



[www.vrom.nl](http://www.vrom.nl)

# Onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen

Onderzoeksrapportage

Artikelcode 8055

Opdrachtgever Ministeries van VROM, OCW, SZW en VWS  
Datum 19 juli 2007  
Auteur ir. H. Versteeg

# Inhoudsopgave

<b>Verklarende woordenlijst .....</b>	<b>3</b>
<b>Symbolenlijst .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>5</b>
1.1 Probleemanalyse .....	5
1.2 Doel van het onderzoek .....	6
1.3 Leeswijzer.....	6
1.4 Begeleidingscommissie en klankbordgroep.....	6
<b>2 Onderzoeksaanpak .....</b>	<b>8</b>
2.1 Steekproef .....	8
2.2 Onderzoeksmethode en onderzoekstechnieken .....	10
<b>3 Luchtkwaliteit .....</b>	<b>14</b>
3.1 Onderzoeksvragen .....	14
3.2 Toetsing wetgeving.....	14
3.3 Optredende CO <sub>2</sub> -concentraties.....	18
3.3.1 Achtergrond CO <sub>2</sub> -concentratie .....	18
3.3.2 Meetresultaten .....	21
3.4 Enquête gebruik ventilatievoorzieningen .....	27
3.5 Beoordeling luchtkwaliteit leerkrachten.....	30
3.6 Inschatting maatregelen en kosten .....	33
3.6.1 Natuurlijke toe- en afvoer (lokaaltype 1 en 2).....	34
3.6.2 Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (lokaaltype 3).....	37
3.6.3 Mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) .....	39
<b>4 Akoestische kwaliteit en stoorgeluid.....</b>	<b>41</b>
4.1 Onderzoeksvragen .....	41
4.2 Achtergrondgeluidniveau .....	41
4.3 Geluidwering gevel .....	45
4.4 Ruimteakoestiek.....	48
4.4.1 Nagalmtijd.....	48
4.4.2 Spraakverstaanbaarheid .....	51
<b>5 Temperatuur en luchtvochtigheid .....</b>	<b>56</b>
5.1 Onderzoeksvragen .....	56
5.2 Temperatuur en luchtvochtigheid stookseizoen.....	56
5.3 Temperatuur zomerperiode .....	64
<b>6 Samenvatting bevindingen en beantwoording onderzoeksvragen .....</b>	<b>71</b>
6.1 Luchtkwaliteit .....	71
6.2 Akoestische kwaliteit en stoorgeluid .....	79
6.3 Temperatuur en luchtvochtigheid.....	83
<b>7 Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>86</b>
7.1 Conclusies .....	86
7.2 Aanbevelingen .....	89
<b>Literatuur.....</b>	<b>94</b>

## Bijlagen

Bijlage I	Onderzoeksmethodiek en meetapparatuur
Bijlage II	Wetgeving luchtverversing onderwijsgebouwen
Bijlage III	Formulieren inventarisatie, enquête en logboek

## Verklarende woordenlijst

### *A-gewogen geluiddrukkniveau ( $L_{pA}$ )*

Het voor de oorgevoeligheid gecorrigeerde geluiddrukkniveau. De geluiddrukkniveaus per frequentieband worden gecorrigeerd naar de oorgevoeligheid en vervolgens opgeteld. Het geluidniveau geeft snel een indruk van de luidheid (fysiologische reactie van het oor op het geluid).

### *Bezettingsgraadklasse (art. 1.1 Bouwbesluit 2003)*

Klasse die de bezettingsgraad van een gebruiksoppervlakte en de bezettingsgraad van een vloeroppervlakte aan verblijfsgebied aangeeft. Klasse B2 stemt overeen met een oppervlakte aan verblijfsgebied van meer dan 1,3 m<sup>2</sup> per persoon maar ten hoogste 3,3 m<sup>2</sup> per persoon. Bij klasse B3 wordt uitgegaan van een oppervlakte aan verblijfsgebied van meer dan 3,3 m<sup>2</sup> per persoon maar ten hoogste 8,0 m<sup>2</sup> per persoon.

### *Equivalent geluidniveau ( $LA_{eq}$ )*

De energie-inhoud van een fluctuerend geluid als maatstaf voor de hinder, hetgeen wordt gemeten door het geluidniveau over een langere tijd 'energetisch' te middelen. Het equivalente geluidniveau heeft dezelfde energie-inhoud en daarmee hetzelfde hoor-beschadigende potentieel als het variërende geluidniveau.

### *Nagalmtijd ( $T$ of $T_{60}$ )*

De tijd in seconden die na uitschakeling van een geluidbron verstrijkt bij een daling van het geluiddrukkniveau van 60 dB.

### *Nominale capaciteit*

Volumestroom aan toevoer van verse lucht en afvoer van binnenlucht, die in principe continu tot stand moet kunnen worden gebracht.

### *Nominale ventilatie*

ventilatie die op grond van gezondheidsoverwegingen voor de reinheid van de lucht continu tot stand moet kunnen worden gebracht.

### *$P_5$ , $P_{50}$ en $P_{95}$ percentielwaarde*

Een  $P_5$  (het 5<sup>e</sup> percentiel) geeft de waarde waaronder 5% en waarboven 95% van de waarnemingen liggen en kan als minimum waarde gedefinieerd worden. Een  $P_{50}$  het 50<sup>e</sup> percentiel geeft de waarde waaronder 50% en waarboven 50% van de waarnemingen liggen (ook wel mediaan genoemd). Een  $P_{95}$  (het 95<sup>e</sup> percentiel) geeft de waarde waaronder 95% en waarboven 5% van de waarnemingen (overeenkomstig met 15 minuten voor een 5-urige lesdag) liggen en kan als maximum waarde gedefinieerd worden.

### *Spraakverstaanbaarheid*

De mate waarin het gesproken woord verstaanbaar is, hetgeen kan worden weergegeven met de Speech Transmission Index (STI-waarde)

### *Verblijfsgebied*

Gedeelte van een gebruiksfunctie met ten minste een verblijfsruimte, bestaande uit één of meer op dezelfde bouwlaag gelegen aan elkaar grenzende ruimten anders dan een toiletruimte, een badruimte, een technische ruimte of een verkeersruimte.

### *Verblijfsruimte*

Ruimte voor het verblijven van mensen, dan wel een ruimte waarin de voor een gebruiksfunctie kenmerkende activiteiten plaatsvinden.

## **Symbolenlijst**

$L_{Aeq}$  het A-gewogen equivalente geluidniveau in dB(A)

$G_{A,k}$  de karakteristieke geluidwering van de gevel in dB(A) gedefinieerd volgens NEN 5077.

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemanalyse

In scholen kunnen gezondheidsrisico's optreden door een slechte luchtkwaliteit van het binnenmilieu. Zo kan de binnenlucht verontreinigd zijn door emissies uit en stofafgifte van constructies, inventaris, schoonmaakartikelen alsmede door geurstoffen en kooldioxide (CO<sub>2</sub>) van aanwezige personen. Door een onvoldoende afvoer van die verontreinigde lucht middels luchtverversing kunnen gezondheidsklachten optreden (bijvoorbeeld oogirritaties of hoofdpijn). Ook kunnen klaslokalen te warm of te koud zijn, of een niet-optimale luchtvochtigheid hebben. Er zijn aanwijzingen dat kinderen minder goed leren en presteren in een slecht geventileerde of een te warme klas. Een ander aspect van het binnenmilieu is geluid. Er kan overlast zijn van geluid buiten het gebouw, van geluid in aangrenzende lokalen of van mechanische ventilatiesystemen. Ook kunnen leerkrachten last hebben van een slechte ruimteakoestiek (nagalm).

Rijksregelgeving dient dergelijke gezondheidsrisico's binnen de perken te houden. Zo stelt het Bouwbesluit bouwtechnische eisen aan zowel nieuw te bouwen als bestaande scholen. Het betreft minimumeisen waaraan in ieder geval voldaan moet worden. Hierdoor wordt op basis van risico's voor gezondheid, veiligheid en duurzaamheid, in combinatie met een goed naleefgedrag en gebruik, de gezondheid van de bewoners en gebruikers zo goed mogelijk gewaarborgd. De arbeidsomstandighedenregelgeving geeft regels voor het opstellen van een Risico Inventarisatie & Evaluatie (RI&E). Gemeenten hebben taken die voortvloeien uit de Woningwet en het Bouwbesluit. Daarnaast hebben deze ook een taak op het gebied van de bewaking van de volksgezondheid van de burgers in relatie tot het leefmilieu. Deze taak is beschreven in de Wet Collectieve Preventie Volksgezondheid.

Momenteel staat de kwaliteit van het binnenmilieu van scholen in de belangstelling. Er is maatschappelijke aandacht, hetgeen ook blijkt uit berichten in de media en kamervragen. Diverse organisaties plegen inspanningen om de kwaliteit van het binnenmilieu te verbeteren, waaronder het Astmafonds. Ook overheden en hieraan gelieerde instellingen ontplooiën initiatieven met dit doel. Zo is in het afgeronde Actieprogramma 2002-2006 van de ministeries van VWS en VROM het binnenmilieu een belangrijk thema geweest en wordt de aandacht voor dit onderwerp gecontinueerd. Tevens voert de GGD diverse onderzoeken en projecten uit.

Er zijn aanwijzingen dat de kwaliteit van het binnenmilieu in klaslokalen lager is dan waarden waarop de bouwtechnische regelgeving is geënt. Oorzaken hiervoor kunnen liggen in het niet in voldoende mate aanwezig zijn van voorzieningen of in een onvoldoende gebruik van de voorzieningen. Om enerzijds na te gaan of de naleving van de voorschriften voldoende is en anderzijds het gedrag passend is zoals dat is bedoeld bij de aangebrachte voorzieningen, hebben de ministeries van VROM (DGM en WWI), OCW, SZW en VWS een onderzoek geïnitieerd.

Het onderzoek is gericht op zowel waarheidsvinding als ook richtingzoekend naar mogelijke oplossingen indien er problemen worden geconstateerd. Het onderzoek richt zich op ventilatie, geluid, temperatuur en de vochtigheidsgraad.

## **1.2 Doel van het onderzoek**

Tegen de in de vorige paragraaf geschetste achtergrond, is het doel van het onderzoek inzicht te verkrijgen in:

- de kwaliteit van het binnenmilieu in klaslokalen in termen van binnenlucht (ventilatie), geluid, temperatuur en vochtigheidsgraad;
- de naleving van de bouwvoorschriften op het gebied van ventilatie en geluid;
- het gedrag bij het gebruik van de voorzieningen;
- de beleving van de kwaliteit van het binnenmilieu door de scholen.

Het onderzoek kan gezien worden als een verkenning van de situatie op de scholen met betrekking tot het binnenmilieu. De doelstelling is uitgewerkt naar concrete onderzoeksvragen die in deze onderzoeksrapportage zijn opgenomen.

## **1.3 Leeswijzer**

De onderhavige rapportage omvat de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt de onderzoeksaanpak nader belicht. De onderzoeksresultaten ten aanzien van luchtkwaliteit, geluid en thermisch comfort komen in hoofdstuk 3 t/m 5 aan de orde. Hoofdstuk 6 omvat een samenvatting van de bevindingen aan de hand van de vooraf gestelde onderzoeksvragen. Op basis hiervan worden in hoofdstuk 7 conclusies afgeleid ten aanzien van de actuele stand van zaken wat betreft de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen. Afgesloten wordt met aanbevelingen gericht op de mogelijkheden waarmee de voornaamste knelpunten zijn te verhelpen.

## **1.4 Begeleidingscommissie en klankbordgroep**

Het onderzoek is vanuit de betrokken ministeries door de volgende personen begeleid:

- mw. J. van Swigchem (Ministerie van VROM, VROM-Inspectie Noord, projectleider)
- dhr. H. van Scherpenzeel (Ministerie van VROM, VROM-Inspectie Zuid-West)
- dhr. G. de Kruif (Ministerie van VROM, VROM-Inspectie Zuid-West)
- dhr. P. van Luijk (Ministerie van VROM, DGWWI)
- dhr. J.W. Damen (Ministerie van OCW)
- mw. Y. Nas (Ministerie van VWS)
- mw. M. Verschuren (Ministerie van VROM, DGM)
- mw. E. Koudijs-Siebel (Ministerie van VROM, DGM)
- dhr. E. Fontijn (Ministerie van SZW)
- dhr. A. van Duijn (Ministerie van SZW)

Verder is tijdens het onderzoek een klankbordgroep geraadpleegd waarin de volgende personen en organisaties waren vertegenwoordigd:

- dhr. F. Duijm (GGD Groningen)
- dhr. W. Neutel (Besturenraad)
- dhr. F. Rutjes (VNG)
- dhr. J. Strik (Gemeente Woerden)
- dhr. R. Trouborst (De Jong Gortemaker Algra architecten en ingenieurs bv)
- dhr. T. Ton Rolvink (AOB)
- dhr. M. Touw (Vervangingsfonds)
- dhr. P. de Vries (Algemene vereniging voor schoolleiders)

## 2 Onderzoeksaanpak

In dit hoofdstuk wordt de gevolgde onderzoeksaanpak nader toegelicht.

### 2.1 Steekproef

Het onderzoek is verricht in 60 basisscholen (120 klaslokalen) verdeeld over 30 Nederlandse gemeenten. De selectie van de gemeenten is door de VROM-inspectie verricht. In de selectie zijn alle regio's van Nederland vertegenwoordigd, waarbij zowel grote en middelgrote steden als plattelandsgemeenten zijn geselecteerd. Tabel 2.1 toont een overzicht van de geselecteerde gemeenten.

**Tabel 2.1**

Overzicht steekproef gemeenten

Regio	Gemeenten >50.000 inwoners	Gemeenten tussen 20.000 en 50.000 inwoners	Gemeenten <20.000 inwoners
Zuid	Oosterhout (B) Roosendaal (B)	Landgraaf (L) Veghel (B)	Beek (L) Haelen (L)
Zuid-west	Vlaardingen (Z-H) Terneuzen (Zld)	Ridderkerk (Z-H) Borsele (Zld)	Midden-Delfland (Z-H) Oostflakkee (Z-H)
Noord-West	Nieuwegein (UT) Amsterdam ZO (NH)	Diemen (NH) Woerden (UT)	Beemster (NH) Bunnik (UT)
Oost	Almelo (Ov) Arnhem (Gld)	Wierden (Ov) Winterswijk (Gld)	Ommen (Ov) Heerde (Gld)
Noord	Smallingerland (Frl) Emmen (Dr)	Stadskanaal (Gr) Franekeradeel (Frl)	Haren (Gr) Westerveld (Dr)

Voor het formuleren van een betrouwbare uitspraak op de onderzoeksvragen is het van belang dat bij het nemen van de steekproef zorgvuldig rekening wordt gehouden met de in Nederland voorkomende schoolkenmerken die relevant zijn voor het binnenmilieu. De voor het binnenmilieu relevante schoolkenmerken betreffen de kenmerken van het klaslokaal (en dan met name de ventilatievoorzieningen) en kenmerken van het gebruik (bezetting en gebruik voorzieningen).

Uitgangspunt bij de steekproef van de leslokalen in de geselecteerde gemeenten is het in voldoende mate voorkomen van de in Nederland te onderscheiden klaslokaaltypen op basis van ventilatietechnische kenmerken. Op basis van deze kenmerken van een klaslokaal zijn vier voorkomende klaslokaaltypen gedefinieerd (zie tabel 2.2).



**Tabel 2.2**

## Indeling klaslokaaltypen

Type	Toevoer	Afvoer	voorkomen in NL (raming LBP)	Voorgenomen aantal leslokalen in steekproef
1	Natuurlijk via klepramen / uitzetramen		40%	30
2	Natuurlijk via ventilatieroosters	natuurlijk	20%	30
3	Natuurlijk via ventilatieroosters	mechanisch	35%	30
4	Mechanisch	mechanisch	5%	30

In lokaaltipe 1 geschiedt de toe- en afvoer van ventilatielucht op basis van natuurlijke drijfkrachten (wind, temperatuurverschil) via klep- en/of uitzetramen in de gevel en mogelijk tevens via voorzieningen in het dak. Bij lokaaltipe 2 is dit ook het geval, maar zijn er (tevens) *ventilatieroosters* in de gevel aanwezig. Bij lokaaltipe 3 geschiedt de *toevoer* van ventilatielucht via ventilatieroosters in de gevel. De *afvoer* van ventilatielucht geschiedt in dit lokaaltipe met een mechanisch ventilatiesysteem. Bij lokaaltipe 4 vindt zowel de toevoer als de afvoer van ventilatielucht met behulp van een mechanisch ventilatiesysteem plaats.

Om per lokaaltipe over voldoende onderzoeksgegevens te kunnen beschikken, is bij de steekproef van 60 basisscholen (120 klaslokalen) beoogd een gelijk aantal van elk klaslokaaltipe in het onderzoek te betrekken. Voor het doen van een landelijke uitspraak zijn gegevens benodigd over het percentage dat de voornoemde klaslokaaltypen in Nederland voorkomen. Omdat deze gegevens niet binnen de tijd van het onderzoek voorhanden waren, is door LBP gebruik gemaakt van een eigen raming van het percentage waarin deze klaslokaaltypen in Nederland voorkomen (zie tabel 2.2). Deze raming is naar verwachting toereikend om een representatieve indruk van de landelijke situatie te verkrijgen en de hierbij te stellen prioriteiten voor het beleid.

Per gemeente zijn ca. 10 basisscholen uitgenodigd aan het onderzoek mee te werken. Bij interesse is de desbetreffende school verzocht enkele vragen over (onder meer) de ventilatie van de klaslokalen te beantwoorden. LBP heeft op basis van de geretourneerde formulieren twee basisscholen per gemeente geselecteerd, waarna deze selectie ter goedkeuring is voorgelegd aan de begeleidingscommissie. De scholen die in het kader van een eerder uitgevoerd onderzoek naar het ventilatiegedrag van leerkrachten zijn onderzocht, zijn niet in dit onderzoek betrokken.

Tabel 2.3 toont een overzicht van de relevante kenmerken van de definitieve selectie.

**Tabel 2.3**

## Overzicht steekproef lokaaltypen

Verdeling lokaaltypen	lokaaltype							
	1		2		3		4	
aantal leslokalen in steekproef	45		25		32		18	
% leslokalen in steekproef	37		21		27		15	
% leslokalen in steekproef	58				42			
% voorkomen in NL (raming LBP)	40		20		35		5	
Variatie bouwjaar (min – max)	1938	1997	1951	2004	1953	2004	1982	2006
Bouwjaar (mediaan)	1977		1968		1999		2002	

De definitieve selectie wijkt enigszins af van de vooraf beoogde verdeling van 30 klaslokalen per lokaaltype. Dit is enerzijds het gevolg van het beperkte aantal scholen van het lokaaltype 4. Ook bleek de door de scholen doorgegeven ventilatietechnische kenmerken niet altijd overeen te stemmen met de werkelijke kenmerken van het klaslokaal. Desondanks wordt het aantal leslokalen van elk lokaaltype voldoende geacht voor een betrouwbare beantwoording van de onderzoeksvragen. De verdeling van de lokaaltypen in de definitieve selectie stemt redelijk overeen (binnen 10%) met de eigen raming van het percentage waarin deze klaslokaaltypen in Nederland voorkomen. De uiteindelijke steekproef is hiermee naar verwachting toereikend om een representatieve indruk van de landelijke situatie te verkrijgen.

Per school zijn twee identieke leslokalen onderzocht met een verschillende oriëntatie van de glasgevel om zo zowel zonbelaste als minder zonbelaste leslokalen in het onderzoek te betrekken. In het onderzoek zijn geen noodlokalen beschouwd.

## 2.2 Onderzoeksmethode en onderzoekstechnieken

In het navolgende worden nader ingegaan op de onderzoeksmethodiek.

### **Inventarisatie relevante gegevens en toetsing aan regelgeving (o.a. Bouwbesluit)**

In het onderzoek is een algemene bouwkundige en installatietechnische inventarisatie verricht met als doel alle relevante gegevens en kenmerken van de betreffende school en lokalen in kaart te brengen. Waar van toepassing zijn de op te nemen en middels meting vastgestelde gegevens conform de van toepassing zijnde NEN-normen vastgesteld. In bijlage I wordt hierop nader ingegaan. In bijlage III zijn de formulieren opgenomen die gebruikt zijn bij de inventarisatie van de leslokalen.

### **Enquête leerkrachten**

In het onderzoek is bij de leerkracht een enquête afgenomen waarin zowel de relevante kwalitatieve gebruiksgegevens (wat / hoe / wanneer) als kwantitatieve gegevens omtrent de beleving van de kwaliteit ten aanzien van binnenmilieu en geluid zijn vastgelegd. In bijlage I wordt hierop nader ingegaan. In bijlage III zijn de formulieren opgenomen die zijn gebruikt bij enquête van de leerkrachten.

### **Logboek leerkrachten**

Om een goede interpretatie van de meetgegevens van de temperatuur, relatieve vochtigheid en CO<sub>2</sub>-concentratie mogelijk te maken, is door LBP een logboekformulier ontwikkeld waarop door de leerkracht dagelijks relevante (gebruiks)gegevens zijn geregistreerd, zoals het aantal personen, de lestijden, het gebruik van de ventilatievoorzieningen, zonwering, verwarming, etc. alsmede de klimaatbeleving die hieraan gekoppeld is. In bijlage I wordt hierop nader ingegaan. In bijlage III is het logboekformulier opgenomen.

### **CO<sub>2</sub>-concentratie, temperatuur en relatieve vochtigheid**

In het onderzoek is in de leslokalen de optredende concentratie kooldioxide (CO<sub>2</sub>), de temperatuur en de relatieve vochtigheid gedurende langere tijd geregistreerd.

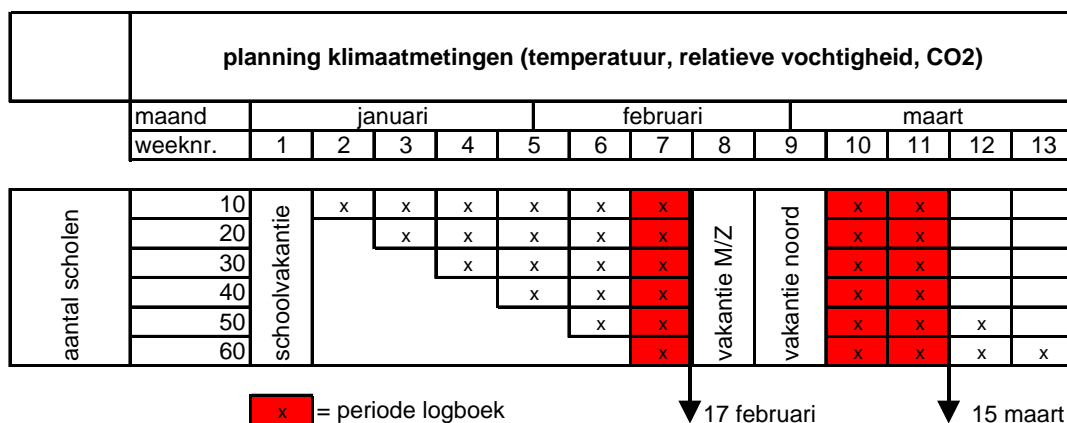
De CO<sub>2</sub>-concentratie in de klaslokalen wordt gezien als de beste parameter voor de bepaling van de optredende ventilatie (en daarmee zowel direct als indirect voor de luchtkwaliteit). Doel van de CO<sub>2</sub>-metingen is inzicht te verkrijgen in de optredende (effectieve) ventilatie, zo mogelijk afhankelijk van diverse relevante parameters (bijvoorbeeld het soort ventilatievoorzieningen en het gebruik hiervan). Naast al deze gebouwgerelateerde parameters zal de ventilatie mogelijk ook afhankelijk zijn van de buitenklimaatomstandigheden die in de tijd sterk kunnen variëren en specifieke gebruikscondities die mogelijk ook in de tijd kunnen variëren.

Om voldoende representatieve meetgegevens te verkrijgen is ervoor gekozen om de metingen in alle leslokalen *gelijktijdig* en *gedurende langere tijd* plaats te laten vinden, om zo de invloed van variaties in het buitenklimaat en andere toevallige gebeurtenissen waarbij het ventilatiegedrag gedurende korte periode niet representatief is, zo veel mogelijk te beperken.

De gevolgde aanpak is in figuur 2.1 schematisch weergegeven. Hierbij is uitgegaan van het volgende:

- een periode van drie weken waarin in alle klaslokalen gelijktijdig wordt gemeten;
- een periode van vijf weken waarin door de leerkracht een logboek wordt bijgehouden;
- een periode van ten minste vijf weken waarin de binnenklimaatmetingen (temperatuur, vochtigheid en CO<sub>2</sub>) worden verricht.

In week 2 van 2007 is aangevangen met het installeren van de meetapparatuur in de leslokalen. Eind week 6 was in alle scholen de meetapparatuur operationeel. Met de gevolgde aanpak hebben de logboekgegevens voor alle leslokalen betrekking op dezelfde tijdsperiode (en weersomstandigheden). De logboekperiode heeft binnen het stookseizoen (einde omstreeks 15 maart) plaatsgevonden.



**Figuur 2.1**

Schematische weergave planning klimaatmetingen (temperatuur, relatieve vochtigheid en CO<sub>2</sub>).

Voor de binnenklimaatmetingen (temperatuur, vochtigheid en CO<sub>2</sub>) is gebruik gemaakt van de bij LBP beschikbare meetinstrumenten. Voor nadere informatie over de meetapparatuur wordt verwezen naar bijlage I.

### Akoestisch onderzoek

Met behulp van metingen en berekeningen zijn van de onderzochte leslokalen de volgende relevante akoestische kenmerken bepaald:

- het achtergrondgeluidniveau ( $L_{Aeq}$ );
- de nagalmtijd ( $T_{60}$ );
- de spraakverstaanbaarheid ( $STI = \text{Speech Transmission Index}$ );
- de karakteristieke geluidwering van de gevel ( $G_{A;k}$ ).

Bij de meting van het achtergrondgeluidniveau is het effect van het gebruik van de ventilatievoorzieningen op het geluidniveau in het leslokaal nagegaan. De geluidwering van de gevel van de klaslokalen (met gesloten en open ventilatievoorzieningen) is met behulp van een berekening conform NPR 5272 [22] bepaald.

Verder is bij de leerkracht een gehoortest afgenomen, om een relatie te kunnen leggen tussen de gehoorcapaciteit en de beleving van het geluid. Verder zijn in het lokaal alle relevante akoestische kenmerken geïnventariseerd. In bijlage I wordt nader ingegaan op de meetprocedure en de gehanteerde meetapparatuur.

### Uitvoering en dataverwerking

Het gehele onderzoek is middels een tweetal bezoeken aan de school uitgevoerd. In het eerste bezoek is het feitelijke onderzoek verricht (enquête, inventarisatie, akoestisch onderzoek) en is de meetapparatuur voor de registratie van de temperatuur, relatieve vochtigheid en CO<sub>2</sub>-concentratie geïnstalleerd. Bij het tweede bezoek is deze meetapparatuur weer opgehaald, zijn eventueel ontbrekende gegevens opgenomen en is de capaciteit van de eventueel aanwezige mechanische ventilatie middels metingen bepaald.

Alle data (registraties, waarnemingen, enquête, logboek, metingen, foto-opnamen etc) zijn digitaal gearchiveerd. Meetdata en geïnventariseerde gegevens zijn in Microsoft Excel werkbladen verwerkt.

## 3 Luchtkwaliteit

### 3.1 Onderzoeksvragen

De door meting en onderzoek te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

1. Voldoen de klaslokalen aan wettelijke eisen voor luchtverversing?
2. Welke CO<sub>2</sub>-concentraties komen in klaslokalen voor en waar zijn de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties het gevolg van? Op basis van de resultaten is de hypothese getoetst die stelt dat in de meeste lokalen de blootstelling aan CO<sub>2</sub> te hoog is (meer dan 1200 ppm) als gevolg van geringe aantal m<sup>3</sup> per persoon (hoge bezettingsgraad) in combinatie met een geringe ventilatie in het stookseizoen. Er is nagegaan in hoeverre een te geringe ventilatie een gevolg is van het niet naleven van de regelgeving dan wel van het niet gebruiken van de voorzieningen (gedrag van leerkrachten).
3. Worden de aangebrachte voorzieningen ook gebruikt zoals ze zijn bedoeld om ten minste aan de eisen te kunnen voldoen? Zo neen, wat is hiervan de oorzaak (bijvoorbeeld techniek of het gedrag)?
4. Komt de beleving van de kwaliteit van het binnenmilieu overeen met de meetresultaten?
5. Wat is de inschatting van de maatregelen en de kosten die nodig zijn om een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van ten hoogste 1200 ppm?

### 3.2 Toetsing wetgeving

De wetgeving ten aanzien van de luchtverversing in leslokalen is vastgelegd in het Bouwbesluit 2003 [14]. Het Arbo-besluit [13] verwijst naar de eisen van het Bouwbesluit 2003.

De luchtverversing in bestaande leslokalen dient ten minste te voldoen aan de eisen van de bestaande bouw van Bouwbesluit 2003. Voorts wordt van de eigenaar verlangd dat het van toepassing zijnde niveau dat bij de verlening van de bouwvergunning voor het leslokaal (tijdens de bouw of renovatie) van toepassing is, in stand te houden. Handhaving van gemeenten betreft in eerste instantie een (preventieve) toets bij aanvraag om bouwvergunning en in tweede instantie of het niveau van bestaande bouw is onderschreden. Het niveau dat verbonden is aan de verleende bouwvergunning heeft een functie als onderbouwing van de noodzaak voor het opleggen van een verplichting ingevolge artikel 13 Woningwet tot het treffen van een voorziening op een hoger niveau. In bijlage II wordt nader ingegaan op de eisen die aan de ventilatie van leslokalen in het basisonderwijs worden gesteld.

De capaciteit van de ventilatievoorzieningen (toe- en afvoer) is conform de van toepassing zijnde NEN-normen middels meting en/of berekening vastgesteld. In bijlage I wordt nader op de gehanteerde bepalingsmethoden en de hierbij gehanteerde uitgangspunten ingegaan.

### **Bouwbesluit bestaande bouw**

Voor alle onderzochte leslokalen geldt dat er in ieder geval moet worden voldaan aan het niveau voor de bestaande bouw. Zoals aangegeven in bijlage II moet de nominale capaciteit ten minste  $1,1 \text{ dm}^3/\text{s}$  per  $\text{m}^2$  (onafhankelijk van de bezettingsgraadklasse) bedragen, waarbij voor de bepaling van de capaciteit mag worden uitgegaan van alle in de gevel aanwezige voorzieningen (ramen, deuren, etc.). Deze capaciteitseis betreft een bouwtechnische ondergrens en is niet gerelateerd aan een specifieke  $\text{CO}_2$ -concentratie in de ruimte.

Voor alle 120 leslokalen geldt dat de capaciteit van de ventilatievoorzieningen (toe- en afvoer) aan het niveau van de bestaande bouw voldoet. Dit is immers reeds het geval, indien in de gevel een te openen raam aanwezig is. Kanttekening hierbij is dat in het onderzoek is vastgesteld dat voor leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 3 en 4) de capaciteit van de mechanische ventilatie niet altijd aan het niveau van de bestaande bouw blijkt te voldoen. Omdat in deze leslokalen echter wél een te openen deel aanwezig is, wordt evenwel aan het niveau van de bestaande bouw voldaan.

### **Wettelijk niveau aanvraag bouwvergunning**

Voor het wettelijke niveau dat ten tijde van de aanvraag van de bouwvergunning (bij de bouw of renovatie) van toepassing was, kan het volgende onderscheid worden gemaakt:

1. bouwvergunning vóór oktober 1986 (eisen op het niveau zoals thans zijn vastgelegd in Bouwbesluit bestaande bouw)
2. bouwvergunning aangevraagd tussen 1986 en oktober 1992 (gemeentelijke bouwverordening en NEN 1089)
3. bouwvergunning aangevraagd tussen oktober 1992 en december 1995 (functionele eisen Bouwbesluit en NEN 1087/1089)
4. bouwvergunning aangevraagd na december 1995 (prestatie-eisen in het Bouwbesluit) en in het rapport aangeduid met Bouwbesluit 2003

Aangezien de categorieën 2 en 3 een gelijke technische inhoudelijke toetsingsgrondslag hebben, zijn die in dit rapport samengevoegd. Zo is in de tabellen 3.2 en 3.3 het volgende onderscheid aangehouden:

- aanvraag bouwvergunning vóór oktober 1986;
- aanvraag bouwvergunning tussen oktober 1986 en december 1995;
- aanvraag bouwvergunning na december 1995.

In het 'Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw' zijn voorschriften gesteld betreffende de luchtsnelheid van de ventilatielucht, met het doel tochtverschijnselen tot een minimum te beperken. In NPR 1088 [17] is hiertoe gesteld dat de luchttoevoervoorzieningen in de gevel op een hoogte van ten minste 1,80 m boven vloerniveau in de gevel moeten zijn gesitueerd. NPR 1090 [3] gaat voor te openen klep- en uitzetramen uit van een hoogte van ten minste 2,40 m boven vloerniveau.

Bij de beoordeling van de capaciteit van de ventilatievoorzieningen volgens de eisen van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' en 'Bouwverordening - NEN 1089' is met deze comforteisen rekening gehouden door ventilatievoorzieningen die beneden 1,80 m boven vloerniveau in de gevel zijn gesitueerd, niet mee te rekenen bij de capaciteit van de nominale ventilatie.

De capaciteitseisen van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' en 'Bouwverordening - NEN 1089' zijn zodanig gesteld dat hiermee een concentratie van maximaal 1200 ppm kan worden gerealiseerd bij langdurig verblijf in de betreffende ruimte. De vereiste ventilatiehoeveelheid volgens Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' is afhankelijk van de bezettingsgraadklasse. In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de indeling in bezettingsgraadklassen.

**Tabel 3.1**

Bezettingsgraad in klassen afhankelijk van het aantal personen per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte aan verblijfsgebied conform Bouwbesluit 2003

Klasse	Bezettingsgraad in vloeroppervlakte aan verblijfsgebied
B1	1,3 m <sup>2</sup> of minder per persoon
B2	Meer dan 1,3 m <sup>2</sup> doch ten hoogste 3,3, m <sup>2</sup> per persoon
B3	Meer dan 3,3 m <sup>2</sup> docht ten hoogste 8,0 m <sup>2</sup> per persoon
B4	Meer dan 8,0 m <sup>2</sup> docht ten hoogste 20,0 m <sup>2</sup> per persoon
B5	Meer dan 20,0 m <sup>2</sup> per persoon

In leslokalen in het basisonderwijs is over het algemeen sprake van bezettingsgraadklasse B2. Bij kleine groepsgroottes - zoals bijvoorbeeld in het speciaal onderwijs – kan sprake zijn van bezettingsgraadklasse B3. Bij de beoordeling in hoeverre aan de wettelijk eisen wordt voldaan is uitgegaan van de bezettingsgraadklasse die gebaseerd is op het door de leerkracht opgegeven maximaal aantal leerlingen. Binnen de steekproef van 120 leslokalen vallen 15 lokalen (=12,5%) onder bezettingsgraadklasse B3. Het resterende deel (105 lokalen =87,5%) valt onder bezettingsgraadklasse B2.

Bij de toetsing aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit 2003 is om praktische redenen uitgegaan van de ventilatiecapaciteit die voor *verblijfsruimten* van toepassing is. Aan deze eis moet voor de betreffende leslokalen altijd worden voldaan. Voor een toetsing van de eis die aan de ventilatie van een verblijfsgebied wordt gesteld, zijn de gegevens benodigd van de indeling en oppervlakte van de verblijfsgebieden op basis waarvan destijds bouwvergunning is verleend. In dit onderzoek is het niet haalbaar geacht om deze gegevens te achterhalen.

In tabel 3.2 is de verdeling van de verschillende lokaaltypen over de verschillende eisen aangegeven. Uit tabel 3.2 valt af te leiden dat voor het merendeel van de onderzochte leslokalen (62,5%) geen hogere eisen van toepassing zijn dan het niveau van de bestaande bouw in Bouwbesluit 2003. Verder is uit deze tabel af te leiden dat de meerderheid binnen de groep leslokalen die moeten voldoen aan het niveau van de bestaande bouw, wordt ingenomen door de lokaaltypen 1 en 2.



In de groep leslokalen die aan het nieuwbouwniveau van Bouwbesluit 2003 dienen te voldoen (=30,8% van het aantal onderzochte leslokalen), zijn daarentegen met name de lokaaltypen 3 en 4 vertegenwoordigd.

**Tabel 3.2**

Overzicht toetsing ventilatiecapaciteit leslokalen – van toepassing zijnde eisen

Aanvraag bouwvergunning		vóór oktober 1986	tussen oktober 1986 en december 1995	Na december 1995	Totale steekproef
Wettelijke eisen		Niveau bestaande bouw Bouwbesluit 2003	Gemeentelijke Bouwverordening Functionele eisen Bouwbesluit NEN 1087 / NEN 1089	Bouwbesluit 2003 Nieuwbouw	
Percentage van 120 leslokalen	Type 1	30,8%	5,0%	1,7%	37,5%
	Type 2	18,3%	0,0%	2,5%	20,8%
	Type 3	10,0%	1,7%	15,0%	26,7%
	Type 4	3,3%	0,0%	11,7%	15,0%
	Totaal	62,5%	6,7%	30,8%	100,0%

In tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de resultaten van de toetsing van de capaciteit van ventilatievoorzieningen op basis van de wettelijke eisen die op grond van de verleende bouwvergunning van de betreffende leslokalen van toepassing zijn.

**Tabel 3.3**

Overzicht toetsing ventilatiecapaciteit leslokalen - percentage leslokalen dat wel en niet aan wettelijke eisen voldoet

Aanvraag bouwvergunning		Vóór oktober 1986	Tussen oktober 1986 en december 1995	Na december 1995	Totale steekproef
Wettelijke eisen		Niveau bestaande bouw Bouwbesluit 2003	Gemeentelijke Bouwverordening Functionele eisen Bouwbesluit NEN 1087 / NEN 1089	Bouwbesluit 2003 Nieuwbouw	
Percentage leslokalen dat <u>niet</u> aan wettelijke eisen voldoet (%)	type 1	0,0%	4,2%	0,0%	4,2%
	type 2	0,0%	0,0%	2,5%	2,5%
	type 3	0,0%	1,7%	11,7%	13,3%
	type 4	0,0%	0,0%	5,8%	5,8%
	totaal	0,0%	5,8%	20,0%	25,8%
Percentage leslokalen dat <u>wel</u> voldoet aan wettelijke eisen (%)		62,5%	0,8%	10,8%	74,2%

Uit tabel 3.3 blijkt dat voor alle leslokalen met een bouwvergunning van vóór 1986 aan de wettelijke eisen wordt voldaan.

Voor ca. 31% van de onderzochte leslokalen is het nieuwbouwniveau van Bouwbesluit 2003 van toepassing. Voor ca. 65% van deze leslokalen wordt niet aan deze eisen voldaan. Dit blijkt met name het gevolg te zijn van een te lage capaciteit van de mechanische ventilatie. Ook ontbreekt het in enkele gevallen aan toevoervoorzieningen die op een hoogte van ten minste 1,80 m boven vloerniveau zijn gesitueerd. Met name voor leslokalen met een mechanische afvoer (lokaaltype 3) waar tevens de nieuwbouweisen van toepassing zijn, is een aanzienlijk percentage dat niet aan deze eisen voldoet, namelijk 80%.

Voor leslokalen die moeten voldoen aan de eisen van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' en 'Bouwverordening - NEN 1089' geldt tevens dat de ventilatievoorzieningen in de gevel in meerdere standen instelbaar c.q. fijnregelbaar moeten zijn. Voor ca. 26% van de onderzochte leslokalen waarbij de toevoer plaatsvindt via voorzieningen in de gevel, blijken de voornoemde eisen van toepassing. Voor 52% van deze leslokalen waren de benodigde ventilatievoorzieningen niet of slechts ten dele fijnregelbaar als gevolg van het ontbreken van een fijnregeling op de te openen ramen. Hierdoor zijn de ramen niet op verschillende standen instelbaar, waardoor deze in het stookseizoen vaak gesloten zullen zijn omdat in geheel geopende toestand vaak tocht- en koudeklachten zullen ontstaan.

Samenvattend kan worden gesteld dat ca. 74% van de onderzochte leslokalen aan de wettelijke eisen voldoet, maar dat voor ca. 62% van de onderzochte leslokalen geen hogere eisen van toepassing zijn dan het niveau van de bestaande bouw in Bouwbesluit 2003. Voor de ca. 26% van de onderzochte leslokalen waar niet aan de wettelijke eisen wordt voldaan, geldt het wettelijke niveau van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' of 'Bouwverordening - NEN 1089'. Verder is gebleken dat voor ca. 69% van de leslokalen waar deze eisen van toepassing zijn, er niet aan de wettelijke eisen wordt voldaan.

### **3.3 Optredende CO<sub>2</sub>-concentraties**

Alvorens de resultaten van de metingen van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties worden besproken, zal eerst het begrip 'CO<sub>2</sub>-concentratie' nader worden toegelicht.

#### **3.3.1 Achtergrond CO<sub>2</sub>-concentratie**

De regelgeving inzake ventilatie van verblijfsruimten en verblijfsgebieden met een onderwijsfunctie is gebaseerd op de hoeveelheid door de mens geproduceerde verontreinigingen c.q. geurstoffen. Aangezien het menselijk metabolisme, de productie van geurstoffen en kooldioxide (CO<sub>2</sub>) goed aan elkaar zijn gerelateerd, is kooldioxide die mensen via ademhaling produceren, hierbij als maat gekozen. Kooldioxide is op zichzelf geen gevaarlijke stof, maar wordt gebruikt als indicator en *niet* als absolute maat voor de luchtkwaliteit.

De CO<sub>2</sub>-concentratie van de binnenlucht in stationaire toestand wordt bepaald door de CO<sub>2</sub>-concentratie van de buitenlucht, de productie van CO<sub>2</sub> in de ruimte zelf en de luchtuitwisseling tussen binnen en buiten. De CO<sub>2</sub>-concentratie van de buitenlucht varieert van ca. 350 ppm in een landelijke omgeving tot ca. 400 ppm in een stedelijke omgeving [26]. De door de mens geproduceerde CO<sub>2</sub> wordt met name door de lichaamsactiviteit bepaald.

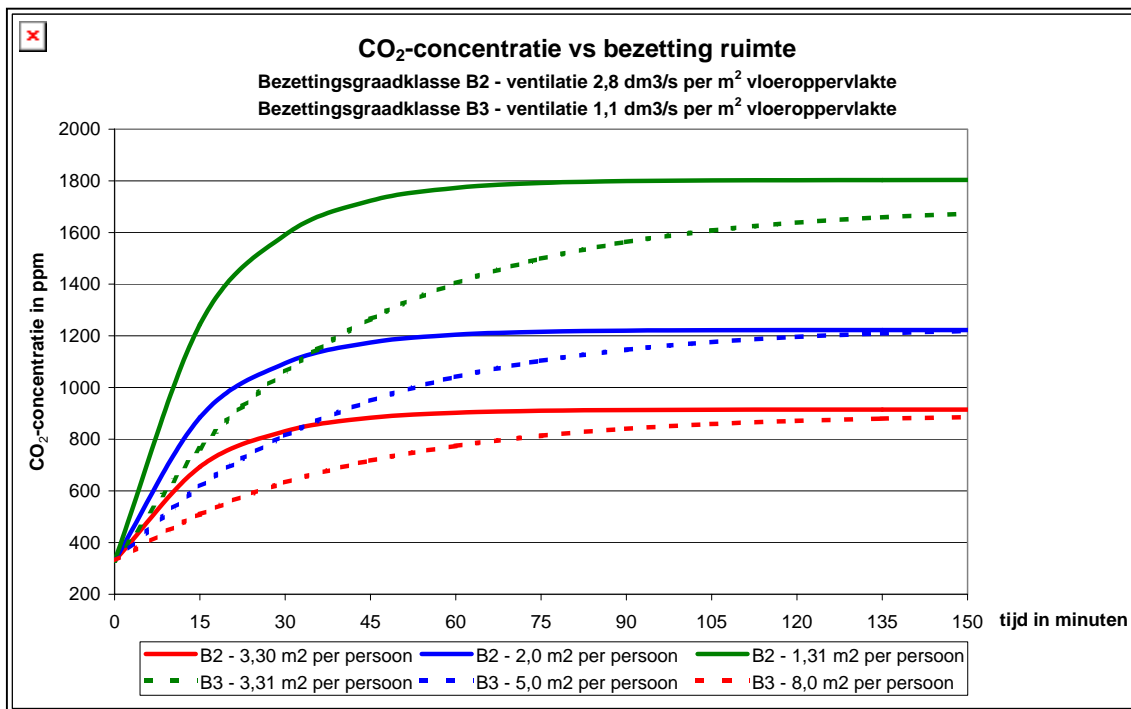
Als grenswaarde worden in verblijfsruimten CO<sub>2</sub>-waarden gehanteerd tussen 800 en 2000 ppm. In kantoren en woningen wordt een maximum van 1200 ppm als grenswaarde aangehouden. Bij een constant niveau van 1200 ppm zullen volgens [18] ca. 25% van de bezoekers van een ruimte de geurbelasting als onvoldoende beoordelen.

Ook bij het vaststellen van de eisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten volgens Bouwbesluit 2003 is uitgegaan van een maximum van 1200 ppm [16]. In deze rapportage wordt de grens van 1200 ppm daarom gehanteerd als een bovengrens. De eisen voor bestaande bouw zijn niet gerelateerd aan de kwaliteit van het binnenmilieu in termen van CO<sub>2</sub>-concentraties.

Naast geurstoffen neemt door de aanwezigheid van mensen tevens het gehalte aan micro-organismen in een ruimte toe. Op basis van verschillende onderzoeken blijkt er duidelijke relatie te bestaan tussen het CO<sub>2</sub>-gehalte van de lucht en het aantal bacteriën in de lucht. Er bestaan aanwijzingen dat de kans op o.a. infectieziekten lager wordt wanneer de ventilatie intensiever is dan in de bestaande normen is vastgelegd. Op basis hiervan heeft de GGD gezondheidkundige toetswaarden voor de ventilatie in scholen en kindercentra opgesteld [25]. Hierbij wordt uitgegaan van lagere grenswaarden voor de CO<sub>2</sub>-concentratie dan de grenswaarde van 1200 ppm waar de ventilatie-eisen voor onderwijsruimten volgens het Bouwbesluit op zijn gebaseerd.

Bij het vaststellen van de ventilatie-eisen is voor de berekening van de optredende CO<sub>2</sub>-niveaus uitgegaan van vaste rekenwaarden voor de bezetting [16]. Zo is voor klasse B2 een rekenwaarde van 2,0 m<sup>2</sup> per persoon aangehouden en is voor klasse B3 een rekenwaarde van 5,0 m<sup>2</sup> per persoon als uitgangspunt gehanteerd. Met deze rekenwaarde wordt een CO<sub>2</sub>-concentratie bereikt van maximaal ca. 1200 ppm. Uitgangspunt hierbij is een CO<sub>2</sub>-concentratie van de buitenlucht van 330 ppm en een CO<sub>2</sub>-productie per leerling van 18 l/h.

Figuur 3.1 toont dat als gevolg van de variatie van het aantal personen per m<sup>2</sup> er binnen bezettingsgraadklasse B2 en B3 theoretisch CO<sub>2</sub>-concentraties van 900 – 1800 ppm kunnen optreden, uitgaande van een ventilatiecapaciteit volgens de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit. Dit is het gevolg van het in het Bouwbesluit gehanteerde principe om uit te gaan van een bezettingsgraadklasse in plaats van een feitelijk aanwezig aantal personen in een gebouw.



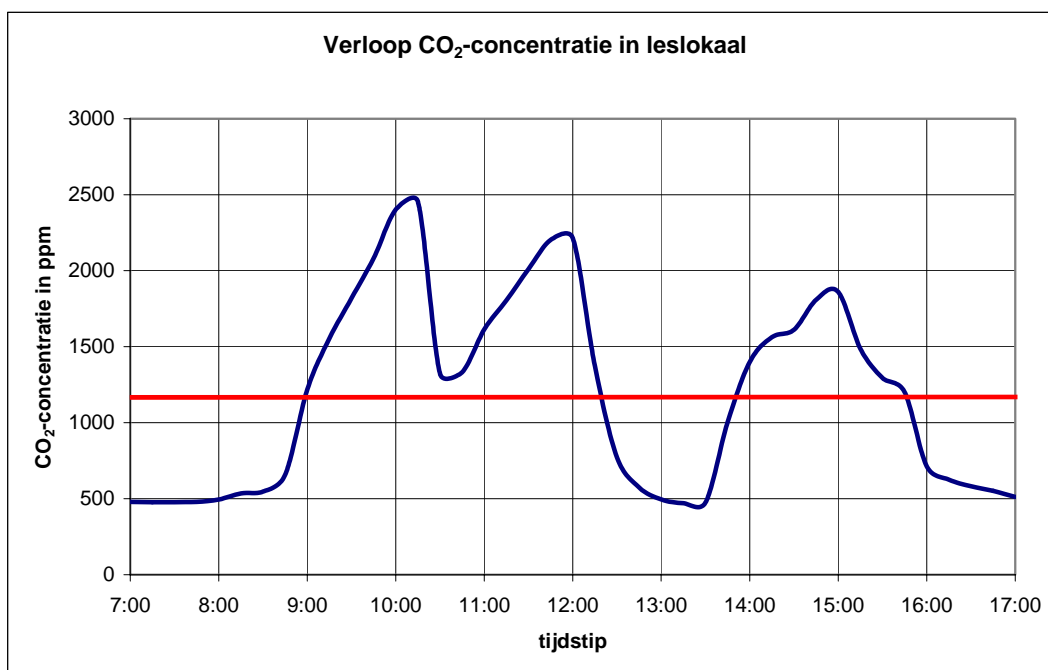
**Figuur 3.1**

Verloop CO<sub>2</sub>-concentratie<sup>1</sup> bij bezettingsgraadklasse B2 en B3 (ondergrens - rekenwaarde - bovengrens)

Bij het beoordelen van de luchtkwaliteit in een ruimte op basis van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties hoeft een CO<sub>2</sub>-concentratie van meer dan 1200 ppm dus niet te betekenen dat de ventilatiehoeveelheid lager is dan het nieuwbouwniveau van het Bouwbesluit. Er kan immers sprake zijn van een bezetting die hoger is dan de rekenwaarde voor de bezetting waar bij het vaststellen van de ventilatie-eisen vanuit is gegaan.

Een kenmerkend verloop van de CO<sub>2</sub>-concentratie in een willekeurig leslokaal gedurende de dag is weergegeven in figuur 3.2. De CO<sub>2</sub>-concentratie loopt hierbij na aanvang van de lessen relatief snel op tot een piekwaarde die bij aanvang van de eerste pauze wordt bereikt. Na de pauze is de CO<sub>2</sub>-concentratie aanzienlijk gedaald waarna deze wederom snel stijgt tot een piekwaarde bij aanvang van de middagpauze. De tijdsduur van (en de mogelijk verhoogde ventilatie tijdens) de middagpauze is in dit leslokaal zodanig dat de CO<sub>2</sub>-concentratie daalt tot een waarde vergelijkbaar met die van de buitenconcentratie. De derde piekwaarde van de dag wordt bereikt bij het einde van de lessen om 15.00 uur.

<sup>1</sup> Bij een CO<sub>2</sub>-productie van 18 l/h per leerling en een CO<sub>2</sub>-concentratie van de buitenlucht van 330 ppm



**Figuur 3.2**

Kenmerkend verloop CO<sub>2</sub>-concentratie in willekeurig leslokaal

### 3.3.2 Meetresultaten

In de onderzochte leslokalen is gedurende een periode van 4 lesweken de optredende CO<sub>2</sub>-concentratie geregistreerd. Op basis van de meetresultaten zijn over de gehele meetperiode de gemiddelde (P<sub>50</sub>-waarde) en maximale (P<sub>95</sub>-waarde) CO<sub>2</sub>-concentraties tijdens lestijd bepaald. Tabel 3.4 toont de gemiddelde waarden van de gemiddelde (P<sub>50</sub>-waarde) en maximale (P<sub>95</sub>-waarde) CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens lestijd voor de gehele steekproef en per lokaaltype.

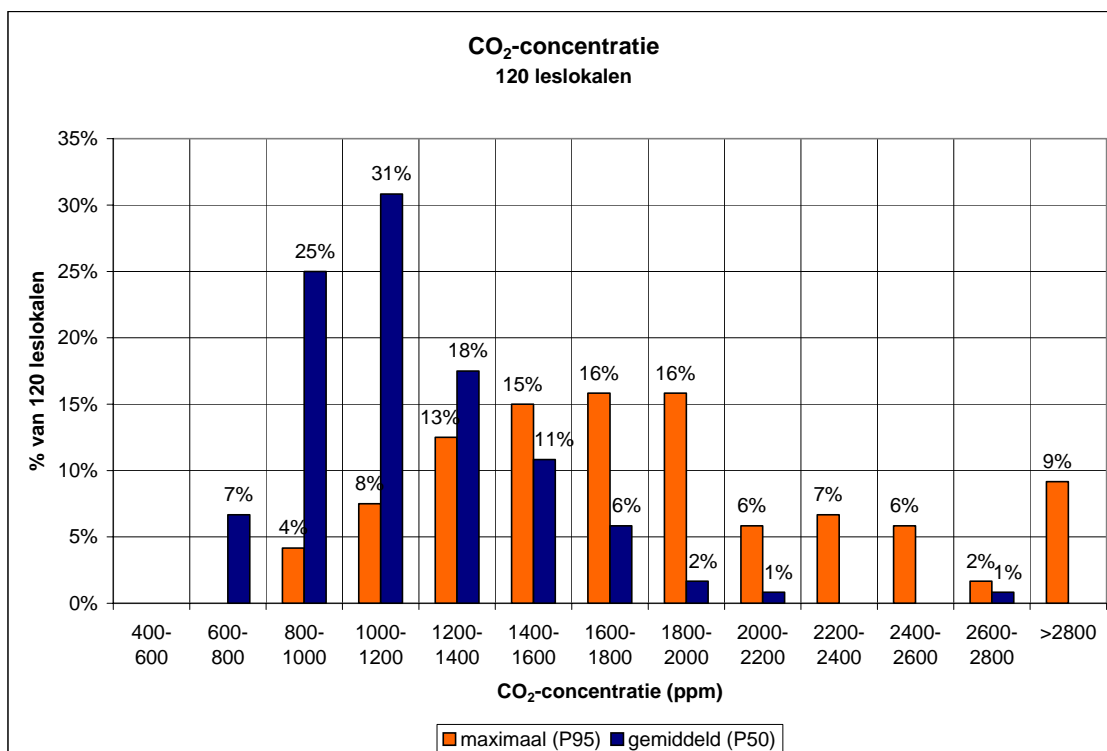
**Tabel 3.4**

Overzicht gemiddelde en maximale CO<sub>2</sub>-concentraties tijdens lestijd

CO <sub>2</sub> -concentratie	Alle leslokalen (n=120)	Lokaaltype 1 (n=45)	Lokaaltype 2 (n=25)	Lokaaltype 3 (n=32)	Lokaaltype 4 (n=18)
Gemiddeld (P <sub>50</sub> )	1164	1176	1298	1188	889
Maximaal (P <sub>95</sub> )	1811	1906	1983	1889	1164

Uit tabel 3.4 blijkt dat de gemiddelde en maximale CO<sub>2</sub>-concentraties in de lokaaltypen 1 en 3 nagenoeg met elkaar overeenstemmen en respectievelijk ca. 1180 ppm (gemiddelde P<sub>50</sub>-waarde) en ca. 1900 ppm (gemiddelde P<sub>95</sub>-waarde) bedragen. Bij lokaaltype 2 blijken er gemiddeld hogere CO<sub>2</sub>-concentraties op te treden en liggen de gemiddelde en maximale waarde ca. 100 ppm hoger. Bij lokaaltype 4 treden daarentegen aanmerkelijk lagere CO<sub>2</sub>-concentraties op. De gemiddelde en maximale CO<sub>2</sub>-concentraties bedragen hier respectievelijk 889 ppm (gemiddelde P<sub>50</sub>-waarde) en 1164 ppm (gemiddelde P<sub>95</sub>-waarde).

In figuur 3.3 is de verdeling van de gemiddelde en maximale concentraties weergegeven. Figuur 3.4 toont het percentage leslokalen waarbij een bepaalde gemiddelde of maximale concentratie wordt overschreden. In figuur 3.5 is voor de gehele steekproef en per lokaaltype het percentage van de lestijd weergegeven waarin een bepaalde CO<sub>2</sub>-concentratie wordt overschreden.

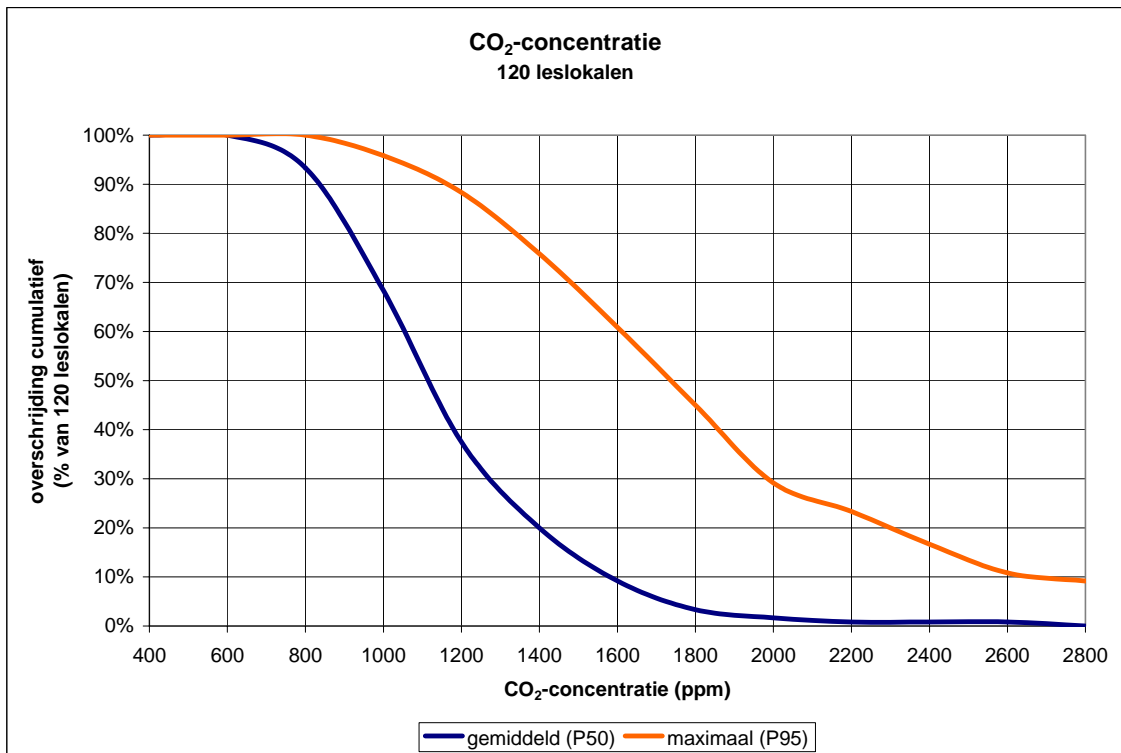


**Figuur 3.3**

Verdeling gemiddelde en maximale waarden van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties tijdens lestijd (CO<sub>2</sub>-klassen)

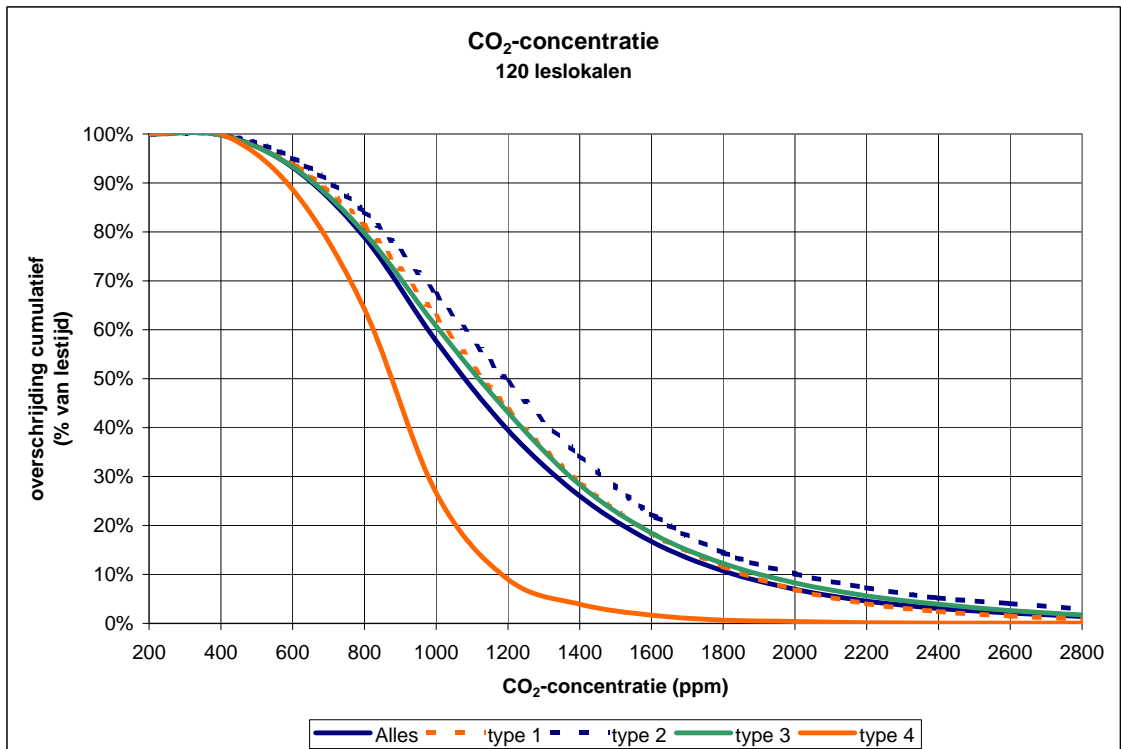
Op basis van de onderzoeksresultaten in de figuren 3.3 t/m 3.5 kan het volgende worden geconcludeerd:

- In ca. 88% van de onderzochte leslokalen bedraagt de maximale (P<sub>95</sub>) waarde van de CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens lestijd meer dan 1200 ppm.
- In ca. 38% van de onderzochte leslokalen bedraagt de gemiddelde waarde (P<sub>50</sub>) van de CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens lestijd meer dan 1200 ppm.
- Gemiddeld over alle 120 leslokalen blijkt dat gedurende ca. 39% van de lestijd een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie dan 1200 ppm is opgetreden. Voor lokaaltype 4 is dit echter maar voor ca. 9% van de lestijd het geval, terwijl dit bij de lokaaltypen 1 t/m 3 varieert van ca. 43% tot ca. 49% van de lestijd. Uit analyse van de meetdata is gebleken dat voor de leslokalen waar een CO<sub>2</sub>-concentratie van meer dan 1200 ppm is opgetreden, dit gemiddeld gedurende ca. 41% van de lestijd het geval is.



**Figuur 3.4**

Cumulatieve overschrijding (% van 120 leslokalen) van gemiddelde en maximale waarden van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties tijdens lestijd



**Figuur 3.5**

Cumulatieve overschrijding (% van lestijd) van de optredende CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens lestijd

In tabel 3.5 is het luchtvolume per leerling weergegeven dat op basis van de rekenwaarde van de in de steekproef voorkomende bezettingsgraadklassen (B2 en B3) kan worden bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt in de verschillende lokaaltypen en is uitgegaan van een hoogte van het leslokaal van 2,6 m. Deze waarden zijn vergeleken met de gemiddelde waarde van het luchtvolume per leerling tijdens de meetperiode (op basis van een gemiddelde en een maximale bezetting). De bezetting is gebaseerd op het door de leerkracht tijdens de meetperiode geregistreeerde aantal leerlingen per dagdeel.

**Tabel 3.5**

Overzicht luchtvolume per leerling

	Luchtvolume per leerling op basis van bezettingsgraadklasse [m <sup>3</sup> ]			Gemiddelde waarde luchtvolume per leerling in meetperiode [m <sup>3</sup> ]	
	ondergrens	bovengrens	rekenwaarde	Gemiddelde bezetting (P <sub>50</sub> )	Maximale bezetting (P <sub>95</sub> )
Alle leslokalen	4,0	10,1	<b>6,2</b>	8,9	<b>8,3</b>
Lokaaltype 1	4,2	10,5	<b>6,4</b>	9,3	<b>8,7</b>
Lokaaltype 2	4,4	11,0	<b>6,8</b>	9,4	<b>8,7</b>
Lokaaltype 3	3,4	8,6	<b>5,2</b>	7,6	<b>7,1</b>
Lokaaltype 4	4,2	10,6	<b>6,5</b>	9,6	<b>9,0</b>

Uit tabel 3.5 kan worden afgelezen dat in de onderzochte leslokalen de gemiddelde waarde van het luchtvolume per leerling op basis van de maximale bezetting 8,3 m<sup>3</sup> bedraagt. Op basis van de gemiddelde vloeroppervlakte (= 57 m<sup>2</sup>) en het gemiddelde volume (= 178 m<sup>3</sup>) van de onderzochte leslokalen is dit te herleiden tot een maximum bezetting van gemiddeld 22 leerlingen, hetgeen overeenstemt met een vloeroppervlakte van 2,6 m<sup>2</sup> per leerling.

Verder kan uit tabel 3.5 kan worden afgeleid dat de gemiddelde waarde van het luchtvolume per leerling tijdens de meetperiode voor alle lokaaltypen hoger is dan het luchtvolume dat op basis van de rekenwaarde van de bezettingsgraadklasse kan worden berekend. Er is dus voor geen van de lokaaltypen sprake geweest van een bezetting die hoger is dan de rekenwaarde voor de bezetting waar bij het vaststellen van de ventilatie-eisen van is uitgegaan. Op basis van het voorgaande kan dus worden geconcludeerd dat de oorzaak van een CO<sub>2</sub>-concentratie van meer dan 1200 ppm in het algemeen dus niet het gevolg blijkt van een hoge bezetting maar aan een onvoldoende ventilatiehoeveelheid dient te worden toegeschreven.

In figuur 3.5 is afgeleid dat de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties bij leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) in positieve zin afwijken van de overige lokaaltypen. Op basis van tabel 3.5 kan worden geconcludeerd dat het luchtvolume per leerling in lokaaltype 4 niet veel afwijkt van die in lokaaltypen 1 en 2. De betere prestatie van lokaaltype 4 is dus *niet* het gevolg van een bezetting die lager is dan in de lokaaltypen 1 en 2.



Voor lokaaltipe 3 blijkt het luchtvolume per leerling tijdens de meetperiode enigszins lager geweest dan die in de andere lokaaltipen. De consequentie hiervan op de optredende concentraties kan worden ingeschat op ca. 80-100 ppm.

De oorzaak van een optredende CO<sub>2</sub>-concentratie van meer dan 1200 ppm kan het gevolg zijn van:

- een bezetting die afwijkt van de rekenwaarde van respectievelijk 2,0 m<sup>2</sup> per persoon (bezettingsgraadklasse B2) en 5,0 m<sup>2</sup> per persoon (bezettingsgraadklasse B3);
- het niet voldoen aan de capaciteitseisen van het Bouwbesluit (nieuwbouw);
- een onvoldoende gebruik van de voorzieningen (gebruikersgedrag).

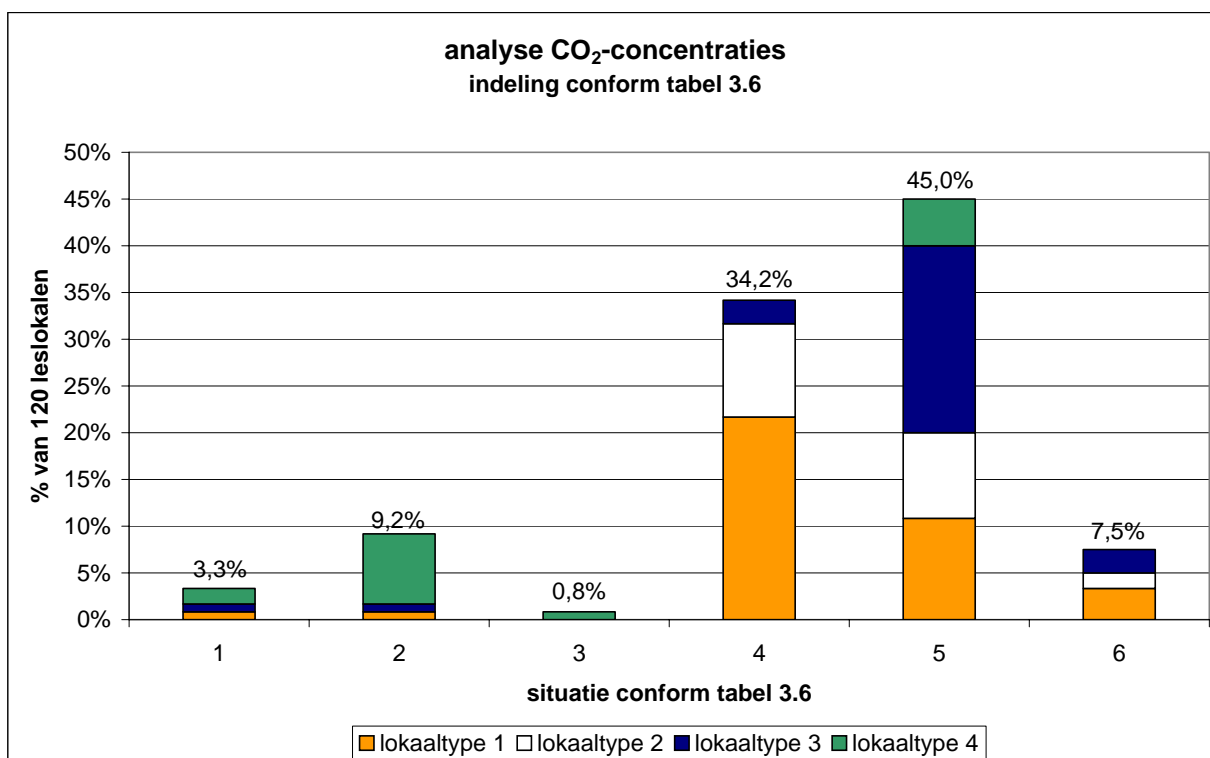
Voor alle leslokalen zijn de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties nader geanalyseerd, waarbij onderscheid is gemaakt in de in tabel 3.6 vermelde situaties.

**Tabel 3.6**

Gehanteerde indeling bij nadere analyse optredende CO<sub>2</sub>-concentraties

Situatie	CO <sub>2</sub> concentratie (P <sub>95</sub> -waarde)	capaciteit Bouwbesluit 2003 Nieuwbouw	Reden
1	≤ 1200	Voldoet niet	Bezetting lager dan rekenwaarde bezettingsgraadklasse
2	≤ 1200	Voldoet	
3	> 1200	voldoet	Bezetting hoger dan rekenwaarde bezettingsgraadklasse
4	> 1200	voldoet	Te geringe ventilatie door onvoldoende gebruik voorzieningen
5	> 1200	Voldoet niet	Te geringe ventilatie door niet voldoen aan capaciteitseisen veelal in combinatie met onvoldoende gebruik voorzieningen
6	> 1200	Voldoet niet	Te geringe ventilatie door niet voldoen aan capaciteitseisen en hogere bezetting dan rekenwaarde bezettingsgraadklasse, veelal in combinatie met onvoldoende gebruik voorzieningen

De resultaten van de nadere analyse van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties op basis van de indeling in tabel 3.6 is weergegeven in figuur 3.6 en tabel 3.7.



**Figuur 3.6**

Resultaten nadere analyse optredende CO<sub>2</sub>-concentraties op basis van indeling tabel 3.6

**Tabel 3.7**

Resultaten nadere analyse optredende CO<sub>2</sub>-concentraties op basis van indeling tabel 3.6

Situatie conform tabel 3.6	Alle 120 lokalen	Lokaaltype 1 (45 leslokalen)	Lokaaltype 2 (25 leslokalen)	Lokaaltype 3 (32 leslokalen)	Lokaaltype 4 (18 leslokalen)
1	3,3%	0,8%	0,0%	0,8%	1,7%
2	9,2%	0,8%	0,0%	0,8%	7,5%
3	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%
4	34,2%	21,7%	10,0%	2,5%	0,0%
5	45,0%	10,8%	9,2%	20,0%	5,0%
6	7,5%	3,3%	1,7%	2,5%	0,0%

Op basis van figuur 3.6 en tabel 3.7 kan het volgende worden geconcludeerd:

- Voor 12,5% van de onderzochte leslokalen is de maximale CO<sub>2</sub>-concentratie (P<sub>95</sub>-waarde) tijdens lestijd kleiner dan of gelijk aan 1200 ppm (situatie 1 en 2 in figuur 3.6 en tabel 3.7). Het betreft hier met name leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4). In 3,3% van de onderzochte leslokalen is de maximale CO<sub>2</sub>-concentratie (P<sub>95</sub>-waarde) tijdens lestijd kleiner dan of gelijk aan 1200 ppm, maar blijkt er niet te worden voldaan aan de capaciteiteisen van het 'Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw'. Voor deze leslokalen blijkt de lagere CO<sub>2</sub>-concentratie met name het gevolg van een lagere bezetting (situatie 1 in figuur 3.6 en tabel 3.7).

- Voor 87,5% van de onderzochte leslokalen bedraagt de maximale CO<sub>2</sub>-concentratie (P<sub>95</sub>-waarde) tijdens lestijd meer dan 1200 ppm (situatie 3 t/m 6 in figuur 3.6 en tabel 3.7). De reden hiervan bleek voor 86,7% van de onderzochte leslokalen een te geringe ventilatie (situatie 4 t/m 6 in tabel 3.7). In slechts 0,8% van de onderzochte leslokalen is een hogere waarde dan 1200 ppm toe te schrijven aan een hogere bezetting dan de rekenwaarde waar bij het vaststellen van de ventilatie-eisen vanuit is gegaan (situatie 3 in figuur 3.6 en tabel 3.7).
- Voor 34,2% van de onderzochte leslokalen bleek de te geringe ventilatie het gevolg te zijn van een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen (situatie 4 in figuur 3.6 en tabel 3.7). De aanwezige ventilatievoorzieningen bleken voor deze situatie wél aan de capaciteitseisen van het 'Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw' te voldoen en ook was er geen sprake van een hoge bezetting. Het betreft hier met name leslokalen met een natuurlijke toe- en afvoer (lokaaltype 1 en 2). In het merendeel van deze leslokalen bleken de aanwezige te openen ramen niet te zijn voorzien van een fijnregeling.
- Voor 55,8% van de onderzochte leslokalen komt de capaciteit van de ventilatievoorzieningen niet overeen met het prestatieniveau waarmee een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm kan worden bereikt (situatie 1, 5 en 6 in figuur 3.6 en tabel 3.7). Veelal was hierbij tevens sprake van een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen. In 7,5% van de onderzochte leslokalen deed zich hierbij tevens een hogere bezetting voor.

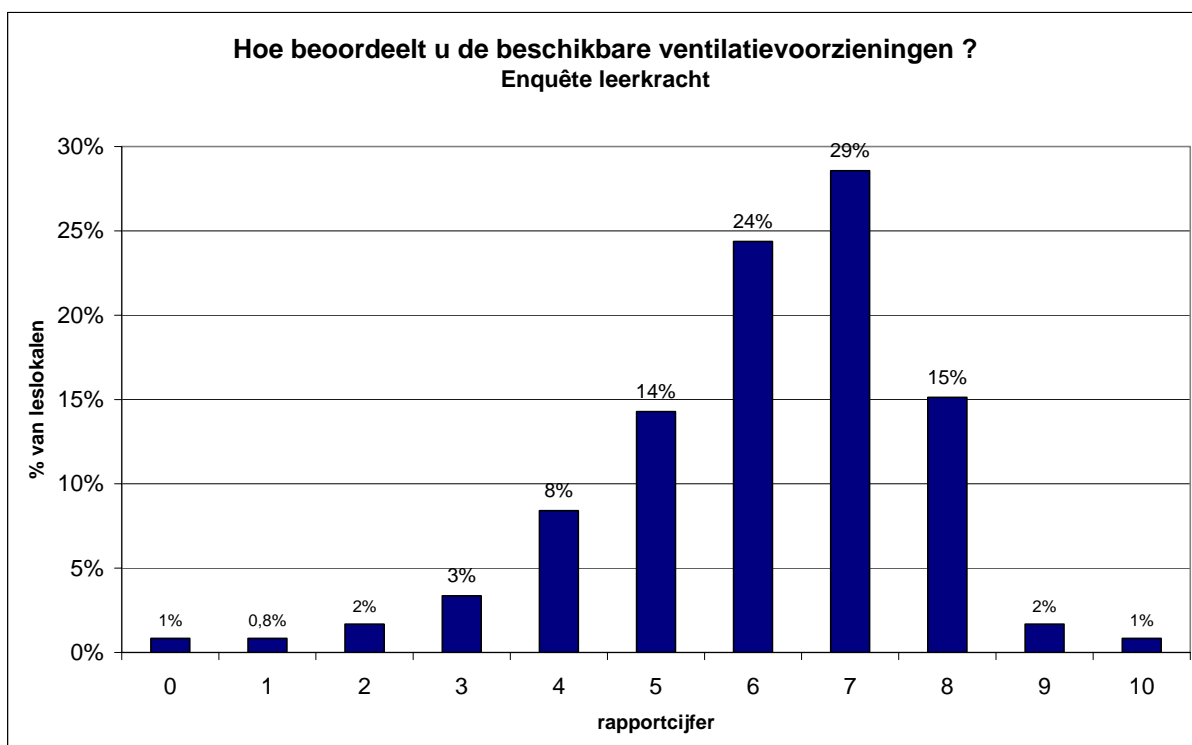
In nagenoeg alle leslokalen met een mechanische afvoer (lokaaltype 3) blijkt het niet voldoen aan de capaciteitseisen van Bouwbesluit 2003 (nieuwbouw) toe te schrijven te zijn aan een te geringe capaciteit van de mechanische afvoer waarbij in ca. 50% van de situaties tevens sprake is van onvoldoende toevoorzieningen in de gevel op een hoogte van ten minste 1,80 m.

### **3.4 Enquête gebruik ventilatievoorzieningen**

In het onderzoek is bij de leerkrachten van de onderzochte leslokalen een enquête afgenomen met vragen over het gebruik van de ventilatievoorzieningen. De resultaten van deze enquête zijn weergegeven in tabel 3.8 en figuur 3.7.

**Tabel 3.8****Resultaten enquête gebruik ventilatievoorzieningen**

Vragen	Mogelijkheden keuze	Resultaten				
		Alle	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Hoe beoordeelt u de beschikbare ventilatievoorzieningen ?	Gemiddeld rapportcijfer	6,1	6,2	6,1	5,9	6,2
Heeft u bij het gebruik van de ventilatievoorzieningen hinder van tocht / koude ?	Vaak	25%	36%	16%	28%	6%
	Soms	34%	36%	40%	47%	0%
	Nooit	40%	29%	44%	25%	94%
Heeft u bij het gebruik van de ventilatievoorzieningen hinder van buitengeluid ?	Vaak	8%	7%	12%	13%	0%
	Soms	28%	27%	40%	25%	17%
	Nooit	64%	67%	48%	63%	83%
Heeft u hinder van geluid van het mechanisch ventilatiesysteem ?	Vaak	-	-	-	3%	12%
	Soms	-	-	-	13%	18%
	Nooit	-	-	-	84%	71%
Zijn de voorzieningen qua aantal en grootte toereikend om een prettig klimaat in de klas te hebben?	Ja	71%	76%	76%	69%	53%
	Nee	29%	24%	24%	31%	47%
Zijn er momenten dat u de ventilatie dichtzet of uitschakelt ?	Vaak	22%	29%	12%	22%	17%
	Soms	42%	53%	44%	41%	11%
	Nooit	37%	18%	44%	38%	72%
Zo ja, is dat bij koud weer, harde wind ?	Ja	59%	78%	56%	56%	18%
	Nee	41%	22%	44%	44%	82%
Zo ja, is dat wanneer het buiten lawaaïg is ?	Ja	22%	22%	28%	25%	6%
	Nee	78%	78%	72%	75%	94%
Welke stand van de klep/uitzetramen komt in de winter het meest voor?	Gesloten	32%	22%	28%	38%	50%
	Kierstand 2-5 cm	37%	49%	32%	28%	28%
	100% open	23%	27%	32%	16%	17%
	N.v.t	8%	2%	8%	19%	6%
Welke stand van de ventilatieroosters komt in de winter het meest voor?	Gesloten	-	-	24%	9%	-
	50% open	-	-	4%	9%	-
	100% open	-	-	52%	53%	-
	N.v.t	-	-	20%	28%	-



**Figuur 3.7**

Enquête leerkracht: Hoe beoordeelt u de beschikbare ventilatievoorzieningen ?

Uit figuur 3.7 blijkt dat 71% van de leerkrachten de beschikbare ventilatievoorzieningen als voldoende beoordeeld (rapportcijfer 6 of hoger). Het over alle leslokalen gemiddelde rapportcijfer bedroeg 6,1. Uit tabel 3.8 blijkt dat er weinig verschil is tussen de beoordeling van de ventilatievoorzieningen van de verschillende lokaaltypen, deze varieert van 5,9 tot 6,2.

Verder kan uit tabel 3.8 het volgende worden afgeleid:

- Bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht geeft 56% (lokaaltype 2) tot 75% (lokaaltype 3) van de leerkrachten aan vaak of soms hinder van tocht / koude te ervaren bij gebruik van de ventilatievoorzieningen. Het percentage leerkrachten bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht dat aangeeft vaak of soms hinder van buitengeluid te ervaren bij gebruik van de ventilatievoorzieningen is lager, en bedraagt 38% (lokaaltype 3) tot 52% (lokaaltype 2).
- Bij lokalen met een mechanische afvoer (lokaaltype 3) is het percentage leerkrachten dat vaak of soms hinder van het geluid van het ventilatiesysteem ervaart, beperkt tot 16%. Bij lokalen met een mechanische toe- en afvoer is dit aanzienlijk meer, te weten 30%.
- Bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht geeft 69% tot 76% van de leerkrachten aan dat de ventilatievoorzieningen qua aantal en grootte toereikend zijn om een prettig klimaat in de klas te hebben. Opmerkelijk is dat dit percentage bij lokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) aanzienlijk lager is, te weten 53%.

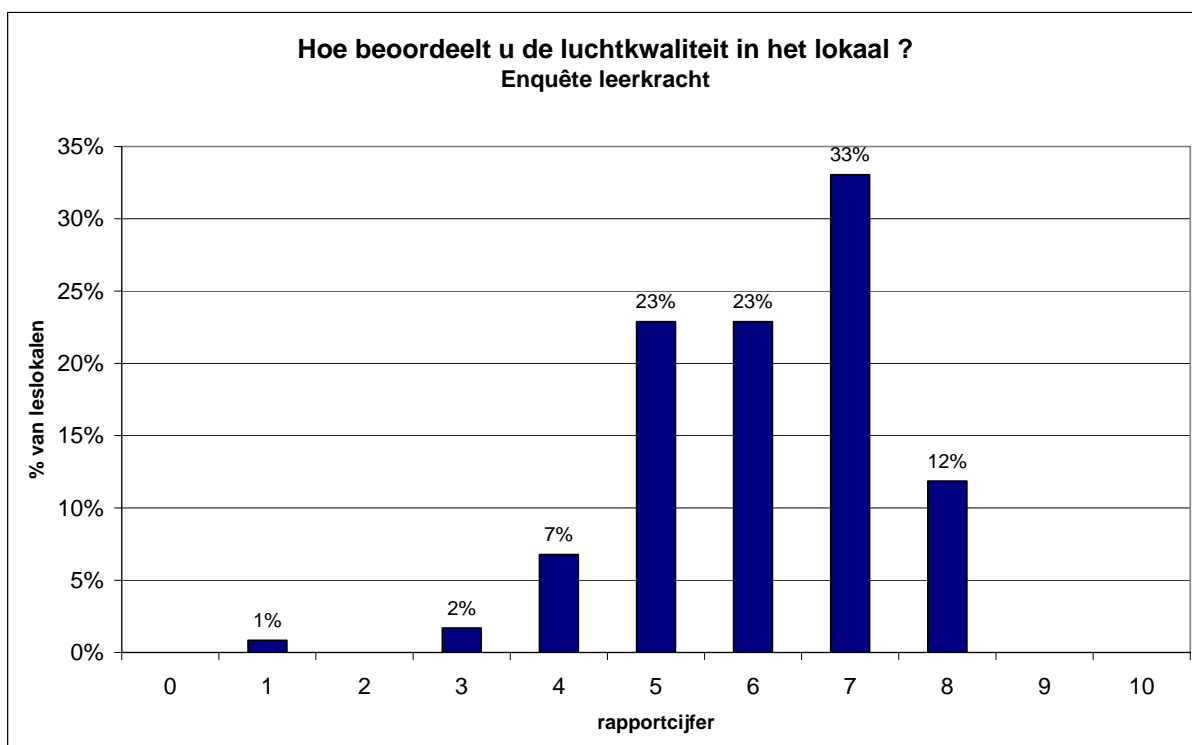
- Bij lokalen van het type 1 (natuurlijke toe- en afvoer via klep- en uitzetramen) geeft 82% van de leerkrachten aan dat de ventilatievoorzieningen vaak of soms worden gesloten, met name als gevolg van koud weer en harde wind (78%) en in mindere mate als gevolg van buitengeluid (22%). Bij lokalen van het type 2 en 3 is het percentage leerkrachten dat aangeeft de ventilatievoorzieningen soms of vaak te sluiten lager dan in lokalen van het type 1, te weten 56% (type 2) en 63% (type 3). Ook hier is het sluiten van de voorzieningen met name het gevolg van de weerscondities buiten (56%) en in minder mate het gevolg van buitengeluid (25 tot 28%).
- Bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht geeft 22% tot 38% van de leerkrachten aan de klep- en uitzetramen in de winterperiode meestal gesloten te houden, terwijl 28% tot 49% van de leerkrachten aangeeft dat de klep- en uitzetramen in de winterperiode meestal op een kierstand zijn geopend. Opmerkelijk is dat 28% van de leerkrachten van de lokalen met een geheel mechanische ventilatie aangeeft gedurende de winter meestal de aanwezige klep- en uitzetramen op een kierstand geopend te hebben. Er wordt dus in 28% van de lokalen met een geheel mechanische ventilatie gedurende het stookseizoen aanvullend geventileerd door het openen van ramen in de gevel.
- Bij lokalen waar de toevoer van ventilatielucht (deels of geheel) via ventilatieroosters in de gevel plaatsvindt, geeft ca. 52% van de leerkrachten aan de ventilatieroosters in het stookseizoen meestal geheel geopend te hebben.

Uit de resultaten bleek dat het percentage van de leerkrachten dat aangaf dat de ventilatievoorzieningen qua aantal en grootte toereikend zijn, bij leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) lager te zijn dan bij de overige lokaaltypen. Mogelijke reden hiervan is dat de leerkrachten bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht de hoeveelheid ventilatie zelf meer kunnen beïnvloeden dan leerkrachten in lokalen met een geheel mechanische ventilatie.

### **3.5 Beoordeling luchtkwaliteit leerkrachten**

Voorafgaand aan de CO<sub>2</sub>-metingen is bij de leerkrachten van de onderzochte leslokalen een enquête afgenomen met vragen over de beleving van de luchtkwaliteit. De resultaten van deze enquête zijn weergegeven in figuur 3.8 en tabel 3.9.

Uit figuur 3.8 blijkt dat in ca. 68% van de leslokalen de luchtkwaliteit als toereikend (rapportcijfer 6 of hoger) wordt ervaren. In 32% van de leslokalen wordt de luchtkwaliteit als onvoldoende beoordeeld (rapportcijfer 5 of lager).



**Figuur 3.8**

Enquête leerkracht: Hoe beoordeelt u de kwaliteit van de binnenlucht in het leslokaal?

**Tabel 3.9**

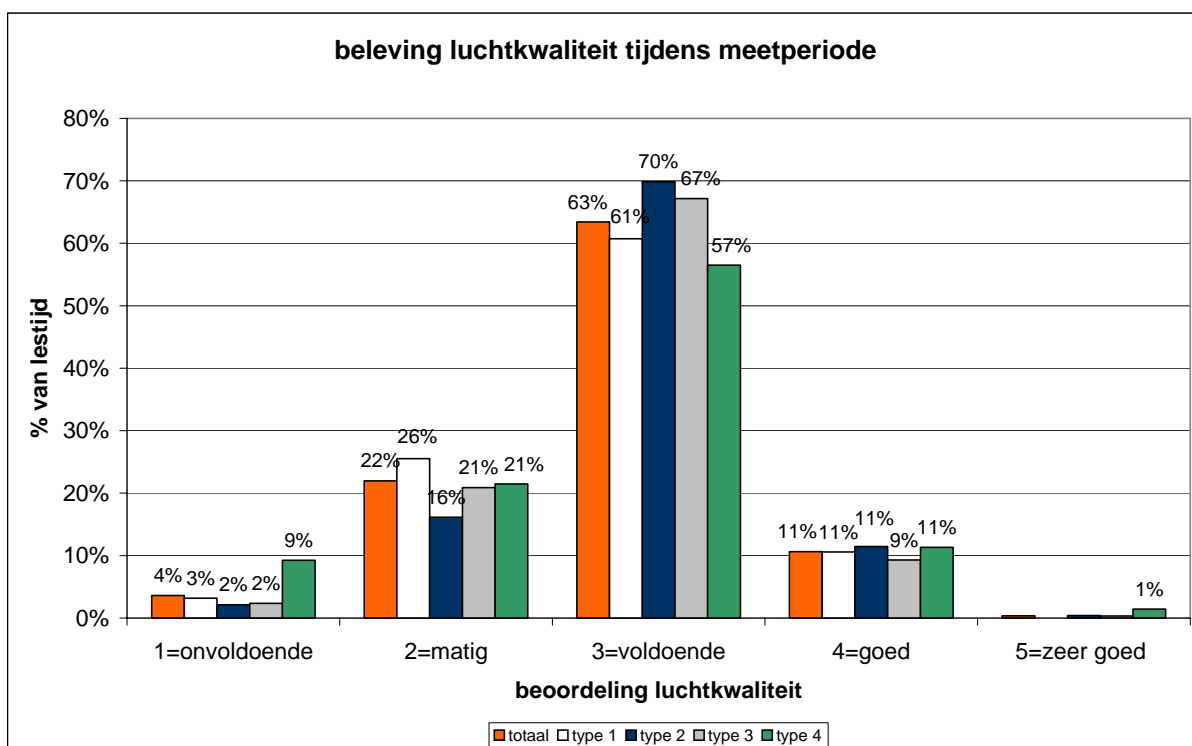
Resultaten enquête beleving luchtkwaliteit

Vragen	Mogelijkheden keuze	Resultaten				
		Alle	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Hoe beoordeelt u de kwaliteit van de binnenlucht in het leslokaal?	Gemiddeld rapportcijfer	6,0	6,4	5,9	5,9	5,6
Ervaart u de lucht in het lokaal als bedompt en benauwd	Vaak	29%	20%	24%	47%	25%
	Soms	41%	44%	56%	31%	25%
	Nooit	31%	36%	20%	22%	50%

Opmerkelijk is dat uit tabel 3.9 kan worden afgelezen dat de laagste beoordeling van de kwaliteit van de binnenlucht wordt gegeven door de leerkrachten van leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltipe 4), terwijl uit de verrichte CO<sub>2</sub>-metingen is gebleken dat juist in deze lokalen de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties aanmerkelijk lager waren dan in de andere lokaaltipen. Dit bevestigt ook het eerder uit tabel 3.8 verkregen beeld dat bij de mate waarin de leerkrachten de aanwezige ventilatievoorzieningen qua aantal en grootte toereikend beoordeelden, de score van leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltipe 4) lager was dan die van de andere lokaaltipen.

Enigszins tegenstrijdig hiermee wordt de lucht in leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) door 50% van de leerkrachten soms of vaak als bedompt en benauwd ervaren terwijl dit percentage bij de andere lokaaltypen hoger ligt, te weten 64% (lokaaltype 1) tot 80% (lokaaltype 2).

Tijdens de meetperiode heeft de leerkracht per dagdeel een beoordeling gegeven van de optredende luchtkwaliteit. Figuur 3.9 toont de resultaten hiervan.

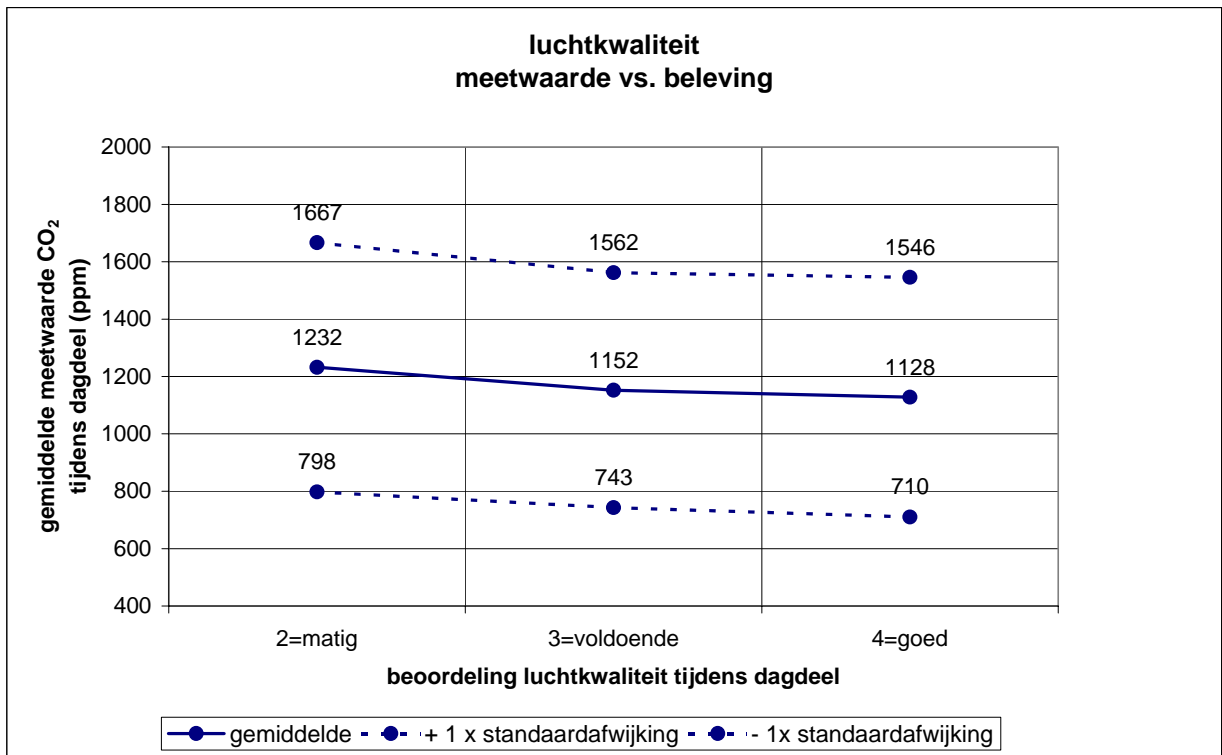


**Figuur 3.9**  
Beoordeling luchtkwaliteit door leerkracht tijdens meetperiode

Gemiddeld voor alle leslokalen werd gedurende 26% van de lestijd de luchtkwaliteit als ontoereikend (onvoldoende of matig) ervaren. Ook blijkt uit figuur 3.8 dat de tijdens de meetperiode ervaren luchtkwaliteit in leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) niet beter is dan die van de andere lokaaltypen, terwijl in dit type leslokalen tijdens de meetperiode wél lagere CO<sub>2</sub>-concentraties zijn gemeten.

Verder is nagegaan in hoeverre er een relatie bestaat tussen de beoordeling van de luchtkwaliteit tijdens een dagdeel (ochtend of middag) en de gemiddelde meetwaarde van de CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens dit dagdeel. In figuur 3.10 zijn de resultaten hiervan weergegeven, waarbij de beoordelingen 'onvoldoende' en 'zeer goed' zijn weggelaten omdat uit figuur 3.9 kan worden afgeleid dat het aantal registraties van deze beoordelingen zeer gering is.





**Figuur 3.10**

Relatie tussen de beoordeling van de luchtkwaliteit dagdeel door de leerkracht (matig, voldoende, goed) en de gemiddelde meetwaarde van de CO<sub>2</sub>-concentratie ( $\pm 1$  x standaardafwijking) tijdens dit dagdeel

Uit figuur 3.10 kan worden afgeleid dat er slechts een geringe relatie valt af te leiden tussen de door de leerkracht beoordeelde luchtkwaliteit en de optredende luchtkwaliteit. Ook uit andere onderzoeken is bekend dat gebruikers van een ruimte nagenoeg geen verschil tussen een CO<sub>2</sub>-concentratie van 800 ppm of 1500 ppm bemerken [27]. Op basis van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het voor een leerkracht niet eenvoudig is om op basis van eigen perceptie de daadwerkelijke luchtkwaliteit te bepalen, maar dat hiervoor hulpmiddelen benodigd zijn.

### 3.6 Inschatting maatregelen en kosten

In het navolgende is een overzicht gegeven van maatregelen die nodig zijn om een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm. Tevens is op basis van ervaringsgegevens een globale inschatting van de kosten (materiaal en arbeid) van deze maatregelen gegeven.

Omdat de omvang van de maatregelen per leslokaal kan variëren is bij de inschatting van de kosten een onder- en bovengrens aangegeven. Verder is op basis van een schatting van het aantal leslokalen waarbij een specifieke maatregel van toepassing is, de totale kosten voor de gemiddelde situatie per type leslokaal bepaald. Benadrukt wordt dat deze totale kosten indicatief zijn en afhankelijk van de specifieke situatie per leslokaal sterk kunnen verschillen en mogelijk een veelvoud kunnen bedragen van de aangegeven kosten voor de gemiddelde situatie.

Als gevolg van het in het Bouwbesluit 2003 gehanteerde principe om uit te gaan van een bezettingsgraadklasse in plaats van een feitelijk aanwezig aantal personen in een gebouw, kunnen er door een variatie van het aantal personen per m<sup>2</sup> theoretisch CO<sub>2</sub>-concentraties tot 1800 ppm optreden, terwijl de ventilatiecapaciteit voldoet aan de nieuwbouweisen van Bouwbesluit 2003. Om in bestaande en nieuw te bouwen leslokalen een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm te bewerkstelligen dient om deze reden een duidelijke limiet te worden gesteld aan het maximum aantal leerlingen per leslokaal. Dit maximum aantal leerlingen dient op basis van de capaciteit van de in het leslokaal aanwezige ventilatievoorzieningen te worden vastgesteld. De bepaling van deze capaciteit dient te geschieden op grond van de *nieuwbouweisen* van Bouwbesluit 2003 (NEN 1087).

Een alternatief voor de genoemde limitering van het aantal leerlingen per leslokaal is de ventilatie-eisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten aan te passen en deze te baseren op een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm bij de hoogste bezetting die binnen een bezettingsgraadklasse is toegestaan.

### **3.6.1 Natuurlijke toe- en afvoer (lokaaltype 1 en 2)**

Het aandeel van de leslokalen in Nederland waarbij de ventilatie op geheel natuurlijke wijze geschiedt door het openen van ramen en/of ventilatieroosters in de gevel, is vooraf door LBP ingeschat op ca. 60%.

Uit de analyse van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties (figuur 3.6 en tabel 3.7) is gebleken dat er in nagenoeg alle onderzochte leslokalen van dit type hogere CO<sub>2</sub>-waarden dan 1200 ppm optreden als gevolg van een te geringe ventilatie door:

- een onvoldoende gebruik van de aanwezige voorzieningen door de leerkracht;
- het niet voldoen aan de capaciteitseisen conform Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw.

Om in lokaaltype 1 en 2 een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm, dient er aan de volgende voorwaarden te worden voldaan.

1. de ventilatievoorzieningen dienen qua inrichting en capaciteit te voldoen aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit.
2. de ventilatievoorzieningen dienen door de leerkracht zodanig te worden gebruikt dat er gemiddeld acceptabele luchtcondities worden verkregen.

#### Ad 1

Uit het onderzoek is gebleken dat in 43% van de onderzochte leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie (lokaaltype 1 en 2) hogere CO<sub>2</sub>-concentraties dan 1200 ppm optreden doordat de aanwezige capaciteit van de voorzieningen niet voldoet aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit (tabel 3.7). De oorzaak hiervan is het ontbreken van voldoende voorzieningen in de gevel op een hoogte van ten minste 1,80 m boven vloerniveau. Verder is gebleken dat voor het merendeel van de scholen waar de ventilatie geheel of deels via te openen ramen plaatsvindt, deze ramen niet of slechts ten dele in meerdere standen zijn in te stellen. Bij leslokalen waar de ventilatie geheel of deels via ventilatieroosters plaatsvindt is gebleken dat de ventilatieroosters vaak zijn vervuild en/of de mogelijkheden voor een goede bediening ontbreken.

Als minimum dient te worden uitgegaan van de volgende maatregelen:

- a. Te openen ramen dienen voldoende groot te zijn en ten minste 1,80 m doch bij voorkeur 2,40 m boven vloerniveau te zijn gesitueerd;
- b. Te openen ramen dienen te zijn voorzien van een fijnregeling (bijvoorbeeld een spindel) waarmee de opening traploos kan worden ingesteld en op meerdere standen kan worden vastgezet.
- c. De aanwezige ventilatieroosters dienen functioneel te zijn (gereinigd en bedienbaar) en op een hoogte van ten minste 1,80 m in de gevel te zijn gesitueerd. Bij vervanging dient bij voorkeur uit te worden gegaan van zelfregelende roosters<sup>2</sup>, waarvan de geluidisolatie is afgestemd op het voldoen aan de volgens Bouwbesluit 2003 vereist karakteristieke geluidwering van de gevel.

#### Ad 2

Kenmerk van de leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie (lokaaltype 1 en 2) is dat de ventilatie en de hiermee samenhangende luchtkwaliteit in het geheel wordt bepaald door het gebruik van de aanwezige ventilatievoorzieningen door de leerkracht. Uit de onderzoeksresultaten is gebleken dat er in 54% van de onderzochte leslokalen van dit type hogere concentraties dan 1200 ppm optreden als gevolg van een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen door de leerkracht (tabel 3.7). Met name bij koud weer, harde wind en/of lawaaiige buitencondities is het bij deze lokaaltypen om deze reden niet uit te sluiten dat tijdelijk CO<sub>2</sub>-concentraties van meer dan 1200 ppm zullen optreden. Wel bestaat bij lokalen van het type 1 en 2 de mogelijkheid om een daggemiddelde ventilatie te bereiken die overeenkomt met een gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm.

Als minimum dient hiertoe te worden uitgegaan van de volgende maatregelen:

- a. Per leslokaal dient een duidelijk instructie van het gebruik van de ventilatievoorzieningen aanwezig te zijn, waarin zowel aandacht wordt besteed aan de mogelijkheden en het belang van een toereikende ventilatie tijdens lestijd, als aan de mogelijkheden en het belang van een verhoogde spuiventilatie tijdens de pauzes.

2 Zelfregelende roosters bezitten de eigenschap om onafhankelijk van het drukverschil over het rooster een min of meer constante luchtstroom door te laten. Hierdoor is het mogelijk om de toe te voeren luchthoeveelheid onafhankelijk van de weerscondities binnen zekere grenzen te beheersen.

- b. Per leslokaal dient de optredende CO<sub>2</sub>-concentratie voor de leerkracht inzichtelijk te zijn en dient de leerkracht te beschikken over een duidelijke instructie over wanneer en hoe de ventilatie op basis van de gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie dient te worden verhoogd.

Cruciale voorwaarde voor een daadwerkelijk gebruik van de aanwezige ventilatievoorzieningen is de realisatie van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, zal ondanks de hiervoor aangegeven maatregelen onvoldoende waarborg op een toereikende luchtkwaliteit bestaan. Hiertoe dient door de betrokken architecten en adviseurs aandacht te worden besteed aan een zorgvuldige positionering, dimensionering en detaillering van de toevoervoorzieningen in de gevel. De mogelijkheden en oplossingen zijn situatieafhankelijk en kunnen mogelijk tot hogere kosten leiden dan in tabel 3.10 is aangegeven. Vanuit de overheid zouden hiervoor voorbeelden en richtlijnen kunnen worden uitgewerkt. De (nieuwe versie van) NPR 1090 zou hier mogelijk een rol in kunnen vervullen.

**Tabel 3.10**

Overzicht maatregelen en indicatie kosten lokaaltype 1 en 2

Maatregel		Schatting van % leslokalen binnen lokaaltype 1 en 2	Indicatie kosten in € (materiaal en arbeid)	
Nr.	Omschrijving		Minimaal	maximaal
1a	Aanpassen grootte en situering te openen ramen	45%	200	1.000
1b	Fijnregeling te openen ramen (bijvoorbeeld een spindel)	90%	400	800
1c	functioneel maken (gereinigd en bedienbaar) ventilatieroosters / eventueel verplaatsen naar een hoogte van ten minste 1,80 m in de gevel / bij vervanging uitgaan van 'zelfregelende' roosters met voldoende geluidisolatie	30%	100	800
2a	Instructie gebruik voorzieningen	100%	50	75
2b	CO <sub>2</sub> -meter met uitleesvenster voorzien van gebruiksinstructie	100%	200	250
Indicatie totale kosten voor gemiddeld leslokaal van het type 1 en 2			750	1.750

Voor nieuw te bouwen scholen wordt in het algemeen geen geheel natuurlijke ventilatie meer toegepast. Bij renovatie van leslokalen van het type 1 en 2 zou dan ook aandacht moeten worden besteed aan de realisatie van een ventilatie die minder afhankelijk is van het gebruik van de voorzieningen door de leerkracht, bijvoorbeeld door de afvoer van ventilatielucht vanuit de leslokalen mechanisch te laten plaatsvinden. De aanvullende kosten hiervan worden geraamd op ca. € 2.000,- per leslokaal.

### **3.6.2 Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (lokaaltype 3)**

Het aandeel van de leslokalen in Nederland waarbij de ventilatie op basis van een natuurlijke toevoer via de gevel en een mechanische afvoer geschiedt, is vooraf door LBP ingeschat op ca. 35%. Uit de analyse van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties (tabel 3.7) is gebleken dat in 85% van dit lokaaltype hogere CO<sub>2</sub>-waarden dan 1200 ppm optreden als gevolg van een geringe ventilatie doordat niet wordt voldaan aan de capaciteitseisen conform Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw, veelal in combinatie met een onvoldoende gebruik van de aanwezige voorzieningen door de leerkracht.

Om in lokaaltype 3 een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm dient er aan de volgende voorwaarden te worden voldaan.

3. de ventilatievoorzieningen dienen qua inrichting en capaciteit te voldoen aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit.
4. de ventilatievoorzieningen dienen door de leerkracht zodanig te worden gebruikt dat er acceptabele luchtcondities worden verkregen.

#### **Ad 3**

Uit het onderzoek is gebleken dat in 85% van dit type de aanwezige capaciteit van de voorzieningen niet voldoet aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit (tabel 3.7). De oorzaak hiervan is in nagenoeg alle situaties een onvoldoende mechanische afvoer waarbij in het ca. 50% van de situaties tevens ontbreekt aan voldoende voorzieningen in de gevel op een hoogte van ten minste 1,80 m boven vloerniveau. Conform de situatie bij lokaaltype 1 en 2 geldt ook hier dat voor het merendeel van de scholen waar de ventilatie geheel of deels via te openen ramen plaatsvindt (ca. 60% van het aantal leslokalen van het type 3), deze ramen niet of slechts ten dele in meerdere standen zijn in te stellen. Bij leslokalen waar de ventilatie deels of geheel via ventilatieroosters plaatsvindt (ca. 70% van het aantal leslokalen van het type 3) is gebleken dat de ventilatieroosters vaak zijn vervuild en/of de mogelijkheden voor een goede bediening ontbreken.

Concreet dient uit te worden gegaan van de volgende maatregelen:

- a. de mechanische afvoer dient zodanig te worden hersteld dat aan de capaciteitseisen van het Bouwbesluit 2003 (nieuwbouw) wordt voldaan en het geluidniveau ten gevolge van het ventilatiesysteem bij de vereiste nominale capaciteit is beperkt tot maximaal 35 dB(A);
- b. de te openen ramen dienen voldoende groot te zijn en ten minste 1,80 m doch bij voorkeur 2,40 m boven vloerniveau te zijn gesitueerd;
- c. de te openen ramen dienen te zijn voorzien van een fijnregeling (bijvoorbeeld een spindel) waarmee de opening traploos kan worden ingesteld en op meerdere standen kan worden vastgezet.

- d. de fijnregelbare ventilatieroosters dienen voldoende groot en functioneel te zijn (gereinigd en bedienbaar), op een hoogte van ten minste 1,80 m in de gevel te zijn gesitueerd. Bij vervanging dient bij voorkeur uit te worden gegaan van zelfregelende roosters waarvan de geluidisolatie is afgestemd op het voldoen aan de volgens Bouwbesluit 2003 vereist karakteristieke geluidwering van de gevel.

#### Ad 4

Alhoewel de optredende luchtkwaliteit in leslokalen van het type 3 minder afhankelijk is van het gebruik van de aanwezige voorzieningen door de leerkracht geldt ook hier dat de leerkracht over een instructie dient te beschikken over op welke wijze de aanwezige voorzieningen moeten worden gebruikt. Verder geldt ook hier dat het wenselijk is dat de leerkracht inzicht heeft in de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties als hulpmiddel bij het gebruik van de voorzieningen in de gevel en als controlemiddel voor het functioneren van de mechanische afvoer. Concreet dient uit te worden gegaan van de volgende maatregelen:

- e. per leslokaal dient een duidelijke instructie van het gebruik van de ventilatievoorzieningen aanwezig te zijn, waarin zowel aandacht wordt besteed aan de toevoervoorzieningen in de gevel als aan het gebruik (van de schakeling) van de mechanische afvoer.
- f. Per leslokaal dient de optredende CO<sub>2</sub>-concentratie voor de leerkracht inzichtelijk te zijn en dient de leerkracht te beschikken over een duidelijke instructie over wanneer en hoe de ventilatie op basis van de gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie dient te worden verhoogd.

Van de voornoemde maatregelen is in tabel 3.11 op basis van ervaringsgegevens een indicatie van de kosten (materiaal en arbeid) gegeven.

**Tabel 3.11**

Overzicht maatregelen en indicatie kosten lokaaltype 3

Maatregel		Schatting van % leslokalen binnen lokaaltype 3	Indicatie kosten in € (materiaal en arbeid)	
Nr.	Omschrijving		Minimaal	maximaal
3a	Herstellen capaciteit mechanische afvoer	80%	250	1.750
3b	Aanpassen grootte en situering te openen ramen	30%	200	400
3c	Fijnregeling te openen ramen (bijvoorbeeld een spindel)	60%	200	400
3d	Aanpassen grootte en type ventilatieroosters / functioneel maken (gereinigd en bedienbaar)	60%	100	1.000
4a	Instructie gebruik voorzieningen	100%	50	75
4b	CO <sub>2</sub> -meter met uitleesvenster voorzien van gebruiksinstructie	100%	200	250
Indicatie totale kosten voor gemiddeld leslokaal van het type 3			700	2.700

Ook bij lokaaltype 3 vormt de realisatie van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht een cruciale voorwaarde. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.6.1.

In aanvulling op de in tabel 3.11 vermelde maatregelen geldt verder dat een periodieke kwaliteitsbewaking van de systeemprestaties van de mechanische ventilatie (bijvoorbeeld door

middel van een onderhoudscontract) een cruciale voorwaarde vormt om ook op langere duur een toereikende ventilatie te kunnen waarborgen. De kosten voor dit periodieke onderhoud zijn *niet* in tabel 3.10 opgenomen.

De noodzaak van een periodiek onderhoud geldt vanzelfsprekend tevens voor de nieuw te bouwen scholen met een mechanische afvoer. Voor nieuw te bouwen scholen is het verder van belang dat er een meer aandacht wordt besteed aan een (onafhankelijke) controle van de systeemprestaties ten tijde van de oplevering. Verder dienen de gebruikers over een duidelijke instructie te beschikken over op welke wijze het systeem moet worden gebruikt. In het onderzoek is gebleken dat bij verschillende scholen de mechanische afvoer in een lage capaciteitsstand stond ingeschakeld en de leerkrachten en directie niet op de hoogte waren dat het systeem normaal in een hogere stand moet zijn ingeschakeld. Verder zou er een voor de leerkracht / directie zichtbare signalering in werking moeten treden wanneer het systeem niet correct functioneert. Tot slot is het voor nieuw te bouwen scholen van belang dat er door architecten en adviseurs aandacht wordt besteed aan het bewerkstelligen van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht door een zorgvuldige positionering en detaillering van de toevoervoorzieningen in de gevel. De (nieuwe versie) van NPR 1090 zou hier een belangrijke rol in kunnen vervullen.

### **3.6.3 Mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4)**

Het aandeel van de leslokalen in Nederland waarbij de ventilatie op basis van een mechanische toe- en afvoer geschiedt, is vooraf door LBP ingeschat op ca. 5%. Uit de analyse van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties (tabel 3.7) is gebleken dat in 33% van dit lokaaltype hogere CO<sub>2</sub>-waarden dan 1200 ppm optreden als gevolg van een geringe ventilatie doordat niet wordt voldaan aan de capaciteitseisen conform Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw.

Om in lokaaltype 4 een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm dient de capaciteit van de mechanische ventilatie te voldoen aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit en het geluidniveau ten gevolge van het ventilatiesysteem bij de vereiste nominale capaciteit zijn beperkt tot maximaal 35 dB(A);

Een instructie voor de leerkracht over het gebruik van de mechanische ventilatie wordt wenselijk geacht, zowel voor systemen die vanuit het lokaal worden geregeld als systemen die centraal worden geschakeld. Een controle van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties door de leerkracht is niet noodzakelijk indien het systeem periodiek wordt gecontroleerd en er tevens een voor de leerkracht zichtbare signalering in werking treedt wanneer het systeem niet correct functioneert. De kosten voor deze signalering zijn ingeschat op hetzelfde niveau als die van een CO<sub>2</sub>-meter met uitleesvenster.

Van de voornoemde maatregelen is in tabel 3.12 op basis van ervaringsgegevens een indicatie van de kosten (materiaal en arbeid) gegeven.

#### **Tabel 3.12**

Overzicht maatregelen en indicatie kosten lokaaltype 4

Maatregel		Schatting van % leslokalen binnen lokaaltype 4	Indicatie kosten in € (materiaal en arbeid)	
Nr.	Omschrijving		Minimaal	Maximaal
1	Herstellen capaciteit mechanische toe- en afvoer	35%	100	750
2	Instructie gebruik voorzieningen	100%	50	75
3	CO <sub>2</sub> -meter met uitleesvenster voorzien van gebruiksinstructie of zichtbare storingsmelding	100%	200	250
Indicatie totale kosten voor gemiddeld leslokaal van het type 4			300	600

In aanvulling op tabel 3.12 geldt dat een periodieke kwaliteitsbewaking van de systeemprestaties (bijvoorbeeld door middel van een onderhoudscontract) van de mechanische ventilatie een cruciale voorwaarde vormt om ook op langere duur een toereikende ventilatie te kunnen waarborgen. Bij een ventilatiesysteem met een mechanische toe- en afvoer dient hierbij tevens aandacht te worden besteed aan het frequent reinigen c.q. vervangen van de luchtfilters in het toevoerkanaal. De kosten voor dit periodieke onderhoud zijn *niet* in tabel 3.12 opgenomen.

Leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) zullen naar verwachting steeds meer gaan voorkomen omdat bij nieuwbouw steeds vaker (mede als gevolg van de energieprestatie-eisen) wordt gekozen voor een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht. De hiervoor gemaakte opmerkingen voor nieuwbouwscholen met een mechanische afvoer (lokaaltype 3) zijn vanzelfsprekend van nog groter belang voor leslokalen met een geheel mechanische ventilatie aangezien de luchtverversing van deze lokalen geheel door de prestaties van het ventilatiesysteem worden bepaald.



## 4 Akoestische kwaliteit en stoorgeluid

### 4.1 Onderzoeksvragen

Het in de lokalen optredende geluidniveau (exclusief het geluid van de leerlingen) kan effect hebben op de verstaanbaarheid. Slechte verstaanbaarheid kan wellicht leiden tot een toename van stress bij de leerkrachten (met eventueel uitval als gevolg) en mogelijk tot geringere leerprestaties van leerlingen.

In het onderzoek is de kwaliteit van de binnenlucht een belangrijk aspect van het binnenmilieu. Ventilatie is daarbij een sleutelbegrip. Het gebruik van ventilatiemogelijkheden kan effect hebben op het stoorgeluid:

- het gesloten houden van de ventilatievoorzieningen om stoorgeluid uit de omgeving te verminderen;
- het niet gebruiken van mechanische ventilatiesystemen vanwege het stoorgeluid dat hierbij optreedt.

In het onderzoek is nagegaan in hoeverre het gebruik van ventilatiemogelijkheden resulteert in een toename van stoorgeluid, en in hoeverre dit effect heeft op het gebruik van de ventilatiemogelijkheden.

In het onderzoek is zowel de geluidsbelasting van leerkrachten en leerlingen als de relatie tussen stoorgeluid en ventilatie onderzocht. De te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

- Aan welke geluidsbelasting staan leerkrachten en leerlingen bloot in klaslokalen (exclusief het geluid van de kinderen in het lokaal)? Welk effect heeft het gebruik van ventilatiemogelijkheden op het stoorgeluid? (zowel in dB(A) als in gedragseffecten van de leerkrachten, namelijk het al dan niet gebruiken van de mogelijkheden vanwege een toename van stoorgeluid)
- Wordt er voldaan aan de eisen voor de geluidwering van de gevel?
- Hoe is de nagalmtijd in de lokalen en in hoeverre hebben leerkrachten last van stoorgeluid en nagalm (in beleving en in relatie tot de kwaliteit van hun gehoor)?

### 4.2 Achtergrondgeluidniveau

In alle onderzochte leslokalen is het optredende achtergrondgeluidniveau ( $L_{Aeq}$ ) door meting vastgesteld. Voor nadere informatie over de gehanteerde meetprocedure wordt verwezen naar bijlage I. Bij de metingen is onderscheid gemaakt tussen het wél en het niet gebruik maken van de ventilatievoorzieningen. De meting van het achtergrondgeluidniveau heeft betrekking op de situatie dat er geen leerlingen in het lokaal aanwezig zijn en de school normaal in gebruik is (geen buiten spelende kinderen in nabijheid van leslokaal).

## **Criteria**

Voor het achtergrondgeluidniveau zijn geen wettelijke eisen van kracht. De richtlijnen van de Rijksgebouwendienst [10] gaan uit van maximaal 30 dB(A) voor theorielokalen en maximaal 35 dB(A) voor vaklokalen. In de praktijk wordt bij nieuwbouw van scholen in het Programma van Eisen echter veelal uitgegaan van een achtergrondgeluidniveau voor leslokalen van maximaal 35 dB(A). Bij dit prestatieniveau bedraagt de indicatie van het percentage gehinderden in theorielokalen volgens NEN 1070 [20] 10 tot 25%. Dit percentage is tevens als uitgangspunt gehanteerd bij de in het Bouwbesluit 2003 vastgelegde akoestische prestatie-eisen.

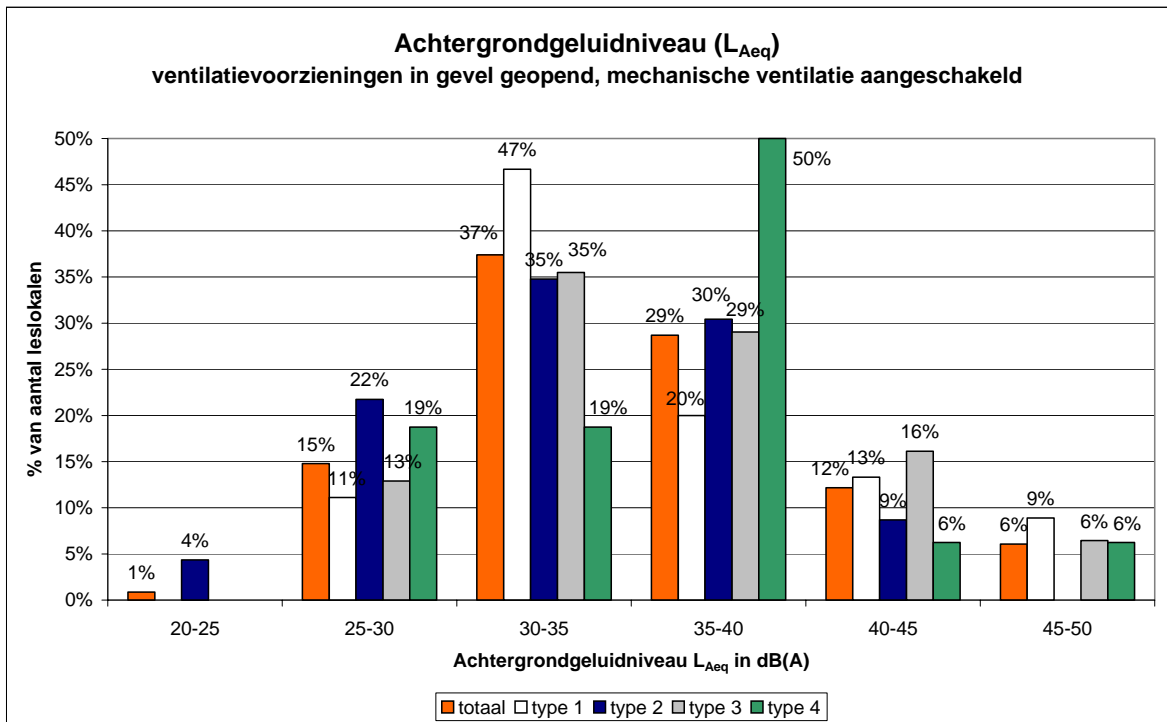
De optredende geluidniveaus in de leslokalen tijdens aanwezigheid van de leerlingen zullen in het algemeen hoger liggen dan 40 dB(A). Achtergrondgeluidniveaus tussen 35 en 40 dB(A) zullen om deze reden tijdens gebruik van de leslokalen door de leerlingen niet snel aanleiding tot hinder geven. Bij achtergrondgeluidniveaus van meer dan 40 dB(A) is het risico van hinder echter aanzienlijk, met name bij een rustig activiteitsniveau van de aanwezige leerlingen.

## **Resultaten**

Figuur 4.1 toont de meetresultaten voor de situatie dat er gebruik wordt gemaakt van de aanwezige ventilatievoorzieningen. In figuur 4.2 is dezelfde situatie weergegeven waarbij het percentage van de leslokalen is weergegeven waarbij een bepaald achtergrondgeluidniveau wordt overschreden.

In geval de ventilatievoorzieningen in de gevel zijn geopend (van toepassing op lokaal type 1 t/m 3) en de mechanische afvoer is ingeschakeld (van toepassing op lokaal type 3 en 4) blijkt uit figuur 4.2 dat in 47% van de onderzochte leslokalen het achtergrondgeluidniveau hoger is dan 35 dB(A). In 18% van de leslokalen bedraagt het achtergrondgeluidniveau meer dan 40 dB). Uit figuur 4.2 blijkt dat de  $P_{50}$ -waarde nét onder de 35 dB(A) is gelegen.

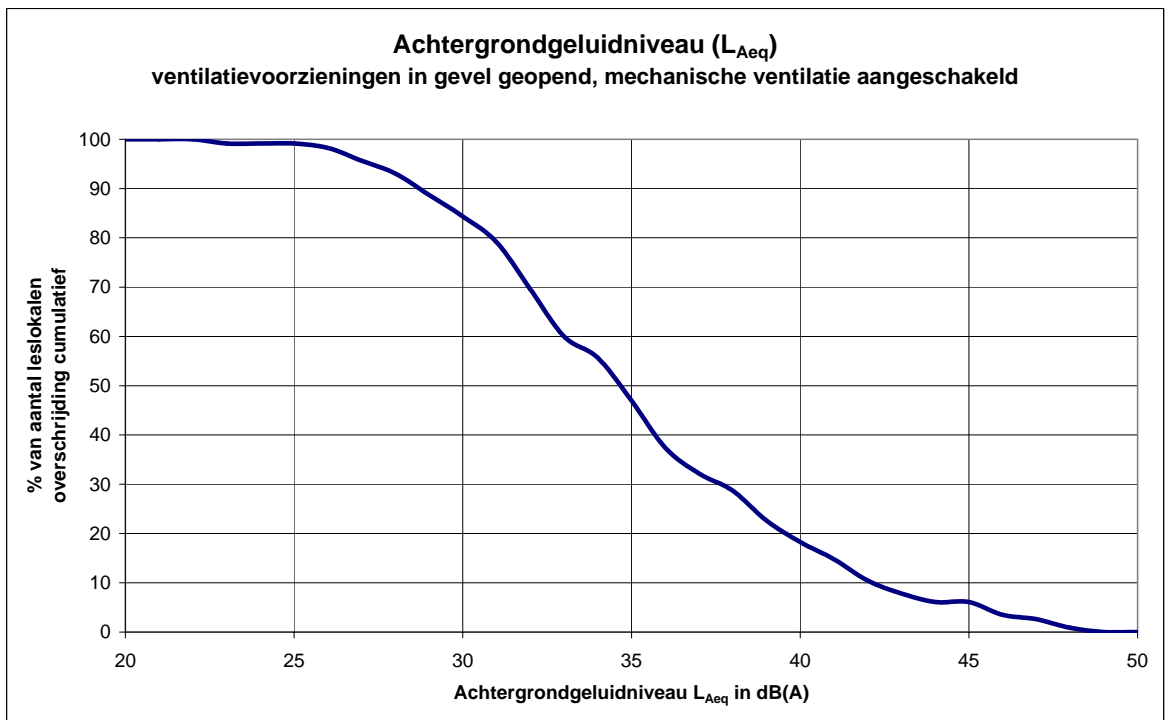
Het achtergrondgeluidniveau in de leslokalen blijkt te variëren van 23 tot 49 dB(A) en bedraagt gemiddeld 35 dB(A). Tabel 4.1 geeft de gemiddelde waarden van het gemeten achtergrondgeluidniveau per lokaaltype, waaruit blijkt dat het verschil tussen de gemiddelde geluidniveaus per lokaaltype niet groot is en varieert van 33 tot 36 dB(A).



**Figuur 4.1**

Resultaten achtergrondgeluidniveau leslokalen

Ventilatievoorzieningen in gevel geopend, mechanische ventilatie ingeschakeld



**Figuur 4.2**

Resultaten achtergrondgeluidniveau leslokalen (overschrijding cumulatief)

Ventilatievoorzieningen in gevel geopend, mechanische ventilatie ingeschakeld

Buitengeluid vormt bij gebruik van de ventilatievoorzieningen in de gevel en 2 over het algemeen de bepalende geluidbron voor lokaaltype 1. Andere geluidbronnen (bijvoorbeeld geluiden afkomstig van aangrenzende leslokalen) droegen in deze situatie in mindere mate bij aan de gemeten achtergrondgeluidniveaus.

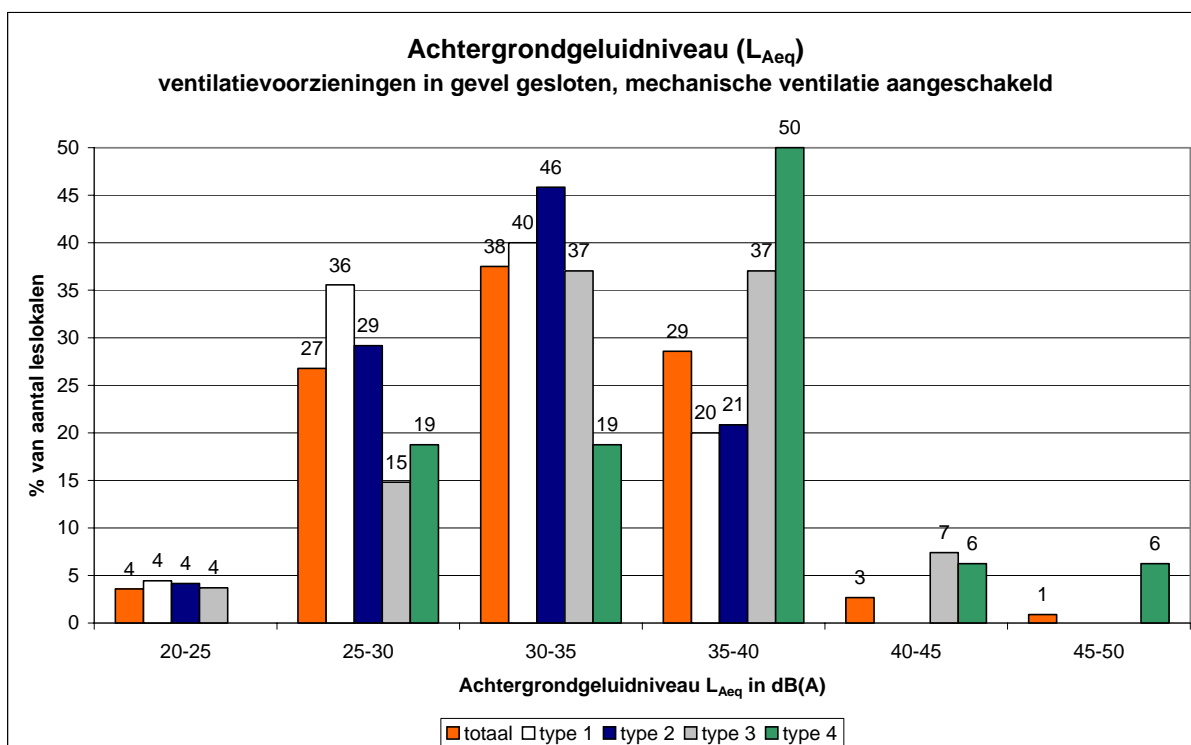
**Tabel 4.1**

Resultaten achtergrondgeluidniveau leslokalen

Ventilatievoorzieningen in gevel geopend, mechanische ventilatie ingeschakeld

	Achtergrondgeluidniveau ( $L_{Aeq}$ ) in dB(A)				
	Alle leslokalen	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Gemiddelde waarde	35	36	33	36	35

Figuur 4.3 toont het achtergrondgeluidniveau voor de situatie dat de ventilatievoorzieningen in de gevel gesloten zijn (van toepassing voor lokaaltypen 1 t/m 3) en de mechanische ventilatie is ingeschakeld (van toepassing voor de lokaaltypen 3 en 4).



**Figuur 4.3**

Resultaten achtergrondgeluidniveau leslokalen

Ventilatievoorzieningen in gevel gesloten, mechanische ventilatie ingeschakeld

Bij gesloten ventilatievoorzieningen in de gevel is in globaal 80% van de onderzochte leslokalen van het type 1 en 2 het achtergrondgeluidniveau lager dan 35 dB(A). Bij geopende voorzieningen was dit percentage bij deze lokaaltypen ca. 60%. Het geluidniveau bleek in deze lokaaltypen gemiddeld 2 tot 5 dB(A) lager in geval de ventilatievoorzieningen in de gevel waren gesloten. Dit verschil is geen vaste waarde maar wordt mede bepaald door de optredende buitengeluid en het optredende geluidniveau binnen. Bij lokaaltype 3 bleek het gebruik van de ventilatievoorzieningen in de gevel een gering effect te hebben op de gemeten achtergrondgeluidniveaus, te weten gemiddeld minder dan 2 dB(A).

Bij gesloten ventilatievoorzieningen in de gevel blijkt bij lokaaltype 3 het installatiegeluid ten gevolge van het ventilatiesysteem over het algemeen bepalend voor het gemeten achtergrondgeluidniveau. Ook bij lokaaltype 4 vormt installatiegeluid ten gevolge van het ventilatiesysteem veelal de dominante geluidbron.

Uit figuur 4.3 kan worden afgeleid dat in 37% van de lokalen met alleen een mechanische afvoer (lokaaltype 3) het geluidniveau is gelegen tussen 35 en 40 dB(A). In 7% van de leslokalen van dit type was sprake van een geluidniveau van meer dan 40 dB(A). Op basis van de enquête van het gebruik van de ventilatievoorzieningen (tabel 3.8 in hoofdstuk 3) bleken de leerkrachten in 13% van dit type lokalen *soms* en in 3% *vaak* hinder te ondervinden van geluid van het mechanisch ventilatiesysteem.

In 50% van de lokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) was sprake van geluidniveau tussen 35 en 40 dB(A). In 12% van de leslokalen van dit type bedroeg het achtergrondgeluidniveau meer dan 40 dB(A). Deze hogere percentages van lokaaltype 4 ten opzichte van lokaaltype 3 zien we ook terug in het percentage van de leerkrachten dat aangeeft hinder ten gevolge van het ventilatiesysteem te ondervinden (18% *soms* en 12% *vaak*, zie tabel 3.8 in hoofdstuk 3). Het percentage leerkrachten dat bij lokaaltype 4 aangeeft vaak hinder te ondervinden van het geluid van het ventilatiesysteem is gelijk aan het percentage leslokalen van dit type waar sprake is van een achtergrondgeluidniveau van meer dan 40 dB(A).

In nagenoeg alle onderzochte leslokalen van het type 3 en 4 bleek het niet mogelijk de mechanisch ventilatie uit te schakelen en kon het achtergrondgeluidniveau voor deze situatie dus niet worden vastgesteld.

### **4.3 Geluidwering gevel**

Het akoestisch comfort en het gebruik van de ventilatievoorzieningen zal in de praktijk mede worden beïnvloed door de geluidwering van de gevel.

## Eisen en criteria

Voor de geluidwering van de gevel geldt dat moet worden voldaan aan het wettelijke niveau dat tijdens de vergunningverlening ten behoeve van de bouw of renovatie van toepassing was. Sinds 1983 worden er voor leslokalen in het basisonderwijs eisen gesteld aan de geluidwering van de gevel. Het in 1983 in werking getreden Besluit Geluidwering gebouwen [19] stelde dat de geluidwering van een leslokaal in het lager onderwijs:

- ten minste 20 dB(A) diende te bedragen;
- bij een hogere geluidbelasting dan 55 dB(A) ten minste gelijk moest zijn aan het verschil tussen de geluidbelasting en een binnengrenswaarde van 30 dB(A).

Sinds de intrede van het Bouwbesluit in 1992 zijn de eisen niet wezenlijk veranderd, hoewel de definitie van de geluidbelasting van wegverkeer sinds 1 januari 2007 aangepast is (en in dB wordt aangegeven). Deze waarde is nu ca. 2 dB lager dan de eerdere geluidbelasting in dB(A). Conform art. 3.2 van het Bouwbesluit 2003 [14] dient een gevel van een verblijfsgebied van een leslokaal of theorielokaal een karakteristieke geluidwering te hebben die niet kleiner is dan het verschil tussen de geluidbelasting op die gevel en 28 dB. De minimaal vereiste karakteristieke geluidwering bedraagt 20 dB voor verblijfsgebieden en 18 dB voor verblijfsruimten.

De genoemde eisen zijn van toepassing voor de situatie dat tevens wordt voldaan aan de vereiste luchtverversing. Voor ventilatiesystemen waarbij hiervoor gebruik moet worden gemaakt van ventilatievoorzieningen in de gevel, dient de vereiste geluidwering van de gevel dus te worden behaald voor de situatie dat deze voorzieningen in de gevel geopend zijn.

## Resultaten

De karakteristieke geluidwering ( $G_{A;k}$ ) van de gevel van de leslokalen (met gesloten en open ventilatievoorzieningen) is berekend op basis van een berekening conform NPR 5272 [22]. Voor nadere informatie over de bij de berekening gehanteerde uitgangspunten wordt verwezen naar bijlage I.

De karakteristieke geluidwering ( $G_{A;k}$ ) van de gevel van de leslokalen met geopende ventilatievoorzieningen in de gevel varieert van 9 tot 21 dB(A) en bedraagt gemiddeld 15 dB(A). In geval de ventilatievoorzieningen in de gevel zijn gesloten, varieert deze van 21 tot 32 dB(A) en bedraagt deze gemiddeld 26 dB(A). In tabel 4.2 is de gemiddelde waarde van de geluidwering van de gevel tevens voor de afzonderlijke lokaaltypen vermeld. De geluidwering van de gevel van de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) is niet in deze tabel opgenomen; deze stemt globaal overeen met die van de andere lokaaltypen voor de situatie dat de voorzieningen in de gevel zijn gesloten.

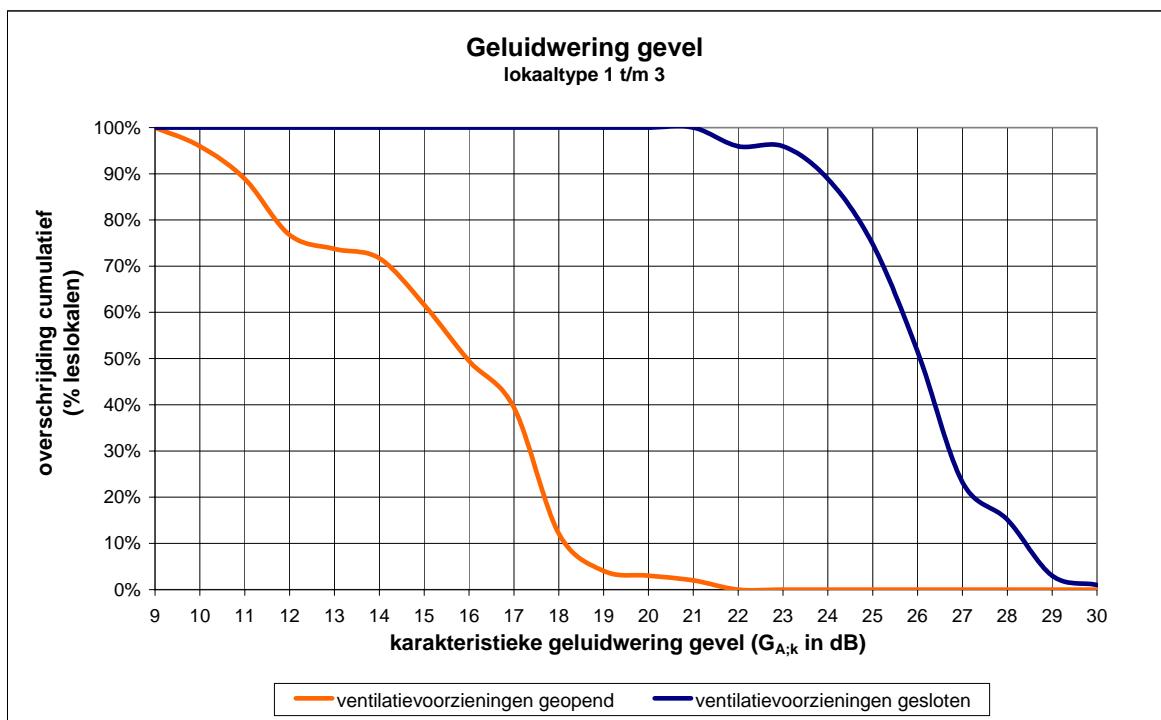
**Tabel 4.2**

Resultaten gemiddelde waarde karakteristieke geluidwering gevel

Situatie	Gemiddelde waarde karakteristieke geluidwering gevel ( $G_{A,k}$ ) in dB(A)			
	Lokaaltypen 1 t/m 3	Type 1	Type 2	Type 3
Ventilatievoorzieningen gevel geopend	15,2	15,7	14,7	15,0
Ventilatievoorzieningen gevel gesloten	26,0	26,2	25,5	26,1

Voor 30 van de onderzochte leslokalen (= 25%) geldt dat deze zijn voorzien van een natuurlijke toevoer via de gevel én zijn gebouwd na 1982. De karakteristieke geluidwering van de gevel met geopende ventilatievoorzieningen varieerde bij deze leslokalen van 9 tot 18 dB(A) en bedroeg gemiddeld ca. 14 dB(A). Voor geen van deze lokalen werd voldaan aan de minimale geluidwering van een verblijfsgebied van 20 dB(A).

In figuur 4.4 is het percentage van de onderzochte leslokalen weergegeven waarbij een bepaalde waarde voor de karakteristieke geluidwering van de gevel wordt overschreden. Deze relatie is weergegeven voor de lokaaltypen met een natuurlijke ventilatietoever via de gevel waarbij zowel de situatie met geopende als gesloten ventilatievoorzieningen is beschouwd. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat de  $P_{50}$ -waarde van de karakteristieke geluidwering van de gevel ca. 16 dB(A) bedraagt bij geopende ventilatievoorzieningen en ca. 26 dB(A) bij gesloten ventilatievoorzieningen.

**Figuur 4.4**

Resultaten berekening karakteristieke geluidwering gevel leslokalen (lokaaltype 1 t/m 3)  
Cumulatieve overschrijding (percentage leslokalen)

Het is bekend dat met te openen ramen en akoestisch ongedempte ventilatieroosters in de gevels van leslokalen niet kan worden voldaan aan de minimaal vereiste geluidwering van 20 dB(A) [21]. Om wel aan deze eis te kunnen voldoen zijn bij een natuurlijke toevoer via de gevel akoestisch gedempte ventilatievoorzieningen (zogenoemde suskasten) noodzakelijk. Bij een mechanische toe – en afvoer van ventilatielucht zal doorgaans zonder aanvullende voorzieningen aan de eis van een minimale karakteristieke geluidwering van 20 dB(A) worden voldaan. In de huidige bouwpraktijk worden bij niet-geluidbelaste<sup>3</sup> leslokalen in het algemeen alleen suskasten toegepast indien een akoestisch adviseur bij het ontwerpproces is betrokken. Voor de overige situaties worden bij de vergunningverlening akoestisch niet-gedempte ventilatievoorzieningen goedgekeurd, waarmee dus niet aan de vereiste minimum geluidwering wordt voldaan.

Het percentage leerkrachten bij lokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel dat aangeeft soms hinder van buitengeluid te ervaren, varieerde van 27% tot 40%. In 7 tot 13% van deze leslokalen wordt vaak hinder ten gevolge van buitengeluid ondervonden. Voor 22% tot 28% van de leerkrachten van deze leslokalen zijn er momenten dat de ventilatievoorzieningen worden gesloten vanwege buitengeluid. Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat de in de praktijk aanwezige geluidwering van de gevel van leslokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel relatief vaak aanleiding tot hinder aanleiding tot hinder en tot een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen kan geven.

#### **4.4 Ruimteakoestiek**

De ruimteakoestiek van de leslokalen is onderzocht door een meting van de nagalmtijd en van de spraakverstaanbaarheid.

##### **4.4.1 Nagalmtijd**

Om de akoestische kwaliteit van een klaslokaal te karakteriseren wordt meestal gebruik gemaakt van de nagalmtijd (T). De nagalmtijd wordt in hoofdzaak bepaald door het volume van de ruimte en de hoeveelheid geluidabsorptie in de ruimte. Eveneens van invloed op de nagalmtijd is de mate waarin de aanwezige geluidabsorptie over de ruimte is verdeeld. In geval de geluidabsorptie niet gelijkmatig over de ruimte is verdeeld kan tevens de mate waarin geluid al dan niet wordt verstrooid (diffusie van geluid door bijvoorbeeld meubilair) de gemeten nagalmtijd (aanzienlijk) beïnvloeden.

3 leslokalen waar als gevolg van een beperkte geluidbelasting door weg-, luchtvaart- en of railverkeer geen hogere geluidwering van de gevel vereist is dan de minimale geluidwering van 20 dB(A)



## Eisen en richtlijnen

In verblijfsruimten met een onderwijsfunctie zijn in de periode van 1985 tot 2005<sup>4</sup> wettelijke eisen van kracht geweest met betrekking tot de nagalmtijd, waarbij de volgens NEN 5077 bepaalde gemiddelde nagalmtijd (125 t/m 2000 Hz) maximaal 1,0 s mocht bedragen. Hierbij is in de regelgeving destijds niet expliciet aangegeven in hoeverre deze nagalmtijd betrekking heeft op een 'ingerichte' of 'niet-ingerichte' situatie.

Op basis van het Bouwbesluit 2003 zou kunnen worden aangenomen dat er zonder inrichting aan de eisen moet worden voldaan, aangezien immers bij oplevering de behaalde prestatie moet kunnen worden gecontroleerd, en de leslokalen bij oplevering nog niet zijn ingericht. Omdat deze eis van oorsprong in het Bouwbesluit WBO [8] is opgenomen geweest, is het echter meer aannemelijk dat deze bedoeld is geweest voor de 'ingerichte' situatie. De eisen van het Bouwbesluit WBO waren immers gebaseerd op de bruikbaarheid van het lokaal, waarbij het redelijk is om aan te nemen dat het effect van de inrichting wél wordt meegerekend. Ook de omschrijving van de eis in het Bouwbesluit WBO lijkt hierop te duiden. Art. 6 van het Bouwbesluit WBO stelde immers de volgende eis 'In onderwijsruimten is de akoestiek zodanig dat de gemiddelde nagalmtijd ten hoogste 1 seconde bedraagt'.

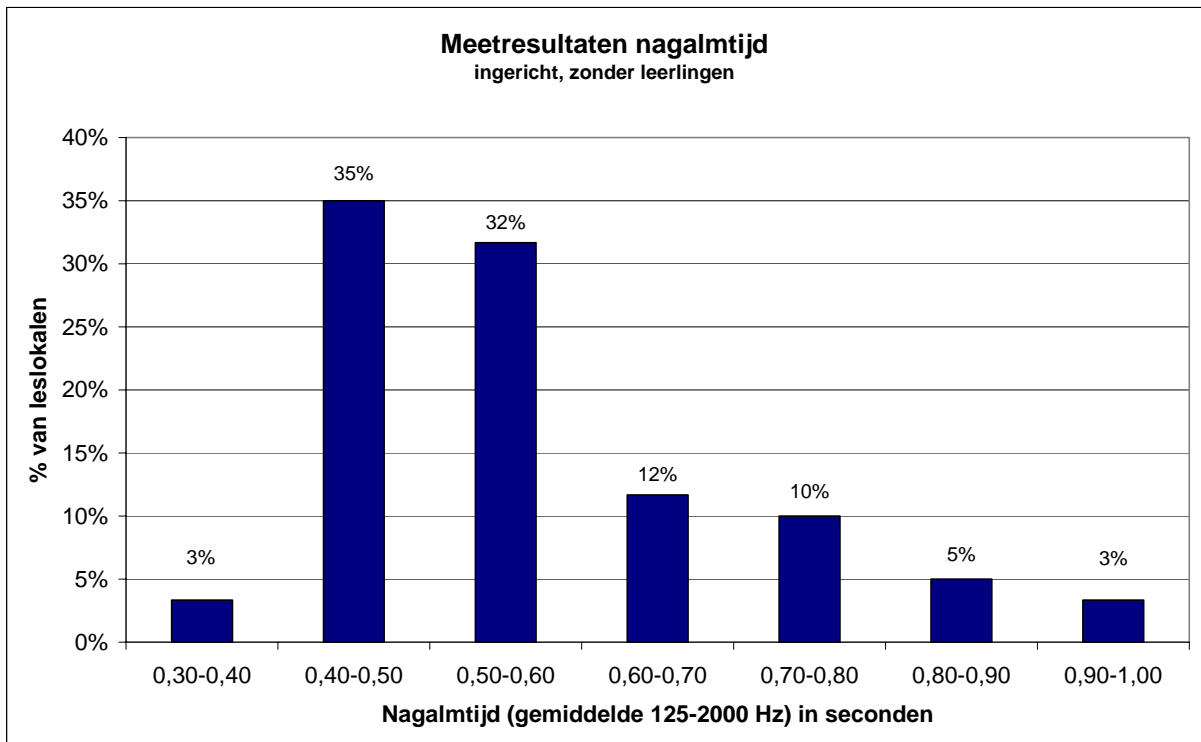
In de richtlijnen van de Rijksgebouwendienst [10] wordt voor lege, niet ingerichte leslokalen uitgegaan van een gemiddelde nagalmtijd (125 t/m 2000 Hz) van ca. 0,8 s. De afwijking in de octaafbanden 125 en 2000 Hz mag hierbij maximaal +20% en -20% bedragen ten opzichte van de 500 Hz octaafband. In [7] is de akoestische kwaliteit van leslokalen uitgebreid onderzocht en wordt aangegeven dat ten behoeve van een voldoende ruimteakoestiek de nagalmtijd in een leeg lokaal maximaal 0,8 s dient te bedragen. Hierbij is echter uitgegaan van een ingerichte situatie. Met een nagalmtijd van 0,8 s in een onbezet lokaal wordt volgens [7] een nagalmtijd van 0,6 s bereikt bij aanwezigheid van leerlingen.

## Resultaten

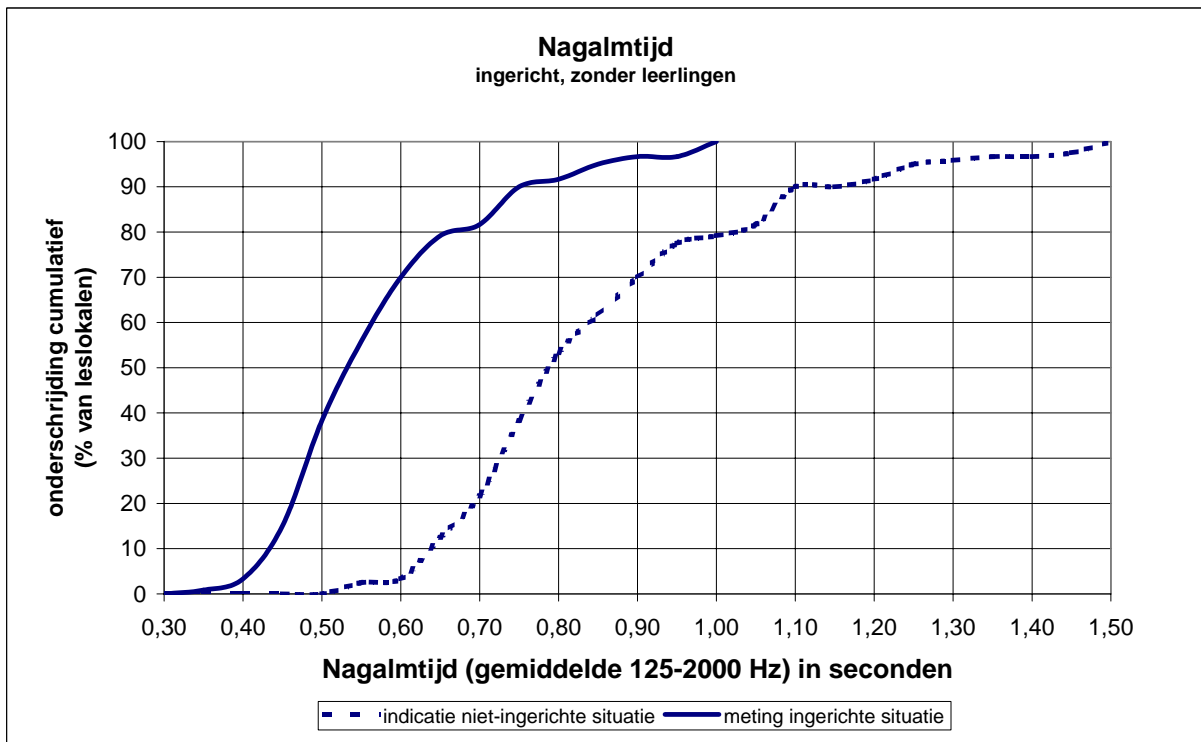
In de onderzochte leslokalen is de nagalmtijd op verschillende posities in het leslokaal gemeten op basis waarvan een gemiddelde nagalmtijd (125 –2000 Hz) van het leslokaal is berekend. De gemeten nagalmtijd heeft betrekking op een ingericht lokaal zonder leerlingen. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in figuur 4.5 en 4.6.

Op basis van de meetresultaten blijkt de gemiddelde nagalmtijd van de onderzochte leslokalen te variëren van 0,3 s tot 1,0 s. De rekenkundig gemiddelde waarde van de gemiddelde nagalmtijd over alle 120 leslokalen bedraagt 0,56 s. Uit figuur 4.6 kan worden afgeleid dat de  $P_{50}$ -waarde overeenstemt met een nagalmtijd van ca. 0,53 s.

4 Sinds 1985 gelden er wettelijke eisen voor de nagalmtijd in leslokalen van het basisonderwijs (artikelen 6, tweede lid, en 8, tweede lid van het Bouwbesluit WBO [8] en de artikelen 6, tweede, en 8, derde lid van het Bouwbesluit ISOVSO [9]). Deze besluiten zijn met ingang van 1 januari 1997 komen te vervallen in het kader van de decentralisatie van de onderwijs-wetgeving. In de periode van januari 2003 tot september 2005 zijn deze eisen vervolgens opgenomen geweest in het Bouwbesluit 2003. In september 2005 is deze eis naar aanleiding van de deregulering van eisen voor de onderwijsfunctie komen te vervallen.



**Figuur 4.5**  
Gemiddelde nagalmtijd in leslokalen



**Figuur 4.6**  
Gemiddelde nagalmtijd leslokalen (onderschrijding cumulatief)

Uit figuur 4.5 en 4.6 kan worden afgeleid dat de nagalmtijd voor alle (ingerichte) leslokalen lager is dan 1,0 s. In 92% van de (ingerichte) leslokalen was de nagalmtijd lager dan 0,8 s en wordt er voldaan aan de in [7] gegeven richtlijn. In ca. 80% van de leslokalen is de nagalmtijd lager dan 0,7 s.

In lokalen met een nagalmtijd lager dan 0,4 s was veelal sprake van een geluidabsorberend plafond en tapijt als vloerafwerking. In lokalen met een langere nagalmtijd (vanaf ca. 0,7 s) was meestal geen geluidabsorberend plafond toegepast. In de overige lokalen met een nagalmtijd van 0,4 tot 0,7 was in het algemeen sprake van een geluidabsorberend plafond en een vloerafwerking van vinyl of linoleum.

In figuur 4.6 is tevens een indicatie van de nagalmtijd gegeven indien deze zou zijn gemeten in een niet-ingericht lokaal. Hierbij is verondersteld dat de nagalmtijd in een niet-ingericht leslokaal als gevolg van het ontbreken van diffusie van geluid door bijvoorbeeld meubilair en kasten met 50% wordt verhoogd. Dit is een reële inschatting van de invloed van diffusie van geluid op de nagalmtijd in geval de geluidabsorptie niet gelijkmatig over de ruimte is verdeeld. In nagenoeg alle onderzochte leslokalen is dit het geval omdat de aanwezige geluidabsorptie in hoofdzaak door de geluidabsorberende plafondafwerking werd bepaald en de overige vlakken (wanden en vloer) niet of nauwelijks geluidabsorberend waren uitgevoerd.

Met deze aanname kan uit figuur 4.6 worden afgeleid dat de nagalmtijd in ca. 80% van de (niet-ingerichte) leslokalen lager dan 1,0 s zou zijn. In ca. 53% van de lokalen zou de nagalmtijd lager zijn dan 0,8 s (richtlijn Rijksgebouwendienst). De  $P_{50}$ -waarde ligt in deze situatie op ca. 0,78 s.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat – afhankelijk of de ingerichte of de niet-ingerichte situatie wordt beschouwd - 80 tot 100% van de leslokalen voldoet aan de wettelijke eisen zoals deze tot 2005 van kracht zijn geweest. Uit de resultaten blijkt verder dat het toepassen van een geluidabsorberend plafond veelal toereikend is om een nagalmtijd van maximaal 1,0 s in de niet-ingerichte situatie te bereiken.

#### **4.4.2 Spraakverstaanbaarheid**

De spraakverstaanbaarheid in leslokalen wordt bepaald door twee factoren, te weten het aanwezige achtergrondgeluidniveau (ruis) en de nagalmtijd (galm). Enerzijds beïnvloedt de onderlinge sterkteverhouding tussen ruis en spraak de verstaanbaarheid. Anderzijds heeft galm invloed: bij langere nagalmtijd neemt de geluidssterkte vooral op afstand van de bron toe. Om deze reden is enige galm gunstig zijn voor de verstaanbaarheid. Neemt de galm echter toe dan vloeien de spraakklanken in elkaar over.

De mate van spraakverstaanbaarheid in een ruimte kan worden uitgedrukt in de Speech Transmission Index (STI). De STI is een grootte waarmee de modulatieoverdracht van een ruimte kan worden gekwantificeerd. Met modulatieoverdracht wordt bedoeld de overdracht van sterktevariatiaties die gebruikt worden tijdens spraak. Men gaat ervan uit dat de spraakverstaanbaarheid in hoofdzaak afhangt van deze sterktevariatiaties. STI wordt daarom gebruikt als maat voor de spraakverstaanbaarheid in een ruimte. De subjectieve waardering van een grote groep mensen van de STI is vertaald in tabel 4.3 [23].

**Tabel 4.3**

Relatie tussen STI-waarde en subjectieve waardering spraakverstaanbaarheid [23]

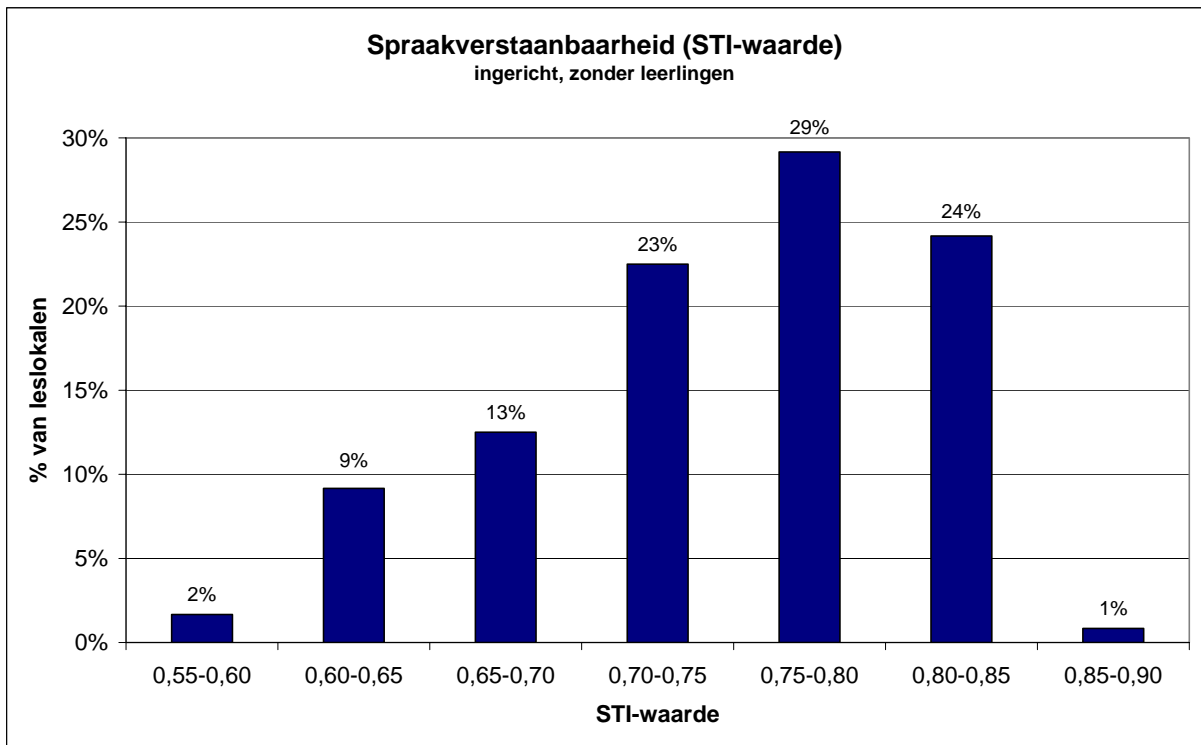
STI-waarde	Waardering spraakverstaanbaarheid
< 0,30	Slecht
0,30 – 0,45	Zwak
0,45 – 0,60	redelijk
0,60 – 0,75	goed
> 0,75	uitstekend

De waarde van  $STI = 0,60$  wordt vaak gehanteerd als een wenselijke grens voor de spraakverstaanbaarheid. Volgens [7] dient voor leslokalen echter een waarde van 0,70 te worden nagestreefd.

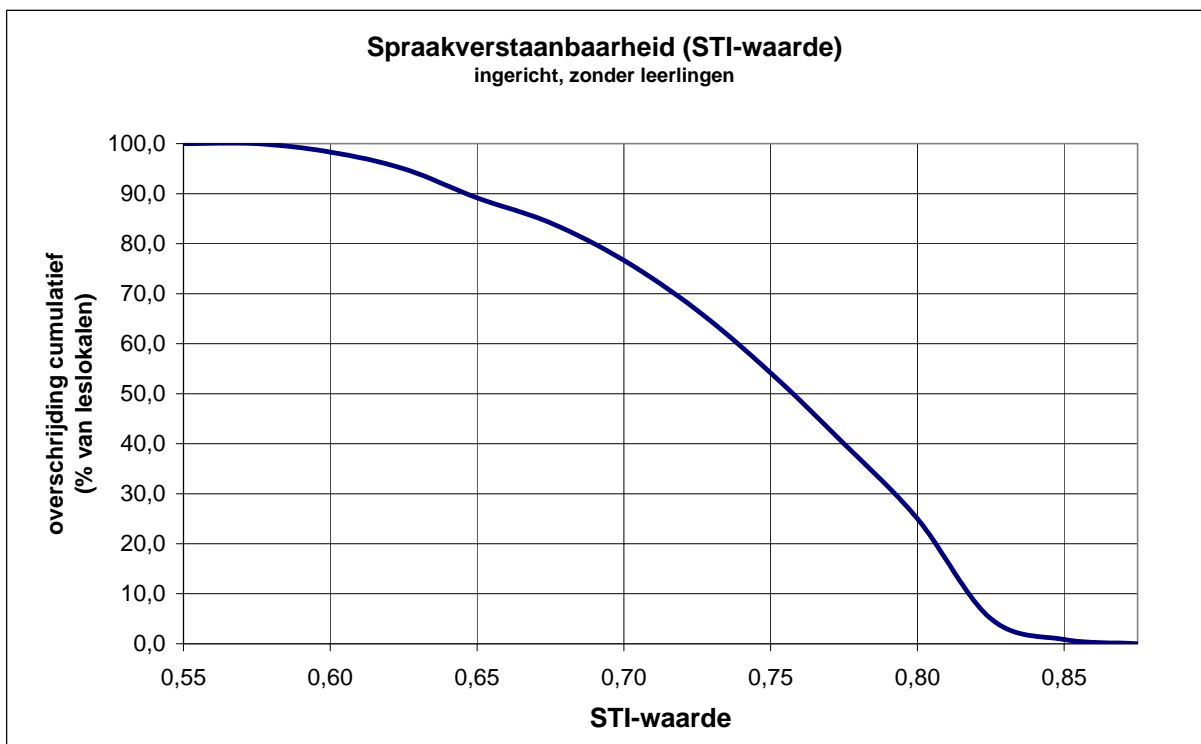
In de leslokalen is de STI-waarde op verschillende posities gemeten op basis waarvan een gemiddelde STI-waarde per lokaal is bepaald. Voor nadere informatie over de gehanteerde meetprocedure wordt verwezen naar bijlage I.

De resultaten van de metingen zijn weergegeven in figuur 4.7 en 4.8. De gemiddelde STI-waarde in de 120 leslokalen blijkt te variëren van 0,58 tot 0,86 en bedraagt gemiddeld 0,75. Uit figuur 4.8 kan worden afgeleid dat de  $P_{50}$ -waarde overeenstemt met  $STI = 0,76$ . In 98% van de leslokalen bedraagt de STI meer dan 0,60. In 77% van de leslokalen wordt een STI-waarde bereikt van 0,70 of hoger.

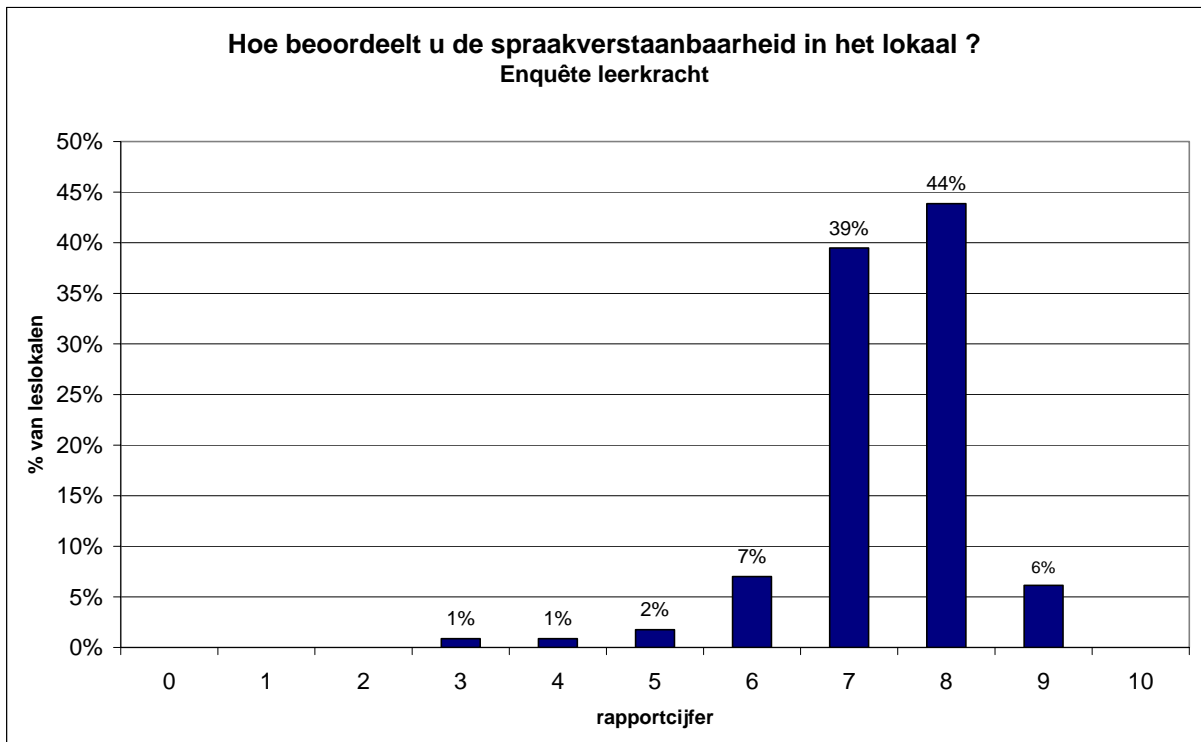
Op basis van de resultaten van de nagalmtijd en de spraakverstaanbaarheid kan worden geconcludeerd dat de ruimteakoestiek van de leslokalen over het algemeen gunstig is te noemen. In ca. 80% van de lokalen is sprake van een goede spraakverstaanbaarheid ( $STI \geq 0,70$ ) en wordt een nagalmtijd in een ingericht leslokaal bereikt van lager dan 0,7 s. De nagalmtijd van 0,7 s stemt globaal overeen met een nagalmtijd van 1,0 s in een niet-ingericht leslokaal. Ook de leerkrachten beoordelen de ruimteakoestiek over het algemeen goed. De spraakverstaanbaarheid in de onderzochte leslokalen werd door de leerkrachten beoordeeld met een gemiddeld rapportcijfer van 7,4. Uit figuur 4.9 kan worden afgeleid dat 96% van de leerkrachten de spraakverstaanbaarheid als voldoende (6 of hoger) beoordeelt. Ook blijkt dat de leerkrachten over het algemeen weinig last hebben van een lawaaiig galmend lokaal of moeite te hebben met het verstaan van de leerlingen (zie figuur 4.10).



**Figuur 4.7**  
Resultaten meting spraakverstaanbaarheid (STI) in 120 leslokalen

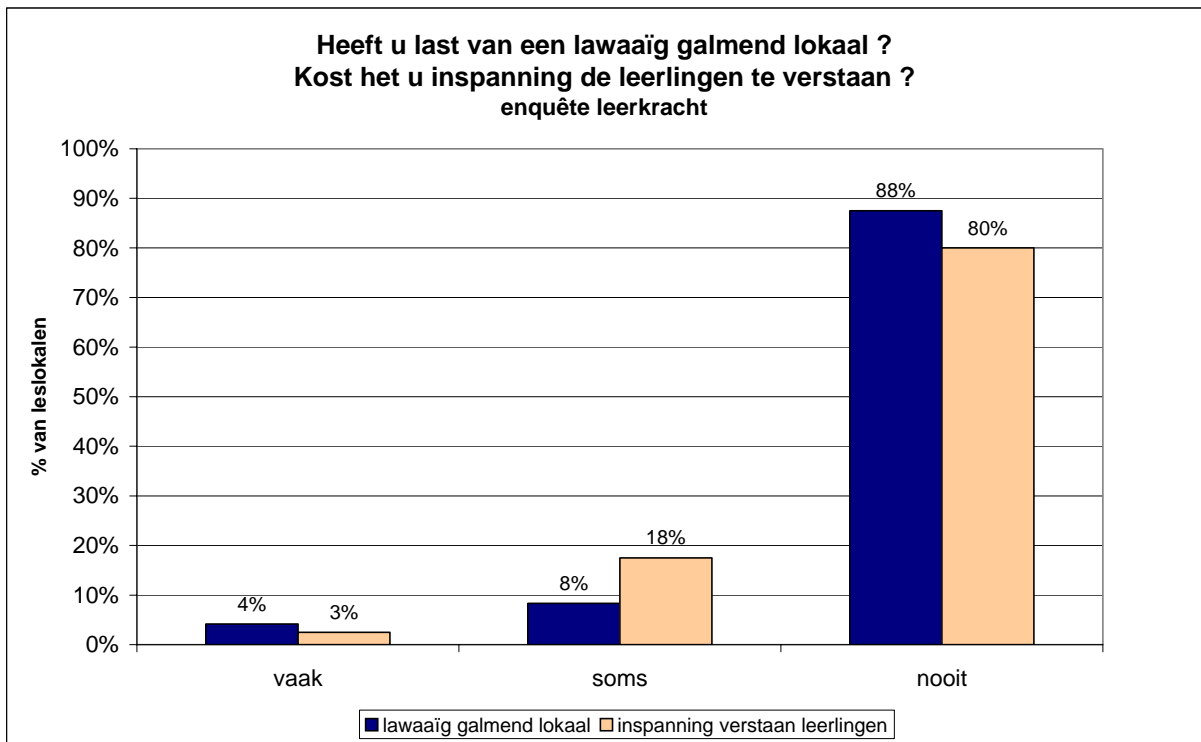


**Figuur 4.8**  
Resultaten meting spraakverstaanbaarheid (STI) in 120 leslokalen – overschrijding cumulatief



**Figuur 4.9**

Enquête leerkracht: Hoe beoordeelt u de spraakverstaanbaarheid in het lokaal?



**Figuur 4.10**

Enquête leerkracht: Heeft u last van een lawaaiig galmend lokaal ? Kosten het u inspanning de leerlingen te verstaan?

In het onderzoek is bij de leerkracht tevens een gehoortest afgenomen. In geval de beleving van de ruimteakoestiek door de leerkracht afwijkt van de metingen, kan hiermee worden nagegaan of dit mogelijk het gevolg is van een verminderd gehoor van de leerkracht.

Uit de resultaten van de gehoortest is gebleken dat ca. 16% van de leerkrachten een onvoldoende gehoor heeft aan één van beide oren. Het overige deel van de leerkrachten (ca. 84%) heeft een goed gehoor. Voor de leerkrachten die de spraakverstaanbaarheid als onvoldoende (rapportcijfer 5 of lager) beoordeelden of aangegeven hadden last te hebben van een lawaaiig galmend lokaal, bleek hier in een enkel geval sprake van een langere nagalmtijd ( $T = 0,97$  s) in combinatie met een verminderd gehoor aan één zijde. Ook was in twee situaties sprake van een relatief hoog achtergrondgeluidniveau ( $L_{Aeq} > 40$  dB(A)). Voor de overige twee leslokalen bleek op basis van de meetresultaten van de akoestische metingen geen directe aanleiding voor de onvoldoende beoordeling te bestaan en bleek tevens dat de leerkrachten over een goed gehoor beschikten.

## 5 Temperatuur en luchtvochtigheid

### 5.1 Onderzoeksvragen

De te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

- Voldoen de temperatuur en de luchtvochtigheid in de leslokalen aan de in [11] gegeven advieswaarden?
- Komt de beleving van temperatuur en luchtvochtigheid overeen met de verwachtingen aan de advieswaarden?
- Wat is de kwaliteit van het binnenklimaat in het leslokaal gedurende de zomerperiode?

Om de bovengenoemde vragen te kunnen beantwoorden is de temperatuur en de relatieve vochtigheid in de onderzochte leslokalen gedurende 5 weken (inclusief 1 week voorjaarsvakantie) geregistreerd. Tevens is tijdens deze periode door de leerkrachten van de onderzochte lokalen per dagdeel (ochtend / middag) de beleving van het optredende klimaat geregistreerd. Ook is bij de enquête van de leerkrachten aandacht besteed aan de beleving van het thermisch comfort en de relatieve vochtigheid.

De ruimtetemperatuur gedurende de periode buiten het stookseizoen (zomerklimaat) is in dit onderzoek niet met metingen nader onderzocht. Wél is de kwaliteit van het binnenklimaat gedurende de zomerperiode in de onderzochte leslokalen kwalitatief op basis van relevante lokaalkenmerken beoordeeld. Verder is ook bij de enquête van de leerkrachten aandacht besteed aan de beleving van de ruimtetemperatuur gedurende de zomerperiode.

### 5.2 Temperatuur en luchtvochtigheid stookseizoen

Er zijn geen wettelijke eisen gesteld aan de temperatuur en de relatieve vochtigheid in basisscholen. Ten behoeve van het onderhavige onderzoek zijn in [11] wel advieswaarden gegeven voor de temperatuur en de relatieve vochtigheid in leslokalen. Voor de winterperiode c.q. het stookseizoen zijn deze advieswaarden als volgt:

- temperatuur 19-23°C ( $21 \pm 2^\circ\text{C}$ )
- relatieve vochtigheid 20-60%.

In tabel 5.1 is de gemiddelde temperatuur van de buitenlucht gedurende de meetperiode (tijdens lestijden van 9.00-15.00 uur) weergegeven. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de gemiddelde buitentemperatuur tijdens lestijden beneden 10°C is gelegen. Er is dus duidelijk sprake geweest van een winter- c.q. stookseizoen.



**Tabel 5.1**

Gemiddelde temperatuur buitenlucht in Nieuwegein tussen 9.00 en 15.00 uur (week 7 t/m 11 2007)

Week 7	Week 8	Week 9	Week 10	Week 11
7,7	8,7	7,5	9,2	9,8
	vakantie regio zuid	vakantie regio noord		

In tabel 5.2 zijn de resultaten van de metingen van de ruimtetemperatuur en de relatieve vochtigheid van de leslokalen vermeld. In de tabel is zowel de minimum ( $P_5$ ), maximum ( $P_{95}$ ) als de gemiddelde waarde ( $P_{50}$ ) vermeld. Tevens is per categorie ( $P_5$ ,  $P_{95}$  en  $P_{50}$ ) het bereik van de meetwaarden aangegeven.

**Tabel 5.2**

Overzicht meetresultaten ruimtetemperatuur en relatieve vochtigheid

	Minimum waarde ( $P_5$ )			Maximum waarde ( $P_{95}$ )			Gemiddelde waarde ( $P_{50}$ )		
	Min	max	gem	min	max	gem	min	max	gem
Temperatuur [°C]	15,9	20,9	18,7	18,4	25,2	22,0	17,3	23,3	20,3
Relatieve vochtigheid [%]	28	55	38	42	70	55	36	64	48

Uit de meetresultaten in tabel 5.2 blijkt dat de minimum temperatuur ( $P_5$ ) in de leslokalen tijdens de meetperiode gemiddeld 18,7°C bedroeg en de maximum temperatuur ( $P_{95}$ ) gemiddeld 22,0°C. De gemiddelde minimum en maximum waarden voldoen hiermee nagenoeg aan de vooraf gestelde advieswaarde van  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ .

In 77% van de onderzochte leslokalen wordt tijdelijk niet aan de temperatuurcriteria voldaan. In 57% van de leslokalen is de ondergrens van 19°C tijdelijk onderschreden, waarbij de tijdsduur van deze onderschrijding gemiddeld 21% van de lestijd bedroeg. Uit tabel 5.3 blijkt dat in leslokalen van het type 4 (mechanische toe- en afvoer) het percentage leslokalen waar de ondergrens van 19°C tijdelijk wordt onderschreden alsmede de tijdsduur van deze onderschrijding aanzienlijk minder is. De reden hiervan is dat de toevoerlucht van een ventilatiesysteem met een mechanische toe- en afvoer over het algemeen is voorverwarmd doordat deze systemen zijn voorzien van een warmteterugwinunit. In deze leslokalen blijkt de minimumtemperatuur gemiddeld 19,5°C te bedragen en dus wél te voldoen aan de ondergrens van 19°C.

**Tabel 5.3**

## Onderschrijding temperatuur van 19°C

Situatie	alle	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
% leslokalen waar 19°C tijdelijk wordt onderschreden	57	62	56	66	28
Tijdsduur onderschrijding (% van lestijd)	21	28	18	21	7

In 20% van de leslokalen blijkt de bovengrens van 23°C tijdelijk te worden overschreden. De tijdsduur van deze overschrijding was gemiddeld 8% van de lestijd.

De relatieve vochtigheid in de leslokalen voldoet in het algemeen aan de gestelde criteria van minimaal 20% en maximaal 60%. Uit tabel 5.2 blijkt dat de ondergrens van 20% in geen van de leslokalen is bereikt. Tabel 5.4 toont dat de bovengrens van 60% alleen in lokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel wordt overschreden waarbij de tijdsduur van deze overschrijding gemiddeld 11% van de lestijd bedraagt.

**Tabel 5.4**

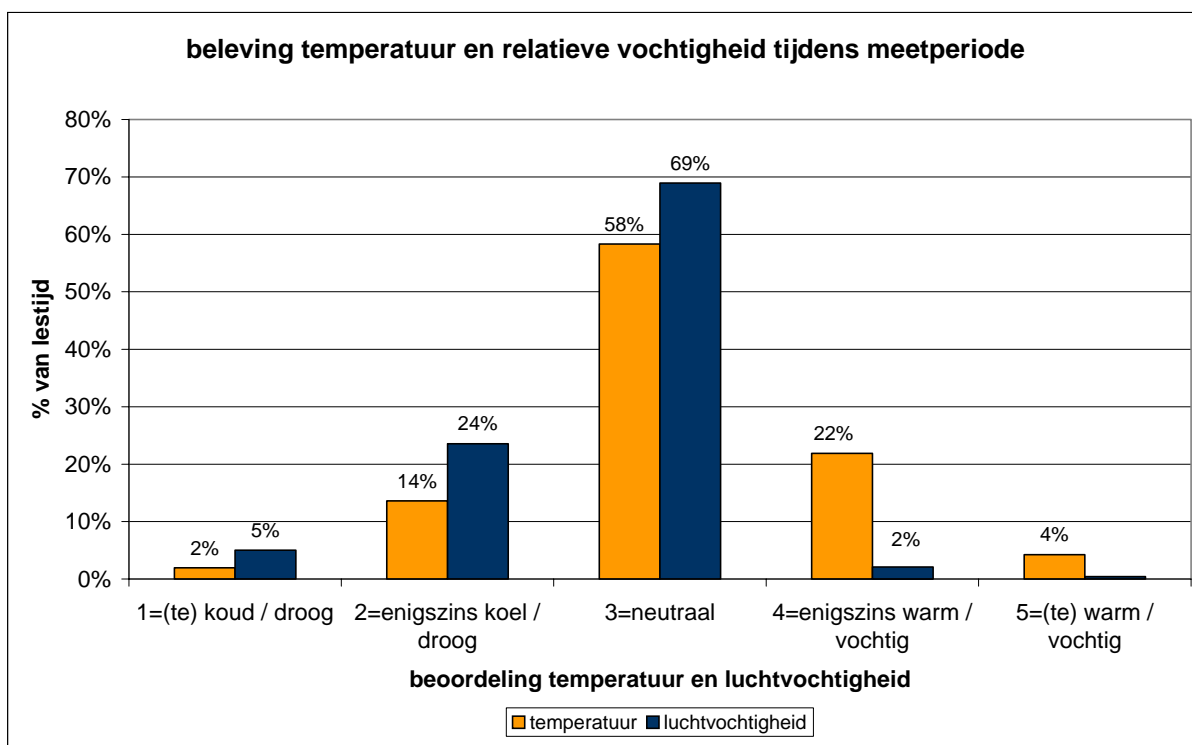
## Overschrijding bovengrens relatieve vochtigheid van 60%

Situatie	alle	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
% leslokalen waar 60% tijdelijk wordt overschreden	19	29	16	13	0

De reden van de hogere relatieve vochtigheid in lokalen met een natuurlijke toevoer kan in hoofdzaak worden toegeschreven aan de lagere ruimtetemperatuur in deze lokaaltypen. Uit een analyse van de meetdata blijkt dat ook in deze lokaaltypen aan een relatieve vochtigheid van maximaal 60% wordt voldaan ingeval de ruimtetemperatuur 19°C of meer bedraagt.

Tijdens de meetperiode is de leerkrachten verzocht de optredende temperatuur en luchtvochtigheid per dagdeel (ochtend / middag) te beoordelen. De resultaten hiervan zijn getoond in figuur 5.1.

Uit een analyse van de meetdata blijkt dat gemiddeld over alle leslokalen de minimum temperatuur van 19°C gedurende ca. 17% van de lestijd wordt onderschreden. Dit percentage blijkt goed overeen te komen met de tijdsduur dat de leerkrachten de optredende ruimtetemperatuur als enigszins koel of (te) koud beoordeelden (namelijk 16%). Verder blijkt uit de meetdata dat het percentage van de tijd dat de leerkrachten de ruimtetemperatuur in leslokalen met een mechanische toe- en afvoer als enigszins koel of (te) koud beoordeelden geheel overeen te stemmen met het percentage van de lestijd dat in dit lokaaltypen de ruimtetemperatuur onder de 19°C was gelegen. De beoordeling van de optredende temperatuur blijkt dus goed overeen te stemmen met de gemeten temperatuur.



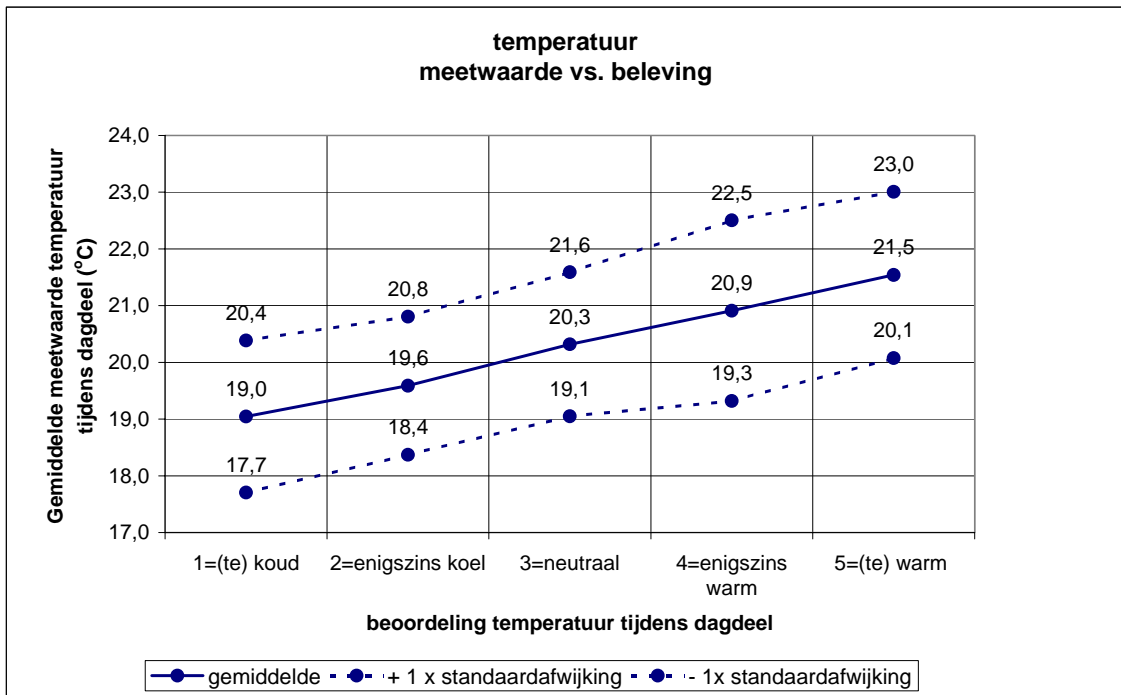
**Figuur 5.1**

Resultaten beoordeling temperatuur en relatieve vochtigheid door leerkrachten tijdens meetperiode

De beoordeling van de relatieve vochtigheid door de leerkrachten blijkt minder goed overeen te stemmen met de gemeten luchtvochtigheid. Uit de meetdata blijkt dat de relatieve vochtigheid in nagenoeg alle leslokalen boven de 30% is gelegen terwijl de luchtvochtigheid door de leerkrachten gedurende 29% van de tijd als enigszins droog of (te) droog werd beoordeeld.

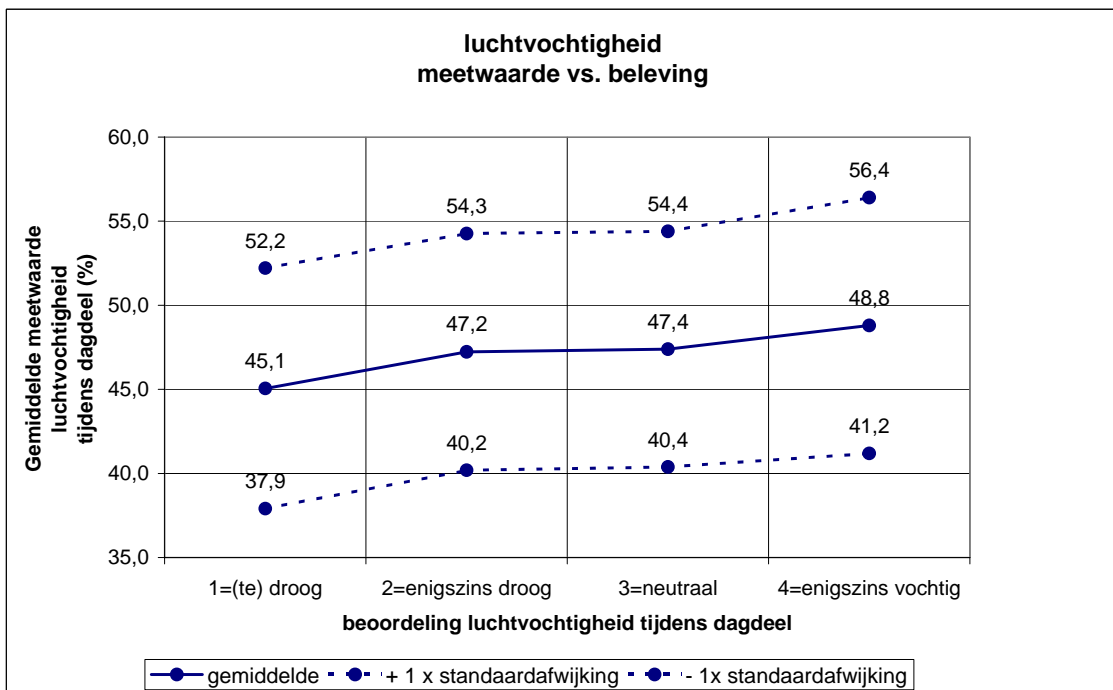
In figuur 5.2 is de gemiddelde meetwaarde van de luchttemperatuur tijdens een dagdeel gerelateerd aan de beoordeling van de temperatuur door de leerkracht tijdens dit dagdeel. Ook uit deze figuur volgt een duidelijke relatie tussen de beoordeling van de ruimtemtemperatuur door de leerkracht en de gemeten luchttemperatuur.

In figuur 5.3 is dezelfde relatie weergegeven voor de luchtvochtigheid, waarbij de beoordelingen 'te vochtig' is weggelaten omdat uit figuur 5.1 kan worden afgeleid dat het aantal registraties van deze beoordeling zeer gering is. Uit figuur 5.3 volgt dat de gemiddelde luchtvochtigheid in het leslokaal gedurende een dagdeel minder duidelijk is gerelateerd aan de beoordeling van de luchtvochtigheid door de leerkracht. In aanvulling op figuur 5.3 is in figuur 5.4 is de beoordeling van de luchtvochtigheid door de leerkracht tijdens een dagdeel gerelateerd aan de gemiddelde meetwaarde van de *luchttemperatuur* tijdens een dagdeel. Hieruit blijkt dat de beleving van de luchtvochtigheid duidelijk gerelateerd is aan de optredende luchttemperatuur. Door in het stookseizoen het optreden van hoge ruimtetemperaturen tegen te gaan kan hinder als gevolg van een lage luchtvochtigheid worden beperkt.



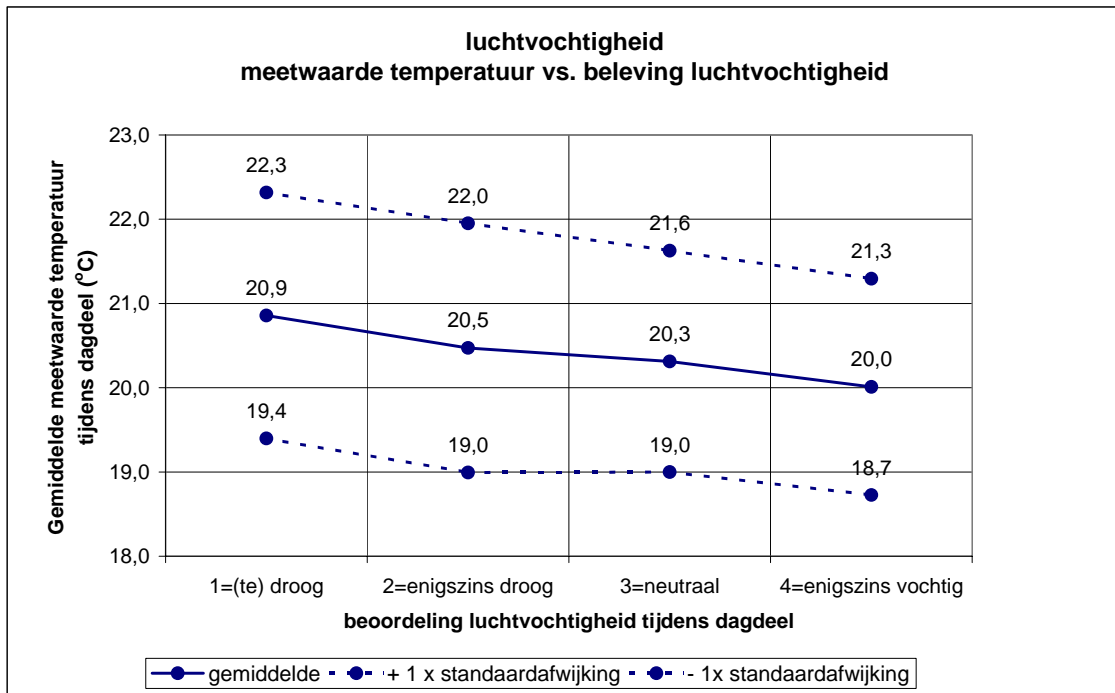
**Figuur 5.2**

Relatie tussen de beoordeling van de temperatuur tijdens een dagdeel door de leerkracht en de gemiddelde meetwaarde van de temperatuur ( $\pm 1$  x standaardafwijking) tijdens dit dagdeel



**Figuur 5.3**

Relatie tussen de beoordeling van de luchtvochtigheid tijdens een dagdeel door de leerkracht en de gemiddelde meetwaarde van de luchtvochtigheid ( $\pm 1$  x standaardafwijking) tijdens dit dagdeel



**Figuur 5.4**

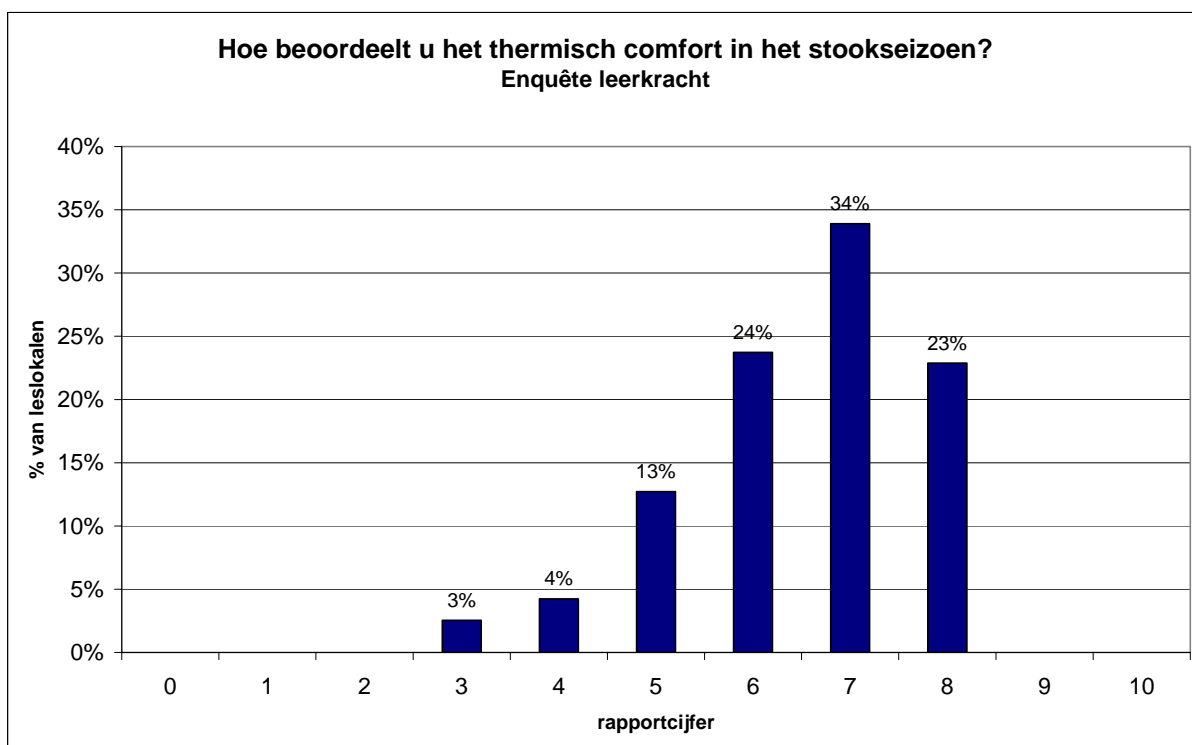
Relatie tussen de beoordeling van de luchtvochtigheid tijdens een dagdeel door de leerkracht en de gemiddelde meetwaarde van de temperatuur ( $\pm 1$  x standaardafwijking) tijdens dit dagdeel

In het onderzoek is bij de leerkrachten van de onderzochte leslokalen tevens een algemene enquête afgenomen met vragen over de beleving van het thermisch comfort tijdens het stookseizoen. De resultaten van deze enquête zijn weergegeven in figuur 5.5 en tabel 5.5.

Uit figuur 5.5 blijkt dat in ca. 80% van de leslokalen het thermisch comfort tijdens het stookseizoen als toereikend (rapportcijfer 6 of hoger) wordt ervaren. In ca. 20% van de leslokalen wordt het thermisch comfort in het stookseizoen als onvoldoende beoordeeld (rapportcijfer 5 of lager).

Het gemiddelde rapportcijfer van het thermisch comfort in het stookseizoen bedraagt 6,4. Opmerkelijk is dat uit tabel 5.5 blijkt dat de waardering van het thermisch comfort in leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) niet noemenswaardig afwijkt van die in de andere lokaaltypen.

Verder blijkt uit tabel 5.5 dat 18% tot 36% van de leerkrachten van een lokaaltype met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht (type 1 t/m 3) het 's winters vaak te warm vinden. Opmerkelijk is dat dit percentage aanmerkelijk hoger ligt dan het percentage van de leerkrachten van dit lokaaltype dat heeft aangegeven het 's winters vaak te koud te hebben.



**Figuur 5.5**

Enquête leerkracht: Hoe beoordeelt u het thermisch comfort in het stookseizoen?

**Tabel 5.5**

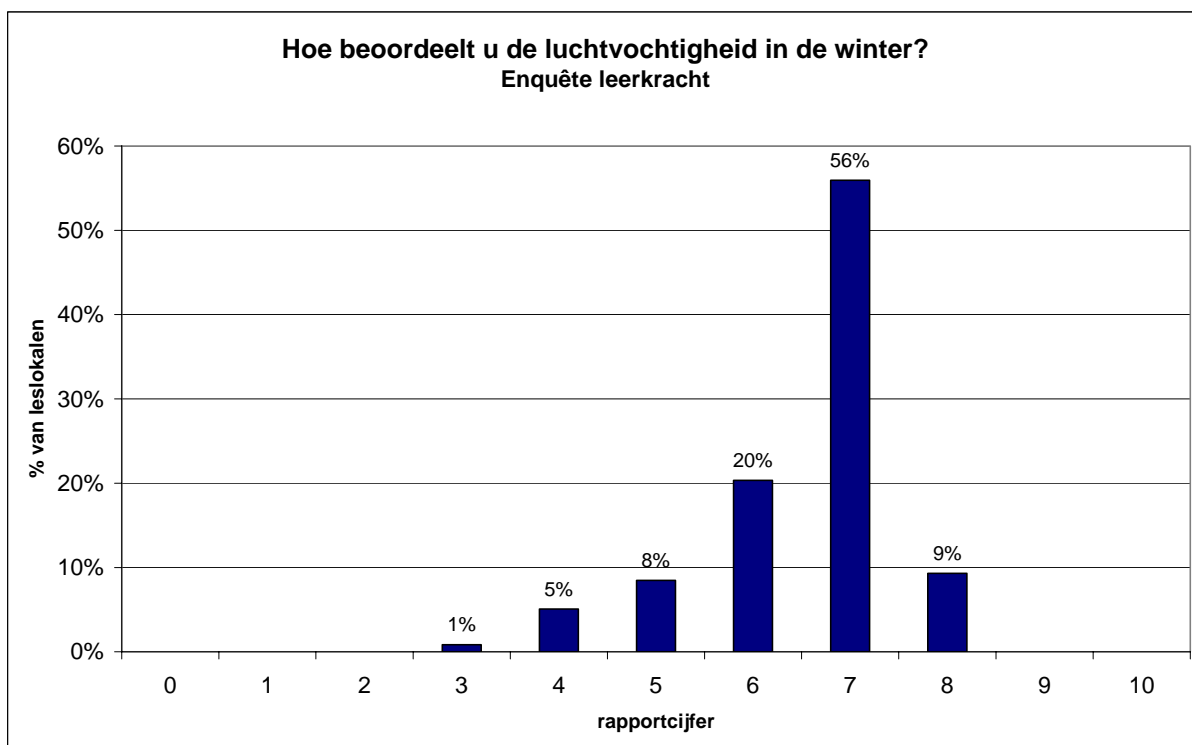
Resultaten enquête beoordeling thermisch comfort stookseizoen

Vragen	Mogelijkheden keuze	Resultaten				
		Alle	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Hoe beoordeelt u het thermisch comfort in het stookseizoen?	Gemiddeld rapportcijfer	6,4	6,5	6,4	6,5	6,2
vindt u het 's winters te warm in het lokaal ?	Vaak	20%	18%	36%	22%	0%
	Soms	36%	36%	28%	44%	31%
	Nooit	44%	47%	36%	34%	69%
vindt u het 's winters te koud in het lokaal ?	Vaak	6%	13%	0%	3%	0%
	Soms	32%	36%	24%	41%	19%
	Nooit	62%	51%	76%	56%	81%
heeft u in uw eigen lokaal last van tocht ?	Vaak	8%	7%	4%	13%	6%
	Soms	42%	53%	36%	38%	31%
	Nooit	50%	40%	60%	50%	63%
Wordt gebruik ventilatievoorzieningen hierdoor beperkt ?	Vaak	20%	27%	16%	19%	13%
	Soms	10%	13%	8%	9%	6%
	Nooit	69%	60%	76%	72%	81%

In lokalen met een mechanische toe- en afvoer (type 4) heeft daarentegen geen van de leerkrachten het 's winters vaak te koud of te warm. Mogelijke verklaring hiervoor is de meer constante temperatuur in het leslokaal van het type 4. Bij de andere lokaaltypen zal de optredende ruimtetemperatuur meer kunnen variëren door een wisselend gebruik van de ventilatievoorzieningen. Verder is mogelijk van invloed dat de leslokalen van het type 4 over het algemeen nieuwer zijn dan de andere typen en mede hierdoor vaker zullen zijn voorzien van zonwering en een thermostatische temperatuurregeling van de radiatoren.

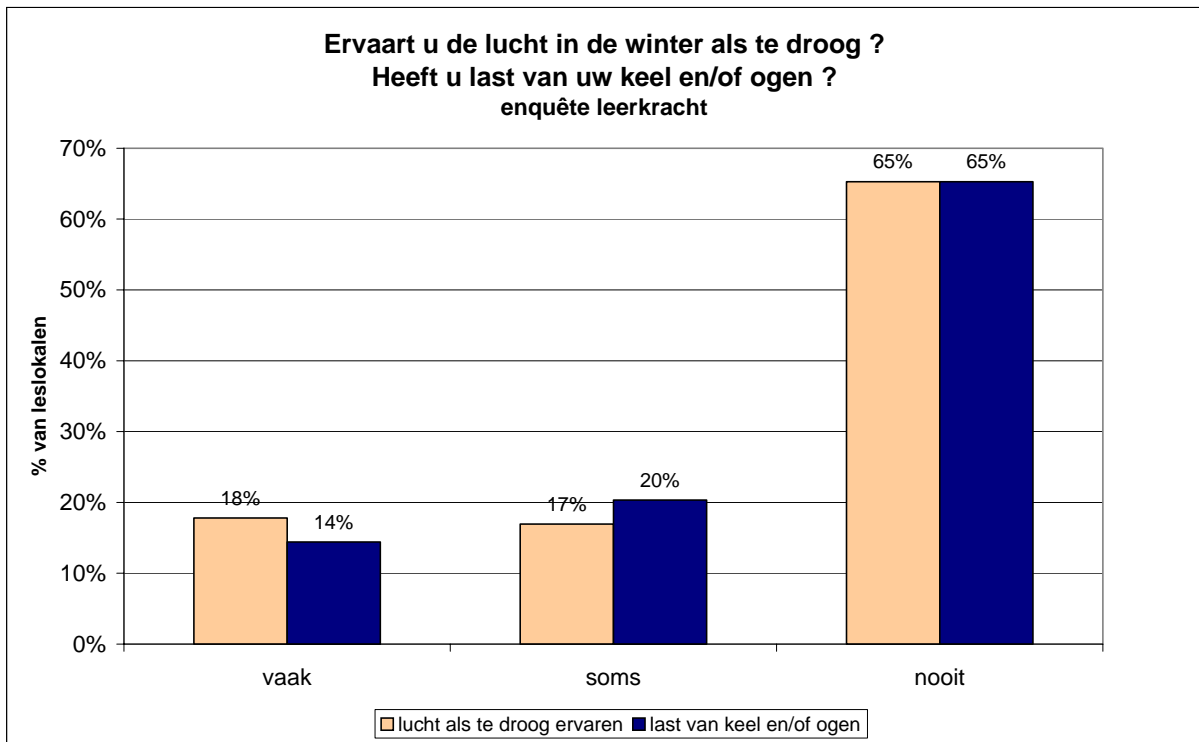
Op basis van tabel 5.5 blijkt 40 tot 60% van de leerkrachten van de leslokalen met een natuurlijke toevoer aangeeft vaak of soms hinder ten gevolge van tocht te ondervinden. Met name in lokaaltype 1 blijkt dat het optreden van tocht aanleiding is voor een verminderd gebruik van de ventilatievoorzieningen. Bij lokaaltype 2 en 3 ligt dit percentage lager. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de ventilatiestroom door fijnregelbare ventilatieroosters over het algemeen beter kan worden beheerst. Al eerder is vastgesteld dat ook in lokalen met een geheel mechanische ventilatie gedurende het stookseizoen aanvullend wordt geventileerd door het openen van ramen in de gevel. Dit verklaart waarom ook in dit lokaaltype door 37% van de leerkrachten vaak of soms hinder ten gevolge van tocht wordt ondervonden.

In het onderzoek is bij de leerkrachten van de onderzochte leslokalen tevens een enquête afgenomen met vragen over de algemene beleving van de luchtvochtigheid tijdens het gehele stookseizoen. De resultaten van deze enquête zijn weergegeven in figuur 5.6 en 5.7.



**Figuur 5.6**

Enquête leerkracht: Hoe beoordeelt u de luchtvochtigheid in de winter ?



**Figuur 5.7**

Enquête leerkracht: Ervaart u de lucht in de winter als te droog ? Heeft u last van uw keel en/of ogen ?

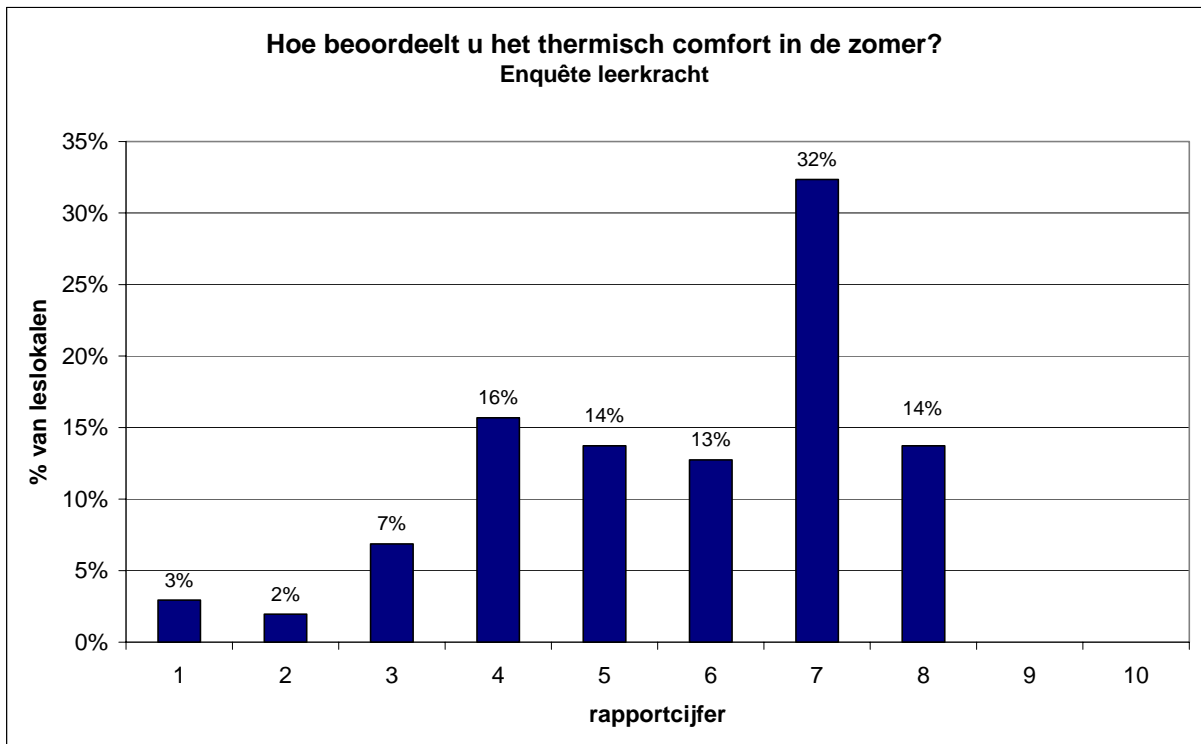
Het gemiddelde rapportcijfer van de luchtvochtigheid in het stookseizoen bedraagt 6,5. Op basis van figuur 5.6 kan worden afgeleid dat ca. 85% van de leerkrachten de luchtvochtigheid in het stookseizoen als toereikend beoordeelt (rapportcijfer 6 of hoger). Dit percentage stemt globaal overeen met het percentage van de leerkrachten dat aangeeft de lucht in de winter *soms* of *nooit* te droog te ervaren (zie figuur 5.7).

### 5.3 Temperatuur zomerperiode

De ruimtetemperatuur gedurende de periode buiten het stookseizoen (zomerklimaat) wordt door de gebruikers van basisscholen als één van de optredende knelpunten aangegeven. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de afgenomen enquête, weergegeven in de figuren 5.8 en 5.9.

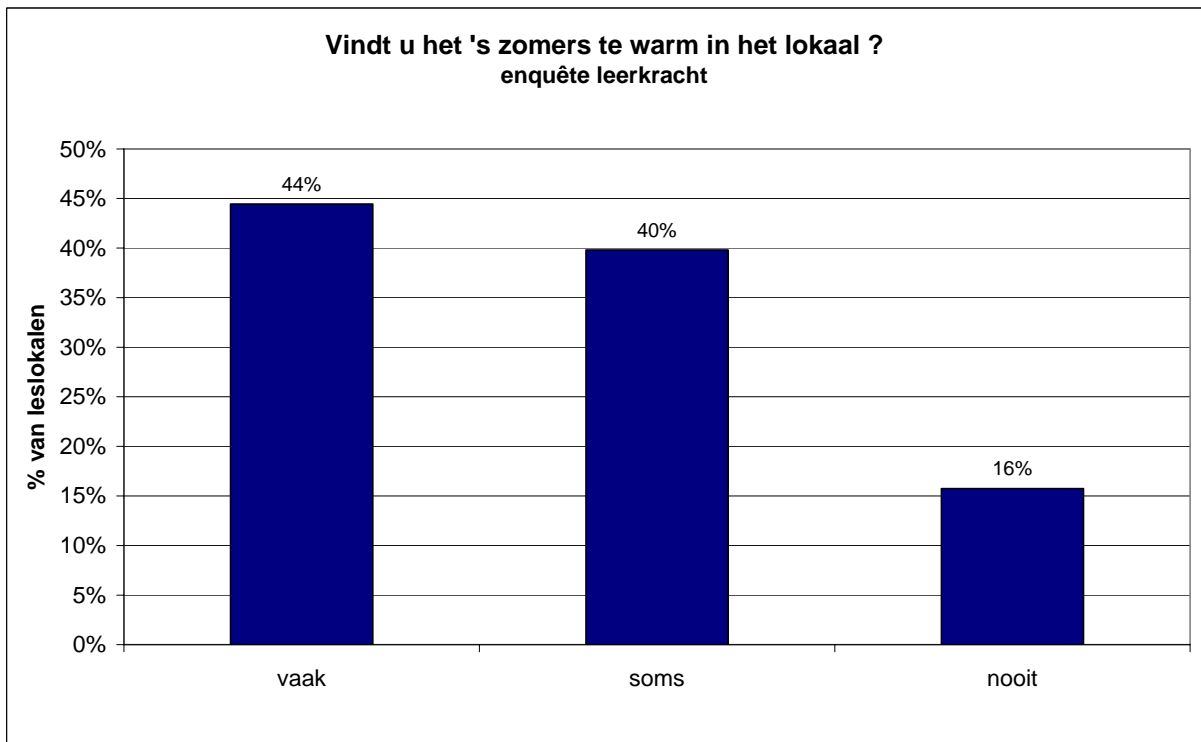
Het gemiddelde rapportcijfer van het thermisch comfort in de zomer bedraagt 5,7. Op basis van figuur 5.8 en 5.9 kan worden afgeleid dat ca. 42% van de leerkrachten het thermisch comfort in de zomerperiode als onvoldoende beoordeelt (rapportcijfer 5 of lager), waarbij 45% van de leerkrachten aangeven het zomers *vaak* te warm te hebben in het leslokaal.





**Figuur 5.7**

Enquête leerkracht: Hoe beoordeelt u de het thermisch comfort in de zomer ?



**Figuur 5.8**

Enquête leerkracht: Vindt u het 's zomers te warm in het lokaal ?

Er zijn geen wettelijke eisen van toepassing voor de ruimtetemperaturen in leslokalen gedurende de zomerperiode. Wel worden in het Programma van Eisen bij de nieuwbouw van scholen soms eisen gesteld aan het thermisch comfort in de zomerperiode, waarbij veelal wordt aangesloten bij de richtlijnen die hiervoor door de Rijksgebouwendienst [10] worden gehanteerd. Hierin is vermeld dat de operationele temperatuur in leslokalen niet meer dan 10% van de gebruikstijd op jaarbasis boven de 25,5°C en niet meer dan 2% van de gebruikstijd boven de 28 °C mag komen. Met behulp van berekeningen kan worden nagegaan in hoeverre aan deze eis wordt voldaan.

Het thermisch binnenklimaat gedurende de periode buiten het stookseizoen is in dit onderzoek niet met metingen nader onderzocht. Wél zijn van de onderzochte leslokalen alle relevante gegevens verzameld die van belang zijn voor het zomerklimaat. Op basis hiervan is de kwaliteit van het thermisch binnenklimaat in de zomerperiode kwalitatief beoordeeld.

Bij de kwalitatieve beoordeling zijn de volgende voor het zomerklimaat relevante invloedsfactoren beschouwd:

- 1 de kwaliteit van de spuiventilatie;
- 2 het al dan niet gelegen zijn onder een dak, het isolatieniveau en de massa van het dak;
- 3 de aanwezigheid van zonwering;
- 4 de oriëntatie van en de grootte van de lichtopeningen.

#### *Ad 1 Kwaliteit spuiventilatie*

Het klimaat in lesruimten kan onder zomerse omstandigheden alleen binnen zekere grenzen worden beheerst wanneer er in de buitengevel(s) van het leslokaal voldoende te openen delen (ramen, deuren) aanwezig zijn. Voor de grootte van deze spuiventilatie-openingen kunnen volgens [3] globaal de volgende netto-oppervlakten (m<sup>2</sup>) worden aangehouden:

- 1,5 – 2,0 m<sup>2</sup> per gevel in geval in twee gevels te openen delen aanwezig zijn;
- 5,0 – 8,0 m<sup>2</sup> in geval in slechts één gevel te openen delen aanwezig zijn.

Met de voornoemde openingen kan een warmtebelasting van 5 à 7 kW zodanig worden afgevoerd dat het temperatuurverschil tussen binnen en buiten 5 à 7°C bedraagt. De genoemde warmtebelasting stemt globaal overeen met een warmtebelasting als gevolg van aanwezige leerlingen en zoninstraling door een zonbelaste gevel met een glaspercentage van ca. 50%.

Bij de beoordeling van de kwaliteit van de spuiventilatie is uitgegaan van een drietal kwaliteitsniveaus. De beoordelingscriteria zijn afgeleid uit de hiervoor aangegeven ventilatie-oppervlakten en zijn in tabel 5.6 vermeld.

**Tabel 5.6**

Spuiventilatie – kwaliteitsniveaus en criteria

Kwaliteitsniveau	Effectieve oppervlakte spuiventilatieopeningen bepaald conform NEN 1087	
	Spuien via 1 gevelvlak	Spuien via 2 gevelvlakken
<b>A</b>	< 5,0 m <sup>2</sup>	< 1,5 m <sup>2</sup> per gevel
<b>B</b>	overige situaties	
<b>C</b>	> 8,0 m <sup>2</sup>	> 2,0 m <sup>2</sup> per gevel

*Ad 2 Situering van leslokaal en isolatieniveau dakconstructie*

Bij leslokalen die gesitueerd zijn onder een dakconstructie is sprake van een additionele warmtebelasting via de dakconstructie die mede afhangt van het isolatieniveau van het dak en de massa van de dakconstructie. Bij de beoordeling is onderscheid gemaakt tussen leslokalen die wel of niet direct onder een dakconstructie zijn gesitueerd. In geval leslokalen onder een dak zijn gesitueerd is vervolgens onderscheid gemaakt op basis van het isolatieniveau van de dakconstructie ( $R_c < 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  $R_c \geq 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  en  $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) en de materialisatie van de dakconstructie (wel of niet steenachtig).

*Ad 3 Zonwering*

Bij de beoordeling is voor de zonbelaste glasgevels nagegaan in hoeverre zonwerende voorzieningen / omstandigheden aanwezig zijn. Als zonwerende voorzieningen / omstandigheden zijn de volgende situaties aangemerkt:

- buitenzonwering;
- zonwerende beglazing ( $ZTA \leq 0,50$ );
- belemmeringen (overstek, bomen, etc.) waarmee een reductie van ten minste 50% van de zoninval wordt bereikt.

*Ad 4 Oriëntatie en grootte lichtopeningen*

Bij de beoordeling is nagegaan hoe groot de glasoppervlakte is in de zonbelaste gevels.

Als zonbelaste gevels zijn gevels aangemerkt met een oriëntatie O / ZO / Z / ZW / W.

Voor wat betreft de totale glasoppervlakte in de zonbelaste gevels is onderscheid gemaakt in de volgende situaties:

- meer dan 10,0 m<sup>2</sup>;
- tussen 5,0 en 10,0 m<sup>2</sup>;
- minder dan 5,0 m<sup>2</sup>.

Een glasoppervlakte van respectievelijk 5,0 m<sup>2</sup> en 10,0 m<sup>2</sup> komt bij een gemiddeld leslokaal met één buitengevel globaal overeen met een glaspercentage van respectievelijk 25% en 50%.

In tabel 5.7 is op basis van een combinatie van de hiervoor besproken invloedsfactoren een indeling gemaakt in een drietal verschillende kwaliteitsniveaus (A, B en C). Deze kwaliteitsniveaus houden in :

- A. het thermisch binnenklimaat is in de zomer minder goed beheersbaar;
- B. omstandigheden en voorzieningen in het leslokaal zijn zodanig dat het binnenklimaat in de zomer naar verwachting binnen acceptabele grenzen kan worden gehouden.
- C. voorzieningen en omstandigheden zijn zodanig dat hiermee de klimaatcondities in de zomer naar verwachting in voldoende mate zijn te beheersen.

**Tabel 5.7**

Kwalitatieve beoordeling thermisch comfort zomerperiode – kwaliteitsniveaus en criteria

Kwaliteitsniveau	Criteria verblijfsruimten			
	Oriëntatie en glasoppervlakte	Kwaliteitsniveau spuiventilatie	Belemmering of zonwering	Situering leslokaal
A	-	-	-	Dakverdieping steenachtig $R_c \text{ dak} < 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$
	$\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O $> 5,0 \text{ m}^2$	-	aanwezig bij minder dan 50% van $\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O	-
	$\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O $> 10,0 \text{ m}^2$	-	aanwezig bij minder dan 75% van $\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O	-
		A		Dakverdieping Niet-steenachtig $R_c \text{ dak} < 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
B	overige situaties			
C	N / NO / NW	B of C	-	begane grond of tussenverdieping
	$\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O $> 5,0 \text{ m}^2$ en $< 10 \text{ m}^2$	B of C	aanwezig bij ten minste 75% van $\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O	begane grond of tussenverdieping
	N / NO / NW	B of C	-	Dak steenachtig, $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
	$\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O $> 5,0 \text{ m}^2$ en $< 10 \text{ m}^2$	B of C	aanwezig bij ten minste 75% van $\Sigma$ (glasoppervlakte) met oriëntatie Z / ZW / ZO / W / O	Dak steenachtig, $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

De resultaten van de beoordeling zijn gepresenteerd in de tabellen 5.8 t/m 5.10. Tabel 5.8 geeft de uitkomst van de beoordeling van de kwaliteit van de spui ventilatie op basis van de criteria in tabel 5.6. In tabel 5.9 zijn de resultaten vermeld van de beoordeling van de kwaliteit van het thermisch comfort in de zomerperiode op basis van de criteria in tabel 5.7. Tabel 5.10 geeft de resultaten van de relatie tussen de kwaliteit van het thermisch comfort in de zomerperiode volgens tabel 5.9 en de beoordeling van het zomercomfort door de leerkracht.

**Tabel 5.8**

Uitkomst beoordeling kwaliteit spui ventilatie op basis van criteria in tabel 5.6 (% leslokalen met kwaliteitsniveau A, B of C)

	Percentage leslokalen		
	Kwaliteitsniveau A	Kwaliteitsniveau B	Kwaliteitsniveau C
Alle typen	82%	7%	11%
Type 1	62%	11%	27%
Type 2	80%	12%	8%
Type 3	100%	0%	0%
Type 4	100%	0%	0%

**Tabel 5.9**

Uitkomst beoordeling kwaliteit thermisch comfort zomerperiode op basis van criteria in tabel 5.7 (% leslokalen met kwaliteitsniveau A, B of C)

	Percentage leslokalen		
	Kwaliteitsniveau A	Kwaliteitsniveau B	Kwaliteitsniveau C
Alle typen	62%	38%	0%
Type 1	64%	36%	0%
Type 2	80%	20%	0%
Type 3	56%	44%	0%
Type 4	39%	61%	0%

**Tabel 5.10**

Relaties tussen kwaliteit thermisch comfort zomerperiode (tabel 5.9) en beleving leerkracht

Vraag enquête	beoordeling	Leslokalen met kwaliteitsniveau A	Leslokalen met kwaliteitsniveau B
Hoe beoordeelt u het thermisch comfort in de zomer?	Gemiddeld rapportcijfer	5,7	5,8
Vindt u het 's zomers te warm in het lokaal ?	Vaak	27%	17%
	Soms	29%	11%
	nooit	7%	8%

Op basis van de resultaten in de tabellen 5.8 t/m 5.10 kan het volgende worden geconcludeerd:

- In gemiddeld 82% van de leslokalen voldoen de spuisvoorzieningen niet aan de in NPR 1090 [3] gegeven richtlijnen. Voor de lokaaltype 3 en 4 wordt in geen van de onderzochte leslokalen aan deze richtlijnen voldaan. Voor lokaaltype 1 en 2 wordt daarentegen in 20% (type 2) tot 38% van de leslokalen wél aan deze richtlijnen voldaan.
- In gemiddeld 62% van de leslokalen is het thermisch binnenklimaat in de zomer minder goed beheersbaar (kwaliteitsklasse A). Voor de overige leslokalen (38%) geldt dat de omstandigheden en voorzieningen in het leslokaal zodanig zijn dat het binnenklimaat in de zomer naar verwachting binnen acceptabele grenzen kan worden gehouden (kwaliteitsklasse B). In geen van de onderzochte leslokalen voldoet het thermisch binnenklimaat aan kwaliteitsklasse C.
- In leslokalen van het type 4 (mechanische toe- en afvoer) worden in vergelijking met de andere typen de beste prestaties behaald: 61% van de leslokalen voldoet hierbij aan kwaliteitsniveau B. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat leslokalen van het type 4 in het algemeen van een recenter bouwjaar zijn dan de overige lokaaltypen. Hierdoor zal het isolatieniveau van de dakconstructie van lokaaltype 4 in het algemeen hoger zijn dan die van de andere lokaaltypen. Verder zullen bij recent gebouwde leslokalen in het algemeen steenachtige dakconstructies zijn toegepast, terwijl bij 'oudere' leslokalen veelal houten dakconstructies aanwezig zijn. Ook is in de 'oudere' schoolgebouwen in het algemeen sprake van een grotere glasoppervlakten en is minder vaak zonwering aanwezig.
- Tussen de kwalitatieve beoordeling van het thermisch comfort en de beleving van de leerkracht blijkt enige relatie te bestaan. Het percentage leerkrachten dat het *vaak* of *soms* te warm heeft, bedraagt 56% in lokalen van kwaliteitsklasse A terwijl dit percentage 28% bedraagt in leslokalen van kwaliteitsklasse B. Het gemiddelde rapportcijfer van het thermisch comfort in leslokalen van kwaliteitsklasse A (5,7) verschilt echter weinig van die van kwaliteitsklasse B (5,8).

Eerder is aangegeven dat het thermisch binnenklimaat als één van de optredende knelpunten van het binnenmilieu in basisscholen wordt aangemerkt. Dit wordt door de onderzoeksresultaten bevestigd: in 42% van de leslokalen wordt het thermisch comfort in de zomer als onvoldoende aangemerkt en in 62% van de leslokalen kan het thermisch binnenklimaat in de zomer kwalitatief als minder goed beheersbaar worden beoordeeld.

## 6 Samenvatting bevindingen en beantwoording onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de voornaamste bevindingen die op basis van het verrichte onderzoek zijn vastgesteld. In het navolgende worden deze bevindingen aan de hand van de vooraf gestelde onderzoeksvragen per onderdeel besproken.

### 6.1 Luchtkwaliteit

De door meting en onderzoek te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

- Voldoen de klaslokalen aan wettelijke eisen voor luchtverversing?
- Welke CO<sub>2</sub>-concentraties komen in klaslokalen voor en waar zijn de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties het gevolg van? Op basis van de resultaten is de hypothese getoetst die stelt dat in de meeste lokalen de blootstelling aan CO<sub>2</sub> te hoog is (meer dan 1200 ppm) als gevolg van geringe aantal m<sup>3</sup> per persoon (hoge bezettingsgraad) in combinatie met een geringe ventilatie in het stookseizoen. Er is nagegaan in hoeverre een te geringe ventilatie een gevolg is van het niet naleven van de regelgeving dan wel van het niet gebruiken van de voorzieningen (gedrag van leerkrachten).
- Worden de aangebrachte voorzieningen ook gebruikt zoals ze zijn bedoeld om ten minste aan de eisen te kunnen voldoen? Zo neen, wat is hiervan de oorzaak (bijvoorbeeld techniek of het gedrag)?
- Komt de beleving van de kwaliteit van het binnenmilieu overeen met de meetresultaten?
- Wat is de inschatting van de maatregelen en de kosten die nodig zijn om een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van ten hoogste 1200 ppm ?

Voor het formuleren van een betrouwbare uitspraak op deze onderzoeksvragen is bij de steekproef rekening gehouden met de in Nederland voorkomende schoolkenmerken die relevant zijn voor het binnenmilieu. De voor het binnenmilieu relevante kenmerken betreffen de kenmerken van het klaslokaal (en dan met name de ventilatievoorzieningen) en kenmerken van het gebruik (bezetting en gebruik voorzieningen). Uitgangspunt bij de steekproef van de leslokalen is het in voldoende mate voorkomen van de in Nederland te onderscheiden klaslokaaltypen op basis van ventilatietechnische kenmerken. Op basis van deze kenmerken van een klaslokaal zijn 4 voorkomende klaslokaaltypen gedefinieerd. De verdeling van de lokaaltypen in de steekproef stemt redelijk overeen (binnen 10%) met de eigen raming van het percentage waarin deze klaslokaaltypen in Nederland voorkomen. De uiteindelijke steekproef is hiermee naar verwachting toereikend om een representatieve indruk van de landelijke situatie te verkrijgen en de hierbij te stellen prioriteiten voor het beleid.

## Onderzoeksvraag 1.

### Voldoen de klaslokalen aan wettelijke eisen voor luchtverversing?

De luchtverversing in bestaande leslokalen dient ten minste te voldoen aan de eisen van de bestaande bouw van Bouwbesluit 2003. Voorts wordt van de eigenaar verlangd dat het van toepassing zijnde niveau dat bij de verlening van de bouwvergunning voor het leslokaal (tijdens de bouw of renovatie) van toepassing is, in stand te houden. Handhaving van gemeenten betreft in eerste instantie een (preventieve) toets bij aanvraag om bouwvergunning en in tweede instantie of het niveau van bestaande bouw is overschreden. Het niveau dat verbonden is aan de verleende bouwvergunning heeft een functie als onderbouwing van de noodzaak voor het opleggen van een verplichting ingevolge artikel 13 Woningwet tot het treffen van een voorziening op een hoger niveau.

De eisen ten aanzien van de luchtverversing van de bestaande bouw hebben betrekking op de capaciteit van de luchtverversing. Er zijn geen eisen gesteld aan de inrichting van de ventilatievoorzieningen (zoals ten aanzien van het thermisch comfort en de fijnregelbaarheid). De eis aan de capaciteit van de luchtverversing van een leslokaal zoals deze is gesteld voor de bestaande bouw in het Bouwbesluit betreft een bouwtechnische ondergrens en is niet gerelateerd aan een specifieke CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte. Voor alle onderzochte leslokalen geldt dat aan het niveau van de bestaande bouw wordt voldaan. Dit is immers reeds het geval, indien in de gevel een te openen raam aanwezig is.

Voor het merendeel van de onderzochte leslokalen (62%) zijn geen hogere eisen van toepassing dan het niveau van de bestaande bouw in Bouwbesluit 2003. Het betreft hier leslokalen waarvan de aanvraag van de bouwvergunning vóór oktober 1986 heeft plaatsgevonden. Binnen deze groep is met name sprake van leslokalen met een natuurlijke toe- en afvoer van ventilatielucht middels voorzieningen in één of meerdere gevels en/of het dakvlak (lokaaltype 1 en 2).

Het grootste deel van de resterende leslokalen (31% van de onderzochte leslokalen) dient te voldoen aan het nieuwbouwniveau van het Bouwbesluit 2003. Het betreft hier leslokalen met een bouwvergunning van ná 1992, waarbij met name sprake is van leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 3 en 4). De capaciteitseisen van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' zijn zodanig gesteld dat hiermee een concentratie van maximaal 1200 ppm kan worden gerealiseerd bij langdurig verblijf in de betreffende ruimte. Uit het onderzoek is gebleken dat 65% van de leslokalen waar de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit 2003 van toepassing zijn, *niet* voldoet aan de eisen die zijn gesteld aan de nominale capaciteit van de ventilatievoorzieningen. Voor leslokalen met een mechanische afvoer van ventilatielucht (lokaaltype 3) voldoet zelfs 80% niet aan de nieuwbouweisen. Dit blijkt met name het gevolg te zijn van een te lage capaciteit van de mechanische ventilatie. Ook ontbreekt het in enkele gevallen aan toevoorzieningen die op een hoogte van ten minste 1,80 m boven vloerniveau zijn gesitueerd.

Voor leslokalen die moeten voldoen aan de eisen van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' of 'Bouwverordening - NEN 1089' geldt tevens dat de ventilatievoorzieningen in de gevel in



meerdere standen instelbaar c.q. fijnregelbaar moeten zijn. Voor ca. 26% van de onderzochte leslokalen waarbij de toevoer plaatsvindt via voorzieningen in de gevel, blijken de voornoemde eisen van toepassing. Voor 52% van deze leslokalen waren de benodigde ventilatievoorzieningen niet of slechts ten dele fijnregelbaar als gevolg van het ontbreken van een fijnregeling op de te openen ramen. Hierdoor zijn de ramen niet op verschillende standen instelbaar, waardoor deze in het stookseizoen vaak gesloten zullen zijn omdat in geheel geopende toestand vaak tocht- en koudeklachten zullen ontstaan.

Samenvattend blijkt dat ca. 74% van de onderzochte leslokalen aan de wettelijke eisen voldoet, maar dat voor ca. 62% van de onderzochte leslokalen geen hogere eisen van toepassing zijn dan het niveau van de bestaande bouw in Bouwbesluit 2003. Voor de ca. 26% van de onderzochte leslokalen waar niet aan de wettelijke eisen wordt voldaan, geldt het wettelijke niveau van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' of 'Bouwverordening - NEN 1089'. Verder is gebleken dat voor ca. 69% van de leslokalen waar deze eisen van toepassing zijn, er niet aan de wettelijke eisen wordt voldaan.

## **Onderzoeksvraag 2.**

### **Welke CO<sub>2</sub>-concentraties komen in klaslokalen voor en waar zijn de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties het gevolg van?**

Bij het vaststellen van de eisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten volgens Bouwbesluit 2003 is uitgegaan van een maximum CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm. In het navolgende wordt de grens van 1200 ppm daarom gehanteerd als een bovengrens. De eisen voor bestaande bouw zijn niet gerelateerd aan de kwaliteit van het binnenmilieu in termen van CO<sub>2</sub>-concentraties.

Bij het vaststellen van de capaciteitseisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten op basis van een maximum CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm, is uitgegaan van een rekenwaarde voor de bezetting in een ruimte. Deze rekenwaarde stemt echter niet overeen met de maximale bezetting die binnen een bepaalde bezettingsgraadklasse is toegestaan. Hierdoor kunnen er theoretisch CO<sub>2</sub>-concentraties tot 1800 ppm optreden bij een ventilatie die voldoet aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit.

Op basis van de meetresultaten kan het volgende worden geconcludeerd:

- In ca. 88% van de onderzochte leslokalen blijkt de maximale (P<sub>95</sub>) waarde van de CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens lestijd meer dan 1200 ppm te bedragen, en wel gedurende gemiddeld ca. 41% van de lestijd.

- Gemiddeld over alle onderzochte leslokalen blijkt dat gedurende ca. 39% van de lestijd een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie dan 1200 ppm is opgetreden. Voor de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) is dit echter maar voor ca. 9% van de lestijd het geval, terwijl dit bij de andere onderzochte lokaaltypen varieert van ca. 43% tot ca. 49% van de lestijd.
- De maximale CO<sub>2</sub>-concentratie (P<sub>95</sub>-waarde) bedraagt gemiddeld voor alle onderzochte leslokalen 1811 ppm en per lokaaltype respectievelijk 1906 ppm (lokaaltype 1), 1983 ppm (lokaaltype 2), 1889 ppm (lokaaltype 3) en 1164 ppm (lokaaltype 4). Hieruit blijkt dat in de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) aanmerkelijk lagere CO<sub>2</sub>-concentraties optreden.

Voor alle leslokalen zijn de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties nader geanalyseerd. De resultaten van deze analyse kunnen als volgt worden samengevat:

- Voor ca. 12% van de onderzochte leslokalen is de maximale CO<sub>2</sub>-concentratie (P<sub>95</sub>-waarde) tijdens lestijd kleiner dan of gelijk is aan 1200 ppm. Het merendeel hiervan (ca. 73%) zijn leslokalen met een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht (lokaaltype 4).
- Voor ca. 88% van de onderzochte leslokalen bedroeg de maximale CO<sub>2</sub>-concentratie (P<sub>95</sub>-waarde) tijdens lestijd meer dan 1200 ppm. De reden hiervan bleek voor ca. 99% van deze lokalen een te geringe ventilatie. In minder dan ca. 1% van deze leslokalen was een hogere waarde dan 1200 ppm toe te schrijven aan een hogere bezetting dan de rekenwaarde waar bij het vaststellen van de ventilatie-eisen vanuit is gegaan.
- Voor ca. 34% van de onderzochte leslokalen bleek de te geringe ventilatie het gevolg te zijn van een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen. De aanwezige ventilatievoorzieningen bleken voor deze situatie wél aan de capaciteiteisen van het 'Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw' te voldoen en ook was er geen sprake van een hoge bezetting. Het betreft hier met name leslokalen met een natuurlijke toe- en afvoer (lokaaltype 1 en 2). In het merendeel van deze leslokalen bleken de aanwezige te openen ramen niet te zijn voorzien van een fijnregeling.
- Voor ca. 56% van de onderzochte leslokalen komt de capaciteit van de ventilatievoorzieningen niet overeen met het prestatieniveau waarmee een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm kan worden bereikt. Veelal was hierbij tevens sprake van een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen. In ca. 8% van de onderzochte leslokalen deed zich hierbij tevens een hogere bezetting voor. In nagenoeg alle onderzochte leslokalen met een mechanische afvoer (lokaaltype 3) blijkt sprake van onvoldoende capaciteit van de mechanische afvoer waarbij in ca. 50% van de situaties tevens sprake is van onvoldoende toevoorzieningen in de gevel op een hoogte van ten minste 1,80 m.

### Onderzoeksvraag 3.

**Worden de aangebrachte voorzieningen ook gebruikt zoals ze zijn bedoeld om ten minste aan de eisen te kunnen voldoen? Zo neen, wat is hiervan de oorzaak (bijvoorbeeld techniek of het gedrag)?**

Bij leslokalen waar de ventilatie geschiedt door gebruik van de voorzieningen in de gevel is gebleken dat deze voorzieningen gedurende het stookseizoen vaak niet zodanig worden gebruikt zoals is bedoeld om ten minste aan de eisen te voldoen. Dit is met name bij de onderzochte leslokalen met een natuurlijke toe- en afvoer via klep- en uitzetramen (lokaaltype 1) het geval. In deze leslokalen heeft 82% van de leerkrachten aangegeven de ventilatievoorzieningen vaak of soms te sluiten, met name als gevolg van koud weer en harde wind (78%) en in mindere mate als gevolg van buitengeluid (22%). Bij de lokaaltypen waar de toevoer van ventilatielucht deels of geheel via *ventilatieroosters* plaatsvindt (lokaaltype 2 en 3) is dit percentage lager te weten 56% (type 2) en 63% (type 3). Ook hier is het sluiten van de voorzieningen met name het gevolg van de weerscondities buiten (56%) en in minder mate het gevolg van buitengeluid (25 tot 28%).

Uit de enquête van de leerkrachten is verder gebleken dat:

- In lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht 22% tot 38% van de leerkrachten aangeeft de klep- en uitzetramen in de winterperiode meestal gesloten te houden, terwijl 28% tot 49% van de leerkrachten van deze lokalen de klep- en uitzetramen in de winterperiode meestal op een kierstand heeft geopend.
- In lokalen waar de toevoer van ventilatielucht (deels of geheel) via ventilatieroosters in de gevel plaatsvindt, ca. 52% van de leerkrachten aangeeft de ventilatieroosters in het stookseizoen meestal geheel geopend te hebben.
- Het percentage leerkrachten dat de ventilatievoorzieningen qua aantal en grootte toereikend vindt om een prettig klimaat in de klas te hebben, bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht 69% tot 76% bedraagt. Opmerkelijk is dat dit percentage bij lokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) aanzienlijk lager is, te weten 53%. Mogelijke reden hiervan is dat de leerkrachten bij lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht de hoeveelheid ventilatie zelf meer kunnen beïnvloeden dan leerkrachten in lokalen met een geheel mechanische ventilatie. Ook is gebleken dat in 28% van de onderzochte leslokalen met een geheel mechanische ventilatie gedurende het stookseizoen aanvullend wordt geventileerd door het openen van ramen in de gevel.

De oorzaak van een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen is bij leslokalen waar de ventilatie geschiedt door gebruik van de voorzieningen in de gevel, zowel toe te schrijven aan techniek als aan gedrag. Cruciale voorwaarde voor een daadwerkelijk gebruik van de aanwezige ventilatievoorzieningen is de realisatie van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht.

In de praktijk blijkt dit in het merendeel van de leslokalen niet mogelijk als gevolg van onder meer het ontbreken van een fijnregeling op de te openen ramen en/of een te lage positionering van de ventilatievoorzieningen in de gevel. Hierdoor zullen de ventilatievoorzieningen in het stookseizoen vaak gesloten zijn, omdat in geopende toestand tocht- en koudeklachten zullen ontstaan. Ook is gebleken dat een onvoldoende wering van buitengeluid aanleiding kan zijn voor het sluiten van de ventilatievoorzieningen. De voornoemde knelpunten kunnen met technische aanpassingen in belangrijke mate worden verminderd.

Bij leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie is deze gebruikersinvloed aanzienlijk minder. Zo wordt de ventilatie bij leslokalen met een mechanische afvoer (lokaaltype 3) met name door de capaciteit van het ventilatiesysteem bepaald en in mindere mate door het gebruik van de ventilatievoorzieningen in de gevel. Bij leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) wordt de optredende ventilatie in het algemeen geheel door de capaciteit van de mechanische ventilatie bepaald. Wel kan bij lokaaltypen het ventilatiesysteem door de gebruiker in een lagere capaciteitsstand zijn geschakeld dan is bedoeld om ten minste aan de eisen te voldoen. De regeling van de capaciteit bij leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie geschiedt in het algemeen middels een centrale schakeling in de school. In het onderzoek is bij verschillende scholen gebleken dat de mechanische afvoer in een lage capaciteitsstand stond ingeschakeld en de leerkrachten en directie niet op de hoogte waren dat het systeem normaal in een hogere stand moet zijn ingeschakeld.

#### **Onderzoeksvraag 4.**

##### **Komt de beleving van de kwaliteit van het binnenmilieu overeen met de meetresultaten?**

Uit de *enquête van de leerkrachten* is gebleken dat de luchtkwaliteit in 68% van de leslokalen in het algemeen als toereikend (rapportcijfer 6 of hoger) wordt ervaren. In 32% van de leslokalen wordt de luchtkwaliteit als onvoldoende beoordeeld (rapportcijfer 5 of lager). Het over alle leslokalen gemiddelde rapportcijfer bedroeg 6,0. Opmerkelijk is dat de kwaliteit van de binnenlucht in leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) lager wordt beoordeeld dan van de overige lokaaltypen, terwijl uit de verrichte CO<sub>2</sub>-metingen is gebleken dat juist in deze lokalen de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties aanmerkelijk lager waren dan in de andere lokaaltypen. Enigszins tegenstrijdig hiermee wordt de lucht in leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) door 50% van de leerkrachten *soms* of *vaak* als bedompt en benauwd ervaren terwijl dit percentage bij de andere lokaaltypen hoger ligt, te weten 64% (type 1) tot 80% (type 2).

Tijdens de *meetperiode van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties* werd de luchtkwaliteit gemiddeld voor alle leslokalen gedurende 26% van de lestijd als ontoereikend (onvoldoende of matig) ervaren. De tijdens de meetperiode ervaren luchtkwaliteit in de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) blijkt niet beter te zijn dan die van de andere lokaaltypen, terwijl in dit lokaaltype wél lagere CO<sub>2</sub>-concentraties zijn gemeten.

Verder is nagegaan in hoeverre er een relatie bestaat tussen de beoordeling van de luchtkwaliteit tijdens een dagdeel (ochtend of middag) en de gemiddelde meetwaarde van de CO<sub>2</sub>-

concentratie tijdens dit dagdeel. Hieruit is gebleken dat er slechts een geringe relatie valt af te leiden tussen de door de leerkracht beoordeelde luchtkwaliteit en de optredende CO<sub>2</sub>-concentratie. Ook uit andere onderzoeken is bekend dat gebruikers van een ruimte nagenoeg geen verschil tussen een CO<sub>2</sub>-concentratie van 800 ppm of 1500 ppm bemerken [27]. Op basis van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het voor een leerkracht niet eenvoudig is om op basis van eigen perceptie de daadwerkelijke luchtkwaliteit te bepalen, maar dat hiervoor hulpmiddelen benodigd zijn.

#### **Onderzoeksvraag 5.**

**Wat is de inschatting van de maatregelen en de kosten die nodig zijn om een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van ten hoogste 1200 ppm ?**

De omvang van de maatregelen (en de hiermee samenhangende kosten) om een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm is afhankelijk van het lokaaltype.

Om in leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie (lokaaltype 1 en 2) een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm, dient er aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

- de ventilatievoorzieningen dienen qua inrichting en capaciteit te voldoen aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit.
- de ventilatievoorzieningen dienen door de leerkracht zodanig te worden gebruikt dat er gemiddeld acceptabele luchtcondities worden verkregen.

De hiervoor noodzakelijke maatregelen zijn nader geconcretiseerd en omvatten onder meer een aanpassing van de ventilatievoorzieningen in de gevel, een gebruiksinstructie en een CO<sub>2</sub>-meter met uitleesvenster. De totale indicatieve kosten (materiaal en arbeid) voor een gemiddeld leslokaal met een geheel natuurlijke ventilatie (lokaaltype 1 en 2) bedragen € 750 tot € 1.750,- Cruciale voorwaarde voor een daadwerkelijk gebruik van de aanwezige ventilatievoorzieningen is de realisatie van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht. De mogelijkheden en oplossingen hiervoor zijn situatieafhankelijk en kunnen mogelijk tot hogere kosten leiden dan eerder is aangegeven.

De luchtkwaliteit in leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie is niet per definitie onvoldoende. Wel dient te worden onderkend dat in leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie - ondanks de hiervoor aangegeven maatregelen – geen waarborg bestaat op een altijd toereikende luchtkwaliteit omdat de ventilatie van dit type leslokalen zeer afhankelijk blijft van een bewust gebruik van ventilatievoorzieningen. Toepassing van goed gedimensioneerde en tochtvrije toevoervoorzieningen kan het risico van deze gebruikersinvloed beperken.

Een goed beheersbare ventilatie vereist echter meer, namelijk ten minste een *mechanische afvoer* van ventilatielucht. Bij renovatie van leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie zou om deze reden de toepassing van een mechanische afvoer moeten worden overwogen. De aanvullende kosten hiervan worden geraamd op ca. € 2.000,- per leslokaal.

Bij leslokalen met een natuurlijke toevoer en een mechanische afvoer (lokaaltype 3) stemmen de maatregelen globaal overeen met die van lokaaltype 1 en 2 waarbij echter tevens uit moet worden gegaan van een zodanig herstel van de mechanische afvoer dat aan de capaciteits-eisen van het Bouwbesluit 2003 (nieuwbouw) wordt voldaan en het geluidniveau ten gevolge van het ventilatiesysteem bij de vereiste nominale capaciteit is beperkt tot maximaal 35 dB(A). De totale indicatieve kosten (materiaal en arbeid) voor een gemiddeld leslokaal van het type 3 bedragen € 700,- tot € 2.700,-

Verder vormt een periodieke kwaliteitsbewaking van de systeemprestaties van de mechanische ventilatie (bijvoorbeeld door middel van een onderhoudscontract) een cruciale voorwaarde om ook op langere duur in lokaaltype 3 een toereikende ventilatie te kunnen waarborgen. De kosten voor dit periodieke onderhoud zijn niet in de eerder aangegeven kosten opgenomen. De noodzaak van een periodiek onderhoud geldt vanzelfsprekend tevens voor de nieuw te bouwen scholen met een mechanische afvoer. Hierbij is het verder van belang dat er meer aandacht wordt besteed aan een (onafhankelijke) controle van de systeemprestaties ten tijde van de oplevering en het bewerkstelligen van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht. Voor dit laatste zouden vanuit de overheid voorbeelden en richtlijnen kunnen worden uitgewerkt. De (nieuwe versie van) NPR 1090 zou hier mogelijk een rol in kunnen vervullen. Tot slot dienen de gebruikers over een duidelijke instructie te beschikken over op welke wijze het systeem moet worden gebruikt.

De maatregelen voor leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) stemmen globaal overeen met die van lokaaltype 3, zij het dat hier geen maatregelen in de gevel behoeven te worden getroffen. Een controle van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties door de leerkracht is niet noodzakelijk indien het systeem periodiek wordt gecontroleerd en er tevens een voor de leerkracht zichtbare signalering in werking treedt wanneer het systeem niet correct functioneert.

De totale indicatieve kosten (materiaal en arbeid) voor een gemiddeld leslokaal van het type 4 bedragen € 300,- tot € 600,-.

Leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) zullen naar verwachting steeds meer gaan voorkomen omdat bij nieuwbouw steeds vaker (mede als gevolg van de energieprestatie-eisen) wordt gekozen voor een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht. De eerder genoemde controle bij oplevering alsmede de periodieke kwaliteitsbewaking van de systeemprestaties zijn bij lokaaltype 4 van nog groter belang aangezien de luchtverversing van deze lokalen geheel door de prestaties van het ventilatiesysteem worden bepaald.

Bij een ventilatiesysteem met een mechanische toe- en afvoer dient hierbij tevens aandacht te worden besteed aan het frequent reinigen c.q. vervangen van de luchtfilters in het toevoerkanaal.

## 6.2 Akoestische kwaliteit en stoorgeluid

Het in de lokalen optredende geluidniveau (exclusief het geluid van de leerlingen) kan effect hebben op de verstaanbaarheid. Slechte verstaanbaarheid kan wellicht leiden tot een toename van stress bij de leerkrachten (met eventueel uitval als gevolg) en mogelijk tot geringere leerprestaties van leerlingen.

In het onderzoek is de kwaliteit van de binnenlucht een belangrijk aspect van het binnenmilieu. Ventilatie is daarbij een sleutelbegrip. Het gebruik van ventilatiemogelijkheden kan effect hebben op het stoorgeluid:

- het gesloten houden van de ventilatievoorzieningen om stoorgeluid uit de omgeving te verminderen;
- het niet gebruiken van mechanische ventilatiesystemen vanwege het stoorgeluid dat hierbij optreedt.

In het onderzoek is nagegaan in hoeverre het gebruik van ventilatiemogelijkheden resulteert in een toename van stoorgeluid, en in hoeverre dit effect heeft op het gebruik van de ventilatiemogelijkheden.

In het onderzoek is zowel de geluidsbelasting van leerkrachten en leerlingen als de relatie tussen stoorgeluid en ventilatie onderzocht. De te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

- Aan welke geluidsbelasting staan leerkrachten en leerlingen bloot in klaslokalen (exclusief het geluid van de kinderen in het lokaal)? Welk effect heeft het gebruik van ventilatiemogelijkheden op het stoorgeluid? (zowel in dB(A) als in gedragseffecten van de leerkrachten, namelijk het al dan niet gebruiken van de mogelijkheden vanwege een toename van stoorgeluid)
- Wordt er voldaan aan de eisen voor de geluidwering van de gevel?
- Hoe is de nagalmtijd in de lokalen en in hoeverre hebben leerkrachten last van stoorgeluid en nagalm (in beleving en in relatie tot de kwaliteit van hun gehoor)?

### Onderzoeksvraag 6.

**Aan welke geluidsbelasting staan leerkrachten en leerlingen bloot in klaslokalen? Welk effect heeft het gebruik van ventilatiemogelijkheden op het stoorgeluid?**

Het achtergrondgeluidniveau ( $L_{Aeq}$ ) in de onderzochte leslokalen blijkt te variëren van 23 tot 49 dB(A) en bedraagt gemiddeld 35 dB(A). Deze geluidniveaus gelden voor de situatie dat de ventilatievoorzieningen in de gevel zijn geopend (lokaaltype 1 t/m 3) en het ventilatiesysteem is ingeschakeld (lokaaltype 3 en 4). De gemiddelde geluidniveaus blijken weinig te verschillen tussen de verschillende lokaaltypen en variëren van 33 dB(A) tot 36 dB(A).

In 47% van de onderzochte leslokalen bedroeg het achtergrondgeluidniveau meer dan 35 dB(A), in 18% meer dan 40 dB(A).

Voor het achtergrondgeluidniveau zijn geen wettelijke eisen van kracht. In de praktijk wordt bij nieuwbouw van scholen in het Programma van Eisen veelal uitgegaan van een achtergrondgeluidniveau voor leslokalen van maximaal 35 dB(A). Bij dit prestatieniveau bedraagt de indicatie van het percentage gehinderden in theorielokalen 10 tot 25%. Dit percentage is tevens als uitgangspunt gehanteerd bij de in het Bouwbesluit 2003 vastgelegde akoestische prestatie-eisen.

De optredende geluidniveaus in de leslokalen tijdens aanwezigheid van de leerlingen zullen in het algemeen hoger liggen dan 40 dB(A). Achtergrondgeluidniveaus tussen 35 en 40 dB(A) zullen om deze reden tijdens gebruik van de leslokalen door de leerlingen niet snel aanleiding tot hinder geven. Bij achtergrondgeluidniveaus van meer dan 40 dB(A) is het risico van hinder echter aanzienlijk, met name bij een rustig activiteitsniveau van de aanwezige leerlingen.

Bij de onderzochte leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie (lokaaltype 1 en 2) vormt buitengeluid bij gebruik van de ventilatievoorzieningen in de gevel over het algemeen de bepalende geluidbron. Het sluiten van de ventilatievoorzieningen in de gevel bleek in deze lokaaltypen te resulteren in een gemiddeld 2 tot 5 dB dB(A) lager geluidniveau. Bij de onderzochte leslokalen met een natuurlijke toevoer en een mechanisch afvoer (lokaaltype 3) bleek het gebruik van de ventilatievoorzieningen in de gevel een gering effect te hebben op de gemeten achtergrondgeluidniveaus, te weten gemiddeld minder dan 2 dB(A). De genoemde verschillen zijn geen vaste waarden maar worden mede bepaald door de optredende buitengeluid en het optredende geluidniveau binnen.

Bij gesloten ventilatievoorzieningen in de gevel blijkt bij lokaaltype 3 het geluid ten gevolge van het ventilatiesysteem over het algemeen bepalend voor het gemeten achtergrondgeluidniveau. Ook bij de onderzochte leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) vormt installatiegeluid ten gevolge van het ventilatiesysteem veelal de dominante geluidbron. In nagenoeg alle onderzochte leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 3 en 4) bleek het niet mogelijk de mechanisch ventilatie uit te schakelen en kon het achtergrondgeluidniveau voor deze situatie dus niet worden vastgesteld.

In 37% van de onderzochte lokalen met alleen een mechanische afvoer (lokaaltype 3) is het geluidniveau gelegen tussen 35 en 40 dB(A). In 7% van de onderzochte leslokalen van dit type was sprake van een geluidniveau hoger dan 40 dB(A). Op basis van de enquête van het gebruik van de ventilatievoorzieningen bleken de leerkrachten in 13% van dit type lokalen *soms* en in 3% *vaak* hinder te ondervinden van geluid van het mechanisch ventilatiesysteem.



In 50% van de onderzochte lokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) was sprake van geluidniveau tussen 35 en 40 dB(A), waarbij in 12% van de onderzochte leslokalen van dit type een geluidniveau van meer dan 40 dB(A) optrad. Deze hogere percentages van lokaaltype 4 ten opzichte van lokaaltype 3 worden bevestigd door het percentage van de leerkrachten dat aangegeven heeft hinder ten gevolge van het ventilatiesysteem te ondervinden (18% soms en 12% vaak). Het percentage leerkrachten dat bij lokaaltype 4 aangeeft *vaak* hinder te ondervinden van het geluid van het ventilatiesysteem is gelijk aan het percentage leslokalen van dit type waar sprake is van een achtergrondgeluidniveau van meer dan 40 dB(A).

### **Onderzoeksvraag 7.**

**Wordt er voldaan aan de eisen voor de geluidwering van de gevel? Welk effect heeft het gebruik van ventilatiemogelijkheden op het stoorgeluid?**

De karakteristieke geluidwering ( $G_{A;k}$ ) van de gevel van de onderzochte leslokalen (met gesloten en open ventilatievoorzieningen) is berekend op basis van een berekening conform NPR 5272 [22]. Deze blijkt voor de onderzochte leslokalen met geopende ventilatievoorzieningen in de gevel te variëren van 9 tot 21 dB(A) en gemiddeld 15 dB(A) te bedragen. In geval de ventilatievoorzieningen in de gevel zijn gesloten varieert deze in de onderzochte leslokalen van 21 tot 32 dB(A) en bedraagt deze gemiddeld 26 dB(A). De karakteristieke geluidwering van de gevel van de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) stemt globaal overeen met die van de andere lokaaltypen voor de situatie dat de voorzieningen in de gevel zijn gesloten.

Voor 25% van de onderzochte leslokalen geldt dat deze zijn voorzien van een natuurlijke toevoer via de gevel én zijn gebouwd ná 1982. Voor deze lokalen is een wettelijke eis aan de minimale vereiste geluidwering van een verblijfsgebied van ten minste 20 dB(A) van toepassing. De genoemde eis geldt voor de situatie dat tevens wordt voldaan aan de vereiste luchtverversing. Voor ventilatiesystemen waarbij hiervoor gebruik moet worden gemaakt van ventilatievoorzieningen in de gevel, dient de vereiste geluidwering van de gevel dus te worden behaald voor de situatie dat deze voorzieningen in de gevel zodanig geopend zijn dat hiermee de vereiste luchtverversing wordt behaald. De karakteristieke geluidwering van de gevel met geopende ventilatievoorzieningen varieerde bij deze leslokalen van 9 tot 18 dB(A) en bedroeg gemiddeld ca. 14 dB(A). Voor geen van deze lokalen werd voldaan aan de minimaal vereiste geluidwering van een verblijfsgebied van 20 dB(A) .

Met te openen ramen en akoestisch ongedempte ventilatieroosters in de gevels van leslokalen kan niet worden voldaan aan de minimaal vereiste geluidwering van 20 dB(A). Om wel aan deze eis te kunnen voldoen zijn bij een natuurlijke toevoer via de gevel akoestisch gedempte ventilatievoorzieningen (zogenoemde suskasten) noodzakelijk. Bij een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht zal doorgaans zonder aanvullende voorzieningen aan de eis van een minimale karakteristieke geluidwering van 20 dB(A) worden voldaan.

In de huidige bouwpraktijk worden bij niet-geluidbelaste<sup>5</sup> leslokalen in het algemeen alleen suskasten toegepast indien een akoestisch adviseur bij het ontwerpproces is betrokken. Voor de overige situaties worden akoestisch niet-gedempte ventilatievoorzieningen goedgekeurd waarmee dus niet aan de vereiste minimale geluidwering wordt voldaan.

Het percentage leerkrachten bij de onderzochte leslokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel dat aangeeft *soms* hinder van buitengeluid te ervaren, varieerde van 27% tot 40%. In 7 tot 13% van deze leslokalen wordt *vaak* hinder ten gevolge van buitengeluid ondervonden. Voor 22% tot 28% van de leerkrachten van deze leslokalen zijn er momenten dat de ventilatievoorzieningen worden gesloten vanwege buitengeluid. Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat de in de praktijk aanwezige geluidwering van de gevel van leslokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel relatief vaak aanleiding tot hinder en tot een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen kan geven.

### **Onderzoeksvraag 8.**

#### **Hoe is de nagalmtijd in de lokalen en in hoeverre hebben leerkrachten last van stoorgeluid en nagalm (in beleving en in relatie tot de kwaliteit van hun gehoor)?**

Om de akoestische kwaliteit van een klaslokaal te karakteriseren wordt meestal gebruik gemaakt van de nagalmtijd (T). De gemiddelde nagalmtijd van de onderzochte leslokalen (ingericht, zonder leerlingen) varieert van 0,3 s tot 1,0 s en bedraagt gemiddeld 0,56 s. In ca. 80% van de leslokalen is de nagalmtijd in de ingerichte situatie kleiner dan 0,7 s. In 80 tot 100% van de leslokalen (afhankelijk of de ingerichte of de niet-ingerichte situatie wordt beschouwd) wordt voldaan aan de wettelijke eisen zoals deze tot 2005 van kracht zijn geweest. Het toepassen van een geluidabsorberend plafond blijkt veelal toereikend om een nagalmtijd van maximaal 1,0 s in de niet-ingerichte situatie en 0,7 s in de ingerichte situatie te bereiken.

De spraakverstaanbaarheid in leslokalen wordt bepaald door twee factoren, te weten het aanwezige achtergrondgeluidniveau (ruis) en de nagalmtijd (galm). De mate van spraakverstaanbaarheid in een ruimte kan worden uitgedrukt in de Speech Transmission Index (STI). De gemiddelde spraakverstaanbaarheid (STI-waarde) van de onderzochte leslokalen blijkt te variëren van 0,58 tot 0,86 en bedraagt gemiddeld 0,75. In 98% van de leslokalen bedraagt de STI meer dan 0,60. In 77% van de leslokalen wordt een STI-waarde bereikt van 0,70 of hoger.

Op basis van de resultaten van de nagalmtijd en de spraakverstaanbaarheid kan worden geconcludeerd dat de ruimteakoestiek van de leslokalen over het algemeen gunstig is te noemen. In ca. 80% van de lokalen is sprake van een goede spraakverstaanbaarheid ( $STI \geq 0,70$ ) en wordt een nagalmtijd in een ingericht leslokaal bereikt van lager dan 0,7 s.

5 leslokalen waar als gevolg van een beperkte geluidbelasting door weg-, luchtvaart- en of railverkeer geen hogere geluidwering van de gevel vereist is dan de minimale geluidwering van 20 dB(A)

De nagalmtijd van 0,7 s stemt globaal overeen met een nagalmtijd van 1,0 s in een niet-ingericht leslokaal.

Ook de leerkrachten beoordelen de ruimteakoestiek over het algemeen goed. De spraakverstaanbaarheid in de onderzochte leslokalen werd door de leerkrachten beoordeeld met een gemiddeld rapportcijfer van 7,4 waarbij 96% van de leerkrachten de spraakverstaanbaarheid als voldoende (6 of hoger) beoordeeld. Ook is gebleken dat de leerkrachten over het algemeen weinig last hebben van een lawaaiïg galmend lokaal of moeite hebben met het verstaan van de leerlingen.

Voor de leerkrachten die de spraakverstaanbaarheid als onvoldoende (rapportcijfer 5 of lager) beoordeelden of aangegeven hadden last te hebben van een lawaaiïg galmend lokaal is dit in één enkel geval mogelijk mede het gevolg van een verminderd gehoor van de leerkracht. Voor de overige leslokalen met een lage beoordeling van de spraakverstaanbaarheid bleek op basis van de meetresultaten van de akoestische metingen geen directe aanleiding voor de onvoldoende beoordeling te bestaan en bleek tevens dat de leerkrachten over een goed gehoor beschikten.

### **6.3 Temperatuur en luchtvochtigheid**

De te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

9. Voldoen de temperatuur en de luchtvochtigheid in de leslokalen aan de in [11] gegeven advieswaarden?
10. Komt de beleving van temperatuur en luchtvochtigheid overeen met de verwachtingen aan de advieswaarden?
11. Wat is de kwaliteit van het binnenklimaat in het leslokaal gedurende de zomerperiode?

Het thermisch binnenklimaat gedurende de periode buiten het stookseizoen is in dit onderzoek niet met metingen nader onderzocht. Wél zijn van de onderzochte leslokalen alle relevante gegevens verzameld die van belang zijn voor het zomerklimaat. Op basis hiervan is de kwaliteit van het thermisch binnenklimaat in de zomerperiode kwalitatief beoordeeld. Verder is ook bij de enquête van de leerkrachten aandacht besteed aan de beleving van de ruimtetemperatuur gedurende de zomerperiode.

#### **Onderzoeksvraag 9.**

#### **Voldoen de temperatuur en de luchtvochtigheid in de leslokalen aan de in [11] gegeven advieswaarden?**

Voor de winterperiode c.q. het stookseizoen zijn de in [11] gegeven advieswaarden als volgt:

- temperatuur 19-23°C ( $21 \pm 2^\circ\text{C}$ )
- relatieve vochtigheid 20-60%.

De gemiddelde minimum en maximum temperatuur voldoen in nagenoeg alle onderzochte leslokalen aan de vooraf gestelde advieswaarde van  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . In gemiddeld 57% van de onderzochte leslokalen wordt de ondergrens van  $19^\circ\text{C}$  tijdelijk (gemiddeld gedurende 21% van de lestijd) overschreden. In leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) is dit percentage beduidend lager, te weten 28% van de leslokalen gedurende gemiddeld 7% van de lestijd. De reden hiervan is dat de toevoerlucht van een ventilatiesysteem met een mechanische toe- en afvoer over het algemeen is voorverwarmd doordat deze systemen zijn voorzien van een warmteterugwinunit. In 20% van de onderzochte leslokalen blijkt de bovengrens van  $23^\circ\text{C}$  te worden overschreden. De tijdsduur van deze overschrijding was gemiddeld 8% van de lestijd.

De relatieve vochtigheid in de onderzochte leslokalen voldoet in het algemeen aan de gestelde criteria van minimaal 20% en maximaal 60%. In leslokalen met een deels of geheel natuurlijke ventilatie (lokaaltype 1 t/m 3) blijkt de bovengrens van 60% tijdelijk als gevolg van een lagere ruimtetemperatuur te worden overschreden, waarbij de tijdsduur van deze overschrijding gemiddeld 11% van de lestijd bedraagt. In deze lokaaltypen blijkt wel aan een relatieve vochtigheid van ten hoogste 60% te worden voldaan ingeval de ruimtetemperatuur  $19^\circ\text{C}$  of meer bedraagt.

#### **Onderzoeksvraag 10.**

#### **Komt de beleving van temperatuur en luchtvochtigheid overeen met de verwachtingen aan de advieswaarden?**

Tussen de beoordeling van het thermisch comfort door de leerkracht en de gemeten lucht blijkt een duidelijke relatie te bestaan. De beleving van de luchtvochtigheid blijkt duidelijker te zijn gerelateerd aan de optredende luchttemperatuur dan aan de optredende luchtvochtigheid. Door in het stookseizoen het optreden van hoge ruimtetemperaturen tegen te gaan kan hinder als gevolg van een lage luchtvochtigheid worden beperkt.

In ca. 80% van de leslokalen wordt het thermisch comfort tijdens het stookseizoen als toereikend (rapportcijfer 6 of hoger) ervaren. De waardering van het thermisch comfort in leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) wijkt niet noemenswaardig af van die in de andere lokaaltypen.

In ca. 85% van de leslokalen wordt de luchtvochtigheid in het stookseizoen als toereikend beoordeeld (rapportcijfer 6 of hoger). Dit percentage stemt globaal overeen met het percentage van de leerkrachten dat aangeeft de lucht in de winter *soms* of *nooit* te droog te ervaren.

In lokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht (lokaaltype 1 t/m 3) blijkt het percentage van de leerkrachten van de leslokalen dat aangeeft het 's winters *vaak* te warm te hebben, aanmerkelijk hoger ligt dan het percentage dat aangeeft het 's winters *vaak* te koud te hebben. In de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer heeft geen van de leerkrachten aangegeven het 's winters *vaak* te warm of te koud te hebben. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de temperatuurcondities in leslokalen met een geheel mechanische ventilatie (lokaaltype 4) beter beheersbaar zijn als gevolg van minder variatie van de ruimtetemperatuur door de ventilatie van de leslokalen. Bij de andere lokaaltypen zal de optredende ruimtetemperatuur meer kunnen variëren door een wisselend gebruik van de ventilatievoorzieningen. Verder is mogelijk van invloed dat de leslokalen van het type 4 over het algemeen nieuwer zijn dan de andere typen en mede hierdoor vaker zullen zijn voorzien van zonwering en een thermostatische temperatuurregeling van de radiatoren.

Bij lokalen met een natuurlijke toevoer geeft 40% tot 60% van de leerkrachten aan *vaak* of *soms* hinder ten gevolge van tocht te ondervinden. Met name in leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie via klep- en/of uitzetramen (lokaaltype 1) blijkt het optreden van tocht aanleiding voor een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen. Bij leslokalen waarbij de toevoer van lucht deels of geheel geschiedt via fijnregelbare ventilatieroosters (lokaaltype 2 en 3) blijkt hiervoor minder aanleiding te bestaan, waarschijnlijk doordat de ventilatiestroom in deze lokalen als gevolg van de fijnregeling over het algemeen beter kan worden beheerst.

### **Onderzoeksvraag 11.**

#### **Wat is de kwaliteit van het binnenklimaat in het leslokaal gedurende de zomerperiode?**

De onderzoeksresultaten bevestigen dat het thermisch binnenklimaat in de zomer als één van de optredende knelpunten van het binnenmilieu in basisscholen kan worden aangemerkt. In 42% van de onderzochte leslokalen wordt het thermisch comfort in de zomer als onvoldoende aangemerkt (rapportcijfer 5 of lager), waarbij 45% van de leerkrachten aangeeft het zomers *vaak* te warm te hebben in het leslokaal.

Op basis van een kwalitatieve beoordeling van de voor het zomerklimaat relevante kenmerken van de leslokalen blijkt 62% van de onderzochte leslokalen zijn in te delen in de categorie waarbij het thermisch binnenklimaat in de zomer als minder goed beheersbaar kan worden gekwalificeerd. Voor de overige 38% van de onderzochte leslokalen geldt dat de omstandigheden en voorzieningen in het leslokaal zodanig zijn dat het binnenklimaat in de zomer naar verwachting binnen acceptabele grenzen kan worden gehouden.

In de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) blijkt het thermisch comfort in de zomer beter beheersbaar dan de andere lokaaltypen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat leslokalen van het type 4 in het algemeen van een recenter bouwjaar zijn en hierdoor over gunstige eigenschappen voor het thermisch zomercomfort beschikken (thermische isolatie dak, steenachtig dak, minder glas, meer zonwering).

## 7 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de voornaamste bevindingen uit het voorgaande hoofdstuk worden in dit hoofdstuk conclusies afgeleid ten aanzien van de actuele stand van zaken wat betreft de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen. Afgesloten wordt met aanbevelingen gericht op de mogelijkheden waarmee de voornaamste knelpunten zijn te verhelpen.

### 7.1 Conclusies

Het binnenmilieu in basisscholen laat op onderdelen te wensen over. De voornaamste knelpunten blijken:

1. een onvoldoende luchtkwaliteit gedurende het stookseizoen;
2. stoorgeluid van buitenlawaai en geluid van het ventilatiesysteem;
3. een minder goed beheersbare ruimtetemperatuur in de periode buiten het stookseizoen.

De kwaliteit van de overige onderzochte binnenmilieuaspecten, te weten de ruimteakoestiek en de temperatuur en luchtvochtigheid in het stookseizoen, blijkt in het algemeen aan de gestelde criteria te voldoen en geen direct knelpunt op te leveren. In het navolgende wordt nader op de genoemde knelpunten ingegaan.

#### **Ad 1 Luchtkwaliteit stookseizoen**

De luchtverversing in bestaande leslokalen dient ten minste te voldoen aan de eisen van de bestaande bouw van Bouwbesluit 2003. Voorts wordt van de eigenaar verlangd dat het van toepassing zijnde niveau dat bij de verlening van de bouwvergunning voor het leslokaal (tijdens de bouw of renovatie) van toepassing is, in stand te houden. Handhaving van gemeenten betreft in eerste instantie een (preventieve) toets bij aanvraag om bouwvergunning en in tweede instantie of het niveau van bestaande bouw is overschreden. Het niveau dat verbonden is aan de verleende bouwvergunning heeft een functie als onderbouwing van de noodzaak voor het opleggen van een verplichting ingevolge artikel 13 Woningwet tot het treffen van een voorziening op een hoger niveau.

De eis aan de capaciteit van de luchtverversing van een leslokaal zoals deze in het Bouwbesluit is gesteld voor de bestaande bouw, betreft een bouwtechnische ondergrens die niet is gerelateerd aan een specifieke CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte. De betreffende eis is van toepassing voor leslokalen waarvan de aanvraag van de bouwvergunning vóór oktober 1986 heeft plaatsgevonden. Voor leslokalen waarvan de aanvraag van de bouwvergunning na oktober 1986 heeft plaatsgevonden zijn de capaciteitseisen van 'Bouwverordening – NEN 1089' (tot oktober 1992) of 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' (na oktober 1992) van toepassing. Deze capaciteitseisen zijn gebaseerd op een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm.

Bij het vaststellen van de capaciteitseisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten op basis van een maximum CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm, is uitgegaan van een rekenwaarde voor de bezetting in een ruimte. Deze rekenwaarde stemt echter niet overeen met de maximale bezetting die binnen een bepaalde bezettingsgraadklasse is toegestaan. Hierdoor kunnen er theoretisch CO<sub>2</sub>-concentraties tot 1800 ppm optreden bij een ventilatie die voldoet aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit.

Uit het onderzoek is gebleken dat ca. 74% van de onderzochte leslokalen aan de wettelijke eisen voldoet, maar dat voor ca. 62% van de onderzochte leslokalen geen hogere eisen van toepassing zijn dan het niveau van de bestaande bouw in Bouwbesluit 2003. Voor de ca. 26% van de onderzochte leslokalen waar *niet* aan de wettelijke eisen wordt voldaan, geldt het wettelijke niveau van 'Bouwbesluit 2003 - nieuwbouw' of 'Bouwverordening - NEN 1089'. Verder is gebleken dat voor ca. 69% van de leslokalen waar deze eisen van toepassing zijn, er niet aan de wettelijke eisen wordt voldaan.

De luchtkwaliteit gedurende het stookseizoen vormt één van de geconstateerde knelpunten. In 88% van de onderzochte leslokalen blijkt de CO<sub>2</sub>-concentratie meer dan 1200 ppm te bedragen, en wel gedurende gemiddeld 41% van de lestijd. De oorzaak van een CO<sub>2</sub>-concentratie van meer dan 1200 ppm blijkt in de onderzochte leslokalen over het algemeen niet het gevolg van een (te) hoge bezetting, maar in hoofdzaak zijn toe te schrijven aan een onvoldoende ventilatie. De onvoldoende ventilatie blijkt zowel door gedrag als techniek te worden veroorzaakt. In ca. 56% van de onderzochte leslokalen komt de capaciteit van de ventilatievoorzieningen niet overeen met het prestatieniveau waarmee een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm kan worden bereikt.

In de onderzochte leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie blijkt de ventilatie met name tekort te schieten door een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen (gedrag). Reden van dit onvoldoende gebruik is het tegengaan van tocht- en koudeklachten en, in mindere mate, het weren van buitengeluid. De tocht- en koudeklachten blijken veelal het gevolg van de aard en de uitvoering van de aanwezige ventilatievoorzieningen (techniek). De ventilatievoorzieningen in de onderzochte leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie voldoen in het algemeen *wél* aan de van toepassing zijnde wettelijke eisen, mede omdat voor deze leslokalen de aanvraag van de bouwvergunning veelal vóór 1986 heeft plaatsgevonden en er hierdoor geen hogere eisen van toepassing zijn dan het niveau van de bestaande bouw in Bouwbesluit 2003.

In leslokalen met een geheel of deels mechanische ventilatie blijkt de tekortschietende ventilatie met name het gevolg te zijn van een onvoldoende capaciteit van het mechanisch ventilatiesysteem (techniek). In het merendeel van de onderzochte leslokalen met een geheel of deels mechanische ventilatie blijkt de capaciteit van de mechanische ventilatie *niet* aan de van toepassing zijnde wettelijke eisen te voldoen. Voor de leslokalen waar niet aan de eisen wordt voldaan komt de wettelijk vereiste capaciteit overeen met het nieuwbouwniveau van Bouwbesluit 2003.

In een deel van de lokalen met een natuurlijke toevoer en een mechanische afvoer blijkt tevens dat de natuurlijke toevoer via de gevel niet aan de capaciteit- en inrichtingseisen<sup>6</sup> voldoet.

De optredende CO<sub>2</sub>-concentraties in de onderzochte leslokalen met een geheel mechanische ventilatie blijken lager dan in de onderzochte leslokalen met een deels of geheel natuurlijke ventilatie. Voor een deel van de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht blijkt evenwel aanvullend te worden geventileerd door het gebruik van de ramen in de gevel en is de lagere CO<sub>2</sub>-concentratie mogelijk mede hiervan het gevolg.

## **Ad 2 Stoorgeluid**

Een ander knelpunt vormt het stoorgeluid ten gevolge van buitenlawaai en installatiegeluid van het mechanisch ventilatiesysteem. In 47% van de leslokalen bedroeg het achtergrondgeluidniveau meer dan de normaliter gehanteerde grenswaarde van 35 dB(A), in 18% van de leslokalen zelfs meer dan 40 dB(A). Bij een achtergrondgeluidniveau van meer dan 40 dB(A) is het risico van hinder aanzienlijk, met name bij een rustig activiteitsniveau van de aanwezige leerlingen.

In de onderzochte leslokalen waar de ventilatie deels of geheel via ventilatievoorzieningen in de gevel geschiedt, blijkt geluid van buiten in het algemeen bepalend voor het optredende achtergrondgeluidniveau. De geluidwering van de gevel waarbij de ventilatievoorzieningen in de gevel zijn geopend, blijkt beperkt tot gemiddeld 15 dB(A). In geval de ventilatievoorzieningen in de gevel zijn gesloten varieert deze in de onderzochte leslokalen van 21 tot 32 dB(A) en bedraagt deze gemiddeld 26 dB(A). De karakteristieke geluidwering van de gevel van de onderzochte leslokalen met een mechanische toe- en afvoer (lokaaltype 4) stemt globaal overeen met die van de andere lokaaltypen voor de situatie dat de voorzieningen in de gevel zijn gesloten.

Sinds 1983 geldt een wettelijke eis voor de geluidwering van de gevel van een leslokaal van ten minste 20 dB(A). De genoemde eis geldt voor de situatie dat tevens wordt voldaan aan de vereiste luchtverversing. Voor geen van de onderzochte leslokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht via de gevel en een bouwvergunning van ná 1982 werd aan deze eis voldaan.

Voor 22% tot 28% van de leerkrachten van de onderzochte leslokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel zijn er momenten dat de ventilatievoorzieningen worden gesloten vanwege buitengeluid. Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat de in de praktijk aanwezige geluidwering van de gevel van leslokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel aanleiding tot hinder en tot een onvoldoende gebruik van de ventilatievoorzieningen kan geven.

In leslokalen waar de ventilatie deels of geheel met een mechanische ventilatiesysteem tot stand komt, is het geluid van het ventilatiesysteem veelal bepalend voor het optredende

6 Bijvoorbeeld doordat de capaciteit van de toevoorzieningen te gering is, de voorzieningen te laag in de gevel zijn gepositioneerd, de voorzieningen niet in verschillende capaciteitsstanden is in te stellen en/of de mogelijkheden voor een goede bediening ontbreken.



achtergrondgeluidniveau. Met name in de onderzochte lokalen met een mechanische toe- en afvoer deden zich hogere geluidniveaus dan de normaliter gehanteerde grenswaarde van 35 dB(A). Ook het percentage leerkrachten dat aangaf hinder ten gevolge van het ventilatiesysteem te ondervinden was bij leslokalen met een geheel mechanische ventilatie hoger dan bij leslokalen met een deels mechanische ventilatie.

### **Ad 3 Klimaat zomerperiode**

Het thermisch binnenklimaat buiten het stookseizoen kan als één van de optredende knelpunten van het binnenmilieu in basisscholen worden aangemerkt. In ruim 40% van de leslokalen wordt het thermisch comfort in de zomer als onvoldoende aangemerkt en geven de leerkrachten aan het 's zomers vaak te warm te hebben.

Op basis van een kwalitatieve beoordeling van de voor het zomerklimaat relevante kenmerken van de leslokalen blijkt 62% van de leslokalen zijn in te delen in de categorie waarbij het thermisch binnenklimaat in de zomer als minder goed beheersbaar kan worden gekwalificeerd. Voor de overige 38% van de onderzochte leslokalen geldt dat de omstandigheden en voorzieningen in het leslokaal zodanig zijn dat het binnenklimaat in de zomer naar verwachting binnen acceptabele grenzen kan worden gehouden.

## **7.2 Aanbevelingen**

Afgesloten wordt met aanbevelingen gericht op de mogelijkheden waarmee de voornaamste knelpunten tot een acceptabel niveau zijn te verhelpen.

### **1. Luchtkwaliteit**

Om een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm te bereiken dienen de ventilatievoorzieningen qua inrichting (positie, fijnregeling) en capaciteit ten minste te voldoen aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit. Dit betekent dat voor bestaande leslokalen waarbij de ventilatie deels of geheel via voorzieningen in de gevel plaatsvindt, de capaciteit, de positie en de fijnregeling van de ventilatievoorzieningen in de gevel dient te worden gecontroleerd en zonodig te worden aangepast. Voor bestaande leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie dient hiertoe de capaciteit van het mechanisch ventilatiesysteem te worden gecontroleerd en zonodig te worden hersteld. Tevens dient in deze leslokalen het geluidniveau ten gevolge van het ventilatiesysteem bij de vereiste nominale capaciteit te zijn beperkt tot maximaal 35 dB(A).

Verder dienen de ventilatievoorzieningen door de leerkracht zodanig te worden gebruikt dat er een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm wordt verkregen. Voor alle leslokalen (bestaand en nieuw) dient hiertoe een duidelijke instructie van het gebruik van de ventilatievoorzieningen aanwezig te zijn, waarin aandacht wordt besteed aan:

- de mogelijkheden en het belang van een toereikende ventilatie tijdens lestijd;
- de mogelijkheden en het belang van een verhoogde spuiventilatie tijdens de pauzes;
- het gebruik (van de schakeling) van de mechanische afvoer.

Uit het onderzoek is gebleken dat het voor een leerkracht niet eenvoudig is om op basis van eigen perceptie de daadwerkelijke luchtkwaliteit te bepalen, maar dat hiervoor hulpmiddelen benodigd zijn. In aanvulling op de hiervoor genoemde gebruiksinstructie is het om deze reden van belang dat de leerkracht in alle leslokalen (bestaand en nieuw) beschikt over:

- een instrument waarop de optredende CO<sub>2</sub>-concentratie kan worden afgelezen;
- een duidelijke instructie over wanneer en hoe de ventilatie op basis van de gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie dient te worden verhoogd.

Een alternatief voor een controle van de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties door de leerkracht kan voor leslokalen met een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht bestaan uit een voor de leerkracht zichtbare signalering die in werking treedt wanneer het systeem niet correct functioneert. Voorwaarde hierbij is wel dat de systeemprestaties van het ventilatiesysteem periodiek worden gecontroleerd.

De totale indicatieve kosten (materiaal en arbeid) van de voornoemde maatregelen bedragen voor een gemiddeld bestaand leslokaal:

- met een natuurlijke toe- en afvoer via de gevel: € 750,- tot € 1.750,-
- met een natuurlijke toevoer via de gevel en een mechanische afvoer: € 700,- tot € 2.700,-
- met een geheel mechanische ventilatie: € 300,- tot € 600,-

Cruciale voorwaarde voor een voldoende gebruik van de aanwezige ventilatievoorzieningen is de realisatie van een tochtvrije toevoer van ventilatielucht. Indien niet aan deze voorwaarde wordt voldaan, zal ondanks de hiervoor aangegeven maatregelen onvoldoende waarborg op een toereikende luchtkwaliteit bestaan. Hiertoe dient door de betrokken architecten en adviseurs aandacht te worden besteed aan een zorgvuldige positionering, dimensionering en detaillering van de toevoervoorzieningen in de gevel. De mogelijkheden en oplossingen zijn situatie-afhankelijk en kunnen mogelijk tot hogere kosten leiden dan hiervoor is aangegeven. Vanuit de overheid zouden hiervoor voorbeelden en richtlijnen kunnen worden uitgewerkt. De (nieuwe versie van) NPR 1090 zou hier mogelijk een rol in kunnen vervullen.

De luchtkwaliteit in leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie is niet per definitie onvoldoende. Wel dient te worden onderkend dat in leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie - ondanks de hiervoor aangegeven maatregelen – geen waarborg bestaat op een altijd toereikende luchtkwaliteit omdat de ventilatie van dit type leslokalen zeer afhankelijk blijft van een bewust gebruik van ventilatievoorzieningen. Toepassing van goed gedimensioneerde en tochtvrije toevoervoorzieningen kan het risico van deze gebruikersinvloed beperken.

Een goed beheersbare ventilatie vereist echter meer, namelijk ten minste een *mechanische afvoer* van ventilatielucht. Bij renovatie van leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie zou om deze reden de toepassing van een mechanische afvoer moeten worden overwogen. De aanvullende kosten hiervan worden geraamd op ca. € 2.000,- per leslokaal.

Cruciale voorwaarden om bij leslokalen (bestaand en nieuw) met een deels of geheel mechanische ventilatie ook op langere duur een toereikende ventilatie te kunnen waarborgen zijn:

- een (onafhankelijke) controle van de systeemprestaties ten tijde van de oplevering;
- een periodieke kwaliteitsbewaking van de systeemprestaties van de mechanische ventilatie (bijvoorbeeld door middel van een onderhoudscontract). Bij een geheel mechanische ventilatie dient hierbij tevens aandacht te worden besteed aan de reiniging c.q. vervanging van de luchtfilters in het toevoerkanaal.

Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre deze controles daadwerkelijk zijn af te dwingen (bijvoorbeeld door deze wettelijk te verplichten).

Bij het vaststellen van de capaciteitseisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten op basis van een maximum CO<sub>2</sub>-concentratie van 1200 ppm, is uitgegaan van een rekenwaarde voor de bezetting in een ruimte. Deze rekenwaarde stemt echter niet overeen met de maximale bezetting die binnen een bepaalde bezettingsgraadklasse is toegestaan. Hierdoor kunnen er theoretisch CO<sub>2</sub>-concentraties tot 1800 ppm optreden bij een ventilatie die voldoet aan de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit. Om in bestaande en nieuw te bouwen leslokalen een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm te bewerkstelligen dient om deze reden een duidelijke limiet te worden gesteld aan het maximum aantal leerlingen per leslokaal. Dit maximum aantal leerlingen dient op basis van de capaciteit van de in het leslokaal aanwezige ventilatievoorzieningen te worden vastgesteld. De bepaling van deze capaciteit dient te geschieden op grond van de *nieuwbouweisen* van Bouwbesluit 2003 (NEN 1087).

Een alternatief voor de genoemde limitering van het aantal leerlingen per leslokaal is de ventilatie-eisen voor nieuw te bouwen onderwijsruimten aan te passen en deze te baseren op een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm bij de hoogste bezetting die binnen een bezettingsgraadklasse is toegestaan.

Aansluitend op het voorgaande verdient het aanbeveling na te gaan in hoeverre het mogelijk is om de wettelijke eisen ten aanzien van de luchtverversing van nieuw te bouwen onderwijsruimten (op termijn) ook voor bestaande onderwijsruimten te laten gelden.

## 2. Stoorgeluid

Om hinder ten gevolge van stoorgeluid van buiten afdoende te beperken dient de geluidwering van de gevel van het leslokaal te voldoen aan de nieuwbouweisen van Bouwbesluit 2003. Hiertoe zijn ook bij niet-geluidbelaste<sup>7</sup> leslokalen met een natuurlijke toevoer via de gevel akoestisch gedempte ventilatievoorzieningen (zogenoemde suskasten) noodzakelijk. In de huidige bouwpraktijk worden bij niet-geluidbelaste leslokalen in het algemeen alleen suskasten toegepast indien een akoestisch adviseur bij het ontwerpproces is betrokken. Voor de overige situaties worden akoestisch niet-gedempte ventilatievoorzieningen goedgekeurd waarmee dus niet aan de vereiste minimale geluidwering wordt voldaan.

Een betere naleving van de wetgeving op dit punt is dus wenselijk. Zowel bij nieuwbouw als bij een renovatie van de gevel van leslokalen waar een mechanische afvoer is of wordt toegepast dient de akoestische kwaliteit van de ventilatievoorzieningen in de gevel door een akoestisch adviseur te worden bepaald. Voor leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie zal in het algemeen niet aan een minimale geluidwering van 20 dB(A) kunnen worden voldaan, omdat ten behoeve van een voldoende capaciteit veelal gebruik zal moeten worden gemaakt van te openen ramen. Dit pleit ervoor om bestaande leslokalen met een geheel natuurlijke ventilatie op termijn eveneens te voorzien van akoestisch gedempte ventilatievoorzieningen in de gevel, in combinatie met een mechanische afvoer van ventilatielucht vanuit het lokaal.

Om hinder ten gevolge van stoorgeluid van het ventilatiesysteem te beperken, dient het achtergrondgeluidniveau ten gevolge van het ventilatiesysteem bij de vereiste nominale capaciteit zijn beperkt tot maximaal 35 dB(A). Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre deze prestatie-eis daadwerkelijk is af te dwingen (bijvoorbeeld door deze wettelijk te verplichten).

## 3. Klimaat zomerperiode

Om in leslokalen het binnenklimaat in de zomer naar verwachting binnen acceptabele grenzen te houden, dient er aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

1. een buitenzonweringssysteem ter plaatse van de zonbeschenen (oriëntatie Z, W en O) glasvlakken;
2. spuivoorzieningen in de gevel die voldoen aan de richtlijnen in van NPR 1090:1993;
3. een isolatieniveau van de dakconstructie van ten minste  $R_c = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ , doch bij voorkeur hoger ( $R_c \geq 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).

Voor bestaande leslokalen is de realisatie van voorwaarde 1 over het algemeen geen (technisch) probleem. De voorwaarden 2 en 3 kunnen mogelijk ten tijde van renovatie van de gevel of bij periodiek onderhoud (vervangen dakbedekking) worden ingevuld. Voor nieuw te bouwen leslokalen zijn in het algemeen alleen de voorwaarden 1 en 2 van belang.

<sup>7</sup> leslokalen waar als gevolg van een beperkte geluidbelasting door weg-, luchtvaart- en of railverkeer geen hogere geluidwering van de gevel vereist is dan de minimale geluidwering van 20 dB(A)

Voor leslokalen met een deels of geheel mechanische ventilatie is het verder van belang dat het ventilatiesysteem gedurende de periode buiten het stookseizoen eveneens buiten lestijden (avond, nacht en weekend) is ingeschakeld. Tenslotte dient de warmteterugwinunit in leslokalen met een mechanische toe- en afvoer van ventilatielucht buiten het stookseizoen te zijn uitgeschakeld (by-pass).

Lichtveld Buis & Partners BV

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'H. Versteeg', written in a cursive style.

ir. H. Versteeg

## Literatuur

- [1] NEN 1087:2001, Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor nieuwbouw
- [2] NEN 1089:1986, Ventilatie van schoolgebouwen – Eisen
- [3] NPR 1090:1993, Ventilatie van schoolgebouwen - Voorbeelden van bouwkundige oplossingen, afgestemd op NEN 1089
- [4] NEN 8087:2001, Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor bestaande gebouwen
- [5] NEN-EN 13779:2004, Ventilatie voor utiliteitsgebouwen - Prestatie-eisen voor ventilatie- en kamerbehandelingssystemen
- [6] Bremer, A.E. van den, Technische leidraad scholenbouw: Overzicht van minimaal vereisten in het Primair en Voortgezet Onderwijs, herziene 3<sup>e</sup> druk, VNG-uitgeverij, 2005
- [7] Nijs, L. en Vermeir, G., Akoestische kwaliteit in leslokalen in België en Nederland, Bouwfysica, Vol. 17, 2004, No. 4.
- [8] Bouwbesluit WBO, Staatsblad 515, het Besluit van 19 september 1985, houdende voorschriften met betrekking tot de voorzieningen in de huisvesting van scholen voor basisonderwijs.
- [9] Bouwbesluit ISOVSO, Staatsblad 585, het Besluit van 13 december 1988, houdende voorschriften met betrekking tot de voorzieningen in de huisvesting van scholen voor speciaal onderwijs en voorgezet speciaal onderwijs
- [10] Bouwfysische kwaliteit Rijkshuisvesting: Wettelijke eisen en Rgd-richtlijnen, Ministerie VROM, september 1999.
- [11] Bogaard, C. van den, Temperatuur en luchtvochtigheid in Scholen: Advies voor te hanteren toetswaarden bij onderzoek naar bestaande situaties ten behoeve van het “onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen”, 5 oktober 2006
- [12] Dusseldorp A, e.a., Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, RIVM, 2004.
- [13] Arbo-besluit, Besluit van 5 december 2006 (staatsblad 604)

- [14] Bouwbesluit 2003, laatst per 1 januari 2007 gewijzigd op grond van het Besluit van 20 oktober 2006, houdende aanpassing van algemene maatregelen van bestuur aan de wet van 5 juli 2006 houdende wijziging Wet geluidhinder.
- [15] Dossiernr. 2050607450, Beantwoording van kamervragen gesteld aan de minister van OCW, de staatssecretaris van VROM, en de ministers van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties en van SZW over de slechte kwaliteit van het binnenmilieu van scholen en kinderdagverblijven (ingezonden 3 februari 2006)
- [16] Gids, ing. W.F. de, Scholten, ir. N.P.M., Bouwbesluit: Grenswaarden ventilatie, TNO-rapport 94-BBI-R1537, 1995.
- [17] NPR 1088:1999, Ventilatie van woningen en woongebouwen – Aanwijzingen voor en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen.
- [18] CEN 156/WG6/N117, Draft ENV, Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment, 1994.
- [19] Besluit geluidwering gebouwen, Staatsblad 1982-755 (inwerking getreden op 15 februari 1983)
- [20] NEN 1070:1999/C1, Geluidwering in gebouwen - Specificatie en beoordeling van de kwaliteit
- [21] Kluyver, ir. H. de, Ventilatie én geluidwering van klaslokalen, Bouwwereld nr. 25 (p. 14 en 15), 1994.
- [22] NPR 5272, Geluidwering in gebouwen - Aanwijzingen voor de toepassing van het rekenvoorschrift voor de geluidwering van gevels op basis van NEN-EN 12354-3.
- [23] IEC 60268 – 16, Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, 2003.
- [24] NEN 5077:2006, Geluidwering in gebouwen – Bepalingsmethode voor de grootheden voor luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, geluidwering van scheidingsconstructies en geluidniveaus veroorzaakt door installaties.
- [25] Duijm, F, Toetswaarden voor ventilatie in scholen en kindercentra, GGD Nederland, werkgroep binnenmilieu, 2006
- [26] Liddament, M., Why CO<sub>2</sub>?, Air Infiltration Review, Vol. 18, nr.1, 1996.
- [27] Berg-Munch, B; Cluasen, G.; Fanger, P.O., Ventilation requirement for the control of odour in spaces occupied by women, Env Int. Vol. 12 1986, p.193-199.

## **Bijlage I    Onderzoeksmethodiek en meetapparatuur**

In deze bijlage wordt nadere informatie gegeven over de onderzoeksmethodiek en de meetapparatuur.

### **I.1 Algemeen**

In bijlage III zijn de formulieren opgenomen die in het onderzoek zijn gebruikt voor:

- de inventarisatie van de relevante kenmerken van de leslokalen;
- de enquête van de leerkracht over de beleving van het binnenmilieu en het gebruik van de ventilatievoorzieningen;
- het logboek waarop door de leerkrachten tijdens de meetperiode de beleving van het binnenmilieu alsmede de dagelijks relevante (gebruiks)gegevens zijn geregistreerd.

Bij de inventarisatie van de relevante bouwkundige en installatietechnische kenmerken van de leslokalen is onder meer aandacht besteed aan:

- situering lokaal in gebouw en omgeving;
- isolatieniveau plat dak leslokaal (indien van toepassing);
- type / afmetingen / oriëntatie beglazing;
- type / afmetingen / regelbaarheid spuivoorzieningen;
- aanwezigheid / type zonwering;
- type / afmetingen / onderhoudsstaat / situering / regelbaarheid / gebruik ventilatievoorzieningen;
- afmetingen en afwerkingen (wanden, vloer en plafond) klaslokaal;
- aantal leerlingen;
- foto-opnamen van in- en exterieur klaslokalen/school.

Met behulp van een enquête van de leerkracht zijn zowel de relevante kwalitatieve gebruiksgegevens (wat / hoe / wanneer) als kwantitatieve gegevens omtrent de beleving van de kwaliteit ten aanzien van binnenmilieu en geluid vastgelegd. In de enquête komen de volgende onderdelen aan bod:

- algemene gegevens leslokaal en docent;
- gebruik en beleving ventilatievoorzieningen;
- beleving / beoordeling thermisch comfort in stookseizoen en zomer;
- beleving / beoordeling luchtvochtigheid in stookseizoen;
- beleving / beoordeling kwaliteit binnenlucht;
- beleving / beoordeling spraakverstaanbaarheid.



Om een goede interpretatie van de meetgegevens mogelijk te maken is door LBP een logboekformulier ontwikkeld waarop door de leerkracht dagelijks relevante (gebruiks)-gegevens zijn geregistreerd, zoals het aantal personen, de lestijden, het gebruik van de ventilatievoorzieningen, zonwering, verwarming, etc. alsmede de klimaatbeleving die hieraan gekoppeld is. Bij aanvang van de metingen is aan de leerkrachten een instructie gegeven, die tevens schriftelijk is verstrekt (naslag). Voor eventuele vragen achteraf is aan de leerkracht de benodigde contactgegevens (e-mail, telefoon) van LBP verstrekt. De ingevulde logboekformulieren zijn wekelijks naar LBP gezonden (digitaal of op papier). LBP heeft hiervan de voortgang en kwaliteit bewaakt en heeft waar nodig bijgestuurd. In totaal zijn 97% van het totaal aantal logboekformulieren (600 stuks) aan LBP geretourneerd.

## **I.2 Luchtkwaliteit, temperatuur en luchtvochtigheid**

De door meting en onderzoek te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

- Voldoen de klaslokalen aan wettelijke eisen voor luchtverversing?
- Welke CO<sub>2</sub>-concentraties komen in klaslokalen voor en waar zijn de optredende CO<sub>2</sub>-concentraties het gevolg van? Op basis van de resultaten is de hypothese getoetst die stelt dat in de meeste lokalen de blootstelling aan CO<sub>2</sub> te hoog is (meer dan 1200 ppm) als gevolg van geringe aantal m<sup>3</sup> per persoon (hoge bezettingsgraad) in combinatie met een geringe ventilatie in het stookseizoen. Er is nagegaan in hoeverre een te geringe ventilatie een gevolg is van het niet naleven van de regelgeving dan wel van het niet gebruiken van de voorzieningen (gedrag van leerkrachten).
- Worden de aangebrachte voorzieningen ook gebruikt zoals ze zijn bedoeld om ten minste aan de eisen te kunnen voldoen? Zo neen, wat is hiervan de oorzaak (bijvoorbeeld techniek of het gedrag)?
- Komt de beleving van de kwaliteit van het binnenmilieu overeen met de meetresultaten?
- Wat is de inschatting van de maatregelen en de kosten die nodig zijn om een ventilatie te bereiken die overeenkomt met een CO<sub>2</sub>-concentratie van ten hoogste 1200 ppm ?
- Voldoen de temperatuur en de luchtvochtigheid in de leslokalen aan de in [11] gegeven advieswaarden?
- Komt de beleving van temperatuur en luchtvochtigheid overeen met de verwachtingen aan de advieswaarden?
- Wat is de kwaliteit van het binnenklimaat in het leslokaal gedurende de zomerperiode?

### **Toetsing wettelijke eisen luchtverversing**

Voor de toetsing aan de wettelijke eisen voor luchtverversing is gebruik gemaakt van de relevante gegevens die in de leslokalen zijn geïnventariseerd. In bijlage II wordt nader ingegaan op de betreffende wettelijke eisen. De nominale capaciteit van de voorzieningen is berekend volgens NEN 1087 [1], NEN 1089 [2], NPR 1090 [3], NEN 8087 [4] en NPR 1088 [17]. Hierbij is voor de capaciteit van een natuurlijke toe- en afvoer via ramen uitgegaan van een lichtsnelheid van respectievelijk 0,83 m/s (NEN 1087 en NPR 1088) en 1 m/s (NEN 1089 en NPR 1090) in geval in twee verschillende gevels (haaks op elkaar of tegenover elkaar gelegen) te openen ramen aanwezig waren of in geval de afvoer van lucht mechanisch plaatsvond.

Voor de capaciteit van ventilatioeroosters is uitgegaan van de door de fabrikant opgegeven capaciteit bij 1 Pa drukverschil. Bij toe- en afvoer van ventilatielucht via één gevel is conform NPR 1090 uitgegaan van een factor vijf lagere luchtsnelheid.

De capaciteit van de mechanische ventilatie is middels metingen bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van de Airflow Anemometer type LCA 30VA en de TSI Accubalance model 8375. Indien mogelijk is de capaciteit van de mechanische ventilatiecapaciteit in verschillende schakelstanden vastgesteld. Bij de toetsing aan de eisen uitgegaan van de capaciteit die maximaal kan worden gerealiseerd.

### **Meting temperatuur, relatieve vochtigheid en CO<sub>2</sub>-concentratie**

Voor de binnenklimaatmetingen (temperatuur, vochtigheid en CO<sub>2</sub>) is gebruik gemaakt van de bij LBP beschikbare meetinstrumenten die ook bij het landelijke onderzoek Gezondheidstechnische kwaliteitsaspecten in 1240 woningen (VROM actie 29) zijn gebruikt. Voor deze metingen is gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub>-meters (fabrikaat Telair, type Ventostat 8001) gekoppeld aan dataloggers die zijn voorzien van sensoren voor de registratie van de temperatuur en relatieve vochtigheid (fabrikaat ATAL, type ATV 13A).

De meetinstrumenten zijn in het leslokaal op een representatieve positie (niet in de directe nabijheid van ventilatievoorzieningen en radiatoren) gesitueerd op een hoogte van 0,80 tot 1,30 m boven vloerniveau. De meetinstrumenten en de voeding van de CO<sub>2</sub>-meter zijn voorafgaand met tape aan een tafel of de wand bevestigd om te voorkomen dat de instrumenten tijdens de meting zouden worden verplaatst en/of de netspanning van de CO<sub>2</sub>-meter zou worden onderbroken. Ondanks deze maatregel is bij de dataverwerking achteraf gebleken dat in enkele gevallen gedurende beperkte tijd geen meetwaarden van de CO<sub>2</sub>-concentratie zijn geregistreerd, waarschijnlijk als gevolg van een tijdelijke onderbreking van de elektrische voeding van de CO<sub>2</sub>-meter.

De temperatuur, relatieve vochtigheid en de CO<sub>2</sub>-concentratie in de leslokalen is elke 15 minuten gedurende 5 weken geregistreerd. De bovengrens van de CO<sub>2</sub>-meter is ingesteld op 3000 ppm. Bij hogere CO<sub>2</sub>-concentraties dan deze bovengrens zijn deze geregistreerd als 3000 ppm. Op basis van de meetdata blijkt achteraf dat deze situatie zich tijdelijk in ca. 9% van de leslokalen heeft voorgedaan.

Voorafgaand aan en na afloop van de metingen zijn de meetwaarden van de instrumenten onderling vergeleken. Bij de CO<sub>2</sub>-meters zijn hierbij geen afwijkingen van meer dan 75 ppm geconstateerd. Bij de controle van de dataloggers met de sensoren voor de temperatuur en de relatieve vochtigheid zijn hierbij vooraf geen afwijkingen geconstateerd van meer dan 0,5°C voor de temperatuur en meer dan 2,5% voor de relatieve vochtigheid. Uit de controle na afloop van de metingen is gebleken dat twee temperatuursensoren niet voldeden aan het gestelde criterium van  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  (afwijking van respectievelijk 1,2 en 1,5°C ten opzichte van het gemiddelde). Alhoewel de invloed van de afwijking van de meetgegevens van deze twee leslokalen op het geheel van verwaarloosbare invloed is, is evenwel besloten om de betreffende gegevens geen onderdeel te laten uitmaken van de nader uitgewerkte meetdata.

De ruimtetemperatuur gedurende de periode buiten het stookseizoen (zomerklimaat) is in dit onderzoek niet met metingen nader onderzocht. Wél zijn tijdens deze inventarisatie alle relevante gegevens verzameld die van belang zijn voor dit zomerklimaat. Op basis hiervan is de kwaliteit van het binnenklimaat in de leslokalen gedurende de zomerperiode *kwitatief* op basis van relevante kenmerken beoordeeld. Voor de situaties waar dit van toepassing was is het isolatieniveau van de dakconstructie van de leslokalen achterhaald op basis van de gegevens die bij de scholen en/of gemeente bekend waren zijn, of aan de hand van het bouwjaar / renovatie van de school.

### **I.3 Akoestische kwaliteit en stoorgeluid**

De voor dit aspect te beantwoorden onderzoeksvragen zijn:

- Aan welke geluidsbelasting staan leerkrachten en leerlingen bloot in klaslokalen (exclusief het geluid van de kinderen in het lokaal)? Welk effect heeft het gebruik van ventilatiemogelijkheden op het stoorgeluid? (zowel in dB(A) als in gedragseffecten van de leerkrachten, namelijk het al dan niet gebruiken van de mogelijkheden vanwege een toename van stoorgeluid)
- Wordt er voldaan aan de eisen voor de geluidwering van de gevel?
- Hoe is de nagalmtijd in de lokalen en in hoeverre hebben leerkrachten last van stoorgeluid en nagalm (in beleving en in relatie tot de kwaliteit van hun gehoor)?

De procedure van de geluidmetingen is afgestemd met het Expertisecentrum Gehoor & Arbeid van het VUMC te Amsterdam. Tevens is gebruik gemaakt van meetapparatuur die door het Expertisecentrum Gehoor & Arbeid beschikbaar is gesteld.

#### **Achtergrondgeluidniveau in leslokalen**

Tijdens de eerste opname van de leslokalen is de geluidbelasting waaraan leerkrachten en leerlingen bloot staan, bepaald door het achtergrondgeluidniveau ( $L_{Aeq}$ ) in het leslokaal middels metingen conform NEN 5077 [24] vast te stellen. Het achtergrondgeluidniveau is bepaald met behulp van een geluidsspectrum analyser (fabrikaat RION type NA27) voor de situatie dat er geen leerlingen in het lokaal aanwezig zijn en de school normaal in gebruik is (geen buiten spelende kinderen in nabijheid van leslokaal).

Het achtergrondgeluidniveau is zowel vastgesteld voor de situatie dat de ventilatievoorzieningen in de gevel geopend zijn als voor de situatie dat deze voorzieningen gesloten zijn. In nagenoeg alle onderzochte leslokalen met een mechanische ventilatie bleek het niet mogelijk de mechanisch ventilatie uit te schakelen en kon het achtergrondgeluidniveau voor deze situatie dus niet worden vastgesteld.

Verder is bij de (uitwerking van de) metingen uitgegaan van het volgende:

- Er is gemeten in  $L_p$  lineair zonder A-weging gedurende ca. 10 s per meetpositie.
- Het achtergrondgeluidniveau is op 5 verschillende posities in het klaslokaal per frequentieband bepaald.

- Bij de uitwerking van de data is de over de meetposities gemiddelde waarde van het achtergrondgeluidniveau per frequentieband (125 –2000 Hz) berekend conform NEN 5077.
- Het resultaat van deze middeling is gecorrigeerd middels een zogenaamde A-weging (correctie voor de oorgevoeligheid)
- Het resultaat per frequentieband is gesommeerd tot een ééngetalswaarde  $L_{Aeq}$  weergegeven in dB(A)

### **Geluidwering gevel**

De geluidwering van de gevel kan zowel ter plaatse worden gemeten of naderhand op basis van de geïnventariseerde kenmerken worden berekend. Beide methoden stemmen wat betreft nauwkeurigheid goed met elkaar overeen. Op basis van praktische argumenten is ervoor gekozen de karakteristieke geluidwering van de gevel ( $G_{A;k}$ ) van de leslokalen te berekenen. De berekeningen zijn uitgevoerd conform NPR 5272 [22]. Bij de berekeningen is gerekend met een standaard veiligheidsmarge voor de akoestische eigenschappen van de materialen. Er is voor alle lokalen gerekend met het spectrum voor wegverkeerslawaaï.

De karakteristieke geluidwering van de gevel van de leslokalen met een natuurlijke toevoer van ventilatielucht via de gevel, is bepaald met ventilatievoorzieningen in open en gesloten toestand. Bij lokaaltype 1 en 2 is de grootte van de ventilatie-openingen in geopende toestand afgestemd op het voldoen aan de capaciteitseisen volgens de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit 2003. Bij lokaaltype 3 is de geluidwering van de gevel berekend op basis van de werkelijk aanwezige voorzieningen in de gevel. Ingeval de capaciteit van deze voorzieningen echter minder dan 75% van de vereiste capaciteit bedroeg, is er gerekend met een aanvullende opening in de gevel afgestemd op het voldoen aan de capaciteitseisen volgens de nieuwbouweisen van het Bouwbesluit 2003.

Voor de akoestische eigenschappen van de materialen is uitgegaan van het volgende:

- dikte enkel glas: 6 mm
- opbouw dubbel of HR<sup>++</sup> glas: 4-12-5 mm
- opbouw paneelvulling: 10 mm multiplex, 70 mm minerale wol, 10 mm multiplex

Voor de kierdichting is gerekend met:

- klasse 25 voor situaties met geen, of matige enkele kierdichting
- klasse 35 voor situaties met enkele kierdichting
- klasse 45 voor situaties met dubbele kierdichting

Voor de situaties waar van de aanwezige ventilatieroosters niet exact het type kon worden achterhaald, is een type ventilatierooster aangenomen op basis van de foto's en afmetingen..

## Nagalmtijd

Tijdens de 1<sup>e</sup> opname is de nagalmtijd ( $T_{60}$ ) van de leslokalen met behulp van metingen bepaald. Deze metingen zijn verricht conform NEN 5077 [24] zonder aanwezigheid van de leerlingen. De nagalmtijd is bepaald middels een geluidsspectrum-analyser (fabrikaat RION type NA27). De nagalmtijd is op 5 posities in het klaslokaal per frequentieband (125-2000 Hz) bepaald, waarna de meetwaarden van de verschillende posities zijn gemiddeld tot één waarde per frequentieband. Op basis hiervan is de gemiddelde waarde van de nagalmtijd (125 – 2000 Hz) per leslokaal bepaald.

## Spraakverstaanbaarheid / gehoortest

Tijdens de eerste opname is de spraakverstaanbaarheid (STI-waarde) van de leslokalen middels meting op vijf verschillende meetposities bepaald. Op basis hiervan is een gemiddelde STI-waarde per leslokaal berekend. De metingen zijn verricht zonder aanwezigheid van de leerlingen.

Tevens is er bij de docenten van een gehoortest (de Nationale Hoortest) afgenomen. De gehoortest heeft plaatsgevonden in een stille ruimte in de school (bijv. het klaslokaal zonder kinderen of een vergaderruimte in de school).

Voor de metingen is gebruik gemaakt van de in tabel I.1 vermelde meetapparatuur, beschikbaar gesteld door het Expertisecentrum Gehoor & Arbeid van het VUMC te Amsterdam. Tevens is gebruik gemaakt van de door het expertisecentrum beschikbaar gestelde software en laptops.

### Tabel I.2

Overzicht meetapparatuur spraakverstaanbaarheid en gehoortest.

Omschrijving	Fabriek	Type
2.0 Creative Speaker	Gigaworks	T20
Microfoon	Sennheiser	K6 003
Koptelefoon	Sennheiser	HD 280 Silver 64 $\Omega$
Sound Level meter	Voltcraft	model no.: 33-2050
Externe geluidkaart	M-audio	Fast track

## **Bijlage II Wetgeving luchtverversing onderwijsgebouwen**

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de eisen die aan de ventilatie van onderwijsgebouwen worden gesteld. De eisen zijn vastgelegd in het Bouwbesluit en het Arbo-besluit.

### **II.1 Bouwbesluit**

Het Bouwbesluit 2003 [14] maakt onderscheid in bestaande en nieuw te bouwen gebouwen. De luchtverversing in bestaande leslokalen dient ten minste te voldoen aan de eisen van de bestaande bouw van Bouwbesluit 2003. Voorts wordt van de eigenaar verlangd dat het van toepassing zijnde niveau dat bij de verlening van de bouwvergunning voor het leslokaal (tijdens de bouw of renovatie) van toepassing is, in stand te houden. Handhaving van gemeenten betreft in eerste instantie een (preventieve) toets bij aanvraag om bouwvergunning en in tweede instantie of het niveau van bestaande bouw is onderschreden. Het niveau dat verbonden is aan de verleende bouwvergunning heeft een functie als onderbouwing van de noodzaak voor het opleggen van een verplichting ingevolge artikel 13 Woningwet tot het treffen van een voorziening op een hoger niveau.

Voor het wettelijke niveau dat ten tijde van de aanvraag van de bouwvergunning (bij de bouw of renovatie) van toepassing was, kan het volgende onderscheid worden gemaakt:

- bouwvergunning vóór oktober 1986 (eisen op het niveau zoals thans zijn vastgelegd in Bouwbesluit bestaande bouw);
- bouwvergunning aangevraagd tussen 1986 en oktober 1992 (gemeentelijke bouwverordening en NEN 1089);
- bouwvergunning aangevraagd tussen oktober 1992 en december 1995 (functionele eisen Bouwbesluit en NEN 1087/1089);
- bouwvergunning aangevraagd na december 1995 (prestatie-eisen in het Bouwbesluit) en in het rapport aangeduid met Bouwbesluit 2003.

In het navolgende zijn de betreffende wettelijke eisen nader toegelicht.

#### **Ad 1 Aanvraag bouwvergunning vóór oktober 1986**

Voor de scholen in deze categorie zijn er over het algemeen geen andere eisen van toepassing dan die in het Bouwbesluit 2003 voor bestaande bouw zijn voorgeschreven. De nominale capaciteit van de ventilatie dient conform NEN 8087 te worden bepaald en dient ten minste  $1,1 \text{ dm}^3/\text{s}$  per  $\text{m}^2$  te bedragen. Er zijn in NEN 8087 geen nadere eisen aan de inrichting van de ventilatievoorzieningen gesteld (zoals ten aanzien van het thermisch comfort en de fijnregeling). Dit betekent dat alle openingen in een gevel bij de bepaling van de nominale capaciteit kunnen worden meegerekend. Volgens de toelichting van het Bouwbesluit is uit het oogpunt van gezondheid primair de capaciteit van de voorziening van belang en niet de wijze waarop de luchtverversing plaatsvindt.

Zouden wel deze inrichtingseisen worden gesteld, dan ontstaat volgens deze toelichting snel een situatie die strijdig is met het reeds verkregen niveau waarbij de kosten die gemoeid zijn met het alsnog aanpassen niet opwegen tegen de meer gezonde situatie die dan ontstaat.

De eis aan de nominale capaciteit van 1,1 dm<sup>3</sup>/s betreft een absolute ondergrens die is gebaseerd op in het verleden afgegeven vergunningen. Volgens [15] is het, overeenkomstig art. 8 van de Woningwet, aan de gemeente om te beoordelen of het noodzakelijk is om eisen te stellen aan het maximale aantal leerlingen dat bij een bepaalde ventilatie is toegelaten. Ontstaat er, bijvoorbeeld vanwege een gebrekkige ventilatiecapaciteit, een voor de gezondheid schadelijke situatie dan kan de gemeente ook daartegen overgaan tot aanschrijving of een gebruiksbeperking opleggen (minder kinderen in de klas).

### **Ad 2 Aanvraag bouwvergunning tussen oktober 1986 en oktober 1992**

Ook voor deze onderwijsruimten gelden de eisen voor de bestaande bouw behalve in gemeenten waar de NEN 1089 [2] in de gemeentelijke bouwverordening was opgenomen, hetgeen in de meeste gemeenten het geval was. De voornaamste eisen in NEN 1089 zijn:

- een nominale capaciteit van 5,5 dm<sup>3</sup>/s per leerling en 10 dm<sup>3</sup>/s per leerkracht
- in ruimten waar deze volumestroom niet gehaald kan worden zonder toechthinder is mechanische ventilatie verplicht.
- Ventilatieopeningen in de gevel moeten traploos regelbaar zijn en gedimensioneerd zijn op basis van specifieke meteorische omstandigheden.
- Regeling van de capaciteit van mechanische ventilatie moet door gebruikers mogelijk zijn (hoog/laag-regeling).

De praktijkrichtlijn NPR 1090 [3] geeft aanwijzingen op welke wijze kan worden voldaan aan de eisen van NEN 1089. In NPR 1090 wordt bij de bepaling van de grootte van de ventilatieopeningen uitgegaan van een luchtsnelheid in de opening van 1,0 m/s (uitgaande van openingen in twee tegenovergelegen gevels) en 0,2 m/s (uitgaande van openingen in slechts één gevel). Deze richtlijn heeft geen normatieve status gehad.

### **Ad 3 Aanvraag bouwvergunning tussen oktober 1992 en december 1995**

Bij de intrede van het Bouwbesluit waren voor onderwijsruimten nog niet expliciet ventilatie-eisen opgenomen. Wel was gesteld dat de ventilatievoorzieningen in een verblijfsgebied en een verblijfsruimte moesten zijn afgestemd op de bestemming en inrichting van dat gebied of die ruimte. Impliciet werd dus hiermee verwezen naar NEN 1089 [2]. Voor de inrichting en de bepaling van de capaciteit van de ventilatievoorzieningen werd verwezen naar NEN 1087. Hierin werden eisen gesteld aan onder meer het thermisch comfort en de regelbaarheid van de ventilatievoorziening.

#### **Ad 4 Aanvraag bouwvergunning na december 1995**

Na december 1995 zijn in het Bouwbesluit eisen voor de luchtverversing van verblijfsruimten en verblijfsgebieden met een onderwijsfunctie opgenomen. Deze eisen zijn nadien niet meer gewijzigd en stemmen overeen met de nieuwbouweisen van Bouwbesluit 2003 [14]. De meest relevante eisen die aan de luchtverversing van gebouwen met een onderwijsfunctie worden gesteld zijn:

- In elke verblijfsruimte zijn voorzieningen aanwezig voor de toevoer en afvoer van lucht.
- De nominale capaciteit die minimaal in een verblijfsgebied en een verblijfsruimte moet kunnen worden gerealiseerd is afhankelijk van de bezettingsgraadklasse. Voor *verblijfsruimten* met een bezettingsgraadklasse van respectievelijk B2 en B3 bedraagt de minimaal vereiste nominale capaciteit respectievelijk 2,8 en 1,1 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup>. Voor *verblijfsgebieden* bedraagt deze capaciteit ten minste 3,5 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> voor bezettingsgraadklasse B2 en 1,4 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> voor bezettingsgraadklasse B3. In leslokalen is normaliter sprake van bezettingsgraadklasse B2 hetgeen overeen komt met een vloeroppervlakte van meer dan 1,3 m<sup>2</sup> doch ten hoogste 3,3 m<sup>2</sup> per persoon. De bezettingsgraad is aangegeven in de bouwvergunning en is gebaseerd op de hoogste bezetting die wordt verwacht.
- De capaciteit van de ventilatievoorzieningen moet volgens NEN 1087 zijn bepaald.
- Ten behoeve van het thermisch comfort mag de luchtsnelheid ten gevolge van de toevoer van verse lucht ter plaatse van de leefzone niet groter zijn dan 0,2 m/s (te bepalen conform NEN 1087).
- Een toevoervoorziening moet voor de gebruiker regelbaar zijn in het gebied van 0% tot 25% van de vereiste capaciteit. Naast de nulstand zijn ten minste 2 instelstanden vereist die onderling ten minste 10% van de capaciteit verschillen.

De bepalingsmethode NEN 1087 gaat bij het bepalen van de grootte van de ventilatievoorzieningen uit van een drukverschil van 1 Pa. Conform NPR 1088 dient men voor de bepaling van de grootte van een natuurlijke toevoeropening (zoals een klepraam) uit te worden gegaan van een luchtsnelheid van 0,83 m/s. Deze snelheid wordt volgens [17] gedurende 95% van de tijd overschreden (windsnelheid 2 m/s, temperatuurverschil 10K).

Grondslag voor de in het 'Bouwbesluit 2003 – nieuwbouw' vastgelegde grenswaarde voor de ventilatiecapaciteit van verblijfsruimten en verblijfsgebieden met een onderwijsfunctie is een CO<sub>2</sub>-concentratie van maximaal 1200 ppm. Uitgangspunt bij de berekening van de optredende CO<sub>2</sub>-niveaus is een rekenwaarde van de bezetting van 2 m<sup>2</sup> per persoon bij bezettingsgraadklasse B2. De capaciteit van 2,8 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> en een bezetting van 2 m<sup>2</sup> per persoon stemt overeen met een capaciteit van 5,6 dm<sup>3</sup>/s per persoon. De eisen van het Bouwbesluit 2003 zijn bij deze uitgangspunten nagenoeg gelijk aan die van NEN 1089 (5,5 dm<sup>3</sup>/s per leerling).



## **II.2 Arbo-wet**

In het Arbo-Besluit [13] is in artikel 6.2 is gesteld dat een arbeidsplaats in een gebouw dient te voldoen aan de van toepassing zijnde eisen van het Bouwbesluit. Het Arbo-Besluit verwijst dus rechtstreeks naar de onder 1. toegelichte eisen en geven dus geen aanvullende eisen. In de Arbo-beleidsregels is gesteld dat voor lesruimten in het basisonderwijs, overeenkomstig NEN 1089 [2] uitgegaan moet worden van een minimale luchtverversing van 20 m<sup>3</sup>/uur per persoon. Deze eis wijkt echter af van het Bouwbesluit waarnaar het Arbo-besluit naar verwijst. Er is in dit onderzoek uitgegaan van het Arbo-besluit.

### **Bijlage III    Formulieren inventarisatie, enquête en logboek**

In deze bijlage zijn de formulieren opgenomen die in het onderzoek zijn gebruikt voor:

- de inventarisatie van de relevante kenmerken van de leslokalen.
- de enquête van de leerkracht over de beleving van het binnenmilieu en het gebruik van de ventilatievoorzieningen
- het logboek waarin door de leerkrachten tijdens de meetperiode de beleving van het binnenmilieu alsmede het gebruik van de ventilatievoorzieningen is geregistreerd.