

Het ontwerp: Van theorie naar praktijk

Een nieuwe school– Kan het ook beter? (2)

Het eerste deel van deze miniserie [5] werd gepubliceerd in TVVL magazine nr. 08/2002 en was gewijd aan de achtergronden, algemene uitgangspunten en ervaringen van anderen bij het ontwerp en de bouw van scholen, wereldwijd. Dit tweede deel geeft een verslag van de ontwerpfase en de keuzes die in deze fase zijn gemaakt bij de bouw van de nieuwe PC Basisschool “Gevers Deynoot” in Voorschoten. Het derde deel, waarin de bouwfase en de eerste ervaringen met de nieuwe school worden beschreven, zal worden gepubliceerd na de ingebruikname voorjaar 2002.

*-door ing. B Bronsema**

The school is a central arena for creation of future societal health, function knowledge, productivity and wellbeing for our children today and the working force for tomorrow”

Een goed gebouw en een optimaal binnenmilieu staan natuurlijk niet garant voor een goede school. Die wordt in de eerste plaats gemaakt door geëngageerde leerkrachten in een inspirerende communicatie over en weer met hun leerlingen, een boeiend leerprogramma inclusief de faciliteiten daarvoor en een thuisfront van betrokken ouders. Het gebouw en het

binnenmilieu kunnen hier afbreuk aan doen, maar ook een positieve invloed hebben, en dat laatste is het doel van deze miniserie.

DE GEVERS DEYNOOTSCHOOL TE VOORSCHOTEN

Programma van Eisen

Het ontwerp van deze 10 klassige basisschool is gemaakt door Ir. E. van Reijnen, architect te Leiden. Zie figuur 1. Tijdens de planontwikkeling zijn als toevoeging op het standaard Programma van Eisen de volgende ambities geformuleerd:

- de school is functioneel voor het onderwijs, en qua architectuur uitnodigend voor het publiek, m.a.w.: Een visitekaartje voor het PC Onderwijs in Voorschoten;
- het onderwijs wordt ondersteund door state-of-the-art ICT-voorzieningen voor leerlingen en personeel;
- het gebouw biedt aan de gebruikers een veilig, gezond, behaaglijk en productief binnenmilieu;
- de exploitatiekosten zullen hierbij zo laag mogelijk zijn.

Het ontwerp

Er is bij het ontwerp veel aandacht besteed aan daglichttoetreding in het gebouw; de ramen zijn groot en de voorgevel is geheel transparant. Om de energetische consequenties hiervan te compenseren is als beglazing overall HR⁺⁺ toegepast. Er is bewust niet gestreefd naar een super energiezuinig gebouw, maar met een Energieprestatie-coëfficiënt van 1,44 voldoet het gebouw ruimschoots aan het Bouwbesluit waarin een EPC van maximaal 1,5 wordt geëist.

Zoninstraling wordt tijdens de zomermaanden beperkt door elektrisch bedienbare uitvalschermen op de gevels aan de zonzijde, en reflecterende beglazing in de bovenramen van de klaslokalen. De transparante voorgevel is voorzien van reflecterende HR⁺⁺ glas 61/32. (LTA/ZTA). Om een goed visueel comfort te realiseren wordt in de klaslokalen handmatig bediende zonwering aangebracht. Hiermee kan in het stookseizoen de directe zoninstraling worden geweerd, terwijl de zonnwarmte een deel van de verwarmingsenergie levert. Om een zo goed mogelijk binnen-



Foto Gevers Deynootschool

-FIGUUR 1-

* Bronsema Consult en TU Delft, Faculteit der Bouwkunde

klimaat in de zomermaanden te realiseren worden in de klaslokalen z.g. open plafonds toegepast. De bouwmasa wordt hierdoor optimaal benut voor accumulatie van warmte, waardoor in combinatie met nachtventilatie het binnenklimaat tijdens lesuren zo aangenaam mogelijk wordt gehouden. Een computersimulatie heeft uitgewezen dat in de klaslokalen de ruimtetemperatuur van 25°C ongeveer 100 uur per jaar wordt overschreden. (Referentiejaar 1964) In de computerruimte en de handvaardigheidsruimte is het aantal overschrijdingen ongeveer drie keer zo hoog. Extra ventilatie door de te openen schuiframen kan hiervoor wellicht een oplossing bieden. Getracht wordt enige budgetruimte te reserveren voor een eventuele mechanische koeling in deze ruimten. De hoge personendichtheid, 1,5 m² per persoon (32 leerlingen + leerkracht in een lokaal van 50 m²), en de inherente interne thermische belasting van rond 65 W/m² is hoofdzakelijk debet aan de hoge ruimtetemperaturen tijdens zonnige en warme zomerdagen. Een toekomstige verkleining van de klassengrootte zal naast onderwijstechnische aspecten ook gunstig uitwerken op het binnenklimaat in de zomer. EINP subsidie² is aangevraagd voor de HR⁺⁺ beglazing, thermische isolatie, energiezuinig verlichtingssysteem, en regelbare afzuigventilatoren. Het voorliggende artikel is hoofdzakelijk gewijd aan de maatregelen die zijn getroffen voor het realiseren van een zo goed mogelijk binnenmilieu.

PREVENTIEVE MAATREGELEN

Gezonde materialen

Door beperking van de chemische emissie uit bouw- en inrichtingsmaterialen kunnen we de luchtkwaliteit verbeteren en het ventilatievoud beperken.

De chemische industrie levert een groot aantal verschillende producten, die in grote hoeveelheden via bouw-, inrichtings- en afwerkmaterialen, meubilair en anderszins in het interieur van gebouwen terecht kunnen komen. In Nederland is het nog niet mogelijk op een eenvoudige manier gezonde materialen te selecteren; dit in tegenstelling tot een land als Finland, waar al enkele jaren een catalogus van

emissiearme materialen beschikbaar is. Voorlopig zijn we hier nog aangewezen op ons gezond verstand, ons reukorgaan en/of gespecialiseerde adviseurs, zoals TNO Bouw. De budgetten voor de bouw van een basisschool maken laatstgenoemde mogelijkheid overigens onmogelijk.

Voor de "Gevers Deynoot" zijn de volgende keuzes gemaakt:

- binnenwanden: schoon gemetselde baksteen;
- vloeren: Linoleum;
- plafonds: Mineralewol;
- binnenschilderwerk: Watergedragen acrylaathars.

VOCHTBESTRIJDING

De hoeveelheid bouwvocht is zoveel mogelijk beperkt door gebruik van prefab betonvloeren. Alleen de begane grondvloer is ter plaatse gestort. Bij de detaillering zijn thermische bruggen voorkomen waardoor inwendige condensatie niet zal optreden.

Aankankelijk was een kruipruimte voorzien onder het gehele gebouw, inclusief een pakket van schoon zand en een complete drainage rondom het gebouw om het binnendringen van oppervlaktewater in de kruipruimte te voorkomen. Vanwege de hoge kosten hiervan is besloten de kruipruimte te beperken tot de natte cellen in het centrumgebied van de school, waarin de rioleringen en de hemelwaterafvoeren zijn geprojecteerd. De klaslokalen zijn zonder kruipruimte uitgevoerd, waardoor enigszins werd ingeboet op flexibiliteit, wat echter niet opwoog tegen de netto besparing.

Het peil van de begane grondvloer is zo hoog gekozen dat de kruipruimte droog blijft. Er zijn voorzieningen opgenomen voor de natuurlijke ventilatie van de kruipruimte. In het bestek is voorgeschreven dat de kruipruimte schoon moet worden opgeleverd. Het bestek schrijft een dichtheidsbeproeving voor van rioleringen en hemelwaterafvoeren evenals het afpersen van waterleidingen en de centrale verwarmingsinstallatie.

VENTILATIECAPACITEIT

Algemeen

De benodigde ventilatiecapaciteit van een ruimte wordt bepaald door de af te voeren bio-emissies van mensen +

de emissies uit het interieur, afkomstig van bouw- en inrichtingsmaterialen. In een kantoorruimte is de personendichtheid met ongeveer 0,1 P/m² klein en spelen de interieuremissies een relatief grote rol. Voor wat betreft de benodigde ventilatiecapaciteit in kantoren werden op Healthy Buildings 2000 nuttige gegevens gepresenteerd, gebaseerd op langjarig en wereldwijd empirisch onderzoek [4]. Bij een specifiek ventilatiedebiet van minder dan 10 l/s per persoon worden in verhoogde mate gebouwgerelateerde gezondheidsklachten (SBS) waargenomen. Bij een verhoging van het ventilatiedebiet van 10 l/s naar 20 l/s per persoon worden de SBS klachten significant minder. Boven 20 l/s per persoon is er geen aantoonbaar verband meer tussen ventilatiedebiet en SBS klachten. Het minimum debiet van 10 l/s per persoon is ook in Nederland een algemeen gehanteerde praktijkwaarde. Afhankelijk van de "gezondheidskwaliteit" van een kantoorgebouw is het verstandig deze waarde op te voeren naar maximum 20 l/s of in elk geval voldoende tolerantie in te bouwen.

Een klaslokaal onderscheidt zich wezenlijk van een kantoorruimte, enerzijds door de veel grotere personendichtheid van ongeveer 1,5 P/m², anderzijds door het veel kleinere oppervlak van textiele materialen per ruimte-eenheid, vloerbedekking, stoelen, gordijnen enzovoort, die potentieel verantwoordelijk zijn voor de emissies van vluchtige organische componenten (VOC's).

De ventilatiecapaciteit voor een klaslokaal kan daarom in principe worden berekend op basis van de dominante bio-emissies en het aloude CO₂-criterium [15].

CO₂-concentratie

Voor de mate van geurverontreiniging door de aanwezigheid van personen wordt de CO₂-concentratie in de binnenlucht als maatstaf gehanteerd. Een goede kwaliteit binnenlucht bevat volgens de beleidsregels ARBO minder dan 0,1 vol % CO₂ (1.000 ppm). Als grenswaarde wordt 0,12 vol. % (1.200 ppm) gehanteerd. Bij incidentele afwijkingen van het beoogde gebruik, waarbij een grotere verontreiniging optreedt, (bijvoorbeeld een tijdelijk hogere bezetting van de arbeidsplaats), mag de CO₂-concentratie ten hoogste

CO ₂ -concentratie	Per leerling	Klas van 32 leerlingen	Klas van 50 m ²	Vent.voud
1.000 ppm	27 m ³ /uur	890 m ³ /uur	17,8 m ³ /m ² .uur	5,9/uur
1.200 ppm	21 m ³ /uur	693 m ³ /uur	13,9 m ³ /m ² .uur	4,6/uur
1.500 ppm	16 m ³ /uur	528 m ³ /uur	10,6 m ³ /m ² .uur	3,5/uur

Ventilatiecapaciteit op basis van CO₂-concentratie

-TABEL 1-

Bron	Klasse	L/s per persoon	L/s per m ²	Vent.capaciteit m ³ /h	Vent.frequentie h ⁻¹
CO ₂ - 1.000 ppm	-	7,5	-	890	5,9
CO ₂ - 1.200 ppm	-	5,8	-	693	4,6
CO ₂ - 1.500 ppm	-	4,4	-	528	3,5
Bouwbesluit	-	-	2,8	504	3,4
NEN 1089	-	5,5	-	653	4,4
ASHRAE62-1999	-	3,3	0,7	521	3,5
ASHRAE62-1989	-	8	-	950	6,3
Public Health Sweden	-	8	-	950	6,3
PrENV 1752	A	10	1,0	1.368	9,1
PrENV 1752	B	7	0,7	958	6,4
PrENV 1752	C	4	0,4	547	3,6
NKB-61 (91)	-	3,5	0,7	542	3,6
DIN 1946	-	8,3	(4,2)	986	6,6
CIBSE-Guide A	-	8	-	905	6,3
Infectierisico	-	7	-	825	5,5

Overzicht ventilatiecapaciteiten

-TABEL 2-

0,15. vol % bedragen.

De CO₂-productie van jongens en meisjes in de leeftijdscategorie 10–12 jaar kan worden berekend op basis van een gemiddelde voedselopname van 10,35 MJ/dag. Bij een gemiddelde voedselsamenstelling is de CO₂-productie per persoon ongeveer 390 l/dag overeenkomend met ongeveer 18,8 l/uur tijdens schooluren [8]. De op basis hiervan berekende

ventilatiecapaciteit per klaslokaal is weergegeven in tabel 1. Hierbij is ervan uitgegaan dat er naast mensen geen andere bronnen van verontreiniging in een lokaal zijn. De ventilatie-effectiviteit³ is gesteld op 1.

Bouwbesluit

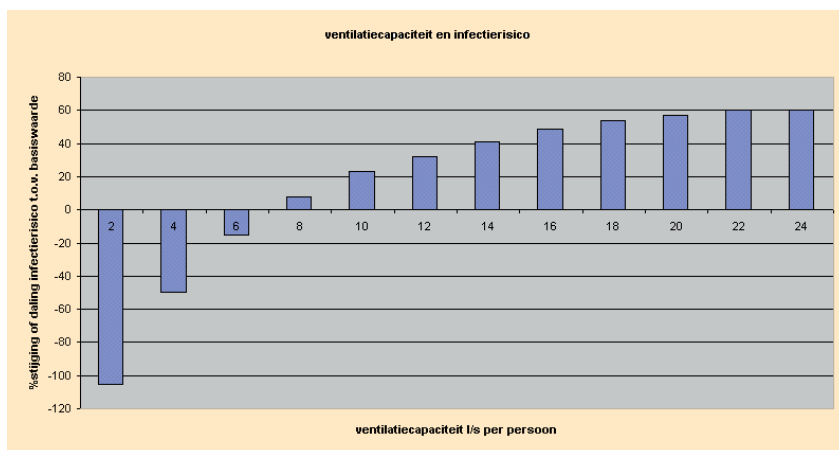
Volgens de terminologie van het bouwbesluit is een klaslokaal een verblijfsruimte klasse B2 (meer dan

1,3m² maar minder dan 3,3 m² per persoon. Hiervoor geldt een ventilatiecapaciteit van 2,8 • 10⁻³ m³/s per m² vloeroppervlak. Voor een klaslokaal van 50 m² komt dit neer op een ventilatiedebiet van 504 m³/uur. In een klas met 32 leerlingen + leerkracht zal de CO₂-concentratie hierbij oplopen tot boven 1.500 ppm!

Andere richtlijnen

NEN 1089 "Ventilatie van Schoolgebouwen – Eisen" schrijft een volumestroom voor van 5,5 dm³/s per leerling, overeenkomend met 19,8 m³/uur per leerling en voor een klas van 32 + leerkracht 653 m³/uur.

Addendum 62n op de ASHRAE Standard 62-1999 geeft een ventilatiecapaciteit van 12 m³/uur per persoon + 2,5 m³/uur per m² vloeroppervlak. Scandinavische richtlijnen schrijven een minimum ventilatiecapaciteit voor van 8 l/s per persoon, of 28,8 m³/uur (National Institute of Public Health, Sweden). Een uitstekend overzicht van internationaal gehanteerde ventilatienormen en -richtlijnen



Infectierisico als functie van de ventilatiecapaciteit

-FIGUUR 2-

voor verschillende ruimten werd door Olesen gepubliceerd [14]. De meeste schrijven een minimum ventilatiecapaciteit per persoon voor + een extra debiet per m² vloeroppervlak (CEN, 1996; CIBSE, 1993; NKB, 1991; DIN, 1994)

In tabel 2 zijn de op basis van de verschillende richtlijnen berekende ventilatiecapaciteiten aangegeven.

Infectierisico

Over het verband tussen ventilatiecapaciteit en infectierisico is weinig bekend. Onderzoek terzake suggereert een sterk verhoogd infectierisico bij een ventilatiecapaciteit van minder dan 7 l/s (25 m³/h) per persoon overeenkomend met 825 m³/uur voor een klaslokaal [12]. Vergroting van de ventilatiecapaciteit doet het infectierisico relatief minder afnemen. Zie figuur 2. Een dergelijke relatie wordt bevestigd door een Noors onderzoek waarin een significante toename van luchtwegirritaties werd gemeten bij CO₂-concentraties boven 1.000 – 1.500 ppm bij een navenante afname van de prestaties [10].

Overzicht ventilatiecapaciteiten

Tabel 2 toont de volgens de verschillende uitgangspunten berekende ventilatiecapaciteiten.

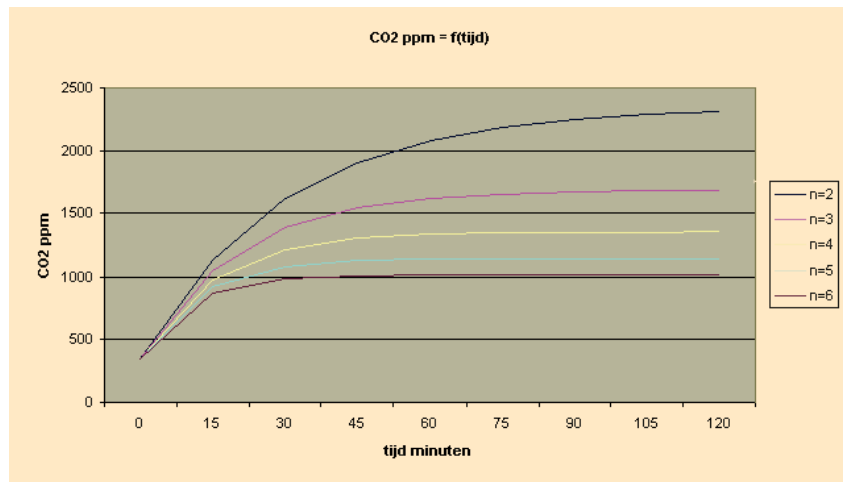
De hoogste en de laagste waarde verschillen bijna een factor 2!

Toelichting:

De klassen A, B en C van Pr ENV 1752 hebben betrekking op een percentage potentiële klagers van resp. 15%, 20% en 30%. Deze percentages hebben betrekking op mensen die van buiten komend een klaslokaal betreden, en dus niet zijn geadapteerd aan de luchtkwaliteit in de klas. Bij de lagere ventilatiefrequenties van ~3,5 h⁻¹ loopt de CO₂-concentratie op naar ongeveer 1.400 ppm. Voor mensen die zich in de klas bevinden en dus zijn geadapteerd aan de luchtkwaliteit hoeft deze nog niet direct onaanvaardbaar te zijn. Mensen die van buiten komen (ongeadapteerd) zullen de atmosfeer als onfris ervaren.

VENTILATIEFREQUENTIE EN CO₂-CONCENTRATIE

Bij het begin van de les is de CO₂-concentratie in een klaslokaal idealiter gelijk aan die van de buitenlucht, stel



CO₂ concentratie als functie van de schooltijd

-GRAFIEK 1-

350 ppm. De CO₂-concentratie loopt daarna op, en zal afhankelijk van de ventilatiefrequentie na verloop van tijd een bepaald maximum bereiken. De CO₂-concentratie als functie van de tijd kan worden berekend met behulp van de volgende formule:

$$CO_2(t) = CO_2(t_0) + P/(n \times V) \times [1 - e^{-n \cdot t}]$$

Waarin:

P = CO₂-productie in cm³/uur Bij 32 leerlingen 32 x 18,8 x 10³ = 0,6.106 cm³/h

n = Ventilatiefrequentie h⁻¹

V = Ruimtevolume 150 m³

t = Tijd in uur

De ontwikkeling van de CO₂-concentratie als functie van de tijd bij ventilatiefrequenties van 2, 3, 4, 5 en 6h⁻¹ is aangegeven in grafiek 1.

Spuiventilatie

Verschiede bronnen, en niet de minste [16] gaan er min of meer vanzelfsprekend vanuit dat een behoorlijke continue ventilatie van klaslokalen niet mogelijk of haalbaar zou zijn. Spuiventilatie, het luchten tijdens de pauzes, zou hiervoor een oplossing moeten bieden. Het is interessant na te gaan of deze oplossing voldoet. Stel dat we in een vol bezet klaslokaal het ventilatievoud beperken tot twee luchtwisselingen per uur. Grafiek 1 laat zien wat er gebeurt. De CO₂-concentratie loopt snel op en heeft al na ruim 15 minuten een waarde van 1.100 ppm bereikt. Na één lesuur van 45 minuten is de CO₂-concentratie al 1.900 ppm gestegen en bereikt na 2 uur een evenwichtstoestand met 2.250

ppm.

Als het lokaal daarna wordt gespuid hebben de leerlingen het grootste deel van de lestijd lucht van slechte kwaliteit gebruikt, en waren ze blootgesteld aan een verhoogd infectierisico.

Ook de vraag wie de ramen zou moeten of willen openzetten is interessant. Mensen openen ramen als er duidelijk een muffe lucht in de ruimte hangt of als het binnen erg warm is. Vooral 's winters kan de luchtkwaliteit in een klaslokaal erg slecht zijn, zonder dat de bewoners dit direct bemerken. Zij zijn gedurende hun verblijf in de ruimte aan de muffe lucht gewend geraakt (adaptatie) en alleen iemand die van buiten komt merkt de slechte luchtkwaliteit op. Verder zal men ook vanwege energiebesparing in het stookseizoen een raam niet zo gauw openzetten. En een verhoogd infectierisico door onvoldoende ventilatie wordt al helemaal niet door mensen bemerkt.

Spuiventilatie is een goed middel om in zomerse omstandigheden de ruimtetemperatuur enigszins te beperken en enige verkoeling te geven door de duidelijk waarneembare luchtbeweging (NPR 1090). Voor verbetering van de luchtkwaliteit in klaslokalen is spuiventilatie niet geschikt!

Conclusies ventilatiecapaciteit

Een grotere ventilatiecapaciteit heeft voordelen en nadelen. Aan de debetzijde staan een betere kwaliteit van de binnenlucht en een kleiner infectierisico. Aan de creditzijde een hoger energiegebruik, hogere installatiekosten en grotere risico's voor een tochtvrije luchtverdeling in

de winter.

Gezondheid (beperking infectierisico) dient te prevaleren boven comfort (kwaliteit van de binnenlucht), en daarom kan een ondergrens van 7 l/s per persoon als minimum worden beschouwd (zie figuur 2).

Is het nu voor wat betreft de kwaliteit van de binnenlucht gewenst deze waarde te verhogen om hierdoor een lagere CO₂-concentratie en een hogere tevredenheidsscore te realiseren voor ongeadapteerde personen? In tegenstelling tot ruimten in openbare gebouwen en sommige kantoren, met veel komen en gaan van ambulante en ongeadapteerde personen, is dit voor klaslokalen in een school niet direct noodzakelijk. Een ventilatiecapaciteit van 7 l/s is dus voor klaslokalen een goed uitgangspunt en voor de “Gevers Deynoot” is van deze waarde uitgegaan. Rekening houdend met iets kleinere klassen in de toekomst (10%) enig absentisme (5%), en een ventilatie effectiviteit < 1, is de ventilatiecapaciteit vastgesteld op 750 m³/uur overeenkomend met een ventilatiefrequentie van 5h⁻¹. De CO₂-concentratie aan het einde van 2 lesuren is maximaal 1.500 ppm.

Ventileren kost in het stookseizoen veel energie, en hoewel de gezondheid van de leerlingen op de eerste plaats komt mag dit aspect niet uit het oog worden verloren. Om energie te besparen kan worden overwogen bij de laagste buitentemperaturen, die slechts weinig uren omvatten, de ventilatie enigszins te verminderen.. De praktijk zal leren of dit mogelijk en wenselijk is.

MECHANISCHE OF NATUURLIJKE VENTILATIE?

Mechanische ventilatie

Mechanische ventilatie bestaat in het algemeen uit een luchttoevoersysteem en een luchtafvoersysteem met een vorm van warmteterugwinning; men noemt dit een gebalanceerd systeem. Met mechanische ventilatie kan aan alle technische eisen worden voldaan; een tochtvrije luchtverdeling, gegarandeerde ventilatiedebieten en een hoge ventilatie-effectiviteit. Nadelen zijn het ruimtebeslag van de installatie, de relatief hoge investeringskosten en het noodzakelijke onderhoud.

Als het technisch- en het schoonmaak-

onderhoud goed wordt uitgevoerd (o.a. regelmatige vervanging van luchtfilters en reinigen van luchtkanalen) is de luchtkwaliteit goed, zij het nooit zo goed als de pure buitenlucht. Als het onderhoud wordt veronachtzaamd kan de luchtkwaliteit snel degenereren. Omdat algemeen bekend is dat bij bezuinigingsoperaties in scholen het onderhoud vaak het eerste slachtoffer is, is het daarom de vraag of het verstandig is een basisschool mechanisch te ventileren.

Natuurlijke ventilatie

Natuurlijke ventilatie werkt alleen als de natuur meewerkt. Er is in het algemeen enige winddruk nodig om het systeem goed te laten functioneren. Ventilatievoorzieningen in de gevel worden veelal met de hand geopend en gesloten. De ventilatiedebieten kunnen afhankelijk van winddruk, windrichting en open delen sterk variëren. Tocht in de gevelzone is vaak aanleiding de ventilatievoorzieningen te sluiten. Warmteterugwinning is problematisch of onmogelijk. Onderzoek wijst uit dat de luchtkwaliteit in natuurlijk geventileerde scholen tijdens de winter sterk achteruit gaat. [3]. De meest waarschijnlijke reden hiervan is dat de ventilatieopeningen door tochtklachten worden gesloten. De kosten van natuurlijke ventilatiesystemen zijn uiteraard laag.

Hybride ventilatie

Hybride natuurlijke/mechanische ventilatiesystemen bestaan uit een mechanisch afzuigsysteem en een natuurlijke luchttoevoer via gevelroosters. De mechanische afzuiging voorkomt onderventilatie⁴. Om overventilatie met de inherente tochtverschijnselen en onnodig energiegebruik te voorkomen moeten deze roosters winddruk-onafhankelijk worden geregeld. Er zijn verschillende fabrikanten die dergelijke roosters op de markt brengen. Om te voorkomen dat in de winter de binnenkomende koude lucht tocht veroorzaakt, zijn bijzondere voorzieningen nodig. Voor een algemene beschouwing over thermisch/hygrisch comfort en luchtkwaliteit bij hybride ventilatiesystemen zie [4]

Keuze van het ventilatiesysteem

Op basis van eenvoud, kosten, en luchtkwaliteit is gekozen voor een hybride ventilatiesysteem. Het systeem voor ventilatie en verwarming wordt hierna omschreven.

TECHNISCHE OMSCHRIJVING VERWARMING EN VENTILATIE – ZIE FIG. 3

Verwarming

Onder de ramen zijn thermostatisch geregelde convectoren aangebracht. De door de convectiewerking opgewekte luchtstroom stijgt langs de ramen naar boven en verwarmt de koude ventilatielucht, die daardoor minder neiging heeft naar beneden te vallen.

Convectoren hebben om de volgende redenen de voorkeur boven radiatoren:

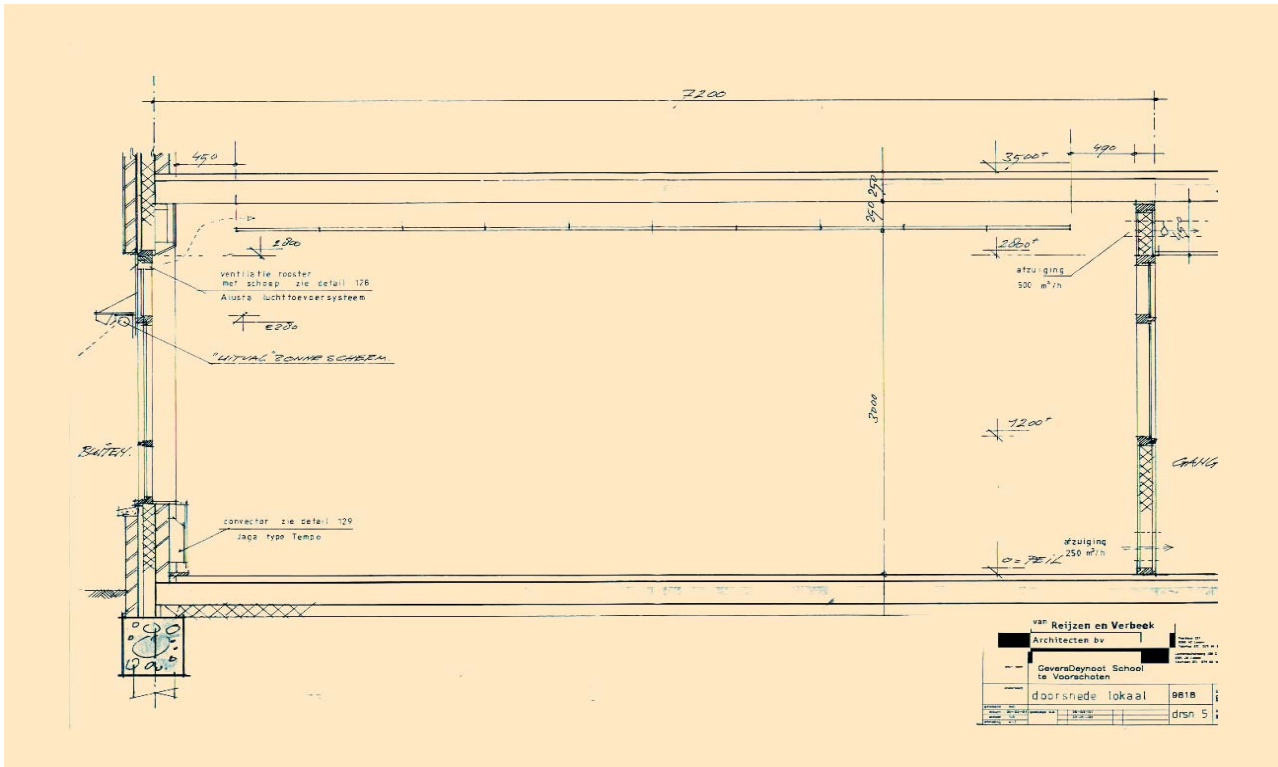
- ze geven een sterkere warme luchtstroom dan radiatoren; dit is zeer gewenst om de kans op koudeval van de ventilatielucht te beperken;
- convectoren reageren door hun kleinere massa en waterinhoud sneller dan radiatoren. Omdat het openen van ventilatieroosters heel snel in zijn werk gaat is een snel reagerende verwarming noodzakelijk. Hierbij moet worden bedacht dat het thermische vermogen voor meer dan 80% wordt bepaald door het opwarmen van de ventilatielucht;
- leerlingen in de raamrijen hebben geen last meer van de sterke straling van hete radiatoren.

De school is geheel voorzien van HR⁺⁺ beglazing waardoor stralingscompensatie met behulp van radiatoren niet meer nodig is.

Ventilatie

Toevoer van buitenlucht, 750 m³/uur, vindt plaats via elektronisch geregelde gevelroosters van het fabrikaat Alusta. Deze roosters zijn winddrukonafhankelijk en worden centraal open- en dichtgestuurd. In de klassen kan handmatig op de centrale bediening worden ingegrepen.

Aan de binnenzijde zijn de gevelroosters voorzien van “spoilers”, die de lucht schuin omhoog in de plafondruimte leiden. Aan weerszijden van de spoiler wordt warme lucht uit de ruimte geïnduceerd, waardoor de ventilatielucht wordt verwarmd en het effect van de spoiler wordt ondersteund. Zie figuur 4. De



Principe verwarming en ventilatie klaslokaal

-FIGUUR 3-

optimale vorm en afmeting van de spoilers is nog in studie. (halverwege de uitvoering).

Het verlaagde plafond is aan de gevel- en de gangzijde vrij gehouden van de wanden, waardoor een z.g. thermisch open plafond wordt gerealiseerd.

De ruimtelucht kan vrij door de plafondruimte circuleren.

De gevelroosters voeren de ventilatielucht met een zo hoog mogelijke snelheid in de plafondruimte. Koude lucht die de neiging heeft naar beneden te vallen wordt door het gecombineerde effect van spoiler en convectorwarmte naar boven gestuurd totdat ze door het verlaagde plafond wordt opgevangen. Tocht in de gevelzone wordt hierdoor voorkomen.

Door het gecombineerde effect van luchttoevoer door de gevelroosters en de luchtstroming van de convectoren ontstaat boven het verlaagde plafond, en onder bepaalde omstandigheden ook onder het plafond, een naar binnen gerichte luchtstroom die aan de gangzijde naar beneden wordt afgebo- gen. Er ontstaat een langzaam draaiende luchtzwel in het lokaal.

Een gedeelte van de lucht wordt afge- zogen via hoog geplaatste afzuigroos- ters aan de gangzijde. Het resterende deel stroomt via laaggeplaatste door- voerroosters naar de gangen. De venti- latielucht en de circulatielucht hebben

zich dan al zodanig gemengd dat een ventilatie-effectiviteit van ongeveer 0,85 of beter wordt verwacht.

In de zomer ontbreekt de convectie- stroming van de convectoren. Koude- val is dan echter geen probleem. De luchtzwelving zal ook in deze situatie tot stand komen door de thermiek die de leerlingen veroorzaken.

De naar de gangen overstromende lucht dient als suppletielucht voor de afzuiging van toiletten en enkele inpandige ruimten.

In de zomer wordt ook 's nachts geventileerd; de koele nachtlucht koelt de bouwmasa af, waardoor de volgende dag een koel en fris lokaal ter beschikking staat.

Warmteterugwinning is met het beschreven systeem te realiseren met behulp van een warmtepomp die de afgezogen lucht tot 8 à 10°C afkoelt en de warmte afgeeft aan een vloerverwarmingssysteem in de lokalen voor de onderbouw en de bewegingsruimte. Deze optie is niet gerealiseerd wegens onvoldoend investeringsrendement en financiële middelen.

Regeling van de ventilatie

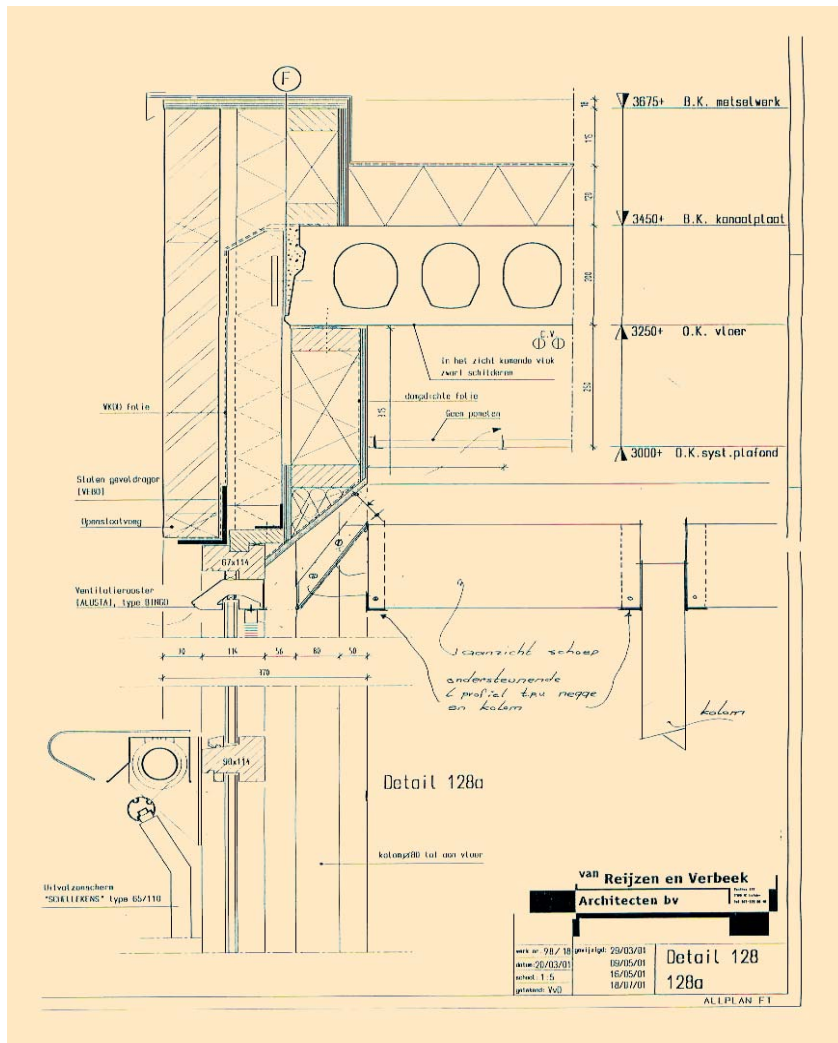
Het luchtdebiet wordt per klaslokaal elektronisch geregeld met behulp van sensoren in de gevelroosters. De lucht wordt afgezogen met behulp

van enkele afzuigunits voorzien van gelijkstroommotor. De gevelroosters en de afzuigunits worden per groep aangesloten op een z.g. Ventostaat, een programmeerbare regelaar, waarmee per klaslokaal in tijdsblokken de lesuren kunnen worden ingesteld. Ventilatie vindt alleen plaats geduren- de deze tijdsblokken. De Ventostaat stuurt ook het toerental van de mechanische afzuigunits aan zodat het afzuigdebiet gelijk is aan de som van de toevoer. Het resultaat is een constante balans tussen toevoer en afzuig.

Leerkrachten houden hierbij de moge- lijkheid de stand van de ventilatie- roosters met behulp van een infrarood zender aan te passen, waarbij de Ven- tostaat wordt overstuurd.

EEN TOCHTVRIJE LUCHTVERDELING

Het is bepaald een waagstuk een ruimte te ventileren op basis van vijf luchtwisselingen per uur bij een luchttemperatuur van -3°C, de laagste buitentemperatuur waarmee overdag rekening moet worden gehouden. Zonder bijzondere voorzieningen ontstaat zoveel tocht dat de ventilatiroosters onmiddellijk zullen worden gesloten. Toch is dit meestal het geval bij systemen met natuurlijke luchttoevoer, met alle consequenties



Geveldetail met gevelrooster en spoiler

-FIGUUR 4-

voor de luchtkwaliteit en in de scholen zieke kinderen.

Of met de bovenomschreven voorzieningen een tochtvrije luchtverdeling kan worden gerealiseerd is onderzocht met behulp van een CFD-analyse.

Met het FLOVENT programma is een analyse gemaakt van de te verwachten luchtstromingen in een klaslokaal. FLOVENT is een speciaal Computational Fluid Dynamics (CFD) programma, ontwikkeld door Flomerics in samenwerking met BSRIA⁵.

Het blijkt dat onder de gesimuleerde omstandigheden geen koudeval en tochtklachten te verwachten zijn. Aangezien de correcte invoer van de luchtstroom door het gevelrooster zeer nauw luistert, en ook buitengewoon kritisch is, zal nog worden getracht de resultaten van de CFD analyse te verifiëren met behulp van een z.g. full scale test. Het hiervoor nodige budget is halverwege de uitvoering echter nog niet beschikbaar.

WORDT VERVOLGD

Deel 3 van deze miniserie, "De realisatie: De duivel zit in het detail" geeft een verslag van de realisatiefase en de eerste ervaringen met de nieuwe school. Publicatie hiervan zal plaatsvinden na de ingebruikname, voorjaar 2002.

REFERENTIES

1. ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* en ASHRAE Standard 62-1999 Addendum 62n
2. Bakke, J.V. 1999. *State-of-the Art Report on requirements and recommendations for Indoor Climate in schools*. A report to the Norwegian Asthma and Allergy Association and the Norwegian Teachers Association. Proceedings Indoor Air 99 Volume 1
3. Bartlett, K.H., Kennedy, S.M. e.a. 1999. *Predictors of Exposure to Indoor CO₂ and Bioaerosols in elementary school classrooms*.

4. Bronsema, B. 2001. *Hybride ventilatiesystemen: Thermisch/hygrisch comfort en luchtkwaliteit*. TVVL magazine 9/2001.
5. Bronsema, B. 2001. *Een nieuwe school – Kan het ook beter? (1)* Verslag van een zoektocht. TVVL Magazine ./2001.
6. CEN pr ENV 1742, 1996. *Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment*.
7. CIBSE 1993. Guide A, revision section 2 *Environmental Criteria for Design*. Charter Institute of Building Service Engineers, UK
8. Davidsen, S. e.a. 1979 "Human Nutrition and Dietetics" seventh edition Churchill Livingstone, Edinburgh London and New York
9. DIN 1946 Part 2, 1994. *Ventilation and Air Conditioning: Technical Health Requirements*.
10. Myhrvold, A.N., Olsen, E., Lauridsen, O. *Indoor Environment in schools – Pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations*. Proceedings Indoor Air '96 Volume 4.
11. National Institute of Public Health Sweden 1996. *Allergy inspection in schools*. The Asthma-Allergy Association in Stockholm County
12. Nardell, E.A., Keegan, J. et al. *Theoretical Limits of Protection Achievable by Building Ventilation*. American Review Resp. Disease 1991.
13. Nordic Committee on Building Regulations, 1991. *NKB Report no. 61 Indoor Climate – Air Quality*
14. Olesen, B.W. 1997. *International Development of Standards for Ventilation of Buildings*. ASHRAE Journal April 1997
15. Pettenkofer, M.V. 1877. *Ueber das Verhalten der Luft zum Wohnhause des Menschen*. Populäre Vor-träge von M.V. Pettenkofer, 1. Heft.
16. Umwelt Bundes Amt 2000. *Leitfaden für die Innenraumluftthygiene in Schulgebäuden*. <http://www.umwelbundesamt.de>

Eindnoten:

- ² Subsidieregeling energievoorzieningen in de non-profit en bijzondere sectoren
- ³ Bij een ventilatie effectiviteit van 1 is de luchtkwaliteit overal in de ruimte, dus ook ter plaatse van de afzuiging, gelijk. Er wordt dan geen ventilatielucht "ongebruikt" afgezogen
- ⁴ Overventilatie en onderventilatie is technisch jargon voor respectievelijk teveel en te weinig ventilatie
- ⁵ The Building Research and Information Association