

Voldoende en tochtvrij ventileren via het plafond

Het Frissescholencconcept

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 Frisse scholen 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-

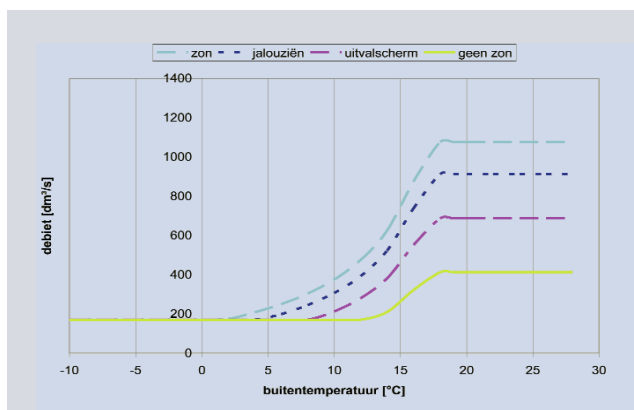
peratuur in de klaslokalen in de zomerperiode”.

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.

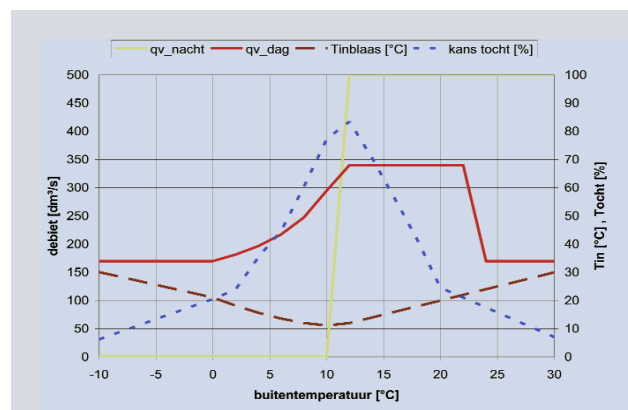
Veel minder bekend dan de veelal gebrekkige ventilatie is het probleem van oververhitting in klaslokalen. Uit recent onderzoek [2] blijkt dat 42 % van de leraren het thermische comfort in de zomerperiode als onvoldoende beoordeeld. De luchtkwaliteit in het stookseizoen wordt door ‘slechts’ 32 % van de 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 luchtkwaliteitprobleem als het oververhittingsprobleem gelijktijdig worden opgelost: Het Frissescholencconcept.

* TNO Bouw en Ondergrond



Effect van zoninstraling op vereiste ventilatiestroom per klaslokaal.

- FIGUUR 1 -



Benodigd debit 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 ziekterisico'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 te veel 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 nacht	170 0	170 – 340 0 - 700	170 700
Geluid dB(A)	overdag nacht	< 35 (binnen) n.v.t.	< 35 (binnen) < 50 (buiten)	< 35 (binnen) < 50 (buiten)
Tocht [m/s]		< 0.2	< 0.2	afh. van temperatuur
Regeling	aanwezigheid CO ₂ -concentratie buitentemperatuur binnentemperatuur	ja optie nee nee	ja optie ja ja	ja optie ja ja
Warmteterugwinning		optie	nee	optie

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

- TABEL 1 -

Inblaasstemperatuur

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 (rechter 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 inblaasstemperatuur 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 inblaasstemperaturen 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 stippelijntje (rechter 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.

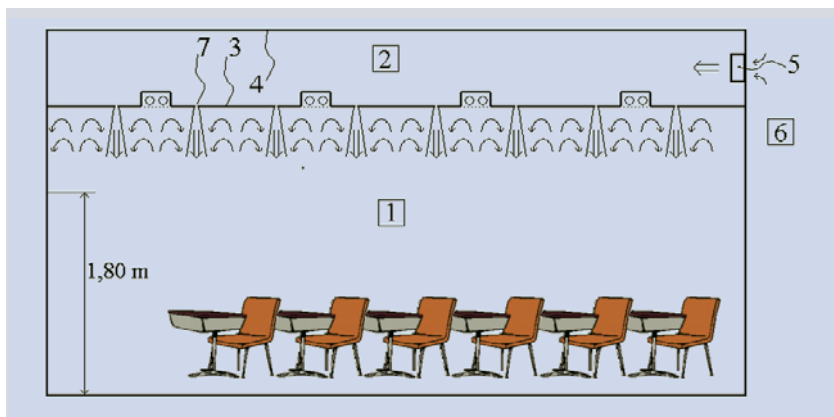
Effectiviteit

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 verde-
len. Figuur 3 laat hiervan het principe
zien. Het concept kan het bestaande
verlaagde plafond, indien aanwezig, als
verdeelplenum gebruiken. Om lucht-
verlies naar andere ruimten te voorko-
men 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 induc-
tie van ruimtelucht wordt het tempera-
tuurverschil met de ruimtelucht ver-
effend 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 labora-
toriumsituatie 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

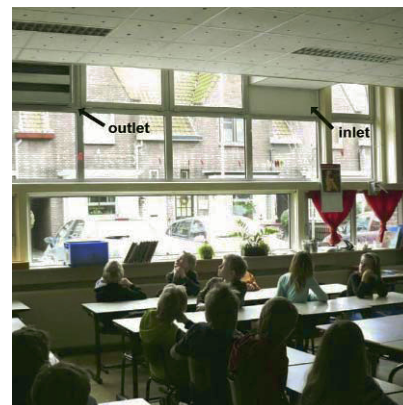
Over het algemeen worden installaties
compact ontworpen. Luchtsnelheden
van drie tot zes meter per seconde in
kanalen zijn heel gebruikelijk. Deze
relatief hoge luchtsnelheden gaan
gepaard met grotere drukvallen. Een
lage druk ontwerp waarbij als richt-
waarde maximaal 1 m/s wordt aange-
houden levert een aantal voordelen op:
1. hierdoor veroorzaakt de ventilator
nauwelijks geluidproductie zodat
geluiddempende maatregelen ach-
terwege kunnen blijven;
2. het elektrisch energiegebruik is veel
lager. Het vermogen van een ventila-
tor is evenredig met de luchtsnel-
heid 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 be-
staande scholen te integreren is en wel-
ke prestaties kunnen worden verwacht.

DECENTRALE TOE- EN AFVOER VIA GEVEL

Deze uitvoeringsvorm is begin 2008
in een basisschool in Sliedrecht geïn-
stalleerd en getest [6], zie figuur 4 en
5. Buitenlucht wordt via een kanaal
van minder dan 1 meter lengte door
een CO₂-geregelde gelijkstroom-radi-
aalventilator (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



Frischescholenconcept 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 lei-
dingloos ontwerp zijn hierdoor min-
der 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 meetresulta-
ten gaven aan dat het systeem de CO₂-
concentratie onder het setpoint van
1.200 ppm hield.

In een naastgelegen referentielokaal
waar met klappramen 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 meet-
periode 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.

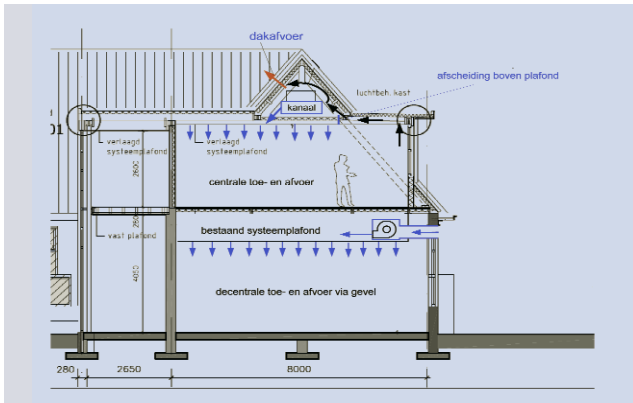
CENTRALE TOEVOER, CENTRALE AFVOER

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

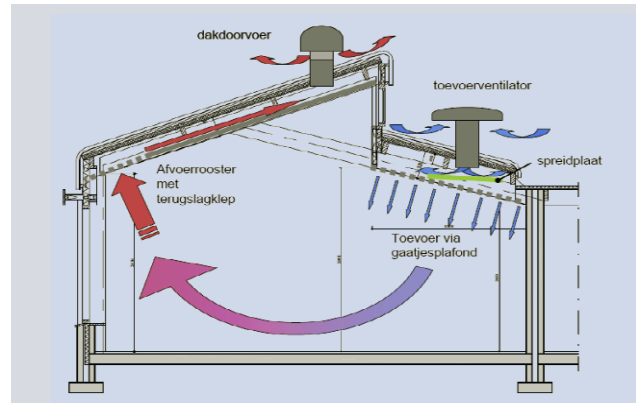
Prestaties van het Frischescholenconcept met decentrale toe- en afvoer.

- TABEL 2 -



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

- FIGUUR 5 -



Systemopzet 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 bovengelige 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 Frissescholenconcept 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 beschenen 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 Frissescholenconcept 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 Frissescholenconcept 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, Kopenhagen, 2008.
6. Wind H., *TNO ventileert scholen via plafond*, goedkoop systeem zonder tocht en geluidhinder, Bouwwereld 104 (7), p. 42 - 44, 2008.