

**Literatuurstudie scholen en kindercentra
Binnenmilieu, gezondheid en leerprestaties**

Delft, 18 juni 2007

Dr. A. Meijer
Dr.ir. E. Hasselaar
Ing. C.A.M. Snepvangers

*Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van:
Ministerie van Volksbuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Directie Stoffen, Afvalstoffen, Straling
Afdeling Stoffen en Normstelling*

*Auteurs:
Dr. A. Meijer
Dr.ir. E. Hasselaar
Ing. C.A.M. Snepvangers*

18 juni 2007

Onderzoeksinstituut OTB
Technische Universiteit Delft
Jaffalaan 9, 2628 BX Delft
Tel. (015) 278 30 05
Fax (015) 278 44 22
E-mail mailbox@otb.tudelft.nl
<http://www.otb.tudelft.nl>

© Copyright 2007 by Onderzoeksinstituut OTB
No part of this report may be reproduced in any form by print, photo print, micro-
film or any other means, without written permission from the copyright holder.

Inhoudsopgave

Samenvatting	7
1 Aanleiding en onderzoeksaanpak	11
1.1 Aanleiding.....	11
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	11
1.3 Definities en kader.....	12
1.4 Onderzoeksaanpak	14
1.4.1 Opstellen eisen aan bruikbare literatuur.....	14
1.4.2 Inventarisatie van literatuur.....	14
1.4.3 Analyse van de gevonden onderzoeksliteratuur.....	15
1.4.4 Rapportage.....	15
1.5 Leeswijzer	16
2 De selectie van literatuur	17
2.1 Inleiding	17
2.2 Wetenschappelijke literatuur.....	17
2.3 Niet-wetenschappelijke literatuur.....	18
2.4 Parameters van het binnenmilieu	19
3 Literatuur over scholen	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Selectieproces	21
3.3 CO ₂ -concentraties.....	21
3.3.1 Meetgegevens	21
3.3.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties	22
3.3.3 Interventies	23
3.4 Chemische en biologische verontreinigingen	24
3.4.1 Meetgegevens	24
3.4.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties	25
3.5 Thermisch comfort	25
3.5.1 Meetgegevens	25
3.5.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties	26
3.6 Geluid.....	26
3.6.1 Meetgegevens	26
3.6.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties	26
3.7 Daglicht en verlichting.....	27
3.7.1 Meetgegevens	27
3.7.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties	27
3.8 Resultaten per parameter van het SC [®] EAM-P raamwerk	27
3.9 Conclusies	29
4 Literatuur over kindercentra	31
4.1 Inleiding	31
4.2 Selectieproces	31
4.3 CO ₂ -concentraties.....	31
4.4 Chemische en biologische verontreinigingen	33
4.5 Thermisch comfort	34

4.6	Geluid	34
4.7	Daglicht en verlichting	34
4.8	Combinatie van agentia	34
4.9	Resultaten per parameter van het SC [®] EAM-P raamwerk.....	35
4.10	Conclusies	37
5	Beschouwing van beschikbare informatie	41
5.1	Inleiding.....	41
5.2	Klachtenregistraties.....	41
5.3	Meting van concentratie en blootstelling.....	41
5.4	Gezondheidseffecten.....	44
5.5	Preventie.....	44
6	Onderzoeksvragen scholen.....	47
7	Onderzoeksvragen kindercentra.....	53
8	Conclusies	57
8.1	Algemene conclusies.....	57
8.2	Scholen	57
8.3	Kindercentra	59
	Referenties.....	61
	Bijlage A Grootste gemene deler van referenties in de discussie over het binnenmilieu op scholen en kindercentra	71
	Appendix A Betrouwbaarheid van metingen.....	73
	Bijlage B Overzicht gevonden literatuur voor scholen	Deel 2 pag. 1
	Bijlage C Overzicht gevonden literatuur voor kindercentra	Deel 2 pag. 135

Samenvatting

Algemene aanpak

In deze literatuurstudie is de huidige literatuur over de relaties tussen binnenmilieu, gezondheid en leerprestaties voor Nederlandse scholen en kindercentra bestudeerd. Er is gekeken naar zowel de huidige stand van zaken wat betreft het binnenmilieu op scholen en kindercentra, als naar de effecten van het binnenmilieu op de gezondheid en leerprestaties. De parameters van het binnenmilieu die in deze literatuurstudie zijn onderzocht, zijn: chemische en biologische verontreiniging, CO₂-concentraties, thermisch comfort, geluid en verlichting.

Naast Nederlandse literatuurbronnen zoals diverse GGD-rapporten is ook de buitenlandse literatuur, zoals het tijdschrift *Indoor Air*, doorzocht. Ook literatuurbronnen die door enkele deskundigen op het gebied van gezondheid en binnenmilieu vaak worden gebruikt, zijn doorzocht.

Om de stroom van informatie goed te kunnen verwerken, is er een selectie- en ordeningsmethode toegepast. Een algemene zoektocht leverde na een eerste screening 950 literatuurbronnen op. Uit analyse van het wetenschappelijk niveau van de gevonden literatuurbronnen over het binnenmilieu van scholen en kindercentra, waarbij aansluiting is gezocht bij een studie naar het binnenmilieu van woningen van Thomson et al., bleek uiteindelijk dat slechts 3 studies over scholen en 1 studie over kindercentra voldoen aan de hoogste wetenschappelijke standaard. Daarom zijn ook de studies met gegevensverzameling in scholen en kindercentra meegenomen. Nadere bestudering van deze bronnen leverde op dat deze op het punt van het meten van de binnenmilieu-parameters zwakheden vertonen en daarom op grond van zuiver wetenschappelijke criteria minder overtuigend zijn. Het bleek noodzakelijk vanwege het geringe aantal wetenschappelijke studies om ook niet-wetenschappelijke literatuurbronnen in de studie te betrekken. Deze bronnen kunnen worden beschouwd als een signaal voor de kwaliteit van het binnenmilieu.

Omdat er nauwelijks onderzoeken zijn die de gehele keten van bron via emissie en blootstelling tot effect beschrijven, is gebruik gemaakt van deelonderzoeken die een enkele trede in de 'ladder' van relaties beschrijven. Door onderzoeksgegevens over deelaspecten in een totaalkader te plaatsen, zijn alsnog uitspraken mogelijk over verwachte effecten, die (nog) niet specifiek zijn onderzocht. Om deze deelaspecten in de juiste context te plaatsen, is het relatiemodel SC[®]EAM-P van de Technische Universiteit Delft gebruikt. Dit raamwerk maakt onderscheid tussen de volgende aspecten: bronnen, condities en concentraties, risicoscore, blootstelling en effecten, acties, monitoring en preventie.

Resultaten onderzoek voor scholen

Er zijn 3 onderzoeken gevonden die voldoen aan de hoogste wetenschappelijk standaard en met uitspraken die van toepassing zijn op de Nederlandse situatie: Van Dijken (2005), Van Buggenum (2002) en De Gids et al. (2006). Daarnaast zijn 39 studies met gegevensverzameling in scholen en 52 niet-wetenschappelijke literatuurbronnen over scholen gevonden die kunnen worden beschouwd als een signaal voor een slecht binnenmilieu.

Kinderen zijn zelf een belangrijke bron van ziektekiemen, allergenen, geurstoffen, fijn stof en andere verontreinigingen. Het grote aantal personen per kubieke meter lucht en de vaak gebrekkige ventilatie zorgen ervoor dat het binnenmilieu in lokalen ongunstig beïnvloed wordt.

De meest essentiële factor voor een goed binnenmilieu is adequate ventilatie tijdens en buiten gebruik van de gebouwen. De CO₂-concentratie in scholen is vaak en gedurende langere perioden hoger dan de toetswaarde van 1200 ppm die wordt gehanteerd bij het opstellen van de ventilatie-eisen. Het gevolg van onvoldoende ventilatie is onder meer dat de bio-effluenten van aanwezige personen minder goed afgevoerd kunnen worden dan gewenst is. De relatie tussen CO₂-concentraties en gezondheidseffecten toont aan dat CO₂-concentraties bruikbaar zijn als indicator voor de kwaliteit van het binnenmilieu in scholen wat betreft emissies van humane bronnen. CO₂-concentraties zijn alleen een goede indicator van het ventilatievolume in geval van intensief gebruik van de ruimte. Er is relatief weinig onderzoek gedaan naar de andere parameters van het binnenmilieu, zoals vluchtige organische stoffen (VOS), schimmels, bacteriën, licht en geluid. Er is wel gevonden dat de binnentemperaturen op scholen vaak (veel) hoger zijn dan wenselijk geacht wordt.

Een slecht binnenmilieu kan leiden tot gezondheidsklachten of slechtere leerprestaties. Er treden omgevingsgerelateerde gezondheidsklachten op, maar er is nauwelijks iets bekend over de relatie tussen het binnenmilieu en gezondheid. Er kan echter niet zonder meer gesteld worden dat de gezondheidsklachten altijd rechtstreeks veroorzaakt worden door het binnenmilieu op scholen, omdat kinderen die thuis luchtwegproblemen hebben, deze klachten ook op school hebben. Omdat ventilatie het meest prominente probleem is, wordt de nadruk gelegd op ventilatie en ontbreekt daarom inzicht in de potentiële effecten van andere kenmerken op de gezondheid of leerprestaties. Er zijn duidelijke indicaties gevonden dat beter ventileren onder praktijkomstandigheden effect heeft op het verbeteren van leerprestaties. De effecten van temperatuur, geluid, licht, akoestiek en spraakverstaanbaarheid zijn nauwelijks onderzocht.

Er lijkt een relatie te zijn tussen perceptie (klachten over het binnenmilieu) en het verblijf op school, die wijst op gezondheidseffecten. Deze relatie wordt echter indirect gemeten. In enkele onderzoeken waarin dit onderzocht is, zijn de conclusies ten aanzien van de directe relatie tussen gezondheidseffecten en het binnenmilieu op school voorzichtig geformuleerd. Diverse andere onderzoeken tonen verhoogde concentraties van vervuilende stoffen, overschrijdingen van CO₂-concentraties en temperatuuroverschrijdingen aan en concluderen dat het binnenmilieu slecht is, echter zonder de gezondheidsaspecten zelf direct te onderzoeken.

Het verbeteren van het binnenmilieu door het verminderen van het aantal kinderen per lokaal, het dragen van kleding die alleen op school wordt gedragen en intensieve schoonmaak zijn effectief gebleken.

Alle gebruikte literatuur blijkt het complete SC[®]EAM-P-raamwerk te beslaan. In 90% van de literatuur komen condities en concentraties aan bod. In 50% van de literatuur is ook het effect van de blootstelling bekeken, hoewel dit vaak beperkt is tot klachtenpatronen of zelfgerapporteerde percepties van kwaliteit. Ondervetegenwoordigd zijn onderzoeken waarin bronnen of de risicoscore wordt beschouwd. Een beperkt aantal acties is uitvoerig beschreven. Monitoring en preventie zijn nog nauwelijks tot het veld van scholen en kindercentra doorgedrongen.

Ondanks de gebleken complexiteit van het binnenmilieu komt er een algemeen beeld uit de literatuur naar voren dat de luchtkwaliteit op scholen door een gebrekkige ventilatie slecht is en dat dit kan leiden tot een toename van de gezondheidsklachten. Deze uitspraken worden echter slecht onderbouwd, maar anderzijds ook door geen enkele deskundige tegengesproken. De literatuurbronnen die in deze literatuurstudie zijn gevonden bevestigen het beeld van de huidige bezorgdheid over het binnenmilieu in scholen.

Resultaten onderzoek voor kindercentra

Er is slechts 1 onderzoek gevonden dat voldoet aan de hoogste wetenschappelijk standaard en met uitspraken die van toepassing zijn op de Nederlandse situatie, namelijk dat van Gea Meijer (1999). Daarnaast zijn 12 studies met gegevensverzameling in kindercentra en 12 niet-wetenschappelijke literatuurbronnen over kindercentra gevonden die kunnen worden beschouwd als een signaal voor een slecht binnenmilieu.

Bij onderzoeken naar het binnenmilieu in kindercentra in Nederland ligt het accent op het functioneren en het gebruik van de ventilatievoorzieningen, met de CO₂-concentratie als indicator. Uit de onderzoeken van de GGD'en en anderen blijkt dat de CO₂-concentraties in een (groot) deel van de gebouwen van kindercentra en dan met name in de slaapvertrekken van de kinderen (veel) hoger zijn dan de toetswaarden van 1200 ppm die door GGD'en gehanteerd worden. Dit wordt veroorzaakt door een slecht gebruik van de ventilatievoorzieningen vanwege comfortproblemen (tocht en geluid). Het gebruik van de CO₂-concentratie als indicator voor het beoordelen van het binnenmilieu in kindercentra is echter riskant, omdat andere vervuilingbronnen, met name bronnen van geuren en fijn stof, dominant kunnen zijn.

In enkele onderzoeken zijn hoge concentraties van vluchtige organische verbindingen, fijn stof en biologische agentia aangetroffen. Uit enkele onderzoeken blijkt dat de fijn stofconcentratie stijgt bij het spelen met kussens, knuffels of dekens. Dit geldt ook voor het spelen op zachte vloerbedekking. Knuffels blijken relatief veel allergenen te bevatten. Door de kleding worden huisdierallergeen meegenomen naar het kindercentra.

In kindercentra wordt de aanwezigheid in de lucht van ziektekiemen, allergenen, geurstoffen, fijn stof en andere verontreinigingen gezien als een gezondheidsrisico. Betrouwbaar onderzoeksmateriaal over gezondheidseffecten of invloeden op de ontwikkeling van een kind ten gevolge van binnenmilieufactoren ontbreekt. Gezondheidseffecten bij kinderen in kinderdagverblijven zijn niet onderzocht in relatie met astmatische klachten.

Er is een beperkt aantal epidemiologische studies beschikbaar over infecties die waarschijnlijk thuis en in kindercentra zijn opgelopen. Er kan een relatie gelegd worden tussen enerzijds de groepsgrootte en -indeling en bezettingsgraad en anderzijds de overdracht van besmettelijke kinderziekten. Er wordt hierbij echter geen relatie gelegd met het binnenmilieu.

In de Nederlandse literatuur wordt vooral aandacht gegeven aan het meten van concentraties en het beoordelen van condities. De link met bronnen van verontreiniging wordt in kindercentra beter gelegd dan in scholen. Van de effecten op de gezondheid worden alleen luchtwegklachten, astma en infectieziekten gemeten. Niet het hele raamwerk van SC[®]EAM-P kan daarom voor kindercentra voldoende worden beschreven.

Ondanks het kleine aantal gevonden literatuurbronnen over kindercentra kan worden gesteld dat er veel problemen zijn, variërend in ernst, met het binnenmilieu in kindercentra, met name wat betreft de ventilatie en het thermisch comfort. Hoewel deze conclusies matig tot slecht worden onderbouwd, worden de problemen door vrijwel geen deskundige ontkend. De literatuurbronnen die in deze literatuurstudie zijn gevonden bevestigen het beeld van de huidige bezorgdheid over het binnenmilieu in kindercentra.

1 Aanleiding en onderzoeksaanpak

1.1 Aanleiding

In de afgelopen jaren is de problematiek rond het binnenmilieu in gebouwen steeds meer in de belangstelling komen te staan. In het verleden is er veel onderzoek gedaan naar de gezondheidsaspecten van het binnenmilieu. Zo heeft het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) deze effecten voor woningen recentelijk in kaart gebracht via een grootschalig onderzoek¹. Ook het binnenmilieu op scholen en kindercentra (kinderdagverblijven en peuterspeelzalen) heeft aandacht in relatie tot mogelijke gezondheidsklachten. Naar aanleiding van de ervaringen van adviseurs met het behandelen van klachten over het binnenmilieu van scholen heeft de Vereniging Integrale Bio-Logische Architectuur (VIBA) in 2004 een pamflet² uitgebracht met de bedoeling om de problematiek bij schoolbesturen, overheden en vakgenoten aan de orde te stellen. De Gezondheidsraad schreef³ in 2003: ‘Het is niet ondenkbaar dat de kwaliteit van binnenlucht in scholen, mogelijk in samenhang met de inwerking van andere milieufactoren, zoals geluid, de leerprestaties van kinderen nadelig beïnvloedt. De onderzoeksgegevens hierover zijn echter schaars’. De vraag is of er inmiddels meer onderzoeksgegevens zijn en of het vermoeden van de Gezondheidsraad bewaarheid is geworden. De eerste stap op dit gebied is het verzamelen van gedocumenteerde kennis over de relaties tussen binnenmilieu, gezondheid en leerprestaties door onderzoeksgegevens in zowel Nederland als in het buitenland te inventariseren en te beoordelen op wetenschappelijke waarde. Het onderhavige project ‘Literatuurstudie binnenmilieu, gezondheid en leerprestaties op scholen en kindercentra’ legt de huidige literatuur over deze relaties vast en beoordeelt de relevantie van onderzoek voor de Nederlandse scholen en kindercentra.

1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Doelstelling van het onderzoek is het komen tot een onafhankelijk oordeel over de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen en kindercentra, gebaseerd op bestaande literatuur.

In dit literatuuronderzoek staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

1. Wat is (bekend over) de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen en kindercentra in Nederland?
2. Wat is bekend over de invloed van kenmerken (constructie, voorzieningen), inrichting en gebruik van gebouwen (scholen en kindercentra) op de kwaliteit van het binnenmilieu?
3. Wat is bekend over de relatie tussen het binnenmilieu op scholen en kindercentra en gezondheidseffecten en over invloedfactoren?

¹ Van Dongen J, Van Oel C, Vos H, De Gids W, Cox C, Gerretsen E, 2006. Gezondheidsaspecten van het binnenmilieu in 1240 woningen; resultaten globale analyse actie 29. Rapport nr. L&G-2006-N004-64045 (concept), TNO, Delft.

² VIBA, 2004. Gezonde scholen: investeren in de toekomst. Een appèl aan ouders, leerkrachten, schoolbesturen en overheden. VIBA, ‘s-Hertogenbosch

³ Gezondheidsraad, 2003. Gezondheid en milieu: kennis voor beleid. Publicatie nr. 2003/20, Gezondheidsraad, Den Haag

4. In hoeverre kunnen op basis van literatuur gezondheidseffecten worden toegeschreven aan het binnenmilieu op scholen en kindercentra?
5. In hoeverre is er sprake van voldoende betrouwbaar onderzoeksmateriaal?
6. Welke kennistekorten worden geconstateerd op basis van het literatuuronderzoek?
7. Wat kan op basis van de literatuur geconcludeerd worden over de huidige wettelijke normen t.a.v. de kwaliteit van het binnenmilieu (m.b.t. scholen en kindercentra)?
8. Op welke informatie baseren gebouwbeheerders en GGD'en zich als zij interventies adviseren?

1.3 Definities en kader

Scholen en kindercentra

Binnen de regelgeving zijn definities opgesteld over wat verstaan moet worden onder scholen en kinderdagverblijven. Deze definities zijn vooral van belang bij de financiering van de verschillende voorzieningen. Ondanks de ogenschijnlijk grote onderlinge gelijkheid tussen scholen of tussen kindercentra kan het binnenmilieu toch sterk verschillen. Ook zijn er grote verschillen tussen de verschillende onderwijs- of opvangvormen. Voor dit onderzoek is gekozen voor een pragmatische benadering om het kader aan te geven. Daarbij is aansluiting gezocht bij de gevonden wetenschappelijke literatuur.

Het belangrijkste kenmerk van scholen en kinderdagverblijven is het bijeenzijn van een groep kinderen in een ruimte, meestal voor een aaneengesloten periode van anderhalf tot vier uur, waarna tijdens een pauze korte tijd in de buitenlucht wordt vertoeft, om daarna weer terug te gaan naar het lokaal.

Binnen scholen kan het volgende onderscheid worden gemaakt:

- Basisscholen waar de kinderen in groepsvorm basisvaardigheden zoals rekenen, taal, wereldoriëntatie en sociaal-emotionele vaardigheden ontwikkelen en tijdens het leerproces vooral zitten. De kinderen op de basisschool vallen in de leeftijdscategorie 4-12 jaar. De totale verblijfsduur op school is ongeveer 5,5 uur per dag, onderbroken door 3 pauzes waarin veelal buiten wordt gespeeld. Het aantal leerlingen per lokaal varieert van 10 tot 36, met een gemiddelde van ongeveer 23.
Er zijn ook onderwijsvormen waarbij de kinderen veel zelfstandig werken. Dit hoeft niet altijd te geschieden in de groepsruimte.
Een schoolgebouw bestaat veelal uit klaslokalen, een aula en een beperkt aantal nevenruimten.
- Vanaf 12 jaar krijgen kinderen les in het voortgezet onderwijs. Dit kent een grote variëteit aan onderwijsvormen, zoals VMBO, HAVO en VWO. Overeenkomsten kunnen gevonden worden in klassikaal onderwijs, individuele studie (studiehuis) en praktijkonderwijs. Het theorieonderwijs vindt veelal plaats in klaslokalen. Voor individuele studie en praktijkonderwijs zijn er aparte ruimten ingericht. Na 1 of 2 lessen wisselen de leerlingen van klaslokaal.
- Voor kinderen die niet mee kunnen komen binnen het reguliere onderwijs is er het speciaal onderwijs. Speciaal onderwijs is er voor visueel gehandicapte kinderen, dove of slechthorende kinderen, kinderen met ernstige spraakmoeilijkheden, lichamelijk gehandicapte kinderen, zeer moeilijk lerende kinderen, langdurig zieke kinderen en zeer moeilijk opvoedbare kinderen. De huisvesting van het speciaal onderwijs is afgestemd op de doelgroep en de groepsomvang is meestal kleiner dan in het reguliere onderwijs.

Tenzij anders aangegeven wordt in deze rapportage met scholen bedoeld basisscholen waar het reguliere onderwijs vooral plaatsvindt in een klaslokaal.

Binnen de kindercentra kan het volgende onderscheid worden gemaakt:

- Onder kinderdagverblijven worden voorzieningen verstaan voor de opvang, opvoeding en verzorging in groepsverband van kinderen in de leeftijdscategorie van 0 – 4 jaar. De belangrijkste activiteiten in kindercentra zijn spelen, slapen, eten en verzorgd worden. De ruimten zijn vaak onderverdeeld in een huiskamer waarin gespeeld en gegeten wordt, slaapruijnte(n) en een verzorgingsruimte met bad/kleedgelegenheid. Kindercentra zijn in een grote diversiteit aan gebouwtypen en ruimten ondergebracht, zoals ruimtes in bedrijfspanden of in woningen.
- Peuterspeelzalen zijn voorzieningen waarin uitsluitend kinderen vanaf de leeftijd van twee jaar tot het tijdstip waarop zij kunnen deelnemen aan het basisonderwijs verblijven in een speelgroep. De peuterspeelzaal heeft meestal een schoolachtige inrichting waar kinderen enige uren per week kunnen verblijven onder leiding van één of twee volwassenen.
- Tenslotte is er de voor-, na-, tussen- en buitenschoolse opvang voor kinderen in het basisonderwijs. Deze opvang vindt meestal plaats binnen het schoolgebouw.

In deze rapportage worden alle bovengenoemde vormen van kindercentra meegenomen. Hiertussen wordt geen onderscheid gemaakt, tenzij dit expliciet wordt aangegeven.

Gezondheidseffecten

Het begrip gezondheidseffecten wordt in dit onderzoek breed geïnterpreteerd: alle fysieke en geestelijke invloeden, die de kwaliteit van leven beïnvloeden. Duidelijk herkenbare klachten die acuut optreden, zoals irritaties die buiten school weer verdwijnen, zijn in het onderzoek beter bruikbaar dan chronische klachten die na enige tijd of zelfs na jaren optreden en die nauwelijks aan een bepaalde omgeving zijn te relateren. Ook klachten als sufheid worden meegenomen in dit onderzoek. In de literatuur wordt vooral gezocht naar omgevingsgerelateerde invloeden, die verzuim door ziekte of klachten over functioneren veroorzaken.

Effecten op leerprestaties

Leerprestaties zijn de mate van gewaarwording en aandacht, inclusief het vermogen tot denken en interpreteren, die de uitkomst van prestaties beïnvloeden. Vergelijkingen van leerprestaties van één kind onder verschillende omstandigheden zijn beter bruikbaar als indicator van omgevingsgerelateerde invloeden dan de leerprestaties die tussen verschillende leerlingen worden gemeten. Voorwaarde hiervoor is dat binnen een korte periode (1 à 2 dagen) wordt gemeten. Leerprestaties en gezondheidseffecten zijn nauw verwant: in beide gevallen gaat het om de kwaliteit van het vermogen tot gewaarwording, aandacht voor zichzelf en de omgeving en goed gebruik van denkvermogen in het verrichten van intellectueel werk.

Leerprestaties van kleine kinderen zijn moeilijk te meten. Dit vormt een extra reden om gezondheid voorop te stellen en als voorwaarde voor goede leerprestaties te beschouwen.

CO₂ als indicator

Vanwege de veelvuldige verwijzing naar CO₂ als toetswaarde voor de kwaliteit van het binnenmilieu, geven we een definitie van 'CO₂'. De CO₂-concentratie of het concentratieverschil tussen binnen en buiten is een indicator van de hoeveelheid uitgeademde gassen van personen (en huisdieren) in een besloten ruimte, in relatie tot het volume van de ruimte en de verblijfsduur van personen, en tot de hoeveelheid ventilatie. CO₂ blijkt tevens een goede indicator te zijn voor concentraties van overige vervuilende stoffen, die echter ook afhankelijk zijn van bronnen, emissies en aard van de blootstelling. CO₂ is daarom geen directe indicator van gezondheidsrisico, maar een 'surrogaatindicator' bij gebrek aan nadere informatie.

1.4 Onderzoeksaanpak

Het project bestaat uit vier fasen. In de eerste fase zijn de eisen geformuleerd waaraan literatuur van goede kwaliteit moet voldoen. Hiertoe is een lijst van criteria opgesteld. In de tweede fase van dit project is de literatuur verzameld over gezondheidseffecten van het binnenklimaat in scholen en kindercentra. Bronnen van deze literatuur waren wetenschappelijke tijdschriften en congresverslagen, boeken en rapporten van onderzoeksinstituten, van adviesbureaus en instellingen als RIVM en GGD'en. In de derde fase is per onderzoeksrapportage bekeken welke resultaten zijn verkregen. De rapportages zijn getoetst aan de eisen en de indicatoren die in de eerste fase zijn geformuleerd. Middels deze toets is bepaald in hoeverre het betreffende onderzoeksresultaat bruikbaar is. Tenslotte is in de vierde fase een analyse gemaakt van de resultaten, is over de resultaten gediscussieerd en zijn conclusies getrokken en aanbevelingen opgesteld.

1.4.1 Opstellen eisen aan bruikbare literatuur

In de eerste fase zijn eisen geformuleerd waaraan beschikbare literatuur is getoetst. Deze criteria ondersteunen een doelmatige en eenduidige beoordeling van de bruikbaarheid van de onderzoeksresultaten in de literatuur. De criteria zijn ingedeeld in vier clusters: a) worden uitspraken gedaan over effecten van het binnenmilieu in scholen en kindercentra op leerlingen en leerkrachten, b) aan welk niveau van wetenschappelijkheid voldoet het onderzoek dat wordt beschreven, c) wordt een relatie gelegd tussen gezondheidseffecten en leereffecten en mogelijke oorzaken van die effecten en d) welke gebouwenmerken, inclusief gebruik en beheer, worden genoemd als invloedfactoren.

1.4.2 Inventarisatie van literatuur

In de tweede fase van dit project is gezocht naar onderzoeken over gezondheidseffecten bij kinderen en volwassenen als gevolg van een slecht binnenklimaat in scholen en kindercentra. Materiaal met betrekking tot de effecten van interventies op het binnenmilieu is eveneens verzameld. Er is gebruik gemaakt van een grote verscheidenheid aan bronnen: wetenschappelijke literatuur, congresverslagen, onderzoeksrapporten die in het bezit zijn van schoolbesturen, (onderzoeks-)instellingen zoals GGD'en, vakorganisaties en adviesbureaus. Het bronnenmateriaal dat in een tiental jaren door Boerstra Binnenmilieu Advies (BBA) werd opgebouwd is doorgenomen. Enkele deskundigen op het gebied van gezondheid en binnenmilieu zijn geraadpleegd over de actuele stand van zaken met betrekking tot het onderzoeksgebied: de medisch milieukundige Frans Duijm van de GGD Groningen, Atze Boerstra van Boerstra Binnenmilieu Advies (BBA) en Jan Sundell van de Technische Universiteit Denemarken. Ook is het wetenschappelijk tijdschrift *Indoor Air* doorzocht, dat in de afgelopen jaren veel aandacht heeft besteed aan de binnenmilieuproblematiek in scholen en kindercentra. Er is uitvoerig gebruik gemaakt van internet, via zoekmachines zoals Google, Google Scholar en Medlin, om een brede inventarisatie te maken van toegankelijke literatuur. Er wordt aangenomen dat met bovengenoemde literatuurinventarisatie het gros van de relevante literatuurbronnen gevonden is.

De zoektermen zijn afgeleid van de onderzoeksvragen en omvatten de verschillende agentia van het binnenmilieu, fysische factoren zoals thermisch comfort, geluid, daglicht en straling en beheersaspecten zoals schoonmaken en reinheid en voorzieningen zoals ventilatie en verlichting. Zoektermen die te maken hebben met personeel en leerlingen betreffen onder meer verzuim, verschillende ziektebeelden inclusief stress, leerprestaties en productiviteit. Ook is gezocht naar gegevens over onderhoud, bouwen en inrichting, financiering, normen en richtlijnen met betrekking tot bouw en onderhoud van scholen en kindercentra. Om een beeld te krijgen van gebouwwormen en actuele kwaliteitsthema's zijn tal van sites van scholen, kinder-

centra en peuterspeelzalen, en ook van adviesbureaus en architectenbureaus bekeken. Om nader inzicht te verwerven in de actualiteit is eind januari 2007 de Nationale Onderwijstoonstelling (NOT) in de Jaarbeurs Utrecht bezocht, waar werd gesproken met leerkrachten, advies- en architectenbureaus, vakbonden en organisaties die zich op enige wijze met de werkomstandigheden gerelateerd aan het binnenmilieu op scholen en in kindercentra bezig houden. Overigens bleek op de NOT dat het binnenmilieu van scholen (nog) geen actueel thema is, zodat voeling met de praktijk wel werd aangescherpt, maar geen nieuwe literatuurbronnen konden worden toegevoegd.

De volgende thema's zijn niet onder het binnenmilieu gerekend:

- Veiligheid: trappen, vloeren, obstakels, speeltuigen, experimenteren (scheikunde)
- Ergonomie: ruglijden tengevolge van slecht passend meubilair, RSI, zware schooltassen
- Omgevingskenmerken die angstgevoelens, onbehagen of stress veroorzaken (sociale veiligheid).

Na de verkenning van Nederlandse bronnen is de grens verruimd naar landen rond Nederland en Scandinavië en vervolgens is naar de beschikbare literatuur wereldwijd gezocht.

1.4.3 Analyse van de gevonden onderzoeksliteratuur

In de derde fase van dit project zijn de gevonden onderzoeksrapportages geanalyseerd aan de hand van de lijst van criteria die zijn opgesteld in fase 1 van dit project. Er is aandacht besteed aan de vraag of de gebruikte onderzoeksmethoden in de literatuur bruikbaar zijn om de onderzoeksvragen te behandelen. De uitkomsten van de analyse zijn gebruikt om de onderzoeksvragen te beantwoorden.

Een theoretisch raamwerk voor het structureren van omgevingsgerelateerde gezondheidsaspecten is gevolgd, dat uitgaat van bron-oorzaak-gevolgrelaties. Omdat er nauwelijks onderzoeken zijn die de gehele keten van bron via emissie en blootstelling tot effect beschrijven, is gebruik gemaakt van deelonderzoeken die een enkele trede in de 'ladder' van relaties beschrijven. Door onderzoeksgegevens over deelaspecten in het totale raamwerk te plaatsen, kunnen wellicht alsnog uitspraken over verwachte effecten worden gedaan, die (nog) niet specifiek zijn onderzocht. Het raamwerk SC[®]EAM-P van de Technische Universiteit Delft is hiervoor gebruikt⁴. Het is een relatiemodel dat voortbouwt op het DPSEEA-raamwerk van de World Health Organisation⁵: de aspecten Driving force, Pressure, State, Exposure, Effect en Action. SC[®]EAM-P is het acroniem voor Source, Condition/Concentration, Risk Score, Exposure/Effect, Action, Monitoring en Prevention. In SC[®]EAM-P is DPSEEA integraal verwerkt, met een toevoeging van monitoring (na de Actie) en met aandacht voor preventie. Het raamwerk is meer op de 'blootgestelden', op communicatie en beleidsprocessen gericht dan DPSEEA.

In het overzicht van de gevonden literatuurbronnen zal worden aangegeven welke deelaspecten van het SC[®]EAM-P-raamwerk in de betreffende literatuurbronnen zijn behandeld.

1.4.4 Rapportage

Een overzicht van de bruikbare literatuur is in een aparte bijlage B (scholen) en een aparte bijlage C (kindercentra) weergegeven, met daarbij aangegeven welke agentia (CO₂, biologische

⁴ Hasselaar E, 2006. Health performance of housing – indicators and tools. Proefschrift, Technische Universiteit Delft, Delft

⁵ Corvalán C, Briggs D, Kjellstrom T, 1996 Development of environmental health indicators. In: Linkage methods for environment and health analysis. General guidelines. (D Briggs, C Corvalan, M Nurminen, eds.). UNEP, USEPA and WHO, Geneva, pp. 19–53

en chemische, thermisch comfort, geluid, daglicht en verlichting) zijn behandeld in welk onderdeel van het SC[®]EAM-P-model, het type literatuurbron (bijvoorbeeld wetenschappelijk artikel, rapport), een indicatie van het wetenschappelijk niveau en enkele regels eigen commentaar van de literatuuronderzoekers. De inhoudelijke resultaten zijn geanalyseerd, de onderzoeksvragen zijn beantwoord, conclusies zijn getrokken en enkele aanbevelingen zijn gegeven.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de selectiemethode van bruikbare literatuur. In hoofdstuk 3 wordt eerst een algemene indruk van de gevonden literatuurbronnen gegeven, alvorens in te gaan op de verschillende aspecten van het binnenmilieu. Deze indruk schetst een beeld van de gehanteerde aanpak die in het beschikbare onderzoek naar het binnenmilieu van scholen en kindercentra wordt gebruikt. In hoofdstuk 4 worden voor de scholen de gevonden onderzoeksgegevens uit de literatuur beschreven en geanalyseerd. In hoofdstuk 5 wordt dit gedaan voor de kindercentra. In hoofdstukken 6 en 7 worden de onderzoeksvragen met betrekking tot de scholen respectievelijk de kindercentra beantwoord. Hoofdstuk 8 geeft de conclusies van deze literatuurstudie.

Een beknopte beschrijving van alle gevonden literatuurbronnen is opgenomen in een aparte bijlage B (scholen) en een aparte bijlage C (kindercentra). Een overzicht van deze literatuurbronnen is opgenomen als referentielijst achter in dit rapport. Referenties die als achtergrondinformatie dienen, worden gegeven in een voetnoot.

Ons commentaar op de beperkte betrouwbaarheid van onderzoeksmethodieken die algemeen worden gebruikt om het binnenmilieu te meten, is in de appendix opgenomen. Deze appendix vervangt specifiek commentaar op individuele literatuurbronnen en weerspiegelt de kritische houding ten aanzien van het gebruik van meetgegevens, zonder een brede context van invloedfactoren weer te geven.

2 De selectie van literatuur

2.1 Inleiding

De eerste drie onderzoeksvragen gaan over welke kennis beschikbaar is over het binnenmilieu op scholen en kindercentra, over de kenmerken (de indicatoren) die het binnenmilieu bepalen en over de effecten op de gezondheid en leerprestaties. Deze vragen sturen de zoektocht naar beschikbare literatuur. De vraag naar effecten dient nader getoetst te worden op de betrouwbaarheid van het onderzoeksmateriaal. Dit hoofdstuk geeft aan welke criteria zijn gevolgd om vast te stellen of een literatuurbron bruikbaar is. De zoektocht naar literatuur leverde namelijk duizenden verwijzingen op, die via een zorgvuldig proces getoetst moesten worden, waarna een selecte hoeveelheid bruikbare literatuur overbleef. Deze overblijvende literatuur is gelezen en nader geanalyseerd. Het belangrijkste selectiecriteria was de wetenschappelijke kwaliteit. Omdat op basis van dit criterium relatief weinig materiaal overbleef, is het materiaal dat gebruik maakt van uniek verzamelde gegevens en materiaal dat problemen signaleert of oplossingen inventariseert, ook meegenomen. Voor deze andere bronnen is een benadering ontwikkeld om niveaus van bruikbaarheid te onderscheiden.

2.2 Wetenschappelijke literatuur

Wetenschappelijke kwaliteit is gedefinieerd aan de hand van de begrippen validiteit, nauwkeurigheid en toetsbaarheid. Vanwege het onderzoekskarakter hebben we 'bruikbaarheid' toegevoegd, waarmee bedoeld wordt dat resultaten van een onderzoek bruikbaar zijn voor de Nederlandse situatie in scholen en kindercentra.

Vragen met betrekking tot validiteit zijn: zijn de relevante verontreinigingen van de binnenlucht gemeten en is nagegaan of andere verontreinigingen uitgesloten kunnen worden? Zijn resultaten gebaseerd op gegevensverzameling en analyse van gegevens en zijn de resultaten door anderen te valideren op basis van weergegeven methode? Nauwkeurigheid betreft het aantal metingen, gedurende welke perioden, in welke omstandigheden, in hoeveel gebouwen en of de gegevensverzameling herhaald is. Is de auteur duidelijk over de aard van de gegevens (kwantitatief, kwalitatief) en zijn de meetomstandigheden passend bij de vraagstelling? Is er aandacht voor de kwaliteit van de metingen en de statistische uitwerking ervan? Toetsbaarheid betreft de volgende vragen: zijn gegevens toetsbaar, wat is de kwaliteit ervan en heeft de statisticus voldoende inzicht in de complexiteit van de materie? Is het onderzoek vanuit een onafhankelijke positie uitgevoerd en zijn de conclusies controleerbaar? Voor het aspect bruikbaarheid van literatuur gelden de volgende vragen: heeft de literatuur betrekking op of is het bruikbaar voor inzicht in de problemen met betrekking tot het binnenmilieu van scholen en kindercentra in Nederland en de effecten daarvan op de kinderen, leraren en begeleiders?

Voor de beoordeling van de wetenschappelijkheid is aansluiting gezocht bij studies naar het binnenmilieu in woningen. Thomson et al. hebben een grote literatuurstudie gedaan naar de

invloed van verbetering van woningen op de gezondheidseffecten van bewoners⁶. Zij hebben een klassenindeling van drie niveaus van wetenschappelijkheid gehanteerd:

- langlopende prospectieve studies (minimaal 6 maanden en een follow-uppercentage > 80%) met een objectieve vaststelling van de gezondheidseffecten,
- prospectieve studies met een controle groep met een beperkte controle op versturende variabelen en passende vaststelling van de gezondheidseffecten,
- volg- en retrospectieve studies zonder controle op versturende variabelen en op systematische fouten.

Van de circa 13.000 literatuurbronnen die zij in eerste instantie hebben gevonden bleken er slechts 18 bruikbaar op grond van de gehanteerde klassenindeling. Deze literatuurbronnen konden echter geen substantiële bewijzen leveren voor de positieve effecten van woningverbetering op de gezondheid van bewoners. Daarmee worden die relaties niet ontkracht: er is alleen geen onderzoeksmateriaal te vinden dat de grote complexiteit van effecten omvat en bij de vele onderling afhankelijke variabelen een betrouwbaar verband kan aantonen.

De toepassing van deze drie niveaus op de gevonden literatuurbronnen over het binnenmilieu van scholen en kindercentra leidt ertoe dat slechts enkele bronnen voldoen aan een hoge wetenschappelijke standaard. Nadere bestudering van deze bronnen leverde op dat deze op het punt van het meten van de binnenmilieu-parameters zwakheden vertonen en daarom op grond van de wetenschappelijke criteria minder overtuigend zijn. Op grond van de ervaringen bleek het noodzakelijk om ook andere bronnen, dus niet-wetenschappelijke literatuur, in de studie te betrekken.

2.3 Niet-wetenschappelijke literatuur

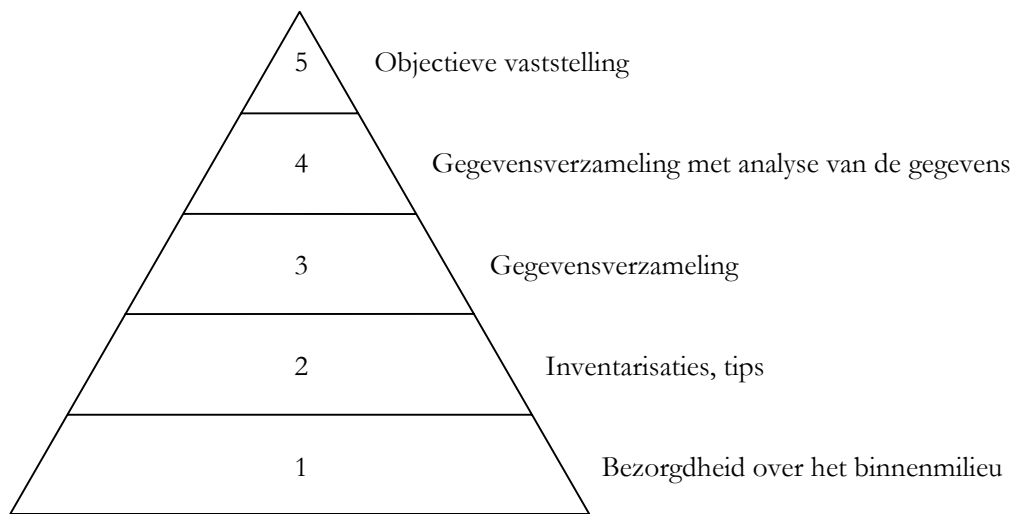
Naast de beperkte wetenschappelijke literatuur zijn er veel andere bronnen over het binnenmilieu in scholen en kindercentra, zoals adviesrapporten, beschouwingen, tips en beleidsstukken. Deze bronnen kunnen beschouwd worden als een signaal voor de kwaliteit van het binnenmilieu. Opvallend in deze bronnen is de grote onderlinge overeenkomst ten aanzien van de conclusies over het binnenmilieu in scholen en kindercentra. De huidige bezorgdheid over het binnenmilieu is een signaal van de problemen met betrekking tot de kwaliteit van het binnenmilieu in scholen en kindercentra, zelfs als dit op grond van een beperkt aantal wetenschappelijke studies niet direct afgeleid kan worden. Veel van deze bronnen bevatten ook een kwalitatieve onderbouwing van de conclusies, maar ze voldoen meestal niet aan de wetenschappelijke criteria. Onderzoeksrapporten van de GGD'en en adviesbureaus bevatten wel bruikbare meetgegevens over het binnenmilieu. Deze literatuur is vergeleken met de wetenschappelijke literatuur over het binnenmilieu, waaruit blijkt dat de signaalliteratuur mede bruikbaar is voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen. Vanwege de grote hoeveelheid gevonden signaalliteratuur en de variatie in kwaliteit ervan is gebleken dat het noodzakelijk is om een nadere ordening aan te brengen. Hiervoor is aansluiting gezocht bij de ijsbergtheorie van Bird⁷.

Bird beschrijft in zijn theorie over damage control dat dodelijke ongelukken geen incidenten zijn maar voortkomen uit een groot aantal gevaarlijke situaties. Bird onderscheidt vijf niveaus van gevaarlijke situaties. Hij geeft aan dat er een bepaalde verhouding is tussen de omvang van de verschillende niveaus: bijvoorbeeld 30.000 gevaarlijke situaties veroorzaken 30 ongelukken met blijvend letsel. Wanneer dit vertaald wordt naar de ernst van de binnenmilieupro-

⁶ Thomson H, Petticrew M, Morrison D, 2001. Health effects of housing improvement: systematic review of intervention studies. *BMJ* 323: 187-190

⁷ Bird FE, 1966. *Damage Control*. Insurance Company of North Carolina, Philadelphia

blematiek, dan kan gesteld worden dat de signaalliteratuur vooral aansluit bij de gevaarlijke situaties van Bird's indeling (de basis van de ijsberg), en de wetenschappelijke bronnen bij de top van de ijsberg. In figuur 2.1 is het principe van de ijsbergtheorie vrij vertaald naar vijf niveaus van wetenschappelijkheid.



Figuur 2.1: Niveaus van literatuurbronnen

Tevens is nagegaan of er literatuurbronnen zijn die aangeven dat de kwaliteit van het binnenmilieu geen effect heeft op de gezondheid of leerprestaties of dat gesignaleerde problemen niet relevant zijn. Deze bronnen zijn niet gevonden. Er is een brede overeenstemming onder de 'schrijvers' dat er veel scholen zijn met binnenmilieuproblemen, waarbij effecten worden verondersteld op zowel de gezondheid van leerlingen en leerkrachten als op de leerprestaties.

2.4 Parameters van het binnenmilieu

De parameters van het binnenmilieu kunnen worden ingedeeld in luchtkwaliteit, fysieke of functionele kwaliteit en belevingskwaliteit:

Luchtkwaliteit:

- Chemische agentia: CO₂, NO_x en vluchtige organische stoffen;
- Biologische agentia: allergenen van schimmels, huisstofmijt, ongedierte en huisdieren;
- Fysische agentia: fijn stof.

Fysieke kwaliteit:

- Thermisch comfort: temperatuur, luchtvochtigheid, tocht;
- Geluid: afkomstig van bronnen zowel binnen als buiten;
- Licht: daglicht en kunstlicht, verblinding;
- Straling: radon en elektromagnetische straling (niet meegenomen in dit onderzoek).

Belevingskwaliteit van de omgeving is niet meegenomen in dit onderzoek, behalve wanneer het om klachten gaat die gerelateerd zijn aan het binnenmilieu en om perceptie van gezondheidseffecten.

Deze parameters bepalen samen de kwaliteit van het binnenmilieu. In de appendix is een kritische notitie opgenomen, die de valkuilen beschrijft waarin veel onderzoekers terechtkomen zodra ze monsters verzamelen en metingen verrichten. Deze discussie onderstreept de grote complexiteit van het onderzoek naar het binnenmilieu en naar de effecten op de gezondheid en leerprestaties.

In het kader van deze studie is nagegaan of op basis van de beschikbare literatuur er indicatoren zijn die de kwaliteit van het binnenmilieu kunnen verklaren. Dit is mede noodzakelijk om te kunnen beoordelen of resultaten uit het buitenland bruikbaar zijn voor de Nederlandse omstandigheden.

Indicatoren hadden bijvoorbeeld betrekking op gebruikskenmerken, bepaalde agentia of fysieke condities, bepaalde bouwtypen, ventilatiesystemen of schoonmaakmethoden. Een lijst met parameters is samengesteld die de zoektocht naar literatuur heeft ondersteund. Er zijn op twee punten na in de onderzochte literatuur onvoldoende (betrouwbare) gegevens gevonden om te komen tot een overzicht van indicatoren voor de kwaliteit van het binnenmilieu in scholen en kindercentra. Deze twee punten betreffen gebrekkige ventilatievoorzieningen en slecht gebruik daarvan. Daar de gegevens over de ventilatievoorzieningen en het gebruik ervan in de onderzochte literatuur onvoldoende gedocumenteerd worden, waren deze gegevens evenwel niet bruikbaar voor nadere analyse. Vastgesteld moest worden dat het niet mogelijk was op basis van de onderzochte literatuur te komen tot een integrale beschrijving van de relaties tussen fysieke kenmerken van gebouwen en gezondheidseffecten of leerprestaties. Het verklaringsmodel voor de kwaliteit van het binnenmilieu in scholen en kindercentra, dat als uitkomst van het onderzoek kan worden gepresenteerd, betreft slechts enkele (belangrijke) parameters.

3 Literatuur over scholen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen eerst de resultaten van het selectieproces voor scholen worden beschreven, met het aantal gevonden literatuurbronnen. Vervolgens wordt per binnenmilieu-parameter zoals beschreven in paragraaf 2.4 (CO₂, chemische en biologische verontreinigingen, thermisch comfort, geluid en daglicht en verlichting) aangegeven welke literatuur beschikbaar is over scholen. Het SC[®]EAM-P raamwerk zorgt voor de structurering (zoals beschreven in paragraaf 1.4.3). Literatuur over de aspecten ‘bronnen’, ‘concentratie’ en ‘blootstelling’ wordt als cluster behandeld, omdat deze zelden apart behandeld worden in de literatuur en omdat persoonlijke blootstelling zelden bemonsterd wordt. Met het aspect ‘effect’ wordt in dit onderzoek zowel gezondheidseffect als effect op leerprestaties bedoeld. De aspecten ‘actie’, ‘monitoring’ en ‘preventie’ worden geclusterd onder de noemer ‘interventies’. Tenslotte worden de belangrijkste resultaten samengevat in de conclusie.

3.2 Selectieproces

De zoektocht naar mogelijke bronnen op basis van zoektermen heeft meer dan 5000 ‘hits’ opgeleverd voor scholen en kindercentra samen, die aanleiding hebben gegeven om de bron te bekijken. Ongeveer 1300 literatuurbronnen hiervan zijn opgeslagen, die na ordening en globale screening op herhalingen uiteindelijk een literatuurbestand van 950 stukken opleverde. Dit literatuurbestand is aanvankelijk gescreend op het bevatten van informatie over het binnenmilieu en/of relaties met gezondheid of leerprestaties op scholen en kindercentra. De eerste screening was met name een zoektocht naar onderzoeksrapportages, waarin uniek materiaal werd verzameld via wetenschappelijk verantwoorde analyses, metingen of reviews. Uit analyse van het wetenschappelijk niveau van de gevonden literatuurbronnen over het binnenmilieu van scholen en kindercentra bleek dat slechts 4 studies over scholen voldoen aan de hoogste wetenschappelijke standaard. Daarnaast zijn 39 studies gevonden met gegevensverzameling in scholen. Nadere bestudering van deze bronnen leverde op dat deze op het punt van het meten van de binnenmilieu-parameters zwakheden vertonen en daarom op grond van zuiver wetenschappelijke criteria minder overtuigend zijn. Het bleek daarom noodzakelijk om ook niet-wetenschappelijke literatuurbronnen in deze studie te betrekken. Deze bronnen kunnen worden beschouwd als een signaal voor de kwaliteit van het binnenmilieu. Het gaat om een selectie van 52 bronnen over scholen. In bijlage B zijn alle 95 bronnen kort weergegeven.

3.3 CO₂-concentraties

3.3.1 Meetgegevens

CO₂-concentratieingen worden vaak uitgevoerd om een indicatie te krijgen van het ventilatievoud in de lokalen. Het verschil tussen de CO₂-concentratie in de binnenlucht en in de

buitenlucht is een maat voor de humane verontreiniging van de binnenlucht door kinderen en leraren.

In 42 literatuurbronnen worden CO₂-concentraties in scholen geanalyseerd of beschouwd. Veel onderzoeken beperken zich tot het meten van de CO₂-concentraties. De gemeten concentraties worden vervolgens getoetst aan toetswaarden. Er wordt echter niet aangegeven of de toetswaarden relevant zijn voor de beoordeling van de kwaliteit van het binnenmilieu.

Uit de onderzoeken van de GGD'en en anderen blijkt dat de CO₂-concentraties in veel scholen dagelijks veel hoger zijn dan de toetswaarden van 1200 ppm die door GGD'en gehanteerd worden. Boerstra et al. (2006) hebben in hun literatuurstudie gevonden dat in het merendeel van de door hen gevonden onderzoeken deze concentratie wordt overschreden. De periode of het moment van overschrijding kan zijn gedurende de totale lestijd, tijdens piekwaarden per dag, tijdens een aantal dagen in de meetperiode waarin bijvoorbeeld de toetswaarden van de GGD'en zijn overschreden, of bij de maximaal gemeten waarden. De overschrijding komt ook voor in lokalen met een geringe bezetting (ook bij slechts 10 personen), maar uiteraard vaker en met hogere piekwaarden in druk bezette lokalen.

De bezettingsgraad van lokalen en de ventilatievolumes zijn de belangrijkste parameters voor het ontstaan van hoge CO₂-concentraties. In de gegevensverzameling worden niet altijd gegevens over de bezettingsgraad en de gebruiksduur vermeld. Evenmin wordt aangegeven welke activiteiten (bijvoorbeeld kringgesprek, taal, rekenen, tekenen) tijdens de metingen door de kinderen gedaan worden. Door Havenith (1988) wordt aangegeven dat het metabolisme van de kinderen en daarmee ook de CO₂-productie afhankelijk is van de activiteiten. De grote groepsomvang wordt deels veroorzaakt doordat bij de groei van een school de uitbreiding van de huisvesting achterblijft bij de groei van de school. De gebruikelijke prognosemodellen voor de leerlingengroei op basis van historische gegevens en demografische ontwikkelingen schieten tekort, omdat de nabijheid van de school steeds minder de dominante factor vormt bij de schoolkeuze. Verder zijn de gemeenten terughoudend ten aanzien van uitbreiding van de huisvesting bij een niet voorziene groei van een school. Tot de realisatie van de uitbreiding zullen de klassen van groeischolen overvol zijn met een slechte kwaliteit van het binnenmilieu als gevolg, omdat de voorzieningen hierop niet berekend zijn⁸.

Enkele onderzoeken exploreren de samenhang met ventilatiesystemen, ventilatiegedrag en gebouw- of lokaaltypen. Het kleine aantal onderzoeken dat naar voorzieningen, gebruik en regelgedrag kijkt, is waardevol voor het beoordelen van de invloed van technische kenmerken en gedragsoorzaken, omdat deze een indicatie geven van de mate van stuurbaarheid van de ventilatie in een klaslokaal.

3.3.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties

Er zijn weinig onderzoeken gevonden waarin de CO₂-concentratie is gerelateerd aan een analyse van de gezondheidsklachten. In de literatuurstudie van Boerstra et al. (2006) worden vier onderzoeken naar de relatie van het binnenmilieu en gezondheidsklachten in scholen besproken (Tenhaeff et al. 1999, Van de Sandt et al. 1987, Van Dijken 2005, Voûte et al. 1994). Alleen in de studie van Van de Sandt et al. is de relatie tussen hoge CO₂-concentraties en gezondheidsklachten onderzocht. Zij vonden echter geen verband hiertussen. Boerstra et al. hadden de beschikking over twee onderzoeken naar leerprestaties (Ten Boske 1997, Van Buggenum 2003), waaruit bleek dat de testcores lager zijn bij hogere temperaturen en CO₂-concentraties.

⁸ Persoonlijke mededeling H. van de Hoek, Gemeente Gouda, 2007

In 2002 heeft Van Buggenum in twee lokalen toetsen door leerlingen laten doen, terwijl de binnenmilieucondities tijdens de uitvoering ervan zijn bepaald. Van Buggenum kon op basis van het doen van twee toetsen geen invloed van CO₂-concentratie vaststellen, maar constateerde wel dat de temperatuur invloed heeft, zowel positief als negatief, op verschillende vaardigheden (Van Buggenum, 2003).

Van Dijken heeft een zorgvuldig opgezet onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen het binnenmilieu in Nederlandse scholen en de gezondheid van de leerlingen (Van Dijken 2005, Van Dijken et al. 2006). Zij vond dat fijn stof en de aanwezigheid van bronnen ervan en vochtigheid en schimmelgroei in de thuissituatie zijn gerelateerd aan het vóórkomen van gezondheidseffecten bij kinderen met allergische hypersensitiviteit. Ook vond ze dat het binnenmilieu in de scholen een slechte kwaliteit heeft wat betreft CO₂-concentraties, thermisch comfort en fijn stof. Zij plaatste daarbij wel de kanttekening dat leerlingen die thuis problemen onderkennen door het binnenmilieu, ook gelijksoortige klachten op school hebben.

In 2006 is door TNO onderzoek gedaan naar de relatie tussen ventilatie en leerprestaties (De Gids et al. 2006). Dit onderzoek is specifiek opgezet om de relatie tussen luchtkwaliteit en leerprestaties te meten. In dit onderzoek maken twee groepen van een basisschool elk vijf toetsen, waarbij wel of geen ingreep is gedaan in de ventilatie. Het aantal gemaakte fouten van toetsen is gerelateerd aan de CO₂-concentratie in twee lokalen van een basisschool. Het onderzoek is zorgvuldig ontworpen, om vervuiling van gegevens te voorkomen en om de onderzochte twee ventilatiescenario's in de lokalen als enige variabele te kunnen onderzoeken. De uitkomsten duiden op een positief effect van verse lucht op de leerprestaties: gemiddeld neemt het aantal taalfouten in de toetsen van 5,34 naar 5,64 toe en het aantal rekenfouten van 1,98 naar 2,44, in condities met recirculatielucht en oplopende CO₂-gehalten. Om de vraag te beantwoorden of dit onderzoek bijdraagt aan kennis met betrekking tot de relatie tussen leerprestaties en binnenmilieu, is dit onderzoek kritisch geëvalueerd. Allereerst is gekeken of de gemeten condities vergelijkbaar zijn. In de rapportage wordt aangegeven dat de resultaten van een middagtest ten opzichte van een ochtendtest zijn gecorrigeerd. Hiervoor worden correctiefactoren gebruikt die (mede) ontleend zijn aan de prestaties in een controlegroep in dezelfde school. De correctiefactoren geven vooral een verbetering van de prestaties in het scenario met vraaggestuurde ventilatie. Verder wordt gesteld dat vanwege geringe verschillen in temperatuur deze parameter als gelijk ofwel niet van invloed wordt gekenschetst. De CO₂-concentraties in deze lokalen, met 25 resp. 28 leerlingen plus een leerkracht bereiken nauwelijks die hoge waarden die in de literatuur veelvuldig worden genoemd. De CO₂-concentratieverschillen zijn dermate laag, dat het verrassend mag heten dat er statistisch onderbouwde verschillen in prestaties uitkomen. Uit de weergegevens van het KNMI blijkt dat het op de eerste testdag zonnig was en de tweede dag regenachtig (langdurige motregen) bij gelijkblijvende maximum temperaturen. Mogelijk is de daglichttoetreding een conditie van invloed die niet in het onderzoek beschreven is. Evenwel passen de resultaten uitstekend in het huidige beeld van de problematiek, maar het onderzoek is te smal om daarop definitieve conclusies te baseren. De onderzoeksopzet leent zich goed voor herhaling.

3.3.3 Interventies

Toepassing van CO₂-signaal meters om het gebruik van de ventilatievoorzieningen te stimuleren en gebruik van lespakketten over ventileren op school blijken op korte termijn te leiden tot een significante verbetering van de luchtkwaliteit. (Van der Zijden et al. 2006). Daarnaast zijn door gezondheidsadviseurs onderzoeken gedaan naar het effect van de verbetering van het ventilatiesysteem op de CO₂-concentraties (De Wolf 2006). Het effect van de onderzochte

CO₂-gestuurde ventilatiesystemen op de CO₂-concentraties in de lokalen blijkt positief te zijn, maar aanbevolen wordt om meer proeven te doen met deze of andere systemen.

3.4 Chemische en biologische verontreinigingen

3.4.1 Meetgegevens

In 60 literatuurbronnen worden chemische en biologische verontreinigingen in scholen geanalyseerd of beschouwd. De meeste onderzoeken zijn uitgevoerd in de Verenigde Staten; enkele zijn uitgevoerd in Nederland.

Stankproblemen, irritaties aan slijmvliezen en hoofdpijn vormen de belangrijkste aanleiding om concentraties van chemische verontreinigingen te meten. Voor het meten wordt meestal gebruik gemaakt van luchtmonsters die in laboratoria geanalyseerd worden. Soms worden er stofmonsters gebruikt. Metingen van de concentraties van chemische verontreinigingen richten zich meestal op fijn stof, CO, NO_x, VOS en formaldehyde. Van het totale spectrum van stoffen die in de lucht aanwezig kunnen zijn, wordt meestal een beperkt aantal signaalstoffen gemeten, zoals formaldehyde of het totaal aan vluchtige organische stoffen, die als indicator dienen voor acute klachten. De concentraties van VOS en formaldehyde zijn in het algemeen (veel) hoger bij hoge temperaturen. De inventarisatie van potentieel vervuilende stoffen legt vaak geen relatie met blootstellingsgegevens of gezondheidseffecten (bijvoorbeeld Van den Berg & Van Berkel 2003).

De samenstelling van fijn stof in scholen is in enkele gevallen geanalyseerd (Janssen et al. 1999). De activiteiten van de kinderen brengen met zich mee dat er veel stof opdwarrelt (Branjš et al. 2005). Dit leidt tot fijn stofconcentraties (met name de grotere fracties) die hoger zijn dan buiten.

In de Tabakswet van 1988⁹ is bepaald dat met ingang van 1 januari 1990 in klaslokalen niet meer gerookt mag worden. Daarom dienen literatuurbronnen over fijn stof van voor 1990 kritisch beschouwd te worden in verband met dit rookverbod. Bij bepalingen van concentraties fijn stof kan het niettemin nog voorkomen dat er een invloed is van een eventueel aanwezige rookruimte voor het personeel.

Er zijn een aantal onderzoeken waarin de concentraties van emissies van wegverkeer (met name fijn stof en NO_x) wordt vergeleken tussen scholen dicht langs wegen en verder van wegen (bijvoorbeeld Brunekreef et al. 1997; Janssen et al. 2001). Kinderen op scholen dicht bij wegen worden blootgesteld aan hogere concentraties van emissies van autoverkeer dan kinderen op scholen die verder van wegen liggen. Ook de Gezondheidsraad adviseert om scholen op voldoende afstand van drukke wegen te bouwen¹⁰.

Voor het meten van de aanwezigheid van biologische verontreinigingen wordt meestal gebruik gemaakt van stofmonsters die op verschillende plaatsen in het gebouw worden genomen (bijvoorbeeld Voûte et al. 1994). Andere bronnen zoals kinderkleding worden echter zelden bemonsterd. Soms worden ze gebruikt om onverwachte meetresultaten te verklaren.

⁹ Tabakswet, 1988. Wet van 10 maart 1988, houdende maatregelen ter beperking van het tabaksgebruik, in het bijzonder ter bescherming van de niet-roker. Staatsblad 342, SDU Uitgevers, Den Haag

¹⁰ Gezondheidsraad, 2007. Astma, allergie en omgevingsfactoren. Publicatienr. 2007/15, Gezondheidsraad, Den Haag

Metingen om de aanwezigheid van micro-organismen (schimmels, bacteriën) te bepalen zijn meestal beperkt van opzet. Hierbij worden de mogelijke oorzaken van bijzondere blootstellingen, zoals groei van micro-organismen als gevolg van vocht en lekkages, slecht in kaart gebracht.

Gegevens over de validatie van de gebruikte meetmethoden worden niet vermeld. Een analyse van de relatie tussen de aanwezigheid van biologische agentia en blootstelling wordt niet uitgevoerd.

Onderzoeken naar de hygiëne op scholen geeft aan dat er sinds 1999 een verbetering zichtbaar is, maar dat reinheid nog steeds te wensen overlaat: vuile toiletruimten, stofophoping in en onder kasten en op schoolmeubilair (Wijna 2002, 2006). Hoewel aannemelijk is dat slechte hygiëne het gezondheidsrisico vergroot, is de relatie tussen hygiëne en gezondheidseffecten niet onderzocht (Wijna 2006).

In de literatuur wordt om de hygiëne te onderzoeken gekeken naar de schoonmaakfrequentie en of er nat of droog schoongemaakt wordt. Bij het droog schoonmaken wordt er onderscheid gemaakt tussen vegen en stofzuigen. In veel gevallen worden combinaties toegepast van verschillende schoonmaaktechnieken, afhankelijk van de afwerking, de functie (lokaal, gang, toiletten) en de bereikbaarheid voor hulpmiddelen. Door schoonmaakbedrijven wordt de hygiëne visueel beoordeeld op basis van de aanwezigheid van niet gehecht vuil, zoals licht stof, proppen, en gehecht vuil, zoals vlekken, vingertasten en strepen.

3.4.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties

In ongeveer de helft van de literatuurbronnen zijn concentraties van chemische en biologische verontreinigingen gekoppeld aan gezondheidseffecten (bijvoorbeeld Ritz et al. 2002; Pepper et al. 2005). Hier werden gezondheidsklachten gevonden in scholen met hoge blootstelling aan schimmels (bijvoorbeeld Meklin et al. 2002; Handal et al. 2004) of aan fijn stof (bijvoorbeeld Janssen et al. 1999, Brunekreef et al. 1997). Voor blootstelling aan huismijt wordt echter geen effect gevonden (Zock et al. 1993).

Er is weinig literatuur beschikbaar over de effecten van hygiëne op gezondheid. Het inspectieprotocol dat door de schoonmaakbranche is opgesteld, is voor zover bekend niet geëvalueerd op gezondheidseffecten. Er is geen onderzoeksmateriaal gevonden over de gezondheidseffecten van gebruikte schoonmaakmiddelen. Schoonmaakbedrijven geven echter wel aan dat schoonmaakmiddelen veiliger en milieuvriendelijker zijn geworden, bijvoorbeeld door zich te beroepen op het voldoen aan strengere Arbo-eisen en vanwege het gebruik van alternatieven voor chloor en organische oplosmiddelen.

3.5 Thermisch comfort

3.5.1 Meetgegevens

In 29 literatuurbronnen wordt thermisch comfort (in het bijzonder temperatuur en relatieve vochtigheid) in scholen geanalyseerd of beschouwd. De temperatuurgegevens verwijzen naar perioden met hoge temperaturen, met oververhitting (waarvoor de standaard per land kan verschillen) en soms met lage temperaturen. De meetperiode is veelal beperkt tot een periode van een dag tot een week, met weergave van gemiddelden en pieken of overschrijdingsperiodes. In het algemeen wordt niet nagegaan in hoeverre de luchtvochtigheid binnen gerelateerd is aan de luchtvochtigheid buiten.

Uit deze onderzoeken van de GGD'en en anderen blijkt dat de binnentemperaturen op scholen vaak (veel) hoger zijn dan wenselijk geacht wordt. Oververhitting van klaslokalen komt niet alleen in de zomerperiode voor, maar ook in de winterperiode. In Nederland wordt door de GGD'en als advieswaarde voor de maximale binnentemperatuur 25-26°C gehanteerd. Ook in de winter zijn veel ruimten warmer dan door GGD'en wordt aanbevolen.

3.5.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties

In 2005 is door Mendell & Heath een literatuuronderzoek uitgevoerd naar het effect van vervuilde lucht en thermisch comfort op de leerprestaties voor de situatie in de Verenigde Staten. Zij hebben hiervoor meer dan 500 artikelen geraadpleegd, waarvan uiteindelijk 30 studies relevant bleken. Er zijn weinig direct wetenschappelijke verbanden aangetoond in de onderzochte literatuur, maar er zijn wel (sterke) suggesties gevonden dat bepaalde condities in scholen in de Verenigde Staten een negatief effect hebben op de gezondheid en leerprestaties van veel schoolkinderen. Leerprestaties worden slechter door te weinig ventilatie, vervuulende stoffen, waterschade, vochtproblemen en te weinig schoonmaak. Overigens zijn de uitspraken voorzichtig geformuleerd, omdat de uitkomsten moeilijk hard te maken zijn. Over het effect van thermisch comfort wordt geconcludeerd dat te hoge temperaturen leiden tot slechtere leerprestaties (Wargoeki et al. 2005; Wargoeki & Wyon 2006).

3.6 Geluid

3.6.1 Meetgegevens

In 10 literatuurbronnen wordt geluid in scholen geanalyseerd of beschouwd. De GGD Groningen heeft gevonden dat in enkele scholen het geluidsniveau als gevolg van mechanische ventilatie aan de hoge kant is (Meijer et al. 2006). In twee onderzoeken wordt de blootstelling van geluid gerelateerd aan weg- en luchtverkeer (Stansfeld et al. 2005, Van Kempen et al. 2005).

3.6.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties

Geluidhinder wordt naast tocht genoemd als beperkende factor voor het kunnen openen van ramen ten behoeve van ventilatie. De hinder kan van buiten komen (verkeer, spelende kinderen op het schoolplein) of van binnen (kinderen op de gang, geluid uit andere lokalen of afkomstig van ventilatoren). Lichamelijk onderzoek van personen wordt weinig uitgevoerd. Het geluidsniveau in een klas wordt gemeten of klachten worden geïnventariseerd.

Het werken in ruimten met een slechte akoestiek wordt als vermoeiend ervaren. Ook zijn er aanwijzingen gevonden dat er gehoorproblemen kunnen optreden bij leraren in gymzalen (Zandstra 2002). Stembandproblemen als gevolg van een slechte spraakverstaanbaarheid worden als klacht gemeld, maar hierover is geen Nederlandse literatuur beschikbaar.

Van Kempen et al. (2005) hebben de bloeddruk van kinderen gemeten om een relatie tussen verkeersgeluid en bloeddruk te vinden. In Nederland nam de bloeddruk bij hogere geluidsniveaus van vliegverkeer toe. In Engeland werd dit niet geconstateerd. Er is in het buitenland onderzoek gedaan naar de invloed van het geluidsniveau op concentratie en vermoeidheid (Stansfeld et al. 2005).

3.7 Daglicht en verlichting

3.7.1 Meetgegevens

In 8 literatuurbronnen wordt daglicht en verlichting in scholen geanalyseerd of beschouwd. Door TNO is onderzoek gedaan naar de verlichtingskwaliteit in klaslokalen (De Groot & Zonneveldt 2000), met name in verband met het gebruik van beeldschermen, een toenemend gebruik van audiovisuele apparatuur en de behoefte om na te gaan of energie te besparen valt.

Onderzoekers signaleren de trend dat verlichting steeds langduriger gebruikt wordt, ook als er voldoende daglicht is. Als redenen hiervoor worden genoemd: het verminderen van helderheidcontrasten en het creëren van een beter zicht op het bord. Relaties met het gebouwtype of de inrichting van daglichtopeningen worden weinig genoemd; wel wordt een relatie met de plaats van en het type verlichtingsarmaturen gevonden.

3.7.2 Effecten op gezondheid en leerprestaties

Enkele buitenlandse onderzoeken tonen aan dat in scholen waar meer daglicht binnentreedt de leerprestaties beter zijn dan in scholen waar minder daglicht binnenkomt. In de Verenigde Staten is bijvoorbeeld vastgesteld dat een verbeterde verlichting tot betere leerprestaties leidt (Heschong 2002; Heschong Mahone Group 1999). Dit kan echter ook samenhangen met andere factoren zoals geluid (Hygge & Knez 2001). Leraren hebben vaker last van vermoeidheid of hoofdpijn in lokalen met minder verlichting (Sahlberg et al. 2002).

3.8 Resultaten per parameter van het SC[®]EAM-P raamwerk

Bronnen: Op kinderen en onderwijzend personeel als emissiebron na worden bronnen van bijvoorbeeld chemische of biologische agentia in de regel indirect beschreven aan de hand van de concentratie van deze agentia. Overigens wordt hierbij meestal slechts een deel van de agentia beschouwd. In enkele onderzoeken is ook gekeken of de aangetroffen agentia van thuis afkomstig waren.

Conditie en concentratie: Veel onderzoeksmateriaal is beschikbaar over de CO₂-concentratie in de ruimte. Daarnaast zijn veel gegevens beschikbaar over temperatuur en relatieve vochtigheid, waarbij eerder het gemak van de gegevensverzameling dan de noodzaak om comfortaspecten te beoordelen verklaren waarom deze parameters zoveel aandacht krijgen. CO₂ wordt gebruikt als algemene indicator van luchtkwaliteit, VOS als algemene indicator van chemische verontreinigingen, allergenen van schimmels, van de huismijt en van katten als directe aanwijzing van gezondheidsrisico's en tenslotte PM₁₀ en recent vaker PM_{2.5} als indicator van de chemische vervuiling van verkeer en met name van dieselmotoren. Er zijn weinig gegevens beschikbaar over geluidsniveaus in klaslokalen. Tocht is in een beperkt aantal onderzoeken gemeten. In hoeverre kinderen klachten hebben wordt meestal niet aangegeven. Daglicht en verlichting worden in beperkte mate en dan vooral kwalitatief behandeld.

Risicoscore: In de literatuur bestaat de risicoscore uit de overschrijdingsperiode van meestal zelf gekozen toetswaarden voor CO₂, temperatuur en vochtigheid. Voor andere stoffen geldt dat opvallende meetwaarden in rapportages worden vermeld, maar dat de relatie tussen concentraties of condities en gezondheidseffecten niet wordt onderzocht. Voor de keuze van deze toetswaarden wordt in veel gevallen een motivatie aangevoerd, die ontleend is aan het werkklimaat in kantoren, maar die soms niet op gezondheidseffecten getoetst is. Voor andere condities wordt gerelateerd aan de beschikbare toetswaarden uit met name de Arbo-wet. Ook

hierbij ontbreekt vaak een bruikbare motivatie over de relatie met gezondheid of leerprestaties op scholen.

Literatuur over verzuimanalyses is niet gevonden, terwijl daarentegen verzuim in individuele centra wel wordt geregistreerd.

Blootstellingsduur: De gezondheidseffecten in scholen hebben betrekking op leerlingen en leerkrachten, daarna volgt het ondersteunend personeel en tenslotte de ouders of bezoekers buiten schooltijd. De blootstellingsduur van de kinderen op de basisschool is ongeveer 5,5 uur per dag in blokken van 1,5 tot 2 uur. De blootstellingsduur van de leerkrachten is gelijk of langer dan die van de kinderen, wanneer zij na de les in de klas blijven. Hierbij moet aangetekend worden dat door spuien of een openstaande deur naar de gang de luchtkwaliteit zich deels herstelt zodra de kinderen de klas hebben verlaten.

In het voortgezet onderwijs wisselen zowel de leerlingen als ook de leraren vaker van klaslokaal binnen de school: iedere 50 of 100 minuten. Het binnenmilieu verschilt per lokaal en is afhankelijk van activiteiten, bezetting en omgevingsfactoren, zodat de blootstelling aan specifieke milieufactoren moeilijk te bepalen is.

Volgens wettelijke bepalingen¹¹ dienen kinderen op de basisschool ongeveer 10% van een totaal jaar binnen een school door te brengen. Verblijf in de buitenlucht is in de orde van 15 tot 20% en 60-70% wordt binnenshuis doorgebracht. Een deel van de blootstelling aan het binnenmilieu komt van andere gebouwen, auto's, bussen en dergelijke. Hieruit kunnen we concluderen dat de blootstellingsduur op school ten opzichte van thuis relatief beperkt is.

Effect van blootstelling: Veel van de onderzochte bronnen bevatten informatie over te verwachten effecten van de blootstelling. Deze zijn evenwel maar in een beperkt aantal onderzoeken daadwerkelijk gemeten. Er zijn epidemiologische studies gedaan in Zweden (Sahlberg et al. 2002; Smedje et al. 1996; Wålinder et al. 1998) en experimenten in scholen in enkele landen, waaronder in Nederland (De Gids et al. 2006; Van Buggenum 2003; Van Dijken 2005).

Het aantal onderzoeken naar de relatie van het binnenmilieu en de leerprestaties is beperkt. De reikwijdte van de experimenten is beperkt. De onderzochte gezondheidsklachten zoals verkoudheid, brandende ogen, droge mond en kortademigheid zijn niet uniek voor het binnenmilieu in scholen. Uit de onderzoeken in scholen waarbij metingen aangeven dat er sprake is van een binnenmilieuprobleem, komt het beeld naar voren dat de algemene gezondheidstoestand slechter is. In het verlengde daarvan mag verwacht worden dat ook de leerprestaties slechter zullen zijn. Relaties tussen temperatuur, ventilatie en leerprestaties zijn aangetoond. Een deel van de onderzoeken richt zich op kinderen met astma en luchtwegproblemen. Zowel thuis als op school hebben deze kinderen gelijksoortige klachten.

Acties: In veel scholen zijn interventies gepleegd om het binnenmilieu te verbeteren. Er is veel literatuur met tips of verwijzingen naar gewenste of succesvolle interventies. Een belangrijke interventie is beter ventileren.

Monitoring: De recente projecten van GGD'en om in scholen CO₂-monitoren te installeren kunnen onder monitoring worden geschaard. Monitoring is ook het evalueren van interventies of acties. Monitoring wordt nauwelijks gebruikt om de uitgevoerde verbetermaatregelen te evalueren. De resultaten van monitoring over langere tijd zijn niet bekend.

Preventie: In vaktijdschriften voor met name de installatiebranche zijn artikelen verschenen over het ontwerp van adequate ventilatiesystemen voor scholen. Verder is er aandacht voor de verlichting, het vermijden van oververhitting en voor de inpandige akoestiek in gebouwen.

¹¹ Van Langen A & Hulsen M, 2001. Schooltijden in het basisonderwijs: feiten en fictie. ITS, Nijmegen

3.9 Conclusies

In tabel 3.1 zijn de aantallen literatuurbronnen voor scholen gegeven, uitgesplitst naar binnenmilieu-parameter en niveau van wetenschappelijkheid. De verwijzingen naar de beschrijvingen van de literatuurbronnen in bijlage B zijn eveneens gegeven.

In figuur 3.1 is een overzicht gegeven van het aantal gevonden literatuurbronnen voor scholen, uitgesplitst naar aspect van het SC[®]EAM-P-raamwerk. De aspecten ‘acties’, ‘monitoring’ en ‘preventie’ zijn weggelaten, omdat deze nauwelijks behandeld worden in de literatuur.

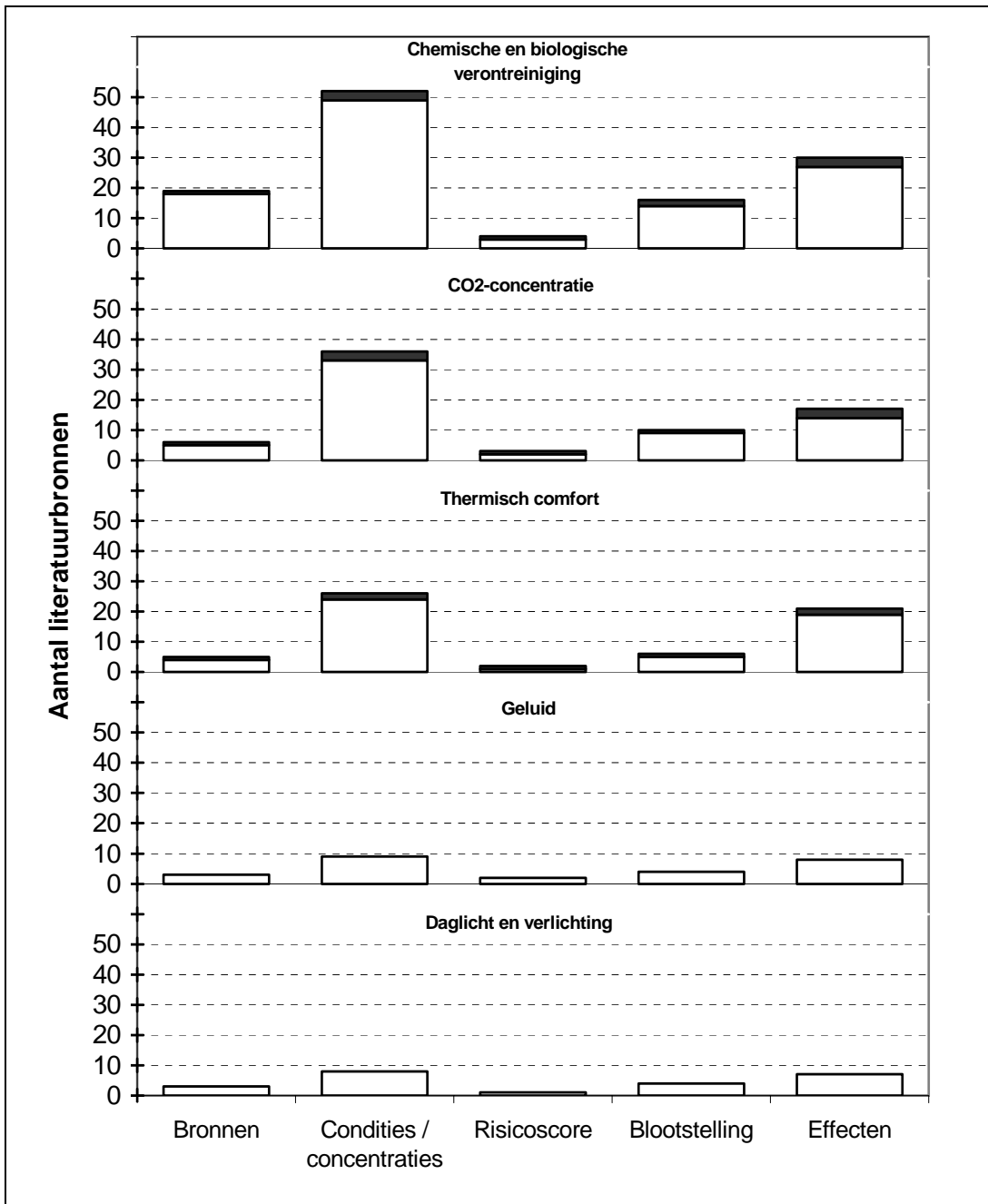
Uit tabel 3.1 blijkt dat er meer literatuurbronnen uit niveau 3 en 4 zijn aangetroffen dan uit niveau 1 en 2: 100 tegenover 41. Dit wordt veroorzaakt door het gebruikte selectie criterium dat zogenoemde signaal literatuur alleen meegenomen worden, wanneer deze metingen van binnenmilieu-parameters of gezondheidsklachten bevatten. Dit heeft geen gevolgen voor het beeld van de bezorgdheid en het grote aantal klachten met betrekking tot het binnenmilieu van scholen en kindercentra.

Uit de verzamelde literatuur blijkt dat de belangrijkste parameter van het binnenmilieu in scholen de luchtkwaliteit is, gevolgd door klachten over thermisch comfort. Reinheid is voor scholen een kwaliteitsmaatstaf waarvan het belang toeneemt. Geluidshinder in relatie tot verstaanbaarheid of hinder worden weinig genoemd als binnenmilieu-parameter, terwijl het wel een factor van belang is. Geluidshinder bepaalt het gedrag ten aanzien ventileren. Geluid is wel onderzocht in relatie tot bijvoorbeeld Schiphol, maar nauwelijks in relatie tot de locatie langs drukke wegen.

De onderzochte bronnen blijken als geheel het complete SC[®]EAM-P-raamwerk te beslaan. In 90% van de bronnen komen condities en concentraties aan bod. In 50% van de bronnen is ook het effect van de blootstelling bekeken, hoewel dit vaak beperkt is tot klachtenpatronen of zelfgerapporteerde percepties van kwaliteit. Ondervertegenwoordigd zijn onderzoeken waarin Bronnen of de Risicoscore wordt beschouwd. Een beperkt aantal Acties is uitvoerig beschreven. Monitoring en Preventie zijn nog nauwelijks tot het veld van scholen en kindercentra doorgedrongen.

Tabel 3.1 Literatuurbronnen voor scholen naar niveau. De niveaus zijn beschreven in paragraaf 2.3. Zie bijlage B in deel 2 voor de beknopte beschrijving van de literatuurbronnen. Literatuurbronnen die meerdere binnenmilieu-parameters beschrijven zijn dubbel vermeld

Binnenmilieu-parameter	Wetenschappelijk niveau				
	Niveau 1 Bezorgdheid over het binnenmilieu *	Niveau 2 Inventarisaties, tips **	Niveau 3 Gegevensverzameling ***	Niveau 4 Gegevensverzameling met analyse van de gegevens ****	Niveau 5 Objectieve vaststelling *****
Chemische en biologische verontreinigingen	30, 31, 92, 94, 95	25-29, 86, 87, 89, 90	20-24, 77, 79, 81-85	2-19, 62, 63, 65-74, 76	1, 60, 61
Aantal	5	9	12	31	3
CO ₂ -concentraties	92-94	45-48, 86-88, 90	34-44, 77, 79, 80, 83	33, 62-68, 70, 71, 73, 75, 76	32, 60, 61
Aantal	3	8	15	13	3
Thermisch comfort	92, 95	53, 86-89, 91	51, 52, 77-82, 84	49, 50, 62, 64, 69, 70, 72, 74-76	60, 61
Aantal	2	6	9	10	2
Geluid	93, 95	56, 86, 91	78, 85	54, 55, 62	-
Aantal	2	3	2	3	0
Daglicht en verlichting	95	59, 86	58, 78	57, 62, 72	-
Aantal	1	2	2	3	0



Figuur 3.1 Literatuurbronnen voor scholen naar aspect van SC®EAM-P-raamwerk. De donkere delen geven het hoogste ijsbergniveau weer

4 Literatuur over kindercentra

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen eerst de resultaten van het selectieproces voor kindercentra worden beschreven, met het aantal gevonden literatuurbronnen. Vervolgens wordt per binnenmilieu-parameter zoals beschreven in paragraaf 2.4 (CO₂, chemische en biologische verontreinigingen, thermisch comfort, geluid en daglicht en verlichting) aangegeven welke literatuur beschikbaar is over kindercentra. Het SC[®]EAM-P raamwerk zorgt voor de structurering (zoals beschreven in paragraaf 1.4.3). Literatuur over de aspecten ‘bronnen’, ‘concentratie’ en ‘blootstelling’ wordt als cluster behandeld, omdat deze zelden apart behandeld worden in de literatuur en omdat persoonlijke blootstelling zelden bemonsterd wordt. Met het aspect ‘effect’ wordt in dit onderzoek zowel gezondheidseffect als effect op leerprestaties bedoeld. De aspecten ‘actie’, ‘monitoring’ en ‘preventie’ worden geclusterd onder de noemer ‘interventies’. Tenslotte worden de belangrijkste resultaten samengevat in de conclusie.

4.2 Selectieproces

De zoektocht naar mogelijke bronnen op basis van zoektermen heeft voor scholen en kindercentra samen meer dan 5000 ‘hits’ opgeleverd, die aanleiding hebben gegeven om de bron te bekijken. Hiervan zijn ongeveer 1300 literatuurbronnen opgeslagen, die na ordening en globale screening op herhalingen uiteindelijk een literatuurbestand van 950 stukken opleverde.

Aanvankelijk is dit literatuurbestand gescreend op het bevatten van informatie over het binnenmilieu en/of relaties met gezondheid of leerprestaties op scholen en kindercentra. De eerste screening was met name een zoektocht naar onderzoeksrapportages, waarin uniek materiaal werd verzameld via wetenschappelijk verantwoorde analyses, metingen of reviews. Uit analyse van het wetenschappelijk niveau van de gevonden literatuurbronnen over het binnenmilieu van scholen en kindercentra bleek dat slechts 1 studie over kindercentra voldoet aan de hoogste wetenschappelijke standaard. Daarnaast zijn 12 studies gevonden met gegevensverzameling in kindercentra. Uit nadere bestudering van deze bronnen bleek dat deze op het punt van het meten van de binnenmilieu-parameters zwakheden vertonen en daarom op grond van zuiver wetenschappelijke criteria minder overtuigend zijn. Daarom bleek het noodzakelijk om ook niet-wetenschappelijke literatuurbronnen in deze studie te betrekken. Deze bronnen kunnen worden beschouwd als een signaal voor de kwaliteit van het binnenmilieu. Het gaat om een selectie van 12 bronnen over kindercentra. In bijlage C zijn alle 25 bronnen kort weergegeven.

4.3 CO₂-concentraties

In de literatuur wordt voor kindercentra het CO₂-gehalte gebruikt als indicator van de kwaliteit van het binnenmilieu. In 5 literatuurbronnen worden CO₂-concentraties in kindercentra geanalyseerd of beschouwd.

De beschikbare literatuur benadrukt de overschrijding van de door de onderzoekers gehanteerde CO₂-toetswaarden, terwijl de emissies door metabolisme van kinderen in deze leeftijdscategorie relatief gering zijn. Het is niet zeker of deze indicator bruikbaar is in ruimten met

een lage bezettingsgraad of bij jonge kinderen die minder CO₂ uitademen per tijdseenheid dan oudere kinderen. Stankklachten door urine en volgepoepte luiers of kleding worden niet geanalyseerd, hoewel stank ook ervaren wordt bij een lage CO₂-concentratie.

Uit onderzoeken blijkt dat er een relatie is tussen de CO₂-concentraties en het volume van de slaapkamer, met kieren en met het ventilatiesysteem (Habets & Dusseldorp 2005). De CO₂-overschrijdingsperiode in de groepsruimte van de onderzochte kindercentra is in de slaapkamers langer dan in de groepsruimtes. De laagste CO₂-concentraties zijn gevonden bij gebruik van balansventilatie, de hoogste concentraties bij mechanische afzuiging. In slaapkamers met natuurlijke ventilatie zijn concentraties gevonden die daar tussenin liggen.

In kinderdagverblijven slapen de kinderen in wisselende perioden, verspreid over de dag. In peuterspeelzalen gaan de kinderen meestal tegelijk slapen, zodat eerder een piek wordt bereikt in de CO₂-concentratie van de slaapkamer.

Het 'Onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van kinderdagverblijven' (Van de Weerd & Wensveen 2001) concludeert dat de gemeten CO₂-concentraties het laagst zijn in gebouwen die als kindercentrum zijn gebouwd, hoger in klaslokalen en het hoogst in kindercentra die in woningen zijn ondergebracht. In kinderdagverblijven met inspectieoordeel (over de kwaliteit van de ventilatievoorzieningen) 'voldoende' respectievelijk 'beperkt' werd een gemiddeld CO₂-gehalte van respectievelijk 1430 ppm en 1660 ppm gemeten. Deze gemiddelde waarden hebben betrekking op de meetperiode tussen 8:00 en 16:00 uur op een enkele meetdag. In centra met klachten over muffe lucht is het CO₂-gehalte gemiddeld 1820 ppm; indien er geen klachten zijn is het gehalte gemiddeld 1390 ppm.

In het onderzoek dat door de GGD Rotterdam is uitgevoerd (Habets & Dusseldorp 2005) zijn 57 slaapruiden in 52 kinderdagverblijven een week lang bemonsterd op CO₂. Er is onderscheid gemaakt tussen peuters en baby's. Peuters gaan over het algemeen op hetzelfde tijdstip naar bed en verblijven dan ongeveer twee uur in de slaapkamer. Baby's geven zelf aan wanneer ze willen slapen, waardoor piekbezetting minder aan de orde is. Het gebruik is geregistreerd in logboeken, echter met grote beperkingen omdat de registratie van het gebruik (wanneer kinderen in bed lagen, in welke stand de ventilatie stond etc.) onvoldoende was. Er zijn enige verschillen in meetwaarden per type ventilatiesysteem geconstateerd, met gegevens van mechanische, natuurlijke en gebalanceerde systemen (NEN 1087, type A, C en D). De CO₂-piekwaarde is bij systeem D (gebalanceerde systemen) lager dan bij systeem A en C.

De toepassing van de ventilatiesystemen is nauw gerelateerd aan de leeftijd van het gebouw en derhalve ook aan de infiltratie van buitenlucht. Opvallend is het gedrag van enkele verzorgers, die ramen sluiten of gesloten houden tijdens de slaapperiode. De perceptie speelt mee: men is bang dat kinderen ziek worden van tocht. De temperatuur in de slaapkamers (gemeten op 150 cm boven de vloer) is overwegend in de range van 20-27 graden Celsius, ongeacht de buitentemperatuur (en dus ook bij lage buitentemperaturen).

De bepalingen van piek-CO₂-concentraties in de GGD-onderzoeken (Meijer 1999 in Groningen, Van de Weerd & Wensveen 2001 in Arnhem, Habets & Dusseldorp 2005 in Rotterdam) duiden op een relatief laag ventilatievolume, dat in verband wordt gebracht met aanwezige voorzieningen en met ventilatiegedrag. In de zomer worden bij warm weer hoge temperaturen gemeten, mede in relatie met gedrag en voorzieningen, zoals gebrekkige zonwering en ontbreken van mogelijkheden voor dwarsventilatie en in relatie tot matig gebruik van ventilatie- of spuivoorzieningen.

4.4 Chemische en biologische verontreinigingen

In 21 literatuurbronnen worden chemische en biologische verontreinigingen in kindercentra onderzocht. In enkele onderzoeken worden de allergenen bemonsterd, met name door stofmonsters te nemen op verschillende plaatsen in het gebouw. Kinderkleding wordt zelden bemonsterd. De gevolgen van vocht en lekkages in de gebouwen worden slecht in kaart gebracht. Gegevens over vervuilde lucht uit filters en kanalen, over de emissies van gebruikte lijmen en chemicaliën uit elektronische apparatuur zijn niet beschikbaar.

Informatie over de chemische vervuiling betreft in de Nederlandse literatuur met name tabaksrook. In het buitenland is veel aandacht voor lood en radon en recent voor de weekmakers uit zachte plastics. In algemene termen wordt gewezen op de kruiphouding van de kleine kinderen en derhalve de grotere blootstelling aan de relatief zware deeltjes en van opgehoopt stof in kleden en zachte vloerbedekking. Rosen en Richardson (1999) hebben gevonden dat het verwijderen van fijn stof uit de lucht een positief effect heeft op de absentie van kinderen.

Schimmels en bacteriën zijn in diverse onderzoeken gemeten, maar de analyses laten geen duidelijke indicatoren van bronnen of oorzaken zien. Te lage wasfrequentie van beddengoed en te weinig schoonmaken (zowel zuigen als dweilen) worden wel als bron van vervuiling aangeduid. Schimmelvevuiling is geen issue, tenzij er lekkage in het gebouw is (geweest). Er is wel een relatie gevonden tussen vochtige kruipruimtes en binnenmilieu (Li et al. 1997).

Als bronnen van allergenen worden knuffels, kleedjes, zachte kussens, beddengoed, matrassen en kleding genoemd. De belangrijkste allergenen zijn afkomstig van huismijt en van huisdieren. Er zijn talrijke onderzoeken die concentraties aanduiden en proberen om de indicatoren te vinden die daarbij horen. Er zijn verbanden gevonden tussen de concentratie van huisstofmijtallergenen en vochtigheid van de gebouwen, de bezettingsgraad (volume per kind), ventilatiesystemen en gebouwtype. Huisdierallergenen worden in ieder kindercentrum aangetroffen. De concentratie ervan betreft met name meegebracht allergeen stof van huis, aangezien bijna nergens huisdieren worden toegelaten in kindercentra.

Bacteriële vervuiling en besmetting door virussen en bacteriën van andere kinderen krijgen veel aandacht, maar metingen leveren weinig nieuwe inzichten op.

Overdracht van besmettelijke ziekten is een belangrijk fenomeen in kindercentra (bijvoorbeeld Leggiadro et al. 1989; Cobben-Schoonenberg, 1996; Nafstad et al. 1999). Er is onderzoeksmateriaal beschikbaar over de relatie tussen ziekte en groepsindeling, respectievelijk de lichamelijke nabijheid (samen spelen). Besmetting vindt vooral plaats door contact via tafels en speelgoed (Uldall, 1990).

De gezondheidseffecten van afzonderlijke binnenmilieu-parameters zijn niet bekend. Wel zijn er verschillende verklaringsmodellen beschikbaar, zoals overeenkomsten tussen allergische reacties thuis en op kindercentra (Meijer 1999).

Er is een aantal epidemiologische studies (bijvoorbeeld Uldall 1990, of Van Dijken 2005 voor scholen) met een vergelijking tussen infecties die waarschijnlijk thuis en die in het kindercentrum zijn opgelopen. Het is niet bekend waar sensibilisatie voor allergenen wordt opgelopen. Begeleiders in kindercentra registreren verzuim, maar er zijn geen onderzoeken gevonden waarbij dit verzuim wordt geanalyseerd. De relatie tussen epidemische aandoeningen en verblijf in kindercentra is wel aangetoond (Li et al. 1997; Meijer 1999).

Aan hygiëne wordt door kindercentra veel aandacht besteed, zoals uit analyse van websites van kindercentra blijkt, omdat hygiëne voor veel ouders een belangrijk selectiecriteria is voor de keuze voor een kinderdagopvang of peuterspeelzaal. Daarom wordt door kindercentra veel aandacht besteed aan de rapportage over het type en de frequentie van reinigen. Tij-

dens de jaarlijkse inspectie wordt het schoonmaakprotocol geregistreerd en vindt een visuele inspectie plaats, zonder exacte bepaling van het niveau van reinheid. De schoonmaakfrequentie varieert tussen dagelijks, enkele dagen per week of eenmaal per week. Ook de werkwijze varieert tussen stofzuigen, dweilen en beide. Stofzuigen draagt bij aan de verspreiding van fijn stof, inclusief allergenen en chemische verontreiniging. Beddengoed wordt meestal per kind verschoond, zodat de kans dat kinderen in elkaars beddengoed slapen gering is.

4.5 Thermisch comfort

In 4 literatuurbronnen wordt thermisch comfort in kindercentra geanalyseerd of beschouwd. Oververhitting door buitencondities en oververhitting door de verwarming inclusief de beïnvloeding van het klimaat door de verzorgers zijn hierin gedocumenteerd.

Angst voor tocht stimuleert het sluiten van ramen en roosters in de slaapkamers, zodra kinderen gaan slapen. Door blinderen van ramen tegen daglichttoetreding wordt eveneens de ventilatie belemmerd. Dit gedrag leidt tot geringe ventilatie, zoals wordt aangetoond door het overschrijden van toetswaarden voor CO₂-concentraties. Tevens kan dit gedrag leiden tot oververhitting.

Relatieve vochtigheid wordt in verband gebracht met irritaties van slijmvliezen en met huisstofmijt (Meijer 1999). Hierbij is meestal niet nagegaan of de klachten ook verklaard kunnen worden door andere factoren.

4.6 Geluid

Er zijn geen literatuurbronnen gevonden die geluid in kindercentra analyseren of beschouwen. In de praktijk wordt wel een relatie gelegd tussen de ervaren geluidshinder van buiten en het sluiten van ramen of roosters tijdens de rustperioden van peuters.

Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat er gehoorproblemen optreden bij begeleiders. Verstaanbaarheid is in de literatuur geen aandachtspunt.

4.7 Daglicht en verlichting

Eén onderzoek bekijkt of kindercentra een beleid hebben ter voorkoming van overmatige blootstelling aan UV-licht tijdens buiten spelen (Jonkers et al. 2005). Het bouwbesluit stelt eisen aan daglichttoetreding. Er is geen literatuur beschikbaar over daglichtniveaus in kindercentra.

4.8 Combinatie van agentia

Het onderzoeksrapport uit Groningen (Meijer 1999) kiest te onderzoeken indicatoren op basis van gepubliceerde onderzoeken in Nederland in de jaren 1993-1998, alsmede internationale literatuur. Het onderzoek is gestart na het vaststellen van hoge CO₂-concentraties, temperatuuroverschrijdingen in de zomer en lage luchtvochtigheid in de winter. Onderzoeksgegevens zijn verzameld via duurmetingen in twee (in verband met herhalingsmetingen) kort na elkaar volgende winterse perioden van een week in woon- en slaapkamers van kindercentra (CO₂, temperatuur, relatieve vochtigheid, fijn stof). Tevens is in de gemeten kamers eenmalig een stofmonster verzameld voor allergeenbepalingen en zijn luchtmonsters genomen voor bacte-

riële bepalingen. Een logboek van het gedrag en een inspectie completeerden de gegevensverzameling. De CO₂-concentratie is gebruikt als indicator van de ventilatiekwaliteit.

In het onderzoeksverslag zijn niet de absolute waarden gegeven (behalve van CO₂, zoals in het onderzoek van de GGD Arnhem), maar de overschrijding van zelf gekozen toetswaarden voor alle meetparameters. De conclusies zijn gebaseerd op de veelvuldige overschrijding van deze toetswaarden.

Statistische analyse van variabelen levert in het Groningse onderzoek (Meijer 1999) de volgende inzichten op: De fijn stof concentratie binnen wordt door de fluctuaties buiten bepaald en vervolgens door het type activiteiten binnen, met name in de groepsruimtes. De (hoge) concentratie bacteriën is een karakteristiek van een centrum en niet van een verschil tussen woon- en slaapkamers. Knuffels bevatten het hoogste gehalte aan Der p1 allergenen van de genomen stofmonsters. De zachte kussens, banken en matrassen bevatten huisdierallergeen, terwijl er een correlatie is tussen de concentraties in objecten per centrum. Er is een significant verschil gevonden in luchtvochtigheid en gehalte aan huisstofmijtallergeen in matrassen van verschillende centra, waarbij gedrag (ventileren, luchten minder belangrijk lijkt dan (niet nader gedefinieerde parameters van) gebouw- en installatiekenmerken. Enkel glas lijkt enige relatie te hebben met minder CO₂ en ook lagere luchtvochtigheid.

De gebouw-, inrichtings- en diverse gedragsvariabelen van 36 kindercentra lijken onderling weinig verschillen te vertonen of zijn niet te onderzoeken door ontbrekende inspectieresultaten: in alle centra wordt bijvoorbeeld dagelijks gedweild en gezogen en in alle slaapkamers ligt gladde vloerbedekking, etc.. Er is geen verband gevonden tussen de kwaliteit van het binnenmilieu met het bouwjaar, een gering verband tussen het type gebouw en CO₂-niveaus, geen verband tussen type vloerbedekking en allergenen in de slaapkamers en een wisselend verband (lager en hoger) tussen het type ventilatiesysteem en relatieve vochtigheid. De bezettingsgraad hangt samen met het CO₂-gehalte.

Brunekreef¹² bekritiseert de conclusies die aan de bepalingen van de concentraties allergenen en bacteriën in het Groningse onderzoek zijn gekoppeld, enerzijds omdat de relatie tussen de gekozen grenswaarden (toetswaarden) en gezondheidsrisico niet duidelijk is en anderzijds door de grote variatie in de uitkomsten van dit soort bepalingen. De veroordeling van kwaliteit op basis van de overschrijding van CO₂-waarden wordt door Brunekreef als onterecht beoordeeld, omdat CO₂ een indirecte indicator is en mogelijk alleen verwijst naar geurklachten. Ook ontbreekt bij het beoordelen van blootstelling aan huisdierallergeen een vergelijking met de thuissituatie. De kritiek van Brunekreef op de beperkingen van de door Meijer gehanteerde meetmethoden wordt door ons onderschreven.

4.9 Resultaten per parameter van het SC[®]EAM-P raamwerk

In de Nederlandse literatuur wordt vooral aandacht gegeven aan het meten van **concentraties** en het beoordelen van **condities**. De link met **bronnen** van verontreiniging wordt in kindercentra beter gelegd dan in scholen. In kindercentra worden vooral concentraties van CO₂, biologische agentia en fijn stof, en temperatuur en relatieve vochtigheid gemeten. In enkele gevallen worden vluchtige organische verbindingen gemeten. Als omgevingsvariabelen worden het type gebouw, het ventilatiesysteem, het gebruik van het systeem en het aantal kinderen in slaapkamers meegenomen in de analyses.

¹² Brunekreef B, 2000. Binnenmilieu in kinderdagverblijven; een reactie op het rapport van de GGD Groningen, juli 1999. Infectieziektenbulletin 11 (6): 100-101

Uit de onderzoeken van de GGD'en en anderen blijkt dat de CO₂-concentraties in een (groot) deel van de gebouwen van kindercentra en dan met name in de slaapvertrekken van de kinderen hoger zijn dan de toetswaarden van 1000 of 1200 ppm die door GGD'en gehanteerd worden. Dit wordt veroorzaakt door een slecht gebruik van de ventilatievoorzieningen vanwege comfortproblemen (tocht en geluid). Door de gebrekkige ventilatie worden de emissies van zowel materialen als van kinderen onvoldoende afgevoerd.

Chemische en biologische agentia zijn in beperkte mate gemeten. Het gros van deze metingen is uitgevoerd in kindercentra met een gebrekkige ventilatie. Onduidelijk is of bij een goede ventilatie dezelfde concentraties van de chemische en biologische agentia gemeten worden.

Uit enkele onderzoeken blijkt dat de concentratie fijn stof stijgt bij het spelen met kussens, knuffels of dekens. Dit geldt ook voor het spelen op zachte vloerbedekking. Knuffels blijken relatief veel allergenen te bevatten. Door de kleding worden huisdierallergeen meegenomen naar het kindercentra.

De **risicoscore** bestaat in de literatuur uit de overschrijdingsperiode van zelf gekozen toetswaarden voor CO₂, temperatuur en vochtigheid. Voor andere stoffen geldt dat opvallende meetwaarden in rapportages worden vermeld.

Blootstelling wordt alleen geanalyseerd door onderscheid te maken tussen verblijf in de groepsruimte of in de slaapkamer. Persoonlijke blootstelling wordt in de literatuur niet gemeten.

Van de **effecten** op de gezondheid worden alleen luchtwegklachten en astma gemeten. Er is ook epidemiologisch onderzoeksmateriaal beschikbaar, dat de relatie tussen groepsgrootte en -indeling en bezettingsgraad in verband brengt met de overdracht van besmettelijke kinderziekten. Dit fenomeen leidt tot een versnelde immuniteit tegen besmettelijke ziekte bij kinderen die in kindercentra verblijven. De relatie wordt wel gebruikt om een bepaalde ruimtelijke scheiding en indeling in kleine groepen te motiveren, maar er wordt geen relatie gelegd met het binnenmilieu. Literatuur over verzuimanalyses is niet gevonden, hoewel verzuim in individuele kindercentra wel wordt geregistreerd.

De manifeste gezondheidseffecten van het binnenmilieu in kindercentra zijn infectieziekten en allergische aandoeningen. Bij acute infectieziekten is vaak aanwijsbaar dat de aandoening is opgedaan in het kindercentrum. Bij allergische aandoeningen is niet eenduidig vastgesteld waar sensibilisering optreedt. Wel is vastgesteld dat het binnenmilieu in een kindercentrum allergische reacties zoals astma-aanvallen kan veroorzaken.

De subgroepsgrootte en -indeling bepalen hoeveel kinderen besmet raken: een enkel besmet kind per subgroep zal door nabijheid de andere kinderen aansteken. Dan is er weinig invloed van overige binnenmilieufactoren. De besmetting zal niet in alle gevallen op andere groepen overslaan.

Sommige infectieziekten van de luchtwegen leiden tot verhoogde blootstelling aan verontreinigingen en daardoor tot ernstiger aandoeningen van de (diepe) luchtwegen, met blijvende gezondheidseffecten. Verschillende onderzoekers brengen de hygiënehypothese in stelling: doordat kinderen in een vuil milieu en in nauw contact met andere kinderen met veel allergenen en ziekteverwekkers in aanraking komen, zou meer weerstand worden opgebouwd. Deze hypothese is echter niet bewezen en zelfs door enkele onderzoekers verworpen.

Een kanttekening dient te worden geplaatst bij analyses op basis van klachtenregistraties. Ouders en personeel uiten vooral geurklachten. Verder worden klachten geuit over 'droge lucht', door het personeel, en over (te) hoge temperatuur in slaapruidten (Meijer 1999; Habets & Dusseldorp 2005). Gebrek aan reinheid leidt ook tot klachten door inspecteurs of ouders. Uit

een lage CO₂-concentraties kan niet afgeleid worden dat het binnenmilieu en/of de ventilatie goed zijn.

In kindercentra wordt de aanwezigheid in de lucht van ziektekiemen, allergenen, geurstoffen, fijn stof en andere verontreinigingen gezien als een gezondheidsrisico. Dit kan leiden tot o.a. infectieziekten, verergering van astma, eczeem en slijmvlies- en huidklachten.

Er is geen onderzoek beschikbaar over de invloed van een slecht binnenmilieu op de ontwikkeling van het kind. Op grond van gevonden effecten bij scholen t.a.v. de leerprestaties ligt het wel in de lijn der verwachting dat dergelijke effecten kunnen optreden.

Actie richt zich op verbeteringen die bij de jaarlijkse inspecties van de GGD zijn voorgesteld. De potentiële bijdrage van de jaarlijkse beoordeling door de GGD aan gedrag, beheer en verbetering van het gebouw ten aanzien van het binnenmilieu is groot.

Er is algemene literatuur, veelal gericht op promotie van goede handelwijzen in kindercentra. Het RIVM en het Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid (RIVM & Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid 2005) geven de brede expertise weer van medisch milieukundigen en baseren deze mede op door GGD'en onderzochte gevallen. Deze rapportage bevat geen gegevensanalyse, maar een weergave van globale richtlijnen en aandachtspunten. Naast veel aandacht voor hygiëne schenken zij ook aandacht aan binnenmilieuaspecten zoals ventilatie, temperatuur (met aandacht voor extreem warme dagen), vochtbalans, binnenlucht (allergenen, rook, stoffigheid, verf, lijm en spuitbussen, verbrandingsproducten, asbest en schadelijke stoffen via ventilatie), (huis)dieren, ongedierte en schoonmaken.

Wat **preventie** betreft: De capaciteitseis voor bestaande kindercentra in het Bouwbesluit 2003 is 1 dm³/s per m². Deze eis geldt ook voor kinderopvang tot en met groep 8 van de basisschool. Deze eis is ook van toepassing gedurende de opvang tijdens de vakantieperiodes. Voor de oudere kinderen geldt dat zolang per kind ten minste 5 à 7 m² vloeroppervlakte beschikbaar is, de eis voor bestaande bouw voldoende zal zijn. In de Beleidsregels Kwaliteit Kinderopvang¹³ is vastgelegd dat de grootte van de groepsruimte tenminste 3,5 m² per kind dient te bedragen. Dit impliceert dat als aan de minimumeis qua oppervlakte wordt voldaan bij bestaande bouw de ventilatiecapaciteit per kind 3,5 dm³/s bedraagt. Dit is lager dan algemeen aangenomen wordt als minimaal vereist.

4.10 Conclusies

In tabel 4.1 zijn de aantallen literatuurbronnen voor kindercentra gegeven, uitgesplitst naar binnenmilieu-parameter en niveau van wetenschappelijkheid. De verwijzingen naar de beschrijvingen van de literatuurbronnen in bijlage C zijn eveneens gegeven.

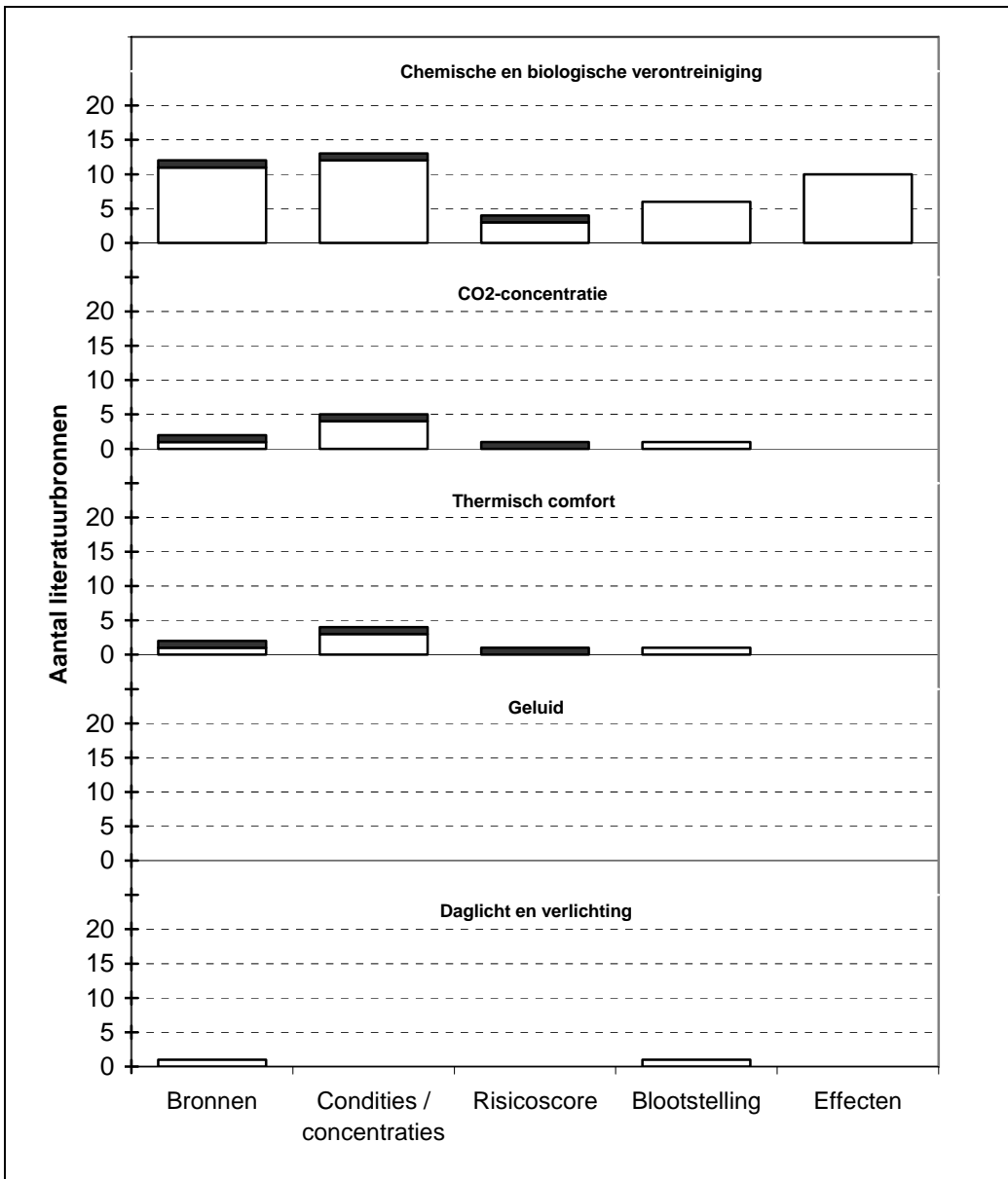
In figuur 4.1 is een overzicht gegeven van het aantal gevonden literatuurbronnen voor kindercentra, uitgesplitst naar aspect van het SC[®]EAM-P-raamwerk. De aspecten 'acties', 'monitoring' en 'preventie' zijn weggelaten, omdat deze nauwelijks behandeld worden in de literatuur.

¹³ Staatsblad 17 november 2004, nr. 222 /pag. 18

Tabel 4.1 Literatuurbronnen voor kindercentra naar niveau. De niveaus zijn beschreven in paragraaf 2.3. Zie bijlage C in deel 2 voor de beknopte beschrijving van de literatuurbronnen. Literatuurbronnen die meerdere binnenmilieu-parameters beschrijven zijn dubbel vermeld

Binnenmilieu-parameter	Wetenschappelijk niveau				
	Niveau 1 Bezorgdheid over het binnenmilieu *	Niveau 2 Inventarisaties, tips **	Niveau 3 Gegevensverzameling ***	Niveau 4 Gegevensverzameling met analyse van de gegevens ****	Niveau 5 Objectieve vaststelling *****
Chemische en biologische verontreinigingen	-	112-114, 120	106-111	96-105	117
<i>Aantal</i>	<i>0</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>10</i>	<i>1</i>
CO ₂ -concentraties	-	120	115, 119	118	117
<i>Aantal</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
Thermisch comfort	-	120	119	118	117
<i>Aantal</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
Geluid	-	-	-	-	-
<i>Aantal</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Daglicht en verlichting	-	-	-	116	-
<i>Aantal</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>

Uit tabel 4.1 blijkt dat er meer literatuurbronnen uit niveau 3 en 4 zijn aangetroffen dan uit niveau 1 en 2: 22 tegenover 6. Dit wordt veroorzaakt door het gebruikte selectie criterium dat niet-gereviewde literatuurbronnen alleen meegenomen worden, wanneer deze metingen van binnenmilieu-parameters of gezondheidsklachten bevatten. Dit heeft geen gevolgen voor het beeld van de bezorgdheid en het grote aantal klachten met betrekking tot het binnenmilieu van scholen en kindercentra.



Figuur 4.1 Literatuurbronnen voor kindercentra naar aspect van SC®EAM-P-raamwerk. De donkere delen geven het hoogste ijsbergniveau weer

5 Beschouwing van beschikbare informatie

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt globaal aangegeven over welke onderwerpen literatuur is gevonden en wat het globale beeld is dat is gevormd bij de analyse van deze literatuurbronnen. Eerst wordt het beeld beschreven dat is verkregen van de klachtenregistratie en de effecten van deze klachtenregistratie op het onderzoek naar het binnenmilieu van scholen en kindercentra. Vervolgens worden achtereenvolgens de concentraties en de gezondheidseffecten beschreven. Tenslotte zal worden ingegaan op de mogelijkheden van preventie. De gevonden literatuurbronnen zullen in meer detail worden besproken in hoofdstukken 4 en 5.

5.2 Klachtenregistraties

Veel onderzoeken worden in de praktijk uitgevoerd naar aanleiding van klachten van de gebruikers van een gebouw. Dit houdt in dat vooral gezocht wordt naar oplossingen voor problemen en minder naar het onderbouwen van de relatie tussen het binnenmilieu en de klachten. Dit type onderzoek heeft een ad hoc karakter en wordt meestal uitgevoerd door adviesbureaus en veel minder door wetenschappelijke onderzoeksinstituten. Materiaal wordt veelal gekenmerkt door slechte toegankelijkheid (vanwege de 1-op-1 relatie tussen adviseur en opdrachtgever) en door een pragmatische insteek, waardoor de gegevensverzameling meestal niet bruikbaar is voor verdere studie.

De percepties van de leerkrachten worden verzameld via interviews en enquêtes, en de percepties van leerlingen worden indirect via de leerkrachten gerapporteerd. Dit wordt meestal aangevuld met enkele metingen van het binnenmilieu en met name van de CO₂-concentratie, temperatuur en luchtvochtigheid. In de meeste gevallen worden klachten onderzocht die verdwijnen na het verlaten van de school, de omgevingsgerelateerde klachten. In kindercentra hebben (meestal) niet de kinderen klachten, maar het personeel of de ouders die kortstondig op bezoek zijn in de centra. De gevonden adviesrapporten (ongeveer vijftien) zijn gebruikt als informatiebron. Er is veel literatuur (vele honderden bronnen) die refereert aan rapporten, gesprekken of eigen ervaringen met klachten, maar zonder echt verslag van onderzoek. Van dit materiaal is alleen kennis genomen, met een globale analyse om na te gaan waarop uitspraken worden gebaseerd.

Klachten worden beschouwd als een vorm van perceptie en vallen daarom in de ijsbergtheorie in de laagste categorie 'bezorgdheid'.

5.3 Meting van concentratie en blootstelling

In Nederlandse onderzoeken naar de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen kan een onderscheid gemaakt worden tussen wetenschappelijk onderzoek naar de relatie tussen gezondheidsklachten en het binnenmilieu en onderzoeken met een meer pragmatische benadering, waarbij het accent vooral ligt op het meten van het beoordelen van een beperkt aantal parameters van de kwaliteit van het binnenmilieu. De aanleiding om onderzoek te doen, waarbij gegevens worden verzameld, is niet zozeer het ad hoc oplossen van klachten, maar het verzamelen van gegevens ten behoeve van beleid of het afleggen van verantwoording over in-

spectie of beheer. Veel onderzoeken betreffen parameters die gemakkelijk te meten zijn: CO₂-concentraties, temperatuur en relatieve vochtigheid. Er is minder materiaal beschikbaar over concentratiemetingen van allergenen, organische verbindingen, overige chemische verontreinigingen en fijn stof. Van de meetgegevens die wel verzameld zijn, kunnen niet altijd de meetprotocollen worden beoordeeld.

De kwaliteit van het binnenmilieu kan gezien worden als de resultante van een groot aantal factoren, zoals chemische en biologische verontreiniging, thermisch comfort, geluid en licht (zie ook paragraaf 2.4). In onderzoeken naar de kwaliteit van het binnenmilieu wordt in het algemeen de invloed van slechts één of enkele parameters op het binnenmilieu bekeken. De bijdragen van deze parameters aan het totale binnenklimaat zijn niet bekend. Een voorbeeld is onderzoek naar NO₂ en gezondheidsklachten, waarbij overeenkomsten in klachten en NO₂-concentraties al snel leidden tot de conclusie dat NO₂ de klachten veroorzaakt hebben. De resultaten uit deze onderzoeken geven dan ook geen totaalbeeld van de situatie in scholen. De onderzoeken volgens een wetenschappelijke aanpak blijven vaak beperkt tot een enkele of een klein aantal agentia of omstandigheden, waarbij de relatie met andere omgevingsfactoren onbekend blijft, terwijl onderzoeken met een bredere benadering eerder kwalitatief van aard zijn en vaak de vraag oproepen of de uitkomsten wetenschappelijk verantwoord zijn. In veel studies wordt weinig aandacht geschonken aan de betrouwbaarheid en de meetnauwkeurigheid waarmee gegevens zijn verzameld. Ook wordt niet aangegeven of de gebruikte meetmethode wel valide is om de concentratie en daaruit afgeleide blootstelling te meten, of de meetprotocollen zijn niet beschikbaar. De onzekerheid in meetuitkomsten vereist dat conclusies gebaseerd worden op grote aantallen metingen of vergelijkingen van grote verschillen in concentraties. Dit komt echter niet voor, waardoor de indruk ontstaat dat het onderzoek naar het binnenmilieu in scholen en met name in kindercentra beperkt in diepgang is, terwijl onderzoek naar de relatie met gezondheid en leerprestaties fragmentarisch is. Wel is gevonden dat de belangrijkste parameter voor de kwaliteit van het binnenmilieu de ventilatiehoeveelheid in relatie tot de CO₂-concentratie is. Een vergelijking met toetswaarden (soms zelf gekozen) is daarom niet zonder meer te gebruiken als 'bewijsvoering' voor een slecht binnenmilieu, met name als die toetswaarden in geringe mate worden overschreden, omdat de 'toetswaarde' binnen de onzekerheidsmarge van de meetwaarden kan liggen.

In de binnenlucht komen enkele honderden verschillende stoffen voor. Dit betreft chemische stoffen zoals vluchtige organische stoffen (VOS) en semi-vluchtige organische stoffen (SVOS), maar ook biologische agentia zoals bacteriën, virussen, schimmels en fysische agentia zoals fijn stof. De uiteindelijke concentratie van deze stoffen is het resultaat van een complexe interactie van bronnen en de specifieke omstandigheden in de ruimte. Daarnaast vinden er voortdurend reacties plaats tussen deze stoffen. De bepaling van welke stoffen in welke concentratie aanwezig zijn, is complex en voor een groot deel van de stoffen geldt dat er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de totale blootstelling te kunnen beoordelen. Daarnaast is weinig bekend over mengsels (cocktails) van verschillende stoffen¹⁴. Vervolgens is erg weinig bekend over de gezondheidseffecten van de vele honderden stoffen en cocktails. We zien in de praktijk vaak dat onderzoekers meten wat gemakkelijk te meten is en vervolgens geneigd zijn om daaraan vergaande conclusies te verbinden.

Een complicerende factor is dat de concentratie van de stoffen afhankelijk is van externe factoren. Een bepaalde emissie kan leiden tot verschillende concentraties, afhankelijk van bijvoorbeeld temperatuur, luchtvochtigheid, ventilatie, absorptie en wisselende buitencondities (weersomstandigheden en jaargetijde). Het binnenmilieu vertoont hierdoor een grote dyna-

¹⁴ Gezondheidsraad, 2003. Gezondheid en milieu: kennis voor beleid. Publicatie nr. 2003/20, Gezondheidsraad, Den Haag

miek. Deze voortdurende dynamiek leidt tot grote variatie in de kwaliteit van het binnenmilieu bij gelijke eigenschappen van bronnen en de ruimte¹⁵. Dit impliceert dat verschillen in de meetresultaten niet hoeven te duiden op verschillen in de kwaliteit van het binnenmilieu, maar dat ze zouden kunnen vallen binnen de normale variatie van de concentratie over de tijd. Naast de normale variatie in de concentratie van de verontreinigingen van de binnenlucht moet er nog rekening gehouden worden met de nauwkeurigheid van de meetmethode. Bij chemische agentia ligt de meetfout tussen 10% en 30%¹⁵; die voor biologische agentia kan 100% of meer zijn als er bronnen in de ruimte aanwezig zijn¹⁶. Daarom kan worden gesteld dat het complex is om de kwaliteit van het binnenmilieu te beoordelen aan de hand van monsternamen en metingen.

In veel adviesrapporten worden slechts metingen naar CO₂-concentraties, temperatuur en luchtvochtigheid uitgevoerd. Slechts enkele adviesrapporten omvatten het meten van biologische en chemische agentia en het beoordelen van de meetresultaten. Opvallend is dat in adviesrapporten de bronnen van deze binnenmilieuparameters zelden worden vermeld. De onderzoeken van gezondheidsadviseurs zijn vooral gericht op het gebruik van ventilatiesystemen en het ventilatiegedrag.

De effecten van slechte ventilatie op de concentratie vervuilende stoffen zijn in diverse onderzoeken voldoende aangetoond. In scholen gaat het met name om CO₂, in kindercentra ook om biologische en chemische agentia. Ook worden hoge en soms lage temperatuurpieken gerapporteerd, waarvan echter niet duidelijk is wat de effecten zijn.

Veel onderzoeken in kindercentra zijn door of in nauwe samenwerking met GGD'en uitgevoerd vanwege de inspectiefunctie van de GGD in gesubsidieerde kindercentra en vanwege de geconstateerde problemen, die aanleiding zijn geweest om het binnenmilieu van zowel scholen als kindercentra tot beleidsdoel te maken. In Groningen zijn 35 groepsruimten in 18 kindercentra onderzocht (Meijer, 1999), in Rotterdam de slaapr ruimten in 52 kinderdagverblijven (Habets & Dusseldorp 2005) met een nameting in 14 kindercentra (Haans 2002), en in de regio Arnhem 18 kinderdagverblijven (Van de Weerd & Wensveen 2001). Ook in Limburg, Zeeland en Noord-Brabant zijn veel scholen en kindercentra onderzocht. De meetresultaten die in deze onderzoeken zijn gevonden, geven een vergelijkbare tendens van hoge CO₂-concentraties, hoge concentraties allergenen en bacteriën, hoge temperaturen en lage relatieve vochtigheid weer als de binnenmilieuproblematiek zoals beschreven in het onderzoek van Meijer (1999).

Om de kwaliteit van het binnenmilieu te kunnen beoordelen zijn metingen noodzakelijk die een representatief beeld geven van de blootstelling. In de meeste studies wordt weinig of geen aandacht geschonken aan de betrouwbaarheid en de meetnauwkeurigheid van de gebruikte gegevens. Ook wordt niet aangegeven of de gebruikte meetmethode wel valide is om de concentratie en daaruit afgeleide blootstelling te meten. Ook zijn de meetprotocollen meestal niet beschikbaar. In de appendix is een discussie over de betrouwbaarheid van metingen opgenomen. Daaruit blijkt dat metingen bij herhaling vaak verschillende uitkomsten geven. De onzekerheid in meetuitkomsten leidt tot de noodzaak om vooral te kijken naar grote verschillen in uitkomsten en te letten op het aantal cases of herhalingsmetingen dat is verricht. De appendix onderstreept de kritische houding waarmee de literatuur over het binnenmilieu is geanalyseerd.

¹⁵ Volland G, Krause G, Hansen D, Zöltzer D, 2005. Organic pollutants in indoor air – basics and problems. *Otto-Graf-Journal* 16: 95-109

¹⁶ Gabrio T, 2006. Presentatie VDB Fortbildung, Gladenbach (niet gepubliceerd)

5.4 Gezondheidseffecten

Onderzoekers van het binnenmilieu op scholen stellen hun diagnose en baseren de effecten op gezondheid en leerprestaties op onderzoeken in kantoren. Er zijn onderzoeken die de grote economische betekenis aantonen van een slecht binnenmilieu in kantoren, vanwege de invloed op de productiviteit. Bij lage ventilatievolumes is de toename in productiviteit evenredig aan de toename van het ventilatievoud. Er is relatief weinig onderzoek gedaan naar de omstandigheden in scholen, maar de analogie met kantoren ligt wel voor de hand: concentratie van mensenmassa's, zwaar belastend intellectueel werk waarvoor concentratie nodig is, hoge eisen aan akoestische kwaliteit en verlichtingsniveaus en weinig gelegenheid om klimaatomstandigheden aan individuele wensen aan te passen. Klaslokalen worden door veel (10 tot 36) personen tegelijk gebruikt.

De relatie met werkstress wordt in sommige literatuurbronnen onderzocht (bijvoorbeeld Sahlberg et al. 2002), hoewel er ook literatuur beschikbaar is waarin werkstress in het onderwijs wordt onderzocht zonder dat de relatie met het binnenmilieu wordt gelegd. Hetzelfde geldt voor de relatie tussen de blootstelling op school en thuis. Van Dijken (2005) stelt vast dat leerlingen die gevoelig zijn voor omstandigheden thuis, ook op school vergelijkbare klachten hebben. Zij benadrukt daarmee het belang van de overgevoeligheid van personen en de constatering dat zowel het binnenmilieu thuis als op school dezelfde reacties geven. Ook andere onderzoeken waarin de omstandigheden thuis en op school worden meegenomen, onderstrepen het grote belang van de thuissituatie voor klachten of blootstelling aan concentraties vervuilende stoffen. In de thuissituatie zijn de vervuilende stoffen anders van samenstelling, vertonen de concentraties ervan grote verschillen en is de blootstelling eraan meestal veel langer van duur dan in de schoolsituatie.

In een observatiestudie werd gevonden dat ruimtelijke kenmerken (hoogte, indeling, kleuren) invloed hebben op het gedrag van kleine kinderen (Rindel et al. 1997). Andere onderzoeken naar de relatie tussen het gedrag van kinderen en het binnenmilieu zijn niet gevonden.

5.5 Preventie

Er is veel literatuur beschikbaar over de mogelijkheden om het binnenmilieu in scholen te verbeteren. Een voorbeeld is de Healthy School Environments Assessment Tool (HealthySEAT) van EPA in de Verenigde Staten¹⁷. Vergelijkbare pakketten worden gebruikt in België en Duitsland. In Nederland worden praktijkvoorbeelden en materiaal met tips door SenterNovem en GGD Nederland verspreid¹⁸. Door het Landelijk Centrum Medisch Milieukunde zijn advieswaarden (toetswaarden) voor het CO₂-concentratie in scholen opgesteld (LCM 2006).

Regelgeving

Het Bouwbesluit stelt minimum kwaliteitseisen aan schoolgebouwen, die bedoeld zijn om te voorkomen dat problemen ontstaan met bruikbaarheid, veiligheid en gezondheid, en bij nieuwbouw ook met energiekwaliteit. De eisen voor de ventilatievoorzieningen moeten beoordeeld worden volgens NEN 1087 (scholen gebouwd na 1992) of volgens NEN 8017

¹⁷ EPA, 2005. HealthySEAT Healthy School Environments Assessment Tool. Version 1.0 User's Manual. EPA, Cincinnati, Verenigde Staten

¹⁸ SenterNovem, 2006. De Frisse Scholen Doos: Wat zit erin? Wat kun je daarmee? SenterNovem, Utrecht; VNG, 2005. Naar een beter binnenmilieu. VNG / GGD Regio IJssel-Vecht, Zwolle

(scholen gebouwd voor 1992). De eisen uit het Bouwbesluit zijn voor nieuwbouw gerelateerd aan een bezettingsgraadklasse.

De capaciteitseis voor bestaande scholen en voor tijdelijke voorzieningen (tot 5 jaar) is volgens het Bouwbesluit 2003 $1,1 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 . Deze eis is niet afhankelijk van de bezettingsgraad. Bij de gebruikelijke bezettingsgraad in een klaslokaal van 1 kind per 2 à 2,5 m^2 vloeroppervlakte is dat minder dan 50% van de eis voor nieuwbouw ($2,8 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2). Omgerekend per kind betekent de eis uit het Bouwbesluit 2003 voor bestaande bouw dat de minimaal vereiste ventilatiecapaciteit slechts 30% à 40% bedraagt van hetgeen door GGD'en aangenomen wordt als minimaal wenselijk, namelijk $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ per persoon. Van Overveld en De Gids¹⁹ zijn van mening dat de capaciteiten volgens het Bouwbesluit voldoende zijn. Zij komen tot deze mening omdat kinderen tot en met de basisschoolleeftijd vanwege hun lagere metabolisme minder CO_2 produceren. Omdat CO_2 door hen ook voor kinderen wordt gezien als een goede indicator voor geuroverlast, zijn zij van mening dat voor jonge kinderen met minder ventilatie kan worden volstaan. Deze mening wordt echter lang niet door iedereen gedeeld.

De capaciteitseisen voor de ventilatie in het Bouwbesluit 2003 voor nieuwbouw zijn afgeleid van het advies 'Het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen' uit 1984 van de Gezondheidsraad²⁰. De Gezondheidsraad geeft in haar reactie op de eisen voor het Bouwbesluit aan dat CO_2 -concentratie lager dan 1200 ppm zou moeten zijn om geuroverlast te vermijden. Uit de uitkomsten van de verschillende projecten van de GGD'en blijkt dat een hoge CO_2 -concentratie veroorzaakt kan worden door het gebruik van de voorzieningen, door onvoldoende capaciteit van de voorzieningen of door geringe ruimtevolumes per kind.

Het Landelijke Centrum Medische Milieukunde heeft in april 2006 de Gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra gepubliceerd (LCM 2006). De gehanteerde methode voor de beoordeling van de ventilatie (CO_2 -concentratiemetingen) sluit niet aan bij de methodiek van het Bouwbesluit dat gebaseerd is op een ventilatie-eis per vierkante meter. Bij het opstellen van de nieuwe toetswaarden werd het verminderen van gezondheidsrisico's en het verbeteren van leerprestaties door voldoende ventilatie als uitgangspunt gekozen. In het Bouwbesluit wordt het voorkomen van een bedompte geur als uitgangspunt gehanteerd (LCM 2006).

Bij het ontwerp van scholen en installaties wordt veelal uitgegaan van een gemiddelde groepsgrootte. In de onderbouw van het basisonderwijs is dat 20 leerlingen per groep en in de bovenbouw 24 leerlingen. Uit de jaarlijkse rapportages van de Inspectie van het Onderwijs blijkt dat in mei 2005 bijna 35% van de groepen op de basisschool groter is dan 25 leerlingen. Hiervan is ruim 6% groter dan 30 leerlingen.

Preventie door onderhoud

Door Freeke en Rasch²¹ wordt op basis van eigen gegevens over de onderhoudskosten van 450 basisscholen gesteld dat het gebrek aan voldoende middelen en de splitsing van de onderhoudsvergoedingen tussen gemeente en schoolbestuur ertoe leiden dat het onderhoud van de basisscholen onder de maat is. Het gevolg hiervan is dat de kwaliteit van de onderwijsgebouwen in de toekomst nog verder zal verslechteren. Aanvankelijk zal dit proces langzaam

¹⁹ Van Overveld M, De Gids WF, 2002. Bouwbesluit 2003 toegespitst op kinderopvang. Van Overveld Bouwbesluit Advies B.V., Voorschoten

²⁰ Scholten NPM, Van den Bercken FH, 2003. Woningwet en Bouwbesluit. Reed Business Information bv, Doetinchem

²¹ Freeke R, Rasch M, 2002. Kind van de rekening, Onderzoek naar het onderhoud van basisscholen. Asset Facility Management, Uden

verlopen. Na verloop van tijd zal het verval steeds sneller toenemen. Welke gevolgen dit voor het binnenmilieu op de lange termijn heeft, is niet in kaart gebracht.

6 Onderzoeksvragen scholen

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen beknopt beantwoord voor scholen op basis van de resultaten uit voorgaande hoofdstukken.

1. Wat is (bekend over) de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen in Nederland?

Er is veel onderzoek gedaan naar het binnenmilieu in scholen, echter in de meeste gevallen met een beperkte insteek: de nadruk ligt op het meten van de CO₂-concentratie en het beoordelen van de ventilatie. Over de blootstelling aan niet-humane verontreinigingen is weinig bekend, en indien er gegevens beschikbaar zijn, dan kunnen daaruit geen of weinig betrouwbare gezondheidseffecten worden afgeleid. De effecten die worden aangegeven zijn ontleend aan verklaringsmodellen over de gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan agentia. Enkele epidemiologische onderzoeken geven wel sterke aanwijzingen dat vochtproblemen, hoge concentraties chemische verontreinigingen en hoge CO₂-concentraties gezondheidseffecten hebben, en met name op de perceptie ervan (klachten). Slechte ventilatie wordt in kantoren en ook in scholen in verband gebracht met meer klachten. Ventilatie wordt steeds meer beschouwd als de belangrijkste parameter van het binnenmilieu in scholen, en er zijn veel onderzoeken uitgevoerd die de kwaliteit van de ventilatie beoordelen.

Uit de onderzoeken van de GGD'en en anderen blijkt dat de CO₂-concentraties in veel scholen dagelijks (veel) hoger zijn dan de toetswaarden van 1200 ppm die door GGD'en gehanteerd worden. Dit wordt veroorzaakt door een gebrekkige ventilatie, soms met erg lage luchthoeveelheden, bijvoorbeeld minder dan 40 dm³/s in een lokaal. De overschrijding komt ook voor in lokalen met een geringe bezetting (ook bij slechts 10 personen), maar uiteraard vaker en met hogere piekwaarden in druk bezette lokalen. Door de gebrekkige ventilatie worden de emissies van zowel materialen als van mensen onvoldoende afgevoerd. Op basis van dit gegeven wordt in de literatuur geconstateerd dat de kwaliteit van het binnenmilieu (veel) slechter is dan de kwaliteit van het buitenmilieu. De Nederlandse onderzoeksresultaten liggen in lijn met uitspraken op basis van onderzoeken in het buitenland.

Tevens blijkt ook dat de binnentemperaturen op scholen vaak (veel) hoger zijn dan wenselijk geacht wordt. Oververhitting van klaslokalen komt niet alleen in de zomerperiode voor, maar ook in de winterperiode.

In beperkte mate zijn in onderzoeken chemische en biologische agentia gemeten. Deze onderzoeken tonen vaak verhoogde concentraties aan, die als argument worden gebruikt om uitspraken te doen over de kwaliteit van het binnenmilieu. De concentraties worden afgewogen tegen toetswaarden bij chronische blootstelling of tegen zelf gekozen waarden, omdat officiële toetswaarden soms ontbreken, waardoor de relatie met gezondheidsrisico's niet erg duidelijk is.

Meestal worden geen referenties of verwijzingen naar klinische effecten gegeven, zodat sommige uitspraken over een slechte kwaliteit van het binnenmilieu vragen oproepen.

2. **Wat is bekend over de invloed van kenmerken (constructie, voorzieningen), inrichting en gebruik van schoolgebouwen op de kwaliteit van het binnenmilieu?**

De ventilatievoorzieningen en het gebruik ervan spelen samen een cruciale rol bij de kwaliteit van het binnenmilieu, mits er geen sprake is van excessieve emissies in het klaslokaal. In veel gevallen blijkt dat de ventilatie onvoldoende tot slecht is. Dit geldt niet alleen voor de oude schoolgebouwen, maar ook voor een deel van de nieuwe schoolgebouwen. Sommige nieuwe schoolgebouwen voor het voortgezet onderwijs lijken hierop een uitzondering te zijn.

In de bestudeerde literatuur zijn weinig gegevens aangetroffen over de kenmerken van de onderzochte schoolgebouwen, zodat niet in algemene zin is aan te geven welke kenmerken beter scoren. Wel wordt meestal het type ventilatiesysteem en de vloerafwerking genoemd.

De gebrekkige ventilatie in klaslokalen is zowel een gevolg van ventilatievoorzieningen die bij gebruik leiden tot geluidsoverlast en comfortproblemen, als ook van een te geringe capaciteit van de voorzieningen in vergelijking met de (vaak hoge) bezettingsgraad. In veel van de onderzochte scholen in Nederland bestaat de ventilatie uit een natuurlijke luchttoevoer met een eveneens natuurlijke afvoer via dezelfde gevel.

Dwarsventilatie is effectiever in het verversen van de lucht dan ventilatie via dezelfde gevel. Vaak is dwarsventilatie echter niet mogelijk. Als dwarsventilatie het openzetten van de deur naar de gang vereist, dan zijn er gebruiksbeperkingen.

In scholen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer is de capaciteit van het ventilatiesysteem in relatie tot het aantal aanwezige leerlingen vaak gering. Opvallend is dat de mechanische afzuiging niet altijd gebruikt wordt. Ook staan de toevoervoorzieningen niet altijd open. Het gebruik wordt beperkt door geluidhinder van buiten, door inbraakrisico, slechte bedienbaarheid of tochteffecten.

Enkele Nederlandse onderzoekers hebben een relatie met het type ventilatiesysteem onderzocht, overigens zonder dat te koppelen aan het gebruik ervan. Natuurlijke ventilatiesystemen en systemen met een natuurlijke toevoer en een mechanische afzuiging blijken globaal gesproken gelijkwaardig wat betreft hun relatie met de CO₂-concentratie. Gebalanceerde ventilatie garandeert in grotere mate dat een minimale hoeveelheid wordt geventileerd, met een vlakker CO₂-niveau als resultaat, maar die concentratie kan niettemin wel langdurig boven 1200 ppm zijn. Daar het gebruik van de ventilatievoorzieningen niet of onvoldoende in de geanalyseerde onderzoeken meegenomen is, zijn er te weinig gegevens beschikbaar om aan te kunnen geven welk ventilatiesysteem beter is of beter gebruikt wordt.

Er zijn onvoldoende gegevens gevonden om een relatie aan te tonen tussen de bezettingsgraad van de klas en de kwaliteit van het binnenmilieu en de invloed van de ventilatie daarop. Er zijn in de literatuur verwijzingen gevonden naar een samenhang met het volume van een lokaal, maar uit metingen blijkt dat deze relatie niet sterk is: overschrijdingen van toetswaarden treden ook op in lokalen met grotere volumes.

Uit de onderzoeksresultaten met betrekking van type vloerafwerking, hard of zacht, komt geen duidelijk beeld naar voren, ofschoon wel een duidelijk verschil verwacht zou mogen worden. Wellicht heeft de wijze van schoonmaken hierop een grote invloed.

Er zijn weinig gegevens gevonden over de omvang van gebouwgebreken zoals de groei van biologische agentia bij lekkages of koudebruggen of excessieve emissies uit bouwmaterialen in relatie tot de kwaliteit van het binnenmilieu. Dit geldt ook voor niet kier-

dichte houten vloeren boven vochtige kruipruimten. Door deskundigen wordt gesteld dat dit wel factoren zijn die een duidelijke invloed hebben op de kwaliteit van het binnenmilieu.

Tocht beïnvloedt gedrag: de leerkracht of leerlingen willen niet dat een raam geopend wordt of ver genoeg open blijft staan, omdat het dan tocht. Vaak wordt een voorziening helemaal niet gebruikt, omdat men door koudeval en koudestraling reeds de indruk heeft dat er al veel verse lucht door kieren naar binnen komt. In werkelijkheid is dat niet het geval, zodat tocht tot een verkeerde perceptie van ventileren leidt, met als gevolg dat men klaagt over bedompte lucht, terwijl er goede mogelijkheden voorhanden zijn om (beter) te ventileren. Deze gedragscomponent is van grote invloed op de luchtkwaliteit. Een CO₂-monitor met (instelbare) waarschuwinglampjes bij overschrijding van het CO₂-niveau blijkt in pilots een positieve invloed te hebben op dat gedrag, mede aangespoord door de leerlingen. Het is natuurlijk de vraag of de stimulans blijvend kan concurreren met het tochtprobleem.

Voor een goed beeld van de problematiek is het van belang om als commentaar mee te geven dat het binnenmilieu in één lokaal niet representatief is voor de hele school. Lokalen hebben een individuele luchttoevoer, terwijl relatief weinig bestaande schoolgebouwen een collectieve afvoer hebben. Het ventilatiegedrag verschilt sterk per leraar, waardoor klachten veroorzaakt kunnen worden door een combinatie van aanwezige voorzieningen en gedrag. Ondanks dat lokalen binnen een school overeenkomsten hebben wat betreft oppervlak en indeling, kan het binnenmilieu toch grote verschillen vertonen. Dit kan worden veroorzaakt door onder meer de ligging ten opzichte van de windrichting en de inval van zonlicht, de bezettingsgraad en door verschillen in verwarming, ventilatie of lichttoetreding.

3. Wat is bekend over de relatie tussen het binnenmilieu op scholen en gezondheidseffecten en over invloedfactoren?

In een deel van de onderzoeken is op basis van gezondheidsklachten gekeken naar de algemene gezondheidstoestand van de kinderen en soms ook van het personeel. De onderzochte gezondheidsklachten zoals verkoudheid, brandende ogen, droge mond en kortademigheid zijn omgevingsgerelateerd en worden gebruikt als indicatoren voor problemen met het binnenmilieu in scholen. Een deel van de onderzoeken richt zich op kinderen met astma en luchtwegproblemen. Naast thuis hebben deze kinderen ook op school klachten. De belangrijkste oorzaken van gezondheidsklachten zijn slechte ventilatie (met als gevolg daarvan een hoge CO₂-concentratie), wat leidt tot hogere concentraties van ziektekiemen, allergenen, fijn stof, vluchtige organische verbindingen en andere chemische agentia dan bij een groter ventilatievoud. Daarnaast hebben geluid, tocht en verblinding ook invloed op de gezondheid: verstoring en stress door geluid, hinder door tocht en hinder, snelle vermoeidheid en concentratieproblemen door verblinding. We mogen dus veronderstellen dat kinderen met gezondheidsklachten belemmerd worden in het realiseren van optimale leerprestaties.

4. In hoeverre kunnen op basis van literatuur gezondheidseffecten worden toegeschreven aan het binnenmilieu op school?

De belangrijkste bevinding in de literatuur lijkt te zijn dat kinderen die thuis omgevingsgerelateerde klachten hebben, die klachten ook op school hebben (Van Dijken 2005). De vraag of er een relatie is tussen het binnenmilieu op scholen en gezondheidseffecten kan bevestigend beantwoord worden. In veel gevallen gaat het om allergische reacties, waarbij niet vastgesteld kan worden waar of waardoor de gevoeligheid is ont-

staan. Verder veroorzaakt het binnenmilieu op school enkele klachten, die met de gebouwomstandigheden en het binnenklimaat te maken hebben.

Het effect van het binnenmilieu op de leerprestaties is vooral onderzocht bij verschillende ventilatievouden. Ook temperatuur heeft invloed op de leerprestaties, maar een hoge temperatuur heeft bij bepaalde testen een positief effect en bij andere testen juist een negatief effect.

Door medische milieukundigen wordt aangenomen dat naarmate de algemene gezondheidstoestand slechter is, ook de leerprestaties slechter zullen zijn.

5. In hoeverre is er sprake van voldoende betrouwbaar onderzoeksmateriaal?

De veelvuldig voorkomende slechte ventilatie en overschrijding van CO₂-toetswaarden zijn duidelijk aangetoond. Ook is voldoende onderbouwd dat leerlingen aan relatief hoge concentraties biologische en chemische agentia zijn blootgesteld. Tevens is sprake van blootstelling aan hoge temperaturen en van problemen met thermisch comfort. De literatuur toont aan dat deze problemen vrij algemeen voorkomen. Ook is voldoende bekend dat er klachten optreden. De ernst van die klachten en de effecten op gezondheid en leerprestaties die aan dat binnenmilieu worden toegeschreven zijn echter minder overtuigend. Ten aanzien van de gezondheidseffecten is er nog onvoldoende betrouwbaar onderzoeksmateriaal, ondanks het feit dat een klein aantal onderzoeken beschikbaar is dat een uniform beeld geeft van gezondheidsklachten en leerprestaties. De reden om twijfel te uiten komt voort uit kritiek op de betrouwbaarheid van de onderzoeksmethoden. Het meten van zowel gezondheidsklachten en leerprestaties als de kwaliteit van het binnenmilieu is complex en leidt snel tot meetfouten. Een bijkomende factor is dat verschillende onderzoekers verschillende meetprotocollen gebruiken, waardoor de meetgegevens niet zonder meer te vergelijken zijn. De achtergrond hiervan is het ontbreken van gestandaardiseerde meetprotocollen. Dit geldt ook voor de gebruikte vragenlijsten om de gezondheid van de kinderen te bevragen. Het gebruik van vragenlijsten beperkt zich tot kinderen vanaf 9 à 10 jaar.

De blootstellingsduur aan het binnenmilieu in de thuissituatie, en meer in het algemeen aan de complete leefomgeving heeft naar verwachting een sterke invloed op de gezondheid van de kinderen. Deze relatie tussen thuis en gezondheidsklachten op school wordt in slechts enkele onderzoeken geëgd.

6. Welke kennistekorten worden geconstateerd op basis van het literatuuronderzoek?

Onderzoek naar de relatie tussen het binnenmilieu op scholen en gezondheid en leerprestaties is door een kleine groep onderzoekers in enkele jaren tijd stevig op de agenda gezet. De aangekaarte problemen worden door een breed publiek herkend, wat blijkt uit tal van acties van ouders en uit aandacht van de media. De opvattingen over deze problemen zijn echter in geringe mate wetenschappelijk onderbouwd, wat met name geldt voor de gezondheidseffecten en de leerprestaties. Het onderzoeksgebied van gezondheid en leerprestaties ligt dus nog open. De maatschappelijke invloed van de eerste baanbrekende studies is groot. Met name over ventilatie is voldoende bekend om niet langer te hoeven wachten voor het nemen van maatregelen. Door onderzoekers wordt echter wel aangegeven dat er nog te weinig bekend is over de kenmerken van gebouwen (behalve wat betreft de ventilatie) die het binnenmilieu beïnvloeden. Zo is bijvoorbeeld nog weinig bekend over emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen. Verder blijkt de relatie tussen het binnenmilieu en het gedrag en de leerprestaties nog veel vragen op te roepen.

Ventilatie heeft veel aandacht van onderzoekers. Naast technische veranderingen moet een deel van de verbetering gerealiseerd worden door gedragsveranderingen. Er zijn

nog onvoldoende gegevens beschikbaar hoe beter ventilatiegedrag ook op lange termijn gerealiseerd kan worden.

Overigens is het ten aanzien van de terugdringen van de overdracht van infectieziekten onduidelijk of beter ventileren voldoende effect heeft op het voorkomen van die overdracht.

De effecten van temperatuur, geluid, licht, akoestiek en spraakverstaanbaarheid zijn in beperkte mate onderzocht. Deze factoren hebben eveneens invloed op het welbevinden en leerprestaties. Temperatuur heeft zowel positieve en negatieve invloeden. Door goede isolatie van gebouwen neemt oververhitting toe. Nader onderzoek naar de effecten en de niveaus in relatie tot verschillende seizoenen kan meer inzicht verschaffen in de betekenis van oververhitting. Architecten geven aan dat zij moeite hebben om de akoestische kwaliteit van open werkruimten voldoende kwaliteit te geven, terwijl door spraak en door toename van apparatuur geluidhinder een grote rol speelt. Het snel toenemend gebruik van beeldschermen en elektronische schoolborden stelt nieuwe eisen aan verlichting vanwege potentiële verblinding, helderheidscontrasten of te weinig lichtopbrengst van projectieschermen. Onderzoek naar de effecten van de 'nieuwe' werkomgeving op gezondheid en leerprestatie is nog nauwelijks opgestart.

Bij metingen van binnenmilieu-parameters ontbreekt het aan gestandaardiseerde meetmethoden en bemonsteringstechnieken en zijn er weinig toetsingscriteria beschikbaar. Hierdoor vermindert de vergelijkbaarheid van onderzoeksresultaten van verschillende onderzoekers, terwijl dat voor een betrouwbaar beeld van de onderlinge relaties van groot belang is.

Over de effecten van reinheid is weinig bekend. De uitspraken over de invloed van schoonmaakproblemen op de gezondheid zijn daarom niet toetsbaar.

CO₂ wordt door veel onderzoekers als indicator gebruikt. De CO₂-concentratie wordt ook in moderne ventilatiesystemen als sturingsparameter gebruikt. De waarde van CO₂ als indicator voor de kwaliteit van het binnenmilieu is echter weinig onderzocht. Vanwege het praktische belang is het verder uitdiepen van de kwaliteit van deze indicator urgent. Het gedrag van allergiepatiënten op scholen verdient aandacht: zij zoeken als ze de vrijheid krijgen om de klas te verlaten plaatsen op school op die minder hinderlijk zijn. Het nader kunnen definiëren van de kenmerken van die plaatsen kan houvast bieden bij het ontwerpen van allergeenarme scholen.

De vraag is of acties of interventies effect hebben op het binnenmilieu, met uitsplitsing naar technische maatregelen en gedragsmaatregelen. De onderzoeken naar het effect van maatregelen op leerprestaties verdienen herhaling om de waarde ervan beter te onderbouwen.

7. Wat kan op basis van de literatuur geconcludeerd worden over de huidige wettelijke normen t.a.v. de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen?

Hoewel de minimumeisen voor de ventilatievoorzieningen in het Bouwbesluit geen belemmering vormen voor het realiseren van de noodzakelijke kwaliteit, fungeert de minimumeis in de praktijk als maximaal te realiseren kwaliteit. Omdat de bezettingsgraad in veel lokalen hoger is, levert het voldoen aan de eis in de praktijk een tekort in de ventilatiecapaciteit op. Deze overbezetting komt voor in meer dan eenderde van de lokalen. Het ziet er niet naar uit dat overbezetting zal worden teruggedrongen. De capaciteitsproblemen van de ventilatie worden deels veroorzaakt door de veroudering van installaties. Ook een verkeerde aanleg of inregeling van de installatie kan leiden tot een onvoldoende capaciteit in een klaslokaal. Er is geen stimulans om overbezetting te beperken,

terwijl het Bouwbesluit geen gebruiksbeperking stelt, omdat de ventilatiecapaciteit op oppervlaktematen is gebaseerd en er geen gebruiksbeperking wordt opgelegd. De geest van het Bouwbesluit maakt het volgens deskundigen voor de gemeente wel mogelijk om bij overbezetting in te grijpen.

Het Landelijke Centrum Medische Milieukunde heeft in april 2006 de Gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra gepubliceerd (LCM 2006), die twee tot 2,5 maal hoger liggen dan het Bouwbesluit voorschrijft. De voorgestelde methode van CO₂-concentratiemetingen sluit niet aan bij de methodiek van het Bouwbesluit dat gebaseerd is op een ventilatie-eis per vierkante meter. Bij het opstellen van de nieuwe toetswaarden werd het verminderen van gezondheidsrisico's en het verbeteren van leerprestaties door voldoende ventilatie als uitgangspunt gekozen.

Door Freeke en Rasch²² wordt geconstateerd dat onvoldoende middelen voor het onderhoud van basisscholen beschikbaar zijn, waardoor de kwaliteit van de onderwijsgebouwen zal verslechteren. Welke gevolgen dit voor het binnenmilieu op de lange termijn heeft, is niet in kaart gebracht.

8. Op welke informatie baseren gebouwbeheerders en GGD'en zich als zij interventies adviseren?

In bijlage A is de grootste gemene deler van referenties opgenomen die de huidige discussie over het binnenmilieu op scholen bepalen. Deze is niet via een statistische methode tot stand gekomen, maar is een verzameling van bronnen die door Nederlandse binnenmilieu-experts regelmatig wordt geciteerd.

Bij het beoordelen van de kwaliteit van het binnenmilieu op scholen baseerden de GGD'en en adviesbureaus zich vooral op de ventilatierichtlijn van GGD Nederland, NEN 1089 en NPR 1090. Het gebruik van de norm en de praktijkrichtlijn is opvallend, omdat deze sinds de invoering van het Bouwbesluit in 1992 en de intrekking van de aparte regelingen voor onderwijshuisvesting geen wettelijke basis meer hebben.

Sinds 2006 worden door de GGD'en de gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra gebruikt zoals opgesteld door het Landelijk Centrum Medische Milieukunde.

²² Freeke R, Rasch M, 2002. Kind van de rekening, Onderzoek naar het onderhoud van basisscholen. Asset Facility Management, Uden

7 Onderzoeksvragen kindercentra

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen beknopt beantwoord voor kindercentra op basis van de resultaten uit voorgaande hoofdstukken.

1. **Wat is (bekend over) de kwaliteit van het binnenmilieu op kindercentra in Nederland?**

In de literatuur zijn alleen gegevens gevonden over het binnenmilieu in kinderdagverblijven; er is niets gevonden over peuterspeelzalen of over voor-, na-, tussen- en buitenschoolse opvang.

Uit de onderzoeken van de GGD'en en anderen blijkt dat de CO₂-concentraties in een (groot) deel van de gebouwen van kindercentra en dan met name in de slaapvertrekken van de kinderen (veel) hoger zijn dan de toetswaarden van 1200 ppm die door GGD'en gehanteerd worden. Dit wordt veroorzaakt door een slecht gebruik van de ventilatievoorzieningen vanwege comfortproblemen (tocht en geluid). Door de gebrekkige ventilatie worden de emissies van zowel materialen als van kinderen onvoldoende afgevoerd. Hetgeen tot gevolg heeft dat de kwaliteit van het binnenmilieu slechter is dan van het buitenmilieu. Opgemerkt wordt dat uit een lage CO₂-concentratie niet afgeleid kan worden dat het binnenmilieu en/of de ventilatie goed zijn.

Chemische en biologische agentia zijn in beperkte mate gemeten. Het gros van deze metingen is uitgevoerd in kindercentra met een gebrekkige ventilatie. Het is te verwachten dat ook schoonmaken invloed heeft op de concentraties van de chemische en biologische agentia. In kindercentra komt meer textiel voor, dat zich ontwikkelt tot een bron van fijn stof inclusief allergenen. Deze problematiek is daarom in kindercentra duidelijk groter dan in scholen.

Uit enkele onderzoeken blijkt dat de concentratie fijn stof stijgt bij het spelen met kussens, knuffels of dekens. Dit geldt ook voor het spelen op zachte vloerbedekking. Knuffels blijken relatief veel allergenen te bevatten. Door de kleding worden huisdierallergenen meegenomen naar de kindercentra. De blootstelling aan schadelijke stoffen ontstaat via wassen, inademen van emissie in de lucht en contact met personen en materialen.

2. **Wat is bekend over de invloed van kenmerken (constructie, voorzieningen), inrichting en gebruik van gebouwen voor kindercentra op de kwaliteit van het binnenmilieu?**

De huisvesting van kindercentra vertoont een zeer grote variatie in zowel bouwtype als in indeling. Deze gaat van omgebouwde benedenverdiepingen van herenhuizen, oude kleuterscholen, leegstaande klaslokalen naar nieuwbouw. De laatste jaren realiseren veel organisaties voor kinderopvang nieuwbouw. Websites van kindercentra geven het beeld dat de functies, de aankleding en inrichting met meubilair, speelgoed, bedden en sanitaire hulpmiddelen wel veel overeenkomsten vertonen. Door de grote variatie echter hierbij is vanzelfsprekend geen algemeen beeld te geven. Wel kan gesteld worden dat bij een geheel natuurlijke ventilatie de problematiek niet anders is dan bij scholen.

Door GGD'en wordt in het standaard-inspectieprotocol voor kindercentra onderscheid gemaakt naar ruimten met of zonder mogelijkheden voor dwarsventilatie. Dwarsventilatie is natuurkundig gezien effectiever in het vervangen van lucht dan toe- en afvoer via

dezelfde gevel. Meetresultaten daarover worden in de praktijk niet gerapporteerd. Bij de inspecties door GGD'en wordt het gebruik van de ventilatievoorzieningen nagegaan door te noteren welke ramen of roosters open of gesloten zijn. In logboeken, die CO₂-metingen vergezellen, wordt aangekruist dat zodra kinderen in een kindercentrum gaan slapen, de ramen en roosters worden dichtgedaan.

Tocht is een veelgehoorde klacht in oude gebouwen met ramen als ventilatievoorziening: een raam kan niet open of niet ver genoeg open omdat het dan tocht. Vaak wordt dan een voorziening helemaal niet gebruikt, omdat men door koudeval en koudestraling reeds de indruk heeft dat er al veel verse lucht door kieren naar binnen komt. In werkelijkheid is dat niet het geval en leidt tocht tot een verkeerde perceptie van ventileren, met als gevolg dat men klaagt, terwijl er mogelijkheden voorhanden zijn om (beter) te ventileren. Een probleem bij mechanische systemen is dat er geen zichtbare of tastbare maatstaf is voor de hoeveelheid frisse lucht, zodat men deels afgaat op het geluidsniveau als graadmeter voor de capaciteit van de ventilatie. Deze graadmeter is onbetrouwbaar.

3. Wat is bekend over de relatie tussen het binnenmilieu op kindercentra en gezondheidseffecten en over invloedfactoren?

In kindercentra wordt de aanwezigheid in de lucht van ziektekiemen, allergenen, geurstoffen, fijn stof en andere verontreinigingen gezien als een gezondheidsrisico. Dit kan leiden tot o.a. infectieziekten, verergering van astma en eczeem slijmvlies- en huidklachten.

Volgens Frans Duijm van de GGD Groningen zouden naast omgevingsgerelateerde luchtweginfecties ook middenoorontstekingen (vochtigheid) en hersenvliesontstekingen omgevingsgerelateerd kunnen zijn.

Er is geen onderzoek beschikbaar over de invloed van een slecht binnenmilieu op de ontwikkeling van het kind. Op grond van gevonden effecten bij scholen t.a.v. de leerprestaties ligt het wel in de lijn der verwachtingen dat zoiets optreedt. Omdat bekend is dat de buitenlucht invloed heeft op de ontwikkeling van de longen, is het mogelijk dat dit ook geldt voor een slecht binnenmilieu.

Het beperkte onderzoeksmateriaal over het binnenmilieu en de gezondheid in kindercentra behandelt in het algemeen slechts enkele aspecten van het SC[®]EAM-P-raamwerk. Een deel van de gevonden literatuurbronnen weerstaat de wetenschappelijke toets der kritiek niet, met name op het gebied van validiteit en bruikbaarheid (hoewel dit vaak ook niet de intentie van dergelijk onderzoek is). Deze bronnen zijn echter interessant genoeg om mee te nemen, omdat ze een beeld geven van de ernst van de problemen en de mate van interesse in de problematiek.

4. In hoeverre kunnen op basis van literatuur gezondheidseffecten worden toegeschreven aan het binnenmilieu op kindercentra?

Het meten van gezondheidseffecten bij kinderen in kinderdagverblijven is niet mogelijk tenzij het gaat om de verergering van astmatische klachten en het optreden van besmettelijke infectieziekten. Indirecte metingen zoals het bevragen van ouders hebben een zeer beperkte waarde daar deze hun kinderen slechts voor en na het verblijf in het kindercentrum zien. Vanwege deze meettechnische problemen kunnen uitsluitend op grond van een analyse van de risico's zelf verbanden gevonden worden.

5. In hoeverre is er sprake van voldoende betrouwbaar onderzoeksmateriaal?

Het meten van zowel gezondheidsklachten als de kwaliteit van het binnenmilieu is complex en leidt snel tot meetfouten. Een bijkomende factor is dat onderzoekers verschillende meetprotocollen gebruiken waardoor de meetgegevens niet zonder meer te

vergelijken zijn. Verder moet er rekening mee gehouden worden dat de kwaliteit van het binnenmilieu in de thuissituatie een sterke invloed op de gezondheid van de kinderen kan hebben.

Ondanks de geschetste complexiteit en de beperkte hoeveelheid onderzoeksmateriaal komt er een duidelijk beeld uit de literatuur naar voren dat de kwaliteit van het binnenmilieu op kindercentra bij een gebrekkige ventilatie slecht is en dat dit kan leiden tot een toename van (gezondheids)klachten.

6. Welke kennistekorten worden geconstateerd op basis van het literatuuronderzoek?

Omdat in een groot deel van de kindercentra de ventilatie gebrekkig is, zijn de resultaten van onderzoeken naar andere blootstellingen zoals biologische en chemische agentia moeilijk op hun waarde te schatten. Over de emissies uit materialen bij normale ventilatievouden is weinig bekend, waardoor de vraag niet beantwoord kan worden of alleen de ventilatie, of ventilatie in combinatie met emissies potentiële gezondheidsrisico's veroorzaken. Er is weinig bekend over de effecten van interventies. Er is eveneens weinig bekend over de effecten van het binnenmilieu op de ontwikkeling van het kind. Er is behoefte bij onderzoekers en beoordelaars aan standaardisatie van meettechnieken inclusief bemonstering, en aan toetsingscriteria.

7. Wat kan op basis van de literatuur geconcludeerd worden over de huidige wettelijke normen t.a.v. de kwaliteit van het binnenmilieu van kindercentra?

De capaciteitseisen voor de ventilatie van bestaande kindercentra is volgens het Bouwbesluit 2003 $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 . Deze eis geldt ook voor kinderopvang tot en met groep 8 van de basisschool. In de Beleidsregels Kwaliteit Kinderopvang²³ is vastgelegd dat de grootte van de groepsruimte tenminste $3,5 \text{ m}^2$ per kind dient te bedragen. Dit levert een lagere ventilatiecapaciteit op dan door GGD'en aangenomen wordt als minimaal vereist. In de praktijk blijkt bovendien dat het beschikbare oppervlak per kind soms kleiner is, zonder dat hiervoor gecorrigeerd wordt met een hogere ventilatiecapaciteit of een actiever ventilatiegedrag.

8. Op welke informatie baseren gebouwbeheerders en GGD'en zich als zij interventies adviseren?

Bij het beoordelen van de kwaliteit van het binnenmilieu op kindercentra baseren de GGD'en en adviesbureaus zich vooral op de ventilatierichtlijn van GGD Nederland, NEN 1089 en NPR 1090. Sinds 2006 worden door de GGD'en de gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra gebruikt zoals opgesteld door het Landelijk Centrum Medische Milieukunde.

²³ Staatsblad 17 november 2004, nr. 222 /pag. 18

8 Conclusies

8.1 Algemene conclusies

Het binnenmilieu op scholen en kindercentra is in het centrum van de belangstelling komen te staan door toedoen van een klein aantal onderzoeken, ondersteund door herkenning van de problematiek door ouders en leerkrachten en doordat GGD'en actief beleid voeren om de problemen aan de orde te stellen. Dit literatuuronderzoek bevestigt de redenen van bezorgdheid om het binnenmilieu. Het literatuuronderzoek werd aanvankelijk breed opgezet, in de veronderstelling dat er voldoende materiaal beschikbaar zou zijn waarmee de relaties tussen gebouwkenmerken, gedrag en gezondheid en leerprestaties uitgewerkt zouden kunnen worden. Op basis van beschikbare literatuur kan gesteld worden dat er maar weinig onderzoeksmateriaal voorhanden is. Nederlandse literatuur is ronduit schaars en veel buitenlandse literatuur is niet naar Nederlandse omstandigheden te vertalen vanwege verschil in klimaat, bouwwijze van scholen en sociaal-culturele omstandigheden. In Nederlandse onderzoeken komt een eenduidig beeld naar voren dat lokalen in scholen en slaapkamers en speelkamers in kindercentra slecht geventileerd worden. Hierdoor wordt de toetswaarde voor CO₂ van 1200 ppm vaak en langdurig overschreden. Deze toetswaarde heeft een grote betekenis gekregen in de beeldvorming over de kwaliteit van het binnenmilieu, hoewel er onvoldoende literatuur is gevonden die deze waarde onderschrijft. Buitenlandse literatuur over chemische en biologische verontreiniging, die soms gerelateerd is aan hoge CO₂-concentraties of aan slechte ventilatie, is ons inziens niet altijd van toepassing voor de Nederlandse situatie. Het onderzoek naar de gevolgen van slechte ventilatie en hoge CO₂-concentraties op de gezondheid en leerprestaties staat nog in de kinderschoenen. Wel is opvallend dat de conclusies van het beperkt aantal beschikbare onderzoeken eensluidend zijn ten aanzien van optredende klachten of (perceptie van) leerprestaties. Op basis hiervan kan gesteld worden dat er voldoende gegevens zijn om ten aanzien van ventilatievoorzieningen en ventilatiegedrag actief beleid te gaan voeren. De relaties tussen ventilatie en gezondheid en leerprestaties zijn echter vaak beperkt onderbouwd, en is grote voorzichtigheid geboden bij het hanteren van deze relaties. De door adviseurs gehanteerde verklaringsmodellen, die deels van onderzoeken naar prestaties op kantoren zijn overgenomen, zijn ten aanzien van perceptie van gezondheid en van prestaties overtuigend geformuleerd. Er is geen onderzoeksmateriaal of opiniërend artikel gevonden dat deze conclusies tegenspreekt. Wel is wetenschappelijk onderzoeksmateriaal gevonden dat de relatie tussen hoge CO₂-concentraties en leerprestaties niet kan onderbouwen. Het onderzoek in scholen omvat de luchtkwaliteit, de technische kenmerken, het gedrag de gezondheidspercepties en de leerprestaties. Het onderzoek in kindercentra is gericht op enkel de luchtkwaliteit en de technische kenmerken, inclusief gebruik van de voorzieningen, en niet op gezondheidspercepties en leerprestaties.

8.2 Scholen

1. Het binnenmilieu in scholen vraagt om aandacht. Eén van de eerste onderzoeken hiernaar in Nederland stamt uit 1987 (Van de Sandt et al. 1987). In de jaren daarna is er een beperkt aantal onderzoeken uitgevoerd. Sinds 2000 staat het probleem hoger op de agenda. GGD'en hebben het als een van hun speerpunten van hun beleid gekozen. In Nederland verspreidde de Vereniging Integrale Bio-Logische Architectuur (VIBA) in 2004 het Appèl

‘Gezonde scholen: investeren in de toekomst’²⁴. In het kader van het Jaar van het Binnenmilieu in 2004 waren er enkele activiteiten rondom het binnenmilieu op scholen. In 2006 is SenterNovem gestart met het project ‘Frisse scholen’. Geconcludeerd kan worden dat de problematiek door een snel verbredend netwerk van milieudeskundigen en adviesbureaus herkend wordt. Opvallend is dat er weliswaar onderzoekers zijn die kritische kanttekeningen plaatsen bij de gebruikte onderzoeksopzetten, maar zij ontkrachten niet de noodzaak van meer aandacht voor een beter binnenmilieu op scholen.

2. Ook internationaal is de aandacht sinds 2000 toegenomen. Zo verscheen in het tijdschrift *Indoor Air* in de periode 2001 – 2005 een aantal wetenschappelijke artikelen over het binnenmilieu in scholen.
3. Kinderen zelf zijn een belangrijke bron van ziektekiemen en geurstoffen en verspreiden via hun kleding allergenen, fijn stof en andere verontreinigingen. Het grote aantal personen per kubieke meter lucht en de vaak gebrekkige ventilatie zorgt ervoor dat het binnenmilieu in klaslokalen ongunstig beïnvloed wordt. Dit kan leiden tot o.a. infectieziekten, verergering van astma en eczeem, geurhinder, slijmvlies- en huidklachten met hoofdpijn en vermoeidheid (LCM 2006). Daarbij hoort de kanttekening dat door Van Dijken is geconstateerd dat kinderen die thuis luchtwegproblemen hebben, deze klachten ook op school hebben. Hierdoor kan niet zonder meer gesteld worden dat de gezondheidsklachten altijd een rechtstreeks veroorzaakt worden door het binnenmilieu op scholen (Van Dijken 2005).
4. Het verbeteren van het binnenmilieu door het verminderen van het aantal kinderen per lokaal, het dragen van kleding die alleen op school wordt gedragen en intensieve schoonmaak zijn effectief gebleken. Persoonlijke nabijheid is een belangrijke factor voor de overdracht van infectieziekten. Weinig ventilatie kan in verband worden gebracht met luchtwegirritatie, sufheid, benauwdheid, jeuk, slechte concentratie en chronische vermoeidheid, die gepaard gaan met slechtere leerprestaties. De meest essentiële factor voor een goed binnenmilieu is adequate ventilatie. De meeste vervuilingconcentraties zijn afhankelijk van ventilatie, behalve bij kattenallergieën en tot op zekere hoogte bij stoffen waarvan de concentratie toeneemt als de ventilatie toeneemt. De ventilatie dient overigens niet alleen tijdens gebruik van de gebouwen voldoende te zijn, maar ook wanneer de gebouwen niet gebruikt worden, om emissies van niet-humane bronnen af te (blijven) voeren.
5. De relatie tussen CO₂-concentraties en gezondheidseffecten toont aan dat CO₂-concentraties als indicator voor de kwaliteit van het binnenmilieu in scholen bruikbaar zijn. Nadere onderbouwing van CO₂ als indicator van gezondheidsprestatie en leerprestaties is vanwege de grote betekenis van de CO₂-toetswaarden wenselijk. Bovendien is de CO₂-concentraties een indicator van het ventilatievolume en daarmee ook van de afname van de kwaliteit van de binnenlucht, in geval de betreffende ruimte intensief door personen gebruikt wordt. In veel andere gevallen of voor niet humane vervuiling is de CO₂-concentratie geen goede indicator van het binnenmilieu, zoals bijvoorbeeld het geval is voor de concentratie fijn stof in vloerbedekking.
6. Er zijn veel metingen naar de CO₂-concentraties in scholen uitgevoerd. Er is echter relatief weinig onderzoek gedaan naar de andere parameters van het binnenmilieu, zoals VOS, schimmels, bacteriën, licht en geluid. Het materiaal dat wel beschikbaar is, blijkt bij nadere

²⁴ VIBA, 2004. Gezonde scholen: investeren in de toekomst. Een appèl aan ouders, leerkrachten, schoolbesturen en overheden. VIBA, ‘s-Hertogenbosch

analyse slechts een deel van de parameters te betreffen. Ook de gevolgde onderzoeksmethoden en de gegevens waarop conclusies zijn gebaseerd, zijn soms niet voldoende onderbouwd. Ondanks deze kanttekeningen is ook bij deze onderzoeken de trend zichtbaar dat het binnenmilieu in veel scholen verbeterd moet worden. Op grond van de onderzochte literatuur hebben wij geen aanleiding gevonden om de huidige bezorgdheid over het binnenmilieu in scholen en kindercentra te ontkennen.

7. Er zijn slechts enkele onderzoeken uitgevoerd naar het effect van het binnenmilieu op de leerprestaties. Vanwege de beperkte schaal van het onderzoeksmateriaal is nog niet aan te geven in welke mate de conclusies valide zijn. Ventilatie heeft een aantoonbare relatie met productiviteit (Mendell & Heath 2005). We mogen veronderstellen dat dit ook geldt voor leerprestaties, omdat productiviteit ook het begrip leerprestatie omvat. De resultaten van recent Nederlands onderzoek naar de relatie tussen het binnenmilieu op scholen en leerprestaties (De Gids et al. 2006) zijn in overeenstemming met de verwachtingen die op literatuur over productiviteit in kantoren gebaseerd zijn. De resultaten van dit onderzoek sluiten aan bij die van recent Scandinavisch onderzoek (Wargocki et al. 2005).

8.3 Kindercentra

1. Er is een beperkt aantal studies uitgevoerd naar de kwaliteit van het binnenmilieu in kindercentra. Buitenlandse studies zijn hierbij niet zonder meer te vertalen naar de Nederlandse situatie vanwege de grote verschillen in de wijze van kinderopvang en tussen de gebouwen. Dit geldt niet voor de overdracht van besmettelijke ziekten, een belangrijk fenomeen in kindercentra. Er is een beperkt aantal epidemiologische studies beschikbaar over infecties die waarschijnlijk thuis en in kindercentra zijn opgelopen. Er kan een relatie gelegd worden tussen enerzijds de groeps grootte en -indeling en bezettingsgraad en anderzijds de overdracht van besmettelijke kinderziekten en infectieziekten. Dit fenomeen leidt tot een versnelde immuniteit tegen besmettelijke ziekte bij kinderen die in kindercentra verblijven. Deze relatie wordt ook gebruikt om een bepaalde ruimtelijke scheiding en indeling in kleine groepen te motiveren, maar er wordt geen relatie gelegd met het binnenmilieu.
2. Bij onderzoeken naar het binnenmilieu in kindercentra in Nederland ligt het accent op het functioneren en het gebruik van de ventilatievoorzieningen. De CO₂-concentratie wordt hierbij als indicator gebruikt. Het gebruik van de ventilatievoorzieningen is gerelateerd aan geluidshinder en aan thermisch comfort. Het gebruik van de CO₂-concentratie als indicator voor het beoordelen van het binnenmilieu in kindercentra is riskant, omdat andere vervuilingbronnen, met name bronnen van geuren en fijn stof, dominant (kunnen) zijn.
3. In enkele onderzoeken zijn concentraties van vluchtige organische verbindingen, fijn stof en biologische agentia gemeten. In sommige gevallen zijn hoge meetwaarden in de rapportages aangetroffen, maar de relatie tussen concentratie of conditie en gezondheidseffecten is niet onderzocht, omdat het onderzoek zich beperkt tot concentratiemetingen. De aanwezigheid van textiel vormt een extra bron van fijn stof inclusief allergenen.

Referenties

Scholen

Bartlett KH, Kennedy SM, Brauer M, Van Netten C, Dill B, 2004. Evaluation and determinants of airborne bacterial concentrations in school classrooms. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 1 (10): 639-647

Bergs J, 2004. Gezonde scholen, kwaliteit van het binnenmilieu in scholen; state of the art. VOS/ABB, Woerden

Berry MA, 2002. The contribution of restoration and effective operation and maintenance programs on indoor environmental quality and educational performance in schools. *Proceedings Indoor Air 2002 I*: 840-845

Birkhoff R, Meijer W, 2005. Rapportage betreffende binnenluchtonderzoek Lea Dasbergschool te Zutphen. Promonitoring B.V., Barneveld

Boerstra AC, Haans L, Van Dijken F, 2006. Literatuuronderzoek binnenmilieu en energiegebruik in Nederlandse scholen. SenterNovem, Utrecht/Sittard

Braniš M, Řezáčová P, Domasová M, 2005. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. *Environmental Research* 99 (2): 143-149

Brunekreef B, Janssen NAH, De Hartog J, Harssema H, Knape M, Van Vliet P, 1997. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology* 8 (3): 298-303

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

Daisey JM, Angell WJ, Apte MG, 2003. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air* 13 (1): 53-64

Daneault S, Beausoleil M, Messing K, 1992. Air-quality during the winter in Quebec day-care-centers. *American Journal of Public Health* 82 (3): 432-434

De Gids WF, Van Oel CJ, Phaff JC, Kalkman A, 2006. Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een basisschool. Rapport nr. 2006-D-1078/B, TNO, Delft

De Groot EH, Zonneveldt L, 2000. Verlichting in scholen. TNO Centrum Bouwonderzoek TNO-TUE, Eindhoven

De Kok ME, Mertens PLJM, Cuijpers CEJ, Swaen GMH, Wesseling GJ, Broer J, Sturmans F, Wouters EFM, 1996. The rate of respiratory symptoms among primary school children in two Dutch regions. *European Journal of Pediatrics* 155 (6): 506-511

- De Wolf J, 2006. Project CO₂-gestuurde ventilatie, eindrapportage. GGD Regio IJssel-Vecht
- Deplancke D, Reekmans S, Vanhoutte S, Benoy S, 2005. Binnenmilieu & gezondheid op school, literatuurstudie, ervaringsbevraging. Ondersteuningscel Logo's vzw, Vlaamse Overheid - Vlaamse Gezondheidsinspectie
- Dolman STA, Peters VB, 1995. Een frisse wind door basisscholen, Onderzoek naar het binnenklimaat en ventilatiemogelijkheden op basisscholen. Dienst Welzijn en Volksgezondheid GGD regio Arnhem, Arnhem
- Duijm F, 2006a. Ontwerp en inrichting van gezonde schoolgebouwen. Jeugdgezondheidszorg Actueel, najaar 2006: 20-23
- Duijm F, 2006b. Bedompte schoollokalen; kort overzicht van onderzoek. Jeugdgezondheidszorg Actueel, najaar 2006: 23-24
- Foarde K, Berry M, 2004. Comparison of biocontaminant levels associated with hard vs. carpet floors in nonproblem schools: Results of a year long study. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 14 (suppl. 1): S41-S48
- Fox A, Harley W, Feigley C, Salzberg D, Sebastian A, Larsson L, 2003. Increased levels of bacterial markers and CO₂ in occupied school rooms. Journal of Environmental Monitoring 5 (2): 246-252
- Geelen LMJ, Van der Zijden A, 2006. Healthy Learning at school! Proceedings Healthy Buildings 2006: A-318
- Grimrud D, Bridges B, Schulte R, 2006. Continuous measurements of air quality parameters in schools. Building Research and Information 34 (5): 447-458
- Handal G, Leiner MA, Cabrera M, Straus DC, 2004. Children symptoms before and after knowing about an indoor fungal contamination. Indoor Air 14 (2): 87-91
- Hansen HL, Hanssen SO, 2000. School environment and its contribution to children's life quality and learning ability. Proceedings of Healthy Buildings 2000 4: 297-300
- Hasselaar E, 2006. Ventilatie Casimirschool Gouda. Persoonlijke mededeling
- Havenith G, 1988. Energieverbruik en kledingisolatie van scholieren. TPD-TNO werkgroep FAGO, Soesterberg
- Haverinen-Shaughnessy U, Pekkanen J, Nevalainen A, Moschandreas D, Husman T, 2004. Estimating effects of moisture damage repairs on students' health – a long-term intervention study. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 14 (suppl. 1): S58-S64
- Heschong L, 2002. Daylighting and human performance. ASHRAE Journal 44 (6): 65-67
- Heschong Mahone Group, 1999. Daylighting in schools: an investigation into the relationship between daylighting and human performance. Condensed report. Heschong Mahone Group, Verenigde Staten

- Hygge S, Knez I, 2001. Effects of noise, heat and indoor lighting on cognitive performance and self-reported affect. *Journal of Environmental Psychology* 21 (3): 291-299
- Janssen NAH, Hoek G, Harssema H, Brunekreef B, 1997. Childhood exposure to PM₁₀: relation between personal, classroom, and outdoor concentrations. *Occupational and Environmental Medicine* 54 (12): 888-894
- Janssen NAH, Hoek G, Brunekreef B, Harssema H, 1999. Mass concentration and elemental composition of PM₁₀ in classrooms. *Occupational and Environmental Medicine* 56 (7): 482-487
- Janssen NAH, Van Vliet PHN, Aarts F, Harssema H, Brunekreef B, 2001. Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways. *Atmospheric Environment* 35 (22): 3875-3884
- Karlsson AS, Andersson B, Renström A, Svedmyr J, Larsson K, Borres MP, 2004. Airborne cat allergen reduction in classrooms that use special school clothing or ban pet ownership. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 113 (6): 1172-1177
- Karlsson AS, Renström A, Hedrén M, Larsson K, 2004. Allergen avoidance does not alter airborne cat allergen levels in classrooms. *Allergy* 59 (6): 661-667
- Kinshella MR, Van Dyke MV, Douglas KE, Martyny JW, 2001. Perceptions of Indoor Air Quality Associated with Ventilation System Types in Elementary Schools. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 16 (10): 952-960
- Klimaatbouw, 2004. Onderzoek binnenmilieu Goejanverwelleschool en 't Carillon, Chopinstraat 10 te Gouda. Klimaatbouw
- Klimaatbouw, 2006. Ventilatie advies ds. N.H. Beversluisschool. Klimaatbouw
- LCM, 2005. Verslag expertmeeting t.b.v. richtlijn Ventilatie van scholen en de kwaliteit van het binnenmilieu. Landelijk Centrum Medische Milieukunde, Rotterdam
- LCM, 2006. Gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra. Landelijk Centrum Medische Milieukunde, Rotterdam
- Liu LJS, Krahmer M, Fox A, Feigley CE, Featherstone A, Saraf A, Larsson L, 2000. Investigation of the concentration of bacteria and their cell envelope components in indoor air in two elementary schools. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50 (11): 1957-1967
- Mandin C, Kirchner S, 2005. Qualité de l'air dans les écoles, ventilation et santé. *Pollution Atmosphérique* 185 (1): 59-68
- Meijer G, Duijm F, 2006. Lekker fris in school. Onderzoek naar mechanische ventilatie en binnenmilieu, beoordeling van 2 systemen. GGD Groningen
- Meijer G, Duijm F, Hendriks U, 2006. Binnenmilieu: Ongezonde lucht in Groninger Schoollokalen, feitenblad. GGD Groningen

Meklin T, Husman T, Vepsäläinen A, Vahteristo M, Koivisto J, Halla-Aho J, Hyvärinen A, Moschandreas D, Nevalainen A, 2002. Indoor air microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and reference schools. *Indoor Air* 12 (3): 175-183

Mendell MJ, Heath GA, 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air* 15 (1): 27-52

Meyer HW, Würtz H, Suadicani P, Valbjørn O, Sigsgaard T, Gyntelberg F, Members of a Working Group under the Danish Mould in Buildings program (DAMIB), 2004. Molds in floor dust and building-related symptoms in adolescent school children. *Indoor Air* 14 (1): 65-72

Myhrvold AN, Olsen E, Lauridsen Ø, 1996. Indoor environments in schools - pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations. *Proceedings Indoor Air 1996*: 369-374

Norback D, 1995. Subjective indoor air quality in schools – the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wall materials and volatile organic compounds (VOC). *Indoor Air* 5 (4): 237-246

Norback D, Torgen M, Edling C, 1990. Volatile organic-compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary-schools. *British Journal of Industrial Medicine* 47 (11): 733-741

Peper M, Klett M, Morgenstern R, 2005. Neuropsychological effects of chronic low-dose exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs): A cross-sectional study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*: 4 (22)

Pilotto LS, Douglas RM, Attewell RG, Wilson SR, 1997. Respiratory effects associated with indoor nitrogen dioxide exposure in children. *International Journal of Epidemiology* 26 (4): 788-796

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

Roorda-Knape MC, Janssen NAH, De Hartog JJ, Van Vliet PHN, Harssema H, Brunekreef B, 1998. Air pollution from traffic in city districts near major motorways. *Atmospheric Environment* 32 (11): 1921-1930

Rudnick SN, Milton DK, 2003. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air* 13 (3): 237-245

Sahlberg B, Smedje G, Norback D, 2002. Sick building syndrome (SBS) among school employees in the county of Uppsala, Sweden. *Proceedings Indoor Air 2002 III*: 494-499

Scheff PA, Paulius VK, Curtis L, Conroy LM, 2000. Indoor Air Quality in a Middle School, Part II: Development of Emission Factors for Particulate Matter and Bioaerosols. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 15 (11): 835-842

Shaughnessy RJ, Haverinen-Shaughnessy U, Nevalainen A, Moschandreas D, 2006. A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. *Indoor Air* 16 (6): 465-468

- Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, Apte MG, Blake D, Faulkner D, 2004. Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air* 14 (5): 333-341
- Shendell DG, Winer AM, Weker R, Colome SD, 2004. Evidence of inadequate ventilation in portable classrooms: results of a pilot study in Los Angeles County. *Indoor Air* 14 (3): 154-158
- Smedje G, Norback D, 2000. New ventilation systems at select schools in Sweden - Effects on asthma and exposure. *Archives of Environmental Health* 55 (1): 18-25
- Smedje G, Norback D, 2001. Irritants and allergens at school in relation to furnishings and cleaning. *Indoor Air* 11 (2): 127-133
- Smedje G, Norback D, Edling C, 1996. Mental performance by secondary school pupils in relation to the quality of indoor air. *Proceedings Indoor Air 1996*: 413-418
- Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Ohrstrom E, Haines MM, Head J, Hygge S, van Kamp I, Berry BF, 2005. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet* 365 (9475): 1942-1949
- Ten Boske JA, 1997. Luchtkwaliteit in scholen en aandacht van leerlingen. *Afstudeeronderzoek*, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven
- Tenhaeff AG, Hady M, De Vos N, 1999. Verslag van onderzoek naar gezondheids- en binnenmilieuklachten van onderwijsgroepen in het Multifunctioneel Centrum 'de Ontdekking' te Amersfoort. GGD Eemland, Amersfoort
- Tortolero SR, Bartholomew LK, Tyrrell S, Abramson SL, Sockrider MM, Markham CM, Whitehead LW, Parcel GS, 2002. Environmental allergens and irritants in schools: A focus on asthma. *Journal of School Health* 72 (1): 33-38
- Van Bruggen M & Van Putten E, 2005. Onderzoek luchtkwaliteit in 'De Mene' door het RIVM. RIVM, Bilthoven
- Van Buggenum S, 2003. Het binnenmilieu van basisscholen en de leerprestaties van leerlingen. *Milieugezondheidskunde*, Universiteit Maastricht
- Van de Sandt P, Potting J, Hoegen Dijkhof E, 1987. Zieke scholen? Een onderzoek naar het vóórkomen van specifieke gezondheidsklachten bij schoolkinderen in samenhang met het kooldioxide-gehalte en het binnenklimaat. *Afstudeerverslag*, Landbouwwuniversiteit Wageningen, Wageningen
- Van de Ven K, 2002. Het binnenmilieu van basisscholen; Onderzoek naar mogelijke verbeteringen van het ventilatiesysteem. *Afstudeerscriptie*, Technische Universiteit Delft, Delft
- Van de Weerd DHJ, Wensveen P, Koster AM, 1995. De kwaliteit van het binnenmilieu in een aantal basisscholen in de regio IJssel-Vecht. *GGD Regio IJssel-Vecht*, Zwolle
- Van den Berg H & Van Berkel A, 2003. Veiligheid en hygiëne op Rotterdamse scholen. *GGD Rotterdam sector Jeugd*, Rotterdam

- Van der Wal JF, 1982. Formaldehyde measurements in Dutch houses, schools and offices in the years 1977-1980. *Atmospheric Environment* 16 (10): 2471-2478
- Van der Zijden A, Geelen L, Synesael P, Nijdam R, Evertz S, Ruhaak L, Van Doorn W, Wouters S, 2006. Gezond (venti-)leren op school!. Bureau Medische Milieukunde GGD'en Brabant/Zeeland, Breda
- Van Dijken F, 2005. Indoor environment in Dutch primary schools and health of the pupils. Masters' thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven
- Van Dijken F, van Bronswijk JEMH, Sundell, J, 2006. Indoor environment and pupils' health in primary schools. *Building Research and Information* 34 (5): 437-446
- Van Doorn WJ, Wouters-Van Buggenum S, 2004. Verbetering binnenmilieu op basisscholen en het effect van een CO₂-signaalmetr, pilot 2003-2004. GGD Zuidoost-Brabant, Helmond
- Van Kempen EEMM, Van Kamp I, Stellato RK, Houthuijs DJM, Fischer PH, 2005. Het effect van geluid van vlieg- en wegverkeer op cognitie, hinderbeleving en de bloeddruk van basisschoolkinderen. Rapport nr. 441520 021, RIVM, Bilthoven
- Van Lohuizen M, 1997. Concept Ontwerprichtlijn voor een verbeterd binnenmilieu in niet-permanente onderwijsgebouwen. Intergemeentelijke werkgroep Bouwfysica, Rotterdam
- Van Overveld AJP, Houweling DA, 2005. Kind en milieu; inventarisatie van beleid in Nederland. Voldoet Nederland aan de Boedapest-afspraken? Rapport nr. 50012002, RIVM, Bilthoven
- Voûte PD, Zock JP, Brunekreef B, De Jongste JC, 1994. Peak-flow variability in asthmatic children is not related to wall-to-wall carpeting on classroom floors. *Allergy* 49: 724-729
- Wålinder R, Norback D, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P, 1998. Nasal patency and biomarkers in nasal lavage - the significance of air exchange rate and type of ventilation in schools. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 71 (7): 479-486
- Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppanen O, Wouters P, 2002. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air* 12 (2): 113-128
- Wargocki P, Wyon DP, Matysiak B, Irgens S, 2005. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. *Proceedings of Indoor Air 2005* 1: 368-372
- Wargocki P, Wyon DP, 2006. The performance of schoolwork by children is affected by classroom air quality and temperature. *Proceedings of Healthy Buildings 2006*, Vol. 1: 397
- Wijnja T, 2002. Onderzoek schoonmaakkwaliteit primair onderwijs in Nederland. Masterkey-Plus B.V., Apeldoorn
- Wijnja T, 2006. Onderzoek schoonmaakkwaliteit primair onderwijs in Nederland. Masterkey-Plus B.V., Apeldoorn

Willemsen P, 2003. Arborisico's in de branche Onderwijs. TNO Arbeid

Wyon DP, 1970. Studies of children under imposed noise and heat stress. *Ergonomics* 13 (5): 598-612

Zandstra B, 2002. Lawaaibelasting funest. Gehoorverlies door slechte akoestiek. *Lichamelijke Opvoeding* 12

Zhang G, Spickett J, Rumchev K, Lee AH, Stick S, 2006. Indoor environmental quality in a 'low allergen' school and three standard primary schools in Western Australia. *Indoor Air* 16 (1): 74-80

Zhao ZH, Elfman L, Wang ZH, Zhang Z, Norback D, 2006. A comparative study of asthma, pollen, cat and dog allergy among pupils and allergen levels in schools in Taiyuan city, China, and Uppsala, Sweden. *Indoor Air* 16 (6): 404-413

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

Zock JP, Brunekreef B, Voûte PD, Hazebroek-Kampschreur AAJM, Roosjen CW, De Jongste JC, 1993. Het verband tussen vloerbedekking op basisscholen en acute luchtwegklachten, medicijngebruik en piekstreamvariatie van kinderen met astma. *Tijdschrift Sociale Gezondheidszorg* 71 (5): 243-250

Kindercentra

Beamer P, Castaño A, Leckie JO, 2002. Vertical profile particulate matter measurements in a California daycare. *Proceedings Indoor Air 2002 II*: 103-108

Bröms K, Svärdsudd K, Sundelin C, Norbäck D, 2006. A nationwide study of indoor and outdoor environments in allergen avoidance and conventional daycare centers in Sweden. *Indoor Air* 16 (3): 227-235

Cobben-Schoonenberg GC, 1996. Het kinderdagverblijf als risicofactor voor infectieziekten. *Infectieziekten Bulletin* 7 (6): 116-119

Ferng SF, Lee LW, 2002. Indoor air quality assessment of daycare facilities with carbon dioxide, temperature, and humidity as indicators. *Journal of Environmental Health* 65 (4): 14-18

Fromme H, Lahrz T, Piloty M, Gebhart H, Oddoy A, Rüden H, 2004. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). *Indoor Air* 14 (3): 188-195

Haans L, 2002. De kwaliteit van het binnenmilieu in kinderdagverblijven. *Afstudeerscriptie, Universiteit Maastricht, Maastricht*

Habets T & Dusseldorp A, 2005. Onderzoek naar het klimaat in slaapruidten van kinderdagverblijven. *Cluster Milieu en Hygiëne, GGD Rotterdam en omstreken, Rotterdam*

Jonkers R, De Weerd J, Jonkers M, 2005. Onderzoek UV beleid kinderdagverblijven. *Rescon research & consultancy, Haarlem*

- Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid, 2007. Risico-inventarisatie gezondheid Peuterspeelzalen. Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid
- Laquatra J, Maxwell LE, Pierce M, 2002. Indoor air pollutants, limited resource households and childcare facilities. *Proceedings Indoor Air 2002 II* 86-91
- LCM, 2006. Gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra. Landelijk Centrum Medische Milieukunde, Rotterdam
- Leggiadro RJ, Baddour LM, Frasch CE, LaFrain JF, Gaia SM, Thomas JA, 1989. Invasive meningococcal disease: secondary spread in a day-care center. *Southern Medical Journal* 82 (4): 511-513
- Li CS, Hsu CW, Tai ML, 1997. Indoor pollution and sick building syndrome symptoms among workers in day-care centers. *Archives of Environmental Health* 52 (3): 200-207
- Matson U, Kvernes M, Ekberg LE, 2002. Pollen allergen concentrations in a pre-school building and a day-care centre. *Proceedings Indoor Air 2002 II* 467-472
- Meijer G, 1999. Binnenmilieu van kinderdagverblijven. *Afstudeerscriptie*, GGD Groningen, Groningen
- Nafstad P, Hagen JA, Øie L, Magnus P, Jaakkola JJK, 1999. Day care centers and respiratory health. *Pediatrics* 103 (4): 753-758
- Nafstad P, Jaakkola JJK, Skrondal A, Magnus P, 2005. Day care center characteristics and children's respiratory health. *Indoor Air* 15 (2): 69-75
- Odink J, 2004. Kinderen, kanker en beleid. De gevoeligheid van kinderen voor omgevingscarcinogenen. *Afstudeerscriptie*, Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen
- Read M, Sugawara AI, Brandt J, 1999. Impact of space and color in the physical environment on preschool children's cooperative behaviour. *Environment and Behaviour* 31 (3): 413-428
- Rindel AK, Christensen M, Kronborg D, Jensen ST, 1997. Pladsforholdenes betydning for sygeligheden I Kobenhavnske vuggestuer. *Ugeskr Laeger* 159 (42): 6205-6210
- RIVM & Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid, 2005. Gezondheidsrisico's in een kindercentrum (0-4-jarigen). RIVM & Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid, Bilthoven / Amsterdam
- Rosen KG, Richardson G, 1999. Would removing indoor air particulates in children's environments reduce rate of absenteeism - A hypothesis. *The Science of the Total Environment* 234 (1-3): 87-93
- Uldall P, 1990. Forms of care and children's infections. 1. Occurrence and casual factors. *Ugeskr Laeger* 152 (33): 2345-2348
- Van de Weerd DHJ, Wensveen P, 2001. Onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van kinderdagverblijven. *GGD Regio IJssel-Vecht*, Zwolle

Von Manikowsky S, Sagunski H, Pöpke O, Fabig K-R, Neus H, Schümann M, Spannhake K, Karmaus W, Osius N, Zier B, 1998. PCDD/PCDF indoor exposure in day-care centers and PCDD/PCDF blood concentrations of female employees. *Environmental Health Perspectives* 106 (Suppl. 2): 707-714

Bijlage A Grootste gemene deler van referenties in de discussie over het binnenmilieu op scholen en kindercentra

In deze bijlage is de grootste gemene deler van referenties opgenomen die de huidige discussie over het binnenmilieu op scholen bepalen. Deze is niet via een statistische methode tot stand gekomen, maar is een verzameling van bronnen die door Nederlandse binnenmilieu-experts regelmatig wordt geciteerd.

Bartlett KH, Kennedy SM, Brauer M, Van Netten C, Dill B, 2004. Evaluation and determinants of airborne bacterial concentrations in school classrooms. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 1 (10): 639-647

Duijm F, 2006. Toetswaarden voor ventilatie van scholen en kindercentra. GGD Nederland Werkgroep Binnenmilieu, Utrecht

Fox A, Harley W, Feigley C, Salzberg D, Sebastian A, Larsson L, 2003. Increased levels of bacterial markers and CO₂ in occupied school rooms. *Journal of Environmental Monitoring* 5 (2): 246-252

Geelen LMJ, 2006 Gezond (venti-)leren op school! Verbetering van het binnenmilieu op basisscholen door het ventilatiegedrag van leerkrachten te verbeteren met behulp van het ventilatieadvies-op-maat, de CO₂-signaalmetre en het lespakket 'buitenlucht, kom je binnen spelen?'. Bureau Medische Milieukunde van de GGD'en van Brabant/Zeeland, Breda

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

Liu LJS, Krahmer M, Fox A, Feigley CE, Featherstone A, Saraf A, Larsson L, 2000. Investigation of the concentration of bacteria and their cell envelope components in indoor air in two elementary schools. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50 (11): 1957-1967

Meijer G, 1993. Binnenklimaat in enkele scholen te Groningen. GGD Stad en Ommelanden, Groningen

Mendell MJ, Heath GA, 2005. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air* 15 (1): 27-52

Myhrvold AN, Olsen E, Lauridsen Ø, 1996. Indoor environments in schools - pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations. *Proceedings Indoor Air 1996*: 369-374

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

- Rudnick SN, Milton DK, 2003. Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. *Indoor Air* 13 (3): 237-245
- Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, Apte MG, Blake D, Faulkner D, 2004. Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air* 14 (5): 333-341
- Smedje G, Norback D, 2000. New ventilation systems at select schools in Sweden - Effects on asthma and exposure. *Archives of Environmental Health* 55 (1): 18-25
- Smedje G, Norback D, Edling C, 1996. Mental performance by secondary school pupils in relation to the quality of indoor air. *Proceedings Indoor Air 1996*: 413-418
- Ten Boske JA, 1997. Luchtkwaliteit in scholen en aandacht van leerlingen. *Afstudeeronderzoek*, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven
- Van Buggenum S, 2003. Het binnenmilieu van basisscholen en de leerprestaties van leerlingen. *Milieugezondheidskunde*, Universiteit Maastricht
- Van de Sandt P, Potting J, Hoegen Dijkhof E, 1987. Zieke scholen? Een onderzoek naar het vóórkomen van specifieke gezondheidsklachten bij schoolkinderen in samenhang met het kooldioxide-gehalte en het binnenklimaat. *Afstudeerverslag*, Landbouwwuniversiteit Wageningen, Wageningen
- Van Dijken F, 2005. Indoor environment in Dutch primary schools and health of the pupils. *Masters' thesis*, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven
- Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppanen O, Wouters P, 2002. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air* 12 (2): 113-128
- Wargocki P, Wyon DP, Matysiak B, Irgens S, 2005. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. *Proceedings of Indoor Air 2005* 1: 368-372
- Wassing M, 2003. Met de GGD-richtlijn voor ventilatie op pad. *GGD Groningen*, Groningen

Appendix A Betrouwbaarheid van metingen

Metten binnenluchtkwaliteit

In de binnenlucht komen enkele honderden verschillende componenten voor.

Een belangrijke factor voor het beoordelen van onderzoek naar het binnenmilieu is het meten van de concentraties en de blootstelling. De wijze waarop de metingen van de relevante parameters zijn uitgevoerd is hierbij van groot belang.

Mensen worden in het dagelijkse leven nooit uitsluitend blootgesteld aan één enkele milieu-factor, zoals een bepaald bestrijdingsmiddel of een vorm van straling. Er is altijd sprake van een samenloop: blootstelling aan diverse vormen van luchtverontreiniging, aan luchtverontreiniging en geluid, aan benzeen op het werk en benzeen in de hobbykamer thuis, et cetera. Desondanks is er over de effecten van die samenloop van blootstelling, vergeleken met de gevolgen van de afzonderlijke componenten, maar weinig bekend. Gezondheidsraad, Gezondheid en milieu: kennis voor beleid, Den Haag 2003

Geur ('stank') is veelal een *trigger* voor bezorgdheid over gezondheidsdreigingen door milieu-factoren. Gezien de omvang van geurhinder in Nederland is er daarom sprake van een relevant probleem. De relatie met andere gezondheidsklachten is onduidelijk. Gezondheidsraad, Gezondheid en milieu: kennis voor beleid, Den Haag 2003

Korte termijn

Bij het onderzoeken van de korte termijn effecten is vooral van belang of de goede parameter is gemeten, de nauwkeurigheid van de meting en de wijze waarop deze omgezet kan worden naar een blootstelling. De keuze van de goede parameter wordt steeds belangrijker naarmate de parameter specifieker wordt.

Of de keuze van een parameter de goede is, kan uitsluitend bepaald worden door alle parameters die de kwaliteit van het binnenmilieu bepalen te meten: fysische, biologische en chemische agentia. Daar er grote verschillen kunnen zijn in de kwaliteit van het binnenmilieu tussen verschillende ruimten, ondanks dat ze qua bouwconstructie en materialen nauwelijks verschillen, dient per ruimte nagegaan te worden of de gekozen parameter relevant is voor die ruimte of dat er een andere is die een grotere invloed zou kunnen hebben op de binnenluchtkwaliteit. Een ander aspect dat gecontroleerd moet worden is of de concentratie in de ruimte gelijkmatig verdeeld is. Met name bij biologische agentia en fijn stof speelt dit aspect.

Lange termijn

Bij het onderzoeken van lange termijneffecten moet nagegaan of de metingen die op verschillende tijdstippen uitgevoerd zijn, wel vertaald kunnen worden naar een gemiddelde concentratie. Het binnenmilieu vertoont namelijk grote schommelingen. Zo beïnvloedt de wind het ventilatievoud en daarmee de concentratie van de verschillende stoffen. Dit wordt belangrijker naarmate het gebouw minder luchtdicht is.

Metingen op een windstille dag zullen dus andere resultaten laten zien dan metingen op een dag met een stevige wind. De temperatuur, de luchtvochtigheid, het vochttransport door de bouwconstructies en ook plaatselijke verhitting van het oppervlak door de zon hebben een effect op de emissies van materialen en daarmee op de uiteindelijke luchtkwaliteit.

Meetnauwkeurigheid

CO₂-metingen

Het meten van de concentratie van de relevante verontreinigingen in het binnenmilieu is complex en kostbaar. In de praktijk worden er veel CO₂-metingen uitgevoerd, omdat CO₂-concentraties gemakkelijk te meten zijn. De CO₂-exhalatiesnelheid correleert met de bronsterkte van bio-effluenten, micro-organismen, fijn stof en andere verontreinigingen die mensen verspreiden in hun 'persoonlijke wolk' (Duijm 2006b). Mandin & Kirchner (2005) tonen aan dat in scholen met hoge bezettingsgraad de CO₂-concentraties in diverse onderzoeken steeds een goede relatie met de binnenmilieuproblemen weergeven, waar andere bepalingen die relatie niet aangeven. CO₂ is daarom een veelgebruikte indicator voor luchtkwaliteit op scholen. CO₂-concentraties bij waarden tot 5000 ppm hebben echter voor zover bekend geen gezondheidseffecten. Wel neemt met het stijgen van het CO₂-gehalte het aantal klachten over het binnenmilieu toe.

Ondanks het feit dat het meten van CO₂-concentraties ogenschijnlijk eenvoudig is, is er wel een aantal aspecten waarmee rekening moet worden gehouden. Aangenomen wordt dat door de luchtstromen als gevolg van verwarmen, ventileren en menselijke warmteproductie CO₂ zich homogeen door de ruimte verdeeld wordt. Uit proeven met CO₂-gestuurde ventilatie in klaslokalen blijkt dat de bepaling van de CO₂-concentraties in de praktijk complexer is dan meestal aangenomen wordt.

De CO₂-productie is afhankelijk van het menselijk metabolisme en is redelijk goed voorspelbaar. Van kleine kinderen is deze laag in vergelijking met volwassenen. Vanaf de leeftijd van 10 jaar zijn de verschillen gering ten opzichte van volwassenen. Er is geen onderzoek bekend naar de relatie tussen de CO₂-productie en de emissie van humane vervuiling bij kinderen. Voor kindercentra is niet onderzocht of CO₂ een geschikte parameter is voor de luchtkwaliteit.

Tabel A.1 Typische CO₂-emissiesnelheden per persoon (l/uur)²⁵

Leeftijd (jaar)	< 1	1-3	4-6	7-9	10-14	> 14
Rust	2,3	4,8	9,7	14	20	22
Lichte activiteit	4,8	9,7	20	28	38	43
Matige activiteit	9,7	20	38	58	77	85
Intensieve activiteit	17	33	67	102	135	152

De CO₂-concentratie in een ruimte is een functie van de concentratie buiten, productie in de ruimte en de ventilatie. Voordat er zich een stabiele situatie heeft ingesteld, is ook het volume van de ruimte van belang. Bij een groot luchtvolume per persoon zal de situatie zich na lange tijd stabiliseren.

In ruimten met een hoge CO₂-productie in verhouding tot het volume geeft een lage CO₂-concentratie aan dat de ventilatie goed functioneert. In dergelijke situaties kan in het algemeen gesteld worden dat het gehalte van niet-humane verontreinigingen laag zal zijn, omdat deze ook sneller zullen worden afgevoerd. In het geval van een lage CO₂-productie in verhouding tot het volume is een lage CO₂-concentratie echter geen goede indicator voor een goede luchtkwaliteit, omdat andere bronnen dominant kunnen zijn boven menselijke bronnen. Een hoge CO₂-concentraties zegt niets over de concentraties van andere verontreinigingen, omdat deze afhangen van de bronsterkte. Ondanks dat de luchtkwaliteit als slecht wordt ervaren, is

²⁵ Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, 2003. Ein Modell zur Simulation der Qualität der Innenraumluft am Beispiel von CO₂. Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover

de CO₂-concentratie in deze situaties geen geschikte indicator voor niet-humane verontreinigingen.

In basisscholen verschilt het aantal leerlingen per klas sterk. De kleinste groepsgrootte kan 15 zijn en de grootste groep kan meer dan 30 leerlingen hebben. Vooral in de steden komen beide extremen binnen één schoolgebouw vaak voor. Omdat de klassen in één gebouw dezelfde oppervlakte hebben, zal er vaak een grote variatie zitten in de bezettingsgraad (m² gebruiksoppervlak per persoon). Dit impliceert dat er afhankelijk van de groepsgrootte grote verschillen kunnen optreden in de CO₂-concentratie tussen de verschillende klaslokalen van een gebouw bij een zelfde ventilatievoud.

De CO₂-concentratie schommelt voortdurend. Naast variaties in de productie komt dit doordat het ventilatievoud niet constant is. Dit komt onder meer door de wind. Over welke meetwaarden – maxima, gemiddelde, 95-percentiel – getoetst moeten worden verschillen de meningen. Daarnaast bestaat er verschil van inzicht over de toetswaarden²⁶.

In veel literatuur, vooral in rapporten van GGD'en en adviesbureaus, wordt de CO₂-concentratie gebruikt als indicator voor het ventilatievolume. Bij vergelijking van verschillende lokalen is het vereist dat het volume van het lokaal, de bezettingsgraad, het aantal kinderen en de activiteit (als graadmeters van metabolisme) grotendeels vergelijkbaar zijn. Een vergelijking is niet uitvoerbaar als deze gegevens niet zijn verzameld.

Gelet op de relatief scherpe grenzen voor de toetswaarden voor de ventilatie zoals die bijvoorbeeld door het Landelijk Centrum Medische Milieukunde (LCM 2006) opgesteld zijn, is de meetfout en de nauwkeurigheid van de CO₂-monitoren en de wijze waarop deze in de meetresultaten verwerkt moeten worden, van belang. De meeste CO₂-monitoren hebben een nauwkeurigheid van ongeveer ± 30 à 50 ppm + 2% van de afleeswaarde. Bij 1000 ppm is dat 50 à 70 ppm.

Om de meetmethoden van CO₂-concentraties te valideren zijn er onderzoeken gedaan voor geconditioneerde kantoren met een luchtbehandelingsinstallatie. Voor ruimten zonder luchtbehandeling is er weinig onderzoek gedaan naar de validatie van de metingen en de plaats waar het meetinstrument het best opgesteld kan worden.

(Semi)vluchtige componenten

De concentratie van vluchtige en semi-vluchtige organische verbindingen in de binnenlucht is het resultaat van een complexe interactie van bronnen en de specifieke omstandigheden in een ruimte. Het binnenmilieu vertoont hierdoor een grote dynamiek waardoor de samenstelling van de lucht varieert. Bepaalde (externe) invloedfactoren moeten bekend zijn om meetresultaten te kunnen vergelijken. Over het algemeen is de variatie in de analyseresultaten van stoffen in monsters kleiner dan de bovenbeschreven variaties. Dit betekent dat meetresultaten in hetzelfde gebouw pas beoordeeld kunnen worden, als alle relevante parameters in de meetrapporten gedocumenteerd zijn.

Dezelfde bronnen leiden tot verschillende binnenluchtconcentraties afhankelijk van bijvoorbeeld temperatuur, ventilatie, absorptie en wisselende buitencondities (weersomstandigheden en jaargetijde). Daarnaast wordt de concentratie in de binnenlucht bepaald door de 'sterkte' van de bron en de emissiekaracteristieken van de bron. De bronsterkte is een functie van de diffusiepotentiaal en de dampdruk in de emissiebron. Daarnaast wordt deze beïnvloed door

²⁶ Van Overveld M & De Gids WF, 2002. Bouwbesluit 2003 toegespitst op kinderopvang. Van Overveld Bouwbesluit Advies B.V., Voorschoten; LCM, 2006. Gezondheidskundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra. Landelijk Centrum Medische Milieukunde, Rotterdam

de temperatuur en de relatieve vochtigheid. De concentratie in de lucht wordt ook beïnvloed door de verdunning met toegevoerde lucht van buiten door de ventilatie en naden en kieren.

De standaardafwijking voor de analytische procedure van monstername tot en met bepaling varieert tussen 10% en 30% voor de gebruikelijke vervuilende stoffen zoals vluchtige alifatische en aromatische componenten, stabiele semivluchtige organochloorverbindingen, zelfs als de monstername uitgevoerd is onder dezelfde condities en met gestandaardiseerde methoden. Grotere verschillen tussen twee metingen kunnen meestal toegeschreven worden aan verschillen in het binnenklimaat tijdens de metingen. Deze verschillen leiden in de praktijk tot afwijkingen van meer dan 100%. Het gevolg hiervan is dat een schatting van de gemiddelde jaarconcentratie van verontreinigingen in de binnenlucht nauwelijks te maken is²⁷.

Bij de chemische analyse van VOS uit de luchtmonsters worden de afzonderlijke componenten bepaald en vandaar uit worden de verbindingen in de lucht afgeleid. Hiervan worden gezondheidsrisico's afgeleid. Dit gaat voorbij aan de dynamiek van de lucht. In de lucht vinden voortdurende reacties plaats. In feite is er een voortdurende reactie van stoffen met elkaar. Dit kan een fysische binding zijn maar ook een chemische reactie. Het gevolg hiervan is dat het nauwelijks te bepalen is uit welke stoffen de blootstelling daadwerkelijk bestaat.

Om VOS-metingen te kunnen beoordelen (in het juiste perspectief te plaatsen) is van belang dat de omstandigheden waarbij gemeten is zonder dat daarbij opgegeven wordt bij welke temperatuur, r.v. en ventilatievoud gemeten is.

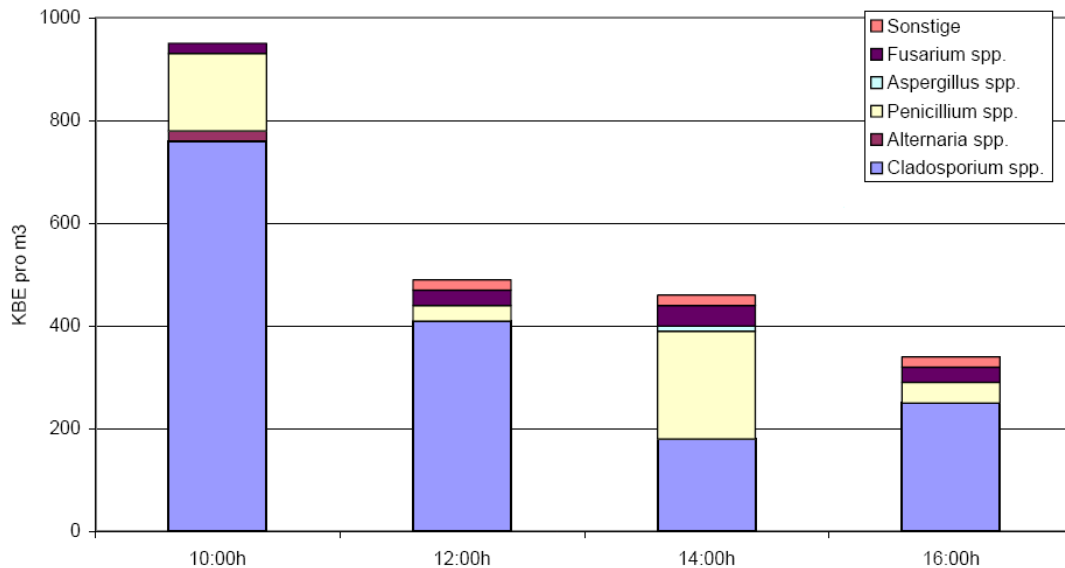
Biologische agentia (schimmels en bacteriën)

De concentratie van de biologische agentia kan op verschillende manieren gemeten worden. Dit kan aan de hand van het bepalen van levensvatbare schimmels of bacteriën, microbiologische VOS of zwevend materiaal van schimmels en bacteriën. De wijze waarop deze metingen uitgevoerd moeten worden is slechts voor een beperkt aantal meetmethoden gestandaardiseerd. In 2007 worden ISO-normen verwacht voor de filtrationmethod en impactionmethod voor het meten van schimmelsporen in de lucht. Voor bacteriën in de lucht zijn er nog geen meetstandaarden in ontwikkeling.

Een groot probleem is de validatie van de meetmethode; d.w.z. zijn meetresultaten representatief voor de concentratie. De meeste onderzoeken om de metingen te valideren zijn zeer kleinschalig opgezet. Onderzoeken met een grotere opzet zijn in Duitsland uitgevoerd.

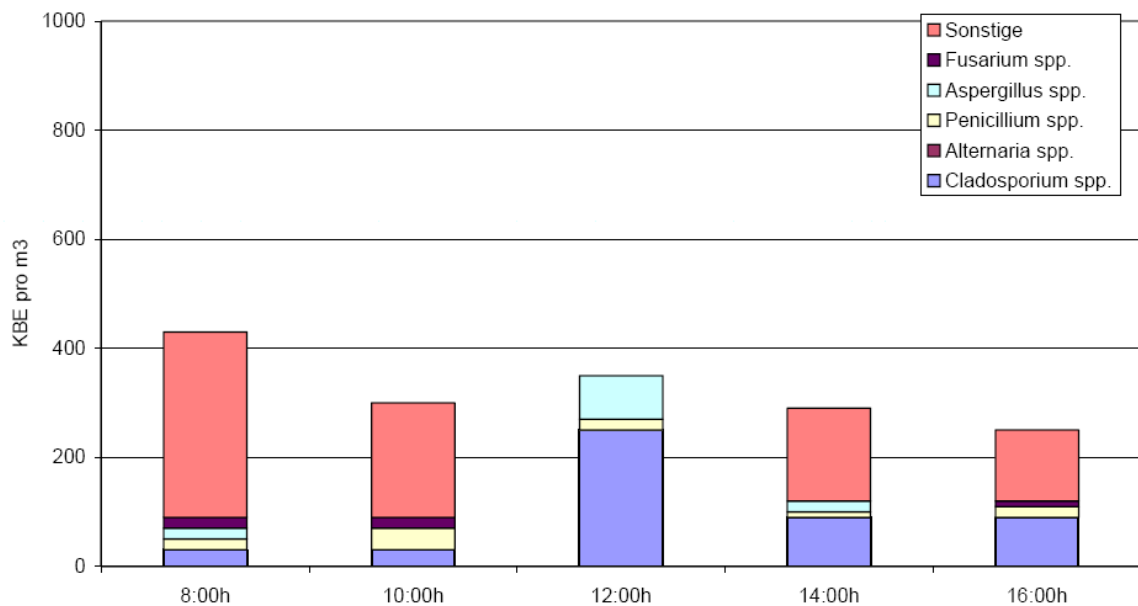
Een onderzoek met een grotere opzet wordt uitgevoerd door Gabrio van het Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg. De resultaten zijn tijdens enkele congressen besproken, maar nog niet gepubliceerd. Uit het onderzoek van Gabrio blijkt dat er een zeer grote spreiding in de meetresultaten optreedt. De statistische uitwerking laat zien dat er geen normale verdeling optreedt in de meetresultaten. Toeval heeft kennelijk een grote invloed op de meetresultaten.

²⁷ Volland G, Krause G, Hansen D, Zöltzer D, 2005. Organic pollutants in indoor air – basics and problems. Otto-Graf-Journal 16: 95-109



08.11.01

Figuur A.1: Variatie in de tijd van de concentratie van schimmelsporen in eenzelfde ruimte²⁸



26.11.01

Figuur A.2: Variatie in de tijd van de concentratie van schimmelsporen in eenzelfde ruimte²⁸

Bij het meten van de biologische agentia doen zich een aantal complicerende factoren voor:

- De concentratie van schimmelsporen en bacteriën in de ruimte vertoont zeer grote verschillen.
- De concentratie in de lucht van de biologische agentia en de samenstelling is afhankelijk van het jaargetijde en het tijdstip van de dag zoals op de bovenstaande grafieken te zien is.

²⁸ Gabrio T, 2006. Presentatie VDB Fortbildung, Gladenbach (niet gepubliceerd)

De invloeden van het seizoen zijn (gedeeltelijk) op te vangen door het verschil tussen buiten en binnen te meten.

- Bij natuurlijke toevoer komen schimmels en bacteriën via de ventilatielucht binnen. Bij luchtbehandeling is de reductie van de concentratie biologische agentia afhankelijk van de installatie.
- Bij metingen waarbij een voedingsbodem (agar) gebruikt wordt, is de keuze van de agar van invloed op de uitkomsten. Ook de bebroedingstemperatuur is van groot belang. 37 °C is totaal iets anders dan kamertemperatuur.
- Bacteriën en schimmels komen ook in de binnenlucht door 'verslepen'. Deze agentia hechten zich goed aan kleding (vooral wol, katoen en bont).
- Als er tijdens metingen veel van het ene vertrek naar het andere wordt gelopen dan is dat een enorme verstoring van de metingen.
- In principe moet de volgorde van meten zijn: van schoon naar vuil.
- Iedere mens is zelf een bron van bacteriën. Met name die zich in de mond bevinden komen ook in de lucht terecht.
- Het determineren van bacteriën en schimmels die in de buitenlucht voorkomen, is een moeilijke taak, waarbij veel fouten worden gemaakt. Een zogenaamd 'kringonderzoek' in Duitsland naar de precisie van detectie leverde een lage herhalingscore op.

Op dit moment moet geconstateerd worden dat op grond van metingen van schimmels en bacteriën in de lucht er geen uitspraken gedaan kunnen worden over de blootstelling.

Binnen ISO-verband wordt gewerkt aan de validatie van de metingen van schimmels. Op het gebied van bacteriën in de binnenlucht staat dat nog helemaal in de kinderschoenen.

Conclusie

Omdat CO₂ bij de concentraties zoals die in gebouwen voorkomen geen direct effect op de gezondheid heeft, kan CO₂ alleen gebruikt worden als indicator voor de luchtvervuiling van de binnenlucht door mensen. Voorwaarde hierbij is dat de CO₂-productie in relatie tot het volume van de ruimte hoog is en dat aangenomen mag worden dat de luchtkwaliteit vooral bepaald wordt door de emissies door mensen in relatie tot andere bronnen.

In vergelijking met andere meetmethoden is het meten van de CO₂-concentratie relatief eenvoudig en wordt daarom veelvuldig toegepast. Probleem is evenwel de beoordeling van de luchtkwaliteit op basis van de CO₂-concentraties, omdat CO₂ slechts een indirecte verwijzing geeft naar de luchtkwaliteit en dus naar gezondheidsrisico's.

Ventilatie

Voor veel stoffen is de ventilatie van directe invloed op de concentratie in de lucht. Over het algemeen kan gesteld worden dat als de ventilatie gering is, er ook weinig verdunning is. De concentratie van een stof wordt bepaald door de concentratie buiten + de emissie binnen – afvoer naar buiten.

- Als de ventilatie gering is, dan zal de concentratie van alle agentia in de lucht hoog zijn als er een bron aanwezig is.
- Als in ruimte met een laag ventilatievoud de concentratie van een bepaalde stof gemeten wordt, dan is de kans dat deze stof als indicator beschouwd moet worden groot. Immers bij het ontbreken van ventilatie zal de concentratie van alle stoffen hoog zijn.
- De ventilatie kan uitgedrukt worden in een capaciteit per oppervlakte of per persoon. Als de capaciteit per oppervlakte wordt aangegeven dan is de bezettingsgraad belangrijk.
- Het ventilatievoud wordt bepaald door de aanwezige voorzieningen en het gebruik ervan. Bij natuurlijke systemen heeft de wind een grote invloed.

Als ventilatiesystemen worden vergeleken dan is het noodzakelijk om te weten wat het gebruik ervan is. Anders ontstaat er een vertroebeling in de resultaten.

Micro-macroklimaat

- Rondom het hoofd bevindt zich een wolk met 'een pluim aan de bovenzijde' (schoorsteeneffect). De wolk is de lucht die we inademen.
- We ademen ongeveer 400 à 500 verschillende stoffen uit. Daarnaast zijn er nog emissies uit de huid.
- Vanwege de voortdurende 'productie' is de concentratie in de buurt van het lichaam hoger dan verder weg. Er is sprake van een gradiënt
- De luchtkwaliteit binnen de wolk wordt bepaald door de concentratie in de ruimte + 'productie' minus afvoer via 'schoorsteen' in de richting van het plafond.
- Bij een korte afstand (<0,5 à 0,75 m) tussen 2 personen ontstaat er onderlinge beïnvloeding van het microklimaat. Dat is ook het geval bij een hoge bezettingsgraad.
- Het microklimaat is niet of nauwelijks direct te beïnvloeden behalve door directe afzuiging boven het hoofd.

Indirecte metingen

Analyse van monsters van huisstof en contactmonsters kunnen informatie geven over de aanwezigheid van de biologische agentia als van chemische agentia (semi-vluchtige organische verbindingen). Zuigmonsters behoren tot de indirecte meetmethoden. Ze gaan uit van de aanname dat naarmate de bron sterker is de blootstelling via de lucht toeneemt. Nog sterker dan in lucht vertoont de concentratie dan zeer grote fluctuaties en wel zodanig dat het nauwelijks mogelijk is om de 'sterkte' van een bron te bepalen. Deze methoden zijn in principe alleen geschikt om de aanwezigheid van een bron aan te tonen. Bij lage concentraties speelt het toeval bij de monsternamen een grote rol.

Het standaardiseren van de monsternamen staat nog in de kinderschoenen. Het valideren komt daarna. De wijze van monsternamen heeft bij biologische agentia een sterk effect op het uiteindelijke resultaat. Cultiveerbare sporen en bacteriën geven meer informatie over wat er in het verleden gegroeid en gebloeid heeft en wat er kan gaan groeien dan over wat er op dit moment zelf groeit.

Ruimte

- Bij kinderdagverblijven moet er een onderscheid gemaakt worden tussen de slaapkamer en de speelruimte. In de slaapkamer wordt het microklimaat bepaald door het bed (kopschot; hekwerk e.d) en de wijze waarop de lucht door het bed kan circuleren.
- Kinderen die op de grond spelen, hebben een andere blootstelling dan bijvoorbeeld kinderen die in de bank of op een stoel spelen.

Temperatuur

- De temperatuur in een ruimte laat een variatie zien. De gradiënt wordt bepaald door de hoogte van de ruimte, de aanwezigheid van verwarmende en koelende oppervlakken, directe zoninstraling en luchtstromen.
- Temperaturen in een ruimte zonder luchtbehandeling zijn niet constant.
- In een ruimte met een hoge bezettingsgraad stijgen de temperaturen door de menselijke warmteproductie, als deze warmte niet voldoende door de ventilatie wordt afgevoerd
- Wat moet beoordeeld worden:
 - Maximum
 - Gemiddelde
 - Gemiddelde over een bepaald tijdvak

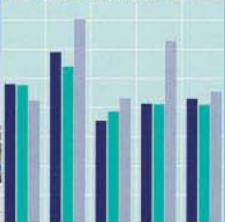
De gedragen kleding is van belang, enerzijds doordat kleding soms niet aangepast is aan de binnenklimaatomstandigheden en anderzijds omdat het bij plotselinge weersomslag drie tot vier dagen duurt voordat de kleding aan de nieuwe situatie is aangepast²⁹.

De plaats van de meting is dus bepalend voor de gemeten waarde.

²⁹ Brager GS & De Dear RJ, 1998. Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings* V.27(1): 83-96

Technische Universiteit Delft
Jaffalaan 9, 2628 BX Delft
Postbus 5030, 2600 GA Delft
Telefoon (015) 278 30 05
Fax (015) 278 44 22
E-mail mailbox@otb.tudelft.nl
www.otb.tudelft.nl

Eindrapport



Onderzoeksinstituut OTB
Technische Universiteit Delft
Jaffalaan 9, 2628 BX Delft
Postbus 5030, 2600 GA Delft
Telefoon (015) 278 30 05
Fax (015) 278 44 22
E-mail mailbox@otb.tudelft.nl
www.otb.tudelft.nl