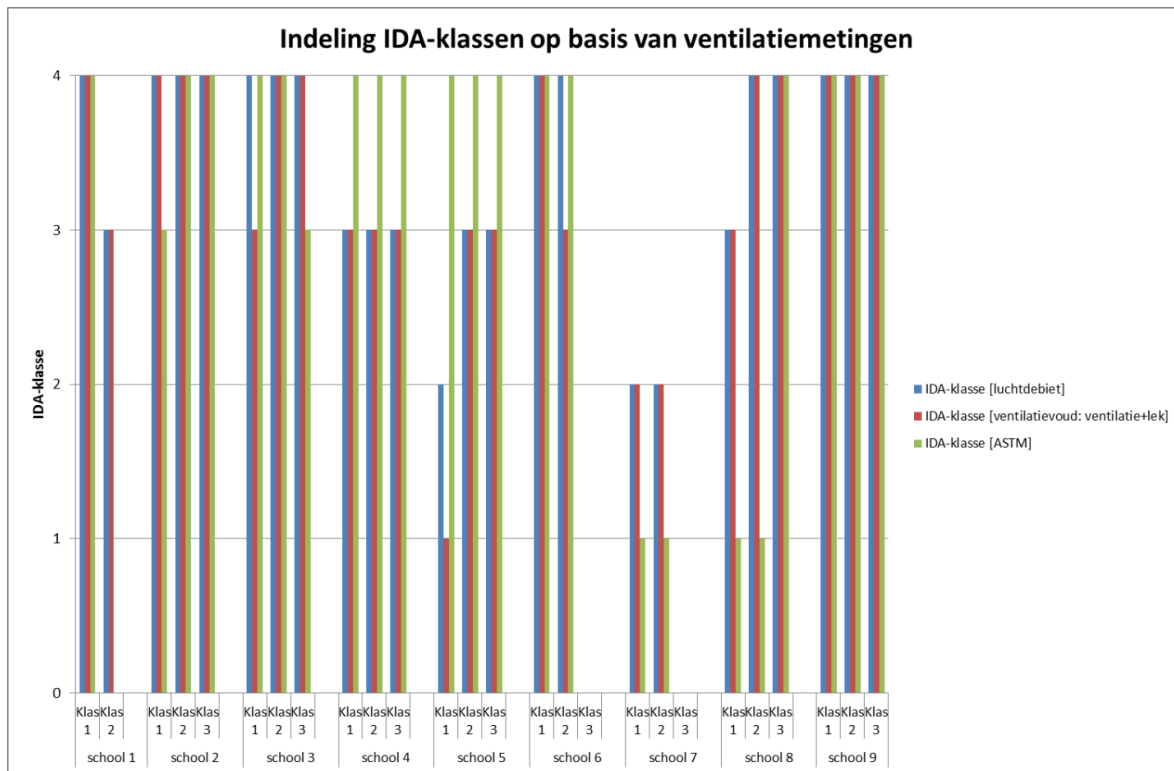
vloeroppervlakte per persoon gehanteerd moet worden voor de bepaling van de bezetting nodig voor de berekening van het minimum ontwerpdebiet.

De scholen van de studies Clean Air, Low Energy vallen in de categorie 'gebouwen met een niet laag pollutieniveau'. Op basis van de gemeten ventilatiedebieten werden de scholen in Tabel 28 eveneens ingedeeld in de comfortklassen van de EN 15251 die rekening houden met een debiet voor aanwezigheid van personen en een debiet voor materiaalemissies. Aangezien de EN 15251 enkel totale ventilatiedebieten voor klaslokalen voor de verschillende comfortklassen opgeeft, worden op basis van die debieten in dit verslag grenzen voor de verschillende klassen afgeleid (zie Tabel 26).

Tabel 26: Grenzen EN 15251 comfortklassen toegepast voor klaslokalen in dit rapport

Comfortklasse EN 15251	Vereist totaal ventilatiedebiet niet residentiële gebouwen EN 15251 Component personen + gebouwemissies (niet laag pollutieniveau) l/s, m ²	Grenzen klassen afgeleid in dit rapport l/s, m ²
I	7,0	> 7,0
II	4,9	[4,9 – 7,0[
III	2,8	[2,8 – 4,9[
IV	Niet gespecificeerd	< 2,8

Op basis van deze indeling wordt praktisch voor ieder klaslokaal de laagste comfortklasse bekomen. Belangrijk is om op te merken dat bij ontwerp van ventilatiesystemen momenteel de EN 13779 toegepast wordt, waarbij geen rekening gehouden wordt met een bijkomend ventilatieluchtdebiet voor emissies van gebouwen met een niet laag pollutieniveau.



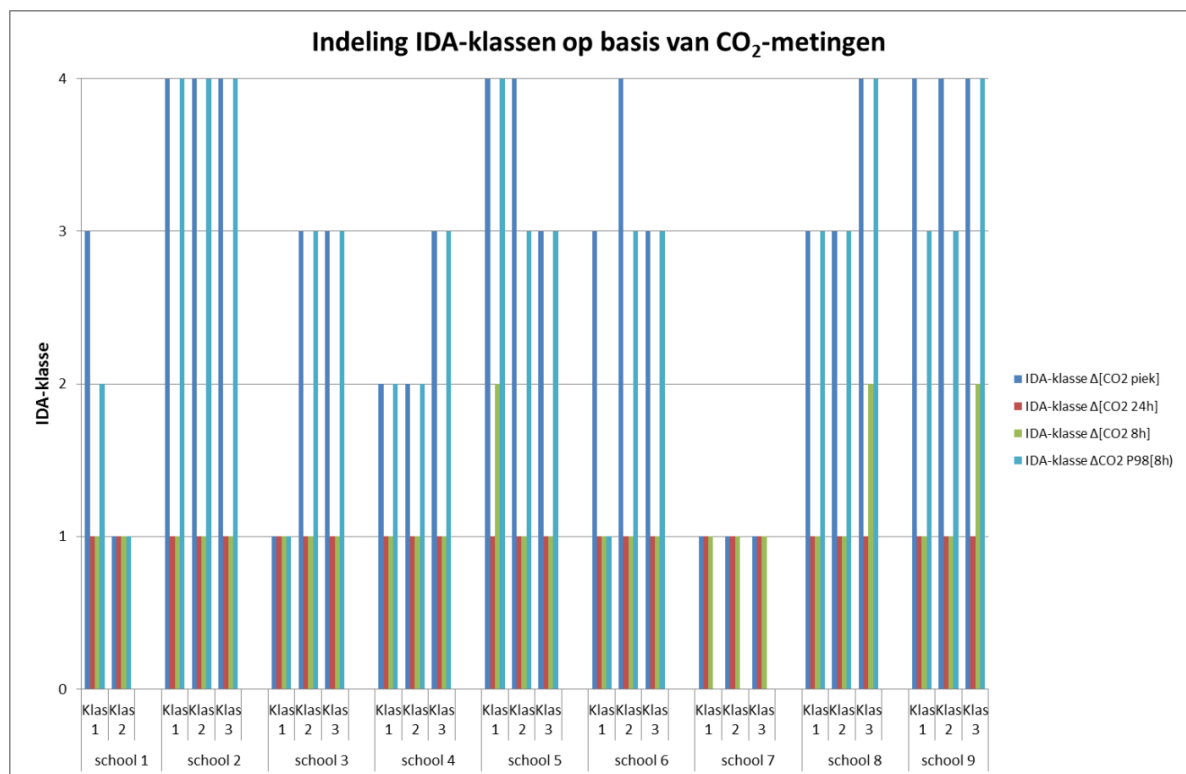
Figuur 3: Indeling klaslokalen 'Clean Air, Low Energy' op basis van ventilatiemetingen

In Tabel 29 werden voor de 5-daagse CO₂-meetresultaten van de studie 'Clean Air Low Energy' naast de gemiddelde Δ CO₂-concentraties over de lesuren ('8h teaching') en over 24h (alle meetdata), eveneens Δ CO₂-concentraties berekend waarbij enerzijds de maximum concentraties over de meetperiodes gebruikt werden en anderzijds het 98^{ste} percentiel van de metingen tijdens de lesuren. Er werd nagegaan of een classificatie op basis van de maximum CO₂-concentratie of het 98^{ste} percentiel ten opzichte van de buitenluchtconcentratie een betere overeenkomst geeft met de classificatie op basis van het ventilatiedebiet per leerling. De indeling in IDA klassen van de klaslokalen op basis van Δ [CO₂ 8h], Δ [CO₂ 24h], Δ [CO₂ piek] en Δ CO₂ P98 [8h] wordt weergegeven in Figuur 4.

In Tabel 29 werd naast de indeling in IDA-klassen eveneens een indeling in comfortklassen volgens EN 15251 toegevoegd. De EN 15251 geeft voor de verschillende comfortklassen enkel standaardwaarden voor de CO₂-verschilconcentratie ten opzichte van de CO₂ buitenluchtconcentratie voor energieberekeningen, maar bakent geen grenzen voor de klassen af. Aangezien de standaardwaarden nagenoeg hetzelfde zijn als deze in de norm EN 13779 (zie Tabel 27), worden hier overeenkomstige klassen gehanteerd: comfortklassen I, II, III en IV komen dus overeen met IDA-klasse 1, 2, 3 en 4.

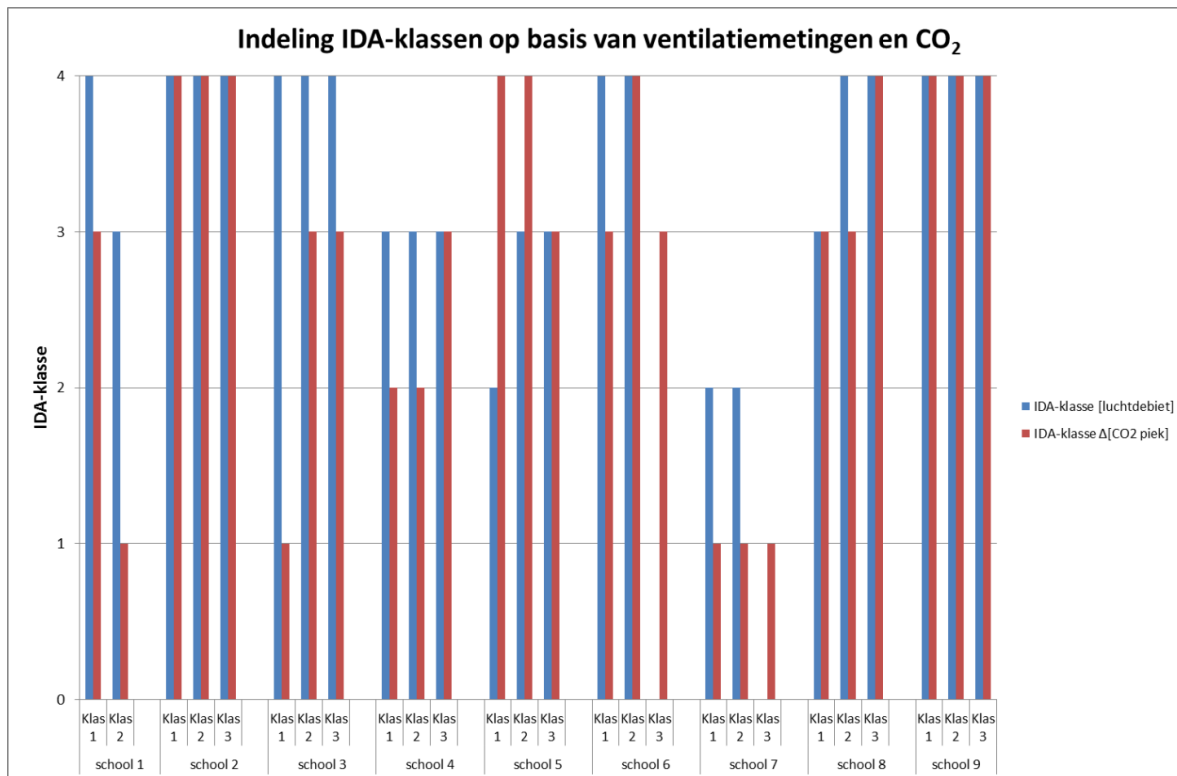
Tabel 27: Klassen op basis van CO₂-metingen EN 13779 en EN 15251

EN 13779 IDA klasse	Typische waarden ΔCO ₂ in ppm	Standaardwaarde ΔCO ₂ in ppm	Comfortklasse EN 15251	ΔCO ₂ waarde in ppm voor energieberekeningen
1	≤ 400 ppm	350	I	350
2	400 – 600	500	II	500
3	600 – 1000	800	III	800
4	> 1000	1200	IV	> 800



Figuur 4: Indeling klaslokalen 'Clean Air, Low Energy' op basis van CO₂-metingen

Tenslotte geeft Figuur 5 een vergelijking tussen de IDA-classificatie van de verschillende klaslokalen op basis van het gemeten mechanisch ventilatieluchtdebiet en de IDA-classificatie op basis van het verschil van de maximum CO₂-concentratie tijdens de 5-daagse meetperiode ten opzichte van de CO₂-buitenconcentratie (ΔCO₂[piek]).



Figuur 5: Vergelijking indeling IDA-klassen op basis van ventilatieluchtdebieten en ΔCO_2 [piek]

Vanuit Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5 en de tabellen in bijlage A kunnen volgende conclusies getrokken worden:

- 1) Vanuit de metingen in duurzame scholen blijkt een goede overeenkomst tussen het ventilatieluchtdebiet en tussen het ventilatieluchtdebiet+lekdebiet. De bijdrage van het lekdebiet tot het totaal debiet is over het algemeen dus klein en heeft geen invloed op de IDA-klasse met uitzondering van de gevallen die zich juist op de grenzen van de IDA-klassen bevinden. Bij dergelijk type van scholen (lage-energie gebouwen!) volstaat een meting van het ventilatieluchtdebiet m.b.v. een flow box meting.
- 2) De ASTM-methode voor bepaling van het ventilatievoud is geen geschikte methode om de IDA-klasse te bepalen, aangezien het ventilatievoud te sterk varieert over verschillende dagen en het resultaat afhankelijk is van de subjectieve keuze van de meetperiode.
- 3) Indien de leslokalen op basis van de ΔCO_2 metingen [24h] of van de ΔCO_2 metingen [8h] ingedeeld worden, levert dit praktisch altijd klasse IDA-1 op. Deze werkwijze resulteert dus in een betere classificatie (=onderschatting) dan die op basis van ventilatieluchtdebieten.
- 4) De classificaties op basis van $\Delta[\text{CO}_2 \text{ piek}]$ en die op basis van $\Delta\text{CO}_2 P_{98}[8h]$ zijn vrij vergelijkbaar.
- 5) Voor 11 van de 26 klaslokalen levert een classificatie op basis van het ventilatieluchtdebiet en op basis van ΔCO_2 [piek] eenzelfde IDA-klasse op. Voor de overige klaslokalen waar voor beide classificatiemethoden gegevens beschikbaar zijn, levert een classificatie op basis van $\Delta[\text{CO}_2 \text{ piek}]$ met uitzondering van twee gevallen een betere IDA-klasse op dan een classificatie op basis van metingen van ventilatieluchtdebieten. De gemeten ΔCO_2 concentraties liggen dus lager dan op

basis van de gemeten ventilatieluchtdebieten verwacht zou kunnen worden. Vermoedelijk is dit toe te schrijven aan het openen van binnen- of buitendeuren, ramen, ... door de leerkrachten tijdens de meetperiode. Een classificatie op basis van het meten van ventilatieluchtdebieten is daarom te verkiezen boven een dergelijk persoonsgebonden/omgevingsgebonden systeem op basis van CO₂-metingen waarbij het al dan niet toepassen van extra verluchting tot een betere klasse zal leiden.

De finale toe te passen strategie voor indeling van scholen op basis van IDA-klassen die hier voorgesteld wordt bestaat uit:

a) Een meting van het ventilatieluchtdebiet (bij voorkeur bij oplevering) d.m.v. de flow box methode om te controleren of de ontwerpdebieten gehaald worden (in lage-energie gebouwen). Een belangrijk gegeven hierbij is een correcte inschatting van de bezettingsgraad van de ruimte aangezien het ontwerpdebiet berekend wordt op basis van de ontwerpbezetting. Deze meting levert de IDA-klasse op die minimum gehaald wordt (= worst case scenario).

b) Periodieke CO₂-metingen op latere tijdstippen. Afhankelijk van eventueel bijkomend toegepaste verluchting door het openen van ramen en deuren zal hier waarschijnlijk een betere IDA-klasse bekomen worden dan bepaald onder a).

In geval van gebouwen met natuurlijke ventilatie is enkel een classificatie op basis van CO₂-meting mogelijk.

LITERATUURLIJST

NBN EN 13779: 2007

Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems

NBN EN 13779 NL: 2010

Ventilatie voor niet-residentiële gebouwen –Prestatie-eisen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen

NBN EN 15251: 2007

Binnenmilieu-gerelateerde inputparameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermisch comfort, de verlichting en akoestiek

NBN D50-001: 1991

Ventilatievoorzieningen in woongebouwen

ISO 16814: 2008

Building environment design – Indoor air quality
Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy

Draft prEN 16798-1: May 2015

Energy performance of buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6

Bijlage X Ventilatievoorzieningen in niet-residentiële gebouwen: bepalingmethode en eisen (Bijlage HVNR)

Ventilatie van kantoorgebouwen, Versie 29 augustus 2005

Naar een betere formulering van de eisen ...

Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf

Afdeling Bouwfysica en Binnenklimaat

Cauberg-Huygen raadgevende ingenieurs bv

Onderzoek prestatie-eisen ventilatie in scholen.

Tussenrapportage Fase 1 t/m 4

Referentie 20120582-02, 30 augustus 2012

Cauberg-Huygen raadgevende ingenieurs bv

Onderzoek prestatie-eisen ventilatie in scholen.

Onderzoeksrapport

Referentie 20120582-07, 16 januari 2013

Gezond (venti)leren op school! (GGD'en Brabant-Zeeland/Bureau Medische Milieukunde, 2006)

Toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra

GGD Nederland, werkgroep binnenmilieu, 2006

BIJLAGE A: BEREKENING IDA-KLASSEN EN COMFORTKLASSEN OP BASIS VAN VENTILATIEDEBIETEN EN CO₂-METINGEN VOOR EEN AANTAL SCHOLEN VAN DE STUDIE 'CLEAN AIR, LOW ENERGY'

Bijlage A: berekening IDA-klassen en comfortklassen op basis van ventilatiedebieten en CO2-metingen voor een aantal scholen van de studie 'Clean Air, Low Energy'

Tabel 28: Berekening IDA-klasse en comfortklasse op basis van het ventilatievoud

BEREKENING IDA-KLASSE EN COMFORTKLASSE OP BASIS VAN HET VENTILATIEVOUD																					
			# lln	vol klaslokaal	opp klaslokaal	lucht-debiet ventilatie	luchtdebiet/aantal personen	ACH totaal (ventilatie+lek)	ACH ventilatie	ventilatie- voud ASTM	IDA-klasse [lucht-debiet]	vent. debiet berekend vanuit ACH ventilatie+lek en V	IDA-klasse [ventilatie- voud: ventilatie+lek]	vent. debiet berekend vanuit ASTM vent. voud en V	IDA-klasse [ASTM]		Comfort- klasse [luchtdebiet]		Comfortklasse [ventilatie- voud: ventilatie+lek]		Comfort- klasse [ASTM]
				m ³	m ²	Q (m ³ /h)	Q (l/s pp)	/h	/h	/h	IDA	Q (l/s pp)		Q (l/s pp)		l/s, m ²		l/s, m ²		l/s, m ²	
Clean Air Low Energy	school 1	Klas 1	20	150	60	290	3,87	2,82	1,93	0,51	4	5,88	4	1,1	4	1,34	IV	1,96	IV	0,35	IV
		Klas 2	21	150	60	528	7,26	4,41	3,52	n.a.	3	8,75	3			2,44	IV	3,06	III		
	school 2	Klas 1	18	160	64	130	1,90	1,08	0,81	3,71	4	2,66	4	9,2	3	0,56	IV	0,75	IV	2,58	IV
		Klas 2	14	160	64	130	1,42	1,08	0,81	0,62	4	3,42	4	2,0	4	0,56	IV	0,75	IV	0,43	IV
		Klas 3	30	170	68	117	1,05	0,95	0,69	0,05	4	1,50	4	0,1	4	0,48	IV	0,66	IV	0,03	IV
	school 3	Klas 1	16	258	103	322	5,26	1,37	1,25	1,26	4	6,12	3	5,6	4	0,87	IV	0,95	IV	0,88	IV
		Klas 2	22	258	103	339	4,09	1,36	1,32	1,08	4	4,44	4	3,5	4	0,91	IV	0,95	IV	0,75	IV
		Klas 3	23	258	103	376	5,62	1,58	1,46	2,55	4	4,91	4	7,9	3	1,01	IV	1,10	IV	1,77	IV
	school 4	Klas 1	24	150	60	516	6,46	4,25	3,44	1,59	3	7,38	3	2,8	4	2,39	IV	2,95	III	1,10	IV
		Klas 2	22	150	60	500	6,68	4,03	3,33	1,71	3	7,62	3	3,2	4	2,31	IV	2,80	III	1,19	IV
		Klas 3	20	150	60	499	7,97	4,08	3,33	1,91	3	8,49	3	4,0	4	2,31	IV	2,83	III	1,33	IV
	school 5	Klas 1	10	150	60	482	12,17	3,92	3,21	1,04	2	16,33	1	4,3	4	2,23	IV	2,72	IV	0,72	IV
		Klas 2	19	150	60	460	6,39	3,61	3,07	0,12	3	7,91	3	0,3	4	2,13	IV	2,50	IV	0,08	IV
		Klas 3	20	150	60	496	7,25	3,93	3,31	1,54	3	8,19	3	3,2	4	2,30	IV	2,73	IV	1,07	IV
	school 6	Klas 1	18	155	62	256	4,01	2,15	1,65	0,68	4	5,15	4	1,6	4	1,15	IV	1,49	IV	0,47	IV
		Klas 2	13	170	68	256	5,08	1,77	1,51	0,81	4	6,42	3	2,9	4	1,05	IV	1,23	IV	0,56	IV
		Klas 3	-	170	68	256		2,01	1,51	0,65						1,05	IV	1,39	IV	0,45	IV
	school 7	Klas 1	5	160	64	260	12,04	1,65	1,63	6,15	2	14,71	2	54,7	1	1,13	IV	1,15	IV	4,27	III
		Klas 2	5	160	64	235	10,88	1,50	1,47	2,48	2	13,32	2	22,0	1	1,02	IV	1,04	IV	1,72	IV
		Klas 3	-	160	64	372		2,35	2,33	2,79								1,64	IV	1,94	IV
	school 8	Klas 1	17	148,4	59,36	388	6,22	3,03	2,61	8,03	3	7,34	3	19,5	1	1,82	IV	2,10	IV	5,58	II
		Klas 2	17	142,8	57,12	229	3,57	2,03	1,60	6,77	4	4,74	4	15,8	1	1,11	IV	1,41	IV	4,70	III
		Klas 3	19	148,4	59,36	252	3,50	2,11	1,70	0,88	4	4,58	4	1,9	4	1,18	IV	1,47	IV	0,61	IV
	school 9	Klas 1	20	335	134	104	1,38	0,97	0,31	1,10	4	4,50	4	5,1	4	0,22	IV	0,67	IV	0,76	IV
		Klas 2	26	199	79,6	112	1,16	0,64	0,56	1,33	4	1,36	4	2,8	4	0,39	IV	0,45	IV	0,92	IV
		Klas 3	20	217	86,8	56	0,76	0,76	0,26	1,92	4	2,28	4	5,8	4	0,18	IV	0,53	IV	1,33	IV

Tabel 29: Berekening IDA-klasse en comfortklasse op basis van CO₂-metingen

BEREKENING IDA-KLASSE EN COMFORTKLASSE OP BASIS VAN HET CO ₂ -GEHALTE IN DE KLAS																		
			CO ₂ outdoor ppm	ΔCO ₂ piek ppm	ΔCO ₂ [24h] ppm	ΔCO ₂ [8h teaching] ppm	ΔCO ₂ P98 [24h] ppm	ΔCO ₂ P98 [8h] ppm	IDA-klasse Δ[CO ₂ piek]	IDA-klasse Δ[CO ₂ 24h]	IDA-klasse Δ[CO ₂ 8h]	IDA-klasse ΔCO ₂ P98[24h]	IDA-klasse ΔCO ₂ P98[8h]	Comfortklasse Δ[CO ₂ piek]	Comfortklasse Δ[CO ₂ 24h]	Comfortklasse Δ[CO ₂ 8h]	Comfortklasse ΔCO ₂ P98 [24h]	Comfort klasse ΔCO ₂ P98 [8h]
Clean Air Low Energy	school 1	Klas 1	407	642	245	320	475	507	3	1	1	2	2	III	I	I	II	II
		Klas 2	407	203	0	26	154	173	1	1	1	1	1	I	I	I	II	II
	school 2	Klas 1	404	1178	77	379	1055	1266	4	1	1	4	4	IV	I	I	IV	IV
		Klas 2	404	1448	90	328	895	1018	4	1	1	3	4	IV	I	I	III	IV
		Klas 3	404	1299	90	283	1019	1147	4	1	1	4	4	IV	I	I	IV	IV
	school 3	Klas 1	417	343	12	70	244	312	1	1	1	1	1	III	I	I	I	I
		Klas 2	417	904	0	137	543	764	3	1	1	2	3	III	I	I	II	III
		Klas 3	417	788	14	180	651	738	3	1	1	3	3	III	I	I	III	III
	school 4	Klas 1	466	523	0	214	463	500	2	1	1	2	2	II	I	I	II	II
		Klas 2	466	581	0	205	494	538	2	1	1	2	2	II	I	I	II	II
		Klas 3	466	1001	41	313	801	953	3	1	1	3	3	III	I	I	III	III
	school 5	Klas 1	443	1637	174	486	1238	1459	4	1	2	4	4	IV	I	II	IV	IV
		Klas 2	443	1048	0	183	574	776	4	1	1	2	3	IV	I	I	II	III
		Klas 3	443	979	85	295	656	853	3	1	1	3	3	III	I	I	III	III
	school 6	Klas 1	462	629	86	225	547	396	3	1	1	2	1	III	I	I	II	I
		Klas 2	462	1076	0	106	480	652	4	1	1	2	3	IV	I	I	II	III
		Klas 3	462	663	90	385	577	614	3	1	1	2	3	III	I	I	II	III
	school 7	Klas 1	506	203	0	0	139		1	1	1	1		I	I	I	I	
		Klas 2	506	212	0	0	136		1	1	1	1		I	I	I	I	
		Klas 3	506	252	0	0	87		1	1	1	1		I	I	I	I	
	school 8	Klas 1	504	820	0	112	635	635	3	1	1	3	3	III	I	I	III	III
		Klas 2	504	647	0	12	625	625	3	1	1	3	3	III	I	I	III	III
		Klas 3	504	1951	111	410	1150	1150	4	1	2	4	4	IV	I	II	IV	IV
	school 9	Klas 1	445	1241	76	332	923	923	4	1	1		3	IV	I	I		III
		Klas 2	445	1408	16	102	732	732	4	1	1		3	IV	I	I		III
		Klas 3	445	1726	271	548	1450	1450	4	1	2		4	IV	I	II		IV