

**Onderzoek prestatie-eisen ventilatie in scholen.  
Onderzoeksrapport.**

**Datum**            16 januari 2013  
**Referentie**      20120582-07

Referentie 20120582-07  
Rapporttitel Onderzoek prestatie-eisen ventilatie in scholen.  
Onderzoeksrapport

Datum 16 januari 2013

Opdrachtgever Ministerie van BZK

Contactpersoon De heer P. van Luijk

Behandeld door ir. A.J. Kalkman  
ir. P.J.M. Op 't Veld  
ir. E.M.M. Willems  
Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV  
Boterdiep 48  
3077 AW ROTTERDAM  
Postbus 9222  
3007 AE ROTTERDAM  
Telefoon 010-4257444  
Fax 010-4254443  
Ing. W. F. de Gids  
Ventguide, Kievithof 3 2636 EL Schipluiden.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding van het onderzoek	4
1.2	Het uit te voeren onderzoek	4
1.3	Opzet van het onderzoek	5
<b>2</b>	<b>Fase 1 en 2: Inventarisatie internationale eisen.</b>	<b>6</b>
2.1	Samenvatting internationale eisen	6
2.2	Luchtvolumestroomseisen gecombineerd met een CO <sub>2</sub> grenswaarde	8
2.3	Wettelijke status van de eisen	8
<b>3</b>	<b>Fase 3: Omrekening naar Nederlandse situatie</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Fase 4: Vaststellen van CO<sub>2</sub> grenswaarden</b>	<b>13</b>
4.1	CO <sub>2</sub> productie per onderwijstype	13
4.2	Bepalen CO <sub>2</sub> grenswaarden	14
4.3	CO <sub>2</sub> grenswaarden in internationale regelgeving	19
4.4	Ventilatiepraktijk en Handhaving	20
<b>5</b>	<b>Samenvatting inventarisatiefase</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Fase 6: voor- en nadelen van een voorschrift voor een CO<sub>2</sub> - grenswaarde</b>	<b>23</b>
6.1	Achtergronden bij het gebruik van CO <sub>2</sub> -concentratie in de binnenlucht van lesruimten:	23
6.2	CO <sub>2</sub> als indicator	23
6.3	Motivatie voor het gebruik van een CO <sub>2</sub> grenswaarde als maatstaf voor de luchtverversing in lesruimten	24
6.4	Bezetting	24
6.5	Principe van grenswaarden	26
6.6	Afwegingen m.b.t. het vaststellen van een CO <sub>2</sub> grenswaarde	26
6.7	Nieuwbouw, verbouw en bestaande bouw	29
6.8	Sterkte-zwakte analyse CO <sub>2</sub> als grenswaarde	30
6.9	Signalering van CO <sub>2</sub> concentraties in lesruimten	34
6.10	Administratieve varianten	34
6.11	Tekstvoorstel wijziging Bouwbesluit	41
6.12	Conclusie	41
<b>7</b>	<b>Systeemvereisten Bouwbesluit</b>	<b>43</b>
7.1	Functionele eis	43
7.2	Kaders voor een bepalingsmethode voor de CO <sub>2</sub> -concentratie in lesruimten	44
<b>8</b>	<b>Onderzoekssamenvatting</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>Beknopte lijst met literatuurverwijzingen</b>	<b>47</b>

## Bijlagen

Bijlage I	Enquête
Bijlage II	Onderbouwing resultaten hoofdstuk 2 t/m 4
Bijlage III	Achtergronden CO <sub>2</sub> in binnenlucht
Bijlage IV	Historische ontwikkeling Nederlandse regelgeving
Bijlage V	Afweging ventilatie van kinderdagverblijven

## 1 Inleiding

In opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties heeft Cauberg-Huygen in samenwerking met VentGuide onderzoek uitgevoerd met als titel 'Voorschriften Luchtverversing in onderwijsgebouwen op basis van CO<sub>2</sub> concentraties'.

Voorliggende rapportage betreft de resultaten van het onderzoek. Op basis van de resultaten van dit onderzoek is een adviesrapport opgesteld. Dit onderzoeksrapport is een bijlage bij het adviesrapport, dat als kenmerk 20120582-06 heeft.

### 1.1 Aanleiding van het onderzoek

De binnenluchtkwaliteit in schoollokalen heeft de aandacht van de politiek. Bij het debat over het nieuwe Bouwbesluit 2012 is door kamerleden een aantal moties ingediend, waaronder een motie waarin de minister wordt verzocht om een eis te stellen aan de maximaal toelaatbare CO<sub>2</sub> concentratie in scholen. De letterlijke tekst van de motie luidt:

De Kamer (...) verzoekt de regering binnen een jaar een voorstel tot wijziging van het Bouwbesluit aan de Kamer voor te leggen, waarbij een prestatie-eis gesteld wordt aan de ventilatievoorziening in lesruimten van onderwijsgebouwen in de vorm van een maximale CO<sub>2</sub>-concentratie in de binnenlucht die niet overschreden mag worden bij een normatieve bezetting van de lesruimte (...)

Om uitvoering te kunnen geven aan deze motie dienen een aantal onderzoeksvragen te worden beantwoord. Een belangrijke onderzoeksvraag is natuurlijk welke waarde voor de CO<sub>2</sub> concentratie in de binnenlucht hiervoor genomen dient te worden. Daarnaast dient het begrip 'normatieve bezetting van de lesruimte verder uitgewerkt te worden, omdat dit begrip niet in deze vorm in het Bouwbesluit voorkomt. Verder is bij iedere wettelijk te stellen eis van belang om vooraf na te denken over de wijze waarop de eis gehandhaafd kan worden.

### 1.2 Het uit te voeren onderzoek

Om alle onderzoeksvragen beantwoord te krijgen is door het ministerie een plan van aanpak opgesteld. In dit plan van aanpak worden een aantal onderzoeksvragen in verschillende fasen voorgesteld:

Fase	Activiteit
1	Inventarisatie van de beschikbare internationale eisen
2	Vaststellen van de wettelijke positie van deze eisen
3	Omrekenen naar Nederlandse situatie
4	Bepalen van equivalente CO <sub>2</sub> grenswaarde
5	Inventarisatierapport
6	Sterkte/Zwakte analyse van het toepassen van een voorschrift m.b.t. een CO <sub>2</sub> grenswaarde
7	Evaluatiefase ten aanzien van systeemvereisten Bouwbesluit
8	Eindrapport

De bij het onderzoek aangehouden fasering is tevens terug te vinden in de inhoud van dit onderzoeksrapport. Hierbij zijn in hoofdstuk 5 de conclusies van de inventarisatiefases 1 t/m 4 opgenomen, in hoofdstuk 8 de eindconclusie.

### 1.3 Opzet van het onderzoek

Fase 1 en Fase 2 van de opdracht betreft het inventariseren van eisen die internationaal worden gesteld aan de luchtverversing van schoolgebouwen.

De inventarisatie dient zowel betrekking te hebben op de gestelde eisen, als op de wettelijke positie van de eisen in de verschillende landen (wet, norm of anderszins).

Bij de uitvoering van dit onderzoek is zoveel mogelijk contact gezocht met een ventilatie-expert in het betreffende land. Op deze wijze is voor ca. 10 landen gedetailleerde lokale informatie verkregen, die naast de hoofdonderzoeksvragen ook relevante aanvullende informatie hebben opgeleverd over ondermeer de handhaving en de praktijk van het gebruik van de scholen. Hiervoor is een uniforme enquête toegepast, welke is opgenomen in bijlage 1.

Aanvullend zijn van ca. 7 landen de eisen vastgesteld op basis van door derden gerapporteerde artikelen. De wettelijke status van deze eisen is meestal niet bekend. In een aantal gevallen zijn relevante wetteksten via internet toegankelijk. Op het moment van het schrijven van dit conceptrapport staan nog enkele vragen uit, zodat op termijn wellicht nog enige aanvullende gegevens binnen komen. De Nederlandse situatie en de ontwikkeling in de regelgeving is separaat beschreven in bijlage 4.

Omdat in de eisen regelmatig onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende typen onderwijsgebouwen zijn vijf categorieën samengesteld, op basis van de leeftijd van de personen:

Categorie 1: tot 4 jaar.

Categorie 2: 4 tot 12 jaar (basisschool).

Categorie 3: 12 tot 17 jaar (middelbare school)

Categorie 4: 18 tot 26 jaar (Hoge scholen en universiteiten).

Categorie 5: betreft een aparte categorie voor docenten of andere volwassenen.

Ten behoeve van de afweging of ook categorie 1: kinderen tot 4 jaar een relevante groep vormen in het kader van CO<sub>2</sub> grenswaarden, is in Bijlage 5 een afweging tussen CO<sub>2</sub> productie en geurhinder toegevoegd.

Fase 3 betreft het omrekenen van alle eisen uit Fase 1 naar de Nederlandse situatie en dezelfde eenheid, te weten luchthoeveelheid per persoon. Dit is internationaal de meest gebruikte eenheid, en sinds de invoering van het Bouwbesluit 2012 ook in Nederland gangbaar. Op basis hiervan is een vergelijkend overzicht van alle internationale eisen gemaakt.

Iedere lucht volumestroom correspondeert met een CO<sub>2</sub> evenwichtsconcentratie. In Fase 4 zijn alle eisen uit Fase 3 omgerekend naar CO<sub>2</sub> concentratie.

Om te komen tot een equivalente CO<sub>2</sub> evenwichtsconcentratie is de CO<sub>2</sub> productie per persoon vastgesteld, waarbij telkens rekening is gehouden met de leeftijd van de personen in de verschillende schooltypes.

In Fase 6 is een uitgebreide sterkte-zwakte analyse uitgevoerd van de toepassing van CO<sub>2</sub> grenswaarde als alternatieve eis. Fase 7 betreft de inpassing in het Bouwbesluit binnen de geldende systeemvereisten.

## 2 Fase 1 en 2: Inventarisatie internationale eisen.

### 2.1 Samenvatting internationale eisen

Een samenvatting van alle geïnterpreteerde internationale eisen is opgenomen in tabel 2.1.

Per land is de betreffende documentatie (wetgeving, normen, richtlijnen) opgenomen waarin eisen m.b.t. ventilatie zijn opgenomen. Vervolgens is iedere eis opgenomen in de eenheid die in het betreffende land gebruikelijk is. De meeste landen hanteren een debiet per persoon, sommige landen een combinatie van een debiet per persoon en een debiet per vloeroppervlakte. Eén land (Estland) kent een keuze mogelijkheid 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 CO<sub>2</sub> concentratie. In Hongkong betreft dit een 8-uurs gemiddelde, in de twee andere landen een maximale waarde. Een aantal landen kent een eis in termen van een luchthoeveelheid, aangevuld met een grenswaarde voor CO<sub>2</sub>. Deze CO<sub>2</sub> grenswaarden zijn separaat opgenomen in paragraaf 2.2.

Een uitgebreide onderbouwing van Tabel 2.1 is opgenomen in bijlage 2.

Uit bijlage 2 is te zien dat het niet altijd eenvoudig is om op basis van de betreffende documentatie een eenduidige minimumeis te rapporteren. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Een aantal illustraties is hieronder gegeven:

- Groot Brittannië en Noord-Ierland: Men hanteert een minimumeis van 3 l/s per persoon, een minimaal daggemiddelde van 5 l/s per persoon, en de docent moet in de gelegenheid zijn om minimaal 8 l/s per persoon te realiseren. Hierbij heeft de 8 l/s eis betrekking op het 'gebruikelijke' aantal personen in de ruimte, en de 3 l/s eis op het maximaal aantal personen dat van de ruimte gebruik kan maken. In tabel 2.1 is gekozen voor het opnemen van de eis van 8 l/s per persoon, in aanmerking nemend dat deze capaciteit geïnstalleerd moet zijn om de docent de mogelijkheid te geven deze capaciteit te benutten.
- Duitsland: de DIN norm voor ventilatie hanteert een debiet dat afhankelijk is van de buitentemperatuur
- De Zwitserse norm kent twee verschillende eisen afhankelijk van of er ramen geopend kunnen worden
- In een aantal gevallen zijn er geen eisen, en worden verschillende kwaliteitsniveaus voorgesteld waaruit gekozen kan worden.

In bijlage 2 is telkens onderbouwd welke waarde in tabel 2.1 is opgenomen.

In de laatste kolom is de wettelijke status van de eisen opgenomen. Deze is met zekerheid vast te stellen wanneer het wetgeving of wettelijk aangewezen normen betreft. Wanneer een norm geen status heeft is dit niet op papier vastgelegd, hiervoor is de informatie van de lokale experts gebruikt. In een aantal gevallen kon de status van een norm of richtlijn niet worden vastgesteld, de verwachting is dat dit overwegend normen zonder wettelijke status betreft. Voor de VS is onderscheid gemaakt tussen de verschillende staten: sommige staten wijzen de betreffende norm aan in hun wetgeving, andere staten niet of alleen in adviserende zin.



LAND	Documenten	Getalwaarde eisen					Enheid	Wettelijke status
		Peuters 1-4 jaar	4-12 jaar	13-17 jaar	HBO/univ 18-26 jaar	docent > 26 jaar		
EU		20	20	20	20	20	20 m <sup>3</sup> /hpp	4. Overige technische richtlijnen
1 Duitsland	DIN 1946-1, DIN 1946-5, VDI 6040-1, Leitfaden für ..	15	15	18	18	18	25 m <sup>3</sup> /hpp	1. Directe wettelijke eis
2 Frankrijk	Règlement sanitaire Départemental	17	17	17	17	17	17 m <sup>3</sup> /hpp	3. Niet wettelijk aangewezen norm
3 Griekenland	Technical Guide of the Technical Chamber of Greece	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3	35,3 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
4 Hongarije	w.literatuur	5	5	5	5	5	5 Ventilatievold	1. Directe wettelijke eis
5 Italië	Italiaanse bouwregelgeving	22	22	22	22	22	22 m <sup>3</sup> /hpp	1. Directe wettelijke eis
6 België	Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat van gebouwen	3+0,4	5+0,4	5+0,4	5+0,4	5+0,4	5+0,4 l/s pp+1/sm <sup>2</sup>	1. Directe wettelijke eis
7 Denemarken	Danish Building Regulations, DS 447:2005 (Norm for mekaniske ventilationsanlaeg).	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5 l/s pp	1. Directe wettelijke eis
8 Nederland	Bouwbesluit 2012	30	30	30	30	30	30 m <sup>3</sup> /hpp	1. Directe wettelijke eis
9 Portugal	RSECE Dec-Lei 79/2006, Portugal	5	6	6	6	6	6 of 3 l/s pp of 1/sm <sup>2</sup>	3. Niet wettelijk aangewezen norm
10 Estland	Estonian standard EIS 846 (Design of ventilation. General requirements) en lokale richtlijnen	6	6	6	6	6	l/spp	4. Overige technische richtlijnen
11 Finland	Finnish Building Code, Part D2, Indoor Climate and Ventilation, Requirements and Guidelines 2003	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
12 Litouwen	w.literatuur	19	19	23	25	25	28 m <sup>3</sup> /hpp	4. Overige technische richtlijnen
13 Oostenrijk	ÖNORM H 6039 „Lüftungstechnische Anlagen ...“ en richtlijn 61. Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
14 Polen	w.literatuur	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
15 Slovenië	Norms for the design, execution and operation of the ventilation and air conditioning installations – Indicative IS/2012. "	15	15	15	15	15	15 m <sup>3</sup> /hpp	2. Wettelijk aangewezen norm
16 Roemenië	"Decree No. 269/2009 Coll. on technical requirements for buildings"	25	25	25	25	25	25 m <sup>3</sup> /hpp	1. Directe wettelijke eis
17 Tsjecho	Building bulletin 101 "Ventilation of school buildings: Regulations, Standards, design guidance", versie 1.4.5-7-2006	8	8	8	8	8	8 l/s pp	1. Directe wettelijke eis
18 Groot-Brittannië en Noord-Ierland	w.literatuur	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
19 Bulgarije		31	31	31	31	31	31 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
NIET EU		25	25	25	25	25	25 m <sup>3</sup> /hpp	4. Overige technische richtlijnen
20 Noorwegen	w.literatuur	31	31	31	31	31	31 m <sup>3</sup> /hpp	5. Niet bekend
21 Zwitserland	Die Zwitserse norm SIA 382/1 "Lüftungs- und Klimaanlagen	25	25	25	25	25	25 m <sup>3</sup> /hpp	4. Overige technische richtlijnen
NIET EUROPA								
22 Canada	Canada Occupational Health and Safety Regulations / ASHRAE Standard 62	5+0,6	5+0,6	5+0,6	3,8+0,3	3,8+0,3	3+0,8 l/s pp+1/sm <sup>2</sup>	2. Wettelijk aangewezen norm
23 VS (4 staten)	ASHRAE Standard 62	5+0,6	5+0,6	5+0,6	3,8+0,3	3,8+0,3	3+0,8 l/s pp+1/sm <sup>2</sup>	2. Wettelijk aangewezen norm
VS (veel andere staten)	ASHRAE Standard 62	5+0,6	5+0,6	5+0,6	3,8+0,3	3,8+0,3	3+0,8 l/s pp+1/sm <sup>2</sup>	3. Niet wettelijk aangewezen norm
24 Japan	School Health and Safety Acts", Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.	1500	1500	1500	1500	1500	ppm CO2 max	2. Wettelijk aangewezen norm
25 Hong-Kong	A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places	1200	1200	1200	1200	1200	ppm CO2 & uursgem	4. Overige technische richtlijnen
26 Zuid Korea	The Health Act in School van het Ministerie van Onderwijs en Personeel	1000	1000	1000	1000	1000	ppm CO2 max	1. Directe wettelijke eis
27 China	GB50736-2012, "Code for design of heating, ventilation and air conditioning".	19	19	19	19	19	19 m <sup>3</sup> /hpp	2. Wettelijk aangewezen norm

Tabel 2.1: samenvatting resultaten FASE 1: Inventarisatie wettelijke eisen en FASE 2: Inventarisatie wettelijke status



## 2.2 Luchtvolumestroomeisen gecombineerd met een CO<sub>2</sub> grenswaarde

Zoals bovengenoemd is in een drietal Aziatische landen een eis geformuleerd in termen van een CO<sub>2</sub>-grenswaarde. In deze landen is geen eis aan een ventilatiehoeveelheid opgenomen. In een aantal andere landen is de basis-eis geformuleerd in termen van een ventilatiehoeveelheid, en is aanvullend een aanwijzing m.b.t. CO<sub>2</sub> grenswaarden opgenomen, met verschillende status. De betreffende landen en eisen zijn onderstaand opgenomen.

Het **Frans** "Réglement Sanitaire Départemental" schrijft minimale debieten voor, aanvullend is opgenomen dat mechanisch toegevoerde lucht gefilterd dient te worden en dat CO<sub>2</sub> concentraties in klaslokalen de 1000ppm niet mogen overschrijden, met een tolerantie tot 1300 ppm.

In **Estland** wordt in lokale kwaliteitsrichtlijnen een minimumdebiet van 8 l/(s/pers) of 3 l/(s/m<sup>2</sup>) voorgeschreven en een CO<sub>2</sub> concentratie <1000ppm.

In **Finland** wordt in het richtlijnengedeelte van de Bouwregelgeving een minimumdebiet van 6 l/(s/pers) (leslokalen of 8 l/(s/pers) (collegezalen voorgeschreven, en een CO<sub>2</sub> concentratie <1.200ppm.

De **Oostenrijkse** kwaliteitsrichtlijn (die ook in **Duitsland** bekend is) "61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen" formuleert de eis als volgt:

Het CO<sub>2</sub>-Gehalte in het klaslokaal mag maximaal 1.200 ppm bedragen (IDA 3 niveau Ruimteluchtkwaliteit).

Streefwaarde: max. 800 - 1.000 ppm (IDA 2 niveau binnenluchtkwaliteit).

De CO<sub>2</sub>-concentraties mogen bij een recirculatiesysteem ten behoeve van vochtregeling bij buitentemperaturen onder 0°C tot max. 1.400 ppm oplopen.

In **Engeland** wordt gedetailleerd ingegaan op CO<sub>2</sub> concentratie, deels verankerd in wettelijke eisen:

- Maximaal 5000 ppm op enig moment.
- Daggemiddeld maximaal 1500 ppm gemeten op hoofdhoogte van een zittend persoon.
- Tijdens het gebruik van de ruimte, inclusief gebruik voor onderwijs, moeten de gebruikers in staat zijn om door bediening van aanvullende ventilatievoorzieningen de concentratie van CO<sub>2</sub> te verlagen naar 1.000 ppm.

In **Tsjechie** wordt gesteld:

Als indicator van de kwaliteit van het binnenmilieu mogen de CO<sub>2</sub> concentraties in de binnenlucht niet meer dan 1.500 ppm bedragen.

De relatie tussen de geëiste ventilatiehoeveelheid en de CO<sub>2</sub> grenswaarde wisselt per land, zie hiervoor hoofdstuk 4.

## 2.3 Wettelijke status van de eisen

Ten aanzien van de status van de eisen is een aantal categorieën onderscheiden:

- Eisen welke direct zijn opgenomen in wetgeving (In tabel 2.1 en figuur 4.1 rood weergegeven).
- Eisen uit wettelijk aangewezen normen (oranje kleur).

- Eisen uit niet-wettelijk aangewezen normen, praktijkrichtlijnen en andere adviezen (groen)

Wanneer een eis wet of wettelijk aangewezen norm is, is dit eenduidig na te gaan, omdat dit in de beschikbare documenten tekstueel is vastgelegd. Wanneer een eis geen status heeft, is dit meestal niet expliciet vastgelegd. Hiervoor is waar mogelijk een lokale expert geraadpleegd.

Er blijft een aantal gevallen over waarbij geen wettelijke status van de eisen bekend is, maar waar dit niet bevestigd kan worden door documentatie of lokale experts. De verwachting is dat in de meeste gevallen deze eisen niet wettelijk verankerd zijn. Uit het onderzoek blijkt dat ca. 1/3 van de landen wettelijk verankerde eisen aan schoolventilatie stelt, en tenminste 1/3 van de landen geen wettelijke eisen stelt.

Wat vanuit de Nederlandse optiek opvalt is dat de eisen lang niet altijd in bouwregelgeving zijn opgenomen. In veel gevallen is er sprake van regelgeving op het gebied van gezondheid en veiligheid, uitgegeven door een ministerie van onderwijs of volksgezondheid. Een goed voorbeeld is Japan, waar in de bouwregelgeving een 'lichte' basiseis voor ventilatie is opgenomen, maar waar de veel zwaardere eis aan CO<sub>2</sub> concentratie in scholen is opgenomen in een 'School Health and Safety Act' (Besluit m.b.t. gezondheid en veiligheid in scholen), uitgegeven door het Japanse ministerie van Onderwijs, Cultuur, Sport en Wetenschap. Specifieke regelgeving rond gezondheid in scholen is naast Japan ondermeer aanwezig in Zuid-Korea, Frankrijk, Engeland, en de meeste staten in de VS. Een bijbehorende consequentie is dat de aandacht ten aanzien van handhaving verschuift van de oplevering naar periodieke metingen in de gebruiksfase. De verantwoordelijkheid verschuift op een zelfde wijze richting de beheerders en gebruikers, waarbij in de documenten het schoolbestuur, de schooldirecteur, docenten, ouders en leerlingen worden genoemd als betrokkenen, de laatstgenoemden in het kader van het voorkomen van emissies uit naar school meegebrachte producten.

### 3 Fase 3: Omrekening naar Nederlandse situatie

Eisen in termen van een lucht volumestroom zoals opgenomen in tabel 2.1 zijn op verschillende wijze zijn geformuleerd: per persoon, per m<sup>2</sup>, een combinatie van beide, een ventilatievoud voor de ruimte etc. De verschillende formuleringen zijn mede ook veroorzaakt door verschillende ventilatiefilosofien. Eisen per m<sup>2</sup> zijn vaak beargumenteerd op basis van materiaalemissies, eisen per persoon op basis van personen als maatgevende bron.

Om de verschillende eisen met elkaar te kunnen vergelijken worden deze omgerekend. Hiervoor worden onderstaande omrekeningsmethoden gebruikt.

Voor de omrekening wordt uitgegaan van een standaard klaslokaal met 26 leerlingen/studenten en 1 docent op 54 m<sup>2</sup> vloeroppervlak, en een inwendige hoogte van 3 m. Dit met uitzondering van de VS en Canada, waar de bezetting is ontleend aan de nationale normen.

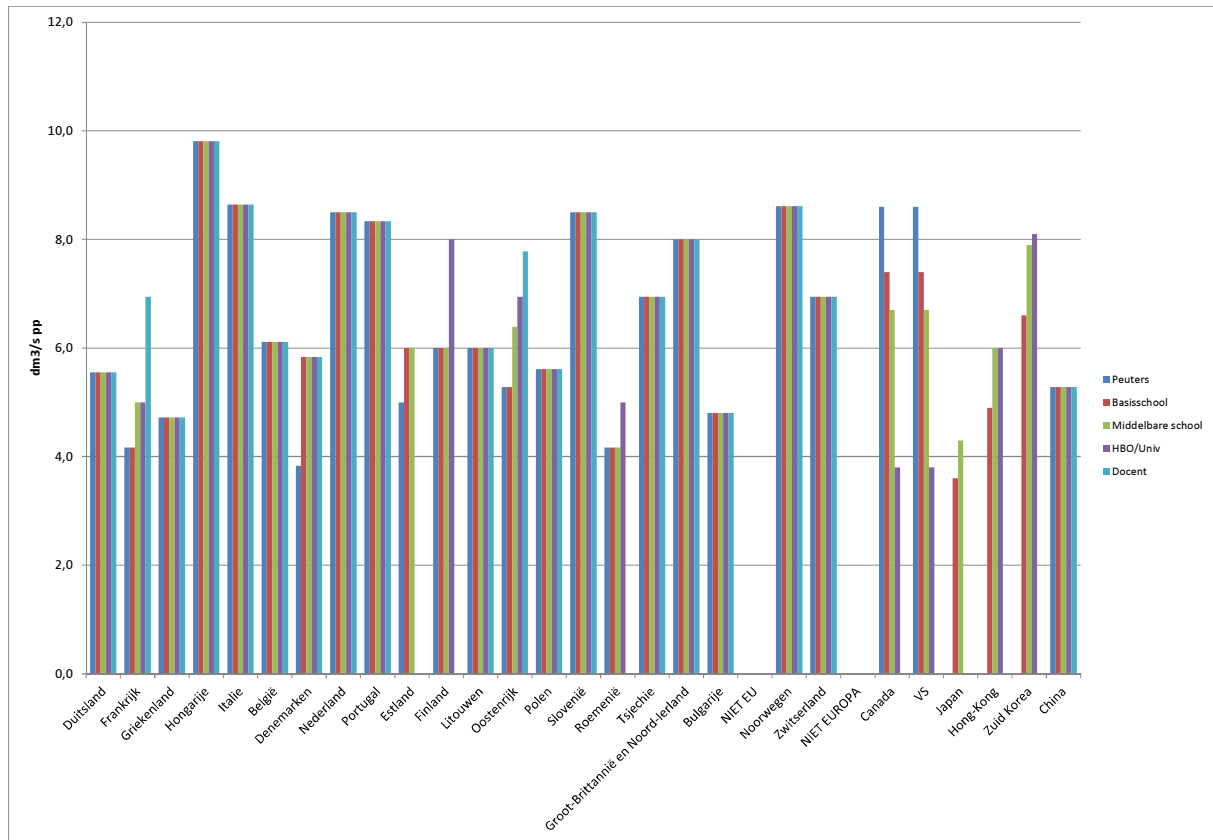
Een ventilatievoud van 1/h wordt omgerekend naar 6,23 m<sup>3</sup>/h per persoon, of 1,73 dm<sup>3</sup>/s per persoon. Eisen aan CO<sub>2</sub> concentratie zijn per onderwijstype omgerekend met de methode zoals beschreven in hoofdstuk 4.

In Nederland is in het Bouwbesluit 2012 een eis opgenomen met als eenheid dm<sup>3</sup>/s per persoon. Daarom zijn alle internationale eisen omgerekend naar deze eenheid. De resultaten zijn opgenomen in tabel 3.1 en figuur 3.1.

Tabel 3.1. Samenvatting van internationale ventilatieeisen, omgerekend naar de Nederlandse situatie.

LAND	Equivalentente eis in l/s pp				
	Peuters 1-4 jaar	basis ondw 4-12 jaar	middelb 13-17 jaar	HBO/univ 18-26 jaar	docent > 26 jaar
Duitsland	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Frankrijk	4,2	4,2	5,0	5,0	6,9
Griekenland	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Hongarije	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
Italie	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
België	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Denemarken	3,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Nederland	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Portugal	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Estland	5,0	6,0	6,0		
Finland	6,0	6,0	6,0	8,0	
Litouwen	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Oostenrijk	5,3	5,3	6,4	6,9	7,8
Polen	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Slovenië	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Roemenië	4,2	4,2	4,2	5,0	
Tsjechie	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Groot-Brittannië en Noord-Ierland	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Bulgarije	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
<b>NIET EU</b>					
Noorwegen	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Zwitserland	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
<b>NIET EUROPA</b>					
Canada	8,6	7,4	6,7	3,8	
VS	8,6	7,4	6,7	3,8	
Japan		3,6	4,3		
Hong-Kong		4,9	6,0	6,0	
Zuid Korea		6,6	7,9	8,1	
China	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3

Figuur 3.1. Grafische weergave van tabel 3.1. In een aantal landen is de eis afhankelijk van leeftijd of schooltype.



## 4 Fase 4: Vaststellen van CO<sub>2</sub> grenswaarden

### 4.1 CO<sub>2</sub> productie per onderwijstype

Om luchthoeveelheden per persoon om te rekenen naar een (evenwichts) CO<sub>2</sub> concentratie zijn gegevens benodigd ten aanzien van de CO<sub>2</sub> productie per persoon. De CO<sub>2</sub> productie is afhankelijk van diverse factoren, waaronder de leeftijd en het activiteitsniveau. De achtergronden hierbij zijn gegeven in bijlage 3. De resultaten van de berekening zijn gegeven in onderstaande tabel. De waarden zijn gemiddelden voor mannen en vrouwen. Hierbij dient er rekening mee te worden gehouden dat er is gerekend met representatieve uitgangspunten. Afwijkingen in CO<sub>2</sub> productie kunnen ontstaan als gevolg van bijvoorbeeld afwijkende activiteitsniveaus en lichaamsgewicht.

Tabel 4.1. CO<sub>2</sub> productie per persoon. Bronnen TNO en LUMC 1997; Het activiteitsniveau en bijbehorend metabolisme is een onderbouwde aanname.

onderwijstype	leeftijd	massa kg	lengte cm	activiteit MET	metabolisme W	CO <sub>2</sub> productie kg/s*10 <sup>6</sup>
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

De vier genoemde onderwijstypen zijn gekozen omdat internationaal in veel gevallen vergelijkbare onderwijstypen voorkomen, waarvoor regelmatig onderscheidende eisen zijn geformuleerd. Incidenteel wordt voor de docent apart een eis gesteld, hiervoor wordt gerekend met een CO<sub>2</sub> productie van een 26-jarige zoals opgenomen in tabel 4.1.

Om per onderwijstype te komen tot een gemiddelde CO<sub>2</sub> productie is steeds het gemiddelde genomen van de drie berekende waarden per onderwijstype uit tabel 4.1. De productie is vervolgens omgerekend naar een productie in m<sup>3</sup>/s (ten behoeve van het gebruik van vergelijking [1] uit bijlage 3), bij de volgende condities:

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



Uitgaande van een molmassa van CO<sub>2</sub> van 44,01 gram per mol leidt dit per schooltype tot de omrekeningsfactoren gegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Gehanteerde gemiddelde CO<sub>2</sub> productie per schooltype.

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

Conform vergelijking [1] uit Bijlage 3 worden gestelde eisen in termen van een debiet per tijdseenheid omgerekend naar een stijging van de CO<sub>2</sub> concentratie ten opzichte van de buitenlucht door per eis-per-onderwijstype de berekende gemiddelde CO<sub>2</sub> productie voor dat onderwijstype te delen door de vereiste luchtvolumestroom. Deze omrekening is niet altijd identiek aan wat in andere landen wordt aangehouden, waardoor soms verschillen ontstaan in verwachte CO<sub>2</sub> concentratie bij een bepaald ont-werpdebiet. Dit is weergegeven in paragraaf 4.3

#### 4.2 Bepalen CO<sub>2</sub> grenswaarden

Met behulp van de CO<sub>2</sub> productie uit tabel 3.2 zijn alle luchthoeveelheden uit Tabel 3.1 omgerekend naar CO<sub>2</sub> equivalenten per onderwijstype.

De berekende CO<sub>2</sub> concentratie is de evenwichtsconcentratie die na een zekere tijd wordt bereikt. Deze tijdsafhankelijkheid is toegelicht in bijlage 3.

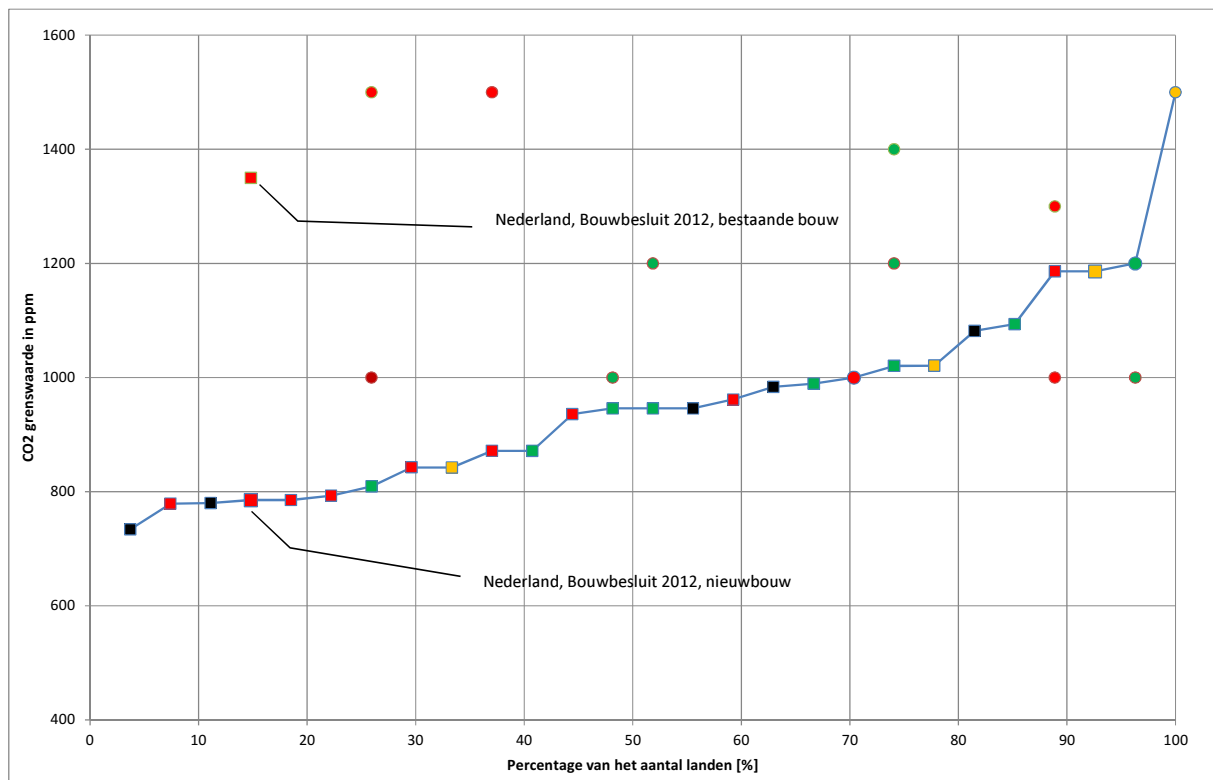
De resultaten zijn weergegeven in twee tabellen: in tabel 4.3 is de berekende CO<sub>2</sub> concentratie ten opzichte van buitenlucht weergegeven, in Tabel 4.4 is de berekende equivalente CO<sub>2</sub> grenswaarde in de binnenlucht weergegeven, uitgaande van een concentratie in de buitenlucht van 400 ppm. In de drie Aziatische landen waar een directe eis aan de CO<sub>2</sub> concentratie in de binnenlucht is geformuleerd, is het verschil met de buitenluchtconcentratie eveneens gebaseerd op 400 ppm buiten.

Tabel 4.3.. Berekende CO<sub>2</sub> grenswaarde in ppm ten opzichte van de buitenlucht.

Land	Equivalentente eis		[Delta CO2 tov buiten]		
	Peuters	basis ondw	middelb	HBO/univ	docent
	1-4 jaar	4-12 jaar	13-17 jaar	18-26 jaar	> 26 jaar
<b>EU</b>					
Duitsland	416	590	715	727	727
Frankrijk	554	786	794	807	581
Griekenland	489	694	841	855	855
Hongarije	236	334	405	412	412
Italie	267	379	460	467	467
België	378	536	650	660	660
Denemarken	603	562	681	692	692
Nederland	272	385	467	475	475
Portugal	277	393	477	484	484
Estland	462	546	662		
Finland	385	546	662	505	
Litouwen	385	546	662	673	673
Oostenrijk	438	621	622	581	519
Polen	412	584	708	719	719
Slovenië	272	385	467	475	475
Roemenië	554	786	953	807	
Tsjechie	333	472	572	581	581
Groot-Brittannië en Noord-Ierland	289	409	497	505	505
Bulgarije	481	682	827	840	840
<b>NIET EU</b>					
Noorwegen	268	380	461	469	469
Zwitserland	333	472	572	581	581
<b>NIET EUROPA</b>					
Canada	269	443	593	1062	
VS	269	443	593	1062	
Japan		1100	1100		
Hong-Kong		800	800	800	800
Zuid Korea		600	600	600	600
China		621	753	765	765

Tabel 4.4. Berekende CO<sub>2</sub> grenswaarde in ppm in de binnenlucht.

Land	Equivalent e eis		CO <sub>2</sub> binnen (buiten=400)		
	Peuters	basis ondw	middelb	HBO/univ	docent
	1-4 jaar	4-12 jaar	13-17 jaar	18-26 jaar	> 26 jaar
<b>EU</b>					
Duitsland	816	990	1115	1127	1127
Frankrijk	954	1186	1194	1207	981
Griekenland	889	1094	1241	1255	1255
Hongarije	636	734	805	812	812
Italie	667	779	860	867	867
België	778	936	1050	1060	1060
Denemarken	1003	962	1081	1092	1092
Nederland	672	785	867	875	875
Portugal	677	793	877	884	884
Estland	862	946	1062		
Finland	785	946	1062	905	
Litouwen	785	946	1062	1073	1073
Oostenrijk	838	1021	1022	981	919
Polen	812	984	1108	1119	1119
Slovenië	672	785	867	875	875
Roemenië	954	1186	1353	1207	
Tsjechie	733	872	972	981	981
Groot-Brittannië en Noord-Ierland	689	809	897	905	905
Bulgarije	881	1082	1227	1240	1240
<b>NIET EU</b>					
Noorwegen	668	780	861	869	869
Zwitserland	733	872	972	981	981
<b>NIET EUROPA</b>					
Canada	669	843	993	1462	
VS	669	843	993	1462	
Japan		1500	1500		
Hong-Kong		1200	1200	1200	1200
Zuid Korea		1000	1000	1000	1000
China		1021	1153	1165	1165



Figuur 4.1: Berekende CO<sub>2</sub> grenswaarden, onderwijstype= BASISSSCHOOL, cumulatief weergegeven (100%=27 landen).

Vierkante markers: eis in luchthoeveelheid per persoon, omgerekend naar CO<sub>2</sub> voor basisschool.

Ronde markers: eis in CO<sub>2</sub> grenswaarde.

Rode marker: wettelijke eis.

Oranje marker: wettelijk aangewezen norm.

Groene marker: praktijkrichtlijn, niet aangewezen norm etc.

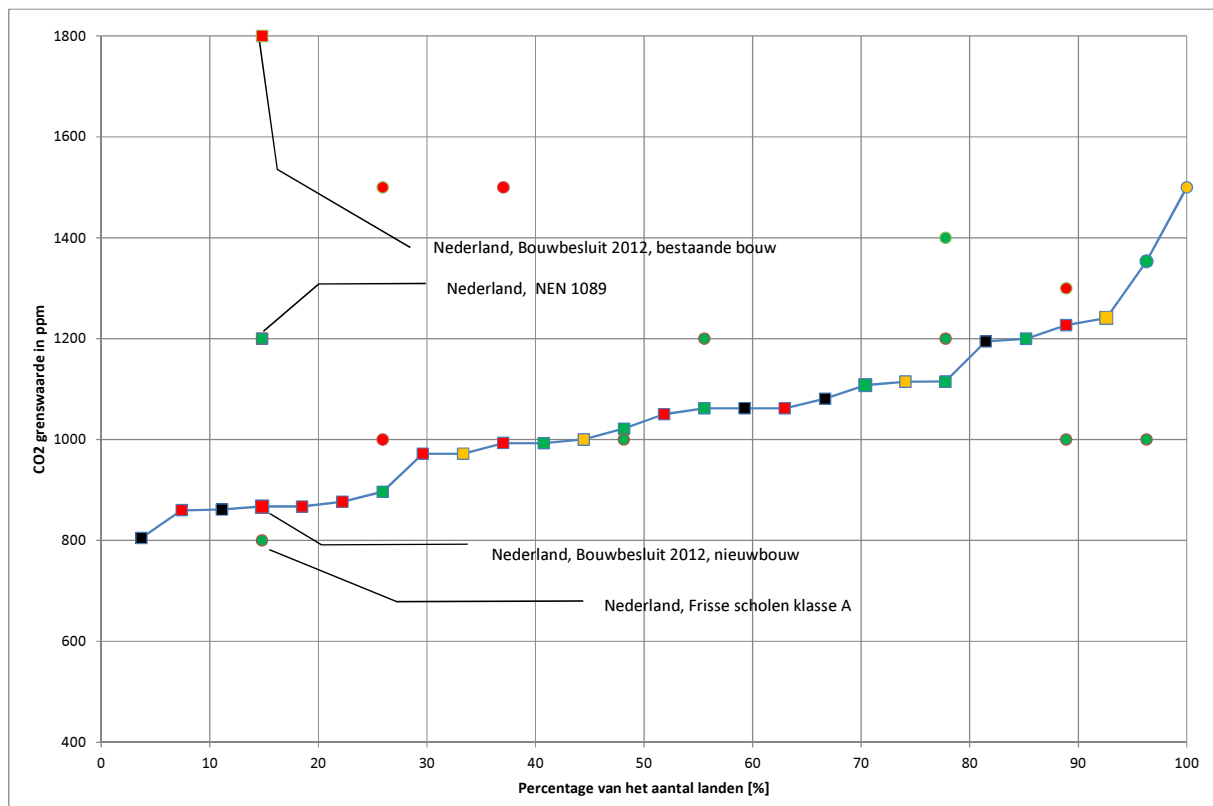
Zwarte marker: vooralsnog geen wettelijke status, niet bevestigd.

In een aantal landen zijn meerdere eisen tegelijkertijd geformuleerd.

Een grafisch overzicht van de bepaalde CO<sub>2</sub> grenswaarden voor onderwijstype 'Basisschool' is gegeven in figuur 4.1.

De kleur van de markers geeft hierbij aan wat de wettelijke status van de eisen is. De vorm van de markers geeft aan of de eis in termen van een luchtvolumestroom per persoon of in termen van een CO<sub>2</sub> grenswaarde is geformuleerd.

Voor Nederland is de eis uit Bouwbesluit2012 weergegeven (wettelijke eis in dm<sup>3</sup>/s, dus een vierkante rode marker), zowel voor nieuwbouw als bestaande bouw. Bij de omrekening van luchtvolumestroom naar CO<sub>2</sub> grenswaarde is de CO<sub>2</sub> productie van basisschoolleerlingen uit tabel 4.2. gebruikt. In een aantal landen komen zowel eisen in termen van een luchthoeveelheid per persoon alsook in termen van CO<sub>2</sub> grenswaarde voor. Dit is verder uitgewerkt in paragraaf 4.3. Opvallend in figuur 4.1 is de veelheid aan verschillende eisenniveaus.



Figuur 4.2: Berekende CO<sub>2</sub> grenswaarden, op basis van de CO<sub>2</sub> productie van volwassenen, cumulatief weergegeven (100%=27 landen).

Vierkante markers: eis in luchthoeveelheid per persoon, omgerekend naar CO<sub>2</sub> concentratie.

Ronde markers: eis in CO<sub>2</sub> grenswaarde.

Rode marker: wettelijke eis.

Oranje marker: wettelijk aangewezen norm.

Groene marker: praktijkrichtlijn, niet aangewezen norm etc.

Zwarte marker: voorsnog geen wettelijke status, niet bevestigd.

In een aantal landen zijn meerdere eisen tegelijkertijd geformuleerd.

Een grafisch overzicht van de bepaalde CO<sub>2</sub> grenswaarden voor volwassenen is gegeven in figuur 4.2.

De kleur van de markers geeft hierbij net als in figuur 4.1 aan wat de wettelijke status van de eisen is. De vorm van de markers geeft aan of de eis in termen van een lucht volumestroom per persoon of in termen van een CO<sub>2</sub> grenswaarde is geformuleerd. Bij de omrekening van lucht volumestroom naar CO<sub>2</sub> grenswaarde is de CO<sub>2</sub> productie van volwassenen uit tabel 4.2. gebruikt.

Voor Nederland zijn de eisen uit Bouwbesluit2012 weergegeven (wettelijke eis in dm<sup>3</sup>/s, dus een vierkante rode marker), tevens is de kwaliteitsrichtlijn 'Frisse scholen Klasse A' weergegeven (800 ppm, geen wettelijke eis, ronde groene marker). Tevens is het voorschrift uit NEN 1089:1986 weergegeven, dit betreft 5,5 dm<sup>3</sup>/s per persoon, omgerekend 1.200 ppm, de grenswaarde die aan de basis van Bouwbesluit 2003 heeft gestaan.

### 4.3 CO<sub>2</sub> grenswaarden in internationale regelgeving

In de internationale regelgeving komen CO<sub>2</sub> grenswaarden op twee verschillende manieren voor.

#### 1. Zelfstandige eis

In de drie onderzochte Aziatische landen hanteert men alleen een CO<sub>2</sub> grenswaarde. Dit betreft éénmaal een vrijwillige certificering (HongKong, naar keuze 1200 of 1000 ppm), in de andere twee landen wettelijk verankerd. In beide gevallen is de wettelijke basis niet de bouwregelgeving, maar separate regelgeving rond gezondheid in scholen, uitgegeven door het ministerie van onderwijs. In Japan is wel een basiseis van 0,5 – voudige ventilatie opgenomen in de bouwregelgeving, maar deze eis is zo laag dat in alle gevallen in scholen de grenswaarde van 1500 ppm maatgevend is.

#### 2. Aanvullende eis

In een aantal Europese landen worden CO<sub>2</sub> grenswaarden als aanvullende eis opgenomen. Er wordt een basis-eis geformuleerd in termen van een debiet per persoon, en aanvullend wordt een CO<sub>2</sub> grenswaarde genoemd.

De omrekenstap van luchthoeveelheid naar CO<sub>2</sub> concentratie wordt op wisselende manieren ingevuld. Voor de vergelijking is voor elk land waar een CO<sub>2</sub> concentratie wordt genoemd de verwachte maximale CO<sub>2</sub> concentratie berekend bij het minimaal voorgeschreven debiet, en vergeleken met de vastgelegde grenswaarde. Voor de meeste landen is de maximaal optredende CO<sub>2</sub> concentratie bepaald bij de leeftijd 19+, met uitzondering van Estland. In Estland is de eis alleen van toepassing op basis- en middelbare scholen, daarom is voor de maximale CO<sub>2</sub> concentratie uitgegaan van de CO<sub>2</sub> productie bij een leeftijd van 17 jaar. In Finland zijn twee verschillende lucht volumestroomseisen gegeven, maar er is maar één CO<sub>2</sub> grenswaarde opgenomen.

In Engeland is de CO<sub>2</sub> grenswaarde als eerste aangewezen, en worden daarbij aanvullend luchthoeveelheden per persoon opgenomen als praktijkrichtlijn.

De vergelijking tussen de verschillende CO<sub>2</sub> grenswaarden is gegeven in tabel 4.5.

Tabel 4.5. Verwachte maximale CO<sub>2</sub> concentratie bij minimale eis, vergeleken met grenswaarde.

Land	Berekende maximale CO <sub>2</sub> concentratie bij minimum-ventilatie-eis [ppm]	Gehanteerde CO <sub>2</sub> grenswaarde [ppm]	Marge [ppm]
Frankrijk	1200	1000 tot 1300	-200 tot 100
Estland	1230	1000	-230
Finland	1060 én 900	1.200	140 én 300
Oostenrijk (deels ook in Duitsland)	980	1200 tot 1400	300 tot 500
Engeland	900 (2000)	1000 (1500)	100 (-500)
Tsjechie	980	1500	400



In **Oostenrijk** en **Tsjechië** is een duidelijke marge te herkennen tussen de verwachte CO<sub>2</sub> concentratie bij de normatieve bezetting en de grenswaarde die is geformuleerd: ca. 300 tot 500 ppm, waarbij in Oostenrijk expliciet rekening wordt gehouden met een grotere marge in de winter, dit om te droge binnenlucht te voorkomen.

In **Estland** is de grenswaarde substantieel lager dan de berekende CO<sub>2</sub> concentratie. Mogelijk ligt dit aan een andere omrekeningsfactor. De filosofie in **Frankrijk** is moeilijk weer te geven: de voorkeursgrenswaarde van 1000 ppm zal bij toepassing van de vereiste debieten frequent worden overschreden. De maximale uitloop naar 1300 ppm laat nog 100 ppm marge, zodat hier over het algemeen aan zal worden voldaan.

De **Engelse** grenswaarde bedraagt 1500 ppm. Dit wordt gezien als een vangnetcriterium in de gebruiksfase, aangezien de eis is dat de gebruiker in staat moet zijn om met behulp van aanvullende voorzieningen 8 l/s te realiseren. Dit correspondeert met ca. 900 ppm, in de Engelse regelgeving met 1000 ppm. De 8 l/s is gericht op de gebruikelijke bezetting, momentaan wordt minimaal 3 l/s geëist in situaties met tijdelijk een hogere dan nominale bezetting. Een debiet van 3 l/s zou leiden tot een CO<sub>2</sub> concentratie van 2000 ppm, de vangneteis van 1500 ppm is in dat geval dus maatgevend.

Bij het gebruik van een CO<sub>2</sub> grenswaarde komen twee typen voor: eisen aan de maximaal voorkomende CO<sub>2</sub> concentratie, en eisen aan een gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie gedurende een bepaalde tijd. In sommige gevallen is niet aangegeven van welk type de gestelde eis is.

#### 4.4 Ventilatiepraktijk en Handhaving

Over het algemeen wordt er nauwelijks of niet gehandhaafd. Dit wordt door veel nationale experts ook als knelpunt gezien.

Een aantal relevante onderzoeksresultaten zijn:

De **Franse** overheid heeft besloten om in de nabije toekomst de IAQ van openbare gebouwen te gaan controleren. Betreffende wetgeving gaat op 1 januari 2015 in en zal zich richten op ondermeer benzeen en formaldehyde in scholen, kinderdagverblijven, zwembaden etc.

**VS en Canada:** In de meeste staten heeft het schoolbestuur de verplichting om periodiek inspecties van de binnenluchtkwaliteit uit te voeren op een spectrum van potentieel toxische stoffen, schimmels en radon, en hierover jaarlijks of vijfjaarlijks te publiceren, onder andere op de schoolwebsite. Meestal maakt CO<sub>2</sub> geen deel uit van de potentieel toxische stoffen. In veel staten en in Canada is de inspectie van de binnenluchtkwaliteit verplicht wanneer er klachten over de gezondheid zijn, in Canada dienen in dat geval naast de toxische stoffen ook CO<sub>2</sub>, temperatuur en relatieve vochtigheid te worden onderzocht.

**Zuid-Korea:** De verantwoordelijke voor de binnenluchtkwaliteit in scholen wordt in de regelgeving aangewezen, dit is de schooldirecteur. Binnenluchtkwaliteit heeft betrekking op toxische stoffen en CO<sub>2</sub>. Er is geen handhaving.

In **Roemenië** wordt bij toepassing van mechanische ventilatie een gecertificeerde specialist ingezet, die het ontwerp beoordeelt, tijdens de realisatie controles uitvoert, en in de gebruiksfase inspecties doet. Dit betreft eisen aan ventilatiehoeveelheden en het ventilatiesysteem. In de praktijk is er meestal geen budget voor een mechanisch ventilatiesysteem.

De ventilatiepraktijk van scholen laat in veel landen een dilemma zien tussen theorie en praktijk.

Zo kennen bijvoorbeeld **Duitsland** en **Roemenië** in ventilatienormen nauwkeurig omschreven lucht-hoeveelheden per persoon, maar past men in de praktijk een vorm van 'georganiseerde natuurlijke ventilatie' toe.

Deze praktijk is in Duitsland omschreven in de "Leitfaden für die Innenraumhygiene ... des Umweltbundesamtes" (Leidraad voor het binnenmilieu), en wordt tevens door een Roemeense ventilatie-expert genoemd als in Roemenië gangbare praktijk: de lessen worden gegeven in blokken van bijvoorbeeld 50 minuten. Na iedere les is een korte pauze van ca. 10 minuten, waarin de leerlingen het lokaal dienen te verlaten, en alle ramen tegen elkaar worden opengezet. De afmetingen van de ramen zijn zo gekozen dat in de pauze een zeer hoog ventilatievoud wordt gerealiseerd, zodat men in Duitsland ook wel de term 'pulsventilatie' gebruikt. Na de pauze worden de ramen weer gesloten en begint een volgende les.

## 5 Samenvatting inventarisatiefase

In een internationale inventarisatie van eisen aan ventilatie in schoolgebouwen zijn van ca. 27 landen de eisen verzameld. Van het merendeel van de eisen is tevens de wettelijke status vastgesteld.

De aangetroffen eisen zijn op een aantal verschillende manieren geformuleerd. Verder wordt in sommige gevallen onderscheid gemaakt tussen schooltype of leeftijd van de leerlingen.

Omgerekend naar dezelfde eenheid variëren de eisen van 3,8 dm<sup>3</sup>/s per persoon tot 9,8 dm<sup>3</sup>/s per persoon. In ongeveer 1/3 van de landen zijn de eisen wettelijk verankerd in wetgeving of wettelijk aangewezen normen.

In een aantal gevallen is de eis geformuleerd in termen van een CO<sub>2</sub> grenswaarde, soms een piekwaarde en soms een 8-uurs gemiddelde. In de meeste gevallen wordt een luchthoeveelheid per persoon voorgeschreven.

Voor personen van verschillende leeftijden is vastgesteld wat de gemiddelde CO<sub>2</sub> productie is bij een bij die leeftijd en voor een schoollokaal gangbaar metabolisme.

Met deze CO<sub>2</sub> productie zijn alle eisen omgerekend naar een CO<sub>2</sub> grenswaarde.

De resulterende CO<sub>2</sub> grenswaarde is afhankelijk van het onderwijstype.

Voor basisscholen zijn equivalente CO<sub>2</sub> grenswaarden bepaald welke variëren van 734 tot 1.500 ppm, met een mediaan van ca. 950 ppm. Hierbij is uitgegaan van een concentratie in de buitenlucht van 400 ppm.

In een aantal landen is zowel een eis aan een luchthoeveelheid per persoon als een eis aan de CO<sub>2</sub> concentratie opgenomen. Over het algemeen is de eis aan de CO<sub>2</sub> concentratie minder zwaar dan de eis aan de luchthoeveelheid per persoon.

Naast eisen aan CO<sub>2</sub> worden ook regelmatig eisen aan Radonconcentraties, schimmels, bacteriën en fijn stof aangetroffen, en aan toxische stoffen zoals formaldehyde, benzeen, VOC's, CO en ammoniak. Beheersing hiervan vindt gedeeltelijk plaats via emissie-eisen aan bouwmaterialen.

## 6 Fase 6: voor- en nadelen van een voorschrift voor een CO<sub>2</sub> - grenswaarde

### 6.1 Achtergronden bij het gebruik van CO<sub>2</sub>-concentratie in de binnenlucht van lesruimten: gezondheid, hinder van geur, cognitieve prestaties

De vigerende ventilatievoorschriften zijn opgenomen in hoofdstuk 3 van het Bouwbesluit 2012. Dit hoofdstuk betreft voorschriften met het oog op gezondheid. De functionele eis is dat het verblijven in een gebouw geen negatieve gezondheidseffecten op de aanwezige personen mag hebben. Hiervoor zijn voorschriften opgenomen ten aanzien van de luchtvolumestroom per persoon.

Kooldioxide (CO<sub>2</sub>) wordt door mensen geproduceerd via de ademhaling. Over de CO<sub>2</sub> productie van mensen is vrij veel bekend. Uit literatuur blijkt dat de CO<sub>2</sub> productie van de mens voornamelijk afhankelijk is van: het activiteitsniveau (metabolisme), het geslacht, de leeftijd en de massa van personen. Op zichzelf genomen veroorzaakt CO<sub>2</sub>, in de concentraties waarin dit voorkomt in gebouwen, geen negatieve gezondheidseffecten. Het gebruik van CO<sub>2</sub> als maatstaf voor de kwaliteit van het binnenmilieu vindt zijn oorsprong in diverse internationale onderzoeken naar de subjectieve beoordeling van de luchtkwaliteit onder gebruikers van gebouwen, waarbij geurhinder als maatstaf voor de binnenmilieukwaliteit is gehanteerd. Recent heeft de Gezondheidsraad in opdracht van de toenmalige minister van VROM een rapport gepubliceerd van een onderzoek naar de waarde van CO<sub>2</sub> als indicator voor de binnenluchtkwaliteit [1]. Hierbij is geconstateerd dat basisschoolleerlingen in hun klaslokalen blootgesteld kunnen worden aan diverse binnenmilieufactoren die nadelige effecten kunnen hebben op hun lichamelijke gezondheid en cognitief functioneren. Dit betreft met name fijn stof, ziektekiemen, allergenen, hoge temperatuur en geluid. Recente onderzoeken wijzen wel in de richting dat een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie een negatieve invloed kan hebben op het cognitief functioneren van personen. De Gezondheidsraad is van mening dat CO<sub>2</sub> slechts beperkt bruikbaar is als maat voor de binnenluchtkwaliteit, maar zij vindt het wel een goede indicator voor de luchtverversing. Verder constateert zij dat de beschikbare wetenschappelijke gegevens beperkt zijn, en geen redenen vormen om voor onderwijsruimten af te wijken van de CO<sub>2</sub>-waarde van 1.200 ppm die als grondslag is gehanteerd voor de ventilatie-eisen in het Bouwbesluit 2003.

### 6.2 CO<sub>2</sub> als indicator

Bij ventileren op basis van de CO<sub>2</sub>-concentratie van de binnenlucht wordt het gas CO<sub>2</sub> gebruikt als indicator voor de mate van luchtverversing in een ruimte. Dit vanwege de relatief makkelijke bepalingmethode en daarmee de controleerbaarheid, mits de juiste bezetting in een ruimte aanwezig is. Op zichzelf genomen is CO<sub>2</sub> een onvoldoende indicator voor de kwaliteit van de binnenlucht. Dit is ook te zien in veel internationale regelgeving, waarbij metingen van de kwaliteit in de binnenlucht in de beheersfase nooit alleen bestaan uit CO<sub>2</sub> metingen, maar altijd uit een palet van ca. 4 tot 9 potentieel toxische stoffen, soms inclusief CO<sub>2</sub> en soms exclusief CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> zelf heeft in de concentratie die wordt aangetroffen in klaslokalen, geen nadelige effecten op de gezondheid [1],[5]. De WHO noemt in een publicatie over binnenluchtkwaliteit negen stoffen die relevant zijn in het kader van potentiële negatieve gezondheidseffecten [4], op CO<sub>2</sub> in de binnenlucht gaat deze publicatie niet in. Naast de relatief gemakkelijke bepalingmethode in het gebruik heeft onderzoek uitgewezen dat de CO<sub>2</sub> -concentratie in een onderwijsruimte een signaalfunctie heeft naar de gebruiker toe, en dat deze signaleringsfunctie een positieve uitwerking heeft op het ventilatieniveau [8].

### 6.3 Motivatie voor het gebruik van een CO<sub>2</sub> grenswaarde als maatstaf voor de luchtverversing in lesruimten

De motivatie voor het gebruik van een CO<sub>2</sub> grenswaarde in plaats van danwel aanvullend op een eis in termen van de luchtvolumestroom, is als volgt:

De CO<sub>2</sub>-concentratie in een lesruimte is het gevolg van een combinatie van factoren:

- 1) De geïnstalleerde capaciteit van de ventilatievoorziening, uitgedrukt in een luchtvolumestroom
- 2) Het daadwerkelijk functioneren van de ventilatievoorziening in de beheersfase, ondermeer de eventuele achteruitgang in de capaciteit als gevolg van de wijze van onderhoud en het gebruik
- 3) De mate en de wijze waarop de ventilatievoorziening wordt gebruikt en bediend in de gebruiksfase
- 4) De bezetting van lesruimte in de praktijk, in relatie tot de (ontwerp)bezetting t.b.v. de vereiste luchtvolumestroom van de ventilatievoorzieningen, samen met het activiteitsniveau (metabolisme) van de aanwezigen in de lesruimte

Door te handhaven op de CO<sub>2</sub>-concentratie in plaats van alleen op de geïnstalleerde capaciteit, wordt dus 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. Deze aanvullende aspecten spelen alle in de gebruiks- en beheersfase van lesruimten.

Deze motivatie staat los van het toepassen van permanente signaleringsmeters in elke ruimte van een onderwijsfunctie, wat tevens een aanvullend signaleringsvoordeel heeft in de praktijk. Strikt genomen vraagt de Tweede Kamer in de motie niet om het permanent monitoren van de CO<sub>2</sub> concentratie in alle ruimtes. Gezien het grote belang van de feitelijke bezetting in relatie tot de daadwerkelijke CO<sub>2</sub> concentratie is dit wel een suggestie die bij kan dragen aan een betere (handhaving van de) luchtkwaliteit.

### 6.4 Bezetting

Op basis van Bouwbesluit 2003 was door toepassing van bezettingsgraadklassen onderscheid mogelijk tussen een gemiddelde of nominale bezetting en een maximale bezetting. Met de invoering van het Bouwbesluit 2012 is de bezetting van een ruimte eenduidig geformuleerd, en is een onderscheid tussen een gemiddelde en een maximale bezetting niet meer aan de orde.

Uitgangspunt van Bouwbesluit 2012 (artikel 1.2) is dat de bezetting van een bouwwerk of een gedeelte daarvan niet hoger mag zijn dan de bezetting waarvoor dit is bestemd. Het gedeelte van het bouwwerk waar dit over kan gaan is in dit artikel niet expliciet gemaakt, in de toelichting op het Bouwbesluit wordt echter duidelijk dat naar gelang de aard van het voorschrift dit ook betrekking kan hebben op ruimten.

In de Regeling Omgevingsrecht wordt in de indieningsvereisten vanwege bouwactiviteiten, Hoofdstuk 2, artikel 2.2 derde lid, de volgende eisen gesteld aan de indiening:

*In of bij de aanvraag om een vergunning voor bouwactiviteit verstrekt de aanvrager de volgende gegevens en bescheiden ten behoeve van de toetsing aan de voorschriften van het Bouwbesluit 2012: 3.a.: de aanduiding van de gebruiksfunctie, verblijfsgebieden, verblijfsruimten, en de afmeting en de bezetting van alle ruimten inclusief totaaloppervlakten per gebruiksfunctie*



Aanvullend is aan de orde dat in het Bouwbesluit in par. 1.5 sprake van een gebruiksmelding, waarbij in artikel 1.19 vijfde lid onder C is opgenomen dat bij ruimten voor meer dan 25 personen de hoogste bezetting van die ruimte moet worden aangegeven bij de gebruiksmelding – voor zover dit naar het oordeel van het bevoegd gezag nodig is.

Op basis van bovenstaande wordt daarom geconcludeerd dat binnen de huidige bouwregelgeving een onderwijsfunctie vooraf dient te worden ingedeeld in lesruimtes met een vooraf gedefinieerde bezetting.

Wel wordt aanvullend geconstateerd dat het aanbeveling verdient om eensluidende definities te geven van:

- Aantal personen waarvoor een bouwdeel is bestemd (Bouwbesluit2012 artikel 1.2 en de toelichting hierop).
- De hoogste bezetting van die ruimte (Bouwbesluit2012 artikel 1.19).
- De bezetting van de verschillende ruimten (Regeling omgevingsrecht artikel 2.2.).

#### *Het begrip 'normatieve bezetting'*

In de motie is sprake van het begrip 'normatieve bezetting'. Deze term komt op dit moment niet in die vorm in de bouwregelgeving voor. Omdat binnen de bouwregelgeving maar één mogelijke bezetting aan de orde is, namelijk de bezetting zoals aangegeven op de ingediende stukken voor de aanvraag Omgevingsvergunning, wordt als uitgangspunt genomen dat de genoemde normatieve bezetting gelijk is aan de bezetting conform Bouwbesluit 2012.

#### *Maximale bezetting*

De maximaal optredende CO<sub>2</sub> concentratie in een ruimte is gerelateerd aan de maximaal optredende bezetting in die ruimte. Het aspect 'maximale bezetting' komt in het Bouwbesluit aan de orde in Artikel 1.19 (Gebruiksmelding) onder 5.c.3.:

*"Voor zover dit naar het oordeel van het bevoegd gezag nodig is (...) verstrekt de melder bij de gebruiksmelding (...) per ruimte (...) bij ruimten voor meer dan 25 personen, de hoogste bezetting van die ruimte".*

Omdat in art. 1.2 is opgenomen dat in een gedeelte van een gebouw niet meer personen aanwezig mogen zijn dat het aantal waarvoor het is bestemd, is de hoogste bezetting van een ruimte in Art. 1.19 gelijk is aan de bezetting per gedeelte van het gebouw in Art. 1.2.

Binnen de Nederlandse bouwregelgeving is er daarom geen onderscheid mogelijk tussen een nominale bezetting en de maximale bezetting.

Dit is een belangrijk gegeven, omdat in een aantal landen waarin een CO<sub>2</sub> grenswaarde als eis in de bouwregelgeving is opgenomen, dit mede is ingegeven door het feit dat er incidenteel hogere bezettingen mogelijk zijn dan gebruikelijk. Een voorbeeld is de wetgeving in Engeland en Noord-Ierland, zie hiervoor hoofdstuk 2 en bijlage 2.

Het stellen van eisen aan de CO<sub>2</sub> concentratie is daarmee mede een vorm van handhaven op overschrijden van de normatieve bezetting, een overschrijding waar in de wetgeving van Engeland en Noord-Ierland ruimte voor is gelaten en in de Nederlandse bouwregelgeving niet.



## 6.5 Principe van grenswaarden

Vanuit de motie is gevraagd om een eis aan de CO<sub>2</sub> concentratie op te nemen in het Bouwbesluit. Als ontwerpwaarde kan worden gedefinieerd een CO<sub>2</sub>-concentratie verschil in ppm (parts per million) tussen de buitenlucht, waarmee wordt geventileerd wordt, en de binnenlucht, ook wel genoemd  $\Delta$ CO<sub>2</sub>. De capaciteit van de luchtverversingsinstallaties dient hierop te worden berekend tijdens de ontwerp-fase.

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. Deze waarde wordt bepaald uit de ontwerpwaarde plus de concentratie in de buitenlucht, rekening houdend met:

- de variatie in buitenluchtconcentratie (een variatie van ca. 50-80 ppm afhankelijk van de locatie);
- de meeton nauwkeurigheid (ca. 50 ppm);
- variaties in CO<sub>2</sub> productie per persoon, zie hiervoor hoofdstuk 4.

Genoemde variaties en onnauwkeurigheden leiden tot een gewenste marge van ca. 250-300 ppm tussen de theoretisch berekende CO<sub>2</sub> evenwichtsconcentratie en te formuleren voorschrift voor een CO<sub>2</sub> grenswaarde. Deze marge kan worden verwerkt in het voorschrift of in de bepalingmethode.

Een overschrijding van de grenswaarde kan het gevolg zijn van:

- 1) Een achteruitgang in capaciteit als gevolg van onderhoud en beheer.
- 2) De wijze waarop de ventilatievoorziening wordt gebruikt (bediening).
- 3) De bezetting van de ruimte in de praktijk, in relatie tot de ontwerp-bezetting, en de activiteit van de personen in de ruimte.

Bij constatering van een overschrijding van de grenswaarde dient te worden onderzocht welke van de drie genoemde factoren (of combinatie van factoren) de oorzaak is van de overschrijding van de interventiewaarde, en dienen maatregelen te worden genomen om de oorzaak van de overschrijding te verhelpen. Hierbij kan de grenswaarde momentaan worden genomen (overschrijding is nooit toegestaan), dan wel dat een zekere overschrijding wordt toegestaan. De meest voor de hand liggende keuze is om een beperkte tijd een overschrijding toe te staan (bijvoorbeeld 98% van de gebruikstijd moet de concentratie onder de grenswaarde blijven). In de bepalingmethode kan hier nader op worden ingegaan.

## 6.6 Afwegingen m.b.t. het vaststellen van een CO<sub>2</sub> grenswaarde

Het onderzoek dat is uitgevoerd en behandeld in hoofdstuk 2 t/m 4 laat zien dat er geen consensus is in de internationale gemeenschap over de maximaal toelaatbare CO<sub>2</sub>-concentraties in de binnenlucht die zijn opgenomen in wettelijke eisen, normen of praktijkrichtlijnen. Geformuleerde eisen en aanbevelingen voor scholen variëren van 1.000 ppm tot 1.500 ppm, zowel momentane als daggemiddelde grenswaarden worden toegepast.

Voor het vaststellen van een grenswaarde is het motief belangrijk waarom het voorschrift is gegeven.

Bij de kamermotie is deze motivatie niet expliciet gegeven. Mogelijke motivaties kunnen zijn:

- Een waarde die gerelateerd is aan de leerprestaties, en dus een onderwijskundige grondslag heeft.
- De gezondheidskundige grenswaarde.
- Een waarde die gerelateerd is aan de grondslag voor de vigerende ventilatievoorschriften, met als doel een adequaat onderhoud en bediening van de voorziening te handhaven en een overschrijding van de bezetting te kunnen signaleren.

### *Onderwijskundige grondslag*

Ten aanzien van cognitieve prestaties is een beperkt aantal onderzoeken beschikbaar die een aanwijzing geven dat sommige cognitieve prestaties verminderen bij hogere CO<sub>2</sub>-concentraties[6],[7]. Aanvullend onderzoek is nodig om aard en omvang van dit effect te kunnen vaststellen en een grenswaarde te kunnen vaststellen. Op basis van huidige inzichten wordt verwacht dat deze grenswaarde hoger dan 1.000 ppm en lager dan 2.000 ppm zal liggen.

### *Gezondheidskundige grondslag*

Vanuit gezondheidskundige instanties als WHO[4], RIVM [5] en Gezondheidsraad [1] zijn geen gezondheidskundige grenswaarden beschikbaar, en wordt er van uit gegaan dat CO<sub>2</sub> op zichzelf genomen geen negatieve gezondheidseffecten heeft in de concentraties zoals die in lesruimten voorkomen. Het RIVM stelt in een rapportage [5] expliciet dat de aanbevolen grenswaarde van 1.200 ppm geen gezondheidskundige grenswaarde is, en dat negatieve gezondheidseffecten van CO<sub>2</sub> pas optreden bij zeer hoge CO<sub>2</sub> concentraties van vele duizenden ppm. Hierbij kan worden gedacht aan de in Europees verband vastgestelde grenswaarde (MAC-waarde) van 5.000 ppm voor een verblijfsduur van 8 uur, in het kader van arbeidsomstandighedenwetgeving.

De Gezondheidsraad [1] stelt tevens dat er geen gezondheidskundige motivatie is om een andere waarde aan te houden dan de 1.200 ppm die als basis voor de ventilatie in het Bouwbesluit is aangehouden, en die gebaseerd is op het ervaren van geurhinder.

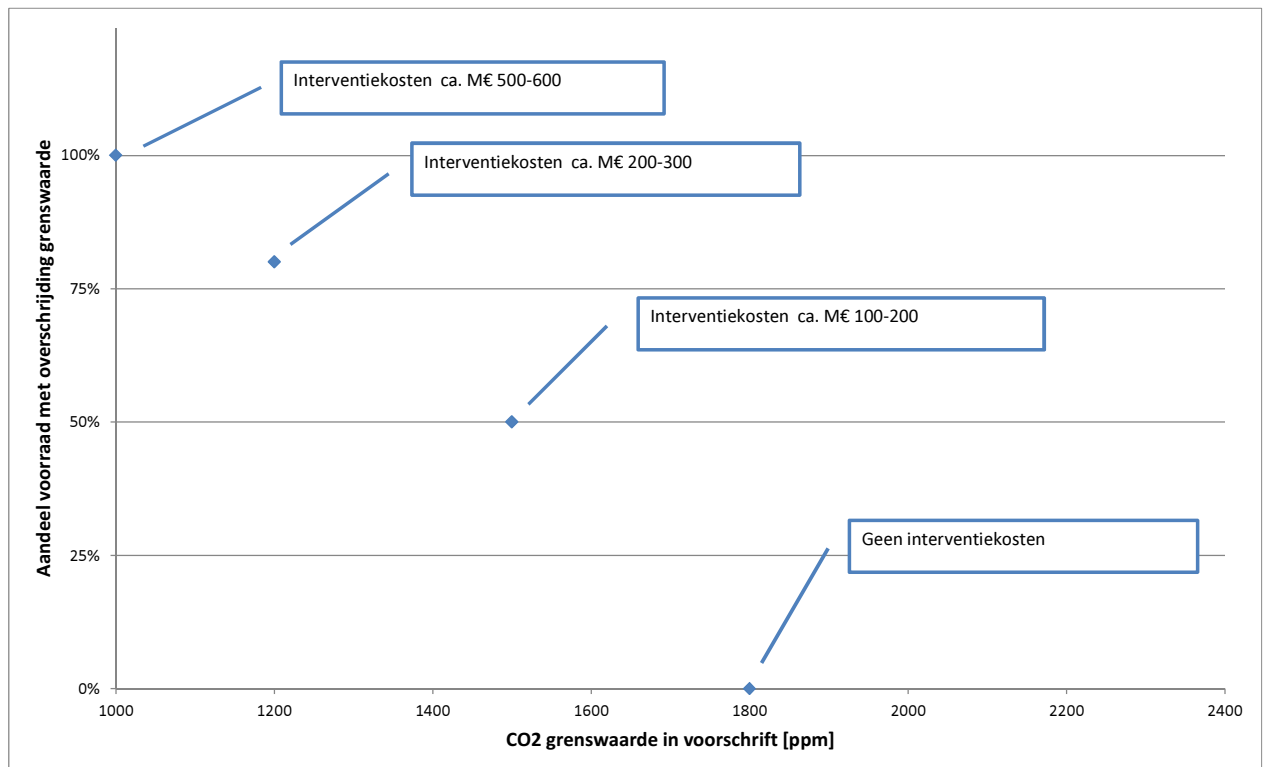
### *Corresponderende grondslag met vigerende ventilatievoorschriften*

In de deze benadering zijn er 3 niveaus te onderscheiden.

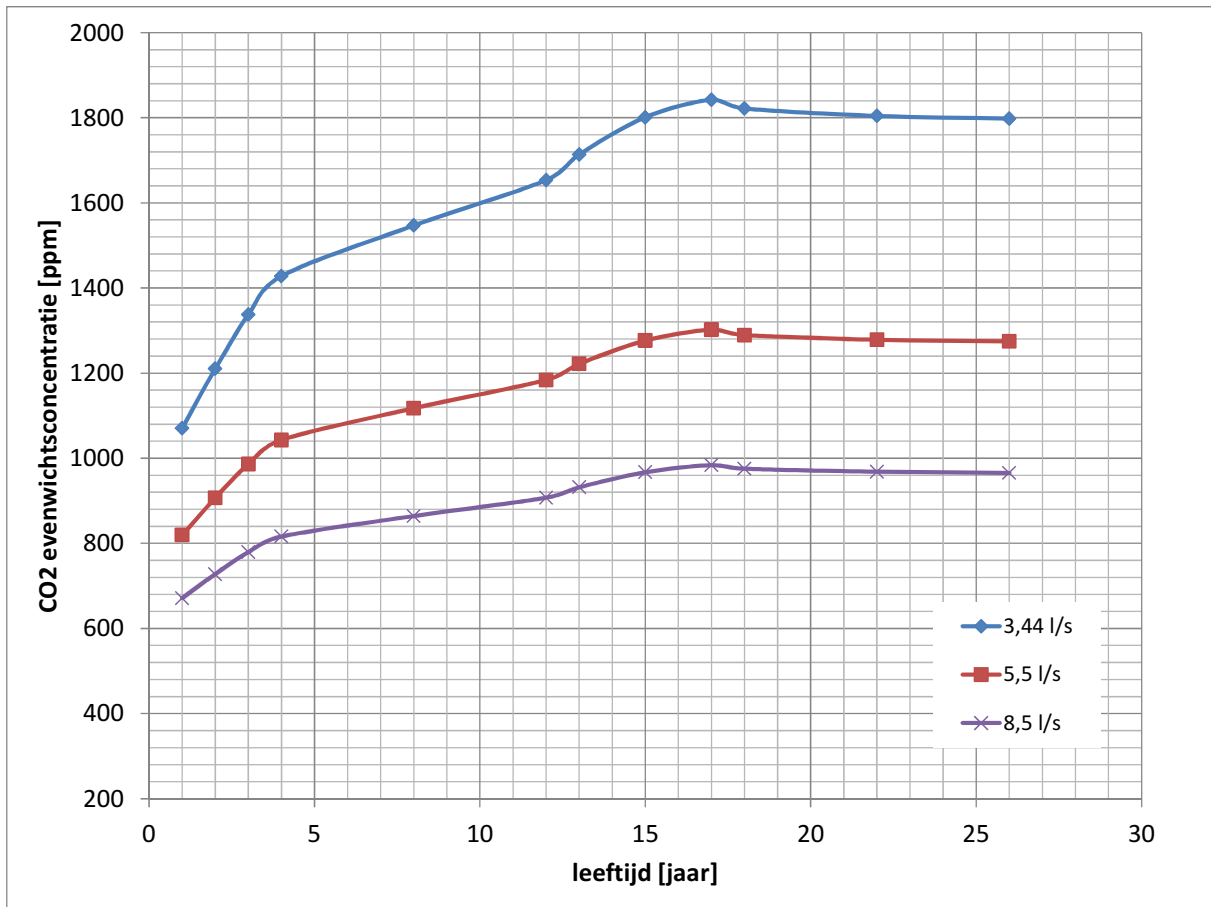
1. Corresponderende CO<sub>2</sub>-concentratie met de eisen voor bestaande bouw (3,44 dm<sup>3</sup>/s per persoon). Dit komt neer op een CO<sub>2</sub>-concentratie van ca. 1.800 ppm. In de bepalingmethode dient rekening te worden gehouden met een onzekerheidsmarge in het kader van variatie in CO<sub>2</sub>-productie, buitenluchtconcentratie en meeton nauwkeurigheid. Alle klaslokalen kunnen aan deze eis voldoen, *mits* de ventilatievoorzieningen in de juiste mate worden gebruikt.
2. Corresponderende CO<sub>2</sub>-concentratie met de eisen voor nieuwbouw in het Bouwbesluit 2003 (5,6 l/s). Dit komt neer op een CO<sub>2</sub>-concentratie van ca. 1.200 ppm. Dit betekent dat klaslokalen met een ventilatievoorziening die hieraan niet voldoet daaraan moeten worden aangepast. De omvang betreft mogelijk 80 % van de 150.000 schoollokalen in Nederland. In deze lokalen kan naar verwachting worden volstaan met het aanbrengen van mechanische afvoer, waarvan de kosten ca. € 2.000 per lokaal bedragen. Op voorraadniveau worden de kosten hiervoor ruwweg geschat op orde van grootte van M€ 200 tot M€ 300 (zie ook figuur 6.1)
3. Alternatief kan de bezetting worden aangepast aan de aanwezige ventilatievoorzieningen.
4. Wanneer een grenswaarde van 1.200 ppm wordt toegepast, betekent dit dat dit voorschrift maatgevend wordt ten opzichte van de huidige ventilatievoorschriften voor bestaande bouw zoals deze zijn opgenomen in Afdeling 3.6 van Bouwbesluit 2012. Een vergelijkbaar resultaat zou daarom kunnen worden bereikt door de ventilatievoorschriften voor bestaande bouw in Afdeling 3.6 op te hogen van 3,44 naar 5,6 dm<sup>3</sup>/s per persoon, zij het dat de beoogde borging van een voldoende mate van luchtverversing in de gebruiksfase in dat geval niet wordt gerealiseerd.
5. Corresponderende CO<sub>2</sub>-concentratie met de eisen voor nieuwbouw in het Bouwbesluit 2012 (8,5 dm<sup>3</sup>/s per persoon). Dit komt neer op een CO<sub>2</sub>-concentratie van ca. 1.000 ppm.(exclusief marge als genoemd in paragraaf 10). Het betekent voor alle bestaande bouw vergund voor de invoering van Bouwbesluit 2012 een verzwaring ten opzichte van het rechtens verkregen niveau.

In deze lokalen dient mechanische afvoer te worden aangebracht of vergroot, en zijn over het algemeen eveneens aanpassingen aan de toevoorzijde nodig. De kosten bedragen ca. € 5.000 per lokaal. Op voorraadniveau worden de kosten hiervoor ruwweg geschat op orde van grootte van M€ 500 tot M€ 600 (zie ook figuur 6.1)

Wanneer een grenswaarde van 1.000 ppm wordt toegepast, betekent dit dat dit voorschrift maatgevend wordt ten opzichte van de huidige ventilatievoorschriften voor bestaande bouw zoals deze zijn opgenomen in Afdeling 3.6 van Bouwbesluit 2012. Een vergelijkbaar resultaat zou daarom kunnen worden bereikt door de ventilatievoorschriften voor bestaande bouw in Afdeling 3.6 op te hogen van 3,44 naar 8,5 l/s per persoon, zij het dat de beoogde borging van een voldoende mate van luchtverversing in de gebruiksfase in dat geval niet wordt gerealiseerd.



Figuur 6.1: Het aandeel leslokalen op voorraadniveau waarin naar verwachting de grenswaarde zal worden overschreden, als functie van de CO2-grenswaarde welke als voorschrift wordt opgenomen. Bij elk punt is tevens een schatting van de interventiekosten gegeven.



Figuur 6.2: Berekende evenwichtsconcentratie CO<sub>2</sub> in ppm bij verschillende lucht volumestromen zoals die in de praktijk vergund kunnen zijn, bij verschillende leeftijd van de leerlingen.

Het formuleren van een grenswaarde die gerelateerd is aan de vigerende ventilatievoorschriften voor de bestaande bouw komt daarmee het meest in aanmerking.

## 6.7 Nieuwbouw, verbouw en bestaande bouw

Een belangrijke vraag is of verschillende grenswaarden zullen worden gedefinieerd voor nieuwbouw, verbouw en bestaande bouw in het Bouwbesluit. In bovenstaande paragraaf 6.6 is uitgegaan van één uniform voorschrift voor alle in gebruik zijnde leslokalen. Alternatief zou er voor kunnen worden gekozen om een voorschrift te formuleren dat aansluit bij de bij de bouwvergunning verleende lucht-hoeveelheid.

Bij verbouw wordt binnen het Bouwbesluit gewerkt met het 'rechtens verkregen niveau' waarbij de eis voor bestaande bouw als ondergrens geldt. Voor de bestaande bouw zijn de huidige eisen m.b.t. de binnenlucht kwaliteit lager. Zo geldt er een eis voor de capaciteit van de luchtverversing van 3,44 dm<sup>3</sup>/s per persoon. Dit houdt in dat als er een wijziging in het Bouwbesluit wordt doorgevoerd waarbij CO<sub>2</sub>-waarden worden gehanteerd, mogelijk onderscheid gemaakt kan worden tussen nieuwbouw en bestaande bouw. Bij een lucht volumestroom van 3,44 dm<sup>3</sup>/s zal de CO<sub>2</sub>-concentratie in de binnenlucht tot ca. 1.800 ppm kunnen bedragen.

Bij bestaande bouw, feitelijk bij alle onderwijsruimtes die vergund zijn vóór de invoering van Bouwbesluit 2012, zullen eventueel te hanteren grenswaarden ca. 500-800 ppm hoger dienen te liggen. De precieze waarde kan worden afgeleid uit de vergunde bezetting in combinatie met de luchthoeveelheid.

Hierbij wordt opgemerkt dat een luchtvolume­stroom van 3,44 dm<sup>3</sup>/s algemeen mag worden beschouwd als een relatief lage waarde, zowel in internationaal opzicht als in het kader van de NEN 1089 [3], waarin 5,5 dm<sup>3</sup>/s werd aangehouden op basis van de bekende grenswaarde van 1.200 ppm CO<sub>2</sub> in het kader van geurhinder. De waarde van 3,44 dm<sup>3</sup>/s is mede veroorzaakt door het feit dat in het Bouwbesluit 2003 via de bezettingsgraadklassen een bepaalde bandbreedte rond de gemiddelde eis van 5,5 dm<sup>3</sup>/s werd toegelaten, waarbij het in het meest ongunstige geval mogelijk was om met 3,44 dm<sup>3</sup>/s per persoon aan de eis te voldoen. Hierdoor is de nieuwbouweis van 8,5 dm<sup>3</sup>/s per persoon maar liefst 2,5 maal zo groot als de eis voor de bestaande bouw.

## 6.8 Sterkte-zwakte analyse CO<sub>2</sub> als grenswaarde

Voor toepassing van CO<sub>2</sub> als grenswaarde in het bouwbesluit, naast of alternatief voor een luchtvolume­stroom per persoon, is een sterkte-zwakte analyse uitgevoerd.

Hiervoor zijn beide opties beoordeeld op verschillende criteria, waarbij de beoordeling is uitgevoerd in termen van (- -) t/m (+ +). In tabel 6.1 is de referentie situatie beoordeeld, in tabel 6.2 het alternatief.

Tabel 6.1. Toepassen van een eis in termen van een luchtvolume­stroom, sterkte-zwakte analyse.

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-, bouw­fase	Goed toepasbaar in ontwerp en bouw­fase	Zeer Sterk ++
Toepasbaarheid in de beheer­fase	In de beheers­fase is de luchtvolume­stroom afhankelijk van het gebruik van de voorzieningen. De luchtvolume­stroom is door de gebruiker niet op eenvoudige wijze vast te stellen.	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/ con­treleerbaarheid, 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 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 6.2. Toepassen van een eis in termen van een CO<sub>2</sub> grenswaarde, sterkte-zwakte analyse.

Beoordelingscriteria		Sterk of zwak
Robuustheid	Veranderingen in gebruik van een ruimte zijn makkelijk meetbaar door bepaling van de CO <sub>2</sub> -concentratie. Snelle reactie mogelijk.	Sterk ++
Toepasbaarheid in de ontwerp- en bouwfase	Hiervoor is een eenduidige specificatie/ omrekening nodig van CO <sub>2</sub> naar te installeren capaciteit. Deze ontbreekt op dit moment.	Zwak -
Toepasbaarheid in de beheerfase	Goed toepasbaar.	Sterk ++
Impact op het ontwikkeling- en bouwproces	Een eis <i>uitsluitend</i> in termen van CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> evenwichtsconcentratie naar luchtvolumestroom is afhankelijk van de CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> -produceert. De controle bij oplevering zal daarom niet op CO <sub>2</sub> 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	0



	eis in luchtvolumestroom per persoon	
Feitelijke kwaliteit van de binnenlucht B) inclusief signalering	Met (permanente of periodieke) signaleringsfunctie (CO <sub>2</sub> 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		(+1 / +3)

Samenvattend is de conclusie van de sterkte-zwakte analyse dat toepassen van een eis in termen van een CO<sub>2</sub> concentratie sterker naar voren komt dan een eis in termen van een luchtvolumestroom. Wel valt op dat de voordelen van het toepassen van CO<sub>2</sub> concentratie zich met name bevinden in de gebruiksfase. Deze constatering kan worden benut bij het vaststellen van de meest geschikte wijze van implementatie in regelgeving. Ter illustratie is in tabel 6.3 het resultaat van de sterkte-zwakte analyse nogmaals weergegeven, maar dan in de loop van het voortbrengingsproces van gebouw en installatie.

In de tabel is te zien dat het ontwerp-/bouwteam met concrete luchtvolumestromen aan de slag gaat, en tot en met het moment van oplevering er geen bezetting, CO<sub>2</sub> productie of CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> productie conform ontwerp en vergunning, een mogelijkheid om CO<sub>2</sub> concentraties te meten en te toetsten. Vóór het moment van ingebruikname scoort een voorschrift in termen van CO<sub>2</sub> daarom zwak, ná het moment van ingebruikname juist sterk. Bij het formuleren van een eventueel alternatief voorschrift dient hier mee rekening worden gehouden.

Tabel 6.3. Resultaat van de sterkte-zwakte analyse voor verschillende fases in het proces. Na realisatie en vóór ingebruikname is het oplevermoment, weergegeven door de verticale lijn.

	Program- mafase	Ontwerp fase	Bouw vergunning	Realisatie	Gebruik en beheer
Verantwoordelijk- heid ontwerp-/ bouwteam	√	√	√	√	
Verantwoordelijk- heid gebruiker					√
Ontwerp ventilatie (luchtvolume- stroom)		√	√	√	
Personen in ruimte					√
CO <sub>2</sub> productie					√
CO <sub>2</sub> meten					√
CO <sub>2</sub> handhaven					√
Eisen	PvE	Bouwtechnische voorschriften			Gebruiks- voorschriften
Luchtvolume- stroom als voor- schrift		sterk	sterk	sterk	zwak
CO <sub>2</sub> grenswaarde als voorschrift		zwak	zwak	zwak	sterk

## 6.9 Signalering van CO<sub>2</sub> concentraties in lesruimten

Uit de sterkte-zwakke analyse volgt dat een deel van het voordeel van het werken met CO<sub>2</sub> concentratie bereikt wordt door de mogelijkheid tot permanente signalering in de gebruiksfase. Hiervoor bestaat op dit moment geen voornemen tot regulering, de Kamermotie heeft het slechts over het formuleren van een voorschrift m.b.t. tot de te hanteren grenswaarde. Door verschillende partijen is de suggestie aangedragen om in elke lesruimte een signalering van de CO<sub>2</sub> concentratie toe te passen.

Toepassen van signalering kan een verbetering van de luchtverversing tot gevolg hebben door de grotere mate van bewustwording bij de gebruikers, en kan wellicht een vorm van private handhaving zijn door de mogelijkheid van een vorm van sociale controle: docenten, leerlingen en ouders kunnen elkaar bewust maken van een overschrijding. Aandachtspunt hierbij is dat een grote mate van variatie mogelijk is in het rechtens verkregen niveau ten aanzien van lucht volumestromen, en dus ook van evenwichts-CO<sub>2</sub> concentraties welke in lesruimtes haalbaar zijn. Zowel de leverancier van het signaleringssysteem als de gebruikers zouden daarom kennis moeten hebben van het rechtens verkregen niveau aan equivalente CO<sub>2</sub> concentratie zoals beschreven in paragraaf .6.5.

De positieve invloed van signalering van CO<sub>2</sub>-concentraties in lesruimtes op het ventilatieniveau van die ruimtes is door verschillende GGD's gerapporteerd [8].

## 6.10 Administratieve varianten

Er zijn een aantal mogelijkheden denkbaar ten aanzien van implementatie van een CO<sub>2</sub> grenswaarde in regelgeving, mede gebaseerd op het resultaat van de internationale inventarisatie uit Hoofdstuk 2. Vertaald naar de Nederlandse situatie zouden de volgende varianten overwogen kunnen worden:

1. Handhaven dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit. Dit is de status quo van Bouwbesluit 2012, dat wil zeggen dat de situatie ongewijzigd blijft. Deze mogelijkheid fungeert mede als referentiesituatie voor de alternatieven.
2. Handhaven dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit, toevoegen CO<sub>2</sub> grenswaarde in het Bouwbesluit.
3. Handhaven dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit, toevoegen CO<sub>2</sub> grenswaarde in andere wetgeving.
4. Handhaven dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit toevoegen CO<sub>2</sub> grens in andere richtlijn, privaatrechtelijk.
5. Vervallen dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit, toevoegen CO<sub>2</sub> grens in het Bouwbesluit.
6. Vervallen dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit, toevoegen CO<sub>2</sub> grens in andere wetgeving, wettelijk verplicht.
7. Vervallen dm<sup>3</sup>/s in het Bouwbesluit, toevoegen CO<sub>2</sub> grens in andere richtlijn, privaatrechtelijk.

In tabel 6.4 is een overzicht gegeven van landen die één van de genoemde opties toepassen.

Tabel 6.4. Overzicht mogelijke administratieve varianten, en landen waarin deze variant wordt toegepast.

Variant	Eis aan volumestroom	Eis aan CO2 concentratie	Landen
1	Bouwregelgeving	geen	Portugal, Denemarken, België, Italië
2	Bouwregelgeving	Bouwregelgeving	UK, Tsjechië
3A	Bouwregelgeving	Andere wetgeving	
3B	Andere wetgeving	Andere wetgeving	Frankrijk, Canada
4	Bouwregelgeving	Niet-wettelijke status	Estland, Nederland
5	Geen	Bouwregelgeving	
6	Geen	Andere wetgeving	Japan, Zuid-Korea
7	Geen	Niet-wettelijke status	Oostenrijk, Hong-Kong

Uit tabel 6.4 is te zien dat er veel verschillende varianten worden toegepast. Binnen de EU is het het meest gebruikelijk om ventilatie in de bouwregelgeving te reguleren, met uitzondering van Frankrijk. Nederland kent op dit moment naast de bouwbesluiten het PvE Frisse scholen [9] waarin een CO<sub>2</sub> concentratie wordt gehanteerd, om die reden past Nederland hier bij variant 4.

In geval van variant 7 wordt de binnenluchtkwaliteit in het geheel niet gereguleerd, en aan de markt overgelaten. Deze optie wordt in Nederland door geen van de betrokken partijen als gewenst beschouwd, en daarom verder buiten beschouwing gelaten.

De opgave is om van de overige varianten een sterkte-zwakte analyse te maken.

In tabel 6.5 is een overzichtstabel van de sterkte-zwakte analyse opgenomen. In een aantal gevallen kan niet worden volstaan met alleen sterk/zwak, en is een uitgebreidere toelichting nodig. De betreffende toelichtingen zijn vervolgens opgenomen.

Tabel 6.5. Overzicht sterkte-zwakte analyse van administratieve varianten.

	1. Handhaven $\text{dm}^3/\text{s}$ in het Bouwbesluit.	2. Handhaven $\text{dm}^3/\text{s}$ in het Bouwbesluit, toevoegen $\text{CO}_2$ grenswaarde in het Bouwbesluit.	3. A ) Handhaven $\text{dm}^3/\text{s}$ in het Bouwbesluit, toevoegen $\text{CO}_2$ grenswaarde in andere wetgeving	3.B Handhaven $\text{dm}^3/\text{s}$ in andere regelgeving, toevoegen $\text{CO}_2$ grenswaarde in andere wetgeving	4. Handhaven $\text{dm}^3/\text{s}$ in het Bouwbesluit , toevoegen $\text{CO}_2$ grens in andere richtlijn, niet –wettelijk	5. Vervallen $\text{dm}^3/\text{s}$ in het Bouwbesluit, toevoegen $\text{CO}_2$ grens in het Bouwbesluit	6. Vervallen $\text{dm}^3/\text{s}$ in het Bouwbesluit, toevoegen $\text{CO}_2$ grens in andere wetgeving, wettelijk verplicht
Bepalingsmethode	zwak: bepalingmethode voor $\text{CO}_2$ ontbreekt , zie <i>toelichting 1</i>						
Handhaafbaarheid	<i>toelichting 2</i>						
Verantwoordelijkheid	<i>toelichting 3</i>						
(normatieve) bezetting	<i>toelichting 4</i>						
Impact op bruikbaarheid/ vrije indeelbaarheid	<i>toelichting 5</i>						
Toepasbaarheid in ontwerp- bouwfase	goed	goed	goed	zwak	goed	zwak	zwak
Toepasbaarheid in beheerfase	zwak	goed	goed	goed	goed	goed	goed
Kosten (investeringen, onderhoud, beheer)	<i>toelichting 6</i>						
lasten(administratief)	<i>toelichting 7</i>						
Rechtszekerheid	<i>toelichting 8</i>						
Kan invulling geven aan de motie van de Tweede Kamer	nee	ja	nee	nee	nee	ja	nee
Is een optie die elders in nationale regelgeving wordt toegepast	ja	ja	nee	ja	ja	nee	ja

**Toelichting 1:** Op dit moment is NEN 1087 de aangewezen bepalingmethode in relatie tot de volumestroom eisen uit het Bouwbesluit (NEN 8087 voor bestaande bouw). De bepalingmethode geeft ondermeer voorschriften met betrekking tot:

- Beginsel van de methode.
- Voorwaarden waaraan voldaan moet zijn voordat gemeten kan worden.
- Omstandigheden waaronder gemeten moet worden.
- Toestellen en hulpmiddelen waarmee gemeten kan worden.
- Werkwijze en wijze van de verwerking van de resultaten.

Op dit moment ontbreekt een bepalingmethode voor CO<sub>2</sub> concentratie die geschikt is voor toepassing binnen de bouwregelgeving. Dit is daarom aan te merken als een dermate zwak punt van alle alternatieven dat de regelgeving niet gewijzigd kan worden voordat dit knelpunt is opgelost. Anderzijds is het knelpunt naar verwachting wel oplosbaar. In de Engelse regelgeving is een beperkte vorm van bepalingmethode opgenomen.

**Toelichting 2:** Handhaafbaarheid.

De CO<sub>2</sub> concentratie is relatief eenvoudig te meten. Een overschrijding kan echter meerdere oorzaken hebben (capaciteit, onderhoud, bediening, bezetting)

Alvorens handhavend op te treden is het van belang te weten welke van de vier genoemde factoren de oorzaak is van de overschrijding. Zie verder ook toelichting 3.

Anderzijds is het constateren van een CO<sub>2</sub> concentratie onder de grenswaarde geen garantie voor een voldoende luchtverversing, de oorzaak kan ook zijn gelegen in een lagere bezetting dan de ontwerpbezetting of het tijdelijk toepassen van spuisvoorzieningen tijdens de meting, bijvoorbeeld in de zomerperiode.

Complicatie bij handhaafbaarheid is het huidige verschil tussen nieuwbouw vergund onder Bouwbesluit2012, en andere bouw vergund vóór die datum, welke een rechtens verkregen niveau van 3,44 dm<sup>3</sup>/s of 5,5 dm<sup>3</sup>/s kan hebben. De handhaver zal dus eerst het rechtens verkregen niveau dienen na te gaan, en dit vervolgens dienen te vertalen naar de te hanteren grenswaarde voor CO<sub>2</sub>, zie hiervoor ook paragraaf 6.5.

Aanvullend wordt hierbij opgemerkt dat de CO<sub>2</sub> concentratie in de praktijk vaak een verband vertoont met de buitenluchttemperatuur. Bij gematigde buitentemperaturen zullen ramen etc. frequent geopend worden, en zullen lage CO<sub>2</sub> concentraties worden aangetroffen. Bij zeer lage buitentemperaturen zullen ramen niet meer geopend worden en zal de CO<sub>2</sub> concentratie gemiddeld hoger liggen. Een handhaver zal daarom in de zomerperiode tot een andere constatering komen dan in de winterperiode. In de te ontwikkelen bepalingmethode dient te worden aangegeven hoe hier mee om moet worden gegaan.



**Toelichting 3:** Verantwoordelijkheid

Zoals uit tabel 6.3 blijkt zal de verantwoordelijkheid voor een overschrijding van de CO<sub>2</sub> grenswaarde veel meer expliciet in de gebruiksfase en bij de gebruikers komen te liggen. Dit mede afhankelijk van de rol betreffende actoren. In tabel 6.6 worden de verschillende actoren per onderdeel benoemd.

Tabel 6.6. Verantwoordelijkheid bij overschrijding CO<sub>2</sub> grenswaarde.

Oorzaak overschrijding CO <sub>2</sub> grenswaarde	Betreffende actoren
capaciteit	Vergunninghouder (schooleigenaar)
onderhoud	Vergunninghouder (schooleigenaar), gebouwbeheerder
bediening	Gebruiker ruimte (docent, gebouwbeheerder)
bezetting	Schooldirectie, schoolbestuur, docent

Bij veel gebruikers van een school zal dit niet altijd in voldoende mate bekend zijn, dit zou door middel van voorlichting beter onder de aandacht kunnen worden gebracht. Een permanente signalering van (een overschrijding van) de CO<sub>2</sub> concentratie in iedere ruimte kan hierbij een rol spelen.

**Toelichting 4:** Bezetting

In paragraaf 6.3 is gebleken dat diverse verschillende formuleringen van bezetting (nominaal, maximaal etc.) uiteindelijk binnen de bouwregelgeving maar één betekenis kunnen hebben, namelijk het aantal personen per ruimte waarvoor vergunning is aangevraagd cq. melding is gedaan.

Tevens volgt hieruit dat er nooit meer personen aanwezig mogen zijn dan dit vastgelegde aantal personen per ruimte. Dit is onderdeel van de huidige bouwregelgeving, en het formuleren van een CO<sub>2</sub> grenswaarde betekent hiervoor geen wijziging. Wel zal bij handhaving op CO<sub>2</sub> indirect gehandhaafd worden op bezetting van de ruimte. Het is daarom van belang dat de verantwoordelijken voor de bezetting (zie onder toelichting 3) kennis hebben van de toegestane bezetting. Controleerbaarheid van de bezetting van de klaslokalen op grond van de aangegeven bezetting bij aanvraag om een omgevingsvergunning is daarom nodig. Hiervoor zijn diverse opties op maatregelniveau (gebruikskaart, binnenluchtdossier). Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat behoefte is aan een richtlijn om de diverse personen die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor de binnenluchtkwaliteit te ondersteunen bij een goede invulling van deze verantwoordelijkheid. Deze behoefte bestaat ook bij de huidige bouwregelgeving reeds, maar zal meer expliciet worden in het geval er een CO<sub>2</sub> grenswaarde tijdens gebruik wordt geformuleerd.

**Toelichting 5:** Impact op vrije indeelbaarheid

Het Bouwbesluit 2012 kent het principe van “vrije indeelbaarheid”. Vrije indeelbaarheid staat niet in het Bouwbesluit maar wordt genoemd in de toelichting als één van de uitgangspunten van het Bouwbesluit. Dit betekent dat men vrijheid heeft om oplossingen voor ruimten te bedenken die aansluiten bij de gebruiker. Kort samengevat: wanden van ruimten kunnen worden verwijderd of verplaatst, maar de eigenschappen van het totaal aan ruimten binnen het verblijfsgebied blijven gehandhaafd.

Wanneer bijvoorbeeld in een gebouw twee ruimten worden samengetrokken, dan wordt binnen de kaders van het Bouwbesluit nog steeds voldaan aan de prestatie-eisen voor bijvoorbeeld gevelgeluidwering voor beide ruimten als totaal.

De te formuleren eis aan een CO<sub>2</sub> grenswaarde betreft een eis op verblijfsruimteniveau.

Dit heeft wel tot gevolg dat de vrije indeelbaarheid van onderwijsfuncties in lesruimtes in het geding komt. Er zijn binnen het bouwbesluit echter meer artikelen waar vrije indeelbaarheid lastig te implementeren is. Denk bijvoorbeeld een bedgebied in een bijeenkomstfunctie voor kinderopvang. Voor dit gebied wordt ten aanzien van bijvoorbeeld de karakteristieke gevelgeluidwering een 5 dB strengere prestatie-eis gesteld dan voor de overige gebieden binnen deze functie. Ook de eis m.b.t. installatiegeluid geldt (na een recente wijziging) voor een verblijfsruimte in plaats van voor een verblijfsgebied. De aard van het voorschrift is hierin leidend.

Concreet zou dit voor een onderwijsfunctie het 'nadeel' hebben dat bij een herindeling van het verblijfsgebied in andere ruimtes, opnieuw een bezetting moet worden gedefinieerd en vastgelegd en dat de ventilatie hierop moet worden aangepast. Over het algemeen zal dit als een beperkt nadeel worden beschouwd in relatie tot het voordeel voor gezondheid en binnenmilieu.

Ook voor dit aspect geldt dat dit strikt genomen geen nieuwe situatie is, ook bij de huidige formulering van de eis in termen van een luchtvolumestroom per persoon is strikt genomen reeds sprake van een eis op verblijfsruimteniveau. Wel wordt door het formuleren van een CO<sub>2</sub> grenswaarde meer expliciet zichtbaar dat de ventilatievoorziening op ruimteniveau georganiseerd dient te worden.

Om deze reden wordt dit aspect niet gezien als een zwakte van een voorschrift ten aanzien van een CO<sub>2</sub> grenswaarde.

#### **Toelichting 6.** Implementatie in bouwtechnische eisen of gebruikseisen

Zoals uit tabel 6.3 is aangegeven is een eis in termen van een luchtvolumestroom goed bruikbaar in de ontwerpfase, terwijl het voordeel voor het formuleren van een CO<sub>2</sub> grenswaarde zich voordoet in de gebruiksfase. Het formuleren van uitsluitend een CO<sub>2</sub> grenswaarde in Bouwregelgeving wordt internationaal niet toegepast (tabel 6.4, variant 5). Het verdient daarom aanbeveling om het formuleren van een CO<sub>2</sub> grenswaarde op te nemen in het gebruiksdeel van het Bouwbesluit (Hoofdstuk 7). Dit sluit het handhaven van de huidige positie van een eis in termen van een luchtvolumestroom niet uit, en heeft als voordeel dat hiermee tevens een eis is geformuleerd die bij ontwerp, aanvraag omgevingsvergunning, realisatie en oplevering toetsbaar is. Samenvattend wordt analoog aan het geconcludeerde op grond van tabel 6.3, aanbevolen:

- Handhaven van een eis in termen van een luchtvolumestroom in hoofdstuk 3 van het bouwbesluit.
- Toevoegen van een grenswaarde aan de CO<sub>2</sub> concentratie in hoofdstuk 7 van het bouwbesluit.

#### **Toelichting 7/8** Kosten en lasten

Het voordeel van toepassing van een CO<sub>2</sub> grenswaarde wordt meer benut door permanente of periodieke signalering in de gebruiksfase. In dat geval zijn kosten ten behoeve van de signalering/ monitoring van de CO<sub>2</sub> concentratie in scholen aan de orde. De kosten voor het leveren en aanbrengen van een CO<sub>2</sub> signalering per lokaal bedragen ca. € 100 excl. BTW per leslokaal. Het toepassen van monitoring van CO<sub>2</sub> in elk leslokaal is geen onderdeel van de ingediende motie.

Wanneer een CO<sub>2</sub> grenswaarde wordt voorgeschreven waaraan met de aanwezige voorzieningen niet voldaan kan worden, kunnen in een onderwijsgebouw voorzieningen worden aangebracht waarmee wel aan de voorschriften kan worden voldaan. Bij een grenswaarde van 1.800 ppm zullen alle bestaande lesruimtes aan de voorschriften kunnen voldoen. Bij een grenswaarde lager dan 1.800 ppm zal in een deel van de bestaande voorraad aanvullende voorzieningen nodig zijn om aan de voorschriften te voldoen. De interventiekosten die hiermee gepaard gaan zijn gegeven in Figuur 6.1.

### 6.11 Tekstvoorstel wijziging Bouwbesluit

Op basis van alle genoemde afwegingen wordt een wijziging van het bouwbesluit voorgesteld met de volgende formulering:

Toe te voegen:

Artikel 7.19, derde lid:

De concentratie van CO<sub>2</sub> in een verblijfsruimte van een onderwijsfunctie, bepaald volgens *Bepalingsmethode XXX (nader te bepalen)*, is niet hoger dan YYY ppm.

Voor het vaststellen van een grenswaarde YYY is het motief belangrijk waarom het voorschrift is gegeven. Afwegingen hiervoor zijn gegeven in paragraaf 6.6.

### 6.12 Conclusie

Geconcludeerd wordt dat het verzoek als gedaan in de motie voor een voorschrift in het Bouwbesluit 2012, op basis van uitsluitend een CO<sub>2</sub> grenswaarde in plaats van de vigerende ventilatievoorschriften, niet wordt aanbevolen. De argumenten hier voor zijn:

1. Ten behoeve van ontwerp, aanvraag omgevingsvergunning, realisatie en oplevering van een verblijfsruimte zijn eenduidige werkbare voorschriften, uitgedrukt in een luchtvolumestroom, noodzakelijk. Hiermee wordt geborgd dat de noodzakelijke ventilatievoorzieningen aanwezig zijn. Een CO<sub>2</sub> concentratie kan pas worden getoetst bij feitelijk gebruik van de ruimte en de voorzieningen, en is daarom als vervangend bouwtechnisch voorschrift niet geschikt.
2. De CO<sub>2</sub>-productie van personen hangt in belangrijke mate samen met factoren zoals leeftijd en activiteit in de ruimte. De optredende CO<sub>2</sub>-concentratie bij een gegeven luchtvolumestroom hangt behalve van deze CO<sub>2</sub>-productie nog af van de buitenluchtconcentratie en verder de tijd en plaats van de meting. Een CO<sub>2</sub>-grenswaarde is daarom een veel minder eenduidig voorschrift dan een luchtvolumestroom.

Ten zeerste wordt daarom aanbevolen om in Afdeling 3.6 een bouwtechnisch voorschrift, uitgedrukt in een luchtvolumestroom per persoon, te handhaven.

Er wordt geconcludeerd dat het toevoegen van een gebruiksvoorschrift aan Bouwbesluit 2012 met daarin een CO<sub>2</sub> grenswaarde voor onderwijsruimtes in de vorm zoals voorgesteld in paragraaf 6.7 uitvoerbaar is en geen negatieve consequenties heeft voor het ontwerp en de bouw van scholen en de bouwkosten van scholen. Het voordeel van dit gebruiksvoorschrift is dat dit een eenvoudige praktijkcontrole op onderhoud, gebruik en bediening van de ventilatievoorziening mogelijk maakt, en tevens signalerend is ten aanzien van het overschrijden van de bezetting waarvoor de ruimte bestemd is. Wel wordt geconstateerd dat de vast te stellen grenswaarde niet eenduidig kan worden gerelateerd aan bekende negatieve gezondheidsaspecten.

Meest geëigend lijkt een grenswaarde van ca. 1.500 ppm voor nieuwbouw. Voor bestaande bouw leidt deze grenswaarde in een aantal gevallen tot een verzwaring van de eisen ten opzichte van het rechtens verkregen niveau, zodat hier een grenswaarde van ca. 1.800 ppm dient te worden aangehouden om een onbedoelde verzwaring van de eis te voorkomen. Wanneer integraal een grenswaarde van 1.500 ppm wordt voorgeschreven zal dit voor een deel van de bestaande voorraad leiden tot interventiekosten.

Voorwaarde voor invoering van een CO<sub>2</sub> grenswaarde is dat er een bepalingsmethode voor het vaststellen van CO<sub>2</sub> concentratie in bezette ruimtes wordt vastgesteld.

Daarnaast zijn er een aantal constateringingen gedaan:

1. Het verdient aanbeveling om binnen de bouwregelgeving meer uniform en expliciet om te gaan met het begrip 'bezetting van een ruimte'.
2. Er is een bijzonder groot verschil tussen de ventilatie-eis voor nieuwbouw en bestaande bouw. Dit compliceert het toepassen van een eenduidige CO<sub>2</sub> grenswaarde en is in het licht van internationale regelgeving ongebruikelijk.
3. De voordelen van het toepassen van een eis in termen van CO<sub>2</sub> concentratie bevinden zich met name in de gebruiksfase. Tijdens ontwerp, omgevingsvergunningaanvraag, realisatie en oplevering is een eis in termen van een luchtvolumestroom nodig, om die reden dient de huidige formulering van de eis in hoofdstuk 3 te blijven gehandhaafd.
4. Bij handhaven op een CO<sub>2</sub> concentratie tijdens gebruik wordt mede gehandhaafd op het niet overschrijden van de vergunde bezetting. De tekst van de Kamermotie gaat er echter van uit dat alleen om een CO<sub>2</sub> grenswaarde wordt gevraagd bij de vergunde (normatieve) bezetting. Feitelijke bezetting en feitelijke CO<sub>2</sub> concentratie zijn echter één op één gecorreleerd, zodat het toevoegen van het zinsdeel 'bij normatieve bezetting' in de motie onbedoeld het handhaven bemoeilijkt: er zal lang niet altijd exact een normatieve bezetting in een ruimte aanwezig zijn die toetsing aan de grenswaarde mogelijk maakt. De nu in paragraaf 6.7 voorgestelde formulering formuleert een grenswaarde bij iedere mogelijke bezetting.
5. Wanneer een overschrijding van de CO<sub>2</sub> grenswaarde wordt geconstateerd dient altijd nog nader vast gesteld te worden wat hiervan de oorzaak is (capaciteit, onderhoud, bediening, bezetting), en wie er voor de overschrijding verantwoordelijk is (gebouweigenaar of gebouwgebruiker).
6. De verantwoordelijkheid van de gebruiker voor de bezetting en de binnenluchtkwaliteit wordt meer expliciet. De gebruiker is niet altijd op de hoogte van zijn verantwoordelijkheid hierin, en is gebaat bij voorlichting en instructie hierover.
7. De feitelijke kwaliteit van de binnenlucht wordt met name verbeterd door een signalering van de CO<sub>2</sub> concentratie in de lesruimten in de praktijk. Deze signalering kan eventueel aanvullend gereguleerd worden, hiervoor is aanvullend een inrichtingsnorm voor CO<sub>2</sub> signalering in lesruimten benodigd.
8. Als parameter voor de binnenluchtkwaliteit is CO<sub>2</sub> op zichzelf genomen onvoldoende. Aanvullend is aandacht nodig voor het voorkomen van emissies uit bouwmaterialen en uit toegepaste middelen in de gebruiksfase, waaronder schoonmaakmiddelen.
9. De combinatie van het handhaven van een luchtvolumestroomeis in Hoofdstuk 3 van het Bouwbesluit en het aanvullend voorschrijven van een CO<sub>2</sub> grenswaarde in Hoofdstuk 7 van het Bouwbesluit sluit de mogelijkheid in dat één van de twee eisen maatgevend is ten opzichte van de andere. Het is ongewenst dat het voorschrift ten aanzien van een CO<sub>2</sub> grenswaarde in de gebruiksfase maatgevend is ten opzichte van de bouwtechnische ontwerp-eis. De ontwerp-eis zou in dat geval feitelijk buiten werking worden gesteld, en bovendien dient rekening te worden gehouden met het gegeven dat de CO<sub>2</sub> grenswaarde minder eenduidig vast te stellen is dan een luchtvolumestroom. Om die reden wordt aanbevolen om de onder paragraaf 6.5 genoemde marge van ca. 250-300 ppm aan te houden tussen de op basis van de luchtvolumestroom berekende CO<sub>2</sub> evenwichtsconcentratie en het te formuleren voorschrift voor een CO<sub>2</sub> grenswaarde. Deze marge kan worden verwerkt in het voorschrift of in de bepalingsmethode.



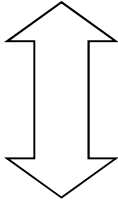
## 7      **Systeemvereisten Bouwbesluit**

### 7.1      **Functionele eis**

Binnen het Bouwbesluit 2012 zijn ventilatievoorschriften opgenomen in hoofdstuk 3. In dit hoofdstuk zijn voorschriften opgenomen uit het oogpunt van gezondheid. De functionele eis is opgenomen in afdeling 3.6 waarin een voorschrift is opgenomen dat er een zodanige voorziening voor luchtverversing aanwezig dient te zijn dat er een voor de gezondheid nadelige kwaliteit van de binnenlucht wordt voorkomen.

Hiermee wordt binnen het spectrum van mogelijke doelstellingen de doelstelling van het Bouwbesluit eenduidig benoemd, zie ook tabel 7.1.

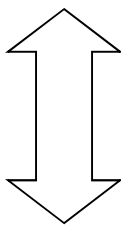
Tabel 7.1. Mogelijke gezondheidsgerelateerde hindercategorieën in relatie tot de doelstelling van Bouwbesluit 2012.

<b>Niveau doelstelling</b>	<b>Eisencategorie</b>	<b>Huidig</b>
	Sterfterisico	n.v.t.
	Gezondheidsschade	➤ Bouwbesluit 2012
	Hinder	
	Comfort	

Uitgangspunt is dat een alternatief voorschrift betrekking blijft hebben op de categorie van het voorkomen van gezondheidsschade cq. het voorkomen van een voor de gezondheid nadelige kwaliteit van de binnenlucht. In het kader van het voorkomen van gezondheidsschade kunnen de volgende niveaus van prestatie-eisen worden onderscheiden, zoals opgenomen in tabel 7.2.



Tabel 7.2. Mogelijke abstractieniveaus bij eisen aan verontreinigende stoffen in de binnenlucht op verschillende abstractieniveaus.

Abstractieniveau	Prestatie eis	Situatie	Bepalingsmethode
Hoog  	Dosis (concentratie x tijd x inhalatie)		
	Blootstelling (concentratie x tijd)	onderzoeksvraag	n.t.b.
	Concentratie (concentratie stof in ppm)	onderzoeksvraag	n.t.b.
	Luchtvolumestroom	➤ Niveau Bouwbesluit 2012	NEN 1087/ NEN 8087
Laag	Oppervlak ventilatieopening	Niveau praktijkrichtlijnen	

De opgave is daarom het formuleren van een voorschrift op een abstractieniveau wat hoger ligt dan het huidige abstractieniveau, wat betrekking heeft op luchtvolumestromen. Op een hoger abstractieniveau wordt een eis geformuleerd in termen van een concentratie vervuilende stof, of eventueel een blootstelling aan die stof, dat wil zeggen een concentratie gedurende een bepaalde tijd.

Zoals in tabel 7.2 is opgenomen hoort bij een alternatieve formulering van de eis ook een alternatieve eenduidige bepalingsmethode. De kaders hiervoor zijn uiteengezet in paragraaf 6.

Analoog aan de bepalingsmethode voor luchtvolumestromen NEN 1087 dient daarom een bepalingsmethode te worden vastgesteld voor de CO<sub>2</sub> concentratie in de binnenlucht, dan wel de blootstelling aan CO<sub>2</sub> (concentratie CO<sub>2</sub> in combinatie met een tijdsduur, of een tijdsduur gedurende welke een bepaalde CO<sub>2</sub> concentratie overschreden mag worden).

## 7.2 Kaders voor een bepalingsmethode voor de CO<sub>2</sub>-concentratie in lesruimten

Op dit moment staat in het Nederlandse normblad NEN 1087 de aangewezen bepalingsmethode in relatie tot de ventilatie-eisen uit het Bouwbesluit 2012. De bepalingsmethode geeft ondermeer voorschriften met betrekking tot:

- Beginsel van de methode.
- Voorwaarden waaraan voldaan moet zijn voordat de grootte kan worden bepaald.
- Omstandigheden waaronder de bepaling moet plaats vinden.
- Toestellen en hulpmiddelen waarmee de bepaling kan geschieden.
- Werkwijze en wijze van de verwerking van de resultaten van de bepaling, waaronder de tijdsduur van de meting, en de mate en duur waarin een beperkte overschrijding van de grenswaarde wordt toegestaan.

Op dit moment ontbreekt een eenduidige en controleerbare bepalingmethode voor het vaststellen van een CO<sub>2</sub>-concentratie in ruimten, die zou kunnen worden aangewezen in de bouwregelgeving. Een op te stellen bepalingmethode zou kunnen worden opgezet analoog aan de methodiek van NEN 1087. De bepalingmethode kan ingaan op het vaststellen van de CO<sub>2</sub>-concentratie voor een aan de ventilatievoorschriften te relateren ontwerpwaarde voor CO<sub>2</sub>, en een grenswaarde waarin rekening wordt gehouden met de benodigde marge als genoemd in paragraaf 6.5.

## 8 Onderzoekssamenvatting

Uit een inventarisatie van de regelgeving in 27 landen wordt geconcludeerd dat het toepassen van een voorschrift m.b.t. een CO<sub>2</sub>-grenswaarde in principe uitvoerbaar is. In acht landen is een voorschrift met betrekking tot een CO<sub>2</sub>-grenswaarde aangetroffen. In veel gevallen wordt dit voorschrift samen met een voorschrift voor een luchtvolumestroom gegeven. In een aantal gevallen heeft de CO<sub>2</sub>-grenswaarde de functie van een vangnetcriterium.

In slechts één geval betreft de CO<sub>2</sub>-grenswaarde een voorschrift opgenomen in bouwregelgeving. In veel gevallen betreft het praktijkrichtlijnen of milieu hygiënische wetgeving specifiek voor onderwijsfuncties.

Een uitgevoerde sterkte-zwakke analyse laat zien dat een voorschrift m.b.t. een CO<sub>2</sub>-grenswaarde als zelfstandig bouwtechnisch voorschrift niet geschikt is. De meerwaarde van een CO<sub>2</sub>-grenswaarde betreft de gebruiks- en beheerfase, waarin door middel van het toetsen aan een CO<sub>2</sub>-grenswaarde kan worden nagegaan of gebruik, beheer en onderhoud van de aanwezige ventilatievoorziening op een geschikte wijze plaats vindt. De bezetting van de ruimte speelt hierin een doorslaggevende rol, omdat de optredende CO<sub>2</sub> concentratie in een ruimte evenredig is met de bezetting. Het handhaven van een voorschrift geformuleerd als luchtvolumestroom per persoon is daarom noodzakelijk voor een eenduidig ontwerp- en bouwproces, alsmede aanvraag van een omgevingsvergunning en controle hierop.

Een voorschrift voor een CO<sub>2</sub>-grenswaarde kan een plaats krijgen in afdeling 7.3. van Bouwbesluit 2012. Hierin zijn reeds voorschriften ten aanzien van concentraties asbestvezels en formaldehyde opgenomen. Hierbij wordt wel opgemerkt dat een overschrijding van de CO<sub>2</sub> grenswaarde veel minder ernstig is dan een overschrijding van de grenswaarde van toxische resp. carcinogene stoffen zoals formaldehyde resp. asbest. CO<sub>2</sub> heeft in de concentraties zoals die voorkomen in lesruimten geen negatieve gezondheidseffecten en is geen goede parameter voor de kwaliteit van het binnenmilieu. Het is wel een geschikte parameter voor de mate van ventilatie in relatie tot de bezetting.

Complicerende factor bij het formuleren van een voorschrift ten aanzien van CO<sub>2</sub> concentratie is de grote variatie in rektens verkregen niveau in bestaande scholen. Dit kan variëren van 3,44 dm<sup>3</sup>/s per persoon tot 8,5 dm<sup>3</sup>/s per persoon, wat globaal correspondeert met CO<sub>2</sub> concentraties van respectievelijk ca. 1.800 ppm tot ca. 1.000 ppm. Wanneer een grenswaarde kleiner dan ca. 1.800 ppm wordt voorgeschreven zal sanering van het ventilatiesysteem van bestaande scholen nodig zijn. De interventiekosten die hiermee gemoeid zijn afhankelijk van de gekozen grenswaarde, en kunnen op voorraadveldniveau oplopen tot ca. € 600 miljoen. Wanneer een CO<sub>2</sub> voorschrift wordt opgenomen in het Bouwbesluit is een eenduidige bepalingsmethode benodigd, welke op dit moment ontbreekt.

Wanneer een voorschrift m.b.t. een CO<sub>2</sub> grenswaarde wordt opgenomen in het Bouwbesluit, is voorlichting noodzakelijk aan alle actoren in het onderwijs die invloed hebben op de optredende CO<sub>2</sub> concentraties in een lesruimte, zoals docenten, schooldirectie, schoolbestuur, en eigenaren van gebouwen met een onderwijsfunctie. Het aan deze actoren ter beschikking stellen van hulpmiddelen bij het bewaken van de CO<sub>2</sub> concentraties in lesruimtes, variërend van documentatie van de ontwerpbezetting tot permanente signalering van de CO<sub>2</sub> concentraties in lesruimtes, wordt in dat geval aanbevolen. Deze combinatie van maatregelen zal naar verwachting een verbetering van het ventilatieniveau in lesruimtes tot gevolg hebben.

## 9 Beknopte lijst met literatuurverwijzingen

Wetenschappelijke literatuur m.b.t. binnenluchtkwaliteit in basisscholen is uitgebreid samengevat en geëvalueerd door de Gezondheidsraad, gerapporteerd in onderstaande referentie [1]. De rapportage van de Gezondheidsraad verwijst naar in totaal 172 publicaties. Daar waar voor het huidige onderzoek relevant, wordt in voorliggende rapportage verwezen naar een beperkt aantal specifieke referenties, welke onderstaand zijn opgenomen.

[1] Advies: Binnenluchtkwaliteit in basisscholen, Gezondheidsraad, 29 april 2010

[2] Advies: Gezond en goed – scholenbouw in topconditie. Liesbeth van der Pol, Rijksbouwmeester, 8 juli 2009

[3] NEN 1089:1986. Ventilatie van schoolgebouwen: eisen (vervallen).

[4] WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization 2010

[5] Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update. A. Dusseldorp, M. van Bruggen, RIVM rapport 609021043/2007

[6] Gids WF de, van Oel CJ, Phaff JC, Kalkman A. Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een basisschool. Delft: TNO Bouw en Ondergrond; 2007.

[7] Effects of CO<sub>2</sub> on Decision-Making Performance, U. Satish et al., Environmental Health Perspectives, Online 20 September 2012

[8] Verbetering binnenmilieu op basisscholen en het effect van een CO<sub>2</sub>-signaalmeeter. v. Doorn en Wouters-van Buggenum, pilot GGD zuid-oost Brabant 2003-2004. Geelen, LMJ., Gezond ventileren op school, verbeteren van het binnenmilieu op basisscholen door het ventilatiegedrag van de leerkrachten te verbeteren met behulp van het Ventilatie-advies-op-maat, de CO<sub>2</sub>-signaalmeeter en het lespakket 'Buitenlucht, kom je binnenspelen', GGD Brabant-Zeeland, 2006.

[9] Programma van Eisen Frisse Scholen, AgentschapNL, april 2012.

Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV

ir. A.J. Kalkman



Bijlage I      Enquête

## BIJLAGE 1

### Questionnaire: national Indoor Air Quality regulations in school buildings

Dear [name],

By commission of the Dutch government, Cauberg-Huygen as Dutch expert in ventilation is conducting a research project on indoor air quality in class rooms and lecture rooms. An important aspect of this research project is to make up an inventory of ventilation regulations in this field in other countries. For this inventory, we would like to review experts in ventilation and ventilation regulation in different countries.

Based on our information you are on our list as a ventilation expert for [country], and we would like to ask you a few questions as given below.

If in your opinion we should contact another expert in your country with this inquiry also, could you please provide us with his/her name and e-mail address?

Thank you in advance for your time and cooperation.

We are interested in your answers and opinions to the following questions:

1. What are the ventilation requirements for class rooms in schools in your country? (e.g. the amount of ventilation air per person or per area, or other kinds of requirements like specific systems (prohibited or obligatory), indoor air quality requirements). Please distinguish between Kindergarten/nursery schools, secondary schools and college/university lecture theatres if necessary.
2. What is the legal status of these requirements (Law, standard, guideline or other)
3. What is the title of the source document of these requirements (e.g. a standard (like EN13779), building legislation, guidelines).
4. What are the enforcement policies, either during design phase (building permit), construction of the building, at the delivery of the building or in-use?
5. Are there any other requirements with respect to Indoor Air Quality in schools, e.g. is there a requirement for any kind of pollutant like particles, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, fungi etc.
6. Finally we would like to ask you to give your experts opinion on the ventilation requirements for schools in your country, e.g. known advantages and disadvantages, limitations etc.



Bijlage II      Onderbouwing resultaten hoofdstuk 2 t/m 4



## BIJLAGE 2 Inventarisatie internationale eisen

### Europese normen

Op Europees niveau zijn geen eisen geformuleerd aan binnenluchtkwaliteit in gebouwen.

Er is wel een norm beschikbaar welke de binnenluchtkwaliteit classificeert in categorieën op basis van CO<sub>2</sub>-concentraties. Dit betreft Europese norm EN 13779:2004, welke als Nederlandse norm is aanvaard en uitgegeven als NEN-EN 13779:2004.

Deze categorieën zijn relevant omdat een aantal Europese lidstaten voor hun nationale eisen aansluiting heeft gezocht bij één van de vier genoemde categorieën in deze norm, IDA1 t/m IDA4.

### Duitsland

#### Brongegevens

- DIN EN 13779 is de Duitse versie van de Europese norm.
- Ontwerp VDI 6040 Blatt 1 is een technische richtlijn.
- DIN 1946-1 Lüftungstechnische anlagen is een algemene ventilatienorm.
- DIN 1946-5 Lüftung von Schulen is een ventilatienorm voor scholen waarin dezelfde eisen staan als in de algemene norm.

De voor het ontwerp toegepaste norm en kwaliteitsklasse kan vrij gekozen worden.

Verder is een algemeen schoolhygiënedocument aanwezig, waarin naast ventilatie ook emissiebeperkende materialen, schoonmaakmiddelen etc. worden geadviseerd, de "Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden Erarbeitet von der Innenraumlufthygiene Kommission des Umweltbundesamtes Berlin, im August 2008"

#### Eisen

Er zijn geen wettelijke eisen. De beschikbare normen zijn niet wettelijk verankerd.

DIN 1946 Blatt 1 geeft (voor ruimtes waarin niet gerookt mag worden) de eisen zoals opgenomen in onderstaande tabel:

Buitemtemperatuur (C)	Minimumdebiet per persoon (m <sup>3</sup> /h pp)
-20	8
-15	10
-10	13
-5	16
0 – 26	20
➤ 26	15

Voor de rapportage wordt verder 20 m<sup>3</sup>/h per persoon aangehouden (ontwerpcapaciteit), met de kanttekening dat men hier in de praktijk bij lage buitemperaturen genuanceerd mee om gaat.

## **Ventilatiepraktijk**

“Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden”

Men gaat in deze leidraad van de Bondsregering in basis uit van ventilatie met goed te openen ramen. In de wintersituatie is sprake van ‘georganiseerde natuurlijke ventilatie’ of ‘pulsventilatie’ waarbij tijdens de lessen de ramen (grotendeels) gesloten zijn, en tijdens pauzes gedurende ca. 5-10 minuten de (grote) ramen wijd geopend worden, bij voorkeur twee lokalen tegenover elkaar. De leerlingen dienen dan het lokaal te verlaten, mede om ongelukken te voorkomen.

## **Frankrijk**

### **Brongegevens**

In Frankrijk zijn de ventilatie eisen voor scholen geïntegreerd in het document “Réglement Sanitaire Départemental”. Dit is de algemene sanitaire richtlijn. Dit document geeft specifieke voorschriften voor gezondheid en veiligheid in het algemeen, m.b.t. water, lucht, bodem, etc. Dit document, waarin kleine verschillen bestaan tussen de verschillende regio's, is gebaseerd op een algemeen “framedocument” uit 1978. Met betrekking tot scholen is een specifiek luchtdebiet gedefinieerd voor elke ruimte (klaslokalen, kantoor, restaurant, vergaderruimte, bibliotheek,...)

### **Eisen**

Voor klaslokalen worden de volgende minimale luchthoeveelheden voorgeschreven:

- 15 m<sup>3</sup>/h. per persoon voor kinderdagverblijven en lagere scholen
- 18 m<sup>3</sup>/h. per persoon voor middelbare en hogere scholen.
- Voor de docenten is een arbeidsomstandighedenwetgeving van toepassing, welke een minimum van 25 m<sup>3</sup>/h per docent voorschrijft.

### **Status van de eisen**

Het document definieert het wettelijk minimum. Het is verplicht dit document toe te passen bij het ontwerp van een schoolgebouw.

### **Overige aspecten**

Dit document geeft aan dat mechanisch toegevoerde lucht gefilterd dient te worden en dat CO<sub>2</sub> concentraties in klaslokalen de 1000 ppm niet mogen overschrijden, met een tolerantie tot 1300 ppm.

### **Handhaving**

Er wordt op dit moment niet gehandhaafd, het document wordt alleen toegepast bij het ontwerp. De Franse overheid heeft echter wel besloten om in de nabije toekomst de IAQ van openbare gebouwen te gaan controleren. Betreffende wetgeving gaat op 1 januari 2015 in en zal zich richten op onder meer benzeen en formaldehyde in scholen, kinderdagverblijven, zwembaden etc.

### **Expert view:** Francis Allard, Universiteit van Lr

Studies die ik ken tonen duidelijk aan dat in veel gevallen in veel gevallen de minimum ventilatiesnelheden niet echt gevonden worden bij uitvoeren van metingen.

In bepaalde gevallen kan dit te wijten zijn aan het feit dat de ventilatie door handmatig openen van het raam is toegestaan. Bij juist gebruik leidt het tot een goede binnenshuis omgeving, maar als het echt gebruikt in de zomer of midden seizoenen, deze strategie alleen is niet bevredigend in de winter.

In andere gevallen levert het systeem niet de minimale luchtstromen als gevolg van een slecht ontwerp, of een slechte installatie of is het te wijten aan slecht onderhoud (voornamelijk gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning).

Een typisch geval is ook het opknappen van het gebouw met enkele zeer krappe openingen zonder een specifiek ontwerp van een ventilatie-strategie.

De beperkingen zitten in het juiste gebruik van een gedefinieerde strategie: wanneer een raam opening wordt gebruikt in verband met een controle systeem, dat kan automatisch (CO<sub>2</sub>, temperatuur, vochtigheid of beroep controle) of handmatig, levert het goede resultaten en een hoge acceptatie door de gebruikers.

Mechanische systemen hebben echt onderhoud nodig, het slechte onderhoud is de eerste beperking van deze systemen. Heel vaak beschikken de scholen niet over de personele middelen om dit onderhoud te garanderen. In dit geval moet een regelmatige inspectie of een onderhoudscontract verplicht zijn.

Zijn er vanuit uw visie aanbevelingen te geven voor ventilatie van scholen in het algemeen?  
Het ontwerp van de ventilatie-strategieën in het algemeen en voor scholen in het bijzonder zou moeten leiden tot krachtige en eenvoudig te gebruiken en te onderhouden oplossingen.

## **Griekenland**

### **Brongegevens**

Het Griekse brondocument is de Technical Guide of the Technical Chamber of Greece.

### **Eisen**

De minimumeis is 17 m<sup>3</sup>/h per persoon, aanbevolen wordt een range tussen 17 en 26 m<sup>3</sup>/h per persoon.

### **Status van de eisen**

De eisen zijn opgenomen in een technische richtlijn.

### **Handhaving**

Er vindt geen handhaving plaats.

### **Bijzonderheden.**

Als basis geldt de Building Structure Regulation, waarin wordt gesteld dat alle gebruiksruidten van een gebouw voorzien moeten zijn van voldoende natuurlijke ventilatie. Natuurlijke ventilatie mag alleen worden vervangen door mechanische ventilatie wanneer natuurlijke ventilatie conflicteert met de toepassing van het gebouw.

Expert Mat Santamouris:

“De benodigde ventilatie om de verontreinigende stoffen te verwijderen moet worden berekend door:

$$V = K / (MAC - K_a)$$

Waar:

K = hoeveelheid verontreinigende stof schadelijk voor de gezondheid

K<sub>a</sub> = verhouding van schadelijke verontreinigingen in de ingaande lucht

MAC = maximaal toegestane concentratie schadelijke verontreinigende stoffen in de ruimte

## Hongarije

### **Brongegevens**

Ventilation rates and IAQ in national regulations, REHVA Journal – January 2012, Nejc Brelih

### **Eisen:**

35,3 m<sup>3</sup>/h per persoon

### **Status van de eisen**

Onbekend

## Italië

### **Brongegevens**

Ventilatie eisen voor scholen zijn rechtstreeks opgenomen in de bouwregelgeving.

### **Eisen**

De eis is geformuleerd in termen van een ventilatievoud: N=5. Kleine variaties zijn mogelijk voor kleuterscholen of voor ruimtes met een hoge bezettingsgraad.

### **Status van de eisen**

Het betreft een directe wettelijke eis.

### **Handhaving**

Er is geen handhaving.

### **Expert view:** Marco Perino

De situatie is tamelijk absurd. Er is een eis van een ventilatievoud van 5, maar de aanwezigheid van een mechanisch ventilatiesysteem (...bijna vanzelfsprekend voor een dergelijke hoge luchtstroom) is niet verplicht. Derhalve worden dit ventilatievoud 5 in principe bereikt door middel van natuurlijke ventilatie (ramen, openingen).

Zoals reeds vermeld is het kader nu toe onbevredigend. Als N=5 de eis is, is een mechanisch systeem nodig (verplicht). Meer onderzoek is nodig om vast te stellen of N=5 een goed getal is of niet. Naar mijn mening zou in plaats van een voorschrijvende benadering een prestatiebenadering (beperking van concentraties verontreinigende stoffen) de voorkeur hebben.

## België

### **Brongegevens**

Basis voor de regelgeving is het 'Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat van gebouwen'.

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 realiseren. Voor ventilatie in niet-woongebouwen verwijst bijlage VI van het besluit onder andere naar een aantal artikelen uit de Belgische norm NBN EN 13779:2004

NBN EN 13779 is de geaccepteerde norm voor de classificatie van ventilatiesystemen, gebaseerd op EN 13779.

## **Eisen**

Bijlage VI - 7.1 Kwaliteit van de binnenlucht

“Bij de dimensionering van ventilatiesystemen mag het ontwerpdebiet niet kleiner zijn dan het minimum debiet overeenkomend met binnenluchtklasse IDA3.

Deze eis is 22 m<sup>3</sup>/h per persoon.

## **Status van de eisen**

Het betreft eisen uit een wettelijk aangewezen norm. Elk gewest heeft eigen regelgeving, maar de eis aan de luchtvolumestroom is in alle gevallen dezelfde.

## **Handhaving**

De eisen betreffen ontwerpeisen. Het is in België niet toegestaan te bouwen in afwijking van de bouwvergunning. Op het einde van de bouwwerken wordt er een as-built dossier opgesteld: het energieprestatieverslag, dat aan de betrokken overheid wordt overgemaakt, die kan controleren of boeten bij bepaalde non-conformiteiten.

**Expert view** Paul Van den Bossche, Labo Duurzame Energie- en Waternetwerken, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Limelette:

Ik geloof dat de eisen een goede basis zijn, maar ze laten weinig ruimte naar specifieke leslokalen met een heel andere bezettingsgraad (of eventueel activiteit)

## **Denemarken**

### **Brongegevens**

De Deense bouwregelgeving: Danish Building Regulations, Drawn up in pursuance of the Danish Building Act; 24 June 1998. The Danish Ministry of Economic and Business Affairs, Danish Enterprise and Construction Authority, Copenhagen 12. of December 2007

De Deense norm DS 447:2005 (Norm for mekaniske ventilationanlaeg).

### **Eisen**

De minimumeisen zijn:

Kleuterscholen:

- Verblijfsruimte: 3 l/s per kind, 5 l/s per volwassenen en 0,4 l/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlak

Scholen:

- Auditorium en leslokalen: 5 l/s per persoon en 0,4 l/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlak

### **Status van de eisen**

Het betreft directe wettelijke eisen.

### **Overige**

In alle gevallen is gebalanceerde mechanische ventilatie verplicht.

Er worden emissie-eisen gesteld aan Formaldehyde, vliegias en roet als gevolg van het stoken van kolen. Er is een verbod op het gebruik van asbesthoudende materialen, en de emissie van deeltjes uit toegepaste minerale wol naar het binnenmilieu dient te worden voorkomen.

## **Portugal**

### **Brongegevens**



RSECE Dec-Lei 79/2006, Portugal

### **Eisen**

30 m<sup>3</sup>/h per persoon

Bron: artikel rehva journal - march 9 2011 by E. Ianniello, University of Salerno

### **Estland**

#### **Brongegevens**

Estonian standard EVS 845 (Design of ventilation. General requirements)

Technische richtlijnen voor scholen (veel gemeentelijke bouwverordeningen, overheidsgebouwen)

#### **Eisen:**

EVS 845:

Klaslokaal: 6 l/(s/pers), 3 l/(s/m<sup>2</sup>),

Kleuterschool/kinderdagverblijf: 5 l/(s/pers), 2 l/(s/m<sup>2</sup>)

Technische eisen gemeentelijke bouwverordeningen:

- Mechanische toe- en afvoer met warmterugwinning, eisen aan filters en voorverwarming ventilatielucht.
- Ventilatie ten minste 8 l/(s/pers) or 3 l/(s/m<sup>2</sup>).
- CO<sub>2</sub> concentratie <1000ppm.

#### **Status van de eisen**

Norm EVS 845 vrijwillig, maar goed vakmanschap.

Technische richtlijnen voor scholen: vereist door opdrachtgevers.

### **Handhaving**

Tijdens de ontwerpfase: controle bij bouwvergunningaanvraag

Bij de overdracht van het gebouw: ondertekening acceptatierapport door de opdrachtgever.

#### **Expert view Targo Kalamees:**

Bestaande problemen

- te lawaaierige ventilatiesystemen voorkomen goed gebruik van de ventilatiesystemen ;
- tocht van ventilatiesystemen voorkomt goed gebruik van ventilatiesystemen;
- de schoolbeheerder is bang dat ventilatie veel energie kost en de ventilatie wordt uitgeschakeld en ramen worden geopend. Energieverlies is dan veel groter.

### **Finland**

#### **Brongegevens**

Finnish Building Code, Part D2, Indoor Climate and Ventilation, Requirements and Guidelines 2003

#### **Eisen**

- 6 dm<sup>3</sup>/s per persoon voor klaslokalen
- 8 dm<sup>3</sup>/s per persoon voor collegezalen

De maximaal toegestane CO<sub>2</sub> concentratie bij normale weercondities bedraagt 1.200 ppm.

**Status van de eisen:**

De minimale ventilatieeisen zijn opgenomen in het "guideline" deel van de Code. Dit is in de basis geen wettelijke eis, maar wordt vaak wel zo geïnterpreteerd.

Overige eisen

Verontreiniging	eenheid	grenswaarde
Ammonia and amines	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20
Asbestos	fibres/cm <sup>3</sup>	0
Formaldehyde	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Carbon monoxide	$\text{mg}/\text{m}^3$	8
Particles PM <sub>10</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Radon	Bq/m <sup>3</sup>	200 (annual average)
Styrene	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

Table 3. Grenswaarden voor verontreinigingen in binnenlucht.

### Handhaving

De ontwerpdocumentatie moet worden aangeleverd bij de aanvraag om een bouwvergunning. De luchtstromen moeten worden ingeregeld, en gecontroleerd bij oplevering.

### Expert view

Jorma Railio, HVAC consultant and REHVA Honorary Fellow.

*The requirements represent a “minimum acceptable” level. If followed properly, the indoor air and energy performance are acceptable but not really on a high level. But there are documented problems in school ventilation due to poor design and even more to faults in operation and maintenance. The building regulations in Finland, for the time being, limited to new buildings – buildings in operation and subject to renovation are beyond the control of building inspection and other authorities. Health authorities can interfere only if there is evidence of immediate health risks. One common problem especially in kindergartens is “over-occupancy”: if ventilation of a room is designed assuming that maximum occupancy is 10 persons but the room becomes occupied by 15 or even 20 persons the ventilation is not sufficient at all. If, at the same time, the system loses its balance (dust accumulation, unintentionally closed damper...) and cleaning or any other regular maintenance is neglected, the situation gets worse. Reduced ventilation due to “energy saving” is also rather common. Only recently the profession and authorities have started to pay enough attention to the real end users’ problems, but much more information has to be prepared to the end-users and decision-makers. On technical level, IAQ monitoring, demand-controlled ventilation and other similar developments are getting more popular, but slowly and mainly just in new schools. To summarise: requirements are OK as a minimum, higher levels of IAQ and energy performance should be encouraged/ promoted but mainly on voluntary basis, but other actions to improve the ventilation systems in existing buildings should be given the highest priority.*

## **Litouwen**

### **Brongegevens**

#### **Eisen:**

21,6 m<sup>3</sup>/h per persoon

Bron: Ventilation rates and IAQ in national regulations, REHVA Journal – January 2012, Nejc Brelih

#### **Status etc.**

Onbekend

## Oostenrijk

### **Brongegevens**

In Oostenrijk is ÖNORM EN 13779:2008 „Lüftung von Nichtwohngebäuden geaccepteerd als Oostenrijkse versie van de Europese norm.

Daarnaast zijn beschikbaar ÖNORM H 6039 „Lüftungstechnische Anlagen: Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Gruppen-, Unterrichts-, oder Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung“ en ÖNORM H 6000-3:1989 „Lüftungstechnische Anlagen; Grundregeln; hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen.“

Verder is het volgende document in gebruik: “61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen”; samengesteld door brancheorganisaties en kennisinstututen waaronder Fachhochschulstudiengänge Burgenland Ges.m.b.H.-University of Applied Science.

### **Eisen**

Er worden geen wettelijke eisen gesteld aan ventilatie van scholen.

Gehanteerde eisen zijn door marktpartijen zelf gedefinieerde eisen, vaak afgeleid van de beschikbare normen zoals ÖNORM EN 13779.

De “61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen” formuleert de eis als volgt:

Het CO<sub>2</sub>-gehalte in het klaslokaal mag maximaal 1.200 [ppm] bedragen (IDA 3 niveau Ruimteluchtkwaliteit).

Streefwaarde: max. 800 - 1.000 [ppm] (IDA 2 niveau binnenluchtkwaliteit).

De CO<sub>2</sub>-concentraties mogen bij een recirculatiesysteem ten behoeve van de luchtvochtigheid bij buitentemperaturen onder 0°C tot max. 1.400 [ppm] oplopen.

### **Status van de eisen**

Contractafspraken tussen marktpartijen.

### **Overige**

Bij de luchtkwaliteitseisen worden tevens emissie eisen aan bouwmaterialen gevoegd:

- TVOC max. 100 [µg/m<sup>2</sup>h]
- Formaldehyde max 20 [µg/m<sup>2</sup>h]
- Ammoniak max 10 [µg/m<sup>2</sup>h]
- Kankerverwekkende verbindingen (IARC) Max. 2 [µg/m<sup>2</sup>h]

Het document geeft een, in het kader van dit onderzoek, tevens relevante ontwerprichtlijn voor luchthoeveelheden in relatie tot CO<sub>2</sub> doelstelling, opgenomen in tabel 4.17.1. De kolom bij een ontwerpwaarde van 1200 ppm is in deze rapportage verder gehanteerd als de minimale eis.

Tabel 4.17.1: Ontwerphulpmiddel uit 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen

Leeftijd	Ontwerpdebiet voor 1200 ppm [m <sup>3</sup> /h pp]	Ontwerpdebiet voor 1000 ppm [m <sup>3</sup> /h pp]
0-6	19	25
6-10	19	25
10-14	23	30
14-19	24	33
19+	25	34
docent	28	37

## Polen

### **Brongegevens**

#### **Eisen**

20,2 m<sup>3</sup>/h per persoon

Bron: Ventilation rates and IAQ in national regulations, REHVA Journal – January 2012, Nejc Brelih

#### **Status van de eisen**

Onbekend

## Slovenië

### **Brongegevens**

#### **Eisen**

30,6 m<sup>3</sup>/h per persoon

Bron: Ventilation rates and IAQ in national regulations, REHVA Journal – January 2012, Nejc Brelih

#### **Status van de eisen**

Onbekend

## Roemenië

### **Brongegevens**

Het brondocument is "Norms for the design, execution and operation of the ventilation and air conditioning installations – Indicative I5/2012."

De I5 is gebaseerd op de Roemeense versie van EN 13779, de SR-EN-13779:2005.

#### **Eisen**

De eisen zijn uitgedrukt in een debiet per persoon:

- 15 m<sup>3</sup>/h per persoon voor kleuterscholen, scholen en middelbare scholen;
- 18 m<sup>3</sup>/h per persoon voor ruimten in middelbare scholen, slaapzalen, kantoren, vergaderzalen;
- 22 m<sup>3</sup>/h per persoon voor mensa's.

#### **Status van de eisen**

De status is 'norm'.

### **Overige eisen**

#### **Handhaving**

- Tijdens de ontwerpfase: elk V & AC-project moet worden gecontroleerd en afgestempeld door een gecertificeerde technicus voor het vakgebied "Thermal Installations" (It). Deze deskundigen zijn gecertificeerd door het Roemeense Ministerie voor Regionale Ontwikkeling en Toerisme.
- Tijdens de bouwfase: de ontwikkelaar en de klant moeten een ontvangstcertificaat ondertekenen voor elke fase van het uitvoeringsproces op de bouwplaats, zoals bepaald in het project.
- Tijdens het gebruik en onderhoud: moet regelmatig een inspectie worden uitgevoerd door een gecertificeerde technicus en een inspectierapport invullen is verplicht.

**Expert view** (Robert Gavriiluc, T.U. of Civil Engineering Bucharest, Faculty of Building Services Engineering)

De ventilatie eisen voor scholen gesteld in de officiële technische documenten zijn haalbaar, op voorwaarde dat de financiering wordt toegekend voor de uitvoering ervan.

De technische documenten met betrekking tot de ventilatie in scholen eisen niet dwingend de implementatie van mechanische ventilatiesystemen, die duurder zijn, maar het kan de totale energie-efficiëntie van de schoolgebouwen verbeteren (want ze kunnen de terugwinning van warmte uit de afvoerlucht regelen).

Andere technische documenten over de kwestie ventilatie en airconditioning installaties:

- Technical guidelines for the design of the heating & cooling installations using fancoils GP056-2000,
- Technical guidelines regarding the performance criteria for the ventilation and air conditioning installations GT 058 -03,
- Typical design solutions for the air conditioning installations within public buildings SC 004 -2000,
- Technical guidelines for the inspection of the ventilation and air conditioning installations
- Technical standards for the ventilation and air conditioning installations

Zijn er nog andere aanbevelingen voor de ventilatie van de scholen in het algemeen kun je geven als expert?

Het ventilatie probleem in de Roemeense scholen is een groot probleem. Misschien 99% van de Roemeense scholen heeft zogenaamde "georganiseerde natuurlijke ventilatie" - door eenvoudig de ramen tijdens de 10 minuten pauzes tussen de 50 minuten klassen te openen. De kinderen / leerlingen / studenten wordt gevraagd om uit de klas te gaan, terwijl die ruimte geventileerd wordt. Ze gaan ofwel op de binnenplaats van de school (in de lente en de herfst de tijd), of op de gang (in de winter).

Er is vrijwel geen mechanisch ventilatiesysteem in de scholen.

De (nieuwe) schoolgebouwen (uit de jaren '60 tot de jaren '80) zijn gebouwd op een zodanige wijze dat de montage van de normale / grote ventilatiekanalen niet mogelijk is, de klassen zijn niet zo hoog en het is niet mogelijk om valse plafonds monteren.

Veel scholen hebben geld ontvangen voor renovatie vanuit het oogpunt van de energieprestatie. Dus hebben ze de buitenmuren geïsoleerd, thermo-geïsoleerde ramen gemonteerd, nieuwe ketels en radiatoren geïnstalleerd. Ze maakten het gebouw luchtdicht voor de buitenlucht infiltraties, en door dit te doen hebben zij invloed op de lucht-uitwisseling met de buitenomgeving. Meestal wordt de renovatie niet betrokken op de ventilatie - soms worden meerdere split type AC-systemen geïnstalleerd, maar ze bieden geen frisse lucht, alleen de koeling en recirculatie van de binnenlucht.

De enige technische oplossing voor mechanische ventilatie in scholen zou zijn om - lokaal, in elk klaslokaal, boven de ramen en onder het plafond van de klas - zeer platte AHU te installeren plus een systeem van forfaitaire luchtkanalen, gemonteerd aan het plafond - en deze AHU zouden ook een lucht-lucht warmtewisselaar moeten bevatten voor de energie-efficiëntie van het systeem.

Er is een studie gemaakt door een promovendus van Timisoara (de stad waar in 2012 de REHVA GA werd georganiseerd), met betrekking tot de luchtkwaliteit in een amfitheater van zijn universiteit. Het amfitheater is voorzien van verscheidene AC split systemen, die uitsluitend koelen en lucht recirculeren (geen frisse lucht!). De toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie is dramatisch gedurende 4 uur college!



## Tsjechië

### **Brongegevens**

Decree No. 410/2005 Coll. on hygiene requirements for premises and operation of equipment and facilities for the education of children and adolescents

“Decree No. 268/2009 Coll. on technical requirements for buildings”

### **Eisen**

- Decree No. 410/2005  
Classroom : 20-30 m<sup>3</sup>/h/student  
Gymnasium: 20-90 m<sup>3</sup>/h/student
- Decree No. 268/2009

Verblijfsruimten moeten worden voorzien van voldoende natuurlijke of mechanische ventilatie en voldoende verwarmd met een lokale temperatuurregeling. Tijdens de aanwezigheid van personen moet een buitenluchthoeveelheid van 25 m<sup>3</sup>/h per persoon worden toegevoerd, met een minimum ventilatievoud van N=0.5 1/h.

Als indicator van de kwaliteit van het binnenmilieu mogen de CO<sub>2</sub>-concentraties in de binnenlucht niet meer dan 1500 ppm bedragen.

### **Status van de eisen**

Het betreft een wettelijke eis.

### **Handhaving**

Tijdens het bouwaanvraagproces wordt de documentatie gecontroleerd door het ministerie van volksgezondheid, die de ontwerpoplegging moet goedkeuren.

Tijdens de gebruikstijden van de school zijn er vaak regels voor ventilatie, die door de schoolleiding worden uitgevaardigd.

### **Expert view** Karel Kabele

Ventilatie eisen zijn relatief niet bindend, natuurlijke ventilatie is toegestaan, dus het echte probleem van de binnenluchtkwaliteit is verschoven naar het gebouw gebruik door leerkrachten of in geval van geautomatiseerd systeem, met GBS. Het grootste deel van de aandacht is gericht op de energie en de temperatuur, dus binnenluchtkwaliteit blijft achter. Het probleem is dat in de scholen, waar een aantal energiebesparende maatregelen is gedaan - meestal thermische isolatie en nieuwe luchtdichtere ramen, zich problemen voordoen met de CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens de lessen.

Zijn er nog andere aanbevelingen voor de ventilatie van de scholen in het algemeen je zou kunnen geven als expert?

Mijn mening is om hybride systemen te gebruiken met de optie van handmatige bediening. Een goed idee vind ik het gebruik van eenvoudige CO<sub>2</sub> monitoren (green-geel-rood), die de leraar herinnert aan het openen van het raam en een sterke educatieve impact op de studenten heeft.

Met betrekking tot regelgeving, is het veel makkelijker om binnenluchtkwaliteit te controleren door het meten van CO<sub>2</sub> dan door luchtstromen, dus ik beschouw het gebruik van deze eis als handige aanduiding. Het probleem van vaste luchtstromen op de school is dat we het aantal studenten kunnen inschatten, maar dat de praktijk vaak anders is, verandering van lesmethoden (kleinere groepen) of meer activiteiten.

## **Groot-Brittannië en Noord-Ierland**

### **Brongegevens**

- Statutory Instruments: 1999: 2. The Education (School Premises) Regulations 1999: Education, England & Wales. London: The Stationery Office.
- Department for Communities and Local Government: The Building Regulations Approved Documents F, Ventilation.
- Building Bulletin 101 "Ventilation of school buildings; Regulations, Standards, design guidance", versie 1.4 5-7-2006

### **Eisen**

School Premises Regulations:

De School Premises Regulations (SPR) zijn van toepassing op bestaande gebouwen en bevatten eisen aan ventilatie in schoolgebouwen:

- Iedere ruimte in de school moet over een regelbare ventilatie beschikken met een minimumhoeveelheid van 3 liter buitenlucht per persoon, voor het maximale aantal personen waarvoor die ruimte geschikt is.
- Iedere lesruimte moet ook geventileerd kunnen worden met een minimale hoeveelheid van 8 liter buitenlucht per persoon, voor het gebruikelijke aantal personen in die ruimte.

#### 1.4 Aanbevolen ventilatie prestatienorm voor onderwijsruimtes

Aanvullend op de algemene ventilatie eisen zoals bovenstaande genoemd, zijn de volgende school specifieke aanbevolen prestatienormen van toepassing op onderwijsruimtes:

Er moet worden voorzien in ventilatie om de CO<sub>2</sub> concentratie in alle onderwijsruimtes te beperken.

Gemeten op hoofdhoogte van een zittend persoon, gedurende een continue periode tussen begin en einde van de lessen op iedere dag, mag de gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie de waarde van 1500 ppm niet overschrijden.

Dit is gebaseerd op de noodzaak om de CO<sub>2</sub> concentratie die het gevolg is van de uitademing van de personen in die ruimte te beperken. In onderwijsruimte wordt CO<sub>2</sub>, bij afwezigheid van elke andere verontreiniging, beschouwd als de maatgevende indicator voor ventilatieprestatie voor de beheersing van binnenluchtkwaliteit.

#### 1.5 Ventilatievoorziening

Aanvullend op de eis om te voldoen aan de CO<sub>2</sub> prestatienorm in 1.4 wordt aanbevolen dat het ontwerp ook voldoet aan de volgende aangeraden prestatienormen van de School Premises Regulations en de aanbevelingen van de Health and Safety Executive:

- De maximale CO<sub>2</sub> concentratie van mag nooit meer zijn dan 5000 ppm gedurende de lesdag.
- Tijdens het gebruik van de ruimte, inclusief gebruik voor onderwijs, moeten de gebruikers in staat zijn om de CO<sub>2</sub> concentratie te verlagen naar 1000 ppm.

Onderstaande ventilatie hoeveelheden zullen in normale omstandigheden voldoen aan de vereiste CO<sub>2</sub> prestatienorm uit Sectie 1.4 ende aanbevolen eisen.

Deze luchthoeveelheden zijn niet altijd toereikend voor ruimtes voor speciale activiteiten.

### 1.5.1 Natuurlijke ventilatie voor onderwijsruimtes

Te openen voorzieningen moeten een buitenluchttoevoer naar onderwijsruimtes kunnen leveren van

- een minimum van 3 l/s per persoon en
- een minimum daggemiddelde van 5 l/s per persoon, en
- de mogelijkheid om een minimum van 8 l/s per persoon te realiseren op elk moment van gebruik met aanvullende voorzieningen. Deze ventilatie hoeft niet altijd nodig te zijn, maar dient te realiseren te zijn door de gebruiker. Wanneer buitenlucht wordt toegevoerd met 8 l/s per persoon, blijft de CO<sub>2</sub>-concentratie over het algemeen onder 1000 ppm.

Deze luchthoeveelheden dienen te worden gebaseerd op het maximale aantal gebruikers dat redelijkerwijs de ruimte zal gebruiken. (...)

### 1.5.2 Mechanische ventilatie voor onderwijsruimtes

Als een mechanisch ventilatiesysteem is toegepast, moet het worden ontworpen om een minimaal daggemiddelde van 5 l/s per persoon te realiseren. Aanvullend dient het de mogelijkheid te hebben om een minimale capaciteit van 8 l/s per persoon te realiseren op elk moment tijdens het gebruik.

### 1.5.3 Aanvullende aspecten

Dit zijn prestatienormen welke zijn vereist zijn voor een goede binnenluchtkwaliteit, aanwijzingen om deze te bereiken zijn bovenstaand gegeven.

Echter, de ontwerper heeft de vrijheid om welke ventilatievoorziening dan ook toe te passen welke geschikt is voor een bepaald gebouw, inclusief innovatieve producten en oplossingen, als kan worden aangetoond dat wordt voldaan aan de prestatiecriteria uit 1.4 en 1.5.1

#### **Status van de eisen**

De School Premises Regulations heeft wettelijke status.

#### **Noot van de rapporteurs**

De eis is te lezen als: minimaal 3 l/s per persoon, gemiddeld 5 l/s per persoon, realiseerbare capaciteit 8 l/s per persoon. In de verdere rapportage is de 8 l/s per persoon aangehouden, waarbij "persoon" hier betrekking heeft op de gebruikelijke bezetting aan personen, niet op het maximaal aantal dat in de ruimte past.

### **Noorwegen**

#### **Brongegevens**

#### **Eisen:**

31 m<sup>3</sup>/h per persoon

Bron: Ventilation rates and IAQ in national regulations, REHVA Journal – January 2012, Nejc Brelih

#### **Status van de eisen**

Onbekend

## Zwitserland

### **Brongegevens**

De Zwitserse norm SIA 382/1 "Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen" bevat eisen voor mechanisch geventileerde scholen, en is gebaseerd op EN 13779.

### **Eisen**

- Klaslokaal, zonder steun van raamventilatie: 30 m<sup>3</sup>/h per persoon
  - Klaslokaal, met steun van raamventilatie: 25 m<sup>3</sup>/h per persoon
- Er is geen verschil tussen de verschillende typen scholen.

### **Status van de eisen**

In de vrijwillige MINERGIE-standaard ([www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)) is mechanische ventilatie is verplicht. De betreffende norm wordt niet wettelijk aangewezen, er is geen wettelijke eis. De meeste scholen hebben alleen handbediende te openen ramen, waarvoor geen normering is.

### **Handhaving**

Sommige gemeentes hebben zichzelf verplicht om te bouwen volgens de MINERGIE-standaard. Er vindt geen handhaving plaats.

### **Overige**

In het kader van IAQ is er wetgeving ten aanzien van Radonconcentraties.

**Expert view** Heinrich Huber, Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institut Energie am Bau Muttenz, Switzerland:

Helaas hebben Zwitserse scholen vaak een zeer slechte IAQ, omdat alleen de vrijwillige MINERGIE-standaard eisen aan ventilatiesystemen stelt.

De stad Zurich voorziet alle nieuwe en sommige renovatie scholen van ventilatie systemen. Er worden ook scholen voorzien van automatisch geregelde ramen (e.g. system WindowMaster).

## Bulgarije

### **Brongegevens**

### **Eisen**

17,3 m<sup>3</sup>/h per persoon

Bron: Ventilation rates and IAQ in national regulations, REHVA Journal – January 2012, Nejc Brelih

### **Status van de eisen**

Onbekend

## Canada

### **Brongegevens**

De Canada Occupational Health and Safety Regulations stelt in artikel 2.21: Ieder geïnstalleerd HVAC dient te voldoen aan de ontwerpeisen van ASHRAE Standard 62-1989, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", dan wel aan een geactualiseerde versie. Tevens worden in de beheer fase kwaliteitsbeheersingsmaatregelen voorgeschreven. De wet richt zich op de gezondheid en veiligheid

van werknemers, de in de beheer fase genoemde stoffen die in voorkomende gevallen bewaakt dienen te worden zijn: CO<sub>2</sub>, CO, formaldehyde, fijn stof, zwevende schimmelsporen en VOC's.

### **Eisen**

De ASHRAE Standard 62 is een Amerikaans technische richtlijn, die ook in de VS wordt toegepast, de hierin opgenomen eisen worden verder uitgewerkt in de paragraaf over de VS.

### **Status van de eisen**

De status is die van wettelijk aangewezen norm.

## **VS**

### **Brongegevens**

De federale overheid stelt geen eisen in bouwregelgeving, dit wordt aan individuele staten overgelaten. Er zijn dus telkens per staat verordeningen.

Vanuit ASHRAE is ASHRAE standard 62.1-2010 beschikbaar, waarnaar in de regelgeving van enkele staten wordt verwezen. Een database van State Indoor Air Quality wetgeving is beschikbaar via het Environmental Law Institute in Washington.

### **Eisen**

De 50 staten hanteren een bont palet van eisen, waarin een aantal soorten eisen veel voorkomend zijn. Vrijwel alle staten stellen eisen aan Radon concentraties, voor een belangrijk deel wettelijk, voor een deel praktijkrichtlijnen. Veelvoorkomend zijn ook eisen aan het voorkomen van schimmels, eisen aan het gebruik van bouw- en inrichtingsmaterialen met een lage emissie coëfficiënt, en eisen aan het gebruik van stoffen als schoonmaakmiddelen.

De binnenluchtkwaliteit gerelateerde eisen maken over het algemeen geen deel uit van de bouwregelgeving maar van onderwijs- of algemene regelgeving, en hebben over het algemeen geen betrekking op de ontwerp- of realisatiefase maar op de beheer fase. Hierbij worden nadrukkelijk schoolbesturen, leerkrachten en leerlingen betrokken, waarbij de aandacht sterk uitgaat naar 'potentieel toxische stoffen'. Illustratief is het verbod op het mee naar school nemen van schoonmaakmiddelen, deodoriserende stoffen en desinfecterende middelen door leerkrachten, leerlingen en ouders. In de meeste staten heeft het schoolbestuur de verplichting om periodiek inspecties van de binnenluchtkwaliteit uit te voeren op deze 'potentieel toxische stoffen' en hierover jaarlijks of vijfjaarlijks te publiceren, onder andere op de schoolwebsite.

### **Status van de eisen**

De ASHRAE standard wordt in veel staten geadviseerd als good engineering practice, in vier staten wordt deze wettelijk aangewezen als ontwerpnorm.

De ASHRAE standard is gebaseerd op een combinatie van vloeroppervlakte en bezetting.

Voor basisscholen geldt een eis van 5 l/s per persoon *plus* 0,6 l/s per m<sup>2</sup>.

In de praktijk van de Amerikaans scholen bouw resulteert dit in:

- 5-8 jarigen (uitgaande van 25 personen per 100 m<sup>2</sup>): 7,4 l/s per persoon
- Leeftijd 9+ (uitgaande van 35 personen per 100 m<sup>2</sup>): 6,7 l/s per persoon

Voor colleges/ universiteiten geldt een eis van 3,8 l/s per persoon *plus* 0,3 l/s per m<sup>2</sup>. Dit resulteert in de praktijk in:

- Collegezalen (uitgaande van 65-150 personen per 100 m<sup>2</sup>): 4,0 -4,3 l/s per persoon

Voor andersoortige onderwijsruimtes is de eis per persoon verder altijd 5 l/s, de eis per vloeroppervlak ligt hoger voor een aantal specifieke ruimtes (kunst, wetenschap, workshop, computerruimte)

## Japan

### **Brongegevens**

(1) "The Building Standard Law" wordt gehandhaafd en gepubliceerd door het Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

(2) "School Health and Safety Acts" wordt gehandhaafd en gepubliceerd door het Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

### **Eisen**

Er is een minimumeis voor ruimtes waarin personen verblijven van  $N = 0.5 \text{ h}^{-1}$  volgens de "The Building Standard Law (1)"

Ventilatie in scholen moet zo worden uitgevoerd dat de  $\text{CO}_2$  concentratie niet meer dan 1500ppm bedraagt: "School Health and Safety Act (2)".

### **Status van de eisen**

(1) The Building Standard Law is wet voor alle gebouwen.

(2) School Health and Safety Act is een norm voor alle basis-, middelbare en hoge scholen.

\*Japanese educational system bestaat uit 6 jaar basisschool, + 3 jaar middelbare school, + 3 jaar hogeschool.

### **Handhaving**

- The Building Standard Law wordt getoetst bij iedere bouwvergunning.
- School Health and Safety Acts wordt voornamelijk toegepast bij beheer en onderhoud van gerealiseerde scholen.

**Expert view** Asako Hasegawa en Prof.Yoshino, Department of Architecture, Faculty of Engineering Kumamoto University 39-1, Kurokami 2-chome, Kumamoto, 860-8555, Japan.

Persoonlijk denk ik dat er 2 dilemma's zijn in Japan: de ene is het saldo van energiebesparing en een goede kwaliteit van het binnenmilieu, de andere is de financiële kwestie voor scholen.

In Japan gemaakte elektrische instrumenten en apparaten zijn compact, stil en hebben hoge energie-efficiëntie. Maar we worden geconfronteerd met ernstige tekorten aan elektrische energie, vooral na 3-11 tragedie en het Fukushima nucleaire probleem.

Deze wet en standaard verwijst hiernaar en wordt erkend als belangrijke regel voor de menselijke gezondheid, maar wapening tegen aardbevingen krijgt de hoogste prioriteit voor de veiligheid van de bevolking in Japan. De meeste Japanse schoolgebouwen hebben niet genoeg aardbevingsbestendigheid en het budget wordt in de meeste gevallen besteed aan weerstand tegen de aardbevingen.

Hopelijk worden de wet en standaard geactualiseerd in alle scholen, maar flexibiliteit en een effectieve handleiding die gemakkelijk kan worden toegepast in werkelijke gebieden is noodzakelijk. (dus we zijn een handleiding aan het maken voor het verbeteren van het binnenmilieu op scholen)

7. Zijn er nog andere aanbevelingen voor de ventilatie van de scholen in het algemeen die je zou kunnen geven als expert?

We moeten zorgvuldig leraren en praktijkmensen duidelijk en gemakkelijk begrijpend vertellen uitleggen hoe zij de HVAC-systemen moeten bedienen en onderhouden in hun scholen

## Hong-Kong

### **Brongegevens**

A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Indoor Air Quality Management Group, September 2003

### **Eisen**

Het document is een certificeringshandleiding waar bij de keuze is tussen twee IAQ klassen: 'good' en 'excellent'. Er worden eisen gesteld aan 9 stoffen in de binnenlucht, waaronder CO<sub>2</sub>.

Om gecertificeerd te worden als 'good' dient het 8-uurs gemiddelde van de CO<sub>2</sub>-concentratie onder de 1200 ppm te liggen, voor 'excellent' onder de 1000 ppm.

### **Status van de eisen**

Het betreft een vrijwillige certificering.

## Zuid Korea

### **Brongegevens**

The Health Act in School van het Ministerie van Onderwijs en Personeel

### **Eisen**

De Health Act stelt eisen aan de luchtkwaliteit in klaslokalen, de verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de schooldirecteur.

Onderstaande Tabel geeft de air quality standaard zoals gespecificeerd in de Health Act in School.

<b>Stof</b>	<b>Grenswaarde</b>
PM10	100 µg/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	1,000 ppm
Formaldehyde	100 µg/m <sup>3</sup>
Total airborne bacteria	800 CFU/m <sup>3</sup>

### **Status van de eisen**

De eisen hebben wettelijke status

### **Handhaving**

Er is geen handhaving. Dit is des te opmerkelijker, omdat de Public Sanitation Management Act van 1999/2005, die vergelijkbare eisen stelt aan binnenluchtkwaliteit in kantoren, wel een boetebeding kent voor werkgevers die de grenswaarden overschrijden.

Bron: Recently issues on Indoor air quality in Korea, Jee Yeon Jeong, PhD, P.E, Department of Occupational and Environment Health, Yongin University.



## **China**

### **Brongegevens**

GB50736-2012, January 2012, "Code for design of heating ventilation and air conditioning".

### **Eisen**

-als er geen mechanisch ventilatiesysteem is dienen de ramen geopend te kunnen worden

-als er een mechanisch ventilatiesysteem aanwezig is, is minimale toevoereis voor lesruimtes, afhankelijk van de persoonsdichtheid PD per m<sup>2</sup> lesruimte:

- als  $PD \leq 0.4$ , is de minimumeis  $26 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{person})$ .

- als  $0.4 < PD \leq 1.0$ , is de minimumeis  $20 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{person})$ .

- als  $1.0 < PD$ , is de minimumeis  $19 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{person})$ .

Dit is onafhankelijk van leeftijd of onderwijstype.

### **Status van de eisen**

Dit betreft een wettelijk aangewezen norm

### **Handhaving**

De norm is een ontwerpnorm.

### **Overig**

Er is een standaard voor overige binnenmilieuparameters, "indoor air quality standard", GB/T 18883 – 2002, die voor zover bekend geen status heeft.

Bijlage III      Achtergronden CO<sub>2</sub> in binnenlucht



## BIJLAGE III

### Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) als indicator voor luchtkwaliteit in ruimten

#### Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) algemeen

Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) is een gas dat werd ontdekt in het begin van de [17e eeuw](#) door de Vlaamse fysioloog en arts [Jan Baptista van Helmont](#) die het "sylvestergas" noemde. Hij stelde vast dat na verbranding van [houtskool](#) in een gesloten kom, de restmassa kleiner was dan de oorspronkelijke massa. Zijn besluit was dat het verschil veranderd was in een "wilde geest" (spiritus sylvestre) of gas. Koolstofdioxide wordt ook wel koolzuurgas genoemd.

De chemische structuurformule van koolstofdioxide is:



Koolstofdioxide heeft een molecuulmassa van 44 en dus een soortelijke massa ( $\rho_{CO_2}$ ) van bijna 2 kg/m<sup>3</sup> en is dus daarmee aanzienlijk zwaarder dan lucht ( $\rho_{lucht} = \text{circa } 1,25 \text{ kg/m}^3$ ).

Omdat CO<sub>2</sub> in de ademhalingslucht slechts 4% bedraagt, die een temperatuur heeft van circa 37°C, is de uitgedemde lucht toch nog lichter dan de omgevingslucht. Mede door de lichtsnelheid bij uitademing zal de uitgedemde lucht opmengen in de ruimtelucht en daarna in de praktijk niet uitzakken. De concentratie CO<sub>2</sub> in een ruimte is, omdat de ventilatie in gebouwen meestal het stadium van volledige menging benadert, vrijwel overal gelijk, met uitzondering van de ademzone.

CO<sub>2</sub> productie door mensen via de ademhaling

Over de CO<sub>2</sub> productie van mensen is vrijveel bekend. Uit literatuur [15][16] blijkt dat de CO<sub>2</sub> productie van de mens voornamelijk afhankelijk is van:

het metabolisme

het zuurstofgebruik

het geslacht

bij vrouwen het stadium van de zwangerschap

de leeftijd

de massa van personen

de lengte van de persoon

Door Bouwman en Joosting is de samenhang in kaart gebracht [17]. Op basis hiervan is bij TNO een CO<sub>2</sub> model ontwikkeld. In figuur 10 is het beeld weergegeven dat het model geeft als uitkomst van een bepaalde combinatie van parameters.

Het model berekent het verloop van de CO<sub>2</sub> concentratie in de tijd.

De invoergegevens zijn:

person: number=1 age=40 y sex=woman length=1.7 m mass=70 kg activity=1.3

room : volume=30 m<sup>3</sup> ventilation=0.005 m<sup>3</sup>/s

metabolism=93.9 W

qCO<sub>2</sub>=4.13E-06 m<sup>3</sup>/s qO<sub>2</sub>=-4.98E-06 m<sup>3</sup>/s

Het programma gebruikt een numerieke massabalans, die qua resultaat overeenkomt met de formule:

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

waarin:

C<sub>t</sub> = de concentratie op tijdstip t

C<sub>buiten</sub> = de buiten concentratie

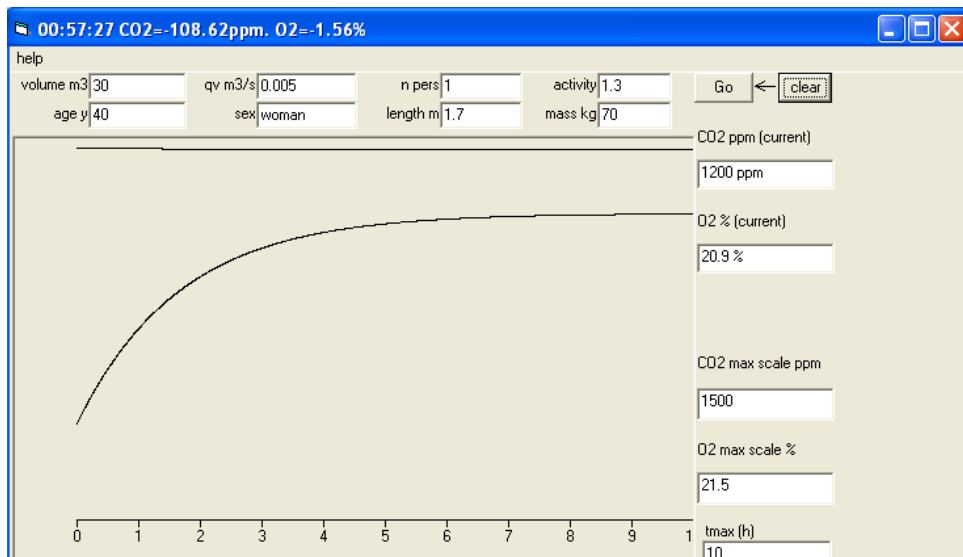
p = de bronsterkte CO<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/s]

q<sub>v</sub> = de ventilatievolumestroom [m<sup>3</sup>/s]

τ = de ventilatietijdconstante[s] (τ=3600/ventilatievoud[per uur])

t = de tijd[s]

Op de horizontale as staat de tijd in uren, terwijl op de verticale as de CO<sub>2</sub> concentratie in ppm staat weergegeven.



Figuur B3-1 Een voorbeeld van een grafisch resultaat van een berekening met het CO<sub>2</sub> model van TNO.

De uitvoer in tekst wordt hieronder weergegeven.

CO<sub>2</sub> buiten = 387.8ppm

tijd	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	dCO <sub>2</sub>	dO <sub>2</sub>
uur	ppm	%	ppm	%
0	389.2	21	1.38	-0.000165
1	761.2	21	373	-0.045
2	966	20.9	578	-0.0697
3	1078	20.9	690	-0.0832
4	1140	20.9	752	-0.0906
5	1174	20.9	786	-0.0947
6	1192	20.9	804	-0.0969
7	1202	20.9	815	-0.0981
8	1208	20.9	820	-0.0988
9	1211	20.9	823	-0.0992
10	1213	20.9	825	-0.0992

## Pettenkofer

Reeds rond 1850 voerde Max von Pettenkofer [3] onderzoek uit naar de luchtkwaliteit in ruimten. Hij had als uitgangspunt dat men ruimten moest ventileren ten behoeve van mensen die daarin verblijven, waarbij die mensen zelf als enige bron van verontreiniging in die ruimten werden beschouwd. Alle andere bronnen beschouwde hij als vermijdbaar. Pettenkofer was de eerste die koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) als indicator voor de door de mens geproduceerde verontreinigingen in de binnenlucht beschouwde. CO<sub>2</sub> was weliswaar reukloos en door mensen niet direct waarneembaar. Het was naar zijn inzicht een maat voor de ventilatie die gebaseerd was op hinder door geuren. Uit zijn onderzoek leidde Pettenkofer af dat een CO<sub>2</sub> concentratie van 1000 ppm\*<sup>1</sup> niet zou moeten worden overschreden. Daarbij ging hij uit van een achtergrondniveau van circa 500 ppm. Waarschijnlijk bedroeg de werkelijke achtergrondniveau in die tijd eerder circa 300 ppm. Overigens heeft Pettenkofer nooit gesproken over een stijging ten opzichte van buiten.\*<sup>2</sup> De 1000 ppm wordt daarom in Duitsland ook wel het "Pettenkofer-Zahl" genoemd. Nog altijd wordt door vrijwel iedereen in de wereld ook bij het opstellen van nationale normen en internationale normen uitgegaan van het werk van Max von Pettenkofer.

*\*<sup>1</sup> ppm staat voor parts per million, of in het Nederlands delen per miljoen, dat is dus een concentratie, ook wel aangeduid met de vermenigvuldigingsfactor 10<sup>-6</sup>*

*1000 ppm kan ook worden geschreven als 1000 \* 10<sup>-6</sup> en is gelijk een concentratie van 0,1 %*

*\*<sup>2</sup> eigenlijk zou de CO<sub>2</sub> concentratie moeten worden uitgedrukt als een verschil concentratie (ΔC) Het gaat immers niet om de buitenconcentratie maar om de stijging ten opzichte van de buitenconcentratie ten gevolge van door mensen via de ademhaling geproduceerde CO<sub>2</sub>*

## Yaglou

De Amerikaan Yaglou voerde rond 1935 een onderzoek uit naar de subjectieve beoordeling van de luchtkwaliteit onder gebruikers van gebouwen. Hij ging daarbij uit van de geurperceptie door gebruikers van gebouwen. Hoewel elk mens de luchtkwaliteit anders ervaart en beoordeelt, bleek toch dat bij een statistische bewerking van zijn onderzoeksresultaten er een behoorlijk relatie met de door de mensen gegeven score van de luchtkwaliteit was en de werkelijk optredende ventilatie.. Zijn onderzoek komt eigenlijk neer op eisen voor ventilatie die ergens liggen tussen 7 dm<sup>3</sup>/s en 10 dm<sup>3</sup>/s per persoon. Waarden die overigens globaal ook op grond van Pettenkofers-onderzoek konden

worden vastgesteld. Deze waarden zijn nu nog altijd over de gehele wereld als richtlijnen en eisen voor de ventilatie te vinden.

Yaglou [4] vond in zijn studie een redelijke relatie met de CO<sub>2</sub> concentratie

(zie figuur 2). Hij concludeerde en motiveerde in de conclusies van zijn onderzoek echter toch dat CO<sub>2</sub> geen goede indicator voor de luchtkwaliteit van menselijke verontreinigingen in de binnenlucht kon zijn. Hij baseerde dat voornamelijk op de volgende drie zaken:

Het feit dat lichaamsgeuren volgens hem een grote mate van instabiliteit vertonen

Het feit dat de mate van CO<sub>2</sub> productie bij kinderen heel anders was dan bij volwassenen, terwijl de geurhinder bij gelijke ventilatie bij kinderen duidelijk groter was

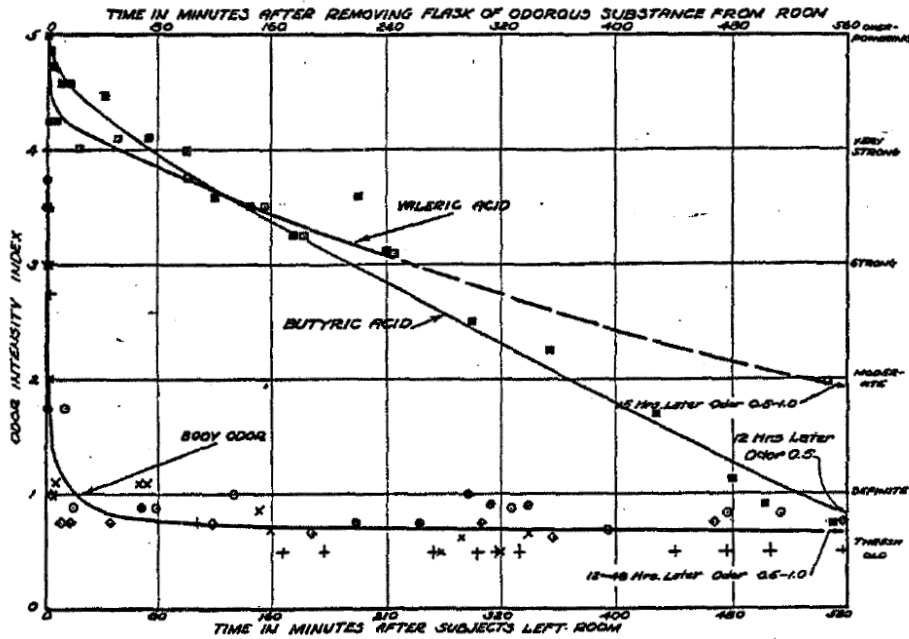
Het feit dat mensen verschillende hygiënische gewoonten hadden en dus ook meer of minder geurhinder konden veroorzaken.

Hoewel de bovengenoemde 3 zaken in principe juist zijn, wordt ook in alle onderzoeken die later worden uitgevoerd, CO<sub>2</sub> als beste indicator voor de luchtkwaliteit van de bio effluenten <sup>\*3</sup> van mensen algemeen gebruikt.

*\*<sup>3</sup> bio effluenten wordt in dit rapport gebruikt als verzamelterm voor alle stoffen die door het menselijk lichaam worden afgescheiden*







Figuur 3 De afname van lichaamsgeur en die van boterzuur en valeriaanzuur in de tijd volgens Yaglou.[5]

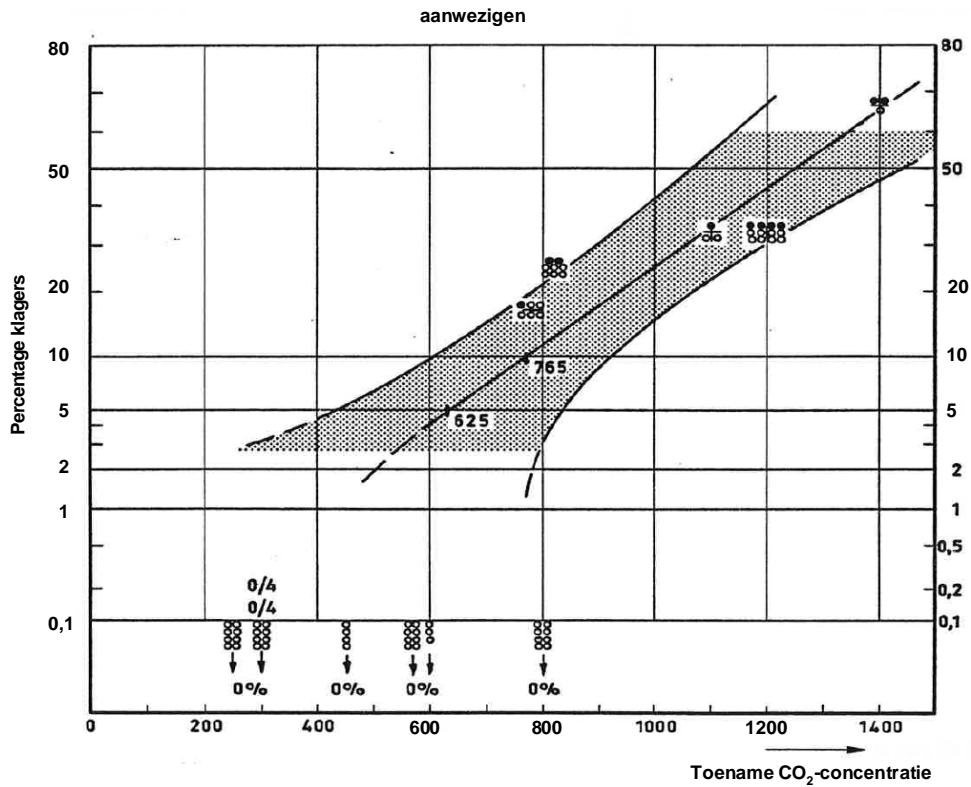
### Bouwman

Bouwman onderzocht in Nederlandse kantoorgebouwen rond 1980, bij verschillende bezettingen van mensen per vierkante meter vloeroppervlakte, de relatie tussen geurhinder en ventilatie.[6] Hij kwam evenals Yaglou overigens tot de conclusie dat bezoekers veel meer klachten over geurhinder gaven dan de mensen die in een ruimte verblijven. De CO<sub>2</sub> concentratie varieerde in zijn onderzoek tussen de circa 600 ppm en 1750 ppm. Het aantal proefpersonen was zeer beperkt namelijk circa 20. Men bedenke hier ook, dat het in die tijd normaal was, dat er in kantoorruimten mocht worden gerookt. Zijn proeven bevatten dus soms situaties met rokers onder de gebruikers van de ruimten. De ventilatiestroom per persoon varieerde gedurende de proeven tussen 3,9 dm<sup>3</sup>/s en 25,0 dm<sup>3</sup>/s.

Figuur 4 laat zien dat bij 800 ppm verhoging ruim 10% van de aanwezigen zal klagen over hinderlijke geuren. De spreiding is groot, zoals het 90% betrouwbaarheidsinterval (de arcering) in de figuur aangeeft.

Voor personen die een lokaal binnenkomen, ligt het percentage klagers overigens circa 10% hoger. Dit duidt op adaptatie van het reukorgaan, onze neus. Een andere reden is gelegen in het feit dat de mens veranderingen in geur scherper kan waarnemen dan stabiele absolute niveaus.

Om onder de aanwezigen in een ruimte niet meer dan 5% klachten over geurhinder te krijgen is volgens het onderzoek van Bouwman een ventilatiestroom per persoon nodig van circa 10 dm<sup>3</sup>/s. Dit is redelijk in overeenstemming met de resultaten van de onderzoeken van Pettenkofer en Yaglou.



Figuur 4 Verband tussen CO<sub>2</sub> toename ten opzichte van buiten en ontevreden over geur volgens Bouwman [6]

## Fanger

Ole Fanger uit Denemarken deed na zijn door de gehele wereld gebruikte en geaccepteerde theorie over het thermisch comfort, rond 1987 een belangrijke studie waarbij de binnenluchtkwaliteit door geurhinder centraal stond.[7] Hij onderscheidde daarbij niet alleen geur van personen maar ook geur van alle andere mogelijke bronnen in een ruimte, zelfs die geur die afkomstig was van het ventilatiesysteem zelf. Zijn theorie berust op het waarnemen van geuren en de daarbij behorende perceptie van mensen.

De geurbelasting drukt hij uit in decipol terwijl een verontreinigingbron wordt uitgedrukt in olf. Een olf is gelijk aan de belasting van de geur van 1 rustig zittende normaal geklede en zichzelf volgens standaard hygiënische maatregelen verzorgende persoon\*<sup>5</sup> met een activiteitsniveau van 1 MET. \*<sup>6</sup> Hij beschouwt de olf als een relatieve maat voor de bio-effluenten die een normaal mens afscheidt. Hij kent ook aan alle andere bronnen dan mensen, zoals verontreinigingen door bouw- en inrichtingsmaterialen, de term olf toe.

Afhankelijk van de activiteit en bijvoorbeeld of iemand een roker is of niet geeft hij richtlijnen voor de bronsterkte in olf.

Actief persoon met 6 MET activiteit	11 olf
Roker niet rokend	6 olf
Roker tijdens roken	25 olf

Volgens Fanger[7] en Bluysen [8] kan men de olf van verschillende bronnen lineair optellen. Dit laatste wordt door diverse wetenschappers betwijfeld. Geuren van zeer verschillende bronnen kunnen immers een geheel verschillend effect hebben op de perceptie van mensen. Veel mensen zullen geur van parfum bijvoorbeeld lekker vinden ruiken, terwijl sommigen het als bijna ondraaglijk zullen ervaren. Daar komt nog bij dat bepaalde stoffen zoals bijvoorbeeld parfums ook een verdringend of maskerend effect kunnen hebben.

*\*<sup>5</sup> Standaard hygiënisch maatregelen zijn volgens Fanger 0,7 bad /of doucheactiviteit per dag, dagelijks schoon ondergoed en gebruik van deodorant*

*\*<sup>6</sup> Eén MET komt overeen met het metabolisme (stofwisseling) van een zittende, rustende persoon van 58,15 W/m<sup>2</sup> lichaamsoppervlakte. Voor een volwassene is dat oppervlak ongeveer 1,8 m<sup>2</sup> en is het totale metabolisme 1,8\*58,15=104,67 W, waarin ongeveer 22W voor verdamping van water (voornamelijk via de ademhaling). Een andere grootte is het activiteitsniveau dat uitgaat van een slapende persoon, 1 MET komt overeen met een activiteitsniveau van 1,2.*

De decipol is een maat voor de geurconcentraties. Het is de concentratie van 1 olf aan geurbelasting gedeeld door een luchtvolumestroom van zuivere niet verontreinigde lucht van 10 dm<sup>3</sup>/s.

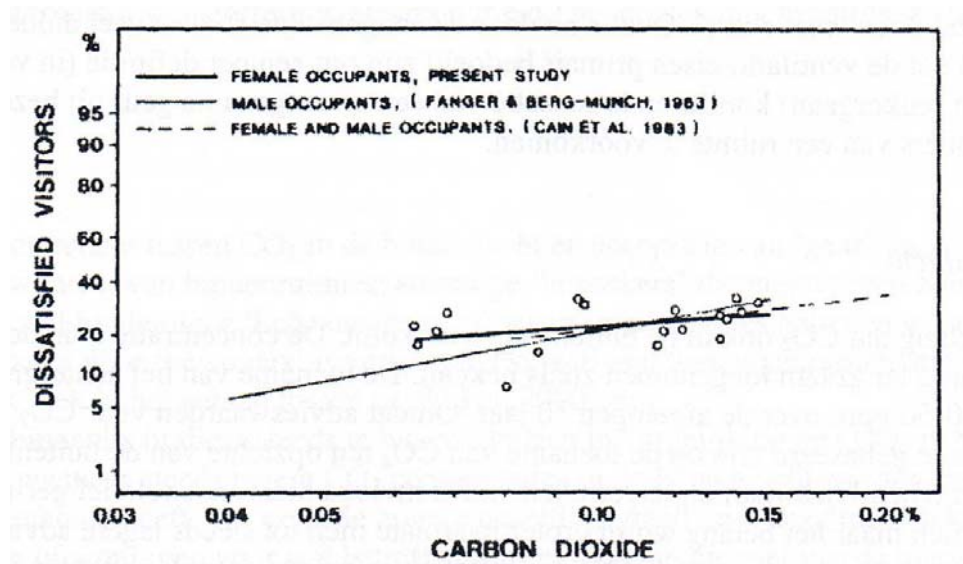
Ook ontwikkelde Fanger een decipol belastingschaal. Hij onderscheidde daarbij een aantal niveaus, namelijk:

Buitenlucht in de bergen	0,01 decipol
Buitenlucht in de stad	0,1 decipol
Binnenlucht in een gezond gebouw	1,0 decipol
Binnenlucht in een gebouw met gezondheidsklachten	10,0 decipol

Wat aan deze schaal direct opvalt is dat de stappen onderling een factor 10 verschillen, hetgeen wijst op een logaritmisch effect. Overigens is het vrijwel onmogelijk gebleken om met geurpanels een niveau onder de 1 decipol vast te stellen.

Een tussenstap tussen Fanger met zijn olf/decipol theorie is uitgewerkt door Berg-Munch.[9], medewerker van Fanger. Deze heeft getracht een verband te leggen tussen de CO<sub>2</sub> concentratie in de lucht en het ervaren van hinder door geur.

De in figuur 5 gesuggereerde relatie tussen de CO<sub>2</sub> concentratie en het aantal gehinderde personen door geur is op zijn zwakst uitgedrukt niet erg sterk.



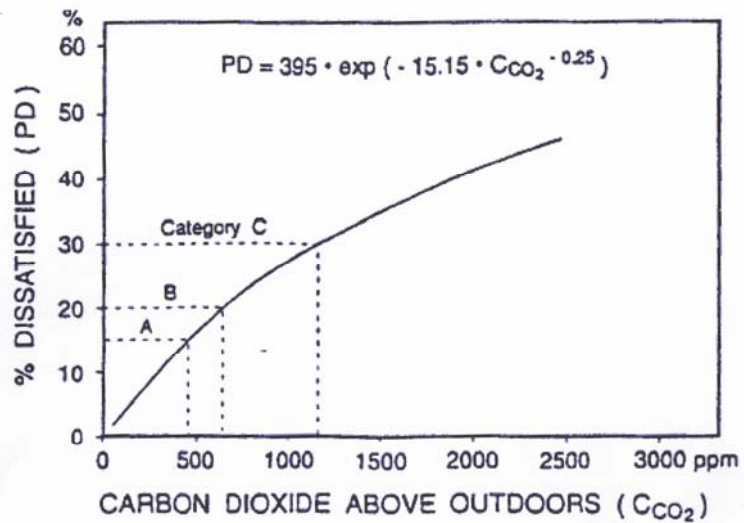
Figuur 5 Het percentage ontevreden over de geur in relatie tot de CO<sub>2</sub> concentratie in een ruimte volgens Fanger en Berg-Munch [9]

De onderzoekers zelf geven in de publicatie geen uitsluitsel of het hier een significant verschijnsel betreft of niet. Het aantal proefpersonen en de spreiding in de scores geven aanleiding te veronderstellen dat dit niet het geval is.

Niettemin is op basis van dit onderzoek en het oorspronkelijke onderzoek door Fanger toch getracht deze theorie als basis te laten dienen voor internationale ventilatienormen.

Hiertoe heeft Fanger samen met Olesen [10] getracht zowel in Europese (CEN) normen als normen (ISO) die wereldwijd worden gebruikt, zijn theorie en onderzoeksresultaten als basis te laten gelden voor ventilatie eisen. Op grond van zijn theorie zou er dan een ventilatiebehoefte zijn voor mensen en daarnaast één voor alle andere bronnen.

De basis voor die Europese normering wordt dan ontleend aan de volgende figuur.



Figuur 6 De relatie tussen  $\Delta CO_2$  en het te verwachten percentage mensen dat ontevreden is volgens Fanger en Olesen [10]

Voor een bepaalde klasse moeten de volumestroom-eisen ( $q_v$ ) die nodig zijn voor mens en alle andere bronnen dan optellen, volgens:

$$q_{v \text{ totaal}} = q_{v \text{ mens}} + q_{v \text{ overig}}$$

Deze benadering is met name in Verenigde Staten overgenomen zonder overigens over of en decipol te spreken. Alles is uitgedrukt in een vereiste volumestroom en per eenheid van vloeroppervlakte voor personen en andere bronnen Ook in bijlagen van een enkele Europese norm wordt dit principe gehanteerd.

Op deze benadering is wel een en ander af te dingen. Ventilatielucht die de luchtjes van mensen al heeft verdund of afgevoerd kan ongetwijfeld ook tegelijkertijd nog andere verontreiniging verdunnen of afvoeren. Dit omdat mag worden verwacht dat die andere bronnen verschillen in samenstelling ten opzichte van de menselijke bio-effluenten.

## Cain

De Amerikaan Cain heeft rond 1983 onderzoek uitgevoerd naar de perceptie van geur door gebruikers en bezoekers van gebouwen.[11] Hij stelde zoals al op basis van in dit rapport eerder besproken onderzoek vast, dat er een belangrijk verschil bestaat tussen de geurperceptie van mensen die in een ruimte aanwezig zijn en zij die diezelfde ruimte bezoeken. De resultaten van zijn studie zijn samengevat in tabel 1.

ventilatie per persoon in dm <sup>3</sup> /s	percentage acceptatie van geur in %	
	gebruikers	bezoekers
2,5	96	68
5	96	75
7,5	92	79
10	95	81

Tabel 1 Het verband tussen de geurscore en de ventilatie volgens Cain [11]

Op basis van de onderzoeksresultaten van Cain lijkt het erop dat de gebruikers van een ruimte vrijwel geen verschil ervaren bij een variatie in ventilatie van een factor 4. Waarbij moet worden opgemerkt dat een ventilatiestroom per persoon die lager is dan 5 dm<sup>3</sup>/s door vrijwel iedereen wordt gezien als onvoldoende ventilatie. Bij de bezoekers is er vrijwel geen verschil in geurperceptie bij een ventilatie van meer dan 7,5 dm<sup>3</sup>/s. Bij dit ventilatieniveau ligt het percentage ontevreden bezoekers over geur op circa 20%.

### ***Ventilatie en prestaties van leerlingen in scholen***

Adequate ventilatie heeft een binnenmilieu tot gevolg waarin bij een adequaat bronbeleid geen nadelige effecten op de gezondheid mag worden verwacht.. Men kan daarbij de vraag stellen, presteren mensen bij een goede ventilatie ook beter. Er is vrijwel niets bekend over hoe zich dit in woningen manifesteert.

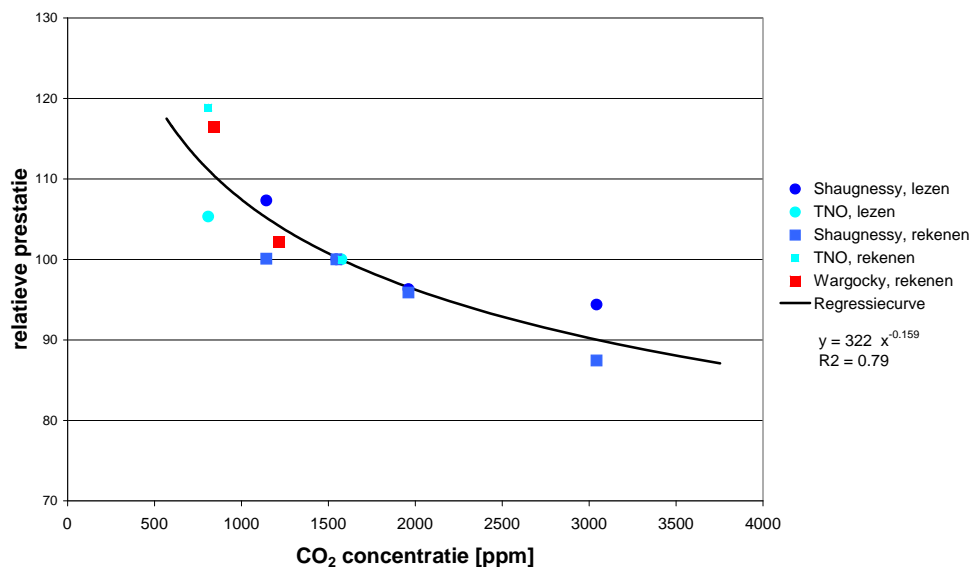


In andere gebouwen met name scholen zijn verschillende studies uitgevoerd waaruit op zijn minst de indicatie komt dat ventilatie wel degelijk van invloed is op het menselijk presteren

Recentelijk heeft TNO in opdracht van VROM de prestaties van leerlingen onderzocht bij vraaggestuurde ventilatie op basis van 800 ppm boven de buitenluchtconcentratie en een maximale concentratie CO<sub>2</sub> van > 1500 ppm. Het bleek dat de vraaggestuurde ventilatie 6% minder fouten in de taaltest opleverde en 23% minder fouten in de rekentest.[24]

Uit aantal in opzet en uitvoering verschillende onderzoeken in scholen blijkt wel degelijk de tendens naar voren te komen dat goede ventilatie wel van invloed is op prestaties van leerlingen in scholen. [25][26]

Onderzoeken in de USA en Denemarken leveren soortgelijke resultaten op [27] Zie hiervoor de analyse resultaten in figuur 9.



Figuur 9. De relatieve prestatie van leerlingen op scholen als functie van de CO<sub>2</sub> concentratie.

Hoewel er geen wetenschappelijke studies bekend zijn waarin bij lage CO<sub>2</sub> concentraties minder gezondheidsklachten optreden geven sommige studies wel een indicatie dat lage CO<sub>2</sub>-concentraties waarschijnlijk wel positief voor de prestaties van leerlingen in scholen kunnen zijn..

### **Advies Gezondheidsraad Binnenlucht in scholen**

De Gezondheidsraad stelde op verzoek van VROM in 2008 een commissie in die advies moest uitbrengen omtrent de binnenluchtqualiteit in basisscholen.[28] De commissie deed een zeer diepgaande analyse van alle beschikbare literatuur en kwam daarbij tot de conclusie dat er geen harde wetenschappelijke bewijzen zijn te leveren dat voor CO<sub>2</sub> niveaus tot circa 1500 ppm de

prestaties van leerlingen worden beïnvloedt. De commissie adviseert een CO<sub>2</sub> concentratie van 800 ppm boven het niveau in de buitenlucht als maatstaf te nemen voor de benodigde ventilatie in basisscholen.

Bijlage IV      Historische ontwikkeling Nederlandse regelgeving

## **De historie van de ventilatievoorschriften voor scholen in Nederland**

In 1986 is de eerste NEN norm (NEN 1089 Ventilatie van schoolgebouwen, Eisen, NNI Delft, 1986) verschenen over de ventilatie van schoolgebouwen

Voor die tijd stond in de Model Bouwverordening slechts de algemene regel dat gebouwen adequaat geventileerd moesten worden

De eis in deze norm is een luchtvolumestroom per leerling van  $5,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ , hetgeen bij volwassen personen overeenkomt met een  $\text{CO}_2$  concentratie van maximaal 1.200 ppm.

Kort daarna in 1987 verscheen de eerste praktijk richtlijn over de ventilatie van scholen NPR 1090. Daarin stonden voorbeelden van uitvoeringen van ventilatiesystemen in schoolgebouwen.

In 1992 werd het Bouwbesluit ingevoerd. In de eerste versie stonden geen ventilatieeisen voor scholen. Het rapport grenswaarden Bouwbesluit bracht daar verandering in. (Bouwbesluit grenswaarden ventilatie, W.F. de Gids en N.P.M. Scholten, TNO rapport 94 BBI R1537, januari 1995).

De eerste wijziging van het Bouwbesluit daarna (1995) stonden eisen voor allerlei utilitaire gebouwen, zo ook voor scholen. De eisen waren gebaseerd op het rapport grenswaarden Bouwbesluit. Deze eisen waren gebaseerd weer gebaseerd op NEN 1089. Echter door invoering van de bezettingsgraadklassen kon soms met duidelijk minder dan  $5,6 \text{ dm}^3/\text{s}$  worden geventileerd. Bij bezettingsgraadklasse B2 kon met volume stromen tussen  $3,6 \text{ dm}^3/\text{s}$  en  $9,3 \text{ dm}^3/\text{s}$  aan de eisen worden voldaan. Dit kon afhankelijk van de leeftijd en gewicht van de leerlingen in de scholen leiden tot  $\text{CO}_2$  concentraties tussen 700 en 1700 ppm.

Inmiddels is bij NEN een nieuwe praktijkrichtlijn voor de ventilatie van Scholen verschenen. Daarin zijn zowel de eisen van het Bouwbesluit2003 en de eisen en nuttige zaken uit NEN 1089 versie 1986) tot een nieuwe praktijkrichtlijn verwerkt. Deze nieuwe praktijkrichtlijn is in 2009 verschenen.

In 2012 is bij de laatste wijziging van het Bouwbesluit voor schoolgebouwen een eis per leerling/student opgenomen van  $8,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ , hetgeen voor basisscholen overeenkomt met circa 800 ppm. Voor verbouw/ bestaande bouw is aansluiting gezocht bij de breedte van de bezettingsgraadklassen uit Bouwbesluit 2003, en is de vigerende eis nu  $3,44 \text{ dm}^3/\text{s}$  per persoon.

Bijlage V      Afweging ventilatie van kinderdagverblijven

# Ventilatie in kinderdagverblijven

## geurverspreiding door urine

Voor kinderdagverblijven lijkt CO<sub>2</sub> als indicator voor de lucht kwaliteit een minder geschikte grootte.

Onder de aanname dat:

- Een ruimte van 10 kinderen waarvan 1 kind per uur urineert. De resten worden geacht te worden geabsorbeerd in de kleding dan wel beschermende middelen.
- Dat per kind 90 g urine wordt afgescheiden waarvan via verdamping per uur ongeveer 1/100<sup>e</sup> in de lucht komt.
- Dat de verdunning in verband met reuk ten minste 10<sup>-6</sup> zou moeten bedragen.  $C=10^{-6}$

De vereiste volumestroom op die basis daarvan nodig zou moeten zijn bedraagt:

$$C = q_{\text{urine}} / q_{\text{ventilatie}}$$

$$q_{\text{urine}} = 0.9 \text{ g/h of } 0.00025 \text{ g/s}$$

$$\rho_{\text{lucht}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$10^{-6} = 0.00025 / q_{\text{ventilatie}}$$

$$q_{\text{ventilatie}} = 0.00025 / 1.2 * 1000000 = 208,3 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Voor 10 kinderen is zeker niet meer nodig op basis van CO<sub>2</sub> dan circa 50 dm<sup>3</sup>/s.

Dat is dus ruim een factor 4 lager dan de stroom die nodig is om de geur te beheersen.

Hoewel niet bekend is hoeveel er wordt geürineerd en hoeveel er uiteindelijk verdampt in de verblijfsruimte, zal duidelijk zijn dat bij deze aannamen het vermijden van geuren lang niet verzekerd is bij ventilatie die op basis van CO<sub>2</sub> productie zal optreden.