

Voldoende en tochtvrij ventileren via het plafond

Concept voor frisse scholen

In een groot deel van de Nederlandse scholen is tocht de oorzaak van slechte luchtkwaliteit in het stookseizoen, terwijl in de rest van het jaar het risico op oververhitting bestaat vanwege de hoge interne warmtelast. Dit artikel beschrijft een nieuw luchtdistributieconcept wat deze twee problemen kan oplossen. Dit zogenaamde Frissescholen-concept is vorig jaar tijdens een viertal sessies in een tijdelijk klaslokaal bij TNO in Delft aan de onderwijswereld gepresenteerd. Dit artikel beschrijft kort de in het laboratorium en tijdens een praktijktest gemeten prestaties. Vervolgens wordt met een drietal voorbeeldontwerpen ingegaan op hoe dit distributieconcept op een duurzame wijze in bestaande scholen is te integreren.

- door ir. P. Jacobs*, mw. ir. L. van Oeffelen*
en ing. B. Knoll*

Februari 2008 presenteerde het kabinet haar visie over binnenmilieu op basisscholen [1]. Op basis van een aantal onderzoeken is geconcludeerd "dat de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen te wensen overlaat wat betreft de volgende aspecten: luchtkwaliteit tijdens het stookseizoen, (stoor)geluid en de tem-

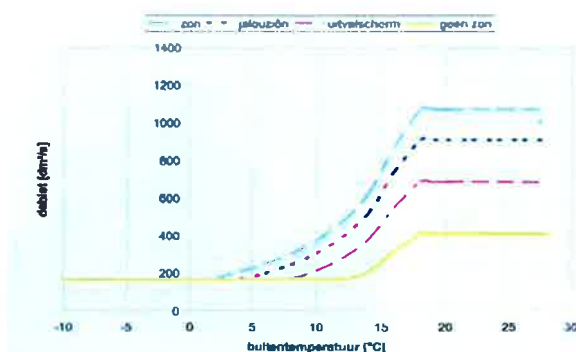
peratuur in de klaslokalen in de zomerperiode".

Aan het luchtkwaliteitsprobleem in het stookseizoen is veel onderzoek verricht. Een recent onderzoek [2] laat zien dat in bijna 90 % van de Nederlandse klaslokalen de grenswaarde van 1.200 ppm CO₂ wordt overschreden. Naast dat hierdoor klachten zoals

hoofdpijn en geïrriteerde ogen kunnen optreden zijn er aanwijzingen [3, 4] dat hierdoor de prestaties van leerlingen verminderen.

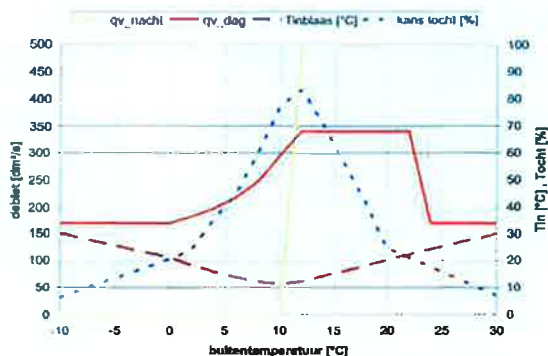
Veel minder bekend dan de veelal gebrekkige ventilatie is het probleem van oververhitting in klaslokalen. Uit recent onderzoek [2] blijkt dat 42 % van de leraren het thermische comfort in de zomerperiode als onvoldoende beoordeeld. De luchtkwaliteit in het stookseizoen wordt door 'slechts' 32 % van de docenten als onvoldoende beoordeeld. Blijkbaar ervaren meer leerkrachten de oververhitting als een probleem dan de luchtkwaliteit. Er zijn ook indicaties [3] dat het effect van oververhitting op de leerprestaties groter is dan het effect van slechte luchtkwaliteit. Reden te meer om te pleiten voor een aanpak waarin zowel het luchtkwaliteitsprobleem als het oververhittingsprobleem gelijktijdig worden opgelost: Het Frissescholen-concept.

* TNO Bouw en Ondergrond



Effect van zoninstraling op vereiste ventilatiestroom per klaslokaal.

- FIGUUR 1 -



Benodigd debiet en tochtkans bij een klaslokaal met geveltoevoer.

- FIGUUR 2 -

NATUURLIJKE KOELING

De bezettingsgraad van klaslokalen zorgt voor een grote interne warmtebelasting. In combinatie met zonbelasting kan hierdoor al snel oververhitting optreden. In tegenstelling tot de warmtelast door personen is de zonlast grotendeels vermijdbaar. De eerste stap om het oververhittingprobleem aan te pakken bestaat daarom uit het aanbrengen van adequate zonwering. Figuur 1 illustreert het effect. Zonder goede zonwering verdubbelt het ventilatiedebiet, dat nodig is om de binnentemperatuur onder controle te houden.

DEBIET

Figuur 2 toont twee lijnen voor het benodigde debiet gedurende de dag en nacht in een voorbeeldsituatie. Bij aanwezigheid overdag dient ten minste de minimaal benodigde luchtverversing, in het voorbeeld volgens de rode lijn 170 dm³/s (612 m³/h), plaats te vinden om de CO₂-concentratie niet boven 1.200 ppm te laten stijgen. Dit is het geval bij lage buitentemperaturen (< 0 °C in het voorbeeld). De onderzoeken naar leerprestaties en ziekerisico's hebben aangetoond dat een grotere luchtverversing dan de minimale wenselijk is. Als deze luchthoeveelheden al bij lage temperaturen worden ingeblazen, kost dat nog te veel verwarmingsenergie. Daarom wordt in het voorbeeld de luchtstroom pas boven 0 °C en dan nog geleidelijk opgevoerd. Boven de stookgrens is het echter noodzakelijk om versterkt te ventileren. Anders warmt het lokaal teveel op door de vele warmte van de leerlingen en eventueel de zon (afhankelijk van hoe goed de zonwering plaatsvindt). Dit is in het voorbeeld tussen buitentemperaturen van 5 en 10 °C het geval. Bij nog hogere buitentemperaturen zou de ventilatie verder moeten stijgen (boven de nu getoonde begrenzing van 340 dm³/s (1.224 m³/h)), maar dat gebeurt niet, om geen geluidsoverlast van het ventilatiesysteem te laten ontstaan. Het is effectiever om door intensief nachtelijk spuien (gele lijn, debiet 500 dm³/s (1.800 m³/h)) de gebouwconstructie af te koelen, zodat overdag de temperaturen acceptabel blijven. Omdat het lokaal 's nachts onbezet is, is geluidsoverlast minder kritisch.

		winter	tussen-seizoen	zomer
Luchtdebiet dm³/s	overdag	170	170 – 340	170
	nacht	0	0 - 700	700
Geluid dB(A)	overdag	< 35 (binnen)	< 35 (binnen)	< 35 (binnen)
	nacht	n.v.t.	< 50 (buiten)	< 50 (buiten)
Tocht [m/s]		< 0.2	< 0.2	afh. van temperatuur
Regeling	aanwezigheid	ja	ja	ja
	CO ₂ -concentratie	optie	optie	optie
	buitentemperatuur	nee	ja	ja
	binnentemperatuur	nee	ja	ja
Warmteterugwinning		optie	nee	optie

Bedrijfscondities en systeemeisen voor de klimatisering van een klaslokaal met natuurlijke koeling bij verschillende buitencondities.

- TABEL 1 -

Inblaastemperatuur

Door de toevoer van ventilatielucht kan tocht ontstaan. Hiervoor is van belang met welke temperatuur er wordt toegevoerd. Figuur 2 toont met de bruine streep (recht verticale as) welke toevoertemperaturen het beste kunnen worden aangehouden. Om tocht te beperken, wordt de inblaaslucht bij lage buitentemperaturen zoveel mogelijk voorverwarmd. Hieraan is echter een grens, omdat anders de binnentemperatuur onnodig oploopt (energieverlies en oververhitting). Als de stookgrens wordt bereikt (in dit voorbeeld bij een buitentemperatuur van 10 °C) wordt de toevoerlucht niet meer voorverwarmd, maar is de inblaastemperatuur gelijk aan de buitentemperatuur (natuurlijke koeling).

Tochtkans

De traditionele wijze van luchttoevoer is via de gevel. In het voorbeeld is uitgegaan van gevelroosters met een totale lengte van 4,5 m en een hoogte van 0,1 m. Met de voornoemde debieten (dagsituatie) en bijbehorende inblaastemperaturen zijn hieruit de worpcondities van de intredende lucht vastgesteld. Vervolgens is hieruit het tochtgetal (Draught Rate) berekend volgens NEN-ISO 7730. Het te verwachten percentage klagers over tocht in de leefzone is weergegeven door de blauwe stippellijn (recht verticale as). Door het verwarmen van de inblaaslucht bij lage buitentemperaturen kan de tochtkans goed worden beperkt. De echt kritieke condities voor tocht

blijken bij de mildere, maar veel voorkomende (voor- en najaars)condities op te treden (piek rond 12 °C buiten). De boodschap is dus dat er systemen nodig zijn die tochtvrij kunnen toevoeren bij de grotere debieten en gematigde buitentemperaturen. De technicus dient zich voor het ontwerp van een schoolventilatie-installatie vooral hierop te richten.

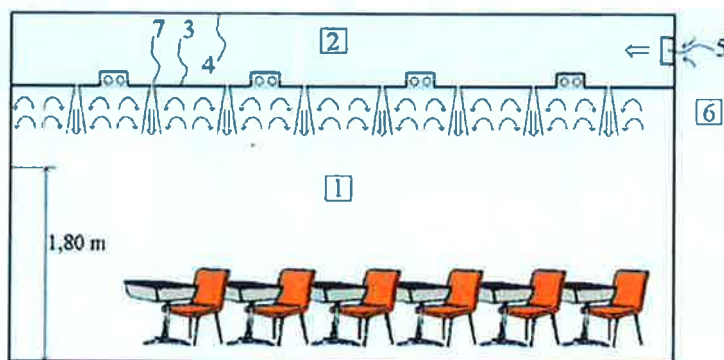
Effectiviteit

Om effectief te kunnen koelen met lucht is het belangrijk dat de buitenlucht zonder eerst voor te verwarmen kan worden ingeblazen. Veel inblaasroosters kunnen alleen tochtvrij inblazen als het temperatuurverschil niet groter is dan 5 K. Bij een buitentemperatuur van bijvoorbeeld 6 °C en een binnentemperatuur van 22 °C wordt dan de lucht eerst tot 17 °C voorverwarmd. Vergeleken met de situatie dat de buitenlucht met 6 °C kan worden ingeblazen scheelt dit ruim 2 kW aan koelvermogen bij een luchtdebiet van 170 dm³/s (612 m³/h).

Tabel 1 geeft een aantal bedrijfscondities en eisen die voor de verschillende temperatuurcondities gelden.

LUCHTDISTRIBUTIE

Natuurlijke koeling vereist relatief grote ventilatiedebieten die liefst met een zo laag mogelijke temperatuur worden ingeblazen. Om dit tochtvrij te kunnen doen is een nieuw geotrooieerd luchttoevoerconcept ontwikkeld, waarbij het gehele plafond wordt



Principe van het plafond luchtdistributie concept.

- FIGUUR 3 -

gebruikt om de frisse lucht te verdelen. Figuur 3 laat hiervan het principe zien. Het concept kan het bestaande verlaagde plafond, indien aanwezig, als verdeelplenum gebruiken. Om luchtverlies naar andere ruimten te voorkomen moeten doorvoeren en eventuele gaten worden afgedicht. De frisse lucht wordt via kleine gaatjes in de plafondtegels met een snelheid tussen 0,5 en 2 m/s ingeblazen. Door inductie van ruimtelucht wordt het temperatuurverschil met de ruimtelucht vereffend voordat de luchtstraal in de leefzone komt. Om dit proces goed te laten verlopen is het een vereiste dat tussen de luchtstralen voldoende afstand zit zodat ruimtelucht naar het plafond op kan stijgen. In een laboratoriumsituatie is vastgesteld dat, zelfs bij ondertemperaturen van de inblaas-lucht tot 20 K en een ventilatiestroom van 11 dm³/s (40 m³/h) per persoon, aan de tochteisen van het Bouwbesluit wordt voldaan. Het laboratorium onderzoek is beschreven in [5].

LAGE DRUK ONTWERP

Over het algemeen worden installaties compact ontworpen. Luchtsnelheden van drie tot zes meter per seconde in kanalen zijn heel gebruikelijk. Deze relatief hoge luchtsnelheden gaan gepaard met grotere drukvallen. Een lage druk ontwerp waarbij als richt-waarde maximaal 1 m/s wordt aangehouden levert een aantal voordelen op:

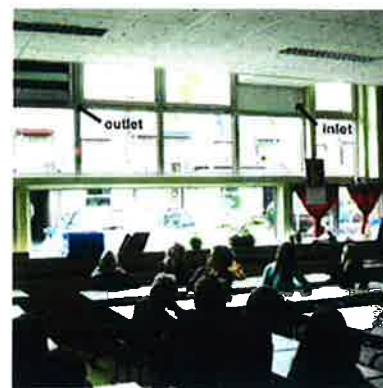
1. hierdoor veroorzaakt de ventilator nauwelijks geluidproductie zodat geluiddempende maatregelen achterwege kunnen blijven;
2. het elektrisch energiegebruik is veel lager. Het vermogen van een ventilator is evenredig met de luchtsnelheid tot de derde macht. Een halve-

ring van de luchtsnelheid zorgt voor een acht keer lager energiegebruik! 3. alleen als het kanaalwerk in de nominale stand een lage weerstand heeft is mogelijk om ten behoeve van spuien en nachtventilatie ruim een factor 4 meer lucht in te blazen. Dit veroorzaakt namelijk een $4^3 = 64$ maal zo hoge drukval.

In de komende drie paragrafen worden drie voorbeeldontwerpen beschreven om te laten zien hoe dit distributie-concept op een duurzame wijze in bestaande scholen te integreren is en welke prestaties kunnen worden verwacht.

DECENTRALE TOE- EN AFVOER VIA GEVEL

Deze uitvoeringsvorm is begin 2008 in een basisschool in Sliedrecht geïnstalleerd en getest [6], zie figuur 4 en 5. Buitenlucht wordt via een kanaal van minder dan 1 meter lengte door een CO₂-geregelde gelijkstroom-radiaalventilator (ø 310 mm) aangezogen en met zes parallel geschakelde, 1 meter lange, geluiddempers boven het verlaagd plafond ingeblazen. De afvoer is in dezelfde gevel gelegen en verloopt via overdruk. Vanwege de directe toe- en afvoer via de gevel is het een vrijwel leidingloos ontwerp. Dit heeft als groot voordeel dat het energiegebruik en de geluidproductie



Frissescholen-concept met decentrale toe- en afvoer via de gevel.

- FIGUUR 4 -

minimaal zijn en dat het systeem een grote capaciteitsrange heeft, zie tabel 2. In Sliedrecht zijn de inblaasgaatjes direct in de aanwezige plafondtegels geboord. In combinatie met het leidingloos ontwerp zijn hierdoor minder componenten nodig, wat gunstig is voor de investeringskosten. In het klaslokaal is gedurende zes weken als maat voor de luchtkwaliteit de CO₂-concentratie gemeten. De meetresultaten gaven aan dat het systeem de CO₂-concentratie onder het setpoint van 1.200 ppm hield.

In een naastgelegen referentielokaal waar met klappen werd geventileerd zijn maxima van 2.500 – 3.000 ppm CO₂ gemeten. Op basis van wekelijkse enquêtes bleek dat de leerlingen de lucht in het aangepaste klaslokaal als fris beoordeelden. Helaas was de meetperiode te vroeg in het jaar om ook het effect op temperatuurbeheersing vast te stellen. Aandachtspunt was de afvoer: indien de deur open stond kon er terugstroming optreden, mede omdat het systeem nog niet in alle lokalen operationeel was. Dit probleem kan worden ondervangen door afvoer-roosters met terugslagklep toe te passen.

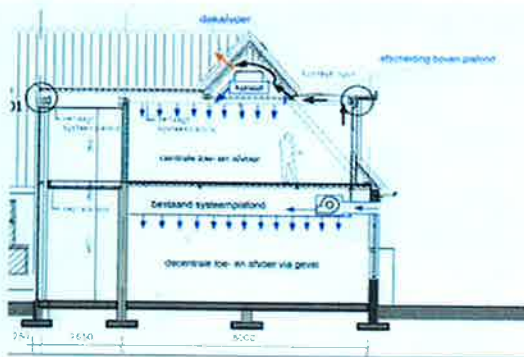
CENTRALE TOEVOER, CENTRALE AFVOER

Voor dezelfde basisschool in Sliedrecht is een ontwerp gemaakt om vijf klaslo-

Capaciteit dm ³ s ⁻¹	L _p dB(A)	Opvoerhoogte Pa	Energie W
180	28	6	8
390	41	60	50
610	53	144	172

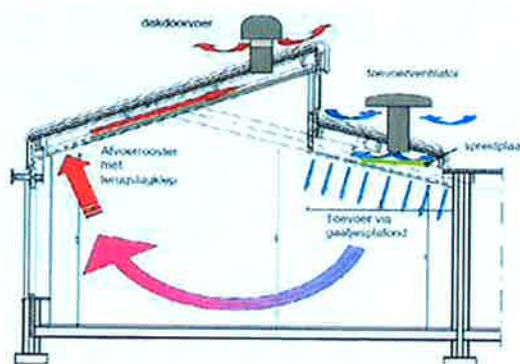
Prestaties van het Frissescholen-concept met decentrale toe- en afvoer.

- TABEL 2 -



Frissescholen-concept met op 1^e etage centrale toe- en afvoer en op de begane grond decentrale toe- en afvoer via de gevel.

- FIGUUR 5 -



Systeemopzet voor klaslokaal met lessenaarsdak.

- FIGUUR 6 -

kalen op de 1^e etage te ventileren. Figuur 4 geeft een doorsnede van de situatie. Door de geringe hoogte van het verlaagd plafond is inbouw van een ventilatorbox hier moeilijk. Om deze reden is gekozen voor centrale aanvoer via een kanaal in de bovengesloten zolder. Een ander probleem van de eerste etage is de zonbelasting. Om deze reden is gekozen om het gedeelte van het plafond, dat direct onder het platte dak van de dakkapel is gelegen, te gebruiken om de lucht af te voeren. Vervolgens stroomt de lucht over naar de zolder en gaat via een dakafvoer naar buiten. Uit simulaties volgt dat hiermee per lokaal ongeveer 500 W aan warmtelast wordt vermeden.

DECENTRALE TOE- EN AFVOER VIA DAK

Scholen zijn regelmatig uitgevoerd met lessenaarsdaken. Dit houdt in dat het plafond tweezijdig schuin en gedeeld is, zie figuur 5. Er is sprake van een kort plafonddeel dat schuin oploopt van de centrale binnenruimte en een lang plafonddeel dat schuin oploopt vanaf de buitengevel. Beide delen verspringen samen ter plaatse van een verticaal dakdeel met ramen. De beide schuine dakdelen hebben in dit geval een verlaagd plafond met een ruime spouw die kan dienstdoen als plenum. In de huidige situatie vindt de ventilatie plaats door het openen van ramen in de gevel en het lessenaarsdak.

Bij het Frissescholen-concept wordt normaal gesproken het gehele verlaagde plafond gebruikt als plenum voor een gelijkmatige toevoer van verse

lucht. Dat vergt hier het luchtzijdig koppelen van beide plafonddelen of het dubbel uitvoeren van het ventilatiesysteem, hetgeen een belangrijke kostenverhoging zou betekenen. Uit nader onderzoek blijkt dat kan worden volstaan met toevoer via slechts één van beide plafonddelen. Omdat de hoogste zonbelasting op het lange plafonddeel valt, wordt het korte plafonddeel gebruikt voor de luchttoevoer. De luchtafvoer dient opwaarts door het lange plafonddeel te geschieden. Dit biedt drie voordelen:

1. de warmtelast van de zon op het lange en meest beschreven dakdeel wordt al afgevoerd voordat deze in het lokaal kan komen;
2. bij de afvoer wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke drijvende kracht van de thermiek;
3. de toevoerventilator kan uit het zicht worden geplaatst en vanaf het platte dak van het binnengedeelte gemakkelijk worden onderhouden.

VERDERE ONTWIKKELING

Het Frissescholen-concept is een luchtdistributieconcept waaraan diverse bestaande luchtbehandelingsystemen kunnen worden gekoppeld. De architect en de adviseur hebben de belangrijke taak om het concept op een architectonisch fraaie wijze in het ontwerp en in de constructie te integreren. TNO is met toeleveranciers in gesprek om gezamenlijk een aantal proefprojecten met het systeem uit te voeren en zodoende een toolkit voor een aantal veel voorkomende situaties te ontwikkelen. Uit dit artikel blijkt dat het Frissescholen-concept een flexibel systeem is, dat zonder al te

veel problemen in vele bestaande scholen kan worden toegepast. Hierdoor kan de levensduur van verschillende scholen wellicht worden verlengd, met slechts een beperkte renovatie en aanpassing. Dat komt de duurzaamheid van de bestaande bebouwing ten goede.

REFERENTIES

1. www.minocw.nl, nieuwsbrief: *Beter binnenmilieu basisscholen*, februari 2008.
2. Versteeg, H., *Onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen*, VROM website publicaties & brochures, 2007.
3. Wargocki, P., Wyon D.P., Matysiak B., Irgens S., *The effect of classroom temperature and outdoor supply rate on the performance of school work by children*, Indoor Air: Proceedings of the 10th international conference on indoor air quality and climate, Beijing, China, p. 368 - 372, 2005.
4. De Gids W.F., *Ventilatie in scholen*, TVVL Magazine 36 (5), p. 26 - 29, 2007.
5. Jacobs P., van Oeffelen E.C.M., Knoll B., *Diffusive ceiling ventilation, a new concept for healthy and productive classrooms*, Indoor Air: Proceedings of the 11th international conference on indoor air quality and climate, Copenhagen, 2008.
6. Wind H., *TNO ventileert scholen via plafond*, goedkoop systeem zonder tocht en geluidhinder, Bouwwereld 104 (7), p. 42 - 44, 2008.