

Toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra

2006

GGD Nederland, werkgroep binnenmilieu

Frans Duijm

expertgroep:

ir. A. Boerstra (BBA en ISSO-SBR Praktijkboek Gezonde Gebouwen)

C. van de Bogaard, arts (VROM-Inspectie), waarnemer

ir. CWJ. Cox (TNO Bouw en Ondergrond)

ir. W. van Doorn (GGD ZO-Brabant)

F. Duijm, medisch milieukundige (GGD Groningen Kenniscentrum Milieu & Gezondheid)

M. Geurts (GGD Nederland, Landelijk Centrum Milieu), secretaris

drs. ir. T. Habets (GGD Rotterdam e.o.)

ir. R.van Strien (GGD Amsterdam)

R. van de Weerd, medisch milieukundige (Hulpverleningsdienst Gelderland-Midden)

SAMENVATTING

De lucht in scholen en kindercentra is vaak sterk verontreinigd met ziektekiemen, allergenen, geurstoffen, fijn stof en andere verontreinigingen die verspreid worden door kinderen en hun activiteiten. Het binnenmilieu in lokalen, crèches, e.d. is extra ongunstig door het grote aantal personen per kubieke meter inhoud van de ruimten en door de vaak gebrekkige ventilatie. De gezondheid van veel kinderen ondervindt daarvan een negatieve invloed: o.a. infectieziekten, astma, eczeem, geurhinder, gebouw-gerelateerde slijmvlies- en huidklachten met hoofdpijn en moeheid (ook wel *sick building syndrome* genoemd). Tevens bestaat er een negatief effect op het leerproces en op het ziekteverzuim, ook van leerkrachten.

Omdat de kinderen een belangrijke bron vormen van agentia, is een bronbeleid niet gemakkelijk. Het verminderen van het aantal kinderen per lokaal of het dragen van schoolkleding zijn mogelijkheden. Ventilatie blijft een essentiële factor.

Om te kunnen beoordelen of de ventilatie adequaat is, zijn toetswaarden nodig. Er zijn diverse normen geformuleerd, o.a. in de NEN 13779. De bestaande normen berusten op het beperken van het percentage personen dat geurhinder ervaart bij het betreden van een kantoorruimte. Die normen beschermen niet vanzelf tegen andere gezondheidsrisico's.

Onderzoek in scholen en kindercentra, en modelberekeningen geven aanwijzingen dat de kans op o.a. infectieziekten lager wordt wanneer de ventilatie intensiever is dan in de bestaande normen is vastgelegd. Dit geldt waarschijnlijk ook voor het verminderen van gebouwgerelateerde klachten en ziekteverzuim, en het verhogen van leerprestaties.

De beschikbare wetenschappelijke gegevens zijn beoordeeld in een expert-groep. Die groep heeft een aantal keuzes gemaakt.

- De toetswaarden dienen aan te sluiten bij de systematiek van de NEN 13779.
- De in de NEN 13779 genoemde toetswaarden van 6, 10 en 15 l/s per persoon worden voor scholen en kindercentra uitgebreid met een toetsingswaarde van 25 l/s per persoon. Dit komt overeen met 90 m³/h per persoon en met een delta[CO₂] van 250 ppm. Delta[CO₂] is de [CO₂]_{binnen} - [CO₂]_{buiten}.
- Conform de NEN13779 wordt de delta[CO₂] gehanteerd als maat voor de CO₂-concentratie omdat de [CO₂]_{buiten} kan verschillen per locatie en in de loop van de tijd.
- Van de meetwaarden geldt de 98-percentiel zodat de 2% hoogste waarden niet meetellen bij de beoordeling omdat de hoogste CO₂-meetwaarden vaak op een artefact berusten.

Dit leidt tot de toetswaarden en classificatie in tabel 1.

Tabel 1: gezondheidkundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra

ventilatieklasse	CO ₂ -gehalte binnen-buiten 98-percentiel	verse-luchtstroom per persoon	
		liter per sec.	m ³ per uur
0. zeer goed	< 250	> 25	> 90
I. goed	250 - 400	15 – 25	54 – 90
II. matig	400 - 600	10 - 15	36 - 54
III. onvoldoende	600 - 1000	6 - 10	22 - 36
IV. slecht	> 1000	< 6	< 22

De feitelijke luchtstroom kan op verschillende manieren worden bepaald: met behulp van een flow-meter of een tracergas, of met door het meten van de afname van het CO₂-gehalte na het vertrekken van alle aanwezigen.

Het CO₂-gehalte wordt het beste vastgesteld met een 5-daagse meting en registratie tijdens koud of winderig weer, met een meetapparaat op hoofdhoogte niet te dicht bij een ventilatieopening. Tegelijk wordt ter plaatse het CO₂-gehalte buiten gemeten, of dit wordt op 400 ppm gesteld.

De classificatie en de aanbevolen meetmethode bieden een beoordelingskader met expliciete consequenties (zie tabel 2).

Tabel 2: toepassing van ventilatie-classificatie in scholen en kindercentra

<i>CO₂-gehalte binnen - buiten 98-percentiel parts per million</i>	<i>CO₂-gehalte (P98 incl. achtergrond van 400 ppm) ppm</i>	<i>omschrijving</i>	<i>consequentie</i>
< 250	< 650	streefdoel nieuw gebouw	ontwerpdoel bij nieuwbouw en renovatie
250 - 400	650-800	streefdoel bestaand gebouw	overwegen optimalisatie door eenvoudige veranderingen, bijvoorbeeld ventilatiegedrag
400 - 600	800-1000	acceptabel	maatregelen zijn wenselijk, vaak in ventilatiegedrag, maar ook door bouwkundige verbeteringen
600 - 1000	1000-1400	tijdelijk acceptabel	zo spoedig mogelijk maatregelen nemen in ventilatiegedrag en zonodig ook bouwkundige ingrepen
> 1000	> 1400	onacceptabel	meteen maatregelen nemen

Onderzoek naar gezondheidsverlies/winst is wenselijk en zal mogelijk leiden tot strengere toetsingswaarden.

INHOUD

	blz.
samenvatting	2
inhoud	4
aanleiding en procedure	5
ventilatie en binnenmilieu	6
eerdere toetsingswaarden	9
ventilatie en gezondheid	14
aanbevelingen	16
literatuur	19
synopsis van literatuur	22

AANLEIDING en PROCEDURE

Ventilatie is noodzakelijk voor het afvoeren van verontreinigingen (en hun reactieproducten) die merendeels afkomstig zijn van allerlei bronnen binnen en onder gebouwen. Bronnen binnen gebouwen zijn bouw- en afwerkmaterialen, installaties, inrichting, gebruiksvoorwerpen en organismen: mensen, huisdieren, planten, schimmels, mijten, enz. Aan de abiotische bronnen zouden *emissie*-eisen gesteld kunnen worden zoals die gelden voor bronnen buiten zoals voertuigen en bedrijven. Het huidige beleid is echter slechts gericht op eisen aan *gehalten* van sommige stoffen in sommige materialen, met uitzondering van radon waarvoor het doel is de concentratie in binnenlucht niet te laten stijgen. Om de schade aan de gezondheid te beperken blijft ventilatie dus noodzakelijk voor het afvoeren van verontreinigingen.

Er bestaat behoefte om de gezondheidsrisico's te beperken door het beoordelen van de kwaliteit van de binnenlucht. Een dergelijke beoordeling zou zich kunnen richten op het gehalte van relevante verontreinigingen, maar dit is te complex en kostbaar om goed uitvoerbaar te zijn. Een deel van het probleem is op te lossen door algemene eisen te stellen aan de luchtverversing, in termen van minimaal vereiste luchtstromen. Omdat de kwaliteit van de binnenlucht het meest van belang is wanneer er mensen aanwezig zijn, omdat mensen een redelijk voorspelbare exhalatie hebben van CO₂ en omdat CO₂ gemakkelijk meetbaar is, heeft het voordelen om ook toetsingswaarden voor CO₂ te hebben. Daarbij komt nog dat de exhalatie van CO₂ correleert met de bronsterkte van bio-effluenten, micro-organismen, fijn stof en andere verontreinigingen die mensen verspreiden in hun *persoonlijke wolk*.

Uit veel onderzoek is bekend dat de ventilatie van ruimtes met veel kinderen in schoolgebouwen en crèches ernstig tekort schiet, ook in Nederland (Van de Sandt 1987, Leentvaar 1993, Meijer 1994, Van de Weerd 1995, Dolman 1995, Duijm 2000, Van Ass 2003, Wassing 2003, Meijer 2005, Niessen 2005, Joosten 2005, van Bruchem 2005). Het Landelijk Centrum Milieu van GGD Nederland heeft besloten gezondheidkundige toetswaarden voor ventilatie van klaslokalen op te stellen in het kader van de herziening van de Richtlijn Ventilatie Scholen.

Om dergelijke toetsingswaarden te ontwikkelen heeft de werkgroep binnenmilieu van de Vakgroep Milieu en Gezondheid van de GGD Nederland de beschikbare wetenschappelijke literatuur verzameld en de relevante informatie beschreven in uittreksels (zie bijlage). Deze informatie is voorgelegd aan deskundigen met de vraag of zij de weergave juist vonden en of zij nog over andere informatie beschikten.

Met de verzamelde informatie is een voorstel voor een stelsel van toetsingswaarden geformuleerd dat besproken is op een expert meeting op 6 juni 2005. Tijdens de meeting zijn o.a. de volgende vragen aan de orde geweest.

- a. Zijn de bovenstaande uitgangspunten correct?
- b. Bevat de onderstaande tabel consistente waarden?
- c. Is de beschrijving van de betekenis van de vijf klassen passend bij de literatuurgegevens over de gezondheidsrisico's?
- d. Is de benaming van de vijf klassen sprekend?

Tijdens de meeting zijn een aantal keuzes gemaakt die verwerkt zijn in een concept met aanbevelingen. Dit concept is op hoofdlijnen vermeld in de Nieuwsbrief van het Versterkingsproject MMK en gepresenteerd in het periodiek overleg van medisch milieukundigen. De reacties zijn verwerkt in dit rapport. Later zijn door de experts nog nadere gegevens aangedragen. Daarbij is overwogen om een aparte toetswaarde voor kleine kinderen te introduceren, maar dit is bij nader inzien niet gedaan.

VENTILATIE EN BINNENMILIEU

samenhang tussen luchtstroom en $[CO_2]$

Er bestaat een verband tussen ventilatiestroom per persoon en CO_2 -gehalte van de lucht in een ruimte als aan een paar voorwaarden voldaan wordt: een constante productie van CO_2 en een constant ventilatievoud en een goede menging van lucht binnen die ruimte. Uit het CO_2 -gehalte is dus de ventilatiestroom te berekenen en andersom. In dergelijke berekeningen wordt uitgegaan van een gemiddelde persoon met weinig activiteit, maar een concrete situatie is vaak anders. En naast de luchtstroom via ventilatiekanalen kan er luchtverversing optreden door andere luchtstromen zoals infiltratie en exfiltratie via naden en kieren.

Het CO_2 -gehalte van de binnenlucht is mede afhankelijk van het CO_2 -gehalte van de buitenlucht. Dit achtergrondgehalte van CO_2 kan tussen 350 en 500 ppm liggen, met in de stad een gemiddelde van 470 ppm (Fast 1999). Bij druk verkeer kan het gehalte 550 ppm bedragen. De verschillen in plaats en tijd kunnen een aanzienlijke invloed hebben op de gehalten binnen gebouwen. Als de CO_2 -concentratie binnen lager is dan 1000 ppm, valt de ventilatie alleen goed te beoordelen door rekening te houden met de concentratie buiten. Daarom is de beoordeling niet toegepast op het absolute gehalte in de binnenlucht, maar op het verschil in het CO_2 -gehalte tussen binnen en buiten, de delta- CO_2 -concentratie. Deze $\Delta[CO_2]$ bereikt in een stabiele situatie een evenwichtsniveau dat gelijk is aan de verhouding van de productie en de ventilatie. Daarop is de volgende formule van toepassing (Woodcock 2000).

$$\Delta[CO_2] = N / Q$$

waarin $\Delta[CO_2] = [CO_2]_{\text{binnen}} - [CO_2]_{\text{buiten}}$ (in decimalen)
 N = productie van CO_2 per persoon (in m^3/h)
 Q = luchttoevoer = luchtafvoer per persoon (in m^3/h)

De productie van CO_2 van een zittende persoon is ongeveer 20 l/uur = 0,02 m^3/h . Iemand in beweging produceert ongeveer het dubbele. Een kind produceert minder CO_2 dan een volwassene. Voor een 8 – 11 jarige is dit 9-12 l/uur tijdens rekenen, taal, schrijven, tekenen of handenarbeid (schriftelijke mededeling van CWJ Cox). Voor een kind in een leslokaal lijkt 0.01 m^3/h dus een redelijke schatting. Op basis hiervan zou in een basisschoollokaal het volgende verband te verwachten zijn (zie tabel 3).

Tabel 3: theoretisch verwacht verband tussen $\Delta[CO_2]$ en ventilatie

$\Delta[CO_2]$		geschatte ventilatie	
in ppm		in m^3/h per persoon	in l/s per persoon
250		40	11
400		25	7
670		15	4
800		12,5	3,5
1000		10	3
1430		7	2
2000		5	1,4

Een aantal onderzoekers heeft tegelijk de $\Delta[\text{CO}_2]$ en de ventilatiestroom gemeten. De meetgegevens wijzen er op dat de theoretisch verwachte gehalten te laag zijn (zie tabel 4).

Tabel 4: vergelijking tussen gemeten $[\text{CO}_2]$, $\Delta[\text{CO}_2]$ en verwachte $\Delta[\text{CO}_2]$.

	ventilatie in l/s pp	$[\text{CO}_2]$ gemiddeld	$[\text{CO}_2]$ bovenwaarde	$\Delta[\text{CO}_2]$ gemiddeld	$\Delta[\text{CO}_2]$ bovenwaarde	verwacht $\Delta[\text{CO}_2]$ o.b.v. ventilatie
Smedje 2000	1.3		1050			2100
Van Bruchem 2005	1.7	1230				
Joosten 2005	1.9	1270 (P50)	1780 (P95)			
Bartlett 2004	(2)	1080				1400
Van Bruchem 2006	2.3	1940				
Joosten 2005	3.1	1500 (P50)	2130 (P95)	1000 (P50)	1630 (P95)	
Van Bruchem 2005	3.4	1270				
Smedje 2000	3.9		930			700
Smedje 2000	4.4		1020			630
Joosten 2005	4.7	890 (P50)	1120 (P95)			
Wargocki 2005	4.7	1050	1220	650	820	590
Joosten 2005	4.8	1180 (P50)	2130 (P95)			
Van Bruchem 2005	4.9	1220				
Wargocki 2005	5.7	950	1140	550	740	440
Vna Bruchem 2005	6.1	1260				
Smedje 1996	6.9		910			400
Noy 1998	6.9		940-1070			400
Bartlett 2004	(8)	850				340
Wargocki 2005	9.9	740	830	340	430	280
Smedje 2000	11.5		780			240
Joosten 2005	12.4	1250 (P50)	1880 (P95)			

De uitkomsten per lokaal verschillen nogal van de theoretisch te verwachten gehalten, ook als rekening wordt gehouden met het aantal leerlingen en het ventilatievoud of luchtstroom. Ze zijn blijkbaar ook afhankelijk van andere factoren. Deels kan het aan de meetmethoden liggen. Door sommige onderzoekers is de $[\text{CO}_2]$ kortdurende gemeten aan het eind van een les. Ook zijn $[\text{CO}_2]$ en ventilatievoud of luchtstroom soms niet gelijktijdig gemeten.

Een verklaring kan zijn dat de menging van de ventilatielucht en de uitademingslucht niet volledig is voor het bereiken van het meetapparaat, met name bij een verdringsventilatie (Noy 1998). Maar de meeste scholen hebben mengventilatie en daarbij zijn de gehalten op diverse meetpunten vaak ongeveer gelijk (Fox 2003). In sommige gevallen is de luchtstroom via de ventilatievoorzieningen zeer klein bijvoorbeeld 130 of 140 m³/h (Joosten 2005, Van Bruchem 2005). Waar deze luchtstroom klein is, kan de luchtverversing relatief sterk toenemen door andere luchtstromen, zoals infiltratie via naden en kieren. Ook het openstaan van een deur tussen lokaal en gang is dan van belang (Joosten 2005). Een andere mogelijkheid is dat de kinderen vaak meer CO₂ produceren dan 0,010 m³/h. Voor de hoogste waarden van CO₂ lijkt het passender om rekening te houden met een productie van 0,020 m³/h per leerling, ook in basisscholen. Dit komt overeen met het uitgangspunt in de CPR 1752 namelijk 19 l/h per leerling.

In de praktijk zullen CO₂-productie en ventilatie vaak niet constant zijn. Een kortdurende meting kan de situatie op andere tijdstippen niet voorspellen. Een langdurige continu gemeten $[\text{CO}_2]$ laat sterk wisselende waarden zien. De gemiddelde waarde geeft weinig informatie over eventuele te hoge waarden. De hoogste waarde kan een indicatie geven voor de mate van

tekortschieten van ventilatie. Het is daarom logisch deze plafondwaarde te toetsen aan een norm.

De hoogste waarde houdt meestal niet langdurig aan. Dit is te verklaren door de veelheid van factoren die invloed hebben, o.a. het activiteitsniveau van de leerlingen. Het duurt een tijdje voordat de evenwichtsconcentratie van CO₂ bereikt is en hij is gauw verstoord, bijvoorbeeld door het open zetten van een binnendeur. Toch zijn de hoogste waarden een maat voor de relatieve zwakheid van het afvoersysteem, bijvoorbeeld afhankelijkheid van een open binnendeur.

Het hoogste CO₂-gehalte zegt iets over de mate van ventilatie, maar niet of de ventilatie voldoende is of onvoldoende. Dat hangt af van de kans op ongewenste effecten in relatie tot het CO₂-gehalte. De kans op geurhinder, onwelbevinden, suboptimale prestaties, luchtwegklachten en ziekten neemt toe met het CO₂-gehalte. Er bestaat geen duidelijke drempelwaarde. Om kans op ongewenste effecten te bepalen, zijn gemeten CO₂-gehalten in principe te vergelijken met een dosis-respons schaal. Een dosis-respons schaal is niet zomaar beschikbaar, zeker niet voor alle effecten, maar moet uit de wetenschappelijke literatuur worden afgeleid.

samenhang tussen [CO₂]-afname en ventilatievoud

De verdunning van bio-effluenten hangt sterk samen met de [CO₂]. De verdunning van andere stoffen hangt meer samen met het ventilatievoud. Het ventilatievoud is het aantal luchtwisselingen per uur in een ruimte. Het ventilatievoud valt te berekenen uit de snelheid van vermindering van een tracergas na het beëindigen van de bron van dat gas. Als tracergas kan CO₂- gebruikt worden. Het meten van [CO₂] aansluitend aan het vertrekken van alle aanwezigen geeft dus inzicht in de luchtverversing. Een dergelijke afleiding is alleen afhankelijk van de mate van ventilatie en een goede menging van lucht in een ruimte, maar niet van de bronsterkte. Het ventilatievoud valt als volgt te berekenen (Fast 1999).

$$VV = \ln \frac{\Delta[CO_2]_{t_2}}{\Delta[CO_2]_{t_1}} / \Delta(t_2 - t_1)$$

waarin VV = ventilatievoud (*in luchtwisselingen/uur*)
 en $\Delta(t_2 - t_1)$ = het interval waarin [CO₂] daalt (*in uren*)
 en $\Delta[CO_2]_{t_2} = [CO_2]_{\text{buiten}} - [CO_2]_{\text{binnen}}$ op tijdstip t_2 (*ppm*)

Daarbij dienen uit de verkregen gegevens de tijdstippen t_1 en t_2 zodanig gekozen te worden dat binnen het interval een gelijkmatige (logaritmische) afname van [CO₂] optreedt. Het ventilatievoud vermenigvuldigd met de inhoud van de ruimte (*in m³*) levert de luchtstroom (*in m³/h*).

EERDERE TOETSINGSWAARDEN

Al in 1858 heeft Von Pettenkofer aanbevolen om de CO₂-gehalten lager te houden dan 1000 ppm om de geur van menselijke bronnen te beperken. In Nederland zijn in de afgelopen decennia diverse toetsingswaarden voor CO₂ gehanteerd, meestal 1000 of 1200 ppm op basis van de subjectieve luchtkwaliteit en acceptatie van een arbitrair percentage gehinderden. Veel van deze waarden zijn gebaseerd op een onderzoek van TNO in kantoorruimten (Bouwman 1981). Daarin is echter al vanaf 650 ppm toenemende hinder beschreven. In de normen is geen rekening gehouden met andere bronnen van verontreiniging dan de aanwezige personen. Ook zijn de toetsingswaarden niet gericht op het voorkomen van andere effecten dan hinder door bio-effluenten.

De Gezondheidsraad (1984) heeft voor woningen een luchtverversing aanbevolen van tenminste 25 m³/h per persoon. Uitgangspunt was dat hinder door lichaamsgeuren te vermijden is door 25 – 35 m³/h pp te ventileren bij normale huiselijke activiteiten. De Gezondheidsraad beschouwt de bewoners als onvermijdbare bronnen. Voor vermijdbare bronnen zoals chemische stoffen uit producten vindt de Gezondheidsraad dat productnomen in de Warenwet e.d. vastgelegd dienen te worden waarbij risico's voorkomen moeten worden door preventief productonderzoek op basis van een ventilatiestroom van 5 m³/h per persoon. Een dergelijk bronbeleid is echter niet geëffectueerd.

Naast deze advieswaarden gelden een aantal wettelijke of beleidsmatige normen. Het Bouwbesluit 2003 vereist bij nieuwbouw van scholen dat in lokalen van meer dan 2 m² per persoon voorzieningen aangebracht worden met een capaciteit voor tenminste 2.8 dm³/s per m² vloeroppervlakte. In een lokaal met 2 m² of minder per persoon is dat 7 dm³/s per m². Voor een klaslokaal van 50 m² betekent dit 504 m³/h voor 24 leerlingen en 1260 voor 25 of meer leerlingen. De ventilatiecapaciteit is dan 21 tot 50 m³/h per persoon. Volgens de toelichting is het niet toegestaan een ruimte te gebruiken met meer personen dan waarvoor de ruimte is ontworpen in de bouwaanvraag.

Het Bouwbesluit 2003 vergt voor bestaande schoolgebouwen een ventilatiecapaciteit van slechts 1.1 dm³/s/m². Voor een klaslokaal van 50 m² betekent dit 198 m³/h. Voor 30 personen komt dit neer op 6.6 m³/h pp. In een slotbepaling staat dat in oudere gebouwen, als de bouwaanvraag is ingediend voor de inwerkingtreding van het Bouwbesluit 2003, de voorschriften van toepassing blijven die golden ten tijde van de indiening.

De NEN 1089, wettelijk van kracht tussen 1992 en 2003, vereiste in een schoollokaal een ventilatiecapaciteit van tenminste 5.5 dm³/s per leerling, oftewel 19.8 m³/h pp, plus 35 m³/h per leerkracht. Dit kwam overeen met 609 m³/h voor 30 personen. Deze eisen waren afgeleid uit een maximaal acceptabel CO₂-gehalte van 1200 ppm om het percentage geurgehinderden te beperken.

Alle bouwwettelijke ventilatie-eisen betreffen de theoretische capaciteit onder modale weersomstandigheden. De luchtstroom kan beduidend lager zijn door suboptimaal gebruik van de ventilatievoorzieningen, maar ook door obstakels buiten of binnen, of door weinig wind of geringe temperatuursverschillen tussen buiten en binnen. De feitelijke capaciteit van roosters en mechanische ventilatie kan sterk teruglopen door gebrekkige reiniging en fouten in het onderhoud. Ook ontwerp en aanleg vertonen veel tekortkomingen, onder andere een te geringe dimensionering, waardoor de theoretische capaciteit van het begin af aan niet gerealiseerd wordt.

Het Arbobesluit vereiste een luchtverversing van tenminste 20 m³/h per persoon in schoolgebouwen, maar deze beleidsregel 6.2 is onlangs vervallen in het kader van het verminderen van de regelgeving. Er bestonden geen argumenten dat deze specifieke regel overbodig was ter bescherming van de gezondheid. Wel geldt nog de algemene regel dat een werkgever moet zorgen voor gezonde werkomstandigheden.

Verder geldt een MAC-waarde van 5000 ppm, die met name bij het werken met zuivere CO₂-bronnen van toepassing is.

Europese norm

Een werkgroep van de Europese normeringorganisatie CEN (EU committee for standardisation) heeft in 1998 het technisch rapport *CR 1752 Ventilation for buildings; design criteria for the indoor environment* opgesteld. Het rapport formuleert o.a. toetsingswaarden voor ventilatiestroom en CO₂ in diverse gebouwen, waaronder scholen en kindercentra, maar niet specifiek voor woningen.

Daarbij worden drie arbitraire kwaliteitsniveaus onderscheiden naar het percentage personen met een negatief oordeel over de luchtkwaliteit bij binnenkomst in een bepaalde ruimte (zie tabel 5).

Tabel 5: kwaliteitsniveaus in de CR 1752.

	<i>ventilatie-debiet per aanwezige</i>	$\Delta [CO_2]$
<i>15% negatief oordeel</i>	10 l/s = 36 m ³ /h	460 ppm
<i>20% negatief oordeel</i>	7 l/s = 25 m ³ /h	660 ppm
<i>30% negatief oordeel</i>	4 l/s = 14 m ³ /h	1190 ppm

Volgens de CR 1752 kan hieruit een minimum-eis gekozen worden voor leslokalen en andere ruimten waar veel mensen bij elkaar zitten. Voor kindercentra wordt een minimum-eis van 12, 8.4 resp. 4.8 l/s aangegeven voor de drie kwaliteitsniveaus. Deze eis is iets hoger omdat rekening is gehouden met een extra geurproductie door onzindelijkheid van jonge kinderen.

Bovenop de minimum-eis stelt de CR 1752 een additionele eis voor van 2.0, 1.4 resp. 0.8 l/s/m² vloeroppervlak voor zowel scholen als kindercentra. Dit is bedoeld voor het afvoeren van verontreiniging uit diverse bronnen binnen. Voor een gebouw dat bijzonder weinig bronnen telt, kan de additionele eis de helft lager zijn.

Uitgaande van een gemiddelde gebruikersdichtheid van 1 persoon per 2 m² vloeroppervlak, geeft de CR 1752 een richtlijn voor ontwerpers (= additionele eis + de helft van het debiet per aanwezige), zie tabel 6.

Tabel 6: streefdoel voor ontwerp volgens de CR 1752.

	<i>ventilatie-debiet leslokaal</i>	<i>ventilatie-debiet kindercentrum</i>
<i>15% negatief oordeel</i>	7,0 l/s/m ² = 25,2 m ³ /h/m ²	8,0 l/s/m ² = 28,8 m ³ /h/m ²
<i>20% negatief oordeel</i>	4,9 l/s/m ² = 17,6 m ³ /h/m ²	5,6 l/s/m ² = 20,2 m ³ /h/m ²
<i>30% negatief oordeel</i>	2,8 l/s/m ² = 10,1 m ³ /h/m ²	3,2 l/s/m ² = 11,5 m ³ /h/m ²

In september 2004 heeft de CEN de European Standard EN 13779 vastgesteld. De EU-staten moeten voldoen aan de verplichtingen die vastleggen hoe zij deze norm zonder wijziging dienen over te nemen, uiterlijk in maart 2005. Daarbij moeten de staten de EN 13779 de status

geven van nationale norm en strijdige nationale normen intrekken. Het NNI heeft eind 2004 de NEN-EN 13779 gepubliceerd (en daarmee de NEN-EN 13779:1999-ontw. vervangen) met als ondertitel: *ventilatie voor utiliteitsgebouwen – prestatieeisen voor ventilatie- en kamerbehandelingssystemen*. Na het titelblad en het Nederlandse voorwoord is de engelse tekst van de Europese norm integraal overgenomen. De norm is vrijblijvend zolang er geen wettelijke regeling naar verwijst.

De norm is bedoeld om in alle seizoenen een comfortabel en gezond binnenmilieu te bereiken met acceptabele kosten van installatie en gebruik. De norm is primair afgeleid voor kantoren en is expliciet van toepassing op het ontwerpen van systemen voor ventilatie en *room-conditioning* in gebouwen voor menselijk gebruik. Uit een tabel blijkt dat het ook kan gaan om scholen, kindercentra, ziekenhuizen, hotels, restaurants, winkels, bioscopen, musea, bibliotheken, vergaderzalen, sportzalen, zwembaden en toiletten. De norm heeft geen betrekking op woningen en op natuurlijke ventilatie.

De norm 13779 gaat uit van een basale classificatie voor binnenlucht in 4 categorieën van *indoor air* in een verblijfsgebied (zie tabel 7).

Tabel 7: classificatie voor binnenlucht volgens de norm 13779.

<i>IDA 1</i>	high quality
<i>IDA 2</i>	medium quality
<i>IDA 3</i>	acceptable quality
<i>IDA 4</i>	low quality

De invulling van de categorieën hangt af van de bronnen van verontreinigingen. De kwaliteitsklassen hebben betrekking op de perceptie door personen met of zonder gewenning, of op de kans op slijmvliesirritatie, toxische effecten, infecties, allergische reacties of kanker. Omdat het moeilijk is al deze kwaliteitsaspecten in te vullen, beperkt de norm 13779 zich tot een uitwerking van de classificatie voor CO₂, decipol en luchtstroom per persoon en per vloeroppervlak. Van de indeling naar decipol is vermeld dat die in de praktijk moeilijk is toe te passen. Een decipol is de luchtverontreiniging in een ruimte met een luchtverversing van 10 l/s en met een verontreinigingsbron met een sterkte van 1 olf, bijvoorbeeld afkomstig van een schone volwassene met zittende bezigheden bij een neutrale temperatuur. Een leerling produceert een lichaamsgeur van ongeveer 1.3 olf; een kind in een crèche ca 1.2 olf (NPR-CR 1752).

Voor ruimten die gebruikt worden door mensen en waarin geen andere relevante bronnen van verontreiniging aanwezig zijn, gelden de volgende klassengrenzen (zie tabel 8).

Tabel 8: klassengrenzen volgens norm 13779.

	$\Delta[CO_2]$	ventilatie-debiet per aanwezige	ventilatie-debiet per vloeroppervlak.
1. <i>high</i>	< 400 ppm	> 15 l/s = > 54 m ³ /h	*)
2. <i>medium</i>	400 - 600 ppm	10 - 15 l/s = 36 - 54 m ³ /h	> 2.5 m ³ /h/m ²
3. <i>acceptable</i>	600 - 1000 ppm	6 - 10 l/s = 22 - 36 m ³ /h	1.3 - 2.5 m ³ /h/m ²
4. <i>low</i>	> 1000 ppm	< 6 l/s = < 22 m ³ /h	< 1.3 m ³ /h/m ²

*) deze benadering is niet toepasbaar op de klasse IDA 1.

Deze toetsingswaarden impliceren een CO₂-productie van ongeveer 0,022 m³/h per persoon.

Voor het geval men gebruik wil maken van een typerende waarde uit een klasse, vermeldt de norm 13779 ook default-waarden (zie tabel 9).

Tabel 9: default-waarden volgens norm 13779.

	$\Delta[CO_2]$	ventilatie-debiet per aanwezige	ventilatie-debiet per vloeroppervlak.
1. <i>high</i>	350 ppm	20 l/s = 72 m ³ /h	*)
2. <i>medium</i>	500 ppm	12.5 l/s = 45 m ³ /h	3 m ³ /h/m ²
3. <i>acceptable</i>	800 ppm	8 l/s = 29 m ³ /h	2 m ³ /h/m ²
4. <i>low</i>	1200 ppm	5 l/s = 18 m ³ /h	1 m ³ /h/m ²

*) deze benadering is niet toepasbaar op de klasse IDA 1 .

Voor ruimten waarin gerookt wordt, is aangegeven dat de luchtstroom per persoon 2 maal zo hoog moet zijn.

Tevens is vermeld dat het sterk aan te raden is gebruik te maken van emissie-arme materialen, inclusief vloerbedekking, meubilair en het ventilatie- of air-conditioning systeem zelf om niet de toevoer van buitenlucht te hoeven verhogen om de vermijdbare emissies te verdunnen. Als van een bron in het binnenmilieu de bronsterkte en een Toelaatbare Concentratie in Lucht bekend zijn, dan kan de vereiste ventilatiestroom q_v (in m³/s) als volgt berekend worden voor een stabiele situatie.

$$q_v = q_m / (C_{IDA} - C_{SUP})$$

Daarin is q_m de bronsterkte (in mg/s), C_{IDA} is de TCL-waarde (in mg/m³), C_{SUP} is de concentratie in buitenlucht (in mg/m³).

Deze berekende specifieke eis prevaleert als hij strenger uitvalt dan de algemene eis. Als de eis te berekenen valt voor verscheidene stoffen, dan geldt de strengste eis.

Voor een kortdurende emissie geeft de norm 13779 een andere formule in paragraaf 6.4.2.3.

Voor de afzuiging in een keuken voor eenvoudig gebruik (b.v. voor het bereiden van hete drank) en een *toilet/washroom* gelden de volgende eisen (behalve in ziekenhuizen en speciale bedrijfsgebouwen met specifieke behoeften), zie tabel 10.

Tabel 10: eisen voor de afzuiging van een keuken en toilet/washroom volgens norm 13779.

	ventilatie per ruimte	ventilatie per vloeroppervlakte
<i>eenvoudige keuken</i>	> 20 l/s = > 72 m ³ /h	- -
<i>“toilet/washroom”</i>	> 6.7 l/s = > 24 m ³ /h	> 1.4 l/s/ m ² = > 5 m ³ /h/m ²

Bij luchtafzuiging vlakbij het closet kan een debiet van 10 tot 20 m³/h voldoende zijn. Verder vermeldt de norm 13779 eisen voor temperatuur, lichtsnelheid (tocht), relatieve luchtvochtigheid, geluid, licht, openingen voor lucht-inlaat en –uitlaat en hun onderlinge afstand, luchtfilters, onderhoud en calculaties.

Rotterdamse norm

Voor woningen stellen auteurs van de GGD Rotterdam in het Praktijkboek Gezonde Gebouwen van ISSO/SBR een andere indeling voor dan de IDA-classificatie (zie tabel 11). De voorgestelde ABC-classificatie wijkt ook af van de ABC-classificatie van de CR 1752, die overigens voor woningen niet is uitgewerkt.

Tabel 11: ABC-classificatie volgens Praktijkboek Gezonde Gebouwen.

	<i>ventilatie-debiet per persoon</i>	<i>[CO₂]</i>
<i>A. zeer goed</i>	19 l/s = 70 m ³ /h	< 500 ppm
<i>B. goed</i>	14 l/s = 50 m ³ /h	500 - 750 ppm
<i>C. minder goed</i>	8 l/s = 30 m ³ /h	750 - 1000 ppm

Evenals in de IDA-classificatie zijn er duidelijke klassengrenzen omschreven voor het CO₂-gehalte. Daardoor zijn woningen eenduidig in een klasse te plaatsen door CO₂-metingen. Soms is het echter handiger om te classificeren op basis van de ventilatiestroom. Helaas zijn voor het debiet geen grenzen aangegeven maar slechts één getal.

De GGD Rotterdam tekent bij de klassen het volgende aan.

A: goede tot zeer goede kwaliteit. Niemand wordt er ziek van. Komt ongeveer overeen met de natuurlijke achtergrond. Prestatie-eis bij nieuwbouw en renovatie opdat de woningen ook geschikt zijn voor personen met luchtwegaandoeningen en andere gevoelige groepen.

B: matige tot goede kwaliteit. Gezondheidsproblemen kunnen optreden bij gevoelige personen.

C: slechte tot matige kwaliteit. Gezondheidsschade of hinder bij aanzienlijk percentage van de bewoners. Als in woning met klasse C gezondheidsklachten optreden die passen bij de minder goede kwaliteit, dan is verbetering tot klasse B ten zeerste aanbevolen.

D. Een kwaliteit slechter dan klasse C is gezondheidkundig niet acceptabel. Een CO₂-gehalte hoger dan 1000 ppm is een overschrijding van een gezondheidkundige grenswaarde. Nadere maatregelen zijn onder alle omstandigheden nodig.

Deze classificatie gaat net als de CR 1752 en de norm 13779 uit van een situatie zonder sterke bronnen van verontreiniging. In een woning waar gerookt wordt bijvoorbeeld, moet de ventilatie veel intensiever zijn om niet-rokers enigszins te beschermen. En eigenlijk geldt hetzelfde voor radon, dat meer slachtoffers maakt dan meeroken. Ook zijn er steeds meer aanwijzingen dat gebouwen veel bronnen bevatten van andere stoffen met een ongunstig effect op de gezondheid. Zonder bronbeleid is te verwachten dat de toetsingswaarden strenger zullen moeten worden. Zeker bij nieuwbouw is het raadzaam daarop te anticiperen. Dat versterkt het spanningsveld met het energiebeleid. Intussen zal het realiseren van bovengenoemde ventilatie al veel energie kosten.

VENTILATIE EN GEZONDHEID

Geen van de normen heeft een expliciete en dus toetsbare gezondheidkundige grondslag anders dan het vermijden van geurhinder. Dit geldt ook voor de Rotterdamse classificatie, hoewel daarin wel sprake is van een 'gezondheidkundige grenswaarde'.

Het is dus de vraag in hoeverre de verschillende kwaliteitsklassen een bescherming bieden tegen gezondheidsrisico's. Alvorens normen breed toe te passen, is het wenselijk ze te vergelijken met informatie uit de wetenschappelijke literatuur. Daarbij is het van belang een onderscheid te maken tussen woningen en diverse soorten utiliteitsgebouwen. Van de utiliteitsgebouwen zijn scholen en kindercentra het belangrijkste voor de openbare gezondheidszorg: zij moeten geschikt zijn voor het herbergen van een gevoelige populatie gedurende een tamelijk lange tijd en met een geringe keuzevrijheid en weinig mogelijkheden tot invloed. Bovendien is de dichtheid van personen er vaak een orde van grootte hoger dan in kantoren of woningen.

Uit onderzoek in kantoren blijkt dat een intensieve ventilatie gunstig is om gebouwgerelateerde klachten en ziekteverzuim te verminderen en om prestaties te verhogen. In kantoren zijn meer klachten van ogen, keel, neus en bijholten beschreven bij een gemiddelde $[CO_2]$ groter dan 500 ppm en nog meer klachten bij een $[CO_2]$ groter dan 800 ppm (Apte 2000).

In kantoren zijn meer SBS-klachten en ziekteverzuim en minder prestatie als de luchttoevoer kleiner is dan 25 l/s per persoon (Wargocki 2002).

Onderzoek in scholen en kindercentra, en modelberekeningen geven aanwijzingen dat in een gegeven ruimte met een bepaald aantal kinderen de kans op infectieziekten evenredig is met de ventilatie. In scholen zijn leerlingen de voornaamste bron van bacteriën in de lucht (Fox 2003). $[CO_2]$ verklaart 44% van de variantie in het gemeten aantal bacteriën in de lucht in scholen (Bartlett 2004). In het gebied tussen 600 en 1600 ppm CO_2 bestaat er een lineaire relatie tussen de $[CO_2]$ en het gemeten aantal bacteriën in schoollucht (Liu 2000). Volgens modelberekeningen neemt de kans op infectieziekten af door ventilatie waarbij de $[CO_2]$ daalt tot 400 ppm (Rudnick 2003). Het risico hangt ook af van het soort micro-organismen; voor weinig besmettelijke soorten zoals TBC of rhinovirus is de kans op overdracht via de lucht tot bijna nul te verminderen door een goede ventilatie (met $\Delta[CO_2] = 400$ ppm).

In een recent Deens onderzoek is gebleken dat het verhogen van de ventilatie van 5.2 naar 9.6 l/s per persoon een positief effect heeft op het maken van rekentaken. Per lokaal nam de ventilatie daarbij toe tot 800 à 880 m³/h. De gemiddelde $[CO_2]$ verminderde van 950 tot 740 ppm en de piekwaarden van 1140 naar 830 ppm (Wargocki 2005).

Eerder waren in Nederlandse scholen al aanwijzingen gevonden voor verbetering van leerprestaties door meer ventilatie (Ten Boske 1997, Noy 1998, Van Buggenum 2003).

interpretatie

In kantoren zijn aanwijzingen gevonden voor een gezondheidsrisico bij een $[CO_2]$ vanaf 500 ppm en een luchttoevoer van < 25 l/s (= 90 m³/h) per persoon. Er is geen reden om uit kantoor-data geen consequenties te trekken voor schoolkinderen:

- kinderen zijn waarschijnlijk gevoeliger dan kantoorwerkers;
- in scholen en kindercentra is het aantal personen per m³ meestal groter dan in kantoren en dus is de relatieve bronsterkte groter wat betreft micro-organismen, huisdier-allergenen en andere

door de mens verspreide agentia.

In schoollokalen is een toenemend risico te verwachten bij een $[\text{CO}_2]$ vanaf 400 ppm. Er is enige *evidence* voor dit gezondheidsrisico vanaf 600 ppm. Het is onbekend hoe groot dat risico is bij een dergelijke $[\text{CO}_2]$. Onderzoek hiernaar is wenselijk en zal waarschijnlijk tot strengere toetsingswaarden leiden indien het maximaal toelaatbare risiconiveau gehanteerd wordt dat in het milieubeleid gebruikelijk is. Dat beleid laat slechts 1 slachtoffer toe door een jaar blootstelling van een miljoen personen.

AANBEVELINGEN

Uit de beschikbare data zijn toetsingswaarden voor scholen en kindercentra af te leiden met de volgende uitgangspunten:

- het verblijf van kinderen op school is verplicht;
- scholen en kindercentra dienen ook voor zeer gevoelige kinderen toegankelijk te zijn zonder nodeloze gezondheidsrisico's.

De expert-groep heeft een aantal keuzes gemaakt.

- De toetswaarden dienen aan te sluiten bij de systematiek van de NEN 13779.
- De in de NEN 13779 genoemde toetsingswaarden van 6, 10 en 15 l/s per persoon worden voor scholen en kindercentra uitgebreid met een toetsingswaarde van 25 l/s per persoon. Dit komt overeen met 90 m³/h per persoon en met een $\Delta[\text{CO}_2]$ van 250 ppm (delta-CO₂-concentratie = $[\text{CO}_2]_{\text{binnen}} - [\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$).
- Conform de NEN 13779 wordt de $\Delta[\text{CO}_2]$ gehanteerd als maat voor de CO₂-concentratie omdat de $[\text{CO}_2]_{\text{buiten}}$ kan verschillen per locatie en in de loop van de tijd.
- Van de meetwaarden geldt de 98-percentiel zodat de 2% hoogste waarden niet meetellen bij de beoordeling omdat de hoogste CO₂-meetwaarden niet zelden op een artefact berusten.

Dit leidt tot de volgende toetswaarden en classificatie (zie tabel 12).

Tabel 12: gezondheidkundige toetsingswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra

ventilatieklasse	$\Delta[\text{CO}_2]$ P98	ventilatie per persoon	
	ppm	l/s	m ³ /h
0. zeer goed	< 250	> 25	> 90
I. goed	250 - 400	15 – 25	54 – 90
II. matig	400 - 600	10 - 15	36 - 54
III. onvoldoende	600 - 1000	6 - 10	22 - 36
IV. slecht	> 1000	< 6	< 22

CO₂-meetmethode

Het gaat niet om een toevallige waarneming of om een gemiddelde concentratie maar om het bepalen van de hoogste waarde die bereikt kan worden in een ongunstige situatie: de volledige groep is aanwezig gedurende een uur met ventilatie in een gebruikelijke stand. Het geijkte meetapparaat registreert gedurende de hele verblijfsduur iedere 1 tot 5 minuten de gemiddelde waarde van de $[\text{CO}_2]$. Voor een betrouwbare waarneming door een GGD dient dit tenminste gedurende 5 schooldagen plaats te vinden tijdens koud of winderig weer. De meting geeft dan een lichte onderschatting van de situatie met ongunstiger weer, extra activiteiten, extra aanwezigen, enz.

Het meetapparaat dient op 1 tot 2 meter hoogte te staan op tenminste 2 meter afstand van een open ventilatiekanaal, rooster, raam of deur, en niet tegen een wand of in een hoekje. Soms treden toch artefacten op b.v. door uitademing dichtbij het meetapparaat. Om voor die pieken te corrigeren worden de hoogste 2% van de waarnemingen gedurende de verblijfsduur niet

meegeteld. De 98-percentiel-waarde geeft een indicatie van de evenwichtstoestand bij de betreffende combinatie van groepsgrootte, lokaalgrootte en ventilatie.

Indien het niet mogelijk is gelijktijdig buiten de $[CO_2]$ te meten, dan kan daarvoor een default-waarde van 400 ppm gekozen worden bij het berekenen van de $\Delta[CO_2]$.

Voor een snelle screening is ook een meting met directe uitlezing gedurende enkele minuten kort voor of aan het einde van een lesuur bruikbaar. Vooral een hoge waarde is dan informatief; om zekerheid te hebben over een lage waarde is langdurige meting noodzakelijk.

Als de meting uitgevoerd wordt tijdens geringe activiteiten valt op grond van de CO_2 -productie te voorspellen dat bij drukker activiteiten de $[CO_2]$ dubbel zo hoog kan zijn. Ook moet geteld worden op een open raam of rooster dat bij ongunstiger weersomstandigheden nog gesloten kan worden.

toepassing

Scholen en kindercentra zijn zelf eindverantwoordelijk voor de kwaliteit van het binnenmilieu en dus voor de feitelijke ventilatie: de aanwezigheid van voldoende voorzieningen en het juiste gebruik ervan. De eigenaar van het gebouw heeft een partiële verantwoordelijkheid voor de installaties en gevelvoorzieningen voor ventilatie: capaciteit, effectiviteit en bruikbaarheid. Bij nieuwbouw is het aan te bevelen een hoog ambitieniveau (klasse 0) te kiezen met het oog op de gezondheid en toekomstige ontwikkelingen, zoals voortschrijdend inzicht in ventilatiebehoefte en veiligheidsniveau, en afname van capaciteit door slijtage, enz. In een situatie met klasse III of IV dienen maatregelen ten minste gericht te zijn op het bereiken van klasse II. In een situatie met klasse IV moeten meteen maatregelen genomen te worden. Die mogen tijdelijk gericht zijn op het bereiken van klasse III om te voldoen aan het ARBO-besluit. Daarna geldt het bovenstaande.

Klasse 0 of I is alleen te bereiken met speciale voorzieningen voor mechanische ventilatie waarbij veel aandacht nodig is om tocht en contaminatie te voorkomen (zie tabel 13).

Tabel 13: toepassing van ventilatie-classificatie in scholen en kindercentra

<i>klasse</i>	<i>consequentie</i>	<i>omschrijving</i>
0.	ontwerpdoel bij nieuwbouw en renovatie	streefdoel nieuw gebouw
I.	overwegen optimalisatie door eenvoudige veranderingen, bijvoorbeeld ventilatiegedrag	streefdoel bestaand gebouw
II.	maatregelen zijn wenselijk, vaak in ventilatiegedrag, maar ook door bouwkundige verbeteringen	acceptabel
III.	zo spoedig mogelijk maatregelen nemen in ventilatiegedrag en zonodig ook bouwkundige ingrepen	tijdelijk acceptabel
IV.	meteen maatregelen nemen, ook om te voldoen aan het Arbo-besluit	onacceptabel

gevolgen

De meeste gevolgen van een gebrek aan ventilatie of een verbetering zijn niet goed te kwantificeren. Overdracht van via de lucht verspreide infectieziekten is door een goede ventilatie te verminderen en overdracht van sommige ziekten (tuberculose, meningitis) is door een zeer goede ventilatie waarschijnlijk bijna helemaal te voorkomen. Ook slijmvliesklachten,

astma, ziekteverzuim en leerprestaties zijn waarschijnlijk gunstig te beïnvloeden met meer ventilatie. Onderzoek hiernaar is wenselijk.

Als kantoor-data gelden in scholen en kindercentra dan is de volgende samenhang van ventilatie en geurhinder te verwachten (zie tabel 14).

Tabel 14: effect van ventilatie op geurhinder

<i>ventilatieklasse</i>	<i>personen percentage dat bij binnentreden een storende geur ruikt</i>
<i>0. zeer goed</i>	ca. 5%
<i>I. goed</i>	ca. 10%
<i>II. matig</i>	ca. 15%
<i>III. onvoldoende</i>	ca. 25%
<i>IV. slecht</i>	> 30%

LITERATUUR

Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air* 2000;10:246-57.

Bartlett KH, Kennedy SM, Brauer M, van Netten C, Dill B. Evaluation and determinants of airborne bacterial concentrations in school classrooms. *J Occup Environ Hyg* 2004;1:639-47.

Bouwman HB. Binnenklimaat in gebouwen. IMG-TNO 1981. in: Onderzoek naar minimum verse luchttoevoer. Rotterdam, ISSO researchrapport RR1.

Dolman STA, Peters VB. Een frisse wind door basisscholen; onderzoek naar binnenklimaat en ventilatiemogelijkheden op basisscholen. Arnhem, Dienst Welzijn en Volksgezondheid GGD Regio Arnhem, 1995.

Duijm F, Meijer G. Ziek van de crèche. *GGD Nieuws* 2000 (6) :13-17.

Fast T, Pijnenburg H. CO₂ in woningen; vooronderzoek naar variatie van het CO₂-gehalte en het gebruik van CO₂ voor schatting van het ventilatievoud. Utrecht, Fastadvies, 1999.

Fox A, Harley W, Feigley C, Salzberg D, Sebastian A, Larson L. Increased levels of bacterial markers and CO₂ in occupied school rooms. *J Environ Monit* 2003;5:246-52.

Gezondheidsraad. Advies inzake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen. Den Haag, Gezondheidsraad, 1984.

Joosten L, Boxem G, Pernot C, Clocquet R. Gezond en tochtvrij ventileren op school onderzocht. *TVVL Magazine* 2005 (10):8-13.

Leentvaar M, Jans H. De kwaliteit van het binnenmilieu na het geven van gedragsadviezen in een aantal lokalen van het Zoomvlietcollege te Roosendaal. Breda, GGD Streekgewest Westelijk Noord-Brabant, 1993.

Liu LJ, Krahmer M, Fox A, Feigley CE, et al. Investigation of the concentration of bacteria and their cell envelope components in indoor air in two elementary schools. *J Air Waste Manag Assoc* 2000;50:1957-67.

Meijer G, Duijm F. Luchtkwaliteit op school. *GGD Nieuws* 1994 (4) :19-22.

Meijer G. Binnenmilieu; ongezonde lucht in Groninger schoollokalen. *GGD Groningen feitenblad* 2005.

NEN-EN 13779 (en) Ventilatie voor utiliteitsgebouwen; prestatieeisen voor ventilatie en kamerbehandelingssystemen. Delft, NEN, 2004.

Niessen W. Kan de citotoets beter ? Een onderzoek naar de invloed van ventilatieadviezen op het binnenklimaat in basisscholen. *GGD Groningen*, 2005.

Noy D. Een gezond binnenklimaat verbetert leerprestaties op scholen. *Verwarming & Ventilatie* 1998;(7/8):677-81.

NPR-CR 1752 (en) Ventilatie van gebouwen; ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden. Delft, NEN, 1999.

Potting J, van der Sandt P, ter Haar Romeny-Wacher I, Brunekreef B, Boleij JSM. Health complaints, CO₂ levels and indoor climate in Dutch schools. *Proceedings Indoor Air Quality and Climate* 1987;vol.3:582-6.

Rudnick SN, Milton DK. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air* 2003;13:237-45.

Slob R, Habets T. *Cahier Luchtkwaliteit Woningbouw in de serie Praktijkboek Gezonde Gebouwen*. Rotterdam, ISSO/SBR, 2003.

Smedje G, Norbäck D, Edling C. Mental performance in secondary school pupils in relation to the quality of indoor air. *Proceedings Indoor Air* 1996:413-8.

Smedje G, Norbäck D. New ventilation systems at select schools in Sweden; effects on asthma and exposure. *Arch Environ Health* 2000;55:18-25.

Ten Boske A. *Luchtkwaliteit in scholen en aandacht van leerlingen*. Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, 1997, afstudeeronderzoek.

Van Ass M, van de Weerd DHJ, Wensveen PJ, de Wolf J. Eindrapportage praktijkexperiment EPA met module binnenmilieu voor 12 scholen in Zwolle en omgeving. GGD RYV rapport 2003.

Van Bruchem M, Boxem G, Smits EHJ. *Luchtkwaliteit en comfort op basisscholen*. TVVL Magazine 2005 (10):16-21.

Van Buggenum S. *Het binnenmilieu van basisscholen en de leerprestaties van leerlingen*. Geleen, GGD Westelijke Mijnstreek, 2003.

Van de Sandt P, Potting J, Hoegen Dijkhof E. *Zieke scholen? Een onderzoek naar het voorkomen van specifieke gezondheidsklachten bij schoolkinderen in samenhang met het kooldioxide gehalte en het binnenklimaat*. Wageningen, Landbouwniversiteit, 1987.

Van de Weerd DHJ, Wensveen PJ, Koster AM. *De kwaliteit van het binnenmilieu in een aantal basisscholen in de regio IJssel-Vecht*. GGD RYV report 1995

Wassing M. *Met de GGD-richtlijn voor ventilatie op pad; een valideringsstudie*. NSPH/GGD Groningen report 2003.

Woodcock RC. CO₂ measurements for IAQ analysis. *Occup Health Safety* 2000;69:56-69.

Wargocki P, Sundell J, Bischof W, et al. *Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)*. *Indoor Air* 2002;12:113-28.

Wargocki P, Wyon DP, Matysiak B, Irgens S. The effects of classrooms temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. *Indoor Air* 2005, proceedings 368-372.

SYNOPSIS VAN LITERATUUR

ONDERZOEK LEERPRESTATIE 1

Myhrvold AN, Olsen E, Lauridsen O.

Indoor environment in schools; pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations.

Proceedings Indoor Air 1996; vol 4, 369-374.

Na het verbeteren van de ventilatie in een deel van 22 klaslokalen met 550 leerlingen van 15 tot 20 jaar, zijn zij in februari-maart in een normale klassituatie onderzocht met behulp van een PC. Gebruikt zijn de concentratietests: *Simple reaction time*, *Choice reaction time* en *Colour word vigilance*. Tevens hebben ze aangegeven in hoeverre ze last hadden van 17 symptomen. Op grond van principal factor analysis van de uitkomsten zijn 12 symptomen samengevoegd in 2 indices met unidimensionele scores.

index I: hoofdpijn, duizelig, zwaar gevoel in het hoofd, moe, moeite met concentreren, onaangename geur

index II: irritatie van keel en/of neus, loopneus, hoestbui, kortademig, tranende ogen

De uitkomsten van de 3 concentratietests zijn samengevoegd in een unidimensionele prestatie-index III.

De indices bleken betrouwbaar en verklaarden 50, 48 resp. 63% van de variantie. De relevantie van de indices voor de grootte van het effect is niet aangegeven.

CO₂ is iedere 10 minuten gemeten en het gemiddelde over de lestijd varieerde tussen 600 en 3827 ppm. Van de onderzochte leerlingen zat 49% in een lokaal met CO₂ < 1000 ppm, 25% tussen 1000 en 1500 ppm, en 26% boven 1500 ppm.

De voor leeftijd gecorrigeerde correlatiecoëfficiënt van CO₂ was .219 (p = .000) met index I, .096 (p = .024) met index II en .111 (p = .009) met index III. De correlatie met index I en II berust vooral op de hogere symptoomprevalentie bij CO₂ > 1500 ppm. Index III toont bij CO₂ = 1000 – 1500 ppm een intermediaire score tussen die van CO₂ < 1000 ppm en > 1500 ppm.

Het onderzoek was oorspronkelijk opgezet als een Solomon 4-group design, maar de gegevens over de 4 groepen zijn niet gerapporteerd. Er is aangegeven dat er wel een pretest is uitgevoerd. Maar er is niet gecorrigeerd voor een eventueel leereffect van de test. Doordat ook niet gerapporteerd over de verandering in prestatie per leerling door verschillen voor en na de interventie, is het geen (semi-)experimenteel maar een transversaal onderzoek. Het is niet duidelijk in hoeverre de scholen random gekozen en dus representatief zijn.

De uitkomsten steunen de hypothese dat prestaties en gezondheidstoestand samenhangen met luchtverversing. De gegevens wijzen op een dosis-respons-relatie tussen CO₂ en concentratietests, maar de betekenis (validiteit) van de verschillen in prestatie is niet vermeld. Het onderzoek geeft een aanwijzing dat het voor de prestaties van de leerlingen gunstig is als het daggemiddelde CO₂-gehalte lager is dan 1000 ppm.

ONDERZOEK LEERPRESTATIE 2

Smedje G, Norback D, Edling C.

Mental performance in secondary school pupils in relation to the quality of indoor air. Proceedings Indoor Air 1996 :413-8.

Random zijn 11 scholen gekozen met ook voortgezet onderwijs. Per school waren er 2 of 3 klassen met leerlingen van 13-14 jaar. In maart-mei zijn 28 klaslokalen onderzocht met o.a. momentane metingen van CO₂, en tracergasmetingen voor het bepalen van het ventilatievoud. In januari-februari was naar hun huisadres al een enquête gestuurd met vragen over gezondheidsklachten en ziekten, over roken en blootstelling thuis. De lijst bevatte ook de vraag: *Do you perceive that your mental performance is impaired due to poor indoor air in school?*

Van de 762 leerlingen stuurden 627 een ingevulde lijst terug. 21% antwoordde ja op de geciteerde vraag. Dit kwam relatief vaak voor bij leerlingen met een voedselallergie, en bij degenen die weinig tevreden waren over de school of het schoolwerk stressend vonden. Het probleem werd ook vaker ervaren in nieuwe of kleine scholen. Hiervoor corrigerend in een multiële logistische regressieanalyse kwam een subjectief verminderde leerprestatie door slechte binnenlucht vaker voor in scholen met gering ventilatievoud, minder ventilatieluchtstroom per persoon, hogere RV of meer respirabel stof, formaldehyde, VOC, bacteriën of schimmels in de binnenlucht. Stof, formaldehyde en VOC waren gerelateerd aan ventilatievoud, maar aantallen bacteriën of schimmels niet.

De gemiddelde ventilatiestroom in lokalen was 6.9 l/s pp (range 0.1 – 19.0). Per l/s pp was de Odds Ratio = 0,9 voor subjectief verminderde leerprestatie door slechte binnenlucht. Per luchtwisseling per uur was de OR = 0.7.

Het gemiddelde CO₂ in lokalen was 910 ppm (range 550-1725).

De uitkomsten zijn consistent. Het onderzoek geeft enige steun aan de hypothese dat een goede luchtverversing in schoollokalen gunstig is voor de leerprestaties. Omdat het om een subjectieve effectmaat gaat, zijn de feitelijke gevolgen voor de leerprestaties niet in te schatten. De uitkomsten geven een aanwijzing dat er een lineair verband is tussen binnenluchtkwaliteit en subjectief verminderde leerprestatie: de prestatie is 10% beter als de ventilatiestroom 1 l/s pp groter is en 30% beter als de ventilatievoud 1/h groter is.

In de gegevens is geen effectdrempelwaarde aan te wijzen; mogelijk treedt de samenhang op vanaf een CO₂ van 550 ppm.

REVIEW LEERPRESTATIES

Mendell MJ, Heath GA.

Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? a critical review of the literature.

Indoor Air 2004;14:1-6.

Suggestive although not fully consistent evidence links low outdoor ventilation rates in buildings to decreased performance in children and adults.

ONDERZOEK LEERPRESTATIE 3

Noy D.

**Een gezond binnenklimaat verbetert leerprestaties op scholen.
Verwarming en Ventilatie 1998 juli/augustus :677-81.**

ten Boske A.

**Luchtkwaliteit in scholen en aandacht van leerlingen.
Eindhoven, TUE, 1997.**

Uitgekozen zijn 4 basisscholen met minimale omgevingsinvloeden zoals verkeerslawaaï. Een interventieonderzoek is gedaan in groep 7 met 26 – 29 leerlingen van 10-11 jaar in hun ‘eigen’ klaslokaal van ca. 55 m². De schoolgebouwen hadden een bouwjaar tussen 1969 – 1995. De ventilatiecapaciteit was per lokaal minder dan 193 l/s en dus minder dan vereist volgens de per 1996 geldende NEN 1089 c.q. NPR 1090.

In oktober-november in een experiment uitgevoerd. Aan de bestaande natuurlijke ventilatie is toegevoegd een tijdelijk mechanisch inblaas- en afzuigstelsel met een capaciteit van 180 l/s. Het stelsel werkte volgens het verdringsprincipe: toevoer laag voor in en afvoer hoog achter in het lokaal. In het stelsel was een naverwarmer opgenomen; de ingeblazen lucht had een ondertemperatuur van ca. 4°C. Er bestond een verticale gradiënt in CO₂, bijvoorbeeld boven vloer ca. 900 ppm en op 2m hoogte ca. 1100 ppm. Bij de metingen is een korte middelingduur gehanteerd (5 minuten?).

Tijdens gebruik van de mechanische afzuiging toonden metingen van CO₂ geen overschrijding van 1200 ppm, met maxima van 940 – 1070 ppm. (De auteur merkt op dat met hetzelfde stelsel wel overschrijding mogelijk is bij intensievere activiteit of oudere kinderen of volwassenen.) Uitschakelen na de les leidt door infiltratie tot een daling van CO₂ op het niveau van buitenlucht in de volgende ochtend.

Met alleen natuurlijke ventilatie en infiltratie bestond een sterke overschrijding van het 1200 ppm niveau gedurende 60 tot 96% van de lestijd, met gehalten ver boven het meetbereik van 3500 ppm, ondanks spuien tussen de lessen. De hoogste gehalten werden gemeten in het nieuwste gebouw.

In 2 scholen werden eerst een dag zonder en daarna een dag met mechanische ventilatie bij de leerlingen aandachtstests gedaan. In 2 andere scholen was de volgorde andersom: de mechanische ventilatie eerst aan en daarna uit. Er is niet ingegrepen in het ventilatiegedrag van de leerkracht. Er is gebruik gemaakt van een testboekje met een serie reken- en intelligentietests. De score op tweede dag was beter dan op eerste dag zoals te verwachten door het leereffect; hiervoor is gecorrigeerd. De uitkomsten toonden een marginaal significant verband tussen aandacht en luchtkwaliteit ($p = .051$). Het effect was niet te kwantificeren in een veelzeggende leerprestatiemaat.

Het onderzoek had een experimentele opzet. De interventie heeft een duidelijk effect gehad op de kwaliteit van de binnenlucht. In het niet-peer-revied tijdschrift ontbreken veel gegevens over de selectie van de scholen, de onderzoeksmiddelen, de uitkomsten, de methode van analyseren, enz. De relatie tussen de binnenluchtmeting en het psychometrisch onderzoek is daardoor niet duidelijk. De uitkomst is niet strijdig met de hypothese dat de een geringe luchtverversing van een klaslokaal een ongunstig effect heeft op de aandacht van de aanwezige leerlingen. Het is niet mogelijk de betekenis (validiteit) van de verbetering van de aandacht af te leiden. Het onderzoek geeft een zwakke aanwijzing dat het voor de prestaties van leerlingen gunstig is semi-momentaan gemeten CO₂-gehalten die 60 – 96% van de lestijd hoger zijn dan 1200 ppm te verlagen naar gehalten die nooit hoger zijn dan 1200 ppm.

ONDERZOEK LEERPRESTATIE 4

Van Buggenum S.

Het binnenmilieu van basisscholen en de leerprestaties van kinderen.

Universiteit Maastricht, Faculteit Gezondheidswetenschappen-Milieugezondheidskunde, GGD Westelijke Mijnstreek, 2003.

In de winter 2002-2003 zijn (random?) 24 basisscholen in Limburg benaderd, waarvan 3 niet wilden meedoen wegens drukte of mogelijke onrust; 3 andere waren ongeschikt wegens verbouwing of een combinatiegroep 6+7. De volgende 6 benaderde scholen wilden en konden wel participeren. De 24 klassen omvatten 620 leerlingen in groep 6.

Het vloeroppervlak van de lokalen was 38-67m². De ventilatiecapaciteit was in 1 lokaal zeer onvoldoende (raamventilatieoppervlak 0,75 m²). In 2 lokalen kan een deel van de ramen niet meer open en in twee andere lokalen ontbreekt de verlengstok om ramen te openen.

In ieder lokaal is 3-4 dagen het CO₂-gehalte elke 2 minuten gemeten met een GRP-300 van Atal. Bij de aanvang van de lessen gaf het meetapparaat 314-525 ppm aan. Er is niet vermeld hoe het apparaat geijkt was. Bij het einde van de lessen waren de waarden 2120-5800 ppm. In ieder leslokaal was het CO₂-gehalte hoger dan 1200 ppm gedurende meer dan 40% van de lestijd. Zelfs het gemiddelde over de lestijd was in 20 lokalen hoger dan 1200 ppm. Het laagste gemiddelde was 1190 ppm; het hoogste 2690 ppm.

De temperatuur was bij de aanvang van de lessen vaak lager dan 20 °C. Tijdens de les steeg de temperatuur in 29% van de lokalen tot boven 25 °C, in een geval zelfs tot 30,7 °C. Er waren geen thermostaten per lokaal of op radiatoren.

605 leerlingen participeerden in psychometrisch onderzoek, met name de Bourbon-Vos-stippeltest en de Teltest. Deze test meten aandacht bij zoeksnelheid resp. aandacht in relatie tot werkgeheugen. Uit het aantal juiste items per tijd worden nauwkeurigheid en snelheid afgeleid. De resultaten van 7,4 resp. 9,3% van de deelnemers waren niet bruikbaar voor analyse (wegens afwijkende leeftijd, ziekte, verkeerd begrepen). Meisjes scoorden beter dan jongens. Leerlingen met een lagere nauwkeurigheidsscore op de Teltoets ook lager scoorden op de CITO-toets Getallen en Bewerkingen. De scores verschilden significant tussen de klassen onderling. In een regressieanalyse waren de scores significant lager bij hogere temperaturen, maar niet bij hogere CO₂-gehalten.

De correlatie van temperatuur en testcores kan causaal zijn. Dat de testcores niet correleren met het CO₂-gehalte kan een paar reden hebben. De gebruikte CO₂-data zijn niet alleen op de dag van de psychometrische tests verkregen. En er zitten het onderzoek geen lokalen met lage CO₂-gehalten. Daardoor was het contrast in blootstelling niet zeer groot. De spreiding van de gemiddelde (1180-2690 ppm) was duidelijk kleiner dan bij b.v Myhrvold (600-3827 ppm). De uitkomsten geven geen steun aan de hypothese dat een hoge CO₂-concentratie leidt tot een afname van leerprestaties, maar zijn ook niet strijdig met die hypothese door methodologische beperkingen.

ONDERZOEK LUCHTWEGKLACHTEN

Smedje G, Norbäck D.

New ventilation systems at select schools in Sweden; effects on asthma and exposure.

Arch Environ Health 2000;55:18-25.

101 van 199 klaslokalen in 40 random gekozen scholen zijn onderzocht, waarvan 51 lokalen zowel voor als na een verbetering van de ventilatievoorzieningen in 12 van de lokalen. CO₂ werd tweemaal (in?) een kwartier gemeten aan het eind van een les. De voormeting was in maart-mei, de nameting in januari-maart 2 jaar later. De onderzochte leerlingen zaten in groepen van ongeveer 7- tot 13-jarigen. Sommige leerlingen hadden geen 'eigen' klaslokaal, de metingen vonden dan plaats in een representatief lokaal.

Vooraf hadden de interventiescholen een slechtere ventilatie dan de controlescholen (VV = 0,5 resp. 3.1/h, en debiet = 1.3 resp. 3.9 l/s pp) en meer respirabel stof in de lucht. Na de interventie was de ventilatie beter (VV = 4.5 resp. 3.0/h, en debiet = 11.5 resp. 4.4 l/s pp) en het stofgehalte was lager dan in de controlescholen; bovendien waren RV, schimmelsporen, formaldehyde en VOS lager. CO₂ nam in de interventiescholen af van gemiddeld 1050 naar 780 ppm; in de controlescholen trad een toename op van 930 naar 1020 ppm. In de scholen met nieuw ventilatiesysteem was het percentage kinderen met astma-klachten (2-jaar incidentie) lager dan in scholen zonder interventie (3,4% vs. 11.1%). In de interventiescholen had 6.3% van de leerlingen meer astma-klachten na de interventie dan ervoor; in de controlescholen trad zo'n toename op bij 12.4%. Dit verschil bleef significant in een multiële logistische regressieanalyse. Het percentage kinderen met astma of allergie voor pollen of huisdieren nam eveneens af, maar niet significant.

Ondanks de interventie heeft het onderzoek geen longitudinale opzet. De korte duur van de CO₂-meting kan door random fouten hebben geleid tot onderschatting van het verband tussen CO₂ en effecten. Dit kan ook zijn opgetreden door een meting in een niet-'eigen' lokaal. Het onderzoek geeft steun aan de hypothese dat betere ventilatie in schoollokalen gepaard gaat met een lager percentage leerlingen met luchtwegklachten. De uitkomsten geven een aanwijzing dat het verlagen van het semi-momenteaan gemeten CO₂-gehalte van ongeveer 1050 naar ongeveer 780 ppm ertoe leidt dat bij maar half zoveel kinderen de astma-klachten toenemen en dat drie maal minder kinderen astma-klachten heeft dan zonder verbeterde ventilatie.

REVIEW LUCHTWEGKLACHTEN, SLIJMVLIESKLACHTEN

Daisey JM, Angell WJ, Apte MG.

Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information.

Indoor Air 2003;13:53-64.

An epidemiological study in 3 complaint and 4 non-complaint Dutch schools (totaling 14 classrooms) assessed relationships between SBS and symptom complaints of children and CO₂ levels and indoor climate. (Potting, Proceedings Indoor Air 1987;vol.3:582-6). The complaint of 'bad odor of the air' was associated with high CO₂ levels.

Concentrations of CO₂ well above 1000 ppm are reported for some non-complaint schools. Willers 1996: median CO₂ concentrations were 1070 ppm (800-1600 ppm) in a study of 10 Swedish non-complaint schools, and 1100 ppm (875-2150) in 11 schools with higher prevalence of sick building syndrome symptoms.

Seppänen 1999: concentrations of CO₂ below 1000 ppm do not always guarantee that the ventilation rate is adequate for removal of air pollutants from indoor sources (in commercial and institutional buildings).

Fisk 2001: of particular concern is the potential for increased risk of contracting certain communicable respiratory illnesses, such as influenza and common colds in classrooms with low ventilation rates.

Although results from the few studies in schools have been inconsistent in associating ventilation rates or CO₂ concentrations and symptoms, a broad literature review for indoor environments more generally suggests a consistent relationship (Seppänen et al, 1999). This review found consistent relations between ventilation rates below 10 l/s per person and increased symptoms among occupants.

Ventilation rates above 10 l/s per person, even up to 20 or 30 l/s per person, were associated in some, but not all, studies, with further significant reductions in occupant symptoms. These findings, most in adults, would apply to school children with two reasonable assumptions: that exposures in schools related to ventilation are similar to those in offices, and that children would be at least as sensitive as adults to these exposures. The findings of Seppänen, together with the data on ventilation inadequacy in current schools, strongly suggest a widespread environmental inadequacy in schools likely to be related to increased symptoms in schoolchildren.

Findings of studies using CO₂ measurements to approximate ventilation rates generally agreed, but not as consistently. Corroborating the Seppänen review conclusions, analysis of a large data set on adults in office buildings found statistically significant, dose-dependent, increases of up to a factor of 6 in the risk of building-related lower respiratory and mucous membrane symptoms when average workday indoor CO₂ concentrations increased by 420 ppm above outdoor levels (Apte et al, 2000).

CO₂ van 1000 ppm kan gepaard gaan met ongewenste gezondheidsrisico's, afhankelijk van bronsterkte.

ONDERZOEK BLOOTSTELLING MICROBIELE STOFFEN 1

Liu LJ, Krahmer M, Fox A, Feigley CE, Featherstone A, Saraf A, Larsson L.

Investigation of the concentration of bacteria and their cell envelope components in indoor air in two elementary schools.

J Air Waste Manag Assoc 2000;50:1957-67.

Lineaire relatie tussen 600 tot 1600 ppm CO₂ en aantal bacteriële KVE in lucht (500 tot 2100/m³), en tussen dezelfde range van CO₂ en muramic acid (marker voor bacteriële celwandcomponent peptidoglycan). De aantallen bacteriën en hun componenten correleren ook met de TSP in lucht en de hoeveelheid stof op oppervlakken. De auteurs denken dat meer ventileren en meer schoonmaken de contaminatie van de lucht zal verminderen.

Aangetoond een toenemende bacteriële blootstelling vanaf CO₂ = 600 ppm. Ook bij lagere gehalten is een samenhang met ventilatie en bronsterkte te verwachten

ONDERZOEK BLOOTSTELLING MICROBIELE STOFFEN 2

Fox A, Harley W, Feigley C, Salzberg D, Sebastian A, Larson L.
Increased levels of bacterial markers and CO₂ in occupied school rooms.
J Environ Monit 2003;5:246-52.

Lokalen hadden tijdens gebruik hoger CO₂-gehalte en meer muramic acid [vooral van Gram-positieven] en 3-OH vetzuren [van Gram-negatieven] dan wanneer niet in gebruik. De aanwezigheid van leerlingen is de oorzaak van de bacterie-gehalten hoger dan in de buitenlucht.

De beste voorspeller van muramic acid was het VV. De binnenlucht bevatte meer endotoxinen doordat het stofgehalte tijdens gebruik hoger was; het stof in de lucht bevatte evenveel endotoxinen als in niet-gebruikte lokalen en iets meer dan in de buitenlucht. Peptidoglycan, waarvan muramic acid een bestanddeel is, en endotoxinen kunnen al in lage gehalten een sterke ontsteking van luchtwegen veroorzaken.

CO₂ was gelijk op diverse plaatsen in een lokaal.

Het is niet duidelijk wat de rol van bacteriën en endotoxine is bij het ontstaan van sensibilisatie. Wel is het aannemelijk deze factoren een ongunstige invloed hebben op het beloop van een al bestaand astma. Het onderzoek toont aan dat het gebruik van lokalen leidt tot een verhoging van de concentratie bacteriën en endotoxinen in de lucht, afkomstig van de aanwezigen zelf en van resuspensie door hun activiteiten

MODELBEREKENING VERSPREIDINGSKANS INFECTZIEKTEN

Rudnick SN, Milton DK.

Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration.

Indoor Air 2003;13:237-45.

De kans op een inhalatoire infectie is mede afhankelijk van de fractie her-ingeademde lucht en dus van het CO₂-gehalte, en dus ook van het aantal aanwezigen in verhouding tot de ventilatie, bijvoorbeeld in eens school. De kans verschilt per micro-organisme. De uitbreiding van de infectieziekte is berekend voor een paar scenario's met 1 infectieus persoon.

Uit een modelberekening blijkt dat een besmettelijke ziekte zoals mazelen zich uitbreidt tot 90% van alle gevoelige leerlingen als het CO₂ gemiddeld = 2000 ppm of meer, en tot 60% bij een CO₂ van 1000 ppm of 20% bij 500 ppm

Een besmettelijke influenza-epidemie komt niet verder dan 15% bij 2000 ppm of 6 % bij 1000 ppm. Bij een delta-CO₂ gemiddeld < 100 ppm is in het gekozen scenario geen verspreiding van de influenza te verwachten.

Een matig besmettelijk TBC of rhinovirus-16 verspreidt zich niet als de delta-CO₂ gemiddeld < 400 ppm, en bereikt 1.5 resp. 4% van de leerlingen als de CO₂ gemiddeld = 1000 resp. 2000 ppm.

De kans op besmetting via de lucht neemt af door toenemende ventilatie. De berekeningen geven aan dat in scholen de kans gering is bij een laag CO₂ en dat een zeer intensieve ventilatie met een zeer laag CO₂ de verspreiding van bepaalde infectieziekten kan voorkomen. Soortgelijke berekeningen zijn ook gedaan voor SARS, waarbij gebleken is dat de kans op SARS-verspreiding van een epidemie ook sterk afhangt van de ventilatie van de ruimte waarin een besmettelijke persoon verblijft tezamen met gevoelige personen. (Liao CM, Chang CF, Liang HM. A probabilistic transmission dynamic model to assess indoor airborne infection risks. Risk Anal. 2005;25(5):1097-107.)

ONDERZOEK BLOOTSTELLING BACTERIEN

Bartlett KH, Kennedy SM, Brauer M, Netten C van, Dill B.

Evaluation and determinants of airborne bacterial concentrations in school classrooms.

J Occup Environ Hyg 2004;1:639-47.

39 basisscholen zonder klachten over vocht of gezondheid

lokalen gemiddeld 272 m³ (177 - 510),

leerlingdichtheid 27.7 / 100m²

leerling-activiteiten onderscheiden in 3 niveaus: zitten, lopen en actief (b.v. bewegingsspel)

gestratificeerde steekproef: central air systems supplying tempered air (32%),

stand-alone unit ventilators or furnaces (29%),

stand-alone rooms (portables) or

no ventilation sources

geen airco

6 meetperiodes in 2 jaar; niet in de zomer

- VV ongebruikt lokaal met ramen en deuren dicht gemeten met tracergas verdwijnsnelheid:

bolus SF₆ en Miran

- luchtstroom toevoer en/of afvoer gemeten met VelociCalc thermo-anemometer
 - CO₂ tijdens normaal gebruik lokaal 6 uur gemeten met IR-monitor
 - CO₂ buiten bij de gevel in de ochtend
 - airborne bacteria op 1m hoogte geteld met Anderson N-6 sampler met trypticase soja agar op 28.3 l/min gedurende 5 minuten direct na het eind van een les (detectielimiet 7 CFU/m³, tellingslimiet 212 CFU/m³) (duplo's: variatiecoëfficiënt 15%)
- binnen meer micrococci, Bacillus spp, stafylococci en coryneformen dan buiten
 geometrisch gemiddelde buiten 26 CFU/m³, binnen 227 CFU/m³ (bij mech.vent. 166 en nat.vent. 324 CFU/m³)

	mechanische ventilatie (n = 62)	natuurlijke ventilatie (n = 54)
CO ₂ gemiddeld	845 ppm (GSD 1.4)	1079 ppm (GSD 1.4)
luchttoevoer	260 l/s	50 l/s
luchtafvoer	100 l/s	5 l/s
VV	0.67 /h	0.18 /h

Aantal kolonies correleert met maat van lokaal (in m³), met activiteit van leerlingen, met RV binnen en buiten, en met ventilatie:

CO ₂	Pearson corr.coef.	r = 0.584	p < .001
luchttoevoer		r = -0.322	< .05
luchtafvoer		r = -0.189	< .001
VV		r = -0.456	< .001

Multivariaat regressie model met CO₂, VV, bouwjaar (ongunstig: 1950–70), lokaalmaat, RV, vochtproblemen en leerlingactiviteit verklaart 60% van de variantie, waarvan CO₂ alleen al 44%.

Uitgesplitst naar soort bacterie blijkt dat micrococci het meest voorkomen in lokalen met jonge leerlingen. Het aantal micrococci hangt sterk samen met CO₂ en luchttoevoer. Het aantal stafylococci correleert niet met ventilatie maar wel met leerlingdichtheid en activiteit. Bacillus hangt samen met CO₂, lokaalmaat en aantallen Bacillus buiten. De coryneformen zijn geassocieerd met open ramen en zichtbare vochtproblemen, maar niet met ventilatie.

Een ongunstige verhouding tussen leerlingdichtheid en ventilatie vergroot de kans op infectieziekten en andere gezondheids problemen door slechte luchtkwaliteit.

ONDERZOEK ZIEKTEVERZUIM

Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, et al.

Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho.

Indoor Air 2004;14:333-41.

Het dagverzuimpercentage gemiddeld per jaar is berekend uit gegevens van de schooladministratie over aantallen leerlingen en verzuimdagen. In de VS heeft verzuim een negatieve invloed op het schoolbudget. Het verzuim werd berekend voor het jaar voor en het jaar na CO₂-metingen in de lokalen. Aansluitend aan de metingen zijn adviezen verstrekt. Er werden 436 klaslokalen onderzocht van 22 scholen waarin de bijna alle lokalen een individuele airco hadden. Het onderzoek bestond uit een inspectie en een momentane CO₂-meting van de ingeblazen lucht en midden in het lokaal, maar tenminste 1 meter vanaf de leerlingen. Hieruit is de delta-CO₂ berekend, het verschil in concentratie binnen – buiten. Het bleek dat in 1 op de 20 lokalen de airco niet aanstond, terwijl in 2 op de 20 een raam open stond. In bijna de helft van de lokalen was de CO₂-concentratie hoger dan 1000 ppm, een indicatie voor inadequate ventilatie volgens de ASHRAE. Dit wijst erop dat daar niet de aanbevolen ventilatie van 7,5 l/s pp werd gerealiseerd. Van de concentraties was 4.5% hoger dan 2000 ppm. De delta-CO₂ lag tussen 10 en 4230 ppm.

De uitkomsten werden in een multivariaat model geanalyseerd met correcties voor SES en ethniciteit. De delta-CO₂ toonde een significante relatie met het verzuim voor en na de metingen.

Het verzuim was gemiddeld 5% en steeg met 0,5 procentpunt per 1000 ppm delta-CO₂. In de 25 onderzochte noodlokalen was het verzuim gemiddeld 2,5% hoger dan in gewone lokalen. In noodlokalen is doorgaans de leerling-dichtheid hoger, m.a.w. de ruimte bevat minder m³ lucht per leerling.

De onderzoekers geven aan dat een korte meting van CO₂ door random errors geleid kan hebben tot een verzwakking van de relatie tussen CO₂ en verzuim. Zij oordelen dat de bevindingen overeenkomen met onderzoek in kantoren. Een mogelijke verklaring dat gebrek aan ventilatie gepaard gaat met een verhoogd aantal ziektekiemen in de lucht. Het extra verhoogde verzuim in de noodlokalen kan een gevolg zijn van hogere gehalten ruikbare en toxische vluchtige organische verbindingen die in ander onderzoek in dergelijke lokalen gemeten zijn.

Het is niet duidelijk wat de betrouwbaarheid is van de verzuimgegevens van de schooladministratie; confounding is denkbaar. De korte duur van de CO₂-meting kan door random fouten hebben geleid tot onderschatting van het verband tussen CO₂ en verzuim. De onderzochte situatie met een hoog percentage airco's verschilt van Nederlandse scholen. Uit ander onderzoek blijkt dat airco's ook een negatief effect op de gezondheid kunnen hebben. Een positief effect van ventilatie in lokalen met een airco kan dus een onderschatting inhouden van het positieve effect van evenveel ventilatie zonder airco's.

Het onderzoek geeft steun aan de hypothese dat een goede luchtverversing gepaard gaat een laag verzuim. De uitkomst geeft een aanwijzing dat het verzuim van leerlingen met 0,5 procentpunt kan dalen door het verlagen van een verhoogd CO₂-gehalte met 1000 ppm. In de gegevens is geen effectdrempelwaarde aan te wijzen; mogelijk treedt de samenhang op vanaf een CO₂ van ca. 400 ppm..

ONDERZOEK SUBJECTIEVE LUCHTKWALITEIT 1

Berglund B, Berglund U, Lindvall T.

Characterization of indoor quality and “sick buildings”.

ASHRAE 1984 :1045-55. Ontleent gegevens aan:

Berglund B, Lindvall T.

Olfactory evaluation of indoor quality.

in: Fanger PO, Valbjörn O (eds). Indoor climate, effects on human comfort, performance and health.

Denmark, Copenhagen, 1979, p 131-56.

Onderzocht schoollokaal = 195 m³, mechanische ventilatie met VV = 1.5 – 1.8/h, spuien tussen de lesuren (van 40 minuten), CO₂ maximum = 1300 ppm, geen klachten van gebruikers, wel onfris voor binnentreders vooral aan het eind van de lesuren, toename van onfrisheid bij > 20 leerlingen en vanaf CO₂ > 800 ppm en debiet = 5-6 l/s pp; bij minder leerlingen overheersen bronnen van het lokaal zelf en in de luchttoevoer. Volgens de auteurs zou voor een frisse lucht in een klaslokaal het CO₂-gehalte dus niet hoger moeten zijn dan 800 ppm en het debiet niet lager dan 5-6 l/s pp (= 18 – 22 m³/h pp).

Ook voor de subjectieve luchtkwaliteit inclusief het vermijden van geurhinder is het wenselijk CO₂ lager te houden dan 800 ppm.

ONDERZOEK SUBJECTIEVE LUCHTKWALITEIT 2

Norbäck D.

Subjective indoor air quality in schools - the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wall materials and volatile organic compounds.

Indoor Air 1995;5:237-46.

6 scholen, waarvan van 2 met textiele vloerdekking, en 2 oude en 2 nieuwe zonder tapijt

Geen (gezondheids)klachten i.v.m. het schoolgebouw.

Vragenlijst voor de leerkrachten die langer dan 4 jaar aan die school les gaven.

CO₂ met Draegerbuisjes gemeten in 6 lokalen per school 5 – 10 maal gedurende 3 minuten aan het eind van de les.

Geen verband gevonden tussen CO₂ en subjectieve luchtkwaliteit.

ONDERZOEK SLIJMVLIESKLACHTEN 1

Norbäck D, Torgen M, Edling C.

Volatile organic compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools.

Br J Ind Med 1990;47:733-41.

6 basisscholen 129 leerkrachten 4 jaar gevolgd

CO₂ gemiddeld 800 ppm

Respirable dust (but not VOC) was enhanced at low ventilation rates (and air humidity).

Incidence of new SBS was related to concentration of respirable dust (and current smoking and psychosocial climate).

ONDERZOEK SLIJMVLIESKLACHTEN 2

Kinshella MR, van Dyke MV, Douglas KE, Martyny JW.

Perceptions of indoor quality associated with ventilation system types in elementary schools.

Appl Occup Environ Hyg 2001;16:952-60. (samenvatting)

vragenlijsten van 403 leerkrachten

PM 0.1 – 1.0 μm binnen/buiten ratio = 0.38 – 0.68

PM 1 – 3 μm 1.39 – 5.47

PM > 3 μm 3.20 – 14.8

gemiddeld CO₂ verschilt per ventilatiesysteem :

- unit ventilator	CO ₂	637ppm	VV = 2.67 /h
- variable air volume		664	2.80
- constant volume system		703	4.61

Variable air volume ging gepaard met minder rode en tranende ogen.

Een unit ventilator ging gepaard met een hogere prevalentie van neusverstopping, keelpijn, hoofdpijn en klachten over stoffigheid. Deze klachten kunnen een gevolg zijn van hogere concentraties PM.

ONDERZOEK SLIJMVLIESKLACHTEN 3

H.W. Meyer, H. Würtz, P. Suadicani, O. Valbjørn, T. Sigsgaard, F. Gyntelberg

Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children.

Indoor Air 2004;14:65-72

1053 schoolkinderen in de leeftijd van 13-17 jaar vulden een vragenlijst in over symptomen die gerelateerd waren aan het schoolgebouw en over andere relevante gezondheidsaspecten. Daarnaast werden een aantal blootstellingsparameters gemeten: de temperatuur, het CO₂-gehalte en de relatieve luchtvochtigheid. Karakteristieken van het gebouw werden bepaald, zoals zichtbare schimmelplekken. Er werden stofmonsters genomen van de vloer, de lucht en de ventilatiekanalen. Het stof werd onderzocht op endotoxines en levensvatbare schimmels.

De resultaten ondersteunen de hypothese dat blootstelling aan schimmels in vloerstof gepaard gaat met gebouwgerelateerde klachten bij Deense schoolkinderen. De relatie bleef bestaan na controle voor de volgende confounders: persoonlijke karakteristieken inclusief astma, hooikoorts, recente luchtwegklachten, roken, psychosociale werkomstandigheden en diverse gebouwkarakteristieken. Het betreft de volgende klachten: irritatie van ogen en keel, hoofdpijn en duizeligheid.

Er werd geen relatie gevonden tussen deze klachten en een verhoogde relatieve luchtvochtigheid of zichtbare schimmelmicrobiële groei.

De aanwezigheid of afwezigheid van een relatie met ventilatie is niet vermeld.

ONDERZOEK SLIJMVLIES

Wålinder R, Norbäck D, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P.

Nasal patency and biomarkers in nasal lavage – the significance of air exchange rate and type of ventilation in schools.

Int Arch Occup Environ Health 1998;71:479-486

Van de 279 medewerkers van 12 willekeurig geselecteerde basisscholen in Uppsala die zijn uitgenodigd voor het onderzoek, hebben er 234 deelgenomen (84%). De afmetingen van de neusholte is gemeten mbv acoustische rhinometrie. In de vloeistof van een neuslavage is gekeken naar de hoeveelheden ECP (eosinophil cationis protein), MPO (myeloperoxidase), lysozyme en albumine. De temperatuur en de luchtuitwisselingssnelheid zijn gemeten in de klaslokalen. Een lagere mate van 'neusklaarheid' en verhoogde niveaus ECP en lysozyme hingen samen met lagere ventilatiehoeveelheden in de scholen. Ofschoon mechanisch geventileerde scholen een hogere luchtuitwisselingssnelheid hadden dan natuurlijk geventileerde scholen, werden in de eerstgenoemde scholen meer neussymptomen gevonden, meer zwelling van het neusslijmvlies en verhoogde niveaus ECP en lysozyme in de vloeistof van de neuslavage. Maar bij 12 personeelsleden, werkzaam in een school met balansventilatie, werden lagere hoeveelheden van de ontstekingsmarkers gevonden dan bij personeel in natuurlijk geventileerde schoolgebouwen. De enige school die voldeed aan de in Zweden aanbevolen ventilatiehoeveelheden, beschikte over balansventilatie en veroorzaakte de minste neusreacties bij het personeel.

Door hoge respons waarschijnlijk geen selectiebias.

ONDERZOEK BLOOTSTELLING

Tortolero SR, Bartholomew LK, Tyrrell S, Abramson SL, Sockrider MM, Markham CM, Whitehead LW, Parcel GS.

Environmental allergens and irritants in schools: A focus on asthma

J School Health 2002;72:33-38

In 385 lokalen van 60 basisscholen in Texas zijn de volgende gegevens verzameld. In stofmonsters van harde vloeren, tapijten en vaste vloerbedekking werden allergenen geanalyseerd. Het CO₂-gehalte is gemeten, evenals de relatieve vochtigheid.

Resultaten:

86% van de lokalen heeft CO₂-gehalte hoger dan 1000 ppm; in 69% van de lokalen is de RV hoger dan 50%; in 20% van de lokalen is de hoeveelheid Der p 1 hoger dan 2000 ng/g stof; in alle scholen werd kakkerlakallergeen aangetoond; in bijna tweederde van de lokalen was het aantal schimmelsporen hoger dan 10.000 col/g. Er is geen kattenallergeen aangetoond.

Omdat de meeste kinderen met astma allergisch zijn voor huisstofmijt en mogelijk voor allergenen afkomstig van andere bronnen, zijn de aangetroffen allergenen een belasting voor kinderen met astma.

ONDERZOEK BRONSTERKTE

Scheff PA, Paulius VK, Curtis L, Conroy LM.

Indoor air quality in a middle school, part II: Development of emission factors for particulate matter and bioaerosols

Appl Occup Environ Hyg 2000;15:835-842

In een school zonder gezondheidsklachten en een goed onderhoudsregime zijn metingen verricht op vier verschillende locaties in het gebouw: de kantine, een scheikundelokaal, een handenarbeidlokaal, de hal bij de hoofdadministratie. Daarnaast is een buitenmeting verricht. Gekeken is naar de hoeveelheid respirabel stof en totaal stof (8-uurs monsters) en naar bioaerosolen (3x per dag gedurende 2 minuten). CO₂ werd continu gemeten gedurende 5 dagen.

De auteurs komen tot de volgende conclusies:

1. Er is een lineair verband aangetoond tussen de bezettingsgraad en het CO₂-gehalte en tussen de bezettingsgraad en de hoeveelheid stof.
2. De gemeten concentraties worden beïnvloed door de (afmetingen van de) ruimten waarin ze gemeten worden, terwijl de emissiefactoren verbanden vertonen die onafhankelijk zijn van de ruimten in het gebouw.
3. De volgende stof- en bioaerosol-emissiefactoren zijn afgeleid uit de metingen en de bezettingsgraad:

Totaal stof	1,28 mg/uur/persoon-uur
Respirabel stof	0,154 mg/uur/persoon-uur
Schimmels totaal	167 CFU/uur/persoon-min
Thermofiele schimmels	36 CFU/uur/persoon-min
Mesofiele schimmels	119 CFU/uur/persoon-min
Bacteriën totaal	227 CFU/uur/persoon-min
Gramnegatieve bact.	69,5 CFU/uur/persoon-min
Grampositieve bact.	191 CFU/uur/persoon-min
Aspergillus	17,0 CFU/uur/persoon-min
Penicillium	161 CFU/uur/persoon-min
Gisten	16,4 CFU/uur/persoon-min

Het vermelde verband tussen bezettingsgraad en gemeten CO₂-gehalte is niet gespecificeerd. Een verband tussen ventilatie en gemeten blootstelling aan stof en micro-organismen is niet vermeld.

ONDERZOEK CRECHE 1

Ferng SF, Lee LW.

Indoor air quality assessment of daycare facilities with carbon dioxide, temperature, and humidity as indicators.

J Environ Health 2002;65:14-18, 22.

Van 122 kindercentra waren 26 bereid tot onderzoek. CO₂ is na ijking een dag gemeten met halfuurwaarden. Voor het betreden 's ochtends vroeg was de achtergrond CO₂ ca. 800 ppm (SD ca. 400 ppm). Tijdens het dutje was in de slaapkamer CO₂ ca. 1250 ppm. Tijdens het verblijf was in de verblijfsruimte CO₂ 1140 ppm (SD 470 ppm). In verblijfsruimten waarin ook werd geslapen, was CO₂ 1300 ppm tijdens het dutje.

“Until now, no indoor air quality standard has been developed specifically for occupants of daycare facilities. Such a standard is desperately needed for young children, as they are more vulnerable than adults to poor indoor air quality.”

ONDERZOEK CRECHE 2

Daneault S, Beausoleil M, Messing K.

Air quality during the winter in Quebec day-care centers.

Am J Public Health. 1992 Mar;82(3):432-4.

Over 90% of 91 day care centers in greater Montreal, Quebec exceeded 1000 ppm of CO₂ during January through April 1989. Four variables were independent positive predictors of CO₂ levels: the density of children in the center; presence of electric heating; absence of a ventilation system; and building age. High levels of CO₂ are associated with respiratory tract and other symptoms. Clear standards and inspection policies should be established for day care center air quality.

ONDERZOEK CRECHE 3

Soe SA, Hammershoy EM.

[Absence because of infectious diseases among children attending day care institutions in a county] [artikel in het Deens]

Ugeskr Laeger. 1991;153(2):104-6.

In a retrospective investigation 28 day institutions with a total of 953 children aged 0-6 years were involved. Absence on account of illness was described on the basis of registration for three months carried out by the staffs of the day institutions. There appears to have been a connection between absence on account of illness and time spent out-of-doors; the greatest illness being observed in the institutions where the children spent least time out-of-doors.

REVIEW CRECHE

Uldall P.**[Forms of care and children's infections. 1. Occurrence and causal factors] [in Deens]****Ugeskr Laeger 1990;152(33):2345-8.**

On an average, preschool children have 6-8 acute infections annually. This corresponds to approximately 80 sick-days per child per annum including mild colds, or 25 days including only days in which the general health is affected. The amount of sickness in children attending day care centres is between 2-7 times as great as that of children cared for in their own homes. In particular, an increased risk has been demonstrated for children attending day care centres to develop conditions such as secretory otitis media, pneumonia, gastroenteritis, hepatitis A and meningitis.

ONDERZOEK KANTOOR LUCHTWEGKLACHTEN, SLIJMVLIESKLACHTEN

Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM.

Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data.

Indoor Air 2000;10:246-57.

Onderzocht zijn 1970 personen in 41 gebouwen. Tegelijk met vragenlijst zijn ook metingen gedaan. De metingen zijn uitgevoerd gedurende 3 werkdagen in de winter en de zomer, buiten en op 3 plekken binnen. CO₂ is real-time IR-gemeten en opgeslagen als 5-minuten gemiddelden. DeltaCO₂ = gemiddelde binnenCO₂ – gemiddelde buitenCO₂. Voortschrijdende uur-gemiddelden binnen – buiten zijn berekend waarvan de hoogste waarde is gehanteerd als maxCO₂.

deltaCO₂ mediaan = 140 ppm (range 6 – 418)

maxCO₂ mediaan = 350 ppm (range 120 – 716)

In slechts 1 gebouw kwamen regelmatig waarden hoger dan 1000 ppm voor.

Op basis van de verdeling over de 41 gebouwen zijn de CO₂-waarden ingedeeld in 5 groepen.

De laagste 10% diende als baseline in een multiële logistische regressie analyse.

Tussen gebouwen met een RV van <20% en >20% bestonden geen significante verschillen in prevalentie van SBS-klachten. Toch zijn de 8 gebouwen met RV <20% (met 391 respondenten) uitgesloten van een deel van de analyses.

DeltaCO₂ > 140 ppm heeft een OR = 1.5 voor neus/sinus-klachten en OR = 1.3 voor slijmvliesklachten i.h.a. (incl. keel en ogen).

DeltaCO₂ continu per 100 ppm een OR = 1.2 voor neus/sinusklachten, OR = 1.5 voor keelklachten en OR = 1.1 voor slijmvliesklachten i.h.a. en OR = 1.4 voor piepen en OR = 1.5 voor benauwdheid.

MaxCO₂ > 350 ppm of per 250 ppm toont verwante relaties, allen is de OR voor keelklachten 2.0 tot 2.3.

Voor de hoogste deltaCO₂ (418 ppm) lopen de gecorrigeerde OR's zelfs nog verder op:

neus/sinusklachten OR = 2.1, keelklachten OR = 6.2, slijmvliesklachten i.h.a. OR = 1.7

piepen OR = 4.5, benauwdheid OR = 4.9. Dit betekent dat bij een daggemiddelde CO₂ van ongeveer 800 ppm (of een uurgemiddelde CO₂ van ongeveer 1000 ppm) de prevalentie van slijmvliesklachten of luchtwegklachten 1.5 tot 6.2 maal hoger is dan bij 400 ppm.

Van de keelklachten kan tenminste 70% weggenomen worden door betere ventilatie of bronbestrijding. Piepen en benauwdheid zijn met 85 en 80% te verminderen.

ONDERZOEK KANTOOR ZIEKTEVERZUIM

Milton DK, Glencross PM, Walters MD.

Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification, and occupant complaints.

Indoor Air 2000;10:212-221

Van 3364 medewerkers van Polaroid Corporation te Massachusetts werd het kortdurend ziekteverzuim in 1994 onderzocht. De medewerkers werkten in 40 gebouwen met 115 werkruimten die onafhankelijk van elkaar geventileerd werden. Op basis van CO₂-metingen in een gedeelte van de werkruimte en de gegevens over de ventilatiesystemen in deze ruimten, werd de ventilatie in twee categorieën verdeeld: matige (12 l/s en per persoon) of grote (24 l/s per persoon) toevoer van buitenlucht. Het ziekteverzuim werd geanalyseerd m.b.v. Poisson regressie analyse en gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht,

anciënniteit, uren van afwezigheid zonder ziekte, ploeg, etniciteit, bezettingsgraad van de werkruimte en soort werkzaamheden (kantoor-, technisch of productiepersoneel).

Bij kantoorpersoneel bedroeg het relatieve risico voor kortdurend ziekteverzuim 1,53 (95% betrouwbaarheidsinterval 1,22-1,92) bij de lagere ventilatiehoeveelheid.

Het artikel geeft geen informatie over de gemeten CO₂-waarden of over de soorten ventilatiesystemen. Ook wordt niet vermeld of er een relatie is tussen het kortdurend ziekteverzuim en ventilatie of binnenmilieuklachten voor de andere twee groepen werknemers: technici en productiemedewerkers.

ONDERZOEK VIRUS IN KANTOOR

Myatt TA, Johnston SL, Zuo Z, Wand M, Kebabze T, Rudnick S, Milton DK.
Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office environments.

Am J Respir Crit Care Med 2004;169:1187-1190

Gedurende 1 werkweek werd de lucht van 9-17 uur gefilterd. Het filter werd geanalyseerd op RNA van rhinovirus. Daarnaast werd de vloeistof van een neuslavage verzameld van medewerkers met bovenste luchtwegklachten. Het CO₂-gehalte werd gemeten als maat voor de ventilatie. Er werd een verband gevonden tussen de kans op een virus in de lucht en een weekgemiddelde CO₂-concentratie groter dan ongeveer 100 ppm boven de achtergrond.

De resultaten suggereren dat gebruikers van gebouwen met een lage toevoer van buitenlucht een verhoogd risico lopen blootgesteld te worden aan infectieuze druppelkernen afkomstig van een collega. Het is niet duidelijk of deze druppelkernen belangrijke infectiebronnen zijn.

REVIEW KANTOOR SLIJMVLIESKLACHTEN, ZIEKTEVERZUIM, PRODUCTIVITEIT

Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pikerling A, Seppänen O, Wouters P.

Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN).

Indoor Air 2002;12:113-28.

Outdoor air supply rates below 25 l/s pp increase the risk of sick building symptoms, increase short term sick leave, and decrease productivity among occupants of office buildings; and that ventilation rates above 0.5 air changes per hour in homes reduce infestation of house dust mites in Nordic countries.

Voor de gezondheid inclusief welbevinden is het nodig driemaal intensiever te ventileren dan dan gebruikelijke normering.

REVIEW KANTOOR SUBJECTIEVE LUCHTKWALITEIT, SLIJMVLIESKLACHTEN EN LUCHTWEGKLACHTEN

Seppanen OA, Fisk WJ, Mendell MJ.

Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings.

Indoor Air 1999;9:226-52.

Almost all studies found that ventilation rates below 10 l/s pp in all building types were associated with statistically significant worsening in one or more health or perceived air quality outcomes. Some studies determined that increases in ventilation rates above 10 l/s pp, up to approximately 20 l/s pp, were associated with further significant decreases in the prevalence of sick building syndrome symptoms or with further improvements in perceived air quality. About half of the CO₂ studies suggest that the risk of sick building syndrome symptoms continued to decrease significantly with decreasing CO₂ concentrations below 800 ppm. The ventilation studies reported relative risks of 1.5 –2 for respiratory illnesses and 1.1-6 for sick building syndrome symptoms for low compared to high ventilation rates.

Verlagen van CO₂-gehaltes tot onder 800 ppm vermindert klachten over slijmvliezen en luchtwegen.