Binnenluchtkwaliteit in basisscholen

en de waarde van kooldioxide als indicator voor luchtkwaliteit

Gezondheidsraad **Voorzitter**
Health Council of the Netherlands

Aan de minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Onderwerp : Aanbieding advies *Binnenluchtkwaliteit in basisscholen*
Uw kenmerk : SAS/mv2008007057
Ons kenmerk : I-103/MD/pm/828-H
Bijlagen : 1
Datum : 29 april 2010

Geachte minister,

Uw voorganger vroeg – mede namens haar collega's voor Wonen, Wijken en Integratie, van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport – advies over de binnenluchtkwaliteit in basisscholen. Hierbij bied ik u dit advies aan. Het is opgesteld door een daartoe door mij geformeerde commissie van de Gezondheidsraad.

Het advies presenteert de stand van wetenschap over de invloed van het binnenmilieu in basisscholen op de gezondheid en het cognitief functioneren van leerlingen. Dit advies is complementair aan een recent advies van de Rijksbouwmeester over scholenbouw. In de adviesaanvraag lag de nadruk op kooldioxide (CO_2) als maat voor luchtverversing en luchtkwaliteit. De commissie heeft zich daarom gericht op verontreinigingen in de binnenlucht waarvan de concentratie wordt beïnvloed door ventilatie. In het begin van het commissieproces zijn enkele maatschappelijke groeperingen schriftelijk in de gelegenheid gesteld om aandachtspunten en suggesties aan te dragen. Het conceptadvies is beoordeeld door de Beraadsgroep Gezondheid en Omgeving.

De commissie constateert dat basisschoolleerlingen in hun klaslokalen blootgesteld kunnen worden aan diverse binnenmilieufactoren die nadelige effecten kunnen hebben op hun lichamelijke gezondheid en cognitief functioneren. Het gaat vooral om fijn stof, ziektekiemen, allergenen, hoge temperatuur en geluid. De commissie is van mening dat CO_2 slechts beperkt bruikbaar is als maat voor de binnenluchtkwaliteit, maar vindt het wel een goede indicator voor luchtverversing. De beschikbare wetenschappelijke gegevens zijn beperkt en vormen volgens de commissie geen reden om voor onderwijsruimten af te wijken van de CO_2-waarde van 1 200 ppm die als grondslag is gehanteerd voor de ventilatie-eisen voor nieuwbouw in het huidige Bouwbesluit.

Bezoekadres
Parnassusplein 5
2511 VX Den Haag
Telefoon (070) 340 51 65
E-mail: marjon.drijver@gr.nl

Postadres
Postbus 16052
2500 BB Den Haag
Telefax (070) 340 75 23
www.gr.nl

Gezondheidsraad **Voorzitter**
Health Council of the Netherlands

Onderwerp : Aanbieding advies *Binnenluchtkwaliteit in basisscholen*
Ons kenmerk : I-103/MD/pm/828-H
Pagina : 2
Datum : 29 april 2010

Aangezien in klaslokalen gemiddelde CO_2-concentraties van 2 000 ppm voorkomen, zullen veel scholen intensiever moeten ventileren om het CO_2-gehalte onder de 1 200 ppm te houden. Ventilatie kan echter ook bijeffecten hebben: tocht, geluidhinder of gezondheidsklachten door stof uit vuile toevoerfilters van ventilatiesystemen. De commissie pleit daarom zowel voor schone ventilatielucht en goede ventilatievoorzieningen als voor voorlichting over een goed gebruik van die voorzieningen.

Gezien de grote lacunes in kennis beveelt de commissie aan om wetenschappelijk onderzoek te laten doen naar de invloed van ventilatie op de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen en op de gezondheid en het cognitief functioneren van leerlingen. Dit onderzoek zou zich in het bijzonder moeten richten op gevoelige groepen, zoals kinderen met astma, chronische hoofdpijn of leerproblemen. Daarnaast acht zij een evaluatie relevant van de maatregelen die worden genomen ter verbetering van het binnenmilieu in scholen.

De commissie spitst haar aanbevelingen toe op basisscholen, maar ze zijn op onderdelen ook relevant voor scholen in het voortgezet of bijzonder onderwijs. De relevantie voor kinderdagverblijven is beperkt: ze verschillen teveel van scholen vanwege de jongere leeftijdsgroep en de andere functie. Dit vergt aandacht bij de koerswijziging in beleid om te streven naar een multifunctioneel gebruik van schoolgebouwen, ook door jongere leeftijdsgroepen.

Van dit advies heb ik tevens een exemplaar aangeboden aan de ministers voor Wonen, Wijken en Integratie, van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.

Met vriendelijke groet,

prof. dr. J.A. Knottnerus

Bezoekadres
Parnassusplein 5
2511 VX Den Haag
Telefoon (070) 340 51 65
E-mail: marjon.drijver@gr.nl

Postadres
Postbus 16052
2500 BB Den Haag
Telefax (070) 340 75 23
www.gr.nl

Binnenluchtkwaliteit in basisscholen

en de waarde van kooldioxide als indicator voor luchtkwaliteit

aan:

de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

de minister voor Wonen, Wijken en Integratie

de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

Nr. 2010/06, Den Haag, 29 april 2010

De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement ‘voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid en het gezondheids-(zorg)onderzoek’ (art. 22 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn & Sport; Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer; Sociale Zaken & Werkgelegenheid, Landbouw, Natuur & Voedselkwaliteit en Onderwijs, Cultuur & Wetenschap. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

De Gezondheidsraad is lid van het European Science Advisory Network for Health (EuSANH), een Europees netwerk van wetenschappelijke adviesorganen.

De Gezondheidsraad is lid van het International Network of Agencies for Health Technology Assessment (INAHTA), een internationaal samenwerkingsverband van organisaties die zich bezig houden met *health technology assessment*.

U kunt het advies downloaden van www.gr.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Gezondheidsraad. Binnenluchtkwaliteit in basisscholen. Den Haag: Gezondheidsraad, 2010; publicatienr. 2010/06.

Preferred citation:
Health Council of the Netherlands. Indoor air quality in primary schools. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2010; publication no. 2010/06.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 978-90-5549-795-9

Inhoud

Samenvatting *11*

Executive summary *19*

1 Inleiding *27*
1.1 Binnenmilieu in scholen niet optimaal *27*
1.2 Beleid voor een beter binnenmilieu in scholen *28*
1.3 Ministers vragen Gezondheidsraad om advies *28*
1.4 Een commissie buigt zich over de vragen *29*
1.5 Werkwijze van de commissie *32*
1.6 Indeling van het advies *33*

2 Invloeden op de gezondheid *35*
2.1 Binnenluchtkwaliteit *36*
2.2 Ervaren binnenluchtkwaliteit *43*
2.3 Kooldioxide en andere indicatoren voor luchtverversing *46*
2.4 Andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren *49*
2.5 Beschouwing *51*

3 Invloeden op cognitief functioneren *55*
3.1 Binnenluchtkwaliteit *56*
3.2 Kooldioxide en andere indicatoren voor luchtverversing *57*

3.3 Andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren *60*
3.4 Beschouwing *61*

4 Kooldioxide als maat voor luchtverversing in klaslokalen *65*
4.1 CO_2 als maat voor luchtverversing of luchtkwaliteit in klaslokalen? *65*
4.2 Onderbouwing van de diverse CO_2-toetsingswaarden *72*
4.3 Heroverweging CO_2-waarde van 1 200 ppm *75*
4.4 Beschouwing *79*

5 Advieswaarden voor het binnenmilieu in scholen *83*

6 Aanbevelingen voor een gezond binnenmilieu op school *85*
6.1 Nader onderzoek en evaluatie *85*
6.2 Eisen aan ventilatievoorzieningen *86*
6.3 Andere maatregelen voor een gezond binnenmilieu *87*

Literatuur *89*

Bijlagen *101*
A De adviesaanvraag *103*
B De commissie *105*
C Broneffectketen binnenmilieufactoren in scholen *107*
D Literatuuroverzicht binnenmilieu scholen en gezondheid *109*
E Geconsulteerde maatschappelijke groeperingen *133*
F Model voor berekening verloop CO_2-concentratie *135*
G Wet- en regelgeving binnenmilieu in scholen *137*
H Gezondheidskundige advieswaarden *141*

Samenvatting

Het kabinet stelde in 2008 dat de kwaliteit van het binnenmilieu op basisscholen te wensen overlaat. Het gaat dan vooral om de luchtkwaliteit tijdens het stookseizoen, de temperatuur in de klaslokalen in de zomerperiode en stoorgeluid. De minister van Ruimte en Milieu vroeg vervolgens – mede namens haar collega's voor Wonen, Wijken en Integratie, van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport – aan de Gezondheidsraad welke kennis er is over de invloed van het binnenmilieu in scholen op de gezondheid en de cognitieve prestaties van kinderen. De minister legde de raad vijf vragen voor, die hierna stuk voor stuk aan bod komen. In het verlengde van de kabinetsvisie over het binnenmilieu op basisscholen richt dit advies zich primair op leerlingen van basisscholen.

Invloeden op de gezondheid en op het cognitief functioneren

Vraag 1. Wat zijn de belangrijkste factoren in het binnenmilieu van scholen die schadelijke effecten kunnen hebben op de gezondheid van kinderen en leerkrachten en cognitieve prestaties van kinderen? Bij welke mate van blootstelling kunnen deze effecten optreden?

De commissie splitst deze vraag op naar invloeden op de gezondheid respectievelijk het cognitief functioneren en geeft daarover de stand van wetenschap weer. Gezien de nadruk in de adviesaanvraag op kooldioxide (CO_2) als indicator voor luchtverversing en luchtkwaliteit, heeft de commissie zich geconcentreerd op

verontreinigingen in de binnenlucht in basisscholen, waarvan de concentratie wordt beïnvloed door luchtverversing (ventilatie). Dit accent sluit ook aan bij de opvattingen van de geconsulteerde maatschappelijke groeperingen. De commissie gaat slechts zijdelings in op andere omgevingsfactoren die samenhangen met ventilatie, zoals temperatuur en geluid.

Invloeden op de gezondheid

Chemische stoffen. Uit buitenlands onderzoek komen aanwijzingen dat formaldehyde, weekmakers en andere (semi)vluchtige organische stoffen in klaslokalen, afkomstig uit bouw- en inrichtingsmaterialen, kunnen leiden tot nadelige effecten op de gezondheid van leerlingen. Dit geldt in het bijzonder voor gevoelige groepen, zoals kinderen met astma. De lucht in klaslokalen kan ook vanuit de buitenlucht worden verontreinigd, bijvoorbeeld nabij drukke verkeerswegen. Ook hierdoor kunnen nadelige effecten op de gezondheid optreden.

Fijn stof. In diverse Europese onderzoeken zijn in de lucht van klaslokalen concentraties fijn stof aangetroffen die de buitenluchtnorm* overschrijden. Dit betreft vooral de grovere fractie van fijn stof, die in de lucht komt door activiteiten van leerlingen. Het is plausibel dat dit stof luchtwegklachten kan verergeren, in het bijzonder bij leerlingen met astma, maar onderzoek hiernaar in scholen is niet verricht.

Infectieuze micro-organismen. Infecties kunnen op verschillende manieren worden overgedragen, in het bijzonder via lichamelijk contact of via de lucht. Scholen spelen een belangrijke rol in de verspreiding van virusinfecties onder de bevolking. De kans op verspreiding van luchtweginfecties, zoals griep, via de school wordt mede bepaald door het gehalte aan ziektekiemen in de lucht van klaslokalen. Er is echter geen geschikt onderzoek beschikbaar naar het verband tussen luchtverversing en het voorkomen van infecties door ziektekiemen in scholen.

Andere microbiologische factoren. Uit buitenlands onderzoek blijkt dat er een verband is tussen zichtbaar vocht en schimmelgroei in scholen enerzijds en ontstekingsreacties van de slijmvliezen en gezondheidsklachten anderzijds. In de binnenlucht en in vloerstof van klaslokalen zijn niet infectieuze bacterie- en schimmelcomponenten gevonden die kunnen leiden tot een toename van luchtwegklachten. Ook treedt op school blootstelling op aan diverse allergenen. Vooral blootstelling aan katallergeen, meegebracht door klasgenootjes met huisdieren thuis, kan leiden tot allergische luchtwegklachten.

---

* 24-uurs advieswaarde fijn stof (PM_{10}): 50 µg/m^3.

Ervaren binnenluchtkwaliteit. In experimenten met vrijwilligers is de CO_2-concentratie in de binnenlucht gebruikt als maat voor het gehalte lichaamsgeurstoffen. Daaruit komt naar voren dat er in het bestudeerde concentratiegebied tot 1 500 ppm CO_2 alleen bij het binnengaan van een ruimte een relatie is aangetoond tussen de CO_2-concentratie en geurhinder. Bij verblijf in de ruimte is die relatie er niet. Bij de gemiddelde CO_2-concentraties zoals die in 2007 in een steekproef van Nederlandse schoollokalen zijn gevonden (circa 2 000 ppm) is het aannemelijk dat een deel van de leerlingen en leerkrachten geurhinder ervaart bij het binnengaan van het lokaal.

Luchtverversing (ventilatie). In onderzoek op scholen wordt de CO_2-concentratie in klaslokalen vaak gebruikt als maat voor luchtverversing. Op basis van de bestudeerde literatuur over scholen is de commissie van mening dat er in verreweg de meeste onderzoeken geen aanwijzingen zijn dat er gezondheidsklachten ontstaan bij gemiddelde CO_2-concentraties onder 1 200 ppm*. In één onderzoek in Zweedse scholen is een aanwijzing gevonden voor een daling van het optreden van astmaklachten na de installatie van een nieuw ventilatiesysteem, waarna de gemiddelde CO_2-concentratie daalde van 1 000 tot 800 ppm. Deze klachten kunnen niet door CO_2 worden verklaard: CO_2 geeft pas bij concentraties van vele duizenden ppm effecten. In die klaslokalen daalde ook de concentratie van andere stoffen in de lucht, hetgeen aldaar tot minder astmaklachten kan hebben geleid.

Temperatuur, luchtbeweging en geluid. Onderzoek naar de effecten van andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren op de gezondheid heeft vooral plaatsgevonden bij volwassenen. Veel scholen hebben rond de zomer een warmteprobleem door instraling van de zon: in 2007 gaf 45 procent van de leerkrachten aan het ’s zomers vaak te warm te hebben in het leslokaal. Een te hoge temperatuur kan niet alleen gepaard gaan met een onbehaaglijk gevoel, maar ook met hoofdpijn of vermoeidheid. Andere veel voorkomende problemen, zoals een te lage temperatuur in de winter, tocht en te veel geluid, kunnen tot een zodanig negatieve beoordeling leiden van de behaaglijkheid van de binnenruimte dat de ventilatievoorzieningen daardoor onvoldoende worden gebruikt.

Invloeden op het cognitief functioneren

Luchtverversing. Van de bestudeerde experimenten is er één die een aanwijzing gaf dat leerlingen enigszins langzamer werkten of meer fouten maakten bij een

* Een maximale CO_2-waarde van 1 200 ppm is in het Bouwbesluit 2003 als uitgangspunt gehanteerd bij het vaststellen van de minimum eisen voor luchtverversing in nieuwe gebouwen.

afname van de ventilatie in klaslokalen die gepaard ging met een toename van de CO_2-concentratie van ruwweg 800 naar 1 600 ppm. De beschikbare gegevens laten geen uitspraak toe over een CO_2-waarde waarbij dit soort cognitieve verschijnselen begint op te treden, noch over de hiervoor mogelijk verantwoordelijke factoren in het binnenmilieu. Het zou kunnen zijn dat het herhaaldelijk optreden van dergelijke effecten op den duur nadelige gevolgen heeft voor de cognitieve ontwikkeling. De commissie beveelt dan ook aan om het effect van de binnenluchtkwaliteit op de leerprestaties, ook op de langere termijn, nader te onderzoeken.

Temperatuur en geluid. Een hoge geluidsbelasting in klaslokalen kan een nadelig effect hebben op het cognitief functioneren van leerlingen. Dat geldt ook voor binnentemperaturen boven de 25°C.

Gezondheidskundig belangrijkste binnenmilieufactoren in scholen

De commissie constateert dat er in scholen blootstelling bestaat aan diverse binnenmilieufactoren die door hun aard nadelige effecten kunnen hebben op de gezondheid van leerlingen. Er zijn echter geen onderzoeken voorhanden die aangeven bij welke mate van blootstelling in de schoolsituatie nadelige effecten beginnen op te treden. In antwoord op de eerste vraag van de minister concludeert de commissie dat op wetenschappelijke basis niet aangegeven kan worden wat in het binnenmilieu van scholen de belangrijkste factoren zijn die nadelige gezondheidseffecten hebben. Niettemin is de commissie bezorgd over de blootstelling aan fijn stof, ziektekiemen, allergenen, hoge temperatuur en geluid in klaslokalen.

Kooldioxide als maat voor luchtverversing in klaslokalen

Vraag 2. Voor welke binnenmilieufactoren in scholen is CO_2 een goede indicator waar het de luchtverversing betreft? In hoeverre is CO_2 een indicator voor de luchtkwaliteit in klaslokalen?

De CO_2-concentratie in een klaslokaal is een goede maat voor de luchtverversing per persoon. In beperkte mate is CO_2 ook een indicator voor lichaamsgeuren. CO_2 is minder bruikbaar als indicator voor door de mens verspreide stofdeeltjes, allergenen en ziektekiemen. De productiesnelheid van CO_2 hangt immers nauwelijks samen met die van andere door leerlingen verspreide stoffen. CO_2 is niet bruikbaar als indicator voor andere stoffen en deeltjes in de binnenlucht, zoals vluchtige organische stoffen, weekmakers, vocht, schimmels of luchtverontreiniging van buiten. CO_2 is daarom slechts een zwakke indicator voor de binnen-

luchtkwaliteit in klaslokalen. Deze conclusies laten onverlet dat het vergroten van de ventilatie zal leiden tot een daling van zowel de CO_2-concentratie, als de concentratie van andere stoffen en kleine deeltjes in de lucht.

Onderbouwing van de diverse CO_2-toetsingswaarden

Vraag 3. Hoe verhouden de motieven en achtergronden van de CO_2-toetswaarde voor ventilatie die gehanteerd wordt door de GGD zich tot de CO_2-concentratiewaarde die beleidsmatig gehanteerd wordt voor het afvoeren van verontreinigingen uit de binnenlucht?

CO_2-toetswaarden GGD. In de GGD-richtlijn 'Beoordelen van ventilatie scholen' wordt geadviseerd te streven naar een CO_2-concentratie lager dan 800 ppm* voor de binnenlucht in scholen. GGD Nederland baseerde zich op een rapport van een door haar ingestelde expertgroep die concludeerde dat er in de literatuur aanwijzingen zijn voor gezondheidsklachten, een verergering van astma, een verhoogd infectierisico en een beperking in het cognitief functioneren van schoolkinderen door binnenmilieufactoren bij CO_2-concentraties lager dan 1 200 ppm. De commissie is van mening dat de bewijskracht van de bestudeerde onderzoeken te beperkt is voor het afleiden van toetsingswaarden.

CO_2-waarde als grondslag Bouwbesluit. De CO_2-waarde van 1 200 ppm als uitgangspunt voor de in het Bouwbesluit minimaal vereiste ventilatiecapaciteit in nieuwe gebouwen was van oudsher bedoeld ter beperking van geurhinder. Deze waarde is in 1984 door de Gezondheidsraad aanvaardbaar geacht voor woningen. De Gezondheidsraad baseerde zich destijds in belangrijke mate op de gegevens uit een experiment uit 1981 met een gering aantal volwassen proefpersonen. De commissie is van mening dat de kwaliteit van deze gegevens zeer beperkt was.

Heroverweging CO_2-waarde van 1 200 ppm

Vraag 4. De capaciteitseisen voor de ventilatie in het Bouwbesluit 2003 voor nieuwbouw, gebaseerd op het vermijden van geuroverlast, zijn afgeleid van het advies van de Gezondheidsraad uit 1984. Zijn er gezondheidskundige redenen om de huidige CO_2-concentratiewaarde van 1 200 ppm te heroverwegen?

Sinds het advies van de Gezondheidsraad uit 1984 zijn zo'n twintig wetenschappelijke artikelen verschenen die informatie geven over de betekenis van de lucht-

* 98e percentiel: de hoogste waarde, exclusief de 2% hoogste meetwaarden.

kwaliteit in scholen voor de gezondheid van leerlingen. Het merendeel van deze onderzoeken laat – afgezien van enige geurhinder bij het binnengaan van een ruimte – geen nadelige effecten zien bij toenemende CO_2-concentraties. Tegelijkertijd is de onzekerheid in de uitkomsten groot, waardoor een effect ook gemist kan zijn. In twee onderzoeken vond de commissie enige aanwijzingen dat er gezondheidsklachten ontstaan of leerlingen minder goed cognitief functioneren bij gemiddelde CO_2-concentraties rond 1 200 ppm. Bij gemiddelde CO_2-concentraties boven 1 500 ppm zijn er meer aanwijzingen dat er in scholen nadelige gezondheidseffecten optreden, maar het is onduidelijk in welke mate. Op basis van de beschikbare gegevens is de commissie van mening dat een CO_2-toetsingswaarde voor luchtverversing in klaslokalen kan liggen in een betrekkelijk ruim gebied rond 1 200 ppm. De gegevens hebben echter onvoldoende zeggingskracht om daarbinnen een wetenschappelijk onderbouwde toetsingswaarde aan te geven. De commissie ziet daarom geen reden om voor klaslokalen af te wijken van de CO_2-waarde van maximaal 1 200 ppm die als grondslag is gehanteerd voor de ventilatie-eisen voor nieuwbouw in het Bouwbesluit. Dit betekent wel dat er kinderen zullen zijn die enige geurhinder ervaren bij het binnengaan van de klas en dat een gevoelig kind een nadelig effect kan ondervinden.

Daar waar de CO_2-waarde is bedoeld als maat voor de ventilatie, moet deze in feite het verschil betreffen tussen de concentratie in de binnen- en de buitenlucht. Een maximale CO_2-concentratie van 1 200 ppm in de binnenlucht komt bij een gebruikelijke buitenluchtconcentratie van 400 ppm overeen met een concentratieverschil tussen binnen- en buitenlucht van maximaal 800 ppm. De commissie stelt voor om een concentratieverschil van 800 ppm als toetsingswaarde te hanteren voor de mate van luchtverversing.

Advieswaarden voor andere binnenmilieufactoren in scholen

Vraag 5: In hoeverre zijn advieswaarden op te stellen voor andere binnenmilieufactoren (dan CO_2) voor zover die verband houden met ventilatie?

De commissie vindt het zinvol dat voor scholen advieswaarden beschikbaar komen voor fijn stof, niet-infectieuze microbiologische componenten, allergenen en temperatuur. Voor deze factoren ontbreken echter nog goede gegevens over blootstelling-effectrelaties.

Aanbevelingen voor een gezond binnenmilieu op school

Gegeven de bevinding dat de gemiddelde CO_2-concentratie in Nederlandse schoollokalen rond de 2 000 ppm ligt, zullen veel scholen intensiever moeten ventileren om het CO_2-gehalte onder de 1 200 ppm te houden. De commissie merkt op dat de daarvoor benodigde ventilatie ook kan leiden tot – onnodige – bijeffecten zoals tocht, geluidhinder of gezondheidsklachten door stof uit de toevoerfilters van ventilatiesystemen, indien deze vervuilen door gebrekkig onderhoud. Dit vereist zowel schone ventilatielucht en goede ventilatievoorzieningen als voorlichting over een goed gebruik van die voorzieningen.

Het wetenschappelijk onderzoek waarop de commissie zich heeft kunnen baseren, is beperkt. Daarom is verder onderzoek nodig naar de invloed van de binnenluchtkwaliteit op de gezondheid en het cognitief functioneren van leerlingen, in het bijzonder bij gevoelige groepen, zoals kinderen met astma, chronische hoofdpijn of leerproblemen. Vooruitlopend op de resultaten van dergelijk onderzoek, adviseert de commissie maatregelen te nemen ter vermindering van blootstelling aan schadelijke binnenmilieufactoren in klaslokalen, die vooral bij kinderen met astma tot klachten kunnen leiden. De overheid kan dit stimuleren door eisen en praktijkrichtlijnen op te laten stellen voor:

- ontwerp, installatie, gebruik en onderhoud van ventilatievoorzieningen op scholen, die niet alleen rekening houden met voldoende luchtverversing, maar ook met het minimaliseren van de afgifte van schadelijke stoffen, tocht- en geluidhinder
- van buiten ingenomen lucht waarmee scholen worden geventileerd; zo zou het ventilatiesysteem van scholen in gebieden met vervuilde buitenlucht, bijvoorbeeld nabij drukke wegen, voorzien kunnen worden van een geschikte filterinstallatie
- een gezond binnenmilieu in scholen, zoals emissie-eisen voor prikkelende stoffen uit bouw-, inrichtings- en lesmaterialen en apparatuur, en richtlijnen voor de keuze van soort vloerbedekking en voor de schoonmaak van klaslokalen.

Executive summary

Health Council of the Netherlands. Indoor air quality in primary schools. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2010; publication no. 2010/06.

In 2008 the Dutch government ascertained that the quality of the indoor environment in primary schools could be improved. The concerns were mainly related to air quality during the heating season, temperatures in classrooms during the summer and annoying noises. Also acting on behalf of her colleagues at the Ministry of Housing and Urban Devolopment, the Ministry of Education, Culture and Science and the Ministry of Health, Welfare and Sport, the Minister of Spatial Planning and the Environment asked the Health Council of the Netherlands what is known about how children's health and cognitive performance are affected by the indoor environment in schools. The five questions the minister put to the Health Council are answered separately below. Following on from the government vision on the indoor environment in primary schools, this advisory report mainly focuses on pupils in primary schools.

Effects on health and cognitive performance

Question 1. What are the most important factors in the school indoor environment that may have a harmful effect on the health of children and teachers and the cognitive performance of children? At what level of exposure can these effects occur?

The Committee divided this question into two parts concerned with effects on health and cognitive performance and provided details of the latest scientific knowledge. Given the emphasis in the request for an advisory report on carbon

dioxide (CO_2) as an indicator of ventilation and air quality, when considering the indoor air of primary schools the Committee focused on pollutants which undergo changes in concentration as a result of ventilation. This emphasis is also in line with the opinions of the civic organisations that were consulted. Other environmental factors which are related to ventilation, such as temperature and noise, are only discussed indirectly by the Committee.

Health effects

Chemical substances. Research abroad indicates that building and furnishing materials, such as formaldehyde, plasticisers and other volatile and semi-volatile organic substances in classrooms may lead to adverse health effects in children. This especially applies to sensitive groups such as children with asthma. The air in classrooms may also be polluted by outdoor air, when they are close to busy roads for example. This can also lead to adverse health effects.

Particulate matter. Various European studies on the air in classrooms found concentrations of particulate matter in excess of the exposure limit for outdoor air*. This mainly applied to the coarser fraction of particulate matter, which enters air through the activities of pupils. This particulate matter could plausibly exacerbate respiratory symptoms, especially in the case of the asthmatic pupils, but no research has been conducted into this.

Infectious micro-organisms. Infections can be transmitted in various ways, particularly through physical contact or through the air. Schools play a major role in spreading viral infections through the population. The likelihood of respiratory infections such as influenza being spread via schools is partly determined by the concentration of pathogens in classroom air. However, no suitable study has been conducted on the link between ventilation and the prevention of infections caused by pathogens in schools.

Other microbiological factors. Studies in other countries indicate a link between, on the one hand, indoor dampness and fungal growth and, on the other hand, inflammatory reactions in mucous membranes and respiratory symptoms. Non-infectious bacterial and fungal components that could lead to an increase in respiratory symptoms have been found in the indoor air and floor covering of classrooms. Exposure to various types of allergens also occurs in schools. In particular, exposure to cat allergens carried by classmates with pets at home can lead to respiratory symptoms caused by an allergic reaction.

---

* 24-hour exposure limit for particulate matter (PM_{10}): 50 $\mu g/m^3$

Perceived indoor air quality. In experiments with volunteers the CO_2 concentration in indoor air was used as a measure for the concentration of body odour substances. The experiments revealed that in the concentration range up to 1,500 ppm CO_2 a relationship between CO_2 concentration and an annoying odour was only demonstrated upon entering a room. There was no relationship when the length of time spent in the room was longer. In the case of average CO_2 concentrations (approximately 2,000 ppm), such as those detected in a random sample of Dutch classrooms in 2007, it is plausible that some pupils and teachers will experience an annoying odour upon entering the classroom.

Ventilation. Investigations at schools often use the CO_2 concentration in classrooms as a measure of ventilation. The Committee's opinion after examining the scientific literature is that in by far the majority of studies there are no indications of a relationship between health complaints and an average CO_2 concentration below 1,200 ppm*. One study conducted in Swedish schools found an indication that there had been a decrease in asthma following the installation of a new ventilation system, after which the average CO_2 concentration decreased from 1,000 to 800 ppm. The decrease in asthma cannot be explained by CO_2, as CO_2 only produces effects at concentrations of many thousands of ppm. In the classrooms concerned, the concentration of other airborne substances also decreased and this may have led to fewer asthma symptoms there.

Temperature, air movement and noise. Research into the health effects of other ventilation-related indoor environmental factors has mainly been conducted among adults. Many schools have problems with high temperatures in summertime due to heat from the sun. In 2007, 45 percent of teachers reported often being too warm in the classroom during the summer. High temperatures may not only be linked to feelings of discomfort but also to headaches or tiredness. Other frequently occurring problems associated with ventilation, such as a too low temperature in the winter, draught and too much noise can lead to ventilation facilities not being used sufficiently because they are considered to reduce the level of comfort in the room so much.

Effects on cognitive performance

Ventilation. One of the experiments studied indicated that pupils worked rather more slowly or made more mistakes when working under reduced ventilation in the classroom, associated with an increase in the CO_2 concentration from

* A maximum CO_2 concentration of 1,200 ppm was the basis of the 2003 Building Decree's minimum requirements for ventilation in new buildings .

approximately 800 to 1,600 ppm. Based on the available data the Committee is unable to define a CO_2 concentration at which cognitive phenomena of this kind start to occur, or which factors in the indoor environment are responsible. However, when occurring repeatedly, it could be possible that these effects will adversely affect cognitive development. The Committee therefore recommends conducting further studies on the effect of indoor air quality on pupils' performance, also in the long term.

Temperature and noise. High noise levels in classrooms may adversely affect the cognitive performance of pupils. The same applies to indoor temperatures higher than 25°C.

The most important indoor environmental factors in relation to health

The Committee notes that exposure to various indoor environmental factors occurs in schools and that due to their nature they may have adverse effects on the health of pupils. However, no studies are available that indicate the level of exposure in the school situation at which adverse effects start to occur. In answer to the minister's first question, the Committee concludes that it is not possible to state scientifically what the most important indoor environmental factors in schools are that result in adverse health effects. Nevertheless, the Committee is concerned about exposure to particulate matter, pathogens, allergens, and high temperature and noise levels in classrooms.

Carbon dioxide as a measure of ventilation in classrooms

Question 2. For which indoor environmental factors in schools is CO_2 a good indicator of ventilation? To what extent is CO_2 an indicator of air quality in classrooms?

The CO_2 concentration in a classroom is a good measure of the ventilation per person. To a limited degree CO_2 is also an indicator of body odours. CO_2 is less useful as an indicator of dust particles, allergens and pathogens dispersed by human beings. This is because the rate of CO_2 production is scarcely related to the rate of other substances dispersed by pupils. CO_2 is not a useful indicator of other substances and particles in indoor air, such as volatile organic compounds, plasticisers, dampness, fungi or outdoor air pollutants. CO_2 is therefore only a poor indicator of indoor air quality in classrooms. These conclusions do not affect the fact that increasing ventilation will reduce the CO_2 concentration as well as the concentration of other substances and small particles in the air.

Substantiation of the various CO_2 target values

Question 3. How do the background and reasons for choosing the CO_2 levels adopted by the Municipal Health Services relate to the CO_2 level adopted for policy purposes for the removal of pollutants from indoor air?

CO_2 values as recommended by the Municipal Health Services. Municipal Health Services guidelines on assessing ventilation in schools recommend aiming for a CO_2 concentration of less than 800 ppm* for indoor air in schools. The Municipal Health Services in the Netherlands based this CO_2 target value on a report produced by an expert group it had established. This expert group concluded that the literature contained indications that indoor environmental factors at CO_2 concentrations even lower than 1,200 ppm led to health complaints, exacerbation of asthma, an increased risk of infection and were an impediment to school children's cognitive performance. The Committee takes the view that the evidence of the research studied is too limited to be used as a basis for determining target values.

CO_2 value as a foundation for the Building Decree. The maximum CO_2 concentration of 1,200 ppm as basis for the Building Decree's minimum ventilation requirements in new buildings was originally intended to limit odour nuisance. In 1984 the Health Council of the Netherlands deemed the value acceptable for housing. At the time, the Health Council had largely based its opinion on data from an experiment conducted in 1981 with a small number of adult volunteers. The Committee takes the view that the quality of these data was very limited.

Reconsideration of the 1,200 ppm CO_2 value

Question 4. The 2003 Building Decree's ventilation requirements in new buildings were aimed at avoiding odour nuisance and were based on the Health Council's report of 1984. Are there any reasons from the health point of view for reconsidering the present CO_2 value of 1,200 ppm?

Since the Health Council's 1984 advisory report about twenty scientific papers have been published which contain information on the significance of air quality in schools for the health of pupils. Apart from odour nuisance upon entering a room, most of these studies did not demonstrate any adverse effects associated

* 98^{th} percentile: the highest value, excluding the 2% highest measured values

with increasing CO_2 concentrations. Nevertheless, there is a great deal of uncertainty about the results, which means there may have been a failure to detect an effect. In two studies the Committee found indications that health complaints arose or there was a reduction in pupils' cognitive performance at average CO_2 concentrations of about 1,200 ppm. There were more indications of adverse health effects in schools at average CO_2 concentrations exceeding 1,500 ppm, but it is unclear to what extent. Based on the available data, the Committee is of the opinion that a CO_2 target value for ventilation may be in a relatively wide range around 1,200 ppm. However, the data are inadequate for indicating a scientifically based exposure limit. The Committee therefore sees no reason to deviate from the present maximum CO_2 concentration of 1,200 ppm as the basis for the minimum ventilation requirements for new buildings as stipulated in the Building Decree. This means that some children may experience odour nuisance upon entering the classroom and that a sensitive child may experience an adverse effect.

Where the CO_2 concentration is intended as a measure of ventilation, it should actually concern the difference between the concentration in indoor air and that in outdoor air. Given a usual concentration of 400 ppm in outdoor air, a maximum CO_2 concentration of 1,200 ppm in indoor air corresponds with a concentration difference between indoor and outdoor air of no more than 800 ppm. The Committee recommends applying a concentration difference of 800 ppm as exposure limit for the extent of ventilation.

Recommended values for other indoor environmental factors in schools

Question 5: To what extent is it possible to set recommended values for ventilation-related, indoor environmental factors other than CO_2?

The Committee is of the opinion that it would be useful to develop recommended values for temperature and concentrations of particulate matter, non-infectious microbiological components and allergens in schools. However, no data on exposure-effect relationships are available for these factors.

Recommendations for a healthy indoor environment in schools

Given the finding that the average CO_2 concentration in Dutch classrooms is about 2,000 ppm, many schools ought to increase ventilation to keep CO_2 concentrations below 1,200 ppm. The Committee points out that the ventilation

required for this can lead to – unnecessary – secondary effects, such as draught, noise nuisance or health effects caused by dust from the ventilation system's supply air filters, if they become contaminated due to poor maintenance. It is therefore necessary to have clean ventilation air and proper ventilation facilities as well as information on how to use them properly.

The scientific research on which the Committee has been able to base its findings is limited. Further research is therefore required into the effects of indoor air quality on the health and cognitive performance of pupils, especially those in sensitive groups, such as children with asthma, chronic headache or learning difficulties. In anticipation of the results of any such research, the Committee recommends a reduction in exposure to harmful indoor environmental factors in classrooms, as these may lead to health complaints especially in children with asthma. The government may stimulate this by establishing requirements and practical guidelines for:

- the design, installation, use and maintenance of ventilation facilities in schools, not only concerned with proper ventilation but also with minimising the emission of hazardous substances and the creation of draught and noise nuisance
- outdoor air drawn in to ventilate schools; in connection with this, ventilation systems in schools located in areas with polluted outdoor air, such as those close to busy roads, should have a suitable filtration system
- ensuring a healthy indoor climate in schools, by setting emission limits for irritating substances released by materials used in buildings, furnishings, teaching aids and equipment, and guidelines on the choice of floor covering and on classroom cleaning.

Hoofdstuk **1**

Inleiding

Kinderen brengen een groot deel van hun tijd op school door. Daarom is het van belang dat het binnenmilieu in scholen gezond is. Het fysieke binnenmilieu in scholen is gedefinieerd als een resultante van de luchtkwaliteit, ervaren temperatuur, geluid en licht.[1] De luchtkwaliteit hangt af van de sterkte van bronnen van luchtverontreiniging binnen en buiten en van de mate van luchtverversing (ventilatie).

1.1 Binnenmilieu in scholen niet optimaal

Het kabinet stelde in februari 2008 dat de kwaliteit van het binnenmilieu op basisscholen te wensen overlaat.[2] Dit betreft vooral de luchtkwaliteit tijdens het stookseizoen, de temperatuur in de klaslokalen in de zomerperiode en stoorgeluid. Als maat voor de kwaliteit van de binnenlucht en vooral voor de mate van luchtverversing wordt in de praktijk veelal de concentratie kooldioxide (CO_2) gehanteerd.[2] In lijn met een advies van de Gezondheidsraad uit 1984 wordt een CO_2-waarde* van 1 200 ppm** (0,12%) als grondslag gehanteerd voor de nieuwbouweisen voor luchtverversing in het Bouwbesluit. Nieuw te bouwen en te renoveren scholen moeten hier bij oplevering aan voldoen. Deze eisen waren van oudsher bedoeld om geurhinder te voorkomen en zijn in 1984 door de Gezond-

* evenwichtsconcentratie, die bij een standaard bezetting niet zou worden overschreden
** ppm: parts per million (1 ppm = 1,8 mg/m^3)

heidsraad aanvaardbaar geacht voor woningen.[3] In 2007 werd de CO_2-waarde van 1 200 ppm overschreden in bijna 90 procent van een representatieve steekproef van 120 schoollokalen: gedurende 95 procent van de lestijd lag de CO_2-concentratie gemiddeld op bijna 2 000 ppm.[4]

1.2 Beleid voor een beter binnenmilieu in scholen

Op basis van de resultaten van enkele onderzoeken in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) is de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen tot een van de speerpunten benoemd in de Nationale aanpak milieu en gezondheid 2008-2012.[5] Daartoe hebben de ministeries van VROM, Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW) en Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS) een kabinetsvisie voorbereid die het binnenmilieu op scholen moet verbeteren.[2] Relevante onderdelen daarvan zijn de start van een 'bewustwordingsprogramma', een stimuleringsregeling voor het verbeteren van de ventilatie en energiebesparende aanpassingen in schoolgebouwen* en een adviesaanvraag bij de Gezondheidsraad.

1.3 Ministers vragen Gezondheidsraad om advies

Als een van de actiepunten in de kabinetsvisie heeft de minister van Ruimte en Milieu, mede namens haar collega's voor Wonen, Wijken en Integratie (WWI), van OCW en van VWS, de Gezondheidsraad op 8 februari 2008 advies gevraagd over de invloed van het binnenmilieu in scholen op de gezondheid van leerlingen (zie bijlage A). Zij formuleerde de volgende vragen:

1 Wat zijn de belangrijkste factoren in het binnenmilieu van scholen die schadelijke effecten kunnen hebben op de gezondheid van kinderen en leerkrachten en cognitieve prestaties van kinderen? Bij welke mate van blootstelling kunnen deze effecten optreden?
2 Voor welke binnenmilieufactoren in scholen is CO_2 een goede indicator waar het de luchtverversing betreft? In hoeverre is CO_2 een indicator voor de luchtkwaliteit in klaslokalen?
3 Hoe verhouden de motieven en achtergronden van de CO_2-toetswaarde voor ventilatie die gehanteerd wordt door de GGD zich tot de CO_2-concentratiewaarde die beleidsmatig gehanteerd wordt voor het afvoeren van verontreinigingen uit de binnenlucht?
4 De capaciteitseisen voor de ventilatie in het Bouwbesluit 2003 voor nieuwbouw, gebaseerd op het vermijden van geuroverlast, zijn afgeleid van het advies van de Gezondheidsraad uit 1984. Zijn er gezondheidskundige redenen om de huidige CO_2-concentratiewaarde van 1 200 ppm te heroverwegen?

* De ministerraad heeft daarvoor in 2009 en 2010 165 miljoen euro beschikbaar gesteld.

5 In hoeverre zijn advieswaarden op te stellen voor andere binnenmilieufactoren (dan CO_2) voor zover die verband houden met ventilatie?

1.4 Een commissie buigt zich over de vragen

Voor het beantwoorden van deze adviesvragen heeft de voorzitter van de Gezondheidsraad een commissie ingesteld. De samenstelling van deze commissie is vermeld in bijlage B. De commissie kwam in totaal acht keer bij elkaar. Gedurende het adviesproces zijn ook enkele externe deskundigen geconsulteerd.

1.4.1 Afbakening onderzoeksvraag

Basisscholen. In het verlengde van de kabinetsvisie richt het advies zich primair op leerlingen van basisscholen. Voor zover nodig zal de commissie daarbij ook gebruik maken van de resultaten van onderzoek in andere populaties, zoals oudere scholieren, studenten, leerkrachten of gebruikers van andere gebouwen, waaronder kinderdagverblijven.

Kooldioxide en ventilatie. Gezien de nadruk van de adviesaanvraag op kooldioxide als indicator voor luchtverversing en luchtkwaliteit, concentreert de commissie zich op verontreinigingen in de binnenlucht in basisscholen, waarvan de concentratie wordt beïnvloed door ventilatie (luchtverversing).

Andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren. De commissie gaat slechts zijdelings in op andere omgevingsfactoren, die de ervaren binnenmilieukwaliteit kunnen bepalen en samenhangen met ventilatie, zoals luchtvochtigheid, temperatuur, luchtbeweging en geluid van buiten door open ramen of geluid van mechanische ventilatiesystemen.

In bijlage C schetst de commissie de zogenoemde bron-blootstelling-effectketen voor diverse ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren in scholen.

Binnenmilieufactoren die niet door ventilatie zijn te beïnvloeden, zoals licht en andere vormen van elektromagnetische straling en velden, vallen buiten het

bereik van dit advies. Evenmin gaat de commissie in op de risico's van radon* of asbest.

1.4.2 *Afbakening belangrijkste begrippen*

De belangrijkste begrippen in het advies kunnen als volgt worden omschreven.

Gezondheid: lichamelijk, geestelijk en sociaal welbevinden. De commissie gaat uit van de omschrijvingen voor gezondheid, beperkingen en ziekten van de World Health Organization (WHO) en voor de kwaliteit van leven.[7-10] De diverse nadelige gezondheidsaspecten kunnen deels met elkaar samenhangen:

- Aandoeningen, zoals astma, allergieën, slijmvliesirritaties, infecties
- Lichamelijk welbevinden en functioneren:
  - lichamelijke klachten, zoals hoofdpijn, benauwdheid, vermoeidheid
  - beperkingen in het lichamelijk functioneren, zoals verminderde longfunctie, afgenomen lichamelijke conditie
  - beperkingen in de zintuiglijke waarneming, zoals verminderd 'spraakverstaan'
- Geestelijk welbevinden en functioneren:
  - psychische klachten, zoals somberheid, angst
  - beperkingen in het psychisch functioneren, zoals verminderde concentratie, aandacht, reactiesnelheid, leervermogen of andere aspecten van het cognitief functioneren
- Sociaal welbevinden en functioneren:
  - beperkingen in de mate van sociaal functioneren; dit kan zich bijvoorbeeld uiten in schoolverzuim of verminderde contacten
  - beperkingen in de aard van het sociaal functioneren, zoals gebrek aan assertiviteit of samenwerking.

In dit advies beperkt de commissie zich tot de invloeden op de lichamelijke gezondheid en het cognitief functioneren. In bijlage D beschrijft ze daarnaast nog enkele onderzoeken naar de invloed op (ongespecificeerd**) ziekteverzuim.

---

* Radon is een natuurlijk voorkomend, radioactief edelgas, dat vrijkomt bij het radioactief verval van radium, dat in sporen in de bodem en steenachtige bouwmaterialen aanwezig is. In verblijfsruimten kan radon zich in de lucht ophopen. Naar schatting draagt het inademen van de radioactieve vervalproducten van radon in Nederland bij aan het optreden van circa 800 gevallen van longkanker per jaar.[6]

** ongespecificeerd: niet te herleiden tot een specifieke oorzaak

Binnenluchtkwaliteit. De kwaliteit van de binnenlucht wordt hier geoperationaliseerd als de chemische en biologische samenstelling van de binnenlucht.

Ervaren binnenluchtkwaliteit. Hierbij gaat het om een subjectief oordeel van de binnenlucht. De binnenluchtkwaliteit kan als bedompt of benauwd worden ervaren. Niet alleen lichaamsgeuren, maar ook de vochtigheid en temperatuur van de ruimte kunnen bijdragen aan een negatief oordeel over de luchtkwaliteit. Datzelfde geldt voor 'luchtjes' van bijvoorbeeld parfums of schoonmaakmiddelen.

Ventilatie. Ventilatie of luchtverversing is de toevoer van lucht van buiten de ruimte en de afvoer van lucht uit de ruimte. In het algemeen zal de toegevoerde lucht merendeels van buiten het gebouw worden betrokken. Voor zover de buitenluchtconcentraties lager zijn dan die van de binnenlucht, zal ventilatie de concentraties in de binnenlucht verlagen. Als indicator voor de mate van ventilatie of luchtverversing* wordt vaak de concentratie kooldioxide (CO_2) gehanteerd.

Ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren. Onder ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren verstaat de commissie alle binnenmilieufactoren die direct (binnenluchtkwaliteit) of indirect (ervaren binnenmilieukwaliteit) verband houden met ventilatie.

Ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren in scholen. De volgende fysieke binnenmilieufactoren in scholen waarvan de blootstelling is te beïnvloeden door ventilatie, zijn relevant voor de gezondheid:

- chemische binnenmilieufactoren, in het bijzonder stikstofoxiden en ozon, formaldehyde, vluchtige organische stoffen, persistente organische stoffen, zoals weekmakers en polychloorbifenylen, en fijn stof
- microbiologische binnenmilieufactoren, in het bijzonder infectieuze micro-organismen, zoals virussen en bacteriën, niet-infectieuze micro-organismen en microbiologische componenten, allergenen, onder meer afkomstig van mijten, schimmels en huisdieren thuis, en zichtbaar vocht en schimmelgroei op oppervlakken
- fysische binnenmilieufactoren, zoals luchtvochtigheid, temperatuur, luchtbeweging en geluid.

* Op de waarde van kooldioxide als indicator voor luchtverversing en binnenluchtkwaliteit gaat de commissie in hoofdstuk 4 in.

1.5 Werkwijze van de commissie

1.5.1 Voorbereiding

In het begin van het commissieproces zijn enkele maatschappelijke groeperingen schriftelijk in de gelegenheid gesteld om aandachtspunten en suggesties aan te dragen. Voor een samenvatting van de reacties van de geconsulteerde maatschappelijke groeperingen wordt verwezen naar bijlage E. De ingebrachte punten onderstrepen dat er behoefte is aan meer en betere onderzoeksgegevens om een onderbouwd oordeel te kunnen geven over de vermoede nadelige effecten van geringe ventilatie op het functioneren van leerlingen en leerkrachten.

1.5.2 Literatuuronderzoek

In het kader van het Actieprogramma Gezondheid en Milieu 2002-2006 heeft het ministerie van VROM door de Technische Universiteit Delft een literatuuronderzoek laten uitvoeren naar de gezondheidseffecten van binnenmilieufactoren op scholen en kinderdagverblijven.[1] Dit onderzoek heeft zich geconcentreerd op Nederlandstalige rapporten (‘grijze’ literatuur) en bespreekt slechts een beperkt aantal ‘*peer-reviewed*’ artikelen. Daarom heeft de Gezondheidsraad het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) van de Universiteit van Utrecht verzocht om aanvullend een overzicht te maken van de internationale, wetenschappelijke literatuur over de belangrijkste ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren in scholen. Dit literatuuroverzicht, dat tevens een beoordeling bevat van de kwaliteit van de wetenschappelijke publicaties, is in de commissie besproken en is een belangrijke bron voor de beantwoording van de eerste adviesvraag.[11] Op diverse plaatsen zijn teksten en bijbehorende referenties in het huidige advies geïncorporeerd.

In het literatuuroverzicht van het IRAS is met name gebruik gemaakt van *Medline* en *Web of Science* als ingangen. Als trefwoorden zijn gekozen ‘*school and indoor*’, ‘*school and ventilation*’, ‘*school and CO_2 (carbon dioxide)*’. Het onderzoek, dat zich beperkte tot Engels- en Duitstalige literatuur, betrof de periode tot maart 2008. Daarbij is volgens de sneeuwbalmethode ook aandacht geschonken aan publicaties die werden geciteerd. Aanvullend zijn door de commissieleden op basis van hun expertise nog enkele publicaties aangedragen. De nadruk is gelegd op onderzoeken die kwantitatieve relaties proberen te leggen tussen aspecten van het binnenmilieu in scholen en gemeten gezondheid. Omdat

over scholen zo weinig bekend is, zijn daarnaast enkele onderzoeken besproken die gericht waren op het binnenmilieu in kantoorgebouwen.

1.5.3 Wijze van toetsing

Het concept-advies is beoordeeld door de Beraadsgroep Gezondheid en Omgeving.

1.6 Indeling van het advies

Na dit inleidende hoofdstuk beantwoordt de commissie in de hoofdstukken 2 en 3 de eerste adviesvraag over de invloed van het binnenmilieu op school op successievelijk de lichamelijke gezondheid en het cognitief functioneren van leerlingen. Hoofdstuk 4 behandelt de tweede tot en met vierde adviesvraag over de waarde van kooldioxide (CO_2) als maat voor de luchtverversing (ventilatie) en de luchtkwaliteit op school. In hoofdstuk 5 beantwoordt de commissie de laatste vraag van de minister over het opstellen van (andere) advieswaarden. Tot slot formuleert zij in hoofdstuk 6 aanbevelingen voor een gezond binnenmilieu op school.

Hoofdstuk **2**

Invloeden op de gezondheid

De eerste vraag van de minister was:

Wat zijn de belangrijkste factoren in het binnenmilieu van scholen die schadelijke effecten kunnen hebben op de gezondheid van kinderen en leerkrachten en cognitieve prestaties van kinderen? Bij welke mate van blootstelling kunnen deze effecten optreden?

In dit hoofdstuk komt alleen het eerste deel van de vraag aan de orde, over de effecten op de lichamelijke gezondheid. De commissie spreekt liever van nadelige dan van schadelijke effecten en beperkt zich daarmee niet tot ernstige of onherstelbare effecten. De effecten op het cognitief functioneren worden besproken in hoofdstuk 3. Dit hoofdstuk gaat achtereenvolgens over de effecten van de fysieke binnenluchtkwaliteit, de ervaren binnenluchtkwaliteit, luchtverversing en overige ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren. Voor elke categorie is nagegaan welke mate van bewijs er is voor nadelige effecten op de gezondheid van kinderen, waar mogelijk als blootstelling-effectrelatie. Bij de interpretatie van de onderzoeksuitkomsten is beoordeeld in hoeverre de onderzoekers rekening hebben gehouden met mogelijke verstoring of modificatie van de uitkomsten door bijvoorbeeld leeftijd, geslacht, sociaaleconomische status, risicobeleving, hinder of stress.

Samenvatting literatuur. De commissie vat de conclusies uit de bestudeerde literatuur samen, waar informatief* voor een verband met CO_2 of ventilatie ook in tabelvorm**. De commissie legt haar interpretatie neer in de laatste kolommen van de tabellen, waarin zij zoveel mogelijk de grootte van het effect weergeeft, veelal in de vorm van een odds ratio (OR) of correlatiecoëfficient (r) met het betrouwbaarheidsinterval. Het gebruik van het woord 'effect' wil overigens niet zeggen dat CO_2 of ventilatie de directe oorzaak is. De waarschijnlijkheid van een effect deelt zij op globale wijze in vier categorieën in, van 'aannemelijk dat géén effect optrad', via 'geen effect aangetoond' en 'aanwijzing voor een effect' tot 'effect aangetoond'. Een 'gezondheidskundige advieswaarde' dient in beginsel te liggen op een niveau van blootstelling waarvoor is aangetoond dat daarbij geen nadelige effecten*** optreden. Indien daarover gegevens ontbreken, is de commissie van mening dat niet alleen blootstellingsniveaus dienen te worden voorkómen waarvoor nadelige effecten zijn aangetoond, maar ook blootstellingsniveaus waarvoor voldoende 'aanwijzingen' bestaan voor een nadelig effect. Deze indeling biedt ook de mogelijkheid om een statistisch significant verband slechts als aanwijzing te beschouwen, bijvoorbeeld als er een vorm van vertekening (bias) aanwezig lijkt te zijn. Voor een uitgebreidere bespreking van de oorspronkelijke onderzoeken verwijst zij naar bijlage D. Deze is gebaseerd op het literatuuroverzicht dat op verzoek van de Gezondheidsraad is gemaakt door het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS).[11]

2.1 Binnenluchtkwaliteit

In deze paragraaf komen de gezondheidseffecten van blootstelling aan verontreinigingen in de binnenlucht aan de orde. De kwaliteit van de binnenlucht wordt bepaald door de chemische, fysische (stofdeeltjes) en biologische samenstelling van de binnenlucht.

2.1.1 Chemische stoffen

Uit bouw- en inrichtingsmaterialen van scholen kunnen organische verbindingen vrijkomen, zoals formaldehyde uit spaanplaat, vluchtige organische stoffen uit verf of meer persistente organische stoffen, zoals weekmakers of polychloorbife-

* bij drie of meer onderzoeken van betekenis naar een verband met CO_2 of ventilatie in scholen of experimentele ruimten

** daarin wordt dezelfde volgorde van onderzoeken aangehouden als in de bijlage (naar zeggingskracht: van interventie- naar dwarsdoorsnede-onderzoek)

*** daaronder worden hier ook verstaan 'risico's van een maatschappelijk niet aanvaarde grootte'

nylen (PCB's).[12-20] Een andere belangrijke bron van chemische stoffen in klaslokalen is de verontreiniging van de buitenlucht, zoals stikstofoxiden door verkeer.[21,22]

Uit buitenlands onderzoek komen aanwijzingen dat leerlingen meer astma- en andere luchtwegklachten rapporteren in scholen waarin verhoogde concentraties formaldehyde, vluchtige organische stoffen of weekmakers voorkomen door het gebruik van bouw-, inrichtings- of lesmaterialen*.[13,17,18] Er zijn geen wetenschappelijke publicaties bekend over de concentraties en mogelijke gezondheidseffecten in Nederlandse scholen, noch over de effectiviteit van emissiereducerende maatregelen.

2.1.2 *Fijn stof*

Zoals hiervoor al aangestipt, kan ook verontreiniging vanuit de buitenlucht de binnenlucht in scholen nadelig beïnvloeden. De laatste jaren is vooral aandacht geschonken aan scholen nabij drukke verkeerswegen, ook als bron van fijn stof. In ons land staan een paar honderd scholen dicht bij drukke wegen**. Uit onderzoek van de GGD Amsterdam in een basisschool op 100 meter van de A10 bleek dat filtersystemen niet alle even effectief zijn in het tegenhouden van fijn stof en roetdeeltjes van buiten.[25] Het is niet onderzocht of een dergelijke filtering invloed heeft op de ervaren gezondheid.

Eerdere Nederlandse publicaties hebben laten zien dat de lucht in scholen nabij snelwegen is verontreinigd en dat kinderen die deze scholen bezoeken meer luchtwegklachten hebben.[26-28] In twee scholen werden aanmerkelijk verhoogde concentraties fijn stof (PM_{10}***) gevonden tijdens - maar niet buiten - de lesuren.[29] Nadere analyse van het stof maakte waarschijnlijk dat het vooral stof was dat in de lucht komt door activiteiten van de leerlingen. In andere Europese landen zijn vergelijkbare bevindingen gedaan, met daggemiddelde PM_{10}-concentraties**** in klaslokalen van 50-100 µg/m^3.[17,21,30-38] Ultrafijne stofdeeltjes (< 100 nm) komen in de lucht van klaslokalen juist minder voor dan in de buitenlucht, hetgeen weerspiegelt dat de desbetreffende bronnen zich buitenshuis bevinden; het gaat hier vooral om wegverkeer. De concentratie van de grotere deeltjes bleek in de laagste klassen hoger dan in de hoogste klassen, hetgeen kan samenhangen

* De gezondheidskundige advieswaarde van de Gezondheidsraad voor vluchtige organische stoffen in verblijfsruimten (200 µg/m^3) is gebaseerd op sensorische waarnemingen als meest kritische effect.[23]

** Per 1 september 2007 lagen in Nederland 43 scholen binnen de 100 meter en 232 scholen tussen de 100 en 300 meter van een rijksweg en 72 scholen binnen de 50 meter van een provinciale weg.[24]

*** PM_{10}: deeltjes ('particulate matter') met een mediane aerodynamische diameter kleiner dan 10 µm.

**** 24-uurs advieswaarde fijn stof (PM_{10}) voor de buitenlucht: 50 µg/m^3

met de activiteiten van de leerlingen. Dit stof heeft *in vitro* de potentie om ontstekingsreacties in de luchtwegen te bevorderen.[34] Het effect van ventilatie op PM_{10}-concentraties is inconsistent.[39] Enerzijds kan ventilatie deeltjes in de lucht afvoeren, anderzijds kan neergeslagen stof door de luchtstroom weer opdwarrelen.

Samengevat is fijn stof in de binnenlucht van klaslokalen niet alleen direct afkomstig van de buitenlucht (de fijnere fractie), maar ook van stof dat in de lucht komt door het gedrag van de kinderen (de grovere fractie). Door activiteiten in de klas is de concentratie stof in de lucht, vooral van de grotere stofdeeltjes, binnen vaak hoger dan buiten. Het is plausibel dat een hoge blootstelling aan deze deeltjes luchtwegklachten kan verergeren, in het bijzonder bij leerlingen met astma.

2.1.3 *Infectieuze micro-organismen*

Diverse infectieziekten zijn via de luchtwegen overdraagbaar. Bij ziekten als griep, waterpokken, mazelen en tuberculose vindt overdracht vooral plaats via druppels in de lucht (aerosolen).[40] Bij andere infecties, zoals die met het Respiratoir Syncytieel (RS) virus, blijkt contactoverdracht via huid en slijmvliezen een belangrijker rol te spelen dan overdracht via inademing van aerosolen.[41] Vooral virale luchtweginfecties kunnen op scholen worden overgedragen en dan gepaard gaan met een verergering van astmaklachten, soms met ziekenhuisopname tot gevolg.[42] Scholen spelen een belangrijke rol in de verspreiding van griep en andere virusinfecties onder de bevolking.[43-46] Het daadwerkelijk sluiten van scholen in Hong Kong had echter geen substantiële invloed op de verspreiding van griep.[47]

In het rapport *Green Schools* uit 2006 van de Amerikaanse National Research Council wordt nader ingegaan op de overdracht van infecties in scholen.[48] De factoren die op die overdracht van invloed zijn, zijn divers en omvatten ondermeer direct aanhoesten, aanraken van verontreinigde oppervlakken, zoals tafels en speelgoed, en geringe afvoer van infectieuze hoestdruppeltjes. Dit verklaart waarom er geen eenduidig verband wordt gevonden tussen de mate van ventilatie en de kans op infecties. In een overzichtsartikel uit 2007 over de rol van ventilatie in de transmissie van infectueuze agentia zijn veertig onderzoeken beschreven.[49] Eén onderzoek hiervan had betrekking op een school: het ventilatiesysteem van een school in New York werd in 1974 mede verantwoordelijk geacht voor het optreden van een mazelenepidemie*, omdat veel lucht in de school werd gerecirculeerd.[51,52] Andere factoren die een rol hebben gespeeld in

* Het mazelenvirus staat bekend als een van de meest besmettelijke virussen.[50] Een geval van mazelen kan tot honderden secundaire gevallen leiden.

de snelle uitbreiding van deze epidemie zijn de uitzonderlijke besmettelijkheid van de indexpatiënt en het feit dat veel kinderen niet of alleen in hun eerste levensjaar waren gevaccineerd en daardoor onvolledig waren geïmmuniseerd.

In tabel 1 zijn de belangrijkste bevindingen beschreven van epidemiologisch onderzoek naar het verband tussen ventilatie, blootstelling aan micro-organismen en ziekteverzuim door luchtwegsymptomen in scholen.

Uit de tabel blijkt dat er weinig empirische gegevens beschikbaar zijn over het verband tussen ventilatie en het voorkomen van infecties door micro-organismen in scholen. Er zijn hooguit aanwijzingen voor een verband tussen de mate van ventilatie en de blootstelling aan bacteriën in de lucht, ook bij CO_2-concentraties onder 1 200 ppm.

Tabel 1 Overzicht van onderzoek naar blootstelling aan micro-organismen in scholen.

Eerste auteur, jaar publicatie	Type onderzoek	Populatie	Blootstelling (micro-organismen respectievelijk indicatoren voor de mate van ventilatie)	Effect-/uitkomstmaat	Grootte van effect (betrouwbaarheidsinterval / p-waarde)	Waarschijnlijkheid van effect
Sandora, 2008[53]	RCT[a]: desinfectie vs reguliere schoonmaak	Basisschoolleerlingen (groep 3-5) Ohio, VS (n=285)	Aan- vs afwezigheid van Norovirus en luchtwegvirus op oppervlakken	Ziekteverzuim door luchtwegsymptomen (‘blind’ geregistreerd)	RR[b]:1,10 (0,97-1,24)	±
Bartlett, 2004[54]	Cross-sectioneel onderzoek[c]	116 klaslokalen in 39 basisscholen, Canada	CO_2-concentratie (850-1 100 ppm) respectievelijk mate van mechanische ventilatie (in L/s pp[d])	Bacteriën (CFU/m^3) in de lucht	r=0,584; p<0,001 resp. r=-0,322; p<0,001	+
Liu, 2000[55]	Cross-sectioneel onderzoek	klaslokalen van 2 basisscholen, South Carolina, VS	CO_2-concentratie (600-1 600 ppm)	Bacteriën (CFU/m^3) in de lucht	r=0,90; p<0,001	±

- aannemelijk dat geen effect optrad (minimale grootte van effect en smal betrouwbaarheidsinterval)
± effect niet aangetoond, maar ook niet uitgesloten (breed betrouwbaarheidsinterval) -> niet-informatief onderzoek
+ aanwijzingen voor effect (0,05<p<0,10 of enige bias aannemelijk)
++ effect aangetoond (p<0,05 en bias onwaarschijnlijk)

[a] RCT: randomized controlled trial
[b] RR: relatief risico
[c] Cross-sectioneel onderzoek: dwarsdoorsnede-onderzoek
[d] L/s pp: liter per seconde per persoon

Plausibiliteit. Binnen een klaslokaal en een schooldag zal een toename van de ventilatie, op grond van fysische wetmatigheden (verdunning), leiden tot een overeenkomstige vermindering van de concentraties van in de lucht aanwezige verontreinigingen, waaronder CO_2, kleine deeltjes en aerosolen. Het is plausibel dat daardoor de kans op een via aerosolen overgedragen infectie zal dalen. Er zijn echter geen empirische gegevens die dit onderbouwen. In hoeverre er daadwerkelijk een infectieziekte optreedt, is ook van diverse andere factoren afhankelijk, zoals de hoeveelheid en de virulentie van de micro-organismen, de vochtigheid en temperatuur van de lucht en de gevoeligheid van de geïnfecteerde.* In het bijzonder kunnen verschillende micro-organismen door verblijf in de lucht een uiteenlopende vermindering van pathogeniteit ondergaan onder invloed van bijvoorbeeld uitdroging of UV-straling. Het is goed mogelijk dat met een daling van het CO_2-gehalte ook de infectiekans zal dalen, maar de grootte van de eventuele daling kan niet worden voorspeld uit de CO_2-daling of de toename van de ventilatie. De betekenis van zo'n daling van de infectiekans is bovendien onduidelijk doordat de bijdrage van de overdracht via aerosolen aan de totale infectiekans onbekend is.

Verspreidingsmodellen. Modelberekeningen voorspellen dat een toename van de luchtverversing op school zal leiden tot vermindering van concentraties micro-organismen in de lucht en daarmee mogelijk een lagere kans op infecties.[56-59] In ruimten met relatief grote aantallen aanwezigen bestaat een verband tussen de concentraties van micro-organismen in de lucht en CO_2.[60] Dit wordt ondersteund door metingen in scholen.[54,55] Berekeningen die alleen uitgaan van verspreiding van infecties via de lucht, schieten echter aanzienlijk te kort, omdat veel luchtweginfecties immers op meerdere manieren worden overgedragen, bijvoorbeeld ook via hoesten, niezen of contact met besmette personen of oppervlakken.[61] Bruikbare modellen voor de verspreiding van influenza op school richten zich daarom ook op het aantal contacten met andere kinderen.[43]

Samengevat kan op scholen via de lucht overdracht plaatsvinden van pathogene micro-organismen (ziektekiemen) en daarmee van infectieziekten. Het is echter niet bekend welk deel van de via de lucht overdraagbare infecties op scholen in feite ook via de lucht wordt overgedragen. Verspreidingsmodellen geven aan dat het risico op via de lucht overdraagbare infecties groter is bij minder ventilatie. Het is echter niet bekend hoe effectief luchtverversing is ter vermindering van het aantal luchtweginfecties op school, in vergelijking tot de infecties die kinde-

* Persoonlijke mededeling dr. N.G. Hartwig, kinderarts voor infectieziekten.

ren bijvoorbeeld via huidcontact of thuis oplopen. Het valt daarom niet aan te geven bij welke toename van luchtverversing de incidentie van infectieziekten en daarmee de ziektelast zal afnemen.

2.1.4 *Niet-infectieuze microbiologische componenten*

Niet-infectieuze microbiologische componenten zijn bestanddelen van bacteriën en schimmels die ontstekingsreacties kunnen veroorzaken, de respons van het immuunsysteem op allergenen kunnen beïnvloeden of beide. Bacteriële endotoxinen zijn componenten van de celwand van gramnegatieve bacteriën. Deze bacteriefragmenten zijn waarschijnlijk afkomstig van huidschilfers van leerlingen.[37] Tot de schimmelcomponenten behoren β 1→3 glucanen.[62] Onderzoek in woningen laat enig verband zien tussen blootstelling aan β 1→3 glucanen en het optreden van luchtwegsymptomen.[63] De resultaten van onderzoek naar de invloed van endotoxinen op dergelijke symptomen zijn niet consistent.[62] Enerzijds lijkt blootstelling aan hoge concentraties op jonge leeftijd te beschermen tegen de ontwikkeling van allergie, anderzijds is blootstelling op oudere leeftijd een risicofactor voor de ontwikkeling van luchtwegklachten.[64] Op basis van de beperkte literatuur die beschikbaar is over scholen, constateert de commissie dat er weinig kennis bestaat over de gezondheidskundige betekenis van de blootstelling aan bacteriële endotoxinen en schimmelcomponenten in scholen.[37,65]

2.1.5 *Allergenen*

Blootstelling aan specifieke allergenen kan allergische sensibilisatie veroorzaken.[62] Afhankelijk van de erfelijke aanleg, de intensiteit, duur en periode van blootstelling en de mate van sensibilisatie kunnen allergische symptomen ontstaan. Een dergelijke allergische reactie kan tot uiting komen in de longen (allergisch astma), in de neus en ogen (allergische rhinitis en conjunctivitis) of in de huid (allergisch eczeem). De eerste twee voorbeelden zijn uitingen van een allergie voor stoffen die worden ingeademd (‘inhalatieallergenen’) en worden ook wel ‘luchtwegallergieën’ genoemd. Veel voorkomende inhalatieallergenen zijn afkomstig van huisstofmijten, huisdieren, ongedierte, pollen en schimmels.

Een overzichtsartikel uit 2005 beschrijft de resultaten van 36 onderzoeken waarin huisstofmijt-, kat-, hond- of kakkerlakallergenen in scholen werden onderzocht.[66] De aangetroffen hoeveelheden van deze allergenen zijn vaak lager dan in woningen, maar niet lager dan in gesaneerde woningen of – in het geval van huisdierallergenen – dan in woningen waar geen huisdieren worden gehouden.

Op basis van vooral buitenlandse literatuur blijken kinderen diverse allergenen mee te nemen naar school. Bij schoolkinderen zijn vooral hoofdhaar en kleding bronnen van allergenen die thuis voorkomen, in het bijzonder van huisdieren.[67,68] In Nederland is het aantal gezinnen waarin huisdieren – veelal honden of katten – worden gehouden hoog.[69] Als gevolg daarvan komen veel kinderen op school in contact met klasgenootjes met huisdieren thuis. Het schoollokaal kan dan ook een belangrijke bron zijn van blootstelling aan kat- en hondallergeen. Kinderen met astma of allergie kunnen zo aan klinisch relevante hoeveelheden inadembaar allergeen worden blootgesteld en allergische klachten ontwikkelen. Er is veel onderzoek uitgevoerd naar het vóórkomen van allergenen in schoollokalen.[70-73] Enkele onderzoeken leggen het verband met sensibilisatie, bronchiale reactiviteit of gezondheidsklachten.[74-76]

In een interventieonderzoek is na uitgebreide saneringsmaatregelen in klaslokalen geen daling waargenomen van de blootstelling aan katallergenen via opdwarrelend vloerstof.[77] Wel treedt een daling op van de blootstelling als kinderen op school kleding dragen die niet van en naar huis wordt meegenomen.[78]

De commissie sluit niet uit dat de mate van ventilatie in klaslokalen invloed heeft op het voorkomen van allergieklachten door blootstelling aan katallergenen op school, meegebracht door klasgenootjes met huisdieren thuis.

2.1.6 Zichtbaar vocht en schimmelgroei

Vochtplekken op de muren gaan vaak gepaard met schimmelgroei en daarmee met een verhoogde blootstelling aan schimmelproducten in de binnenlucht. Er zijn aanwijzingen dat er een verband is tussen zichtbaar vocht en schimmelgroei in scholen en luchtweg- en andere gezondheidsklachten onder leerlingen en leerkrachten.[13,79] Daarbij is niet uitgesloten dat eventuele publiciteit over vocht- of schimmelproblemen de rapportage van klachten heeft beïnvloed.[80] Soms trad schimmelgroei op na lekkages.[81] Na sanering namen de klachten veelal af.[81-84] Er zijn ook aanwijzingen voor ontstekingsreacties van het neusslijmvlies door schimmels in scholen.[85-89] De commissie tekent hierbij aan dat veel onderzoek is verricht in landen met een kouder klimaat dan Nederland, waardoor de resultaten niet zonder meer zijn over te dragen naar Nederlandse scholen. Vooral in Scandinavië is veel onderzoek verricht naar problemen met vocht en schimmelgroei in scholen. Door de soms extreem lage temperaturen in de winter kan in de constructie condensatie optreden die aanleiding geeft tot schimmelgroei. In welke mate zichtbaar vocht en schimmelgroei voorkomen in Nederlandse scholen is niet onderzocht. Gezien de bevinding dat de schimmelconcentraties in scholen met mechanische ventilatie hoger waren dan in scholen met natuurlijke ventilatie

via ramen, is het mogelijk dat ook mechanische ventilatiesystemen een bron van schimmels kunnen zijn.[90-92]

2.1.7 *Verontreinigingen uit mechanische ventilatiesystemen*

Soms worden lichamelijke klachten met een onbekende oorzaak toegeschreven aan het gebouw zelf, veelal een gebouw met mechanische ventilatie of airconditioning. Tot dit zogenoemde *sick building syndrome* horen huidklachten, oogklachten, klachten van de bovenste luchtwegen, vermoeidheid en hoofdpijn. Deze klachten kunnen worden veroorzaakt door verontreiniging van de binnenlucht, maar ook worden beïnvloed door de ervaren binnenluchtkwaliteit, ervaren temperatuur, geluidhinder, stress of de mogelijkheden om naar eigen behoefte te ventileren.

Uit Deens onderzoek volgen aanwijzingen dat in scholen met mechanische ventilatiesystemen – ondanks lagere CO_2-concentraties dan bij natuurlijke ventilatie – meer lichamelijke klachten voorkomen.[90,91] Uit onderzoek in Nederlandse kantoren bleek dat de meeste klachten voorkwamen in de 'best' geventileerde gebouwen, veelal met airconditioning.[93] Een mogelijke verklaring is een gebrekkige kwaliteit van de toegevoerde lucht uit vervuilde ventilatiesystemen. Ook uit ander onderzoek in kantoren blijkt dat mechanische ventilatiesystemen een bron van verontreiniging kunnen zijn.[94] Het vervangen van gebruikte door nieuwe filters leidde in een Deens kantoorgebouw tot een afname van irritatieklachten van neus en ogen.[95]

Samengevat geeft vooral de literatuur over kantoren aan dat slecht onderhouden mechanische ventilatiesystemen en airconditioninginstallaties gezondheidsproblemen kunnen veroorzaken. De commissie acht het plausibel dat vervuilde ventilatiefilters en -toevoerkanalen ook in scholen tot gezondheidsklachten kunnen leiden. De invloed van de mate van luchtverversing, veelal afgemeten aan de CO_2-concentratie, op het optreden van lichamelijke klachten wordt besproken in 2.3.

2.2 Ervaren binnenluchtkwaliteit

De luchtkwaliteit in klaslokalen en andere binnenruimten kan als bedompt of benauwd worden ervaren. Lichaamsgeuren, maar ook luchtjes van bijvoorbeeld parfums of schoonmaakmiddelen, en de vochtigheid en temperatuur van de ruimte kunnen bijdragen aan een negatief oordeel over de luchtkwaliteit. In de ventilatiepraktijk is het gebruik gegroeid om zich te richten op de geurhinder voor bezoekers van een ruimte, mede vanuit de gedachte dat ook gebruikers als

bezoekers zijn te beschouwen wanneer zij de ruimte enige minuten verlaten en dan weer terugkomen.

In deze paragraaf wordt ingegaan op de samenhang tussen ventilatie, CO_2 – dat zelf geurloos is –, geurwaarneming, hinder, ervaren luchtkwaliteit en gezondheid.

2.2.1 *Lichaamsgeuren*

In tabel 2 zijn onderzoeken samengevat die het verband beschrijven tussen het CO_2-gehalte of andere indicatoren voor de mate van ventilatie en hinder van lichaamsgeuren.

Uit de tabel blijkt dat er bij experimenten* in het concentratiegebied tot 1 500 ppm geen blootstelling-effectrelatie is gevonden tussen CO_2 en geurhinder bij volwassenen die in de ruimte verblijven ('gebruikers').[97,98] Betrouwbaarheidsintervallen zijn overigens niet beschreven. Uit een experiment in vier computerlokalen bleek dat de studenten na een toename van de ventilatie alleen het eerste kwartier een verbetering van de luchtkwaliteit ervoeren.[96] Daarna vindt natuurlijke geuradaptatie plaats. Voor 'bezoekers' van een ruimte is wel een verband tussen de CO_2-concentratie en geurhinder waargenomen. Zo nam in een Deens experiment het percentage studenten dat bij het binnengaan van een collegezaal de lichaamsgeur als 'onacceptabel' ervoer in het concentratiegebied van 600 tot 1 500 ppm CO_2 toe van circa 20 tot 30 procent.[97] In een Amerikaans experiment was de ervaren geurintensiteit, vooral bij bezoekers, afhankelijk van de mate van ventilatie.[98] Experimenteel onderzoek naar een dergelijk verband bij schoolkinderen ontbreekt.

2.2.2 *Andere geuren*

Twee experimenten in een kantoorsituatie met een twintig jaar oud tapijt als geurbron bevestigen dat geurhinder bij binnenkomst van een ruimte sterker is dan tijdens het verblijf in de ruimte, dat een geurbron nadelige effecten kan hebben op de ervaren luchtkwaliteit en dat die effecten verminderen door ventilatie.[102,103] Aangezien de uitkomsten afhankelijk waren van de verontreiniging door het tapijt, hebben ze geen betekenis voor scholen zonder oud tapijt. Een andere bron van geur in gebouwen zijn verontreinigde filters in de luchttoevoerkanalen van mechanische ventilatiesystemen.[94,95,104]

* Experiment: kortdurend interventieonderzoek met gecontroleerde (veelal niet blinde) blootstelling.

Tabel 2 Overzicht van onderzoek naar het verband tussen ventilatie en hinder van lichaamsgeuren.

Eerste auteur, jaar publicatie	Type onderzoek	Populatie (aantal en leeftijd)	Blootstelling (indicatoren voor de mate van ventilatie)	Effect-/uitkomstmaat	Grootte van effect (betrouwbaarheidsinterval / p-waarde	Waarschijnlijkheid van effect	Opmerkingen
Norbäck, 2008[96]	Experiment (af- en toename van ventilatie in 4 computerlokalen)	Universitair studenten van 20-25 jaar, Zweden (n= 121)	Afname vs toename van ventilatie (7 vs 10-13 L/s pp) CO_2 (ppm): 1 100-900	Ervaren luchtkwaliteit bij binnentreden (0 = extreem slecht; 6 = extreem goed)	0,1 vs 1,1; p<0,007	+	Niet gecorrigeerd voor aantal studenten per lokaal. Gezien de gerapporteerde tochthinder niet volledig 'geblindeerd' voor de mate van ventilatie. Door vele computers relevantie voor basisscholen twijfelachtig.
Berg-Munch, 1986[97]	Experiment in collegezaal	Studenten, Denemarken (n=79 bezoekers; n=106 gebruikers)	CO_2 (ppm): 600->1 500	'Onacceptabele' geurhinder gebruikers	Geen effect aangetoond	±	Geen statistiek of spreiding gerapporteerd
				'Onacceptabele' geurhinder bezoekers	20->30%	+	Geen informatie over luchtvochtigheid en temperatuur
Cain, 1983[98]	Experiment in testruimte	Vrijwilligers, Verenigde Staten (n=165)	Mate van ventilatie (2,5->10 L/s pp)	Geurhinder gebruikers	Geen effect aangetoond (6->6%)	±	Geurbelasting nam toe bij hoge temperatuur (> 25°C) en luchtvochtigheid (> 70%)
				Geurhinder bezoekers	43->16%	+	
Wanner, 1982[99]	Experiment in testruimte	Vrijwilligers, Zwitserland (n: niet vermeld)	CO_2 (ppm): 500-2 000	Geurhinder testpanel (bezoekers)	'Significant' effect voor geur-intensiteit	++	Geen statistische test gerapporteerd, maar wel overtuigend spreidingsdiagram
Bouwman, 1981[100]	Experiment in testruimte	Vrijwilligers, Nederland (kwartiergemiddelde bezetting: <10)	CO_2 (ppm): 600-1 750	Geurhinder	10% vond geur bij 1 200 ppm niet meer acceptabel	+	Gering aantal proefpersonen
Versteeg, 2007[4]	Cross-sectioneel onderzoek	Leerkrachten van 120 leslokalen van 60 basisscholen in Nederland	CO_2 (ppm): 1 200-2 000 Mechanische vs natuurlijke toevoer	Ervaren luchtkwaliteit	Vrijwel geen effect aangetoond Lager bij mech. toevoer	±	
Potting, 1989[101]	Cross-sectioneel onderzoek	Kinderen van 9-10 jaar op 7 nieuwbouwscholen in Rotterdam (n=333)	CO_2 (ppm): 1 900-4 000	Geurhinder gebruikers	OR: 2,86 (1,01-8,11)	++	

- aannemelijk dat geen effect optrad (minimale grootte van effect en smal betrouwbaarheidsinterval)
± effect niet aangetoond, maar ook niet uitgesloten (breed betrouwbaarheidsinterval) -> niet-informatief onderzoek
+ aanwijzingen voor effect (0,05<p<0,10 of enige bias aannemelijk)
++ effect aangetoond (p<0,05 en bias onwaarschijnlijk)

2.3 Kooldioxide en andere indicatoren voor luchtverversing

De concentratie kooldioxide (CO_2) wordt vaak gebruikt als indicator voor de mate van luchtverversing (ventilatie) en indirect voor de kwaliteit van de binnenlucht (zie 4.1). Reeds in de negentiende eeuw is een verband vastgesteld tussen de CO_2-concentratie van de lucht in een verblijfsruimte en de waarneming van lichaamsgeuren.[11] Pas bij CO_2-concentraties van vele duizenden ppm zijn fysiologische effecten beschreven, zoals een verhoogde doorbloeding en activiteit van de hersenen en verstoring van de ademhaling tijdens de slaap.[105,106]

Onderzoek op scholen. In 2007 verscheen een literatuuronderzoek over binnenmilieu en gezondheid in scholen en kindercentra van de Technische Universiteit Delft.[1] Hierin worden drie Nederlandse onderzoeken besproken waarin is getracht een verband te leggen tussen ventilatie (CO_2) en gezondheidsklachten.[101,107,108] Twee van deze onderzoeken zijn in *peer-reviewed* tijdschriften verschenen.[101,107] Ondanks de hoge CO_2-concentraties in deze twee onderzoeken (meer dan 2 000 respectievelijk 4 000 ppm*) werd in geen van beide een verband aangetoond tussen CO_2 en diverse gezondheidsklachten. Mede door de onduidelijke betrouwbaarheid van de vragenlijst is een verband echter ook niet uitgesloten. Een overzicht van de internationale literatuur uit 2003 constateert dat er weinig *peer-reviewed* onderzoeken bestaan over de invloed van de binnenluchtkwaliteit en ventilatie in scholen op gezondheidsklachten.[109] De resultaten van de enige twee onderzoeken die voordien het verband bestudeerden tussen CO_2-concentraties (tot omstreeks 4 000 ppm) en gezondheidsklachten in scholen, waaronder één van de Nederlandse onderzoeken, waren inconsistent.[101,110]

In tabel 3 zijn de onderzoeken samengevat die het verband beschrijven tussen het CO_2-gehalte of andere indicatoren voor de mate van ventilatie in klaslokalen en het voorkomen van lichamelijke klachten bij leerlingen.

* Een CO_2-waarde van 1 200 ppm wordt als grondslag gehanteerd voor de nieuwbouweisen voor luchtverversing in het Bouwbesluit.

Tabel 3 Overzicht van onderzoek naar het verband tussen de CO_2-concentratie of andere indicatoren voor de mate van ventilatie en de gezondheid van leerlingen.

Eerste auteur, jaar publicatie	Type onderzoek	Populatie (aantal en leeftijd)	Blootstelling (indicatoren voor de mate van ventilatie)	Effect-/uitkomstmaat	Grootte van effect (betrouwbaarheidsinterval / p-waarde	Waarschijnlijkheid van effect	Opmerkingen
Norbäck, 2008[111]	Experiment (toe- en afname van ventilatie in 4 computerlokalen)	Universitair studenten van 20-25 jaar, Zweden. Longitudinaal:n= 121 Cross-sectioneel: n=355	Mate van ventilatie: 10-13 vs 7 L/s pp CO_2 (ppm): 900 vs 1 100	Aspecifieke gezondheidsklachten	Longitudinaal: geen significant effect Cross-sectioneel: significant effect voor hoofdpijn: +19% per 100 ppm CO_2	± +	Niet gecorrigeerd voor aantal studenten per (computer)lokaal. Door vele computers relevantie voor basisscholen twijfelachtig.
Smedje, 2000[112]	Herhaald cross-sectioneel onderzoek (voor en na aanbrengen nieuw ventilatiesysteem)	Schoolkinderen van 7-13 jaar, Zweden: 7 scholen met nieuw ventilatiesysteem (n=143); 50 scholen zonder (n=1 333)	CO_2 (ppm) 780 vs 1 020	Formaldehyde, vluchtige organische stoffen, fijn stof, schimmels in binnenlucht, luchtvochtigheid	Daling binnenlucht-factoren (p<0,05)	+	Onduidelijk in hoeverre concentraties schimmels en andere binnenluchtfactoren overeenkomen met die in Nederlandse scholen.
				Astmaklachten (januari-maart 1995 vs maart-mei 1993)	Daling incidentie astmaklachten: OR:0,3 (0,1-0,8)	+	Informatiebias onwaarschijnlijk (geen daling van hoofdpijn, vermoeidheid en gerapporteerd aantal luchtweginfecties).
Van Dijken, 2006[107]	Cross-sectioneel onderzoek	Schoolkinderen van 10-11 jaar, regio Eindhoven (n=228)	CO_2 (ppm) 888-2 112	Gezondheidsklachten	Geen significant effect Geen bruikbare effectmaat	±	Door ‘principale componentenanalyse’ geen blootstelling-effectrelatie af te leiden; wel samenhang tussen kwaliteit van school- en thuismilieu.
Potting, 1989[101]	Cross-sectioneel onderzoek	Kinderen van 9-10 jaar op 7 nieuwbouwscholen in Rotterdam (n=333)	CO_2 (ppm): 1 900-4 000	Diverse aspecifieke gezondheidsklachten	Geen significant effect	±	Betrouwbaarheid vragenlijst onduidelijk: slechte overeenstemming tussen antwoorden op overeenkomende vragenparen.
Kim, 2005[30]	Cross-sectioneel onderzoek	Schoolkinderen van 5-14 jaar, Zweden (n=1 014)	CO_2 (ppm): 400-1 300	Luchtweg- en allergische klachten	Tendeert naar omgekeerd effect: OR:0,7-0,9 (n.s)	±	Lage CO_2-concentraties door mechanische ventilatiesystemen.
Smedje, 1997[17]	Cross-sectioneel onderzoek	Schoolkinderen van 13-14 jaar, Zweden (n=600)	CO_2 (ppm): 550-1 725	Astmaklachten	Geen significant effect	±	

Myhrvold, 1996[110]	Cross-sectioneel onderzoek	Schoolkinderen van 15-20 jaar, Noorwegen (n=550)	CO_2 (ppm): 600-4 000	• Aspecifieke gezondheidsklachten	r=0,22; p=0,000	+ +	Alleen als congresbijdrage gepubliceerd.
				• Irritatieklachten bovenste luchtwegen	r=0,10; p=0,024		

- aannemelijk dat geen effect optrad (minimale grootte van effect en smal betrouwbaarheidsinterval)
± effect niet aangetoond, maar ook niet uitgesloten (breed betrouwbaarheidsinterval) -> niet-informatief onderzoek
+ aanwijzingen voor effect (0,05<p<0,10 of enige bias aannemelijk)
++ effect aangetoond (p<0,05 en bias onwaarschijnlijk)

In zeven onderzoeken is op scholen het verband bestudeerd tussen het CO_2-gehalte of andere indicatoren voor de mate van luchtverversing in klaslokalen en het voorkomen van lichamelijke klachten bij leerlingen. De resultaten van een Zweeds experiment in vier computerlokalen waren niet consistent.[111] In het cross-sectionele deel was een verhoogde CO_2-concentratie geassocieerd met hoofdpijn, maar in het longitudinale deel ging een toename van de ventilatie niet gepaard met een statistisch significante vermindering van het aantal gezondheidsklachten, inclusief hoofdpijn. Door de vele computers in de studielokalen is het twijfelachtig of dit experiment relevant is voor de situatie in basisscholen. In een eerder Zweeds onderzoek in basisscholen bleek na installatie van nieuwe ventilatiesystemen de ventilatie verbeterd en de incidentie van astmaklachten verlaagd te zijn.[112] Er trad geen daling op van hoofdpijn, vermoeidheid en het gerapporteerde aantal luchtweginfecties. De auteurs achtten het dan ook niet waarschijnlijk dat de gerapporteerde daling van astmaklachten kon worden verklaard doordat de deelnemers wisten dat nieuwe ventilatiesystemen waren geïntroduceerd. Onduidelijk is in hoeverre deze daling was toe te schrijven aan een daling van de blootstelling aan schimmels en andere factoren in de binnenlucht, die in Zweedse scholen hoger kan zijn dan in Nederlandse. Van de vijf observationele* onderzoeken vonden de vier onderzoeken die *peer-reviewed* zijn gepubliceerd geen verband tussen de mate van ventilatie en lichamelijke klachten.[17,30,101,107,113] In het onderzoek dat alleen als congresbijdrage is gepubliceerd, waren de correlaties tussen CO_2 en gezondheidsklachten en daarmee de 'verklaarde variantie' zeer laag.[110] De commissie concludeert dat er slechts in één van de zeven bestudeerde onderzoeken een aanwijzing is gevonden voor een verband tussen de mate van luchtverversing in scholen en het optreden van astmaklachten.

* observationeel onderzoek: onderzoek naar het voorkomen van gezondheidsproblemen in de bevolking, zonder dat de omstandigheden worden beïnvloed (in tegenstelling tot bij een experiment)

Onderzoek in kantoren. In kantoren is veel meer dan in scholen onderzoek verricht naar de invloed van de mate van ventilatie en andere binnenmilieufactoren op aspecifieke gezondheidsklachten. In deze omvangrijke literatuur zijn wel relaties beschreven tussen CO_2-concentraties en het optreden van gezondheidsklachten. In beschouwingen over het binnenmilieu in scholen wordt geregeld naar deze onderzoeken verwezen. De commissie merkt op dat buitenlandse kantoorgebouwen nauwelijks vergelijkbaar zijn met Nederlandse basisscholen, waarvan de meeste (nog) geen airconditioning hebben. Van belang is ook dat de gemiddelde bezetting in klaslokalen vrijwel altijd veel groter is dan in kantoren. Bij eenzelfde toevoer van buitenlucht per persoon zal er in scholen, vergeleken bij kantoren, een aanmerkelijk grotere afvoer zijn van niet door de mens geproduceerde verontreinigingen, zoals die uit bouwmaterialen. Gegeven de lagere bezettingsgraad in kantoorruimten, zal bij eenzelfde CO_2-concentratie een hogere concentratie van in de ruimte geproduceerde verontreinigingen aanwezig zijn. Deze concentratie kan – bij een even sterke bron – eerder dan in scholen in een concentratiegebied komen waarin nadelige effecten optreden. Bij een bepaalde CO_2-concentratie kan dan in een kantoorruimte wel een verband worden gevonden tussen de mate van ventilatie, ‘materiaalemissies’ en gezondheidsklachten, terwijl die in een klaslokaal niet hoeft te bestaan. Naast verschillen in ventilatiesystemen en bezettingsgraad, kunnen in kantoren ook andere bronnen van verontreiniging voorkomen dan in scholen, zoals kantoormaterialen en -apparatuur.[114] Daarom zijn kwantitatieve relaties tussen CO_2-concentraties en de prevalentie van klachten in kantoren niet zonder meer toepasbaar op scholen.

2.4 Andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren

In deze paragraaf wordt de invloed van andere – merendeels fysische – ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren beschreven, niet alleen op de gezondheid, maar vooral op het ‘thermisch comfort’ (ervaren temperatuur of behaaglijkheid) van de binnenruimte. Het gaat in het bijzonder om de mede door ventilatie beïnvloedbare binnenmilieufactoren luchtvochtigheid en temperatuur. Andere belangrijke ‘comfortfactoren’, zoals tocht en geluidhinder, zijn meer bijeffecten van ventilatievoorzieningen. Deze bijeffecten zijn sinds enkele decennia meer aan de orde, omdat ventilatievoorzieningen lager worden aangebracht, waardoor ze eerder tocht veroorzaken, of door de installatie van mechanische ventilatievoorzieningen, die geluid produceren.

2.4.1 Luchtvochtigheid, temperatuur en luchtbeweging

Luchtvochtigheid. Uit een laboratoriumexperiment bleek dat naarmate de relatieve luchtvochtigheid* steeg (vanaf circa 50%), de binnenlucht als bedompter en minder acceptabel werd ervaren.[115,116] Dit effect werd versterkt bij temperaturen boven de 20°C. Bij een relatieve luchtvochtigheid van 30% en lager kunnen vooral contactlensdragers en mensen met huidklachten last krijgen van bijvoorbeeld droge ogen of een droge huid.[116] Onderzoek bij een representatieve steekproef van Nederlandse basisscholen liet zien dat de relatieve vochtigheid in de winterperiode in het algemeen voldoet aan de door de VROM-Inspectie geadviseerde 'toetswaarde' van minimaal 20% en maximaal 60%.[4]

Temperatuur. Veel scholen hebben rond de zomer een warmteprobleem door instraling van de zon, tenzij er een goede klimaatregeling bestaat. Bij een temperatuur boven 25°C neemt ook de hinder door lichaamsgeuren toe.[98] Een hoge temperatuur kan niet alleen leiden tot een onbehaaglijk gevoel, maar ook tot hoofdpijn en vermoeidheid.[117] Onderzoek in Nederland bevestigt dat het thermisch binnenklimaat in de zomer als één van de knelpunten van het binnenmilieu in basisscholen kan worden aangemerkt: 45 procent van de leerkrachten gaf aan het 's zomers vaak te warm te hebben in het leslokaal.[4] In klaslokalen met een mechanische toe- en afvoer bleek het thermisch comfort beter beheersbaar dan in de andere lokaaltypen. Nevenoorzaken voor deze bevinding zijn dat de klaslokalen met een mechanische luchttoe- en afvoer in het algemeen van een recenter bouwjaar zijn en hierdoor ook over andere mogelijkheden van temperatuurbeheersing in de zomer beschikken dan via ventileren, zoals dakisolatie, minder glas of meer zonwering.[4] In de winterperiode voldeden de gemiddelde minimum- en maximumtemperatuur in nagenoeg alle onderzochte leslokalen aan de door de VROM-Inspectie geadviseerde toetswaarde voor temperatuur in de ruimte van 19 tot 23°C**.

Luchtbeweging. Luchtbeweging kan tocht veroorzaken, een gewaarwording van een ongewenste lokale afkoeling van de huid. Vooral bij lagere buitentemperatuur kan ventilatie tot tochtklachten leiden. Ook een geringe mate van luchtverversing kan tocht veroorzaken, vooral in combinatie met een korte afstand tussen

* De relatieve luchtvochtigheid geeft aan hoeveel procent waterdamp zich ten opzichte van de maximale hoeveelheid waterdamp in de lucht bevindt bij een bepaalde temperatuur en luchtdruk.

** bij een relatieve luchtvochtigheid van 20-60% (in de winter)

de ventilatieopeningen en de leerlingen. Dit is een belangrijke barrière voor het gebruik van sommige ventilatievoorzieningen. In Nederlandse basisscholen met een geheel natuurlijke ventilatie van klaslokalen via klep- of uitzetramen gaf 60 procent van de leerkrachten aan last te ondervinden van tocht.[4] Van de respondenten gaf 40 procent aan dat het optreden van tocht het gebruik van deze ventilatievoorzieningen beperkt.

De commissie concludeert dat een hoge luchtvochtigheid en vooral een hoge temperatuur de behaaglijkheid ofwel het comfort van de binnenruimte nadelig beïnvloedt. Een hoge temperatuur kan daarnaast tot gezondheidsklachten leiden. Het optreden van tocht kan in klaslokalen met geheel natuurlijke ventilatie zoveel hinder geven dat de leerkrachten de ramen daardoor dichthouden.

2.4.2 Geluid

Het geluidsniveau in een klaslokaal hangt samen met het geluidsniveau buiten, de geluidwering van de gevel en het toegepaste ventilatiesysteem, de geluiden die de schoolkinderen en de leerkracht in het lokaal produceren en overige geluiden in het gebouw die het klaslokaal binnendringen. In een representatieve steekproef van 120 klaslokalen van 60 Nederlandse basisscholen bleek – bij afwezigheid van kinderen en leerkracht – 47 procent van de klaslokalen bij in gebruik zijnde ventilatievoorzieningen een achtergrondgeluidsniveau te hebben van meer dan 35 dB(A)*.[4] Voor klaslokalen met mechanische toe- en afvoer was het geluidsniveau zelfs in 62 procent hoger dan 35 dB(A). In klaslokalen met mechanische ventilatie gaf 30 procent van de leerkrachten aan daar hinder van te ondervinden. In klaslokalen met een natuurlijke luchttoevoer via de gevel was lawaai van buiten voor een kwart van de leerkrachten een reden om de ventilatievoorzieningen te sluiten.

Samengevat kunnen gebruikelijke geluidsniveaus in de klas, mede beïnvloed door het gebruik van ventilatievoorzieningen, als hinderlijk worden ervaren.

2.5 Beschouwing

Alvorens in te gaan op de beantwoording van de vraag wat de belangrijkste factoren zijn in het binnenmilieu van scholen die nadelige gezondheidseffecten kun-

* Dit is het maximale geluidsniveau dat naar verwachting wordt opgenomen als nieuwe eis in het Bouwbesluit voor de geluidsproductie van mechanische ventilatiesystemen.

nen hebben, plaatst de commissie enkele kanttekeningen bij het beschikbare onderzoek.

Kwaliteit onderzoek. Onderzoek naar de invloed van binnenmilieufactoren in scholen op de lichamelijke gezondheid heeft zijn beperkingen. In de eerste plaats was de betrouwbaarheid van de gehanteerde vragenlijsten veelal onduidelijk. Daarnaast wordt de interpretatie van observationeel onderzoek naar de relatie tussen het binnenmilieu in scholen en gezondheid bemoeilijkt doordat de gezondheid door veel factoren wordt beïnvloed. Bovendien zijn de relaties tussen concentraties in de binnenlucht en effecten zelden gekwantificeerd. Voor zover bekend is geen gerandomiseerd gecontroleerd interventieonderzoek gepubliceerd naar het verband tussen de mate van ventilatie en de lichamelijke gezondheid. In het algemeen ontbreekt het aan onderzoek ter beantwoording van specifieke vragen die op een overeenkomstige manier zijn uitgevoerd om een systematisch literatuuroverzicht of meta-analyse mogelijk te maken.

Invloed ventilatie op gezondheid. De resultaten van onderzoek naar de invloed van luchtverversing op de gezondheid van leerlingen zijn waarschijnlijk nogal eens verstoord door blootstelling aan andere risicofactoren, zoals huisdierallergenen of infectieuze micro-organismen, om betrouwbare blootstelling-effectrelaties te genereren. Omdat niet bekend is hoeveel leerlingen in welke mate aan relevante factoren in de binnenlucht zijn blootgesteld, kan ze geen inschatting geven van de mogelijk vermijdbare ziektelast door meer ventilatie.

Gezondheidskundige voordelen ventilatie. Door een toename van de ventilatie zal de blootstelling aan diverse factoren in de binnenlucht verminderen. Voor sommige factoren, zoals bepaalde ziektekiemen en allergenen, zal daarmee ook de kans op nadelige gezondheidseffecten verminderen.

Potentiële gezondheidskundige nadelen ventilatie. De interpretatie van onderzoek naar het verband tussen CO_2 als maat voor luchtverversing en gezondheidsklachten wordt bemoeilijkt door verschillen in de aard en de mate van luchtverversing bij dezelfde CO_2-concentraties. Mechanische ventilatiesystemen zorgen veelal voor een grotere afvoer van verontreinigde lucht – gepaard gaande met lagere CO_2-concentraties – dan natuurlijke ventilatiesystemen, terwijl ze anderzijds – bij gebrekkig onderhoud – de binnenlucht kunnen verontreinigen met schadelijke stoffen uit vervuilde filters of ventilatietoevoerkanalen. Ook ventilatie met vervuilde buitenlucht, bijvoorbeeld in scholen nabij drukke wegen, kan een nadelig effect hebben op de gezondheid.

Blootstelling aan diverse binnenmilieufactoren. De commissie constateert dat er in scholen blootstelling bestaat aan diverse binnenmilieufactoren die nadelige effecten kunnen hebben op de lichamelijke gezondheid van leerlingen en leerkrachten. Vooral over de blootstelling aan fijn stof, ziektekiemen, allergenen, hoge temperatuur en geluid in klaslokalen is de commissie bezorgd. Er zijn echter geen onderzoeken voorhanden die aangeven bij welke mate van blootstelling in klaslokalen nadelige effecten beginnen op te treden.

Gezondheidskundig belangrijkste binnenmilieufactoren in scholen. Om de vraag te beantwoorden wat de belangrijkste binnenmilieufactoren in scholen zijn die nadelige effecten kunnen hebben op de gezondheid van kinderen, zou het aandeel van verschillende binnenmilieufactoren in de ziektelast van basisschoolleerlingen kunnen worden uitgedrukt in zogenoemde populatie attributieve risico's (PAR)*. Hiervoor dient het risico per eenheid van blootstelling bekend te zijn en de proportie van de scholieren met een voldoende hoge blootstelling aan de factor om daarvan effecten te verwachten. Voor het maken van dergelijke berekeningen voor de Nederlandse situatie ontbreken echter de benodigde gegevens. Bovendien zou daarbij ook de ernst van de effecten in rekening moeten worden gebracht. Om de volgende redenen acht de commissie geen onderbouwde conclusie mogelijk welke de belangrijkste factoren zijn in het binnenmilieu van Nederlandse scholen die nadelige effecten kunnen hebben op de gezondheid:

- gegevens over de hoogte en frequentie van de in Nederland voorkomende blootstellingen ontbreken vrijwel geheel
- blootstelling-effectrelaties van het relevante blootstellingsniveau schieten tekort
- de ernst van de diverse effecten is moeilijk vergelijkbaar en
- de omvang van de diverse gevoelige groepen is niet goed bekend.

In antwoord op de eerste vraag van de minister concludeert de commissie dat op wetenschappelijke basis niet aangegeven kan worden wat de belangrijkste factoren zijn in het binnenmilieu van scholen die nadelige gezondheidseffecten hebben.

* Populatie attributief risico: extra kans op een ziekte of andere uitkomst in een populatie als gevolg van blootstelling aan een bepaalde risicofactor.

Hoofdstuk **3**

Invloeden op cognitief functioneren

In dit hoofdstuk wordt het deel van de eerste vraag van de minister beantwoord over het cognitief functioneren. De volledige vraag was:

> Wat zijn de belangrijkste factoren in het binnenmilieu van scholen die schadelijke effecten kunnen hebben op de gezondheid van kinderen en leerkrachten en cognitieve prestaties van kinderen? Bij welke mate van blootstelling kunnen deze effecten optreden?

De commissie verruimt deze vraag van ‘schadelijke effecten op de cognitieve prestaties’ naar ‘nadelige effecten op het cognitief functioneren’ en beperkt zich daarmee niet tot ernstige of onherstelbare effecten.

In de ontwikkelingsneuropsychologie worden drie fasen onderscheiden in de ontwikkeling van cognitieve functies.[118,119] Achtereenvolgens worden ontwikkeld:

- waarneming en motoriek (tot circa 4 jaar)
- oriëntatie, taal, spraak en aandacht (circa 4 tot 9 jaar) en
- meer complexe denk- en executieve functies* (circa 9 tot 23 jaar).

Vooral naar de ontwikkeling van laatstgenoemde complexe functies is nog relatief weinig onderzoek gedaan. Van de diverse functies wordt aandacht

* zoals tijdsbesef, abstract taalbegrip en selectieve aandacht

beschouwd als een van de meest gevoelige voor relatief subtiele omgevingsinvloeden, vooral indien de reactiesnelheid als maat voor de prestatie wordt genomen in plaats van de nauwkeurigheid (accuratesse of foutenscore). Daarnaast zullen in dit advies ook de invloeden van het binnenmilieu in scholen op waarneming, taal- en rekenvaardigheden of andere cognitieve functies worden geëvalueerd.

De belangrijkste binnenmilieufactoren die in dit hoofdstuk aan de orde komen, zijn de fysieke en ervaren binnenluchtkwaliteit, luchtverversing en overige ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren. Voor elke categorie is nagegaan in hoeverre deze factoren impact hebben op het cognitief functioneren van kinderen. Bij de interpretatie van de uitkomsten van de afzonderlijke observationele onderzoeken heeft de commissie beoordeeld in hoeverre rekening is gehouden met belangrijke verstorende factoren, zoals leeftijd, geslacht en sociaaleconomische achtergrond. Andere mogelijk verstorende of beïnvloedende factoren zijn: geluidsbelasting, te hoge temperatuur, stress, slaaptekort, schoolverzuim, ervaring met computerspellen, het al dan niet boeiende karakter van de les en de aanwezigheid van leer- en gedragsstoornissen.

In dit hoofdstuk worden de conclusies uit de bestudeerde literatuur samengevat, mits voldoende informatief* voor een verband met CO_2 of ventilatie. Een uitgebreidere bespreking van de oorspronkelijke onderzoeken is te vinden in bijlage D. Deze is gebaseerd op het literatuuroverzicht dat op verzoek van de Gezondheidsraad door het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) is gemaakt.[11] In bijlage D worden ook enkele resultaten besproken van onderzoek naar de invloed van het binnenmilieu op (ongespecificeerd**) schoolverzuim. Verzuim van school kan een indicatie zijn voor problemen nu en in de toekomst.

3.1 Binnenluchtkwaliteit

Er zijn de commissie geen publicaties bekend over onderzoek naar de invloed van de fysieke of ervaren luchtkwaliteit in scholen op het cognitief functioneren.

Een experiment in een Deens kantoorgebouw laat zien dat een waarneembare verontreiniging van de lucht in een kantoor kan leiden tot productiviteitsvermindering van studenten.[103] De arbeidsproductiviteit nam toe bij toenemende venti-

* bij 3 of meer onderzoeken van betekenis voor een verband met CO_2 of ventilatie
** ongespecificeerd: niet te herleiden tot een specifieke oorzaak en daarom hier niet besproken

latie.[102] Het is niet uitgesloten dat de resultaten zijn beïnvloed doordat sommige proefpersonen zich bewust waren van de toename van ventilatie en blootstelling aan luchtverontreiniging.

3.2 Kooldioxide en andere indicatoren voor luchtverversing

In hoeverre beïnvloedt luchtverversing (ventilatie), af te meten aan het kooldioxidegehalte in de lucht, het cognitief functioneren van kinderen op basisscholen in Nederland? Er is beperkt onderzoek gedaan naar het verband tussen de mate van ventilatie in klaslokalen of het gehalte kooldioxide (CO_2) en het cognitief functioneren van kinderen. In enkele observationele onderzoeken is gekeken naar de associatie tussen ventilatie en de gemiddelde uitslag van cognitieve tests in de klas. Daarnaast zijn enkele experimenten beschreven waarin na het aanbrengen van een verandering in de mate van ventilatie is gekeken naar de uitslag van een of meer cognitieve tests.

Cognitief functioneren in scholen. In het literatuuroverzicht naar de gezondheidseffecten van binnenmilieufactoren op scholen en kinderdagverblijven van de Technische Universiteit Delft uit 2007 ligt de nadruk op de resultaten van Nederlandstalige rapporten die niet zijn gepubliceerd in vaktijdschriften.[1] Drie daarvan bestudeerden het verband tussen CO_2 en cognitieve tests.[120-122] De bevindingen en beperkingen van deze en andere onderzoeken staan vermeld in tabel 4. In 2005 is een internationaal overzichtsartikel verschenen over de invloed van diverse binnenmilieufactoren en de mate van ventilatie op cognitieve prestaties.[123] Acht van de besproken onderzoeken zijn uitgevoerd onder kinderen in schoolsituaties. De grote diversiteit in leeftijden, eindpunten, settings en factoren in deze acht onderzoeken, maakt het moeilijk conclusies te trekken over de verbanden tussen binnenmilieu op scholen en resultaten van de cognitieve tests.

In tabel 4 zijn zeven onderzoeken samengevat die het verband beschrijven tussen het CO_2-gehalte als maat voor de ventilatie in klaslokalen en het cognitief functioneren van leerlingen.

Tabel 4 Overzicht van onderzoek naar het verband tussen ventilatie en het cognitief functioneren van leerlingen.

Eerste auteur, jaar publicatie	Type onderzoek	Populatie (aantal en leeftijd)	Blootstelling (CO_2-gehalte als maat voor ventilatie)	Effect-/uitkomstmaat	Grootte van effect (betrouwbaarheidsinterval / p-waarde	Waarschijnlijkheid van effect	Opmerkingen
De Gids, 2007[120]	Experiment (dubbelblind, met elk kind als eigen controle)	Basisschoolkinderen groep 7-8, Nederland (n=47)	CO_2 (ppm): 800 vs 1 600	Reken- en taaltests: foutenscore	5,34 vs 5,64 fouten op de taaltest (p=0,00); 1,98 vs 2,44 fouten op de rekentest (p=0,01)	+	Niet *peer-reviewed.* Weinig bekend over de specifieke cognitieve functies die met de gebruikte tests worden gemeten. Niet consistent op dezelfde tijdstippen gemeten.
Ten Boske, 1997[122]	Experiment (inschakelen mech. ventilatie)	Basisschoolkinderen (groep 7) in 4 scholen, Nederland (n=95)	CO_2 (ppm): 750 vs 2 000	Diverse aandachttests	p=0,051	±	Niet *peer-reviewed.* Leereffect groter dan zwak effect ventilatie; onduidelijk in hoeverre blind.
Wargocki, 2007[124,125]	Experiment (mech. ventilatie: 3,0 -> 8,5 L/s pp)	Basisschoolkinderen 10-12 jaar, Denemarken (n=48)	CO_2 (ppm): 1 300 -> 900	Reken- en taaltests: snelheid en foutenscore	Alleen significant effect voor snelheid op de test begrijpend lezen	±	Mogelijk beïnvloed door ouderlijke verontrusting.
Coley, 2007[126]	Experiment (openen ramen)	Basisschoolkinderen 10-12 jaar, Engeland (n=18)	CO_2 (ppm): 750 vs 2 000	Testbatterij: snelheid en foutenscore	Significant effect voor 2 van 11 cognitieve tests: tot 5% daling reactietijd	±	Niet blind uitgevoerd.
Van Buggenum, 2003[121]	Cross-sectioneel onderzoek	Basisschoolkinderen (groep 6) van 24 klaslokalen in 20 scholen, Nederland (n=605)	CO_2 (ppm): 1 200-3 300	'Bourdon Vos stippeltest' en 'Teltest': snelheid en foutenscore	Geen significant effect voor snelheid en nauwkeurigheid (p>>0,05)	±	Niet *peer-reviewed.* Niet gecorrigeerd voor mogelijk verstorende factoren.
Shaughnessy, 2006[127]	Cross-sectioneel onderzoek	Basisschoolkinderen (groep 5) van 54 klaslokalen in 54 scholen, Verenigde Staten	CO_2 (ppm): > 1 400	Reguliere reken- en leestests (gemiddelde score per klaslokaal)	Marginaal effect voor rekentoets (p<0,10), geen effect aangetoond voor leestoets	±	Beperkt gecorrigeerd voor mogelijk verstorende factoren. Weinig bekend over de specifieke cognitieve functies die met de gebruikte tests worden gemeten.

Myhrvold, 1996[110]	Cross-sectioneel onderzoek	Schoolkinderen van 15-20 jaar, Noorwegen (n=550)	CO_2 (ppm): 600-4 000	Ongespecificeerde aandachtstests	r=0,11; p=0,009	±	Alleen als congresbijdrage gepubliceerd. Weinig bekend over de specifieke cognitieve functies die met de gebruikte tests worden gemeten.

- aannemelijk dat geen effect optrad (minimale grootte van effect en smal betrouwbaarheidsinterval)
± effect niet aangetoond, maar ook niet uitgesloten (breed betrouwbaarheidsinterval) -> niet-informatief onderzoek
+ aanwijzingen voor effect (0,05<p<0,10 of enige bias aannemelijk)
++ effect aangetoond (p<0,05 en bias onwaarschijnlijk)

In vier experimenten, waarvan de twee Nederlandse niet in een '*peer-reviewed*' tijdschrift verschenen, werden groepen leerlingen in slecht of goed geventileerde klaslokalen getest op hun cognitief functioneren.[120,122,124-126] Eén van deze experimenten gaf een aanwijzing dat leerlingen enigszins langzamer werkten of meer fouten maakten bij een toename van de CO_2-concentratie van circa 800 naar 1 600 ppm.[120] De beschikbare gegevens laten geen uitspraak toe over een CO_2-waarde waarbij deze cognitieve effecten beginnen op te treden, noch over de hiervoor mogelijk verantwoordelijke factoren in het binnenmilieu. Alle experimenten waren beperkt tot enkele dagen. Uitspraken over leerprestaties op de langere termijn zijn daarom nauwelijks mogelijk. In drie dwarsdoorsnede-onderzoeken zijn hoogstens marginale verbanden beschreven tussen de CO_2-concentratie in de binnenlucht van scholen en de resultaten van cognitieve tests.[110,121,127] Vanwege de vele methodologische beperkingen van de bestudeerde onderzoeken is het voor de commissie op dit moment niet goed mogelijk om de vraag te beantwoorden in hoeverre een goede ventilatie in klaslokalen een gunstige invloed heeft op de leerprestaties van kinderen. Recent onderzoek dat beter is opgezet, kan daar naar verwachting beter antwoord op geven.[128]

Cognitief functioneren in kantoren. In 2006 verscheen een overzichtsartikel over de invloed van de mate van ventilatie op de productiviteit van kantoorarbeid.[129] De meeste besproken experimenten betroffen routine-arbeid in '*call centers*'. De conclusie was dat een 1-3 procent hogere productiviteit werd gevonden bij een toename van verse luchttoevoer per persoon van 10 liter per seconde (L/s) tot een niveau van 15 L/s (= 54 m^3 per persoon per uur, overeenkomend met een CO_2-gehalte van ongeveer 800 ppm), waarboven geen noemenswaardig verband meer bestond. De commissie merkt op dat dit soort experimenten steeds plaatsvindt in ruimten waarvan de verontreiniging niet is gekwalificeerd en gekwantificeerd. In *call centers* is er bijvoorbeeld een hoge dichtheid van computers met onbekende afgifte van warmte of verontreinigingen. Zonder inzicht in de mate van verontreiniging of temperatuur zijn de uitkomsten moeilijk te interpreteren. Voor de

beperkingen van het gebruik van de uitkomsten van onderzoek in kantoren voor het duiden van de situatie in scholen wordt verwezen naar 2.3.

3.3 Andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren

In deze paragraaf wordt ingegaan op andere – merendeels fysische – binnenmilieufactoren, in het bijzonder op luchtvochtigheid, temperatuur en geluid, voor zover die met de aard of mate van ventilatie samenhangen.

3.3.1 Luchtvochtigheid en temperatuur

Cognitief functioneren in scholen in relatie tot temperatuur. De auteurs van een Deens interventieonderzoek rapporteerden een statistisch significante toename van de snelheid van uitvoering van twee reken- en taaltests bij een afname van de temperatuur van 25 naar 20°C in de zomermaanden.[124] In een observationeel onderzoek in basisscholen in Limburg werd een van de twee aandachtstests minder nauwkeurig uitgevoerd naarmate de temperatuur in het klaslokaal steeg tot boven de 25°C.[121] De invloed van mogelijk verstorende variabelen is daarin echter niet onderzocht.

Cognitief functioneren van volwassenen in relatie tot temperatuur. In 2007 is een meta-analyse gepubliceerd over de invloed van temperatuur op het cognitief functioneren van volwassenen.[130] Afhankelijk van de taak, de blootstellingsduur en de hoogte van de temperatuur werden substantiële nadelige effecten aangetoond. Dat gold zowel voor de nauwkeurigheid als voor de reactietijd; voor de effecten op de reactietijd vooral bij temperaturen boven 29°C. In een experiment onder werknemers trad er bij een stijgende omgevingstemperatuur een vermindering op van het cognitief functioneren.[117] Taken die samenhangen met waarneming en aandacht zijn de meest gevoelige en werden minder goed uitgevoerd bij temperaturen vanaf 27°C (WBGT*). Hierbij had een hoge relatieve luchtvochtigheid nog een extra nadelig effect.

Samengevat kunnen binnentemperaturen boven 25°C, vooral in combinatie met een hoge luchtvochtigheid, een nadelig effect hebben op het cognitief functioneren van leerlingen en leerkrachten.

* WBGT: *Wet Bulb Globe Temperature*: een gecombineerde meting van de omgevingstemperatuur (droge bol), luchtvochtigheid en luchtsnelheid (natte bol) en stralingswarmte (zwarte bol).

3.3.2 *Geluid*

Spraakverstaanbaarheid in scholen. Bij geluidsniveaus boven 35 dB(A) kan in klaslokalen een verminderde 'spraakverstaanbaarheid' optreden en daarmee een verstoring van de informatieoverdracht en -verwerking.[131] Dat geldt in het bijzonder voor gevoelige groepen, zoals leerlingen en leerkrachten met gehoorproblemen en (anderstalige) leerlingen met taalproblemen. De commissie merkt daarbij op dat het geluid van de leerlingen vrijwel altijd een geluidsniveau van 35 dB(A) zal overschrijden.

Cognitief functioneren in scholen. In 1994 concludeerde de Gezondheidsraad dat er voldoende bewijs was om aan te nemen dat bij kinderen die op school aan een hoog geluidsniveau van verkeer worden blootgesteld (> 70 dB(A) buiten het schoolgebouw) het prestatievermogen afneemt bij de uitvoering van cognitieve taken: ze zijn sneller afgeleid en ze maken meer fouten. Deze conclusies zijn in later onderzoek bevestigd. In een gerandomiseerd experiment in Londen zijn nadelige effecten vastgesteld van blootstelling aan omgevingsgeluid in de klas op de snelheid van uitvoering van cognitieve tests.[132] In onderzoek naar de invloed van vliegtuiglawaai onder schoolkinderen voor en na de verplaatsing van een vliegveld bij München is aangetoond dat de toename van geluidsbelasting na de opening van het nieuwe vliegveld een nadelig effect had op de verstaanbaarheid, het lange-termijn-geheugen, het lezen en de motivatie om moeilijke problemen op te lossen, terwijl dergelijke effecten bij de kinderen rond het 'oude' vliegveld afnamen.[133,134] In observationeel onderzoek ging zowel te veel geluid van buiten als geluid dat de klas zelf genereerde gepaard met een vermindering van cognitieve prestaties van leerlingen.[135-137]

Samengevat zal de spraakverstaanbaarheid minder worden naarmate het omgevingsgeluid, inclusief dat van ventilatievoorzieningen, sterker is. Omgevingslawaai, in het bijzonder van weg- en vliegverkeer, kan ook leiden tot een vermindering van het cognitief functioneren. Onbekend is in hoeverre deze cognitieve effecten ook optreden bij geluid van ventilatievoorzieningen in het schoolgebouw.

3.4 Beschouwing

Evenals in hoofdstuk 2 plaatst de commissie enkele kanttekeningen bij het beschikbare onderzoek.

Kwaliteit onderzoek. Er is weinig goed onderzoek gepubliceerd naar de invloed van de diverse binnenmilieufactoren in scholen op het cognitief functioneren. Alleen over het effect van geluid is een gerandomiseerd gecontroleerd interventieonderzoek beschikbaar. In de bestudeerde onderzoeken naar effecten van de binnenluchtkwaliteit zijn de relaties tussen concentraties en effecten zelden gekwantificeerd. Het ontbreekt in het algemeen aan onderzoeken ter beantwoording van specifieke vragen die op een overeenkomstige manier zijn uitgevoerd om een systematisch literatuuroverzicht of meta-analyse mogelijk te maken.

Cognitief functioneren. De bestudeerde onderzoeken maakten gebruik van uiteenlopende cognitieve tests, waarvan de validiteit* veelal onduidelijk is of de test-hertest betrouwbaarheid laag, vooral met betrekking tot de beoogde vraagstelling.** Er bestaan nauwelijks gestandaardiseerde instrumenten. De commissie sluit niet uit dat veel van de toegepaste tests onvoldoende gevoelig zijn voor het aantonen van subtiele cognitieve effecten. In veel onderzoeken naar de invloed van het binnenmilieu in scholen op het cognitief functioneren zijn leerlingen van 9 tot 12 jaar onderzocht. De resultaten van deze onderzoeken zijn niet te generaliseren naar hogere of lagere leeftijdsgroepen, omdat de invloed van fysieke omgevingsfactoren sterk kan verschillen voor de verschillende leeftijden. Het is nog onduidelijk in hoeverre kortdurende veranderingen van betekenis zijn voor de leerprestaties op de langere termijn. Voor het verkrijgen van informatie over lange-termijn-effecten van chronische blootstelling acht de commissie prospectief (cohort) onderzoek nodig.

Invloed ventilatie op cognitief functioneren. Op basis van de resultaten van onderzoek zijn geen kwantitatieve uitspraken te doen over de invloed van de mate van luchtverversing op het cognitief functioneren van schoolkinderen. De bevinding van één onderzoek beschouwt de commissie als een aanwijzing voor een nadelig effect op het cognitief functioneren van kinderen bij een toename van de CO_2-concentratie van circa 800 naar 1 600 ppm.[120] Andere onderzoeken waren volgens de commissie onvoldoende informatief. Omdat het potentieel om een groot aantal scholieren gaat, zijn volgens de commissie ook kleine effecten relevant. Gegeven de veronderstelling dat een verminderde aandacht kan leiden tot een stoornis in de ontwikkeling en slechtere leerprestaties, zijn de mogelijke effecten een reden tot bezorgdheid.

---

* Validiteit: de mate waarin een test meet wat hij moet meten.

** Persoonlijke mededeling dr. P.M. Hurks, ontwikkelingsneuropsycholoog.

Invloed andere binnenmilieufactoren op cognitief functioneren. De commissie acht het aannemelijk dat een hoge temperatuur in het klaslokaal in de zomer het leerproces nadelig kan beïnvloeden. Daarnaast acht zij het aangetoond dat een hoge geluidsbelasting kan leiden tot een vermindering van het cognitief functioneren.

De commissie concludeert dat er op scholen blootstelling voorkomt aan binnenmilieufactoren die nadelige effecten kunnen hebben op het cognitief functioneren van leerlingen. Dat geldt voor een hoge temperatuur en een hoge geluidsbelasting en mogelijk ook voor de luchtkwaliteit in slecht geventileerde klaslokalen.

Hoofdstuk **4**

Kooldioxide als maat voor luchtverversing in klaslokalen

In dit hoofdstuk worden de tweede, derde en vierde adviesvraag beantwoord, die alle betrekking hebben op de waarde van kooldioxide (CO_2) als maat voor de luchtverversing (ventilatie) en de luchtkwaliteit op school.

CO_2 en luchtverversing in klaslokalen krijgen sinds enkele decennia meer aandacht vanwege de energiezuinige, luchtdichtere bouw (minder natuurlijke infiltratie van lucht via kieren), lagere plafonds (minder verdunning door minder volume), meer en actievere kinderen (meer CO_2-productie) per m^2 en meer kinderen met astma**.** In 2007 werd de CO_2-waarde van 1 200 ppm* in 88 procent van de schoollokalen overschreden, en wel gedurende gemiddeld ruim 40 procent van de lestijd.[4] De commissie heeft geen aanwijzingen dat de CO_2-concentraties in Nederlandse scholen nu hoger zijn dan twintig jaar geleden, toen de CO_2-concentratie in de onderzochte klaslokalen gedurende 27 tot 97 procent van de tijd boven 1 200 ppm lag.[101]

4.1 CO_2 als maat voor luchtverversing of luchtkwaliteit in klaslokalen?

Adviesvraag 2. Voor welke binnenmilieufactoren in scholen is CO_2 een goede indicator waar het de luchtverversing betreft? In hoeverre is CO_2 een indicator voor de luchtkwaliteit in klaslokalen?

* 95e percentiel: de hoogste waarde, exclusief de 5% hoogste meetwaarden

De CO_2-concentratie wordt vaak gebruikt als indicator voor de mate van luchtverversing of voor de kwaliteit (samenstelling) van de binnenlucht. In deze paragraaf wordt de vraag beantwoord in hoeverre CO_2 daar inderdaad een maat voor is.

4.1.1 *CO_2 in de binnenlucht*

De CO_2-concentratie in de binnenlucht van klaslokalen is een functie van de CO_2-productie van leerlingen en leerkracht, de mate van luchtverversing*, de tijd en de achtergrondconcentratie van CO_2 in de buitenlucht. De CO_2-concentratie C_t op tijdstip t volgt uit de volgende formule, onder de beginvoorwaarde $C_t = C_{buiten}$ op t = 0 (zie bijlage F):

$$C_t = \frac{q}{a \times V} \times \left(1 - e^{-at}\right) + C_{buiten}$$

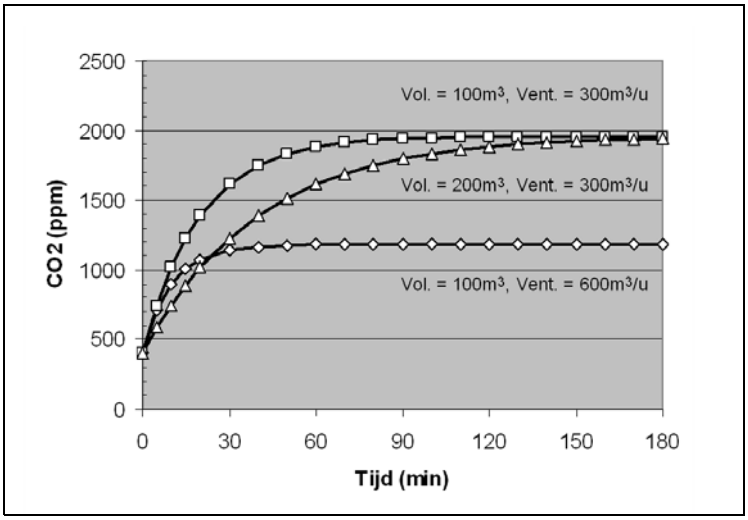
Daarin is C de concentratie [kg m^{-3}], q de productiesnelheid van CO_2 [kg s^{-1}], a het ventilatievoud** [s^{-1}], V het volume van het vertrek [m^3] en t de tijd [s]. De formule veronderstelt een volledige menging van de toegevoerde lucht met de lucht in de ruimte.

Luchtverversing. De mate van luchtverversing in een klaslokaal kan worden berekend uit het CO_2-gehalte, indien de CO_2-productie door de personen in die ruimte bekend is en er volledige menging van de lucht in die ruimte optreedt. Het ventilatiedebiet (*flow*) is de luchtstroom in volume per tijdseenheid (a×V).

CO_2-evenwichtsniveau. De CO_2-evenwichtsconcentratie is te zien als een maat voor de ventilatie per persoon. De CO_2-concentratie in klaslokalen bereikt meestal een half tot twee uur na het begin van de les een evenwichtsniveau, waarbij de afvoer van CO_2 door ventilatie gelijk is aan de CO_2-productie door de aanwezigen. De snelheid waarmee dit niveau wordt bereikt, is groter als het luchtvolume van het klaslokaal klein is en de mate van ventilatie sterk is (zie figuur 1). In de praktijk zullen in de loop van de schooldag een aantal pauzes in de lessen voorkomen, waarbij de CO_2-concentratie weer daalt.

* Het CO_2-gehalte is alleen direct gerelateerd aan de mate van ventilatie bij volledige menging (verdunning) en bijvoorbeeld niet bij verdringingsventilatie.

** Ventilatievoud: een getal dat de verhouding aangeeft tussen de luchtstroom die per tijdseenheid door een ruimte passeert en het ruimtevolume.



Figuur 1 Verloop van de CO_2-concentratie volgens eerder genoemde formule:
□ klein volume en weinig ventilatie geeft snel hoge CO_2-concentratie
△ vergroting van het volume vertraagt alleen het bereiken van de eindconcentratie
◇ vergroting van de ventilatie geeft (snel) een lagere eindconcentratie
De CO_2-productie is op realistisch niveau en constant vanaf T=0. De ventilatielucht bevat 400 ppm CO_2.

CO_2 in uitademingslucht. Bij de ademhaling neemt de mens zuurstof op uit de omgevingslucht en geeft kooldioxide, waterdamp en andere stofwisselingsproducten af aan de omgevingslucht. De CO_2-productie is kwantitatief gezien de belangrijkste menselijke 'bio-effluent*'.[138] Uitgeademde lucht bevat circa 4 procent CO_2 (40 000 ppm). Mensen produceren meer CO_2 naarmate hun stofwisselingssnelheid – afhankelijk van leeftijd, lichaamsgewicht en mate van activiteit – hoger is. De CO_2-productie in de binnenlucht op school is daarom primair afhankelijk van het aantal leerlingen in de klas en de leeftijd en activiteit van de leerlingen. De CO_2-concentratie is daarmee een maat voor de ventilatie per leerling.

CO_2 in de buitenlucht. Het CO_2-gehalte van de binnenlucht wordt beïnvloed door dat van de buitenlucht. Bij het vaststellen van een aanvaardbare CO_2-concentratie in woningen is de Gezondheidsraad in 1984 uitgegaan van een buitenluchtconcentratie van 330 ppm.[3] Over de afgelopen dertig jaar was de toename van het achtergrondniveau in de orde van 40 tot 50 ppm.[11] Sinds 2000 is de toename

* Bio-effluent: uitscheidingsproduct van levende organismen.

in Nederland en wereldwijd ongeveer 2 ppm per jaar.[139] Informatie van het Energieonderzoek Centrum Nederland laat zien dat de jaargemiddelde CO_2-concentratie op het achtergrondmeetpunt Cabauw in 2008 ongeveer 385 ppm was, en dat er aanzienlijke variaties in de buitenluchtconcentraties van CO_2 kunnen optreden. Vooral in de winter kunnen gedurende stagnerende, stabiele weersomstandigheden concentraties tussen 450 en 550 ppm voorkomen. Dit geldt nog meer in stedelijk gebied of in de nabijheid van verkeer. In grote steden met veel verkeer en andere bronnen van luchtverontreiniging kan de CO_2-concentratie tijdelijk zelfs verhoogd zijn tot waarden van 800 ppm.[33,140-142]

Delta ($\triangle$)CO_2. Bij het beoordelen van de CO_2-concentratie in de binnenlucht als indicator voor luchtverversing moet in feite het verschil ($\triangle$: delta) worden beschouwd tussen de binnen- en buitenluchtconcentratie.[143] Doordat CO_2 in de buitenlucht in tijd en ruimte kan variëren, zal bij het beoordelen van CO_2 in de binnenlucht de concentratie in de buitenlucht op hetzelfde tijdstip en op dezelfde locatie bekend moeten zijn. In een niet belaste omgeving, waarin een 'normale' buitenluchtconcentratie van CO_2 is te verwachten, gaan GGD's om praktische redenen vaak uit van een standaardwaarde voor de achtergrondconcentratie van 400 ppm.

4.1.2 *Andere stoffen in de binnenlucht*

Ventilatie leidt niet alleen tot een daling van het CO_2-gehalte van de binnenlucht, maar in principe ook van de concentraties van andere verontreinigingen in de binnenlucht. Hoewel een relatie tussen CO_2, als maat voor luchtverversing, en andere gasvormige verontreinigingen, kleine deeltjes en aerosolen binnen een klas op grond van fysische wetmatigheden (verdunning) aannemelijk is, is het mogelijk dat een dergelijk verband in observationeel onderzoek in meerdere klaslokalen of scholen niet aantoonbaar is, bijvoorbeeld door verschillen in de productie van overige verontreinigingen. Bovendien wordt de CO_2-concentratie in de binnenlucht van klaslokalen door verschillende factoren bepaald, in het bijzonder door de bezettingsgraad, de mate van luchtverversing, de aard van het ventilatiesysteem en de achtergrondconcentratie van CO_2 in de buitenlucht. Eventuele samenhangen kunnen dan nagenoeg onzichtbaar worden.

Binnenluchtverontreiniging met de mens als bron. Een belangrijke, nauwelijks vermijdbare vorm van binnenluchtverontreiniging is de productie van lichaamsgeuren. De concentraties van andere mensgebonden verontreinigingen, zoals ziektekiemen en allergenen of opdwarrelende stofdeeltjes, worden vooral

bepaald door het gedrag van de mens.[29,30,37] Ze zijn daarmee in principe vermijdbaar en kunnen beter 'brongericht' worden aangepakt, bijvoorbeeld via het schoonmaken of de keuze van de soort vloerbedekking, dan via ventileren.

Binnenluchtverontreiniging uit andere bronnen. Andere vormen van binnenluchtverontreiniging zijn afkomstig uit stoffering, materialen en apparatuur. Emissies daaruit worden vooral bepaald door de inrichting.[13,17,18] Ook deze verontreinigingen zijn weliswaar door ventilatie beïnvloedbaar, maar in principe vermijdbaar en verdienen in de eerste plaats een brongerichte aanpak.

4.1.3 *Luchtvochtigheid en temperatuur*

Andere belangrijke binnenmilieufactoren, die ook kunnen samenhangen met de mate van ventilatie, zijn luchtvochtigheid en temperatuur. Vooral de temperatuur is een belangrijke determinant van de ervaren binnenmilieukwaliteit.

Luchtvochtigheid. De relatieve luchtvochtigheid in een klaslokaal wordt niet alleen beïnvloed door de productie van waterdamp door leerlingen en leerkracht, maar vooral ook door de luchtvochtigheid en temperatuur buiten, de mogelijkheden voor condensvorming en door ventilatie. Onderzoek bij een representatieve steekproef van Nederlandse basisscholen liet zien dat de relatieve vochtigheid in de winter in het algemeen voldoet aan de door de VROM-Inspectie voor de winterperiode geadviseerde toetswaarde van minimaal 20 procent en maximaal 60 procent.[4]

Temperatuur. De temperatuur in een klaslokaal wordt beïnvloed door de zonnewarmte van buiten en de verwarming binnen. Ventilatie is een belangrijke manier om warmte af te voeren in schoolgebouwen die geen thermische isolatie of zonwering hebben. Dit geldt voor de meeste scholen. In de zomer heeft de capaciteit van de ventilatievoorzieningen grote invloed op de binnentemperatuur. Als de buitentemperatuur hoog is, is het echter vrijwel onmogelijk om alleen met ventilatie de temperatuur binnen onder de door de VROM-Inspectie voor de zomerperiode geadviseerde toetswaarde voor temperatuur te houden van maximaal 24°C*.

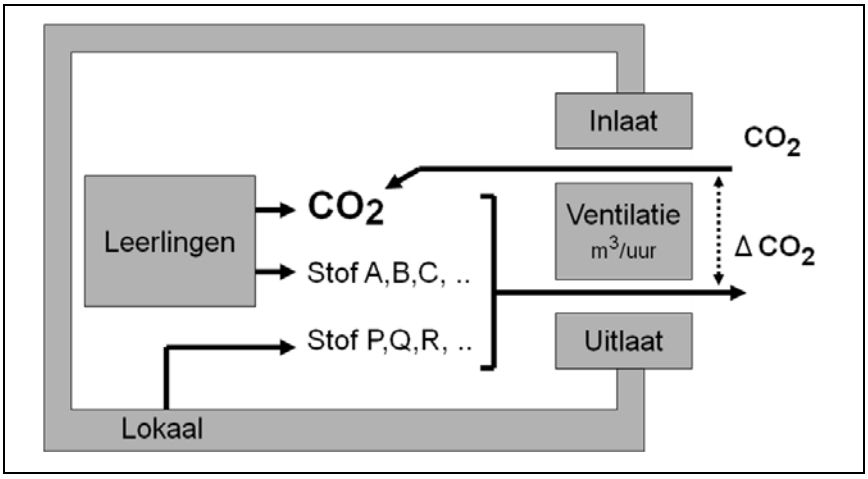
* bij een relatieve luchtvochtigheid van 30-70% (in de zomer)

4.1.4 *CO_2 als indicator voor luchtverversing en binnenluchtkwaliteit*

Een evenwichtsconcentratie van CO_2 is als grondslag gehanteerd voor de nieuwbouweisen voor luchtverversing in het Bouwbesluit. In de GGD-praktijk wordt gebruik gemaakt van de CO_2-concentratie om na te gaan of de ventilatie voldoende is.[144] CO_2, een van oudsher eenvoudig te meten gas, doet daarbij dienst als indicator. CO_2 zelf heeft – in de concentraties die in klaslokalen worden aangetroffen* – geen nadelige effecten op de gezondheid. Daarom komt in deze paragraaf eerst aan de orde in hoeverre CO_2 een maat is voor luchtverversing en vervolgens voor welke gezondheidsrelevante en door ventilatie beïnvloedbare binnenmilieufactoren CO_2 verder nog een indicator kan zijn.

CO_2 als indicator voor luchtverversing. Gegeven de formule in 4.1.1 leidt het verhogen van de ventilatie tot een verlaging van de CO_2-concentratie, als de CO_2-productie in de ruimte gelijk blijft. De CO_2-concentratie is daarmee bruikbaar als maat voor de luchtverversing.

CO_2 als indicator voor binnenluchtverontreiniging met de mens als bron. Het ($\triangle$) CO_2-gehalte is in beginsel een goede blootstellingsindicator voor stofwisselingsproducten die de mens uitademt in een vrijwel vaste verhouding met CO_2.



Figuur 2 Relatie tussen CO_2, andere stoffen in de lucht en de mate van ventilatie in een klaslokaal.

* P95: < 2 000 ppm[4]

Bij concentraties boven 1 200 ppm blijkt CO_2 in beperkte mate ook een indicator voor andere menselijke uitscheidingsproducten, zoals lichaamsgeuren.[97] Naarmate er meer wordt geventileerd in het klaslokaal, vermindert niet alleen de concentratie CO_2, maar ook die van overige mensgebonden deeltjes in de lucht, zoals geurstoffen van parfums, micro-organismen, stofdeeltjes en allergenen (zie figuur 2). De in hoofdstuk 2 beschreven verbanden tussen de CO_2-concentratie in de binnenlucht en de concentraties fijn stof en micro-organismen zijn echter waarschijnlijk meer toe te schrijven aan de aanwezigheid en activiteiten van personen die in de ruimte verblijven dan aan de mate van ventilatie.[33,37,54] Voor deze factoren is CO_2 dan ook minder bruikbaar als indicator. Bovendien zijn stofdeeltjes eenvoudig en beter rechtstreeks te meten.

CO_2 als indicator voor binnenluchtverontreiniging uit andere bronnen. Het CO_2-gehalte is niet goed bruikbaar als indicator voor luchtverontreiniging door andere bronnen dan de mens, zoals verontreinigingen uit stoffering, materialen, apparatuur of ventilatiesystemen.[94,138] Er is immers geen enkele samenhang met de CO_2-productie.

CO_2 als indicator voor luchtvochtigheid en temperatuur. Zoals in 4.1.3 is toegelicht, is de invloed van ventilatie op de relatieve luchtvochtigheid en temperatuur in klaslokalen sterk afhankelijk van deze waarden in de buitenlucht. Belangrijker determinanten van de relatieve luchtvochtigheid binnen zijn de relatieve vochtigheid (en temperatuur) buiten, die van de temperatuur binnen zijn de productie door de leerlingen, de buitentemperatuur, de zoninstraling en de mate van verwarming of koeling binnen het gebouw. Voor de luchtvochtigheid en temperatuur is het CO_2-gehalte dan ook geen bruikbare indicator. Deze binnenmilieufactoren kunnen beter direct worden gemeten.

Samengevat is de ($\triangle$*) CO_2-evenwichtsconcentratie een goede indicator voor de luchtverversing per persoon, er vanuit gaande dat in klaslokalen meestal een goede menging van de lucht optreedt. Gezien het verband tussen het CO_2-gehalte en de geurwaarneming bij binnenkomst in de ruimte, is CO_2 in beperkte mate ook een indicator voor lichaamsgeuren. Als indicator voor stofdeeltjes, allergenen en ziektekiemen is CO_2 minder bruikbaar. De productiesnelheid van CO_2 hangt immers nauwelijks samen met die van andere door de leerlingen verspreide stoffen. CO_2 is niet bruikbaar als indicator voor andere stoffen en deeltjes in de binnenlucht in klaslokalen, zoals vluchtige organische stoffen, weekma-

* $\triangle$ (delta): verschil tussen binnen- en buitenluchtconcentratie

kers, vocht, schimmels of luchtverontreiniging door verkeer, omdat er geen enkele samenhang is met de CO_2-productie. Voor de luchtkwaliteit is CO_2 dan ook een zwakke indicator. Deze conclusies laten onverlet dat het vergroten van de ventilatie in een klaslokaal zal leiden tot een daling van zowel de CO_2-concentratie, als de concentraties van andere stoffen en kleine deeltjes in de lucht, tenzij de concentraties in de toegevoerde lucht hoger zijn dan in de af te voeren binnenlucht.

4.2 Onderbouwing van de diverse CO_2-toetsingswaarden

Adviesvraag 3. Hoe verhouden de motieven en achtergronden van de CO_2-toetswaarde voor ventilatie die gehanteerd wordt door de GGD zich tot de CO_2-concentratiewaarde die beleidsmatig gehanteerd wordt voor het afvoeren van verontreinigingen uit de binnenlucht?

4.2.1 CO_2-toetswaarden GGD

In de GGD-richtlijn 'Beoordelen van ventilatie scholen' uit 2006 staan de volgende 'gezondheidskundige toetswaarden' voor CO_2-concentraties (tabel 5). Deze worden zowel uitgedrukt in het verschil (△: delta) tussen de binnen- en buitenluchtconcentratie als in concentraties in de binnenlucht bij een achtergrondgehalte van circa 400 ppm. Tevens zijn schattingen gegeven van de luchtstroom die nodig is om de CO_2-gehalten te realiseren.

Aan de hand van deze toetswaarden adviseert de richtlijn GGD-medewerkers om de volgende aanbevelingen te doen aan scholen of gemeenten:[143]

- $\triangle CO_2 > 1\,000$ ppm: meteen maatregelen nemen als de toetswaarde van 1 400 ppm wordt overschreden, zowel in de vorm van voorlichting over ventilatiegedrag als van bouwkundige maatregelen
- $\triangle CO_2 = 600$-$1\,000$ ppm: zo spoedig mogelijk voorlichting geven over ventilatiegedrag en zo nodig ook bouwkundige maatregelen nemen, als de toetswaarde van 1 000 ppm wordt overschreden en die van 1 400 ppm niet
- $\triangle CO_2 = 400$-600 ppm: maatregelen zijn wenselijk als de toetswaarde van 800 ppm worden overschreden en de hogere toetswaarden niet
- $\triangle CO_2 < 400$ ppm: optimalisatie overwegen; streefdoel is het niet overschrijden van de toetswaarde van 800 ppm of een nog lagere waarde.

Tabel 5 GGD-beoordeling van CO_2-gehalte (P98[a]) en ventilatie per persoon in een klaslokaal.[143]

$\triangle CO_2$-gehalte in ppm (binnen-buiten)	CO_2-gehalte in ppm, incl. achtergrond	Verse luchtstroom per persoon in liter/seconde	Verse luchtstroom per persoon in m^3 per uur	Beoordeling GGD
< 400	< 800	> 15	> 54	Goed
400-600	800-1 000	10-15	36-54	Matig
600-1 000	1 000-1 400	6-10	22-36	Onvoldoende
> 1 000	> 1400	< 6	< 22	Slecht

[a] 98e percentiel: de hoogste waarde, exclusief de 2% hoogste meetwaarden.

De GGD-richtlijn verwijst voor een onderbouwing van de voorgestelde toetswaarden naar het rapport van een door GGD Nederland ingestelde expertgroep.[145] Aanleiding voor dit rapport waren diverse signalen uit de praktijk over vermoede nadelige effecten van gebrekkige ventilatie op het functioneren van leerlingen en leerkrachten. De expertgroep concludeerde uit de bevindingen van een aantal onderzoeken dat de kans op ongewenste effecten toeneemt met de CO_2-concentratie, zonder dat een duidelijke waarde was aan te wijzen waaronder geen effecten optraden. Sommige effecten zouden al kunnen optreden bij CO_2-concentraties die weinig hoger waren dan de CO_2-concentratie van de buitenlucht. Om te komen tot kwantitatieve toetswaarden, is aansluiting gezocht bij bestaande normeringen, met name de Europese norm EN 13779 voor de classificering van ventilatiesystemen in utiliteitsgebouwen, waaronder scholen.

De commissie heeft de beperkingen van diverse onderzoeken die de expertgroep citeert, al besproken in de hoofdstukken 2 en 3 en de bijbehorende bijlagen. Samengevat constateert ze dat ventilatie weliswaar effect kan hebben op het aantal micro-organismen in de lucht, maar dat het effect op de overdracht van luchtweginfecties onduidelijk is.[55,60] Voor uitspraken over het voorkomen van gezondheidsklachten vindt de commissie de situatie in Amerikaanse kantoorgebouwen nauwelijks vergelijkbaar met die in Nederlandse basisscholen.[114] Aangehaald onderzoek naar het cognitief functioneren van leerlingen dat wel in Nederlandse basisscholen is uitgevoerd, is niet *peer-reviewed* gepubliceerd.[121,122] Tot slot merkt ze op dat de classificatie in de Europese norm niet wetenschappelijk is onderbouwd. Op basis van deze overwegingen is de commissie van mening dat de bewijskracht van de door de GGD aangehaalde onderzoeken te beperkt is voor het afleiden van toetsingswaarden.

4.2.2 CO_2-waarde als grondslag Bouwbesluit

De minimale ventilatiecapaciteit in het Bouwbesluit 2003 voor nieuwbouw is vastgesteld op 25 m^3 per uur (of 7 liter per seconde) per persoon*. Deze 'ventilatie-eis' is gebaseerd op een TNO-rapport uit 1995, dat op zijn beurt uitging van de NEN-norm** 'NEN 1087' voor ventilatie van woongebouwen uit 1974.[146] Met een dergelijke ventilatiecapaciteit kan een evenwichtsconcentratie beneden 1 200 ppm CO_2 worden gerealiseerd bij een CO_2-concentratie in de buitenlucht van 330 ppm ($\triangle CO_2$: 870 ppm). Deze ventilatie-eis was van oudsher bedoeld om een kortdurende sensatie van een onaangename lichaamsgeur bij bezoekers en herintredende gebruikers van een ruimte te voorkomen. Dit uitgangspunt is in 1984 door een commissie van de Gezondheidsraad onderschreven en voor woningen aanvaardbaar geacht.[3] De Gezondheidsraad baseerde zich destijds vooral op een TNO-onderzoek uit 1981 naar de toelaatbare minimale toevoer van verse lucht per persoon in gebouwen, dat een aanvaardbare CO_2-concentratie tot maximaal 1 000 à 1 500 ppm ondersteunde.[100] Volgens schatting kwam 1 200 ppm CO_2 overeen met een situatie waarin tien procent van de volwassen gebruikers van de onderzochte vertrekken de waargenomen geur 'niet meer acceptabel' vond***. Daarbij werden ook situaties meegenomen waarin de gebruikers hun oordeel gaven nadat zij enkele minuten uit de ruimte waren weggeweest. De aantallen proefpersonen waren zo klein dat weinig betekenis kan worden gehecht aan de relatie tussen de CO_2-concentratie en geurhinder.

De commissie is van mening dat de onderbouwing van de CO_2-waarde van 1 200 ppm, als uitgangspunt voor de ventilatie-eisen in het Bouwbesluit, destijds zeer beperkt was en zal in de volgende paragraaf de vraag beantwoorden of er op dit moment een betere onderbouwing mogelijk is voor de situatie in scholen.

---

* Voor andere relevante bepalingen voor het binnenmilieu op scholen in het Bouwbesluit van de Woningwet en andere wetten verwijst de commissie naar bijlage G.

** NEN-norm: door het Nederlandse Normalisatie Instituut uitgegeven norm; NEN-normen waar in het Bouwbesluit of een andere wettelijke regeling niet naar wordt verwezen, hebben geen wettelijke status, maar zijn particuliere afspraken tussen belanghebbenden.

*** De auteur zelf achtte een dergelijk percentage klachten van geurhinder overigens niet verantwoord voor kantoren en vergelijkbare gebouwen. Bij een minimum verse luchttoevoer van 35 respectievelijk 50 m^3 per uur per persoon was dat percentage vijf respectievelijk een.

4.3 Heroverweging CO_2-waarde van 1 200 ppm

Adviesvraag 4. De capaciteitseisen voor de ventilatie in het Bouwbesluit 2003 voor nieuwbouw, gebaseerd op het vermijden van geuroverlast, zijn afgeleid van het advies van de Gezondheidsraad uit 1984. Zijn er gezondheidskundige redenen om de huidige CO_2-concentratiewaarde van 1 200 ppm te heroverwegen?

4.3.1 Uitgangspunten Gezondheidsraad 1984

Luchtkwaliteit in woningen. Uitgangpunt in het Gezondheidsraadadvies uit 1984 over het binnenhuisklimaat in Nederlandse woningen was dat de binnenlucht van een zodanige kwaliteit diende te zijn dat ook op de lange termijn en voor gevoelige groepen geen hinder of nadeel voor de gezondheid zou ontstaan.[3]

Geurhinder voor bezoekers. Uitgangspunt was meer het welbevinden van bezoekers dan het welbevinden van gebruikers, bij wie een natuurlijke geuradaptatie optreedt.

Gevoelige groepen. Voor extra gevoelige groepen, zoals bijvoorbeeld patiënten met astma, zouden volgens de raad speciale voorwaarden aan de kwaliteit van het binnenhuisklimaat moeten worden gesteld. Voor deze groep zouden woningen individueel moeten worden ‘gesaneerd’.

Onvermijdbare bronnen. De Gezondheidsraad was destijds van mening dat alleen onvermijdbare bronnen van binnenluchtverontreiniging in ogenschouw moesten worden genomen bij het vaststellen van de minimale ventilatiecapaciteit voor woningen, te weten de productie van CO_2 en geurstoffen door de mens zelf.

Vermijdbare bronnen. De Gezondheidsraad was van mening dat de binnenluchtkwaliteit door vermijdbare bronnen niet moest worden verbeterd door het verhogen van de algemene ‘ventilatie-eisen’, maar door maatregelen die de ‘bronsterkte’ beperken, zoals het stellen van emissie-eisen aan bouw-, inrichtings- en lesmaterialen.

4.3.2 Uitgangspunten van de huidige commissie

Luchtkwaliteit in scholen. Naar analogie van de uitgangspunten van de Gezondheidsraad in 1984, die gericht waren op het binnenmilieu in woningen, is de hui-

dige commissie van mening dat het binnenmilieu in scholen zodanig zou moeten zijn dat geen nadelige effecten optreden in het lichamelijk, geestelijk en sociaal welbevinden en functioneren van leerlingen, ook niet op de langere termijn.

Geurhinder leerlingen en leerkrachten. De commissie beschouwt geurhinder als een gemis aan welbevinden dat zoveel mogelijk beperkt dient te worden, ook bij het binnengaan van de klas. Daarbij gaat ze ervan uit dat bij onderzoeken doorgaans een paar procent van de ondervraagden ook hinder rapporteert bij zeer lage blootstelling.

Gevoelige groepen. De commissie is van mening dat het binnenmilieu in scholen geschikt moet zijn voor het merendeel van de leerlingen met astma, die gevoeliger zijn voor binnenluchtverontreiniging dan anderen. Probleem daarbij is dat geen blootstellingsniveau is aan te geven waaronder astmatische kinderen geen luchtwegklachten ontwikkelen. Vier tot zeven procent van de basisschoolleerlingen in Nederland heeft astma, gedefinieerd als symptomen van terugkerend hoesten, piepen of kortademigheid.[62] De commissie beschouwt ook kinderen met chronische hoofdpijn en kinderen met leerproblemen als mogelijk gevoeliger voor omgevingsinvloeden. Afhankelijk van de leeftijd heeft twee tot vijf procent van de kinderen chronische hoofdpijn.[147] Het aantal kinderen met leerproblemen is niet goed bekend, vooral bij gebrek aan een eenduidige definitie.

Onvermijdbare bronnen. Evenals het advies van de Gezondheidsraad uit 1984 stelt de commissie dat alleen onvermijdbare, in het bijzonder leerling-gebonden bronnen van binnenmilieuverontreiniging in ogenschouw moeten worden genomen bij het vaststellen van een advies- of toetsingswaarde voor ($\triangle$) CO_2 in klaslokalen. Dit betreft vooral lichaamsgeur.

Vermijdbare bronnen. Vermijdbare bronnen van binnenluchtverontreiniging die niet direct van de mens afkomstig zijn, maar wel de gezondheid kunnen benadelen, moeten volgens de commissie niet in de eerste plaats worden bestreden door meer te ventileren, maar door deze waar mogelijk – juist in scholen – bij de bron aan te pakken.

4.3.3 Heroverweging CO_2-waarde

Om te kunnen beoordelen of er aanleiding is tot verandering van de CO_2-waarde van 1 200 ppm als uitgangspunt voor de ventilatie-eisen in het Bouwbesluit, vat de commissie in deze paragraaf de in de voorgaande hoofdstukken beschreven

stand van kennis samen over het verband tussen CO_2-concentraties en gezondheidseffecten. Zoals eerder gesteld, wordt CO_2 hierbij gezien als indicator voor luchtverversing en indirect ook voor de binnenluchtkwaliteit.

Bewijskracht blootstelling-effectrelaties bij CO_2-concentraties binnenlucht. In tabel 6 heeft de commissie de bewijskracht van de bestudeerde onderzoeken in scholen geordend naar soort effect, in relatie tot de waargenomen CO_2-concentraties in de binnenlucht. Ze heeft daarvoor de waarschijnlijkheid van een effect beoordeeld aan de hand van de grootte van het effect in combinatie met het betrouwbaarheidsinterval, de zeggingskracht van de onderzoeksopzet en de kwaliteit van uitvoering (zie tabel 1 t/m 4).

Opgemerkt wordt dat sommige onderzoeken meer dan één CO_2-categorie beslaan: Norbäck (900-1 100), Berg-Munch (600-1 500), Wanner (500-2 000) en de Gids (800-1 600). Indien hun uitkomst statistisch significant is, wordt dat voor de hogere categorie aangegeven, omdat de significantie geldt ten opzichte van de blootstelling in de lagere categorie.

Tabel 6 Waarschijnlijkheid nadelige gezondheidseffecten bij CO_2-concentraties in binnenlucht in scholen.

Nadelig gezondheidseffect	<1 000 ppm	1 000-1 500 ppm	>1 500 ppm
Geurhinder 'bezoekers'	Norbäck, 2008[96]: + Berg-Munch, 1986[97]: ±	Berg-Munch, 1986[97]: + Wanner, 1982[99]: +	Wanner, 1982[99]: ++
Oordeel commissie	+	+	++
Geurhinder 'gebruikers' (leerkrachten, leerlingen)		Berg-Munch, 1986[97]: ±	Versteeg, 2007[4]: ± Potting, 1989[101]: ++
Oordeel commissie	*?*	±	*+(+)*
Lichamelijke klachten	Smedje, 2000[112]: + Kim, 2005[30]: ±	Norbäck, 2008[111]: ± Smedje, 1997[17]: ±	Potting, 1989[101]: ± Myhrvold, 1996[110]: +
Oordeel commissie	±	±	+
Infecties			
Oordeel commissie	*?*[a]	?	?
Cognitieve effecten		De Gids, 2007[120]: + Ten Boske, 1997[122]: ± Wargocki, 2007:[125] ± V Buggenum, 2003[121]: ±	Coley, 2007[126]: ± Shaughnessy, 2006[127]: ± Myhrvold, 1996[110]: ±
Oordeel commissie	*?*	±	±

[a] De kans neemt waarschijnlijk af naarmate het CO_2-gehalte daalt.

- aannemelijk dat geen effect optrad (minimale grootte van effect en smal betrouwbaarheidsinterval)
± effect niet aangetoond, maar ook niet uitgesloten (breed betrouwbaarheidsinterval) -> niet-informatief onderzoek
+ aanwijzingen voor effect (0,05<p<0,10 of enige bias aannemelijk)
++ effect aangetoond (p<00,05 en bias onwaarschijnlijk)
? geen uitspraak mogelijk (empirische gegevens ontbreken)

Blootstelling-effectrelatie CO_2 en geurhinder. Uit de bestudeerde literatuur komt naar voren dat er alleen voor personen die een ruimte binnengaan ('bezoekers') een relatie is aangetoond tussen de CO_2-concentratie en geurhinder. Onder 1 500 ppm is een dergelijke relatie niet gevonden voor personen die in de ruimte verblijven ('gebruikers'). De commissie trekt deze conclusie vooral op basis van een Deens experiment in een collegezaal.[97] Van studenten die de ruimte binnengingen nam het percentage met 'onacceptabele' geurhinder toe van 20 tot 30 procent bij een toename van 600 tot 1 500 ppm CO_2. Er was geen relatie voor hen die in de ruimte verbleven. In een Zwitsers experiment is bij het binnengaan van een ruimte pas een hinderlijke waarneming van lichaamsgeuren aangetoond boven een CO_2-concentratie in de binnenlucht van 1 500 ppm.[99] Deze onderzoeken, die zijn samengevat in tabel 2, geven een betere beschrijving van de relatie tussen CO_2 en geurhinder van (volwassen) gebruikers en bezoekers dan het TNO-onderzoek uit 1981, dat de basis vormde voor het Gezondheidsraadadvies van 1984.

Blootstelling-effectrelatie CO_2 en lichamelijke klachten. De commissie heeft slechts in één onderzoek een aanwijzing gevonden voor een verband tussen de mate van luchtverversing in scholen en het optreden van astmaklachten bij leerlingen.[112] Deze klachten namen af na de installatie van een nieuw ventilatiesysteem, waarna de gemiddelde CO_2-concentratie aan het eind van de les daalde van 1 000 tot 800 ppm. Ze kunnen niet door CO_2 worden verklaard. Onduidelijk is in hoeverre deze daling was toe te schrijven aan een daling van de blootstelling aan schimmels en andere factoren in de binnenlucht, die in Zweedse scholen hoger kan zijn dan in Nederlandse. Op basis van de bestudeerde literatuur concludeert de commissie dat de kennis ontbreekt om een CO_2-concentratie aan te geven waarboven in klaslokalen gezondheidsklachten beginnen op te treden.

Blootstelling-effectrelatie CO_2 en infecties. Naar een verband met infecties is nauwelijks empirisch onderzoek verricht. De commissie acht het aannemelijk dat een toename van de ventilatie in scholen de blootstelling aan ziektekiemen en daarmee de kans op infecties doet afnemen. Het valt echter niet aan te geven hoe sterk deze samenhang is.

Blootstelling-effectrelatie CO_2 en cognitief functioneren. In één (niet *peer-reviewed*) onderzoek zijn aanwijzingen gevonden voor een nadelig effect op het cognitief functioneren van kinderen bij een toename van de CO_2-concentratie van circa 800 naar 1 600 ppm, al kan ook hier de CO_2-concentratie daar zelf niet

voor verantwoordelijk zijn.[120] Andere onderzoeken waren volgens de commissie onvoldoende informatief.

Samengevat is de commissie van mening dat op basis van de beschikbare gegevens een CO_2-toetsingswaarde voor luchtverversing in klaslokalen kan liggen in een betrekkelijk ruim gebied rond 1 200 ppm. De gegevens hebben echter onvoldoende zeggingskracht om daarbinnen een wetenschappelijk onderbouwde waarde aan te geven waaronder geen nadelige effecten zijn te verwachten. De commissie vindt hierin geen aanleiding om de huidige waarde van maximaal 1 200 ppm CO_2 als de grondslag voor het Bouwbesluit te veranderen. Ze adviseert wel om deze voortaan uit te drukken als het verschil (delta: $\triangle$) tussen binnen- en buitenluchtconcentratie. Een CO_2-concentratie van 1 200 ppm in de binnenlucht komt bij een gebruikelijke buitenluchtconcentratie van 400 ppm overeen met een concentratieverschil van 800 ppm. De commissie stelt voor om een concentratieverschil van 800 ppm als toetsingswaarde te hanteren voor de mate van luchtverversing. Daarboven zijn maatregelen nodig ter verbetering van de ventilatie (zie hoofdstuk 6).

4.4 Beschouwing

Bij het afleiden van een nieuwe toetsingswaarde voor CO_2 voor basisscholen, als indicator voor luchtverversing en indirect ook voor de binnenluchtkwaliteit, kiest de commissie voor een benadering die beoogt aannemelijk te maken dat er bij en onder een bepaalde CO_2-concentratie geen nadelige gezondheidseffecten optreden. Indien daarover gegevens ontbreken, dienen niet alleen blootstellingsniveaus te worden voorkomen waarvoor nadelige effecten zijn aangetoond, maar ook indien daarvoor volgens de commissie voldoende aanwijzingen bestaan.

Zeggingskracht bestudeerde onderzoeken. Sinds het advies van de Gezondheidsraad uit 1984 zijn zo'n twintig artikelen verschenen die informatie geven over de betekenis van de binnenlucht in scholen voor de gezondheid van leerlingen. Het merendeel van deze onderzoeken laat geen nadelig effect zien. Tegelijkertijd is de onzekerheid in de uitkomsten groot, waardoor een effect ook gemist kan zijn. De belangrijkste oorzaken van onzekerheid zijn dat:

- CO_2 slechts een zwakke indicator is voor de binnenluchtkwaliteit
- veelal betrekkelijk geringe verschillen in CO_2-concentratie onderzocht werden, zodat bij grotere verschillen een (sterker) effect denkbaar is
- niet duidelijk is bij welke concentratie of concentratieverschil het effect begint op te treden

- leerlingen of ouders beïnvloed kunnen zijn doordat ze weet hebben van de verandering die wordt bestudeerd
- de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen een samenhang heeft met de woonomstandigheden thuis, zodat de afzonderlijke invloed van de school op de gezondheid niet of nauwelijks onderscheiden kan worden.

Deze problemen bij de interpretatie betekenen dat er feitelijk onvoldoende gegevens zijn om een robuuste advieswaarde voor CO_2 op te baseren. Drie van de bestudeerde onderzoeken geven enige aanwijzing voor een nadelig effect bij relatief lage CO_2-concentraties, te weten astmatische klachten (1 000 versus 800 ppm), hoofdpijn (1 100 versus 900 ppm) en cognitieve effecten (1 600 versus 800 ppm).[111,112,120] De genoemde interpretatieproblemen gelden ook enigermate voor deze onderzoeken en maken dat ze een beperkte zeggingskracht hebben. Bij gemiddelde CO_2-concentraties in klaslokalen boven 1 500 ppm zijn er meer aanwijzingen dat er nadelige gezondheidseffecten optreden, maar het is onduidelijk in welke mate.

CO_2-toetsingswaarde. De commissie concludeert dat in verreweg de meeste onderzoeken in het concentratiegebied onder de 1 200 ppm CO_2* geen nadelige effecten op de gezondheid en het cognitief functioneren aannemelijk zijn gemaakt. Omdat de zeggingskracht van deze onderzoeken beperkt is, kan de commissie geen goed onderbouwde toetsingswaarde aangeven. Ze ziet dan ook geen reden om voor klaslokalen af te wijken van de huidige CO_2-waarde van maximaal 1 200 ppm als grondslag voor het Bouwbesluit. Dit betekent dat er kinderen zullen zijn die geurhinder ervaren bij het binnengaan van de klas en dat een gevoelig kind een nadelig effect kan ondervinden.

Voorstel $\triangle CO_2$-toetsingswaarde. De commissie merkt op dat een CO_2-toetsingswaarde van 1 200 ppm in de binnenlucht geen rekening houdt met CO_2-variaties in de buitenlucht. Gegeven deze variaties dient een nieuwe toetsingswaarde strikt genomen gedefinieerd te worden als het verschil (delta: $\triangle$) tussen de concentratie in de binnen- en de buitenlucht. De commissie acht het dan ook zeer gewenst om dit concentratieverschil als toetsingswaarde te hanteren voor de mate van luchtverversing. In de beschouwde literatuur wordt dit verschil slechts zelden vermeld, maar aangenomen is dat de buitenluchtconcentratie ruwweg 350-400 ppm heeft bedragen. Aangezien de resultaten van de onderzoeken naar de relatie tussen CO_2, gezondheid en cognitief functioneren geen nauwkeurigheid toelaten

* merendeels weergegeven als schooldaggemiddelde, soms als percentiel

in kleinere klassen dan 100 ppm, acht de commissie een $\triangle CO_2$-gehalte in klaslokalen aanvaardbaar van maximaal 800 ppm.

Overschrijdingen CO_2-toetsingswaarde. Aangezien de literatuurgegevens doorgaans zijn gebaseerd op schooldaggemiddelde CO_2-concentraties, valt te overwegen om voor de toetsingswaarde ook een gemiddelde te nemen. Voorzichtigheidshalve beveelt de commissie aan dat de CO_2-concentratie gedurende de lestijd niet hoger wordt dan 1 200 ppm ($\triangle CO_2$: 800 ppm). In de praktijk zijn kortdurende fluctuaties echter niet te vermijden en vrijwel zeker ook niet relevant uit oogpunt van gezondheid.

Potentieel nadelige bijeffecten van verlaging van de CO_2-concentratie. CO_2-concentraties van 1 200 ppm in de binnenlucht van klaslokalen ($\triangle CO_2$: < 800 ppm) kunnen vaak alleen worden bereikt door intensief te ventileren*. Intensivering van de ventilatie blijkt in de praktijk niet goed mogelijk met alleen natuurlijke ventilatievoorzieningen, vooral vanwege het optreden van tocht- en koudeklachten.[148,149] Mechanische ventilatiesystemen kunnen echter weer een bron van klachten zijn door mogelijke geluidhinder en door vervuiling van filters of toevoerkanalen.[90,91,93,94] Dit is veelal het gevolg van ontwerpfouten, verkeerde installatie, afstelling of van gebrekkig onderhoud en daarom vermijdbaar.

Andere binnenmilieuaspecten. De commissie benadrukt dat eenzijdige aandacht voor het CO_2-gehalte en de mate van ventilatie voorbijgaat aan andere binnenmilieuaspecten die invloed hebben op de gezondheid. Dat geldt bijvoorbeeld voor ongewenst hoge temperatuur, luchtbeweging en geluidsniveaus. In hoofdstuk 6 zal de commissie hier enkele aanbevelingen over formuleren.

* Lage CO_2-concentraties vragen eigenlijk om andere ventilatietechnieken dan ventilatie op basis van volledige menging. Ventilatiesystemen op basis van verdringing bereiken bijvoorbeeld met minder lucht hetzelfde resultaat.

Hoofdstuk **5**

Advieswaarden voor het binnenmilieu in scholen

In dit hoofdstuk bespreekt de commissie voor welke andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren dan CO_2 advieswaarden zinvol kunnen zijn.

Adviesvraag 5. In hoeverre zijn advieswaarden op te stellen voor andere binnenmilieufactoren (dan CO_2) voor zover die verband houden met ventilatie?

Het RIVM heeft in 2004 ‘gezondheidkundige advieswaarden voor het binnenmilieu’ afgeleid voor een groot aantal chemische stoffen en voor geluid.[144] In 2007 zijn deze geactualiseerd, mede naar aanleiding van een actualisering van de WHO Air Quality Guidelines.[150] In principe zijn deze advieswaarden gericht op woningen, maar volgens het RIVM zijn ze ook toepasbaar op andere locaties waar mensen langdurig verblijven, zoals scholen (zie bijlage H). Daarnaast adviseert de commissie Gezondheid en Beroepsmatige Blootstelling aan Stoffen (GBBS) van de Gezondheidsraad de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid over nieuwe gezondheidskundige advieswaarden, als eerste voor hittestress in arbeidsomstandigheden.[117]

In aanvulling op bovengenoemde advieswaarden vindt de commissie het zinvol dat specifiek voor scholen advieswaarden beschikbaar komen voor die gezondheidsrelevante en ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren waarvoor CO_2 geen betrouwbare indicator is, te weten:

- chemische stoffen uit bouw- en inrichtingsmaterialen

- opdwarrelend fijn stof: PM_{10}
- ultrafijn stof (< 100 nm) en roetdeeltjes van buiten
- niet-infectieuze microbiologische componenten
- allergenen, afkomstig van mijten, schimmels en huisdieren
- temperatuur (zowel maximum als minimum).*

Gezien het ontbreken van relevante literatuurgegevens over deze agentia op scholen en hun effecten op de gezondheid, is echter eerst onderzoek noodzakelijk naar effecten, blootstelling-effectrelaties en de factoren die daarop invloed hebben. Zolang op basis van gegevens uit dergelijk onderzoek geen advieswaarden zijn vastgesteld**, vindt de commissie het niet zinvol om aan te bevelen de genoemde binnenmilieufactoren in klaslokalen te meten. In hoofdstuk 6 doet zij wel aanbevelingen om de blootstelling aan schadelijke factoren zoveel mogelijk te verminderen door ze bij de bron aan te pakken.

Samengevat vindt de commissie het zinvol dat er specifiek voor scholen gezondheidskundige advieswaarden beschikbaar komen voor chemische stoffen afkomstig uit bouw- en inrichtingsmaterialen, fijn stof, allergenen en temperatuur. Momenteel is er echter onvoldoende kennis over de nadelige effecten van het binnenmilieu in scholen om tot goed onderbouwde advieswaarden te komen. Daartoe moet volgens de commissie meer onderzoek worden gedaan naar de invloed van het binnenmilieu in klaslokalen op de gezondheid van leerlingen en leerkrachten.

* Voor thermisch comfort wel een ISO-norm beschikbaar.
** Momenteel zijn diverse WHO-richtlijnen voor binnenmilieukwaliteit in voorbereiding.[151]

Hoofdstuk **6**

Aanbevelingen voor een gezond binnenmilieu op school

In dit hoofdstuk doet de commissie aanbevelingen om de gezondheid van leerlingen en leerkrachten te beschermen. Ze spitst haar aanbevelingen toe op leerlingen van basisscholen, maar ze zijn op onderdelen ook relevant voor scholen in het voortgezet of bijzonder onderwijs. De relevantie voor kinderdagverblijven is beperkt: ze verschillen te veel van scholen vanwege de jongere leeftijdsgroep en de andere functie.

6.1 Nader onderzoek en evaluatie

Zoals in voorgaande hoofdstukken is beschreven, is het wetenschappelijk onderzoek waarop de commissie zich heeft kunnen baseren, beperkt. Daarom beveelt zij verder onderzoek aan naar de invloed van ventilatie op de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen en op de gezondheid en het cognitief functioneren van leerlingen. Dit onderzoek zou zich in het bijzonder moeten richten op gevoelige groepen, zoals kinderen met astma, chronische hoofdpijn of leerproblemen. Tevens beveelt zij onderzoek aan naar de effectiviteit van technische maatregelen ter reductie van de blootstelling aan schadelijke binnenmilieufactoren op scholen en de effecten daarvan op de gezondheid.

Vooruitlopend op de resultaten van nader onderzoek, adviseert de commissie maatregelen te stimuleren en praktijkrichtlijnen te ontwikkelen, ook voor de jeugdgezondheidszorg, ter vermindering van blootstelling aan schadelijke

binnenmilieufactoren in klaslokalen. Overigens is de kennis nog verregaand ontoereikend om deze aanbevelingen te kwantificeren.

6.2 Eisen aan ventilatievoorzieningen

In 2007 bleek bij een representatieve steekproef van 120 schoollokalen dat de CO_2-concentratie, als maat voor luchtverversing, gedurende de lestijd gemiddeld op bijna 2 000 ppm lag. Veel scholen moeten dus intensiever ventileren om het CO_2-gehalte te houden onder de waarde van 1 200 ppm die als grondslag is gehanteerd voor de ventilatie-eisen voor nieuwbouw in het Bouwbesluit 2003. De commissie merkt op dat de daarvoor benodigde ventilatie ook kan leiden tot – onnodige – bijeffecten zoals tocht of geluidhinder. Dit vereist zowel goede ventilatievoorzieningen als voorlichting over een goed gebruik van die voorzieningen. Om bijeffecten van versterkte ventilatie te voorkomen, moeten eisen worden opgesteld voor ontwerp, installatie en onderhoud van ventilatievoorzieningen op scholen. Deze moet niet alleen voldoende luchtverversing en thermisch comfort garanderen, maar ook de afgifte van schadelijke stoffen aan de binnenlucht, tocht en geluidhinder voorkómen.

Binnenlucht. Gezien de toenemende toepassing van ventilatievoorzieningen in scholen om redenen van energiebesparing, luchtverversing of geluiddemping vindt de commissie het relevant dat eisen worden gesteld aan ontwerp en onderhoud van ventilatiesystemen. Bij gebrekkig onderhoud kan stof uit de toevoerfilters en -kanalen van ventilatiesystemen tot gezondheidsklachten leiden. Voor de luchtkwaliteit op school is het van belang om ventilatiekanalen regelmatig schoon te maken en filters tijdig te vervangen.

Schone buitenlucht. Om een gezond binnenmilieu te handhaven, moet ook de ventilatielucht zelf van goede kwaliteit zijn. Daartoe beveelt de commissie aan om eisen op te stellen voor de van buiten ingenomen lucht waarmee scholen worden geventileerd. Op scholen in gebieden met vervuilde buitenlucht kan de toepassing van een ventilatiesysteem met geschikte filterinstallatie zorgen voor een verbetering van de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen en daarmee voor een verlaging van het risico op luchtwegklachten, vooral bij kinderen met astma.

Luchtbeweging en geluid. Bij voorzieningen voor natuurlijke ventilatie blijkt het optreden van tocht aanleiding voor een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen.[4] Bij mechanische ventilatiesystemen kan geluidhinder het gebruik van de voorziening beperken. Mede daarom sluit de commissie zich aan

bij het voorgestelde beleid om het maximale geluidsniveau afkomstig van ventilatiesystemen in klaslokalen te beperken tot 35 dB(A). Dit is het niveau waarboven in klaslokalen een verminderde ‘spraakverstaanbaarheid’ optreedt. Daartoe is het belangrijk om al in het ontwerp van ventilatiesystemen aandacht te besteden aan het beperken van tocht- en geluidhinder.

6.3 Andere maatregelen voor een gezond binnenmilieu

De commissie benadrukt dat naast de aandacht voor het CO_2-gehalte, als indicator voor luchtverversing, ook aandacht besteed moet worden aan andere binnenmilieufactoren die nadelige gezondheideffecten kunnen veroorzaken, waarvoor CO_2 geen bruikbare indicator is. Dat geldt bijvoorbeeld voor chemische stoffen uit bouw- en inrichtingsmaterialen, stofdeeltjes, ziektekiemen, allergenen, temperatuur en geluid. Deze ‘vermijdbare’ vormen van blootstelling moeten zoveel mogelijk worden beheerst door een specifieke brongerichte aanpak, bijvoorbeeld door de keuze van de inrichting en een adequate schoonmaak van de klaslokalen.

Emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen. Gezondheidsrelevante emissies van bijvoorbeeld stoffering, inrichtings- en lesmaterialen of apparatuur worden vooral bepaald door de inrichting van de ruimte. Er zijn de commissie geen wetenschappelijke publicaties bekend over de concentraties in Nederlandse scholen en mogelijke gezondheidseffecten bij leerlingen noch over de effectiviteit van emissiereducerende maatregelen. Voorzichtigheidshalve pleit de commissie ervoor om de toepassing en het gebruik te minimaliseren van materialen waaruit prikkelende stoffen vrijkomen, zoals formaldehyde, vluchtige organische stoffen en weekmakers, omdat die bij gevoelige groepen, zoals kinderen met astma, tot klachten kunnen leiden. Zolang dergelijke maatregelen niet zijn genomen, kan ventilatie er toe bijdragen dat blootstelling aan prikkelende stoffen beperkt blijft.

Stofdeeltjes, ziektekiemen en allergenen. Blootstelling aan concentraties van leerling-gebonden verontreinigingen, zoals stofdeeltjes, ziektekiemen en allergenen, worden mede bepaald door het gedrag van de kinderen. Ze kunnen deels ook brongericht worden aangepakt, bijvoorbeeld door het schoonmaken van het klaslokaal of de keuze van de soort vloerbedekking. Aanvullend kan ventilatie tot een afname van de blootstelling leiden. Dit zal de kans op nadelige gezondheidseffecten verminderen.

Temperatuur en geluid. Tot slot vindt de commissie het van belang om in klaslokalen te streven naar optimale thermische en akoustische omstandigheden.

Literatuur

1 Meijer A, Hasselaar E, Snepvangers CAM. Literatuurstudie scholen en kindercentra: binnenmilieu, gezondheid en leerprestaties. Delft: Technische Universiteit Delft; 2007.

2 Kabinet. Kabinetsvisie binnenmilieu basisscholen. Den Haag: Directoraat Generaal Milieu, Ministerie VROM; 2008.

3 Gezondheidsraad. Advies inzake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen. Den Haag: Gezondheidsraad; 1984: 1984/01. Internet: www.gr.nl.

4 Versteeg H. Onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen. Den Haag: Ministerie van VROM; 2007: 8055.

5 Kabinet. Nationale aanpak milieu en gezondheid 2008-2010. Den Haag: Directoraat-Generaal Milieu Ministerie VROM; 2008.

6 Gezondheidsraad. Radon : toetsing rapport "Beir VI". Den Haag: Gezondheidsraad; 2000: 2000/05. Internet: www.gr.nl.

7 International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). 2001.

8 Aaronson NK. Quality of life: what is it? How should it be measured? Oncology (Williston Park) 1988; 2(5): 69-76, 64.

9 International statistical Classification of Diseases and related health problems (ICD). 1992.

10 Preamble to the constitution of the World Health Organization. 1946.

11 Brunekreef B. Binnenklimaat in scholen: gezondheidsaspecten. Utrecht: Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht; 2008.

12 Peeters E. Handboek Binnenmilieu 2007. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2007.

13 Smedje G, Norback D. Incidence of asthma diagnosis and self-reported allergy in relation to the school environment--a four-year follow-up study in schoolchildren. Int J Tuberc Lung Dis 2001; 5(11): 1059-1066.
14 Godwin C, Batterman S. Indoor air quality in Michigan schools. Indoor Air 2007; 17(2): 109-121.
15 Shendell DG, Winer AM, Stock TH, Zhang L, Zhang JJ, Maberti S e.a. Air concentrations of VOCs in portable and traditional classrooms: results of a pilot study in Los Angeles County. J Expo Anal Environ Epidemiol 2004; 14(1): 44-59.
16 Adgate JL, Church TR, Ryan AD, Ramachandran G, Fredrickson AL, Stock TH e.a. Outdoor, indoor, and personal exposure to VOCs in children. Environ Health Perspect 2004; 112(14): 1386-1392.
17 Smedje G, Norback D, Edling C. Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment. Clin Exp Allergy 1997; 27(11): 1270-1278.
18 Kim JL, Elfman L, Mi Y, Wieslander G, Smedje G, Norback D. Indoor molds, bacteria, microbial volatile organic compounds and plasticizers in schools--associations with asthma and respiratory symptoms in pupils. Indoor Air 2007; 17(2): 153-163.
19 Liebl B, Schettgen T, Kerscher G, Broding HC, Otto A, Angerer J e.a. Evidence for increased internal exposure to lower chlorinated polychlorinated biphenyls (PCB) in pupils attending a contaminated school. Int J Hyg Environ Health 2004; 207(4): 315-324.
20 Schwenk M, Gabrio T, Papke O, Wallenhorst T. Human biomonitoring of polychlorinated biphenyls and polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofuranes in teachers working in a PCB-contaminated school. Chemosphere 2002; 47(2): 229-233.
21 Blondeau P, Iordache V, Poupard O, Genin D, Allard F. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. Indoor Air 2005; 15(1): 2-12.
22 Mi YH, Norback D, Tao J, Mi YL, Ferm M. Current asthma and respiratory symptoms among pupils in Shanghai, China: influence of building ventilation, nitrogen dioxide, ozone, and formaldehyde in classrooms. Indoor Air 2006; 16(6): 454-464.
23 Gezondheidsraad. Vluchtige organische stoffen uit bouwmaterialen in verblijfsruimten. Den Haag: Gezondheidsraad; 2000: 2000/10. Internet: www.gr.nl.
24 CBS Webmagazine. Bunschoten B, van Leeuwen N. 115 schoolgebouwen te dicht bij de weg. 15-10-2007; 1-3.
25 Dijkema M, van Strien R, Jonker R, van der Zee S. Effectiviteit van mechanische ventilatie met filtertoepassing in een klaslokaal. Amsterdam: GGD Amsterdam; 2009.
26 Janssen NA, Brunekreef B, van Vliet P, Aarts F, Meliefste K, Harssema H e.a. The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness, and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren. Environ Health Perspect 2003; 111(12): 1512-1518.
27 Brunekreef B, Janssen NA, de Hartog J, Harssema H, Knape M, van Vliet P. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. Epidemiology 1997; 8(3): 298-303.

28 Vliet P van, Knape M, de Hartog J, Janssen N, Harssema H, Brunekreef B. Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. Environ Res 1997; 74(2): 122-132.

29 Janssen NA, Hoek G, Brunekreef B, Harssema H. Mass concentration and elemental composition of PM10 in classrooms. Occup Environ Med 1999; 56(7): 482-487.

30 Kim JL, Elfman L, Mi Y, Johansson M, Smedje G, Norback D. Current asthma and respiratory symptoms among pupils in relation to dietary factors and allergens in the school environment. Indoor Air 2005; 15(3): 170-182.

31 Diapouli E, Chaloulakou A, Mihalopoulos N, Spyrellis N. Indoor and outdoor PM mass and number concentrations at schools in the Athens area. Environ Monit Assess 2008; 136(1-3): 13-20.

32 Diapouli E, Chaloulakou A, Spyrellis N. Levels of ultrafine particles in different microenvironments--implications to children exposure. Sci Total Environ 2007; 388(1-3): 128-136.

33 Fromme H, Twardella D, Dietrich S, Heitmann D, Schierl R, Liebl B e.a. Particulate matter in the indoor air of classrooms - exploratory results from Munich and surrounding area. Atmos Environ 2007; 41: 854-866.

34 Allermann L, Meyer HW, Poulsen OM, Nielsen JB, Gyntelberg F. Inflammatory potential of dust from schools and building related symptoms. Occup Environ Med 2003; 60(9): E5.

35 Crist KC, Liu B, Kim M, Deshpande SR, John K. Characterization of fine particulate matter in Ohio: Indoor, outdoor, and personal exposures. Environ Res 2008; 106(1): 62-71.

36 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(11): 835-842.

37 Fox A, Harley W, Feigley C, Salzberg D, Toole C, Sebastian A e.a. Large particles are responsible for elevated bacterial marker levels in school air upon occupation. J Environ Monit 2005; 7(5): 450-456.

38 Kinshella MR, Van Dyke MV, Douglas KE, Martyny JW. Perceptions of indoor air quality associated with ventilation system types in elementary schools. Appl Occup Environ Hyg 2001; 16(10): 952-960.

39 Heudorf U, Neitzert V, Spark J. Particulate matter and carbon dioxide in classrooms - the impact of cleaning and ventilation. Int J Hyg Environ Health 2009; 212(1): 45-55.

40 Tang JW, Li Y, Eames I, Chan PK, Ridgway GL. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. J Hosp Infect 2006; 64(2): 100-114.

41 Gala CL, Hall CB, Schnabel KC, Pincus PH, Blossom P, Hildreth SW e.a. The use of eye-nose goggles to control nosocomial respiratory syncytial virus infection. JAMA 1986; 256(19): 2706-2708.

42 Johnston SL, Pattemore PK, Sanderson G, Smith S, Campbell MJ, Josephs LK e.a. The relationship between upper respiratory infections and hospital admissions for asthma: a time-trend analysis. Am J Respir Crit Care Med 1996; 154(3 Pt 1): 654-660.

43 Mikolajczyk RT, Akmatov MK, Rastin S, Kretzschmar M. Social contacts of school children and the transmission of respiratory-spread pathogens. Epidemiol Infect 2008; 136(6): 813-822.

44 McManus TE, Coyle PV, Kidney JC. Childhood respiratory infections and hospital admissions for COPD. Respir Med 2006; 100(3): 512-518.
45 Wallinga J, Mylius S. Verwachtingen voor het verloop van een influenzapandemie bij verschillende interventiestrategieën. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2004.
46 Keijzer-Veen MG, Fraaij PLA, Groot Rd, Rümke HC. Influenza bij kinderen. Tijdschrift voor kindergeneeskunde 2002; 70: 206-212.
47 Cowling BJ, Lau EH, Lam CL, Cheng CK, Kovar J, Chan KH e.a. Effects of school closures, 2008 winter influenza season, Hong Kong. Emerg Infect Dis 2008; 14(10): 1660-1662.
48 Spengler JD, Loftness VE, Bayer CW, Bradley JS, Earthman GI, Eggleston PA e.a. Green Schools: Attributes for Health and Learning. 2006; 192.
49 Li Y, Leung GM, Tang JW, Yang X, Chao CY, Lin JZ e.a. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - a multidisciplinary systematic review. Indoor Air 2007; 17(1): 2-18.
50 Richtlijnen Infectieziekten. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2008.
51 Riley EC, Murphy G, Riley RL. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. Am J Epidemiol 1978; 107(5): 421-432.
52 Riley RL. Indoor spread of respiratory infection by recirculation of air. Bull Eur Physiopathol Respir 1979; 15(5): 699-705.
53 Sandora TJ, Shih MC, Goldmann DA. Reducing absenteeism from gastrointestinal and respiratory illness in elementary school students: a randomized, controlled trial of an infection-control intervention. Pediatrics 2008; 121(6): e1555-e1562.
54 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(10): 639-647.
55 Liu LJ, Krahmer M, Fox A, Feigley CE, Featherstone A, Saraf A e.a. 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(11): 1957-1967.
56 Chen SC, Liao CM. Modelling control measures to reduce the impact of pandemic influenza among schoolchildren. Epidemiol Infect 2008; 136(8): 1035-1045.
57 Morawska L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? Indoor Air 2006; 16(5): 335-347.
58 Liao CM, Chang CF, Liang HM. A probabilistic transmission dynamic model to assess indoor airborne infection risks. Risk Anal 2005; 25(5): 1097-1107.
59 Phillips L, Carlile J, Smith D. Epidemiology of a tuberculosis outbreak in a rural Missouri high school. Pediatrics 2004; 113(6): e514-e519.
60 Rudnick SN, Milton DK. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. Indoor Air 2003; 13(3): 237-245.
61 Fisk W. Commentary on predictive models of control strategies involved in containing indoor airborne infections, Indoor Air 16: 469-481. Indoor Air 2008; 18(1): 72-73.

62 Gezondheidsraad. Astma, allergie en omgevingsfactoren. Den Haag: Gezondheidsraad; 2007: 2007/15. Internet: www.gr.nl.

63 Douwes J. (1-->3)-Beta-D-glucans and respiratory health: a review of the scientific evidence. Indoor Air 2005; 15(3): 160-169.

64 Smit LA, Heederik D, Doekes G, Blom C, van Z, I, Wouters IM. Exposure-response analysis of allergy and respiratory symptoms in endotoxin-exposed adults. Eur Respir J 2008; 31(6): 1241-1248.

65 Foarde K, Berry M. Comparison of biocontaminant levels associated with hard vs. carpet floors in nonproblem schools: results of a year long study. J Expo Anal Environ Epidemiol 2004; 14 Suppl 1: S41-S48.

66 Tranter DC. Indoor allergens in settled school dust: a review of findings and significant factors. Clin Exp Allergy 2005; 35(2): 126-136.

67 Karlsson AS, Renstrom A. Human hair is a potential source of cat allergen contamination of ambient air. Allergy 2005; 60(7): 961-964.

68 Almqvist C, Larsson PH, Egmar AC, Hedren M, Malmberg P, Wickman M. School as a risk environment for children allergic to cats and a site for transfer of cat allergen to homes. J Allergy Clin Immunol 1999; 103(6): 1012-1017.

69 Giovannangelo M, Gehring U, Nordling E, Oldenwening M, de Wind S, Bellander T e.a. Childhood cat allergen exposure in three European countries: The AIRALLERG study. Sci Total Environ 2006; 369(1-3): 82-90.

70 Zock JP, Brunekreef B. House dust mite allergen levels in dust from schools with smooth and carpeted classroom floors. Clin Exp Allergy 1995; 25(6): 549-553.

71 Instanes C, Hetland G, Berntsen S, Lovik M, Nafstad P. Allergens and endotoxin in settled dust from day-care centers and schools in Oslo, Norway. Indoor Air 2005; 15(5): 356-362.

72 Abramson SL, Turner-Henson A, Anderson L, Hemstreet MP, Bartholomew LK, Joseph CL e.a. Allergens in school settings: results of environmental assessments in 3 city school systems. J Sch Health 2006; 76(6): 246-249.

73 Chew GL, Correa JC, Perzanowski MS. Mouse and cockroach allergens in the dust and air in northeastern United States inner-city public high schools. Indoor Air 2005; 15(4): 228-234.

74 Ritz BR, Hoelscher B, Frye C, Meyer I, Heinrich J. Allergic sensitization owing to 'second-hand' cat exposure in schools. Allergy 2002; 57(4): 357-361.

75 Lonnkvist K, Hallden G, Dahlen SE, Enander I, van Hage-Hamsten M, Kumlin M e.a. Markers of inflammation and bronchial reactivity in children with asthma, exposed to animal dander in school dust. Pediatr Allergy Immunol 1999; 10(1): 45-52.

76 Almqvist C, Wickman M, Perfetti L, Berglind N, Renstrom A, Hedren M e.a. Worsening of asthma in children allergic to cats, after indirect exposure to cat at school. Am J Respir Crit Care Med 2001; 163(3 Pt 1): 694-698.

77 Karlsson AS, Renstrom A, Hedren M, Larsson K. Allergen avoidance does not alter airborne cat allergen levels in classrooms. Allergy 2004; 59(6): 661-667.

78 Karlsson AS, Andersson B, Renstrom A, Svedmyr J, Larsson K, Borres MP. Airborne cat allergen reduction in classrooms that use special school clothing or ban pet ownership. J Allergy Clin Immunol 2004; 113(6): 1172-1177.

79 Sahakian NM, White SK, Park JH, Cox-Ganser JM, Kreiss K. Identification of mold and dampness-associated respiratory morbidity in 2 schools: comparison of questionnaire survey responses to national data. J Sch Health 2008; 78(1): 32-37.

80 Handal G, Leiner MA, Cabrera M, Straus DC. Children symptoms before and after knowing about an indoor fungal contamination. Indoor Air 2004; 14(2): 87-91.

81 Ahman M, Lundin A, Musabasic V, Soderman E. Improved health after intervention in a school with moisture problems. Indoor Air 2000; 10(1): 57-62.

82 Mudarri D, Fisk WJ. Public health and economic impact of dampness and mold. Indoor Air 2007; 17(3): 226-235.

83 Lignell U, Meklin T, Putus T, Rintala H, Vepsalainen A, Kalliokoski P e.a. Effects of moisture damage and renovation on microbial conditions and pupils' health in two schools--a longitudinal analysis of five years. J Environ Monit 2007; 9(3): 225-233.

84 Patovirta RL, Meklin T, Nevalainen A, Husman T. Effects of mould remediation on school teachers' health. Int J Environ Health Res 2004; 14(6): 415-427.

85 Purokivi M, Hirvonen MR, Roponen M, Randell J, Vahteristo M, Tukiainen H. Comparison of inflammatory elements in nasal lavage and induced sputum following occupational exposure to moldy-building microbes. Inhal Toxicol 2002; 14(6): 653-662.

86 Walinder R, Norback D, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P. Acoustic rhinometry and lavage biomarkers in relation to some building characteristics in Swedish schools. Indoor Air 2001; 11(1): 2-9.

87 Norback D, Walinder R, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P. Indoor air pollutants in schools: nasal patency and biomarkers in nasal lavage. Allergy 2000; 55(2): 163-170.

88 Hirvonen MR, Ruotsalainen M, Roponen M, Hyvarinen A, Husman T, Kosma VM e.a. Nitric oxide and proinflammatory cytokines in nasal lavage fluid associated with symptoms and exposure to moldy building microbes. Am J Respir Crit Care Med 1999; 160(6): 1943-1946.

89 Walinder R, Norback 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(7): 479-486.

90 Meyer HW, Wurtz H, Suadicani P, Valbjorn O, Sigsgaard T, Gyntelberg F. Molds in floor dust and building-related symptoms among adolescent school children: a problem for boys only? Indoor Air 2005; 15 Suppl 10: 17-24.

91 Meyer HW, Wurtz H, Suadicani P, Valbjorn O, Sigsgaard T, Gyntelberg F. Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children. Indoor Air 2004; 14(1): 65-72.

92 Bartlett KH, Kennedy SM, Brauer M, Van Netten C, Dill B. Evaluation and a predictive model of airborne fungal concentrations in school classrooms. Ann Occup Hyg 2004; 48(6): 547-554.

93 Zweers T, Preller L, Brunekreef B, Boleij JSM. Health and indoor climate complaints of 7043 office workers in 61 buildings in the Netherlands. Indoor Air 1992; 2: 127-136.
94 Fanger PO, Lauridsen J, Bluyssen P, Clausen G. Air pollution sources in offices and assembly halls, quantified by the OLF unit. Energy Buildings 1988; 12: 7-19.
95 Wargocki P, Wyon DP, Fanger PO. The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates. Indoor Air 2004; 14 Suppl 8: 7-16.
96 Norback D, Nordstrom K. An experimental study on effects of increased ventilation flow on students' perception of indoor environment in computer classrooms. Indoor Air 2008; 18(4): 293-300.
97 Berg-Munch B, Clausen G, Fanger PO. Ventilation requirements for the control of body odor in spaces ocupied by women. Environ Intern 1986; 12: 195-199.
98 Cain WS, Leaderer BP, Isseroff R, Berglund LG, Huey RJ, Lipsitt ED e.a. Ventilation requirements in buildings - I. Control of occupancy odor and tobacco smoke odor. Atmospheric Environment 1983; 17(6): 1183-1197.
99 Wanner HU. [Indoor air pollution produced by man (carbon dioxide, odors)]. Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg 1982; 53: 11-16.
100 Bouwman HB. Binnenklimaat in gebouwen; onderzoek naar de toelaatbare 'minimum verseluchttoevoer per persoon' in gebouwen. Delft: TNO; 1981.
101 Potting J, van de Sandt P, Brunekreef B, Romeny I, Boleij JSM. Zieke scholen? Aspecifieke gezondheidsklachten bij schoolkinderen in samenhang met het binnenklimaat en kooldioxyde gehalte. Tijdschr Soc Gezondheidsz 1989; 67: 311-315.
102 Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. Indoor Air 2000; 10(4): 222-236.
103 Wargocki P, Wyon DP, Baik YK, Clausen G, Fanger PO. Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. Indoor Air 1999; 9(3): 165-179.
104 Beko G, Clausen G, Weschler CJ. Sensory pollution from bag filters, carbon filters and combinations. Indoor Air 2008; 18(1): 27-36.
105 Sliwka U, Krasney JA, Simon SG, Schmidt P, Noth J. Effects of sustained low-level elevations of carbon dioxide on cerebral blood flow and autoregulation of the intracerebral arteries in humans. Aviat Space Environ Med 1998; 69(3): 299-306.
106 Margel D, White DP, Pillar G. Long-term intermittent exposure to high ambient CO2 causes respiratory disturbances during sleep in submariners. Chest 2003; 124(5): 1716-1723.
107 Dijken F van, van Bronswijk J, Sundell J. Indoor environment and pupils' health in primary schools. Building Research and Information 2006; 34(5): 437-446.
108 Weerdt D van de, Wensveen P, Koster A. De kwaliteit van het binnenmilieu in een aantal basisscholen in de regio IJssel-Vecht. Zwolle: GGD Regio IJssel-Vecht; 1995.

109 Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. Indoor Air 2003; 13(1): 53-64.
110 Indoor performance in schools - pupils' health and performance in regard to CO2 concentrations. Myhrvold AN, Olsen E, Lauridsen O. Proceedings Indoor Air 1996.
111 Norback D, Nordstrom K. Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO(2), room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study. Int Arch Occup Environ Health 2008; 82(1): 21-30.
112 Smedje G, Norback D. New ventilation systems at select schools in Sweden--effects on asthma and exposure. Arch Environ Health 2000; 55(1): 18-25.
113 Health complaints, CO2 levels and indoor climate in Dutch schools. Potting J, van der Sandt P, ter Haar Romeny-Wacher I, Brunekreef B, Boleij JSM. Proceedings Indoor Air 1987.
114 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: 246-257.
115 Fang L, Wyon DP, Clausen G, Fanger PO. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Indoor Air 2004; 14 Suppl 7: 74-81.
116 Hall E, Dusseldorp A. Gezondheidseffecten van een lage relatieve vochtigheid in woningen. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2008: 609021071/2008.
117 Gezondheidsraad. Hittestress op de werkplek. Den Haag: Gezondheidsraad; 2008: 24.
118 Gogtay N, Giedd JN, Lusk L, Hayashi KM, Greenstein D, Vaituzis AC e.a. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. Proc Natl Acad Sci U S A 2004; 101(21): 8174-8179.
119 Anderson P. Assessment and development of executive function (EF) during childhood. Child Neuropsychol 2002; 8(2): 71-82.
120 Gids WF de, van Oel CJ, Phaff JC, Kalkman A. Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een basisschool. Delft: TNO Bouw en Ondergrond; 2007.
121 Buggenum S van. Het binnenmilieu van basisscholen en de leerprestaties van leerlingen. 2003.
122 Boske JA ten. Luchtkwaliteit in scholen en aandacht van leerlingen. 1997.
123 Mendell MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. Indoor Air 2005; 15(1): 27-52.
124 Wargocki P, Wyon DP. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children. HVAC&R Res 2007; 13(2): 193-220.
125 Wargocki P, Wyon DP. The effects of outdoor air supply rate and supply air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children. HVAC&R Res 2007; 13(2): 165-191.
126 Coley DA, Greeves R, Saxby BK. The effect of low ventilation rates on the cognitive function of a primary school class. Int J Ventilation 2007; 6(2): 107-112.
127 Shaughnessy RJ, Haverinen-Shaughnessy U, Nevalainen A, Moschandreas D. A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. Indoor Air 2006; 16(6): 465-468.

128 Clements-Croome DJ, Awbi HB, Bako-Biro Z, Kochhar N, Williams M. Ventilation rates in schools. Building & Environment 2008; 43: 362-367.
129 Seppanen O, Fisk WJ, Lei QH. Ventilation and performance in office work. Indoor Air 2006; 16(1): 28-36.
130 Hancock PA, Ross JM, Szalma JL. A meta-analysis of performance response under thermal stressors. Hum Factors 2007; 49(5): 851-877.
131 Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. Guidelines for community noise. Geneva: 1999.
132 Dockrell JE, Shield BM. Acoustical barriers in classrooms: the impact of noise on performance in the classroom. British Educ Research J 2006; 32(3): 509-525.
133 Hygge S, Evans GW, Bullinger M. A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. Psychol Sci 2002; 13(5): 469-474.
134 Bullinger M, Hygge S, Evans GW, Meis M, von MS. The psychological cost of aircraft noise for children. Zentralbl Hyg Umweltmed 1999; 202(2-4): 127-138.
135 Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Ohrstrom E e.a. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. Lancet 2005; 365(9475): 1942-1949.
136 Clark C, Martin R, van Kempen E, Alfred T, Head J, Davies HW e.a. Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. Am J Epidemiol 2006; 163(1): 27-37.
137 Shield BM, Dockrell JE. The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. J Acoust Soc Am 2008; 123(1): 133-144.
138 Olesen BW. International standards for the indoor environment. Indoor Air 2004; 14 Suppl 7: 18-26.
139 Vermeulen A. CO_2 concentraties in de buitenlucht in Nederland. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland; 2008.
140 Gratani L, Varone L. Daily and seasonal variation of CO2 in the city of Rome in relationship with the traffic volume. Atmos Environ 2005; 39(14): 2619-2624.
141 Idso CD, Idso SB, Balling RC. An intensive two-week study of an urban CO2 dome in Phoenix, Arizona, USA. Atmos Environ 2001; 35(6): 995-1000.
142 Widory D, Javoy M. The carbon isotope composition of atmospheric CO2 in Paris. Earth Planet Sci Lett 2003; 215(1-2): 289-298.
143 Habets T. GGD-richtlijn Beoordelen van ventilatie scholen. Utrecht: GGD Nederland; 2006.
144 Dusseldorp A, van Bruggen M, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2004: 609021029/2004.
145 Duijm F. Toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra. Utrecht: Werkgroep Binnenmilieu, GGD Nederland; 2006.
146 Gids WF de, Scholten NPM. Bouwbesluit: grenswaarden ventilatie. Delft: TNO; 1995.
147 Perquin CW, Hazebroek-Kampschreur AA, Hunfeld JA, Bohnen AM, van Suijlekom-Smit LW, Passchier J e.a. Pain in children and adolescents: a common experience. Pain 2000; 87(1): 51-58.

148 Geelen LM, Huijbregts MA, Ragas AM, Bretveld RW, Jans HW, van Doorn WJ e.a. Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behavior in primary schools. Indoor Air 2008; 416-424.
149 Nijkamp MM. Verbetering ventilatie basisscholen; evaluatie effect middellange termijn. Tilburg: Bureau Gezondheid, Milieu & Veiligheid GGD'en Brabant/Zeeland; 2008.
150 Dusseldorp A, van Bruggen M. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2007: 609021043/2007.
151 WHO Guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen: WHO; 2009.
152 Moya J, Bearer CF, Etzel RA. Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. Pediatrics 2004; 113(4 Suppl): 996-1006.
153 Fisk WJ, Mirer AG, Mendell MJ. Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. Indoor Air 2009; 19(2): 159-165.
154 Menzies R, Tamblyn R, Farant JP, Hanley J, Nunes F, Tamblyn R. The effect of varying levels of outdoor-air supply on the symptoms of sick building syndrome. N Engl J Med 1993; 328(12): 821-827.
155 Erdmann CA, Apte MG. Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE dataset. Indoor Air 2004; 14 Suppl 8: 127-134.
156 Rosen KG, Richardson G. Would removing indoor air particulates in children's environments reduce rate of absenteeism--a hypothesis. Sci Total Environ 1999; 234(1-3): 87-93.
157 Wyart C, Webster WW, Chen JH, Wilson SR, McClary A, Khan RM e.a. Smelling a single component of male sweat alters levels of cortisol in women. J Neurosci 2007; 27(6): 1261-1265.
158 Lundstrom JN, Olsson MJ. Subthreshold amounts of social odorant affect mood, but not behavior, in heterosexual women when tested by a male, but not a female, experimenter. Biol Psychol 2005; 70(3): 197-204.
159 Lundstrom JN, Goncalves M, Esteves F, Olsson MJ. Psychological effects of subthreshold exposure to the putative human pheromone 4,16-androstadien-3-one. Horm Behav 2003; 44(5): 395-401.
160 Carr M. The determinants of student achievements in Ohio's public schools. 2006;
161 McNall PE, Nevisn RG. Comfort and academic achievement in an air-conditioned junior high school. ASHRAE Transactions 1967; 73: 3.
162 Ventilation rates in schools and pupil's performance using computerised assessment tests. Bako-Biro Z, Kochhar N, Clements-Croome DJ, Awbi HB, Williams M. Proceedings Indoor Air 2008.
163 Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, Apte MG, Blake D, Faulkner D. Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. Indoor Air 2004; 14(5): 333-341.
164 Myatt TA, Staudenmayer J, Adams K, Walters M, Rudnick SN, Milton DK. A study of indoor carbon dioxide levels and sick leave among office workers. Environ Health 2002; 1(1): 3.
165 Milton DK, Glencross PM, Walters MD. Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification, and occupant complaints. Indoor Air 2000; 10(4): 212-221.

166 Green GH. Indoor relative humidity in winter and the related absenteeism. ASHRAE Transactions 1985; 91: 643-653.
167 Shield B, Dockrell JE. External and internal noise surveys of London primary schools. J Acoust Soc Am 2004; 115(2): 730-738.
168 Regeling Bouwbesluit 2003. Staatscourant 2002; 241
169 Bouwbesluit 2003. Staatsblad 2002; 582
170 Tweede Kamer der Staten-Generaal. 28 089 Gezondheid en milieu. 2009-2010, 25. 's Gravenhage.
171 Gezondheidsraad. Grote luchthavens en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad; 1999: 1999/14. Internet: www.gr.nl.
172 Dongen Jv, Vos H. Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland. Delft: TNO Bouw en Ondergrond; 2007.

A De adviesaanvraag

B De commissie

C Broneffectketen binnenmilieufactoren in scholen

D Literatuuroverzicht binnenmilieu scholen en gezondheid

E Geconsulteerde maatschappelijke groeperingen

F Model voor berekening verloop CO_2-concentratie

G Wet- en regelgeving binnenmilieu in scholen

H Gezondheidskundige advieswaarden

Bijlagen

Bijlage **A**

De adviesaanvraag

Op 8 februari 2008 ontving de voorzitter van de Gezondheidsraad de volgende brief van de minister van Ruimte en Milieu.

Geachte heer Knottnerus,

Het bewerkstelligen van een gezonde en veilige leefomgeving voor kinderen is één van de speerpunten van dit kabinet. Een gezond binnenmilieu op scholen is één van de aspecten die een positieve invloed heeft op de kwaliteit van de leefomgeving van kinderen en leerkrachten. Dit is door het kabinet opgepakt als onderdeel van ‘Milieu en Gezondheid 2008-2012’.

Binnenmilieu kent vele aspecten waaronder luchtkwaliteit, geluid, temperatuur en luchtvochtigheid. Het verbeteren van het binnenmilieu op scholen verdient de aandacht. Kinderen brengen een belangrijk deel van hun jeugd door in en om schoolgebouwen en het is dan ook zaak om de kwaliteit van het binnenmilieu te waarborgen.

Op verzoek van mij en mijn collega’s van OCW, VWS en voor WWI zijn in de afgelopen periode diverse onderzoeken uitgezet om inzicht te krijgen in de feitelijke situatie rondom het binnenmilieu op scholen. Tevens zijn diverse gemeenten en schoolbesturen reeds concreet aan de slag gegaan om het binnenmilieu waar nodig te verbeteren. De bevindingen uit de onderzoeken en de input vanuit het veld vormen de basis voor de kabinetsvisie binnenmilieu basisscholen die begin 2008 door het kabinet wordt aangeboden aan de Tweede Kamer.

In deze kabinetsvisie zullen de beleidslijnen voor de toekomst gepresenteerd worden waarbij tevens duidelijk is dat er nog kennislacunes zijn rond het binnenmilieu. Tegen deze achtergrond wil ik graag mede namens mijn collega's van OCW, VWS en voor WWI het standpunt van uw raad vernemen over de volgende vragen.

1 Wat zijn de belangrijkste factoren in het binnenmilieu van scholen die schadelijke effecten kunnen hebben op de gezondheid van kinderen en leerkrachten en cognitieve prestaties van kinderen? Bij welke mate van blootstelling kunnen deze effecten optreden?
2 Voor welke binnenmilieufactoren in scholen is CO_2 een goede indicator waar het de luchtverversing betreft? In hoeverre is CO_2 een indicator is voor de luchtkwaliteit in klaslokalen?
3 Hoe verhouden de motieven en achtergronden van de CO_2-toetswaarde voor ventilatie die gehanteerd wordt door de GGD zich tot de CO_2-concentratiewaarde die beleidsmatig gehanteerd wordt voor het afvoeren van verontreinigingen uit de binnenlucht?
4 De capaciteitseisen voor de ventilatie in het Bouwbesluit 2003 voor nieuwbouw, gebaseerd op het vermijden van geuroverlast, zijn afgeleid van het advies van de Gezondheidsraad uit 1984. Zijn er gezondheidskundige redenen om de huidige CO_2-concentratiewaarde van 1 200 ppm te heroverwegen?
5 In hoeverre zijn advieswaarden op te stellen voor andere (dan CO_2) binnenmilieu factoren voor zover die verband houden met ventilatie?

U wordt gevraagd relevante aspecten van bovenstaande onderwerpen mee te nemen in de opstelling van het advies. Gezien het belang van het onderwerp verzoek ik u mede namens mijn collega's om eind 2008 uw advies hierover uit te brengen.

Hoogachtend,
de minister van Ruimte en Milieu,
w.g.
dr. Jacqueline Cramer

Bijlage **B**

De commissie

- prof. dr. J.C. de Jongste, *voorzitter*
  hoogleraar kindergeneeskunde, in het bijzonder kinderlongziekten, Erasmus Universiteit Rotterdam
- drs. M. van Bruggen, arts, *adviseur*
  medisch milieukundige, Centrum voor Gezondheid en Milieu, RIVM, Bilthoven
- prof. dr. ir. B. Brunekreef
  hoogleraar milieu-epidemiologie, Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht
- prof. ir. J.J.M. Cauberg, *adviseur*
  hoogleraar klimaatontwerp en duurzaamheid, Technische Universiteit Delft
- drs. F. Duijm, arts
  medisch milieukundige, GGD Groningen en omstreken
- ing. W.F. de Gids, *adviseur*
  ventilatiedeskundige, TNO Bouw, Delft
- prof. dr. R. Hirasing
  hoogleraar jeugdgezondheidszorg, VU Medisch Centrum, Amsterdam
- prof. dr. J. Passchier
  hoogleraar medische psychologie, Erasmus Universiteit Rotterdam en hoogleraar psychologie van lichamelijke problemen, in het bijzonder pijn, Vrije Universiteit Amsterdam

- dr. M.M. Verberk, arts
  epidemioloog, toxicoloog, Coronel Instituut voor Arbeid, Milieu en Gezondheid, Universiteit van Amsterdam
- drs. D.E.W.M. Verschuren, *ambtelijk adviseur* (tot 30 maart 2009)
  senior beleidsmedewerker afdeling stoffen en normstelling, ministerie van VROM, Den Haag
- drs. T. van Teunenbroek, *ambtelijk adviseur* (sinds 30 maart 2009)
  senior beleidsmedewerker afdeling stoffen en normstelling, ministerie van VROM, Den Haag
- drs. M. Drijver, arts, *secretaris*
  Gezondheidsraad, Den Haag

Geraadpleegde externe deskundigen:
- dr. N.G. Hartwig, kinderarts voor infectieziekten, Erasmus Medisch Centrum
- dr. P.M. Hurks, ontwikkelingsneuropsycholoog, Maastricht University*
- prof. dr. W.F. Passchier, fysisch-chemicus, Maastricht University
- drs. W. Passchier-Vermeer, fysicus

De Gezondheidsraad en belangen

Leden van Gezondheidsraadcommissies – waaronder sinds 1 februari 2008 ook de leden van de RGO – worden benoemd op persoonlijke titel, wegens hun bijzondere expertise inzake de te behandelen adviesvraag. Zij kunnen echter, dikwijls juist vanwege die expertise, ook belangen hebben. Dat behoeft op zich geen bezwaar te zijn voor het lidmaatschap van een Gezondheidsraadcommissie. Openheid over mogelijke belangenconflicten is echter belangrijk, zowel naar de voorzitter en de overige leden van de commissie, als naar de voorzitter van de Gezondheidsraad. Bij de uitnodiging om tot de commissie toe te treden wordt daarom aan commissieleden gevraagd door middel van het invullen van een formulier inzicht te geven in de functies die zij bekleden, en andere materiële en niet-materiële belangen die relevant kunnen zijn voor het werk van de commissie. Het is aan de voorzitter van de raad te oordelen of gemelde belangen reden zijn iemand niet te benoemen. Soms zal een adviseurschap het dan mogelijk maken van de expertise van de betrokken deskundige gebruik te maken. Tijdens de installatievergadering vindt een bespreking plaats van de verklaringen die zijn verstrekt, opdat alle commissieleden van elkaars eventuele belangen op de hoogte zijn.

---

* Ten behoeve van de voorbereiding van het advies heeft mevrouw dr. P.M. Hurks, ontwikkelingsneuropsycholoog aan de Maastricht University, in de tweede commissievergadering een toelichting gegeven op de validiteit en voorspellende waarde van de in de bestudeerde binnenmilieupublicaties gehanteerde cognitieve testen bij kinderen.

Bijlage **C**

Broneffectketen binnenmilieufactoren in scholen

Schema Broneffectketen ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren in scholen.

Bron ⬇	• Kinderen, leerkrachten, eventuele huisdieren • Bouwmaterialen (spaanplaat), inrichtingsmaterialen (vloerbedekking) en lesmaterialen (krijt) • Buitenlucht en 'buitenstof' (kan binnenwaaien/ gelopen worden) • Niet goed onderhouden mechanische ventilatiesystemen
Emissie ⬇	• Menselijke en dierlijke emissies: CO_2, waterdamp, geur, huidschilfers, allergenen, ziektekiemen en andere microbiologische factoren • Emissies uit bouw-, inrichtings- en lesmaterialen • Invloed van omgeving (luchtvochtigheid, temperatuur) op emissies • Verontreinigingen als gevolg van menselijke activiteit (bijvoorbeeld schoonmaakmiddelen)
Verspreiding ⬇	• Mate van luchtverversing (CO_2, ventilatievoud), schoonmaak, activiteiten van kinderen
Blootstelling ⬇	• Geurstoffen, allergenen, ziektekiemen en andere microbiologische factoren • Formaldehyde, vluchtige organische verbindingen, fijn stof, opdwarrelend stof, persistente verbindingen, zoals weekmakers, polychloorbifenylen en andere hormoonverstorende stoffen • Luchtvochtigheid, temperatuur, luchtbeweging (comfort) • Geluid
Effecten	• Effecten op gezondheid en cognitief functioneren Gevoelige groepen: • algemeen: kinderen (in ontwikkeling)[152] • specifiek: kind met astma, allergie, chronische hoofdpijn of leerproblemen; leerkracht met astma of allergie

Elk niveau in deze broneffectketen kan aangrijpingspunt zijn voor mogelijke interventies ter preventie van effecten, in de vorm van normstelling, maatregelen of voorlichting:

- bron: bv. minder kinderen in de klas, niet bouwen nabij milieubelaste locaties
- emissie: bv. emissie-eisen
- verspreiding: bv. ventilatie- of CO_2-norm, ventilatiecapaciteit en -gedrag
- blootstelling: bv. advieswaarden voor blootstelling.

Bijlage **D**

Literatuuroverzicht binnenmilieu scholen en gezondheid

In deze bijlage beschrijft de commissie de oorspronkelijke onderzoeken die zijn bestudeerd ter beantwoording van de eerste adviesvraag. Hiervoor is gebruik gemaakt van een literatuuroverzicht van het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS).[11] De commissie bespreekt de onderzoeken in onderstaande volgorde (de laatst genoemde bron alleen voor zover aanvullend op de eerste):

- van interventieonderzoek naar dwarsdoorsnede-onderzoek
- van Nederlands naar buitenlands onderzoek (voor zover representatief)
- van *peer-reviewed* naar 'grijze' literatuur
- van meest recent naar ouder onderzoek
- van leerlingen naar leerkrachten
- van scholen naar kantoren en woningen.

D.1 Invloeden op de gezondheid

Binnenluchtkwaliteit

Chemische stoffen

Stikstofoxiden en ozon. In 2008 bleek uit een Frans onderzoek dat de concentraties stikstofoxiden (NO_x) op acht scholen, waarvan twee met mechanische ventilatie, vrijwel gelijk waren in binnen- en buitenlucht; ozon was binnen veel lager dan buiten.[21] De auteurs merkten op dat in verband met de bewezen schadelijk-

heid van ozon een advies tot minder ventileren gedurende zomersmogepisodes is te overwegen. In 2006 werd in Shanghai gekeken naar luchtwegklachten bij schoolkinderen van 13 en 14 jaar oud in relatie tot een reeks van binnenmilieuparameters.[22] De gemiddelde concentratie kooldioxide (CO_2) tijdens een lesuur varieerde tussen 530 tot 1 910 ppm. Alleen de relatie tussen verkeersgerelateerde stikstofdioxide (NO_2) en luchtwegklachten was statistisch significant: 50 procent meer klachten per 10 µg/m^3 stijging van de NO_2-concentratie.

Formaldehyde. Sinds de jaren zestig is veel spaanplaat verwerkt in daken, vloeren en tussenwanden van scholen.[12] In een aantal gevallen is gebleken dat het gebruik van spaanplaat kan leiden tot verhoogde gehalten formaldehyde in de binnenlucht. In een Zweeds cohortonderzoek onder 1 347 leerlingen van 7 tot 13 jaar oud bleek een positief verband tussen de astma-incidentie en – relatief lage – concentraties formaldehyde in de lucht (gemiddeld 8 µg/m^3) in 100 klaslokalen.[13]

Vluchtige organische stoffen. In de Verenigde Staten zijn de concentraties vluchtige organische stoffen (VOC*) in scholen onderzocht.[14] De ventilatie was in veel klaslokalen gering, gezien de hoge CO_2-concentraties (soms tot 3 000 ppm). De VOC-concentraties hingen wel met CO_2 samen, maar waren in het algemeen laag (gemiddeld 58 µg/m^3) in vergelijking met wat gebruikelijk is in kantoren. Tekenlokalen en practicumruimten bleken de belangrijkste bronnen van VOC te zijn. Onderzoek naar gezondheidklachten werd niet uitgevoerd. In een onderzoek in Californië is gekeken naar de concentratie vluchtige koolwaterstoffen in noodlokalen en gewone lokalen.[15] Concentraties waren in het algemeen laag, wel soms iets hoger in de noodlokalen. In twee scholen in Minneapolis, Minnesota, waren de concentraties van diverse vluchtige organische koolwaterstoffen laag in vergelijking met concentraties in persoonlijke blootstellingsmonsters en in woningen en vrijwel gelijk aan of lager dan in de buitenlucht.[16] In een Zweeds dwarsdoorsnede-onderzoek werd een verband aangetoond tussen de concentratie vluchtige organische stoffen in de lucht (gemiddeld 23 µg/m^{3**}) en het voorkomen van astmaklachten bij 13 en 14 jarigen (odds ratio: 1,3: 1,1-1,5 voor een toename van 10 µg/m^3; p<0,001).[17]

Weekmakers. In een Zweeds observationeel onderzoek werden in de binnenlucht van scholen metingen uitgevoerd van vluchtige koolwaterstoffen, afkomstig van

* VOC: *volatile organic compounds*
** gezondheidkundige advieswaarde: 200 µg/m^3

micro-organismen (MVOC*) en van enkele weekmakers en hun afbraakproducten.[18] Er werden statistisch significant positieve verbanden gevonden tussen de totale MVOC-concentratie, nachtelijke kortademigheid en door een arts vastgesteld astma. In de onderzochte scholen waren geen problemen met vocht of schimmels. Wel was er een samenhang tussen het gehalte van enkele weekmakers en luchtwegklachten.

Polychloorbifenylen (PCB's). In Duitsland is het voorkomen van PCB's** in de lucht onderzocht in een met PCB's verontreinigde school en een controleschool.[19] Ook werden PCB's in bloedmonsters van leerlingen onderzocht. De lagere congeneren*** werden in het verontreinigde gebouw in hogere concentraties gevonden dan in het controlegebouw, zowel in de binnenlucht als in het bloed. De totale uitwendige PCB-belasting was gelijk en werd gedomineerd door inname via voeding. Ook was er geen verschil in gerapporteerde gezondheidsklachten tussen beide populaties. Ook in een ander Duits onderzoek werden PCB-gehaltes gemeten in de lucht en in het bloed van leerkrachten van een gecontamineerde en een controleschool.[20] Ook hier bleek dat sommige specifieke congeneren in verhoogde concentraties in zowel lucht als bloed van leerkrachten van de gecontamineerde school voorkwamen, maar dat de totale PCB-belasting van de onderzochte personen niet verschilde van die van een controlegroep.

Fijn stof

In Athene zijn in en bij een aantal scholen de concentraties van PM_{10}, $PM_{2,5}$**** en ultrafijne stofdeeltjes (< 100 nm) in binnen- en buitenlucht onderzocht.[31,32] PM_{10} en in mindere mate $PM_{2,5}$ waren meestal hoger in de binnenlucht dan in de buitenlucht. Ultrafijne stofdeeltjes kwamen in de klaslokalen juist wat minder voor dan in de buitenlucht. In een Frans onderzoek werd eveneens gekeken naar de aantallen deeltjes van verschillende grootte in de binnen- en buitenlucht van acht scholen.[21] Ook hier waren de concentraties van grotere stofdeeltjes (> enkele μm) binnen verhoogd door het opdwarrelen door de activiteit van de kinderen.

---

* MVOC: *microbial volatile organic compounds*

** PCB's: polychloorbifenylen

*** congeneren: varianten van bepaalde stoffen met soortgelijke chemische structuur en meestal soortgelijke eigenschappen, maar soms grote verschillen in toxiciteit.

**** $PM_{2,5}$: deeltjes ('particulate matter') met een mediane aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 μm, als indicator voor antropogene stofdeeltjes in de buitenlucht, afkomstig van verbrandingsprocessen.

In een omvangrijk onderzoek in München en omgeving werden in 167 lokalen metingen verricht van fijn stof en CO_2.[33] In de winter waren de CO_2-concentraties tijdens de lesuren hoog (gemiddeld 1 759 ppm), in de zomer lager (gemiddeld 890 ppm). De PM_{10}-concentraties waren in de winter gemiddeld 92 $\mu g/m^3$, in de zomer 65 $\mu g/m^3$. In de winter was de gemiddelde $PM_{2,5}$-concentratie in de klaslokalen 37 $\mu g/m^3$, in de zomer 20 $\mu g/m^3$. In tegenstelling tot de PM_{10}-concentratie hing de $PM_{2,5}$-concentratie in klaslokalen in de winter niet samen met de CO_2-concentratie. De PM_{10}- en $PM_{2,5}$-concentraties waren in de hogere klassen statistisch significant lager dan in de laagste vier klassen. Dit werd door de auteurs toegeschreven aan het veel hogere niveau van lichamelijke activiteit in de lagere klassen. De stofconcentraties bleken niet afhankelijk te zijn van het type vloerbedekking (glad of textiel). De auteurs veronderstelden een lage schoonmaakfrequentie als mogelijke oorzaak van verhoogde opdwarreling van neergeslagen stof in de klaslokalen.

In Zweden is de relatie van PM_{10} met luchtwegklachten onderzocht. Daarbij werd eenmalig gedurende de lessen PM_{10} gemeten in de klaslokalen.[30] De concentraties waren hoog (gemiddeld 94 $\mu g/m^3$) met een grote spreiding van 12 tot 544 $\mu g/m^3$. Er is geen verband aangetoond met gerapporteerde luchtwegklachten. In een ander Zweeds onderzoek werd wel een verband gevonden tussen astmaklachten bij 13 en 14 jarigen en de potentiële blootstelling aan stof afgemeten aan de lengte van open boekenplanken in de klaslokalen (*shelf factor*).[17] Daarbij werd gecorrigeerd voor andere risicofactoren.

In Kopenhagen werd in 75 scholen bij leerlingen ouder dan dertien jaar en personeel een omvangrijk onderzoek uitgevoerd naar 'gebouwgerelateerde' klachten in relatie tot neergeslagen stof.[34] Gekeken werd naar oogirritatie, neusirritatie, verstopte neus, irritatie van de keel, jeuk of een warm gevoel in het gelaat, hoofdpijn, vermoeidheid en concentratieproblemen. In tien scholen met een lage prevalentie van klachten en tien scholen met een hoge prevalentie werd neergeslagen stof verzameld dat vervolgens *in vitro* werd onderzocht op de potentie om ontstekingsreacties te bevorderen in longepitheelcellen. Het vloerstof uit de scholen met de meeste klachten bleek bijna tweemaal zo reactief (per mg stof) als het stof uit de scholen met weinig klachten. De onderzoekers konden niet aangeven welke factoren of componenten in het stof verantwoordelijk kunnen zijn geweest voor de gevonden verschillen.

In de Verenigde Staten is onderzoek gedaan naar stofconcentratie in scholen. Op drie scholen in Ohio is de relatie onderzocht tussen de $PM_{2,5}$-concentraties in de binnen- en buitenlucht.[35] Tijdens de lessen bleken de $PM_{2,5}$-concentraties in de klaslokalen twee tot drie maal hoger dan in de buitenlucht, hetgeen ook werd toegeschreven aan het opdwarrelen van eerder neergeslagen stofdeeltjes, door

activiteit van de kinderen. In Illinois werd vastgesteld dat de concentratie van stof en vooral van grotere stofdeeltjes in de binnenlucht van klaslokalen was verhoogd ten opzichte van de buitenlucht.[36] Totaal-stofconcentraties van meer dan 100 $\mu g/m^3$ werden op verschillende plekken in de school waargenomen. In South Carolina werd gevonden dat tijdens gebruik van klaslokalen de concentratie stofdeeltjes groter dan 0,8 μm was verhoogd, met de sterkste verhoging in de minst geventileerde lokalen.[37] De concentraties konden gedurende de schooldag oplopen tot enkele honderden $\mu g/m^3$. Dit gebeurde op momenten dat de CO_2-concentratie opliep tot meer dan 2 000 ppm. Ook in Colorado werden in de lucht in klaslokalen en in de buitenlucht deeltjes van verschillende grootte geteld.[38] Deeltjes kleiner dan 1 μm waren in de lokalen lager in concentratie dan buiten, terwijl de aantallen deeltjes groter dan 1 μm binnen vaak aanmerkelijk hoger waren dan buiten. Het effect van ventilatie op PM_{10}-concentraties is inconsistent.[39] Enerzijds kan ventilatie deeltjes in de lucht afvoeren, anderzijds kan neergeslagen stof door de luchtstroom weer opdwarrelen.

Infectieuze micro-organismen

Interventieonderzoek. In een gerandomiseerd, gecontroleerd interventieonderzoek onder 285 basisschoolleerlingen in Ohio, Verenigde Staten, werd een gering verband aangetoond tussen het desinfecteren van handen en oppervlakken en het ziekteverzuim door maagdarmklachten[53]. Geen verband werd aangetoond met het ziekteverzuim door luchtwegklachten. Op de oppervlakken werden ook geen luchtwegvirussen, maar alleen norovirus aangetroffen. Dit pleit tegen een belangrijke rol van overdracht van virale luchtweginfecties via huidcontact met oppervlakken.

Observationeel onderzoek. In Canada is in 2004 de aanwezigheid onderzocht van bacteriën in de lucht in 39 scholen (116 klaslokalen).[54] In 62 mechanisch geventileerde lokalen was de schooldaggemiddelde CO_2-concentratie 845 ppm, bepaald over de zes uren dat de klaslokalen waren bezet. In de 54 lokalen met natuurlijke ventilatie was de gemiddelde CO_2-concentratie 1 079 ppm. De concentratie bacteriën in de lucht was steeds hoger in de binnenlucht dan in de buitenlucht. De gemiddelde concentraties in natuurlijk geventileerde lokalen was tweemaal zo hoog als in mechanisch geventileerde lokalen. Deze waarden liggen lager dan de waarden die in kinderdagverblijven en woningen werden gevonden en hoger dan die in kantoren. Er was een sterk verband tussen de concentraties bacteriën in de lucht en de CO_2-concentratie. Dit wijst er volgens de auteurs op dat de kinderen zelf als bron van bacteriën fungeren. Daarnaast hadden de leef-

tijd van het gebouw, de aanwezigheid van vochtplekken, de relatieve luchtvochtigheid en de activiteit van de leerlingen effect op de gemeten concentraties. De invloed van sociaal-economische status is niet bestudeerd, evenmin als de associaties met ziekteverschijnselen.

Niet-infectieuze microbiologische componenten

Een van de weinige onderzoeken op dit terrein is een observationeel onderzoek in South Carolina, Verenigde Staten. In drie scholen werd de aanwezigheid van bacteriecomponenten onderzocht in een beperkt aantal lokalen die in gebruik waren en lokalen die (tijdelijk) niet in gebruik waren.[37] In de in gebruik zijnde lokalen kwam in vloerstof meer endotoxine en muraminezuur voor, indicatoren voor de aanwezigheid van gramnegatieve respectievelijk grampositieve bacteriën. In de binnenlucht waren de concentraties tijdens gebruik van het lokaal hoger dan buiten gebruik, maar voor endotoxine gold dat de concentraties niet hoger waren dan in de buitenlucht. De onderzoekers veronderstelden dat huidschilfers van leerlingen mogelijk als bron van de (grampositieve) bacteriefragmenten fungeren. Ventilatie had nauwelijks invloed op de concentraties in de binnenlucht. Eerder zijn in North Carolina endotoxinen en schimmels onderzocht in vloerstof en binnenlucht van schoollokalen met gladde en textiele vloerbedekking.[65] Op textiele vloerbedekkingen werden per m^2 statistisch significant meer endotoxinen en β 1$\rightarrow$3 glucanen gevonden. In de lucht waren de concentraties endotoxine, schimmelsporen en β 1$\rightarrow$3 glucanen verhoogd in de school met een gladde vloerbedekking.

Allergenen

Interventieonderzoek. Uit onderzoek op Zweedse scholen blijken diverse preventieve maatregelen, zoals het intensiveren van de schoonmaak, verwijderen van stoffering en planten en vervangen van open boekenplanken door gesloten kasten, geen effect te sorteren op de mate van blootstelling aan katallergeen.[77] De auteurs achten het plausibel dat hetzelfde zal gelden voor de gezondheid van allergische kinderen.

Observationeel onderzoek. In ons land is tot nu toe alleen aandacht geschonken aan huisstofmijtallergeen in schoollokalen. In Rotterdam en Gelderland is onderzoek gedaan naar het vóórkomen van huisstofmijtallergeen op vloeren van lagere scholen.[70] Op textiele vloeren was de concentratie hoger dan op gladde vloeren.

De concentraties waren beduidend lager dan in vloerstof verzameld in woningen van vergelijkbare typen vloerbedekking.

Uit een Zweeds onderzoek blijkt dat de lucht in klaslokalen met veel leerlingen die thuis katten hadden, veel hogere concentraties katallergeen bevatten dan de lucht in klaslokalen met weinig leerlingen met katten thuis.[68] Op school bevatte de lucht vaak meer katallergeen dan in woningen waar geen katten werden gehouden. Ook bevatte matrasstof in huizen zonder katten meer katallergeen wanneer het kind in de klas op school relatief veel medeleerlingen had met katten thuis. Transport via de kleding of het hoofdhaar was hiervoor vermoedelijk verantwoordelijk.[67] Dezelfde onderzoekers lieten zien dat kinderen met astma meer klachten hadden wanneer zij in een klas zaten met relatief veel kinderen met katten thuis.[76] Andere Zweedse onderzoekers vonden statistisch significante verbanden tussen luchtwegklachten en hond- en paardallergeen in vloerstof in lokalen.[30] Dezelfde onderzoeksgroep vond ook een verband tussen astmaklachten bij 13 en 14 jarigen en katallergeen in vloerstof op school.[17] In een prospectief onderzoek onder leerlingen van 7 tot 13 jaar was de incidentie van ‘doktersdiagnose astma’ over een periode van vier jaar hoger op scholen met meer katallergeen in het vloerstof.[13] Andere Zweedse onderzoekers vonden dat kinderen met mild astma en sensibilisatie tegen kat of hond na een week op school een hogere bronchiale reactiviteit hadden dan aan het begin van de week.[75] De concentratie kat- en hondallergeen in stof van school bleek hoger dan in huisstof.

Ook in Noorwegen werd vastgesteld dat de hoeveelheid huisdierallergeen (kat, hond) in vloerstof in lokalen samenhing met het aantal leerlingen met katten of honden thuis.[71] Duitse onderzoekers vonden dat kinderen die thuis niet regelmatig aan katten waren blootgesteld, een tweemaal zo grote kans liepen om tegen kat gesensibiliseerd te raken wanneer zij in een klas met veel klasgenootjes met katten thuis zaten, dan wanneer zij in een klas met weinig klasgenootjes met katten thuis zaten.[74]

In de Verenigde Staten worden behalve mijt- en katallergeen soms aanzienlijke hoeveelheden muis- en kakkerlakallergeen gevonden in vloerstof van scholen.[72,73]

Zichtbaar vocht en schimmelgroei

Interventieonderzoek. In Finland is een school met vocht- en schimmelproblemen gedurende een periode van vijf jaar onderzocht: voor, tijdens na een renovatie.[83] Ook werd een controleschool onderzocht. Aanvankelijk waren er meer gezondheidsklachten en een hogere blootsteling aan schimmels in de ‘probleem-

school', maar na renovatie namen beide af tot het niveau van de controleschool. In onderzoek onder personeel van een Finse school met vocht- en schimmelproblemen werden na een saneringsoperatie de klachten onder het personeel minder.[84]

In een buitenwijk van Stockholm is een interventieonderzoek uitgevoerd in een school met vochtproblemen.[81] De school had lekkages gehad, waardoor 'microbiële' verontreiniging was ontstaan. Leerlingen en personeel ontwikkelden hierop huidklachten, oogklachten, vermoeidheid en hoofdpijn. Na verwijdering van de verontreiniging verminderden de meeste klachten. Het gezondheidsonderzoek werd parallel uitgevoerd in een controleschool waarin geen problemen bekend waren en geen interventie werd uitgevoerd. In die school was geen verandering van klachten.

Observationeel onderzoek. In de Verenigde Staten rapporteerden personeelsleden van twee basisscholen met vocht- en schimmelproblemen meer werkgerelateerde klachten van de luchtwegen, keel en ogen dan respondenten uit een groot nationaal vragenlijstonderzoek, die als controlegroep zijn gebruikt.[79] In delen van de school met vocht- en schimmelproblemen hadden personeelsleden meer luchtwegklachten dan hun collega's.

In Zweden is in acht scholen in het voorjaar het verband onderzocht tussen schimmels en bacteriën in de binnenlucht en luchtwegklachten.[18] De bacterieconcentraties waren ongeveer even hoog in binnen- en buitenlucht, de schimmelconcentraties waren in de buitenlucht duidelijk hoger. Bij hogere concentraties schimmels en bacteriën in de binnenlucht werden consistent minder luchtwegklachten gevonden, in een aantal gevallen statistisch significant. Dezelfde onderzoeksgroep vond in een prospectief onderzoek onder kinderen zonder allergische voorgeschiedenis juist een positief verband tussen de schimmelconcentratie in de lucht van klaslokalen en de incidentie van 'doktersdiagnose astma' (odds ratio: 4,7: 1,2-18,4; $p<0,05$).[13] Omdat in de analyse geen rekening is gehouden met de clustering van lokalen per school, kan dit verband enigszins zijn overschat. Eerder onderzocht dezelfde onderzoeksgroep ontstekingsreacties van neusslijmvlies bij personeelsleden van twaalf scholen.[86,87,89] De resultaten laten een inconsistent beeld zien: meer ontstekingsreacties in mechanisch geventileerde scholen, minder bij grotere ventilatievouden, weinig tot geen relatie met CO_2, meer ontstekingsreacties bij verhoogde concentraties schimmels, stof, NO_2 en formaldehyde in de binnenlucht.

Uit onderzoek in Denemarken onder ruim duizend adolescenten op acht 'vochtige' en zeven 'droge' scholen werd een samenhang aangetoond tussen de concentratie kolonievormende eenheden van schimmels in vloerstof van klas-

lokalen en de rapportage van oog- en keelirritatie, hoofdpijn en duizeligheid.[90,91] De schimmelconcentraties in vloerstof waren hoger in scholen met mechanische ventilatie dan in scholen met natuurlijke ventilatie. Dit kan betekenen dat ventilatiesystemen ook een bron van schimmels kunnen zijn. Ook waren de schimmelconcentraties hoger in scholen met de laagste CO_2-concentraties. De samenhang tussen mechanische ventilatie en CO_2-concentratie is hier niet onderzocht.

In Canada is in 2004 de aanwezigheid onderzocht van schimmels in de lucht in 116 klaslokalen van 39 scholen.[92] In 62 mechanisch geventileerde lokalen was de gemiddelde CO_2-concentratie 845 ppm. In de 54 lokalen met natuurlijke ventilatie was de gemiddelde CO_2-concentratie 1 079 ppm. Er werd een positief verband gevonden tussen de CO_2-concentratie in de klas en de schimmelconcentraties in de binnenlucht, die vrijwel steeds lager was dan die in de buitenlucht. Dit wijst erop dat de airconditioning installaties vermoedelijk de schimmelsporen uit de buitenlucht filteren.

In Texas is de rapportage van klachten onderzocht in een school met en een school zonder problemen met schimmels. Voordat het schimmelprobleem in de publiciteit werd gebracht nam de schoolverpleegkundige voor drie van de acht klachten een statistisch significant hogere prevalentie waar in de ‘probleemschool’.[80] Na publiciteit gold dit voor zeven van de acht klachten. Dit laat zien dat de perceptie van klachten gerelateerd aan schimmels in een school is te beïnvloeden door publiciteit over het probleem. In onderzoek onder personeel van een Finse school met vocht- en schimmelproblemen bleek dat er niet alleen meer klachten voorkwamen op de ‘probleemschool’ dan op een controleschool, maar ook dat er in neusspoelingen meer ontstekingsindicatoren werden gevonden.[85,88] Dit laat zien dat naast de perceptie ook objectieve verschillen bestaan tussen probleemscholen en controlescholen.

Ervaren binnenluchtkwaliteit

Uit een experiment in vier computerlokalen bleek een toename van de ventilatie het eerste kwartier de ervaren luchtkwaliteit verbetert.[96] Dit onderzoek was, gezien de gerapporteerde tochthinder, niet volledig ‘geblindeerd’ voor de mate van ventilatie. Wat vooral opvalt, is dat een verlaging van de ventilatie geen invloed heeft op de ervaren luchtkwaliteit, maar een verhoging wel. Het was geen *cross-over* design: de ene groep kreeg alleen een vermindering van ventilatie te verwerken, de andere groep alleen een toename van ventilatie. Daardoor is niet te achterhalen of het effect mogelijk is verstoord door groep, lokaal of volgorde van effect.

Lichaamsgeuren

Interventieonderzoek in collegezaal. In een Deens experiment is er bij personen die in een collegezaal verbleven ('gebruikers') in het voor de praktijk relevante gebied van 600 tot 1 500 ppm ($\triangle CO_2$*: 250-1 150 ppm) vrijwel geen verband gevonden tussen de CO_2-concentratie en het percentage geurgehinderden.[97] Voor personen die de ruimte binnengingen ('bezoekers') waren er wel aanwijzingen voor een verband: in het gebied van 600 tot 1 500 ppm CO_2 nam het percentage personen dat de geurhinder niet acceptabel vond toe van 20 tot 30 procent.

Interventieonderzoek in andere testomstandigheden. Eerder is in de Verenigde Staten een uitgebreid experiment uitgevoerd in een testruimte naar de beleving van lichaamsgeuren.[98] Uit de resultaten blijkt dat het percentage van de gebruikers dat lichaamsgeuren 'niet acceptabel' vond, ruim onder de 10 procent lag, ook bij de laagst ingestelde ventilatie (2,5 L/s per persoon). Bij de bezoekers lag dat percentage duidelijk hoger en was er een statistisch significant verband met de mate van ventilatie. Dit experiment liet zien dat de verse luchttoevoer per persoon – en daarmee de CO_2-concentratie in de ruimte – binnen ruime grenzen gevarieerd kon worden zonder substantiële invloed op de hinder van lichaamsgeuren door bezoekers. Wel nam de geurbelasting substantieel toe bij een combinatie van hoge temperatuur (> 25°C) en luchtvochtigheid (> 70%). Een in 1982 summier beschreven experiment in een testlaboratorium in Zwitserland liet zien dat er in het concentratiegebied tussen 500 en 2 000 ppm CO_2 een verband aangetoond kon worden tussen de CO_2-concentratie en de geurintensiteit.[99] Onder 1 500 ppm CO_2 werd de geurbelasting gekarakteriseerd als weinig hinderlijk. Dit kwam overeen met een minimale verse luchttoevoer per persoon van 12-15 m^3 per uur (3,3-4,2 L/s). De geringe toename in geurhinder, die een grote spreiding vertoont, bij een tamelijk grote toename in CO_2-concentratie geeft een geringe precisie aan uitspraken over een CO_2-concentratie waarbij een vooraf bepaald percentage hinder optreedt.

Observationeel onderzoek in scholen. In Nederland werd in opdracht van het ministerie van VROM onderzoek verricht in basisscholen.[4] In de winter van 2007 werden 120 leslokalen min of meer gelijktijdig bemeten, verdeeld over vier types luchtverversing:

* $\triangle CO_2$: het verschil tussen de CO_2-concentratie in de binnen- en buitenlucht

Tabel 7 CO_2-concentraties en ervaren binnenluchtkwaliteit tijdens de les in lokalen.[4]

	Lokaaltype 1: ramen (n=45)	Lokaaltype 2: ramen en roosters (n=25)	Lokaaltype 3: mechanische afvoer (n=32)	Lokaaltype 4: mechanische toe- en afvoer (n=18)
CO_2 in ppm (P95)[a]	1 906	1 983	1 889	1 164
Rapportcijfer binnenluchtkwaliteit	6,4	5,9	5,9	5,6
Vaak bedompt en benauwd ervaren luchtkwaliteit	20%	24%	47%	25%
Nooit bedompt en benauwd ervaren luchtkwaliteit	36%	20%	22%	50%

[a] Gemiddelde percentiel per lokaaltype.

1) natuurlijke luchttoevoer en -afvoer via ramen; 2) natuurlijke luchttoevoer en -afvoer via ramen en ventilatieroosters; 3) natuurlijke luchttoevoer via ventilatieroosters, afvoer mechanisch; 4) luchttoe- en afvoer mechanisch (‘gebalanceerde ventilatie’). De CO_2-concentraties* tijdens de lestijd staan vermeld in tabel 7.

In de eerste drie lokaaltypes hadden de CO_2-concentraties tijdens de les ‘plateauwaarden’ rond de 2 000 ppm. In het vierde type (geheel mechanisch geventileerde) lokaal lagen de concentraties duidelijk lager. Aan de leerkrachten werd gevraagd de luchtkwaliteit in de klas tijdens de les te beoordelen. De luchtkwaliteit in de geheel mechanisch geventileerde lokalen met de laagste CO_2-concentratie kreeg de slechtste beoordeling. In de lokalen met mechanische afvoer ervoeren de leerkrachten de lucht het vaakst als ‘benauwd’, maar in de lokalen met gebalanceerde ventilatie ook het meest frequent als ‘nooit’ benauwd. Een nadere analyse van de relatie tussen de CO_2-concentratie en de ervaren luchtkwaliteit liet nagenoeg geen verband zien. De onderzoeker concludeerde dat er in het waargenomen concentratiegebied tot circa 2 000 ppm CO_2 vrijwel geen verband is tussen CO_2 en door leerkrachten waargenomen luchtkwaliteit.

Andere geuren

Interventieonderzoek in kantoren. In een gerandomiseerd en voor de proefpersonen ‘blind’ experiment, uitgevoerd in een kantoorgebouw in Denemarken, is de invloed nagegaan van blootstelling aan de lucht van een twintig jaar oud tapijt op aspecifieke gezondheidsklachten van studentes.[103] Vooral de zichzelf als zeer

* 95e percentiel: de hoogste waarde, exclusief de 5% hoogste meetwaarden.

gevoelig beschouwende proefpersonen rapporteerden meer klachten tijdens blootstelling aan de lucht van het oude tapijt. In een ander experiment met merendeels dezelfde groep proefpersonen en dezelfde bron van verontreiniging werd het ventilatievoud gemanipuleerd, zonder dat de proefpersonen zich daarvan bewust waren.[102] Aspecifieke gezondheidsklachten namen af bij toenemende ventilatie. De hoogst gekozen ventilatiecapaciteit van 30 L/s per persoon is veel hoger dan wat in kantoren (en scholen) gebruikelijk is.

Interventieonderzoek in andere testomstandigheden. Chemische reacties met filtermaterialen of met stof op filters in luchttoevoerkanalen kunnen leiden tot complexe chemische verbindingen in de binnenlucht die sensorisch waarneembaar zijn.[104] Door een juiste keuze van filtermaterialen en toepassing van actief koolfilters is dit mogelijk te voorkomen. In een Deens experiment met luchttoevoer door nieuwe en een half jaar gebruikte filters werd de luchtkwaliteit slechter ervaren bij toevoer via gebruikte filters en nog slechter bij het vergroten van de toevoer via zo'n filter.[95]

Observationeel onderzoek in kantoren. Reeds lang is bekend dat gebouwen zelf ook 'geur' produceren. Deense onderzoekers vonden in een onderzoek in vijftien kantoren dat de productie van 'geur' door het gebouw zelf zes tot zeven maal hoger lag dan de productie van lichaamsgeuren door het personeel.[94] Dit kwam voor rekening van de gebruikte materialen, van de aanwezigheid van rokers en vooral van 'sensorische' verontreinigingen uit mechanische ventilatiesystemen.

Kooldioxide en andere indicatoren voor luchtverversing

'Interventie'onderzoek in scholen. De resultaten van een Zweeds experiment in vier computerlokalen waren niet consistent.[111] In het cross-sectionele deel was een verhoogde CO_2-concentratie geassocieerd met het voorkomen van hoofdpijn, maar in het longitudinale deel ging een toename van de ventilatie niet gepaard met een statistisch significante vermindering van het aantal gezondheidsklachten. Door de vele computers is het twijfelachtig of dit experiment relevant is voor de situatie in basisscholen. Dezelfde onderzoeksgroep verrichtte in 1993 (maart-mei) en in 1995 (januari-maart) een herhaald cross-sectioneel onderzoek naar de mogelijke invloed van een verbeterde schoolventilatie op blootstelling aan diverse binnenmilieufactoren en op de gezondheid.[112] In twaalf procent van de klaslokalen was tussentijds een nieuw ventilatiesysteem geïnstalleerd. In de scholen waar dat gebeurde, daalden de concentraties van CO_2, formaldehyde, fijn stof en schimmels in de binnenlucht en de luchtvochtigheid

statistisch significant. In die scholen was ook de incidentie* van astmaklachten lager dan van scholen waar geen verandering in het ventilatiesysteem had plaatsgevonden. Het aantal kinderen in scholen met een nieuw ventilatiesysteem (n=143) en het aantal nieuwe ziektegevallen (< 10) waren echter klein. Aangezien er geen daling is opgetreden van hoofdpijn, vermoeidheid en het gerapporteerde aantal luchtweginfecties is het niet waarschijnlijk dat de gerapporteerde daling van astmaklachten te verklaren is uit het gegeven dat de deelnemers wisten dat nieuwe ventilatiesystemen waren geïntroduceerd. De commissie ziet hierin een aanwijzing dat de astmaklachten werkelijk zijn afgenomen door het vernieuwen van het ventilatiesysteem.

Observationeel onderzoek in scholen. In twee Nederlandse dwarsdoorsnedeonderzoeken is geen samenhang gevonden tussen de CO_2-concentratie en gezondheidsklachten. In 2006 werden de resultaten gepubliceerd van metingen van CO_2 en andere binnenmilieuparameters in elf klaslokalen in elf scholen.[107] De gemiddelde CO_2-concentratie gedurende schooluren varieerde van 888 tot 2 112 ppm met een mediaan van 1 524 ppm. Ouders van 228 leerlingen van 10 en 11 jaar oud rapporteerden klachten. Er werd geen verband aangetoond tussen de gerapporteerde gezondheidsklachten en het ventilatiesysteem of de CO_2-concentratie. In de 'principale componentenanalyse' werd wel een samenhang aangetoond tussen de kwaliteit van het school- en thuismilieu. Ook in eerder Nederlands onderzoek onder 333 kinderen op zeven nieuwbouwscholen in Rotterdam werd geen statistisch verband gevonden tussen gerapporteerde 'aspecifieke'** gezondheidsklachten en de CO_2-concentratie in de klaslokalen.[101] Wel vonden de kinderen in de lokalen met CO_2-concentraties die meer dan 90 procent van de lestijd boven 1 200 ppm lagen het statistisch significant meer 'stinken' dan in de lokalen waarin dit minder dan 50 procent gebeurde. Gezien de slechte overeenstemming tussen de antwoorden op overeenkomende vragenparen, gaven de onderzoekers echter aan dat de betrouwbaarheid van de ontwikkelde vragenlijst nader moet worden onderzocht. In de onderzochte klaslokalen lag de CO_2-concentratie gedurende 27 tot 97 procent van de tijd boven 1 200 ppm. De maximaal bereikte CO_2-concentratie in de lokalen liep uiteen van 1 900 tot meer dan 4 200 ppm.

In 2005 zijn in Zweden 1014 schoolkinderen van 5 tot 14 jaar oud onderzocht op acht scholen (23 lokalen).[30] In zeven van de acht scholen was een mechanisch

* Incidentie: frequentie van nieuwe ziektegevallen in een bepaalde periode.
** Aspecifieke gezondheidsklachten zijn klachten die niet direct zijn te verklaren door een specifiek ziektebeeld of specifieke oorzaak, die soms worden toegeschreven aan omgevingsfactoren.

ventilatiesysteem aanwezig. In 74 procent van de lokalen was de daggemiddelde CO_2-concentratie lager dan 1 000 ppm. In sommige lokalen waren de concentraties aan het eind van de schooldag hoger dan 1 000 ppm. De onderzoekers vonden geen verband tussen de CO_2-concentratie en vijf van de zes luchtweg- en allergische klachten. Slechts voor één van de zes klachten vonden ze een marginaal verband. Eerder vond dezelfde onderzoeksgroep bij ruim 600 kinderen van 13 en 14 jaar oud, op elf willekeurig gekozen scholen geen verband gevonden tussen astmaklachten en het ventilatievoud*, ventilatiesysteem of CO_2-gehalte, dat gedurende de schooldag varieerde van 550 tot 1 725 ppm.[17]

Noorse onderzoekers rapporteerden een verband tussen het CO_2-gehalte en gezondheidsklachten bij 550 schoolkinderen van 15 jaar en ouder op vijf scholen.[110] Dit onderzoek is alleen als congresbijdrage gepubliceerd. De Noorse onderzoekers vonden meer contrast in blootstelling dan de Zweedse: de gemiddelde CO_2-concentratie in klaslokalen bleek overdag te variëren van 601 tot 3 827 ppm. De statistisch significante correlatie tussen CO_2 en gezondheidsklachten was sterker voor aspecifieke klachten, zoals hoofdpijn en duizeligheid (correlatiecoëfficient r=0,22; p=0,000) dan voor irritatieklachten van de bovenste luchtwegen (r=0,10; p=0,024). In een analyse waarin de CO_2-concentratie in drie categorieën werd verdeeld (< 1 000 ppm, 1 000-1 499 ppm, ≥1 500 ppm) was de prevalentie van aspecifieke klachten statistisch significant hoger in de groep boven 1 500 ppm. De oorzaak van deze klachten kan niet in CO_2 zelf liggen, maar er kunnen andere – niet gemeten – ventileerbare factoren in het lokaal aanwezig zijn geweest die bij gevoelige groepen, zoals kinderen met astma, tot gezondheidsklachten hebben geleid.

Literatuuroverzicht onderzoek in kantoren. Op basis van de resultaten van acht onderzoeken concludeerden de auteurs van een literatuuronderzoek dat de prevalentie van aspecifieke gezondheidsklachten in kantoren gemiddeld met 23 procent toeneemt als de ventilatie afneemt van 10 naar 5 liter/seconde (L/s) per persoon**.[153] Bij een toename van de ventilatie van 10 naar 25 L/s per persoon zou de prevalentie van klachten afnemen met gemiddeld 29 procent. Aangezien de gezondheidsklachten in de diverse onderzoeken op verschillende wijze zijn gemeten, leidt de commissie hier niet meer dan zwakke aanwijzingen uit af.

---

* Ventilatievoud: een getal dat de verhouding aangeeft tussen de luchtstroom per tijdseenheid en het ruimtevolume, uitgedrukt als aantal luchtwisselingen of volume per uur (m^3/h).

** In een evenwichtssituatie is de (△) CO_2-concentratie dan 500 respectievelijk 200 ppm boven de buitenluchtconcentratie (bij een buitenluchtconcentratie van 400 ppm: 900 respectievelijk 600 ppm).

Interventieonderzoek in kantoren. In 1993 werd in een dubbelblind interventieonderzoek in Canada door veranderingen in de luchtverversing in vier kantoren de CO_2-concentratie afwisselend op 1 000 of 600 ppm gebracht.[154] Er bleek tussen deze twee condities geen verschil in gerapporteerde klachten (gecorrigeerde odds ratio: 1,0: 0,8-1,2).

Observationeel onderzoek in kantoren. In 1992 werden in ons land ruim 7 000 kantoormedewerkers onderzocht in 61 verschillende gebouwen.[93] In dit onderzoek gingen hoge CO_2-concentraties gepaard met een lagere prevalentie van klachten. De auteurs verklaarden dit uit het feit dat de CO_2-concentraties hoger waren in natuurlijk geventileerde gebouwen, waarin de mate van ventilatie blijkbaar minder was. Gezondheidsklachten bleken meer voor te komen in mechanisch geventileerde gebouwen en vooral in airconditioned* gebouwen, in vergelijking met natuurlijk geventileerde gebouwen. Een mogelijke verklaring is dat de kwaliteit van de toegevoerde lucht het optreden van gezondheidsklachten beïnvloed. Ook uit ander onderzoek in kantoren blijkt dat mechanische ventilatiesystemen een bron van verontreiniging kunnen zijn. [94]

In de Verenigde Staten zijn in 2000 de resultaten gepubliceerd van een onderzoek onder gebruikers van 41 kantoren.[114] Alle gebouwen waren voorzien van airconditioning. In en rond elk gebouw werd gedurende drie dagen de CO_2-concentratie gemeten. Alle CO_2-concentraties waren beneden 800 ppm. Er werd een blootstelling-effectrelatie gevonden tussen de CO_2-concentratie en gerapporteerde klachten van slijmvliezen en lagere luchtwegen. De auteurs geven geen verklaring waarom in deze 41 kantoren, die gezien de relatief lage CO_2-concentraties als goed tot zeer goed geventileerd zijn te beschouwen, toch een verband tussen CO_2 en gezondheidsklachten werd gevonden.

In een latere analyse van datzelfde onderzoek is onder gebruikers van 100 willekeurig geselecteerde kantoren ook een statistisch significante blootstelling-responsrelatie beschreven tussen de (lage) CO_2-concentraties en slijmvliesirritaties, in het bijzonder droge ogen, zere keel, verstopte bijholten, niezen en piepen.[155] De kans op deze gezondheidsklachten was twee tot drie maal groter in de hoogste CO_2-categorie ten opzichte van de laagste (gecorrigeerde odds ratio's 1,1 tot 1,2 per 100 ppm stijging van $\triangle CO_2$**). Slechts in twee gebouwen kwamen regelmatig piekwaarden van CO_2 voor boven de 1 000 ppm. Met het vergroten van de ventilatie tot de laagst mogelijke CO_2-concentratie (40 ppm boven de buitenluchtconcentratie) zou de prevalentie van deze symptomen volgens de

* Airconditioning: klimaatregeling (regulering van luchtkwaliteit, luchtvochtigheid en temperatuur).
** $\triangle CO_2$: het verschil tussen de CO_2-concentratie in de binnen- en buitenlucht.

auteurs kunnen dalen met 64 tot 85 procent. De commissie merkt op dat deze gebouwen echter nauwelijks vergelijkbaar zijn met Nederlandse basisscholen, waarvan de meeste (nog) geen airconditioning hebben.

D.2 Invloeden op het cognitief functioneren en ziekteverzuim

Binnenluchtkwaliteit

Binnenluchtkwaliteit

Interventieonderzoek verzuim in kinderdagverblijven. In een gecontroleerd interventieonderzoek in twee kinderdagverblijven in Zweden leidde het installeren van een mechanisch ventilatiesysteem met luchtfiltering, dat uit de buitenlucht afkomstige fijne stofdeeltjes met 78 procent verminderde, tot een halvering van het verzuim onder de peuters en kleuters gedurende een periode van twee jaar.[156]

Experimenten cognitief functioneren volwassenen. Uit psychologische en neurowetenschappelijke experimenten naar de effecten van geurstoffen, ook in niet-ruikbare concentraties, blijkt dat mannelijke geurstoffen, bijvoorbeeld in zweet, ook zonder bewuste geurgewaarwording, effecten kunnen hebben op vrouwelijke stresshormoonspiegels, stemming en concentratie, en daarmee mogelijk op het functioneren.[157-159] Deze effecten kunnen echter niet als nadelig worden opgevat. De commissie acht het onwaarschijnlijk dat hierdoor bij basisschoolkinderen nadelige gezondheidseffecten zullen optreden.

Ervaren binnenluchtkwaliteit

Interventieonderzoek cognitief functioneren in kantoren. In een experiment in een kantoorgebouw in Denemarken is ook de invloed onderzocht van een bron van verontreiniging (oud tapijt) op de arbeidsproductiviteit van studentes.[103] Blootstelling aan de door het tapijt verontreinigde lucht hing samen met een verlaagde productiviteit. Er is niet uitgesloten dat sommige proefpersonen zich vanaf het begin bewust waren van blootstelling, met onbekende invloed op rapportage van de productiviteit. Ondanks deze beperkingen levert het experiment aanwijzingen dat een min of meer waarneembare verontreiniging van de lucht in een kantoor kan leiden tot productiviteitsvermindering. In een ander experiment met merendeels dezelfde groep proefpersonen en dezelfde bron van verontreiniging werd het ventilatievoud gemanipuleerd.[102] De arbeidsproductiviteit nam toe

bij toenemende ventilatie. Ook hier bestaat de mogelijkheid dat de resultaten zijn beïnvloed door verwachtingen aan het begin.

Kooldioxide en andere indicatoren voor luchtverversing

Interventieonderzoek cognitief functioneren in Nederlandse scholen. In 2007 is het effect gerapporteerd van ventilatie op de cognitieve prestaties van 47 basisschoolleerlingen van groep zeven en acht van één school.[120] Het onderzoek is vooralsnog alleen als rapport gepubliceerd en niet aan extern 'peer-review' onderworpen. In een dubbelblind onderzoek werden twee groepen leerlingen afwisselend getest in een lokaal met geringe ventilatie en een lokaal met ruime ventilatie met buitenlucht (CO_2-gestuurd). De controlesituatie werd gecamoufleerd door het gebruik van recirculatieventilatie zonder luchtverversing. De mate van ventilatie werd afgemeten aan de CO_2-concentratie in het klaslokaal. De auteurs rapporteren dat kinderen in het ruim geventileerde lokaal (CO_2-concentratie 620-874 ppm) statistisch significant minder fouten maakten in reken- en taaltests dan in het gering geventileerde lokaal (CO_2-concentratie 1 157-2 126 ppm). De invloed op de snelheid van werken is niet bestudeerd. De commissie plaatst enkele kanttekeningen bij dit onderzoek. Zo is niet consistent op dezelfde tijdstippen gemeten en is weinig bekend over de specifieke cognitieve functies die met de gebruikte tests worden gemeten. De commissie is daarom van mening dat dit onderzoek slechts een aanwijzing geeft dat een verbetering van de ventilatie in klaslokalen kan leiden tot het beter cognitief functioneren van basisschoolleerlingen.

Tien jaar eerder verscheen in ons land een rapport van een onderzoek naar ventilatie en cognitieve prestaties. In dit onderzoek, uitgevoerd bij 95 leerlingen van vier scholen, werd ook het effect van verandering van ventilatie op diverse aandachtstests gemeten.[122] In twee scholen werd op de eerste dag gewoon geventileerd en op de tweede dag extra. In twee andere scholen gebeurde het omgekeerde. Het is niet duidelijk in hoeverre de kinderen zich hiervan bewust waren. Bij gewoon ventileren lag de CO_2-concentratie gedurende 60 tot 96 procent van de tijd hoger dan 1 200 ppm (piekconcentraties tot boven 3 500 ppm). Bij extra mechanisch ventileren werden de CO_2-concentraties op tafelhoogte maximaal 1 200 ppm. Ongeacht de mate van ventilatie werden de tests op de tweede dag beter gemaakt. Dit leereffect was aanzienlijk groter dan het effect van de extra ventilatie. Gezien het sterk overheersend leereffect zijn conclusies over de onafhankelijke invloed van ventilatie niet goed mogelijk. Na correctie voor het leereffect is anderzijds ook niet uitgesloten dat een ventilatie-effect aanwezig was (p-waarde: 0,051).

Interventieonderzoek cognitief functioneren in buitenlandse scholen. In Denemarken werd een aantal onafhankelijke experimenten uitgevoerd in mechanisch geventileerde klaslokalen en in 2007 gepubliceerd in twee wetenschappelijke artikelen.[124,125] De leerlingen waren 10 tot 12 jaar oud en de ventilatie-experimenten vonden een week lang 'geblindeerd' plaats. Als onderdeel van de normale les werden zowel reken- als taalvaardigheden getest. Door fouten van leerkrachten ontbraken echter waarnemingen op cruciale momenten en konden de experimenten merendeels niet volgens de oorspronkelijke opzet worden geanalyseerd. Ook vermeldden de onderzoekers dat zij vanwege klachten van ouders over het grote aantal uitgevoerde tests, het aantal vervolgexperimenten terugbrachten. Het blijft onduidelijk of en in welke mate de uitkomsten werden beïnvloed door de gerapporteerde ouderlijke verontrusting.

Het eerste artikel gaat vooral over de effecten van verse luchttoevoer en de conditie van de luchtfilters gedurende de winter.[125] In dit onderzoek werd de ventilatie zodanig gemanipuleerd dat deze toenam van 3,0 tot 8,5 L/s per leerling. De gemiddelde CO_2-concentratie daalde daarmee van 1 300 tot 900 ppm. De auteurs rapporteerden een statistisch significante toename van de snelheid waarmee vier van de zeven reken- en taaltests werden uitgevoerd. Tussen de situaties met weinig en veel ventilatie waren geen statistisch significante verschillen in de nauwkeurigheid waarmee deze cognitieve tests werden uitgevoerd. De vermelde ventilatiehoeveelheden lagen in de situaties met weinig ventilatie weliswaar beduidend lager dan de in Nederland geldende minimumvoorschriften voor nieuwe scholen (7 L/s per persoon), maar zijn wel vergelijkbaar met de Nederlandse praktijk. In het eerste winterexperiment (met gebruikt filter) nam het geluidsniveau in de klas overigens toe van 35 tot 44 dB(A) gaande van weinig naar veel ventilatie. Het is niet duidelijk of dit gerelateerd was aan het ventilatiesysteem, maar als dat zo was, is dat een dusdanig verschil dat de blindering daarmee in feite werd opgeheven. In een tweede winterexperiment (met nieuw filter) nam de geluidsbelasting toe van 33 tot 36 dB(A).

Het tweede artikel beschrijft de effecten van de ventilatiesnelheid en temperatuur in de nazomer.[124] In dit onderzoek werd de ventilatie zodanig gemanipuleerd dat deze toenam van 5,2 tot 9,6 L/s per leerling. De auteurs rapporteerden een statistisch significante toename van de snelheid waarmee vier rekentests werden uitgevoerd. Tussen de situaties met weinig en veel ventilatie waren echter geen statistisch significante verschillen in de nauwkeurigheid waarmee deze cognitieve tests werden uitgevoerd. Opvallend is dat de uitkomsten van de uitgevoerde tests in dit tweede artikel zeer verschilden (in zowel positieve als negatieve richting) van die in het eerste artikel, terwijl dezelfde tests werden toegepast in dezelfde school op leerlingen van dezelfde leeftijd. In het zomer-

experiment was er geen verschil in geluidsbelasting tussen de ventilatiecondities. De effecten van de temperatuur komen later in deze bijlage aan de orde.

Vanwege de genoemde beperkingen (gebrekkige uitvoering van het experimenteel protocol, verschil in geluidsbelasting, inconsistentie tussen het eerste en het tweede artikel) is de commissie van mening dat het door de Deense onderzoekers gerapporteerde gunstige effect op de snelheid van werken beperkt is onderbouwd.

In een Engels experiment legden achttien schoolkinderen van tien tot twaalf jaar oud cognitieve tests af op dagen waarop de ramen in hun klas al dan niet werden geopend tijdens de les.[126] De tests, die vooral waren gericht op aandacht en reactietijd, werden steeds aan het eind van de ochtend afgenomen. Ze maakten deel uit van een zelf ontwikkelde testbatterij, waarvan de validiteit moeilijk is te beoordelen. Met de ramen open bleef de CO_2-concentratie relatief laag (501 tot 983 ppm), met de ramen dicht liep deze op tot 2 096-4 140 ppm. Onder beide omstandigheden werden de tests vier keer afgenomen. Op twee van elf uitgevoerde tests van aandacht en reactietijd scoorden de leerlingen statistisch significant enkele procenten slechter bij hoge dan bij lage CO_2. De onderzoekers geven zelf aan dat het experiment in detail aan de deelnemers werd uitgelegd en dus niet 'blind' werd uitgevoerd. In de discussie stellen zij echter niet de vraag of de resultaten hierdoor kunnen zijn beïnvloed. Zij geven verder aan dat onduidelijk is in hoeverre de gevonden verschillen iets betekenen voor de leerprestaties en dat onduidelijk is in hoeverre in het lokaal aanwezige verontreinigingen verantwoordelijk kunnen zijn. Vooral gezien het feit dat het experiment niet geblindeerd werd uitgevoerd, zijn de resultaten van dit onderzoek niet bruikbaar voor het afleiden van een goed onderbouwde advieswaarde.

Observationeel onderzoek cognitief functioneren in scholen. In een niet als artikel gepubliceerd onderzoek in Limburg is in 20 basisscholen het verband bestudeerd tussen CO_2 in 24 klaslokalen (groep 6) en de uitslag van enkele cognitieve tests.[121] Informatie over de validiteit en reproduceerbaarheid van de tests ontbreekt. De gemiddelde CO_2-concentratie varieerde van 1 179 tot 3 335 ppm en lag in 20 van de 24 onderzochte klaslokalen hoger dan 1 200 ppm. Het onderzoek liet geen verband zien tussen CO_2 en testuitslagen. Zonder correctie voor mogelijk verstorende variabelen, zoals bijvoorbeeld verzuim, kwaliteit van leerkrachten en sociaaleconomische status is een nadere interpretatie niet mogelijk.

In de Verenigde Staten is een *pilot* onderzoek uitgevoerd, waarin de onderzoekers keken naar het verband tussen jaarlijks afgenomen cognitieve testscores en eenmalig gemeten CO_2-concentraties in 54 klaslokalen van 54 basisscholen (groep 5).[127] Dit onderzoek is als een van de weinige gebaseerd op reken- en

leestests die regulier worden afgenomen om de leerprestaties van de leerlingen vast te stellen, al wordt geen nadere informatie gegeven over de validiteit en reproduceerbaarheid. De CO_2-metingen werden uitgevoerd onder gestandaardiseerde omstandigheden, dat wil zeggen met het mechanisch ventilatiesysteem ingeschakeld en de ramen dicht. De auteurs gaan niet in op de vraag of dit overeenstemt met de ventilatie in de praktijk gedurende het jaar in de onderzochte lokalen. Twee lokalen werden uit de analyse verwijderd omdat de omstandigheden tijdens de metingen 'onstabiel' waren, twee andere omdat de gemeten ventilatie als 'uitbijter' werd gekenmerkt. De ventilatie uitgedrukt in liter per seconde (L/s) per persoon was in deze populatie gering*, maar niet minder dan in Nederlandse scholen het geval is. Slechts 12 van de 50 resterende klaslokalen hadden een ventilatie van meer dan 4,5 L/s per persoon. Er was een marginaal significant verband tussen de scores op een rekentoets en ventilatie, maar de blootstelling-responsrelatie was inconsistent. Er was geen verband met de scores op een leestoets. Er is alleen gecorrigeerd voor de invloed van sociaaleconomische status, maar niet voor bijvoorbeeld de invloed van luchtvochtigheid en temperatuur. Factoren als de hoeveelheid geld die de school aan onderwijs besteedt, de leerling-leerkracht ratio, ervaring en kwaliteit van leerkrachten en schoolverzuim kunnen alle van invloed zijn op de testscores en zonder inzage in deze factoren zijn relaties met ventilatie moeilijk te duiden.[160] Gezien de vele beperkingen van dit dwarsdoorsnede-onderzoek is het niet mogelijk om aan dit onderzoek conclusies te verbinden. De auteurs zelf geven dit ook aan en dringen aan op verdere onderzoeken.

In Noorwegen is in 1996 een congresbijdrage gepubliceerd over een onderzoek onder 550 kinderen van 15 jaar en ouder.[110] De correlatiecoëfficient tussen CO_2 en de resultaten van de cognitieve tests was laag ($r=0,11$; $p=0,009$). De auteurs rapporteren deze correlatie als statistisch significant, maar er is geen rekening gehouden met het 'multilevel' design van het onderzoek: de kinderen waren geclusterd in 22 lokalen van 5 scholen. In een analyse waarin de CO_2-concentratie in drie categorieën werd verdeeld (< 1 000 ppm, 1 000-1 499 ppm, ≥1 500 ppm) was er geen statistisch significant verband aan te tonen tussen CO_2 en cognitieve prestaties.

In 1967 werden in Florida de studieprestaties in een school met airconditioning vergeleken met die in enkele andere scholen zonder airconditioning.[161] In de airconditioned school werden betere prestaties gevonden. Het ging hier vooral om het verlagen van de temperatuur en de luchtvochtigheid in een heet en vochtig klimaat.

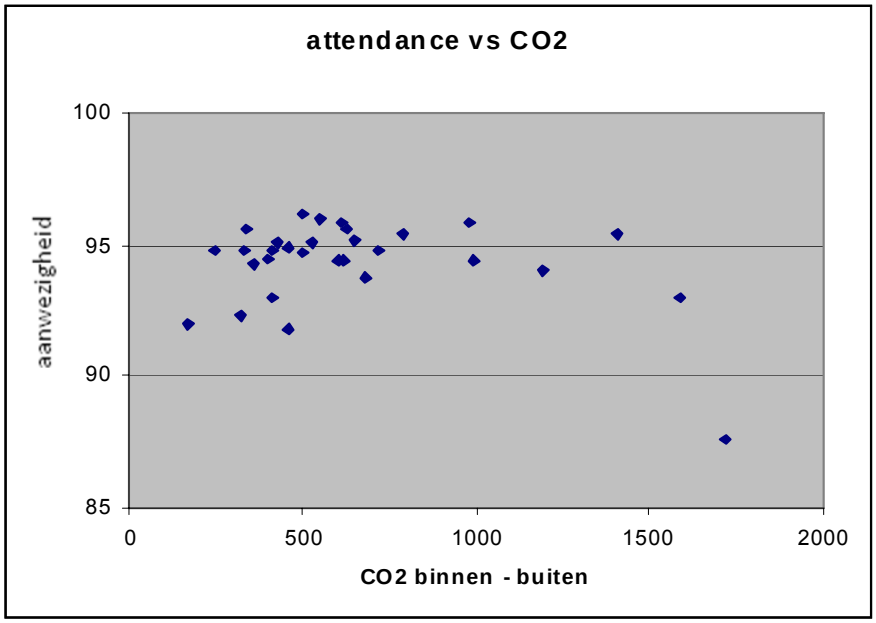
---

* gemiddeld 3,9 L/s (overeenkomend met een CO_2-concentratie van meer dan 1 400 ppm)

Lopend onderzoek cognitief functioneren in scholen. In Engeland is onlangs een onderzoek gestart onder leerlingen van 9 tot 11 jaar van 20 basisscholen, waarin de onderzoekers een poging doen om diverse van de eerdere tekortkomingen te beperken. Het design kent zowel een dwarsdoorsnede- als een interventiecomponent.[128] Voorlopige resultaten van interventies in zes scholen wijzen op een statistisch aantoonbare verbetering van het cognitief functioneren van leerlingen na een toename van de luchtverversing van 1,6 L/s naar 6,8 L/s per persoon.[162]

Observationeel onderzoek schoolverzuim. In de Verenigde Staten is onderzoek gedaan naar de relatie tussen schoolverzuim en CO_2 in de lucht in klaslokalen van basisscholen en middelbare scholen. CO_2-metingen werden uitgevoerd in 436 lokalen in 22 scholen, gedurende vijf minuten op niet nader gespecificeerde tijdstippen gedurende de schooldag.[163] Gegevens over schoolverzuim en de sociaaleconomische status op schoolniveau werden verkregen van de scholen. Over de redenen van het verzuim werden geen gegevens verstrekt. Uit de analyse bleek een verband tussen CO_2 en schoolverzuim (p-waarde: $< 0,02$), maar een sterker verband met de sociaaleconomische status van de school. Ook was het schoolverzuim duidelijk verhoogd in noodgebouwen. In de analyse werd geen rekening gehouden met de clustering van gegevens per school: de gegevens verzameld per klas werden als onafhankelijk van elkaar geanalyseerd. Dit kan leiden tot een overschatting van de statistische significantie. Verder viel één school op door een sterk verhoogde CO_2-concentratie en een duidelijk afwijkend verzuim. Er werd geen poging gedaan na te gaan in hoeverre de uitkomsten door deze 'uitbijter' werden beïnvloed. Het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) heeft in figuur 3 de ruwe gegevens van de scholen weergegeven, met op de x-as het mediane verschil tussen CO_2 binnen en buiten, en op de y-as de mediane *attendance* (aanwezigheid) ofwel het complement van het verzuim.[11] De genoemde afwijkende school lijkt geheel voor het gerapporteerde verband verantwoordelijk. Ook gezien de beperkingen van observationeel onderzoek ziet de commissie geen aanwijzingen voor een blootstelling-effectrelatie tussen ventilatie of CO_2 en het verzuim op scholen.

Interventieonderzoek ziekteverzuim in kantoren. In 2002 deden onderzoekers in een interventieonderzoek in twee kantoren in Massachusetts, Verenigde Staten, een poging het ziekteverzuim te beïnvloeden door manipulatie van de ventilatie.[164] Er werd geen verband gevonden, mogelijk omdat de uiteindelijke bereikte range in CO_2-concentraties (hoogstens 312 ppm hoger dan de buitenluchtconcentratie) en daarmee het contrast tussen de interventie- en de controlegroep klein was.



Figuur 3 De aanwezigheid op school (*attendance* als complement van schoolverzuim), in relatie tot het verschil tussen de CO_2-concentratie in de binnen- en buitenlucht.

Observationeel onderzoek ziekteverzuim in kantoren. Dezelfde onderzoeksgroep onderzocht eerder het ziekteverzuim van 636 werknemers van een grote firma in Massachusetts.[165] De mate van ventilatie werd door een expert geschat, deels werden ook CO_2-metingen uitgevoerd. Uiteindelijk was het resultaat dat het werken onder 'matig' geventileerde condities samenhing met een anderhalf maal verhoogd risico op kortdurend ziekteverzuim. De ruwe percentages kortdurend ziekteverzuim waren respectievelijk 2,00 en 1,45 procent voor kantoormedewerkers in de 'matig' respectievelijk 'goed' geventileerde ruimten. In de totale populatie van 3363 medewerkers waarvoor gegevens over korte-termijn ziekteverzuim beschikbaar waren, waren de ruwe percentages respectievelijk 1,66 en 1,50 procent voor werknemers in 'matig' en 'goed' geventileerde ruimten.

Andere ventilatiegerelateerde binnenmilieufactoren

Temperatuur

Interventieonderzoek cognitief functioneren in scholen. Een Deens interventieonderzoek bestudeerde niet alleen de effecten van de ventilatiesnelheid in een mechanisch geventileerde school, maar ook van de temperatuur in de zomermaanden.[124] Bij een afname van de temperatuur van 25 naar 20°C rapporteerden de auteurs een statistisch significante toename in de snelheid van uitvoering van twee reken- en twee taaltests, maar niet in de nauwkeurigheid van de uitkomsten.

Observationeel onderzoek cognitief functioneren in scholen. Onderzoek in groep 6 van 20 basisscholen in Limburg is ook het verband bestudeerd tussen temperatuur en de uitslag van twee verschillende aandachtstests.[121] In 29 procent van de onderzochte lokalen steeg de temperatuur tot boven de 25°C. Hoe hoger de temperatuur van het leslokaal, hoe minder nauwkeurig de teltest werd uitgevoerd. De invloed van mogelijk verstorende variabelen is echter niet onderzocht.

Luchtvochtigheid

Ziekteverzuim van volwassenen in relatie tot luchtvochtigheid. In een overzichtsartikel uit 1985 over de invloed van luchtbevochtiging – in situaties van een relatief lage luchtvochtigheid in de winter – op het optreden van ziekte is een afname beschreven van het aantal luchtwegaandoeningen en van het ziekteverzuim bij een toenemende relatieve luchtvochtigheid tot maximaal 50 procent.[166] De gemeten waarden liggen lager tot veel lager dan in Nederland in de binnenlucht worden waargenomen.

Geluid

Interventieonderzoek cognitief functioneren in scholen. Ook in een gerandomiseerde experimentele setting waren Londense onderzoekers in staat om nadelige effecten vast te stellen van blootstelling aan omgevingsgeluid in de klas op de snelheid van uitvoering van cognitieve tests.[132] In een natuurlijk experiment onder 326 basisschoolleerlingen voor en na de opening van een nieuw vliegveld in München, bleek dat de toename van geluidsbelasting na de opening een nadelig effect had op het spraakverstaan, het lange termijn geheugen en het lezen.[133] De afname van geluidsbelasting na de sluiting van het oude vliegveld had juist

een positief effect op het korte en lange termijn geheugen en het lezen. Eerder vonden dezelfde onderzoekers na de opening van het vliegveld een afname van de motivatie om moeilijke problemen op te lossen.[134]

Observationeel onderzoek cognitief functioneren in scholen. Te veel geluid van buiten kan in scholen leiden tot vermindering van cognitieve prestaties van leerlingen.[135,136] Dit geldt vooral voor vliegtuiglawaai, maar ook voor wegverkeerslawaai. Uitgebreid onderzoek in Londense basisscholen heeft de geluidsbelasting binnen en buiten in kaart gebracht.[167] Vervolgonderzoek toonde een duidelijk nadelige invloed van omgevingslawaai op de uitkomst van cognitieve tests.[137] Dat gold zowel voor geluid van buiten als voor geluid dat de klas zelf genereerde.

Bijlage **E**

Geconsulteerde maatschappelijke groeperingen

De volgende maatschappelijke groeperingen hebben desgevraagd suggesties aangedragen over het onderwerp ‘binnenmilieu in scholen’:

- Besturenraad* van het christelijk onderwijs
- GGD Nederland, projectgroep ‘Verbetering ventilatie basisscholen’
- International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ.NL)
- Nederlandse Technische Vereniging voor installaties in gebouwen (TVVL)
- PO-Raad voor Primair Onderwijs
- Stichting Platform Binnenmilieu**
- Vereniging voor Schoonmaak Research (VSR).

De commissie vat de reacties op haar vragen als volgt samen:

Wat ziet u als belangrijkste probleem voor een gezond binnenmilieu in scholen?

- onvoldoende goed bruikbare natuurlijke ventilatiesystemen
- slecht(e) installatie, onderhoud en gebruik van mechanische ventilatiesystemen
- onvoldoende kennis over een juiste wijze van ventileren bij leerkrachten

* Besturenraad: belangenbehartiger van en dienstverlener aan scholen en schoolbesturen.
** In dit platform zijn vertegenwoordigd: Astmafonds, GGD Nederland, ISIAQ.nl, ISSO, Milieuplatform Zorgsector, Nederlandse Woonbond, SBR, SenterNovem, SEV, VACpunt Wonen, Viba-Expo.

- stoffige klaslokalen door slechte schoonmaak
- te veel kinderen op klein oppervlak
- verantwoordelijkheidsverdeling tussen gemeente en schoolbestuur.

Welke binnenmilieufactoren acht u uit oogpunt van preventie het meest relevant?
- luchtkwaliteit (fijn stof, vluchtige organische stoffen, ziektekiemen): inrichting klaslokaal, onvoldoende ventilatie, verontreinigde mechanische ventilatiesystemen
- warmteoverlast in de zomer, tocht in de winter, geluidsoverlast (zowel van buiten als van mechanische ventilatiesystemen).

Welke gevoelige groepen acht u qua aard en omvang relevant
- (jonge) kinderen, in het bijzonder met allergische en astmatische klachten
- leerkrachten met allergische en astmatische klachten.

Welke maatregelen verwacht u van de overheid?
- duidelijke criteria voor gezond binnenmilieu en bijbehorende financiële middelen
- aanscherping Bouwbesluit en Arboregels (vooral voor ventilatieluchthoeveelheden, ruimtetemperatuur en geluidsniveaus ventilatiesystemen) en meer toezicht op naleving
- eisen aan en controle van ventilatievoorzieningen en binnenklimaat bij oplevering
- jaarlijkse keuring in alle scholen, ook gericht op reiniging en onderhoud
- emissie-eisen voor vluchtige organische stoffen
- eisen voor locatie van de school (niet langs snelwegen).

Welke andere zaken wilt u onder de aandacht van de commissie brengen?
- asbest in schoolgebouwen
- keurmerk voor de kwaliteit van het binnenklimaat in schoolgebouwen
- aandacht voor voortgezet onderwijs, bijzonder onderwijs en kindercentra
- integrale benadering gericht op luchtkwaliteit en energetische kwaliteit.

De reacties, suggesties en bijbehorende sleutelpublicaties zijn besproken in de commissie.

Bijlage **F**

Model voor berekening verloop CO_2-concentratie

Voor het opstellen van een rekenmodel ter bepaling van de CO_2-concentratie in de binnenlucht wordt uitgegaan van de massabalans. Aanwezigen produceren CO_2; door ventilatie wordt CO_2 afgevoerd. De volgende differentiaalvergelijk weerspiegelt deze processen*.

$$V*(dC/dt) = q - a*V*C \quad (1)$$

waarin V is het volume van het vertrek [m^3], C de concentratie [kg m^{-3}], t de tijd [s], q de productiesnelheid van kooldioxide [kg s^{-1}], en a het ventilatievoud [s^{-1}].

De kooldioxideconcentratie C_t op tijdstip t volgt uit de oplossing van vergelijking (1) onder de beginvoorwaarde C = 0 op t = 0:

$$C_t = q/(a*V) * (1 - e^{-at}) \quad (2)$$

De uiteindelijke evenwichtsconcentratie C_E die bereikt wordt tijdens langdurig verblijf in het betreffende vertrek wordt gegeven door:

$C_E = q/(a*V) = q/Q$, waarin Q is het debiet van de ventilatie (3)

* uitgaande van ‘meng’ventilatie (rapportage van Ginkel, 2009)

Deze evenwichtsconcentratie is afhankelijk van de bronsterkte en het ventilatiedebiet, maar onafhankelijk van het volume van de ruimte.

Als alle personen het lokaal verlaten, is de bronterm q gelijk aan nul. De oplossing van vergelijking (1) luidt dan:

$$C_t = C_1 * e^{-at} \quad (4)$$

waarin C_1 is de beginconcentratie op het tijdstip dat het vertrek wordt verlaten.

Uit vergelijking (4) kan het tevens een formule voor de berekening van het ventilatievoud worden afgeleid:

$$a = - ln(C_t / C_1) / (t - t_1) \quad (5)$$

Aangezien de concentratie kooldioxide in de buitenlucht hoger is dan nul, vullen we voor C_t en C_1 de verschillen met de buitenluchtconcentratie in: respectievelijk $C_t - C_{buiten}$ en $C_1 - C_{buiten.}$,

zodat:

$$a = - ln((C_t - C_{buiten})/(C_1 - C_{buiten})) / (t - t_1) \quad (6)$$

Bijlage **G**

Wet- en regelgeving binnenmilieu in scholen

Woningwet

Mede uit oogpunt van gezondheid zijn krachtens de Woningwet in het Bouwbesluit 2003 bouwtechnische eisen gesteld aan bouwwerken, onder meer ten behoeve van luchtverversing.[168] In het Bouwbesluit 2003 zijn de bouwtechnische voorschriften uitgewerkt voor bouwwerken, onderscheiden naar functie (bijvoorbeeld onderwijsfunctie) en naar nieuwbouw en bestaande bouw.[169] Daarin zijn onder meer eisen gesteld aan de mate van luchtverversing. Maar ook zijn bijvoorbeeld ‘zodanige scheidingsconstructies’ voorgeschreven dat de vorming van allergenen voldoende wordt beperkt.

In het Bouwbesluit is wel de aanwezigheid en de capaciteit van een ventilatievoorziening voorgeschreven, maar niet de middelen waarmee die capaciteit moet worden gerealiseerd.[143] De capaciteitseisen zijn afgeleid van een zekere gemiddelde verontreiniging van de binnenlucht die moet worden ververst. Niet voorgeschreven is de wijze waarop die luchtverversing moet plaatsvinden. Er is derhalve een ontwerpvrijheid. Voor de wijze waarop die capaciteit moet worden bepaald, is verwezen naar een bepalingsmethode die is vastgelegd in normen van het Nederlandse Normalisatie-instituut NEN.

De Regeling Bouwbesluit 2003 zorgt voor de afstemming tussen de prestatie-eisen in het Bouwbesluit en de met name genoemde normen, waaronder twee NEN-normen* voor ventilatie: NEN 1087 voor nieuwbouw en NEN 8087 voor bestaande bouw. Hierin staat vermeld dat, uitsluitend gelet op de mens, het CO_2-gehalte en de hoeveelheid geurstoffen maatgevend moeten zijn voor de ventilatie.

In Nederlandse Praktijkrichtlijnen (NPR 1088) worden praktische toepassingen gegeven hoe aan de nieuwbouweisen voor woningen is te voldoen. Momenteel wordt de NPR voor scholen geactualiseerd, opdat deze parallel loopt met het huidige eisen in het Bouwbesluit 2003. In het Bouwbesluit is bij bestaande bouw, in tegenstelling tot bij nieuwbouw, de minimaal vereiste ventilatiecapaciteit niet afhankelijk gesteld van de bezettingsgraad**. Gegeven de Woningwet dienen die delen van een gebouw die worden vervangen of vernieuwd te voldoen aan de nieuwbouweisen. Na oplevering gelden de eisen voor bestaande bouw als ondergrens. In hoeverre een gebouw moet blijven voldoen aan bepaalde nieuwbouweisen, is niet vastgelegd.

Krachtens de Woningwet gelden niet alleen bouwtechnische voorschriften uit het Bouwbesluit, maar ook gebruikstechnische voorschriften uit de gemeentelijke bouwverordening.[143] Op grond van artikel 8 van de Woningwet moeten gemeenten een bouwverordening vaststellen. Vrijwel alle gemeenten stellen hun bouwverordening vast op basis van de Modelbouwverordening 1992 van de Vereniging Nederlandse Gemeenten (VNG). Hierin wordt onder meer bepaald dat de maximale bezettingsgraad, zoals vermeld in de bouwvergunning, niet mag worden overschreden. De gemeente is verantwoordelijk voor de vergunningverlening en handhaving. Als een ‘gezondheidsschadelijke’ situatie ontstaat, kan de gemeente een gebruiksbeperking opleggen, bijvoorbeeld door eisen te stellen aan het maximale aantal leerlingen dat bij een bepaalde ventilatie is toegelaten.

Eisen voor luchtverversing bij nieuwbouw in het Bouwbesluit 2003 zijn in het bijzonder:

- spuivoorzieningen***
- minimale ventilatiecapaciteit (minimaal mogelijke verse luchtstroom).

---

* NEN-norm: door het Nederlandse Normalisatie Instituut uitgegeven norm; NEN-normen waar in het Bouwbesluit of een andere wettelijke regeling niet naar wordt verwezen, hebben geen wettelijke status, maar zijn particuliere afspraken tussen belanghebbenden.

** In de komende wijziging van het Bouwbesluit wordt overgestapt op een persoonsgerelateerde eis voor scholen.

*** Spuivoorziening: beweegbaar gevel- of dakdeel (raam, luik of deur), waarmee het mogelijk is een relatief grote ventilatie tot stand te brengen.

Een spuivoorziening dient om een tijdelijke, extra productie van verontreinigingen in korte tijd af te voeren. In het Bouwbesluit 2003 zijn geen eisen gesteld aan spuivoorzieningen in scholen. De minister voor Wonen, Wijken en Integratie (WWI) is van plan om in de komende wijziging van het Bouwbesluit spuivoorzieningen in elk klaslokaal op te nemen als prestatieverplichting.[170]

De minimaal vereiste ventilatiecapaciteit van een ruimte voor nieuwbouw is in het Bouwbesluit 2003 gericht op een prestatie van 7 L/s of 25 m^3 per uur per persoon, waarmee een evenwichtsconcentratie beneden 1 200 ppm CO_2 kan worden gerealiseerd. Deze capaciteitseisen zijn echter afhankelijk gesteld van de zogenoemde bezettingsgraadklasse*: voor onderwijsgebouwen (bezettingsgraadklasse B2) 1,3-3,3 m^2 per persoon.

Andere normen en advieswaarden

De concentratie van schadelijke stoffen in de binnenlucht, zoals fijn stof, formaldehyde en vluchtige organische stoffen, kan bij een gelijke blootstellingstijd ook worden getoetst aan buitenluchtnormen of aan advieswaarden van RIVM of Gezondheidsraad.

In de Wet Luchtkwaliteit, die in november 2007 in werking is getreden, zijn voor de buitenlucht grens- en richtwaarden opgenomen van luchtverontreinigende stoffen, onder meer voor zwevende deeltjes (fijn stof: PM_{10}**). Deze zijn gebaseerd op de dochterrichtlijnen van de Europese Unie.

In 2004 en 2007 heeft het RIVM een aantal 'gezondheidkundige advieswaarden' afgeleid ter beoordeling van de kwaliteit van het binnenmilieu van woningen, kantoren en scholen.[144,150] Daarbij is alleen blootstelling via inhalatie in ogenschouw genomen. Deze advieswaarden voor de binnenluchtkwaliteit hebben geen wettelijke status, maar beogen wel bij te dragen aan een verbetering van de kwaliteit van het binnenmilieu (zie bijlage H).

Een commissie van de Gezondheidsraad adviseert de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid over nieuwe gezondheidskundige advieswaarden ter bescherming van (ook onderwijzend) personeel. In 2008 is advies uitgebracht over (extreme) hitte en in 2010 wordt een advies verwacht over biologische agentia.[117]

---

* Bezettingsgraadklasse: een bepaalde range in vloeroppervlakte per persoon, afgestemd op de bestemming en inrichting van het gebouw.

** PM_{10}: deeltjes ('particulate matter') met een mediane aerodynamische diameter kleiner dan 10µm.

Bijlage **H**

Gezondheidskundige advieswaarden

Het RIVM heeft in 2004 ‘gezondheidkundige advieswaarden’ voor woningen afgeleid voor een groot aantal chemische stoffen en voor geluid.[144] In 2007 zijn deze geactualiseerd, mede naar aanleiding van een publicatie van de WHO.[150] In principe zijn deze advieswaarden gericht op woningen, maar ze zijn ook toepasbaar op andere locaties waar mensen langdurig verblijven, zoals kantoren en scholen. De advieswaarden zijn gebaseerd op het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR), zoals dat in het verleden is gedefinieerd in het Nederlandse milieubeleid. Voor het compartiment lucht wordt het MTR meestal aangeduid als Toelaatbare Concentratie in Lucht (TCL). Voor stoffen met een ‘drempelwaarde’ is dit de concentratie die bij levenslange blootstelling geen nadelig effect heeft op de gezondheid. Daarbij is rekening gehouden met risicogroepen als kinderen, zieken en zwangeren. Voor genotoxisch werkende carcinogenen is het MTR gedefinieerd als een geval van kanker per miljoen blootgestelden per jaar. De advieswaarden geven aan in hoeverre bewoners of gebruikers van gebouwen fijn stof, chemische stoffen en geluid binnenshuis kunnen verdragen. Bij lagere waarden bestaat er geen of een toelaatbaar risico op schade aan de gezondheid. Bij hogere waarden zijn gezondheidsrisico’s niet uit te sluiten. Deze advieswaarden hebben geen wettelijke status, maar zijn wel te gebruiken om de kwaliteit van het binnenmilieu in gebouwen te beoordelen en verbeteren. Ze kunnen daarmee als uitgangspunt dienen voor beleid. Het RIVM heeft bij de afleiding van de advieswaarden onder meer gebruik gemaakt van advieswaarden die door de Gezondheidsraad zijn opgesteld, zoals die voor vluchtige organische stoffen in

verblijfsruimten en geluid.[23,171] Daarnaast heeft de Gezondheidsraad een groot aantal advieswaarden afgeleid voor arbeidssituaties, maar niet specifiek voor scholen.

Chemische binnenmilieufactoren en fijn stof

In tabel 8 is een aantal advieswaarden weergegeven voor fijn stof en chemische agentia die van belang zijn voor de binnenmilieukwaliteit in scholen.

Tabel 8 Advieswaarden voor chemische binnenmilieufactoren en fijn stof.

Agens	Advieswaarde	Eenheid	Blootstellingduur
Fijn stof (PM_{10})	50	$\mu g/m^3$	24 uur
	20	$\mu g/m^3$	Jaargemiddelde
$PM_{2,5}$	25	$\mu g/m^3$	24 uur
	10	$\mu g/m^3$	Jaargemiddelde
Formaldehyde	1,2	$\mu g/m^3$	Levenslang
Vluchtige organische stoffen	200[a]	$\mu g/m^3$	Jaargemiddelde

[a] Advieswaarde Gezondheidsraad op basis van meest kritisch effect: sensorische waarnemingen.

Voor CO_2 heeft het RIVM in 2004 geen ‘gezondheidkundige advieswaarde’ afgeleid voor het binnenmilieu, omdat het op dit terrein weinig expertise bezat.[144]

Microbiologische binnenmilieufactoren

Het RIVM heeft geen ‘gezondheidkundige advieswaarden’ afgeleid voor biologische agentia.[144,150] In het bijzonder de concentraties van schimmels, endotoxinen en allergenen in woningen zouden te veel fluctueren om uitspraken te doen over de kans op gezondheidseffecten. Een expertpanel van de WHO beschouwde een concentratie van 10 µg huisstofmijtallergeen Der p1* per gram stof als concentratie waarbij astma-aanvallen voorkomen bij gesensibiliseerde personen en 2 µg per gram stof als mogelijke grenswaarde voor het ontstaan van sensibilisatie bij gevoelige personen.[172] Voor de diverse andere biologische agentia heeft ook de WHO geen aanvaardbare concentraties afgeleid.[151] Dit heeft vooral te maken met de veelal gelijktijdige blootstelling aan meerdere agentia, de complexiteit om de blootstelling nauwkeurig te meten en het grote aantal gezondheidseffecten dat aan de blootstelling is toe te schrijven.

* Der p1: Dermatophagoides pteronyssinus, in Europa veel voorkomende huisstofmijtsoort.

Voor omgevingsgeluid heeft het RIVM een advieswaarde voorgesteld (zie tabel 9). Het instituut baseert zich daarbij op de door de Gezondheidsraad gestelde ‘waarnemingsdrempel’ voor ernstige hinder van 42 dB(A) gemiddeld over een etmaal.[171] Dit is de laagste blootstelling waarbij een effect van geluid is waargenomen in epidemiologisch onderzoek. Deze waarde is afgeleid van de blootstelling-responsrelaties van TNO voor blootstelling van volwassenen aan verkeersgeluid, zoals buiten gemeten, over een periode van minimaal een jaar. Bij deze blootstelling is de fractie ernstig gehinderde volwassenen maximaal enkele procenten. Een dergelijke waarnemingsdrempel is niet afgeleid voor kinderen.

Tabel 9 Advieswaarde voor geluid.

Agens	Advieswaarde	Eenheid	Blootstellingduur
Geluid	42	dB(A)	Dagbelasting

Voor sommige factoren heeft het RIVM geen gezondheidskundige advieswaarden voor het binnenmilieu afgeleid. Zo heeft het RIVM voor CO_2 geen gezondheidskundige advieswaarde afgeleid, omdat het op dit terrein weinig expertise bezat.[144] Het RIVM heeft ook geen gezondheidskundige advieswaarden afgeleid voor biologische agentia.[144,150] In het bijzonder de concentraties van schimmels, endotoxinen en allergenen in woningen zouden te veel fluctueren om uitspraken te doen over de kans op gezondheidseffecten.