

Integrale benadering voor ontwerpverbetering

Ventilatie van Nederlandse scholen

Binnenluchtkwaliteit heeft de belangstelling van het Nederlands Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu. Een grote campagne is in 2005 gestart om het publiek bewust te maken van de gevaren voor de gezondheid als resultaat van slechte ventilatie in woningen. Verontreinigingsniveaus zijn binnen vaak hoger dan buiten. Gezien het feit dat Nederlanders bijna 90 % van de tijd binnenshuis doorbrengen is een goede binnenluchtkwaliteit erg belangrijk. De binnenluchtkwaliteit op scholen is van bijzonder belang, omdat kinderen extreem gevoelig zijn voor de gevolgen van een gebrekkige luchtkwaliteit. De binnenluchtkwaliteit op scholen moet voldoen aan de basisvereisten en dient als hoge prioriteit te worden beschouwd, omdat [10]:

- (1) kinderen gevoeliger zijn omdat zij fysiek nog in ontwikkeling zijn en eerder nadeel ondervinden van verontreinigingen in de binnenlucht, deze groeiprocessen zijn teer en gevoelig voor verstoring,*
- (2) kinderen de meeste stoffen die giftig zijn voor het milieu minder goed kunnen metaboliseren en uitscheiden dan volwassenen,*
- (3) kinderen relatief gezien zwaarder worden blootgesteld aan giftige stoffen, omdat zij in verhouding met hun lichaamsgewicht grotere luchtvolumes inademen. Een goede binnenluchtkwaliteit in klaslokalen bevordert het vermogen van kinderen om te leren. Een gebrekkige binnenluchtkwaliteit in scholen beïnvloedt de prestatie en aanwezigheid van leerlingen, voornamelijk doordat verontreinigingen van de binnenlucht effect hebben op de gezondheid [12].*

- door Prof.ir. W. Zeiler* en G. Boxem*

Er zijn vele normen en richtlijnen opgesteld door internationale gezondheidsorganisaties, industriële organisaties en overheden om te zorgen voor een goede binnenluchtkwaliteit door middel van ventilatie. Ventilatiernormen stellen ofwel eisen aan de hoeveelheid toevoerlucht van buitenaf (volume per tijd per per-

soon), ofwel aan het ventilatievoud (h^{-1}), of aan beiden. Nederlandse scholen dienen te voldoen aan het Bouwbesluit, dat voor een klaslokaal een minimale ventilatie voorschrijft van 2,8 l/sm^2 bij een bezettingsgraad van 1,3 tot 3,3 m^2 vloeroppervlak per persoon. Voor een standaard klaslokaal van 50 m^2 en een maximale bezetting van 32



Prof.ir. W. Zeiler



G. Boxem

leerlingen resulteert dit in een ventilatievoud van 4,2 l/s per persoon. Het Bouwbesluit refereert ook aan richtlijn NEN 1089, waarin een ventilatievoud van 5,5 l/s per persoon wordt vereist. Dit is gebaseerd op een CO_2 -concentratieniveau van 1.000 ppm met een

* Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), Nederland
Vertaling van "Ventilation of Dutch schools; an integral approach to improve design", door ir. P.M. Briggen, afgestudeerd bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.

Onderzoek	aantal scholen	CO ₂ ppm	
		gemiddelden	spread
Nielsen, 1984	11	1.000	500 – 1.500
Norback et.al, 1990	6	1.290	950 – 1.950
Norback, 1995	6	1.320	700 – 2.700
Smedje, 1997	96	990	425 – 2.800

Gemiddelde en spreiding van CO₂-concentraties voor Europese scholen, beschreven in wetenschappelijke literatuur [4].

- FIGUUR 2 -

maximum van 1.200 ppm. Hieruit volgt dat, afhankelijk van de situatie, de hoogste waarde voor het ventilatievoud dient te worden gebruikt.

De Europese regelgeving (CR 1752) is gebaseerd op het Fanger-model voor het voorspellen van de ontevredenheid en omschrijft drie categorieën van percentages gebouwgebruikers die tevreden zijn met de waargenomen binnenluchtkwaliteit: hoge kwaliteit (minimaal 85 %), medium kwaliteit (minimaal 80 %), en matige kwaliteit (minimaal 70 %).

De richtlijnen voor ventilatie in Noord Amerika, vastgesteld door de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers), Standaard 62-1999, raden een minimum ventilatievoud van 8 l/s per persoon aan voor klaslokalen. Onder een acceptabele binnenluchtkwaliteit verstaan zij lucht die vrij is van verontreinigingen in schadelijke concentraties en die door een meerderheid van de gebouwgebruikers acceptabel wordt bevonden (80 % of meer). Binnenluchtkwaliteit is hier een combinatie van luchtverontreinigingen en de reactie van de gebouwgebruikers die worden blootgesteld aan de binnenlucht.

De concentraties CO₂ wordt vaak gebruikt als maatstaf voor de hoeveelheid buitenlucht die dient te worden toegevoerd per gebouwgebruiker [17]. De binnenluchtkwaliteit in scholen wordt in eerste instantie beoordeeld aan de hand van CO₂-concentraties. ASHRAE Standaard 62-1999 raadt voor de binnenlucht een CO₂-concentratie aan van minder dan 700 ppm boven de buitenluchtconcentratie, wat

resulteert in ongeveer 1.200 ppm, om aan de comfortcriteria voor menselijke verontreinigingen te voldoen. De Nederlandse Standaard NEN 1089 schrijft een maximale CO₂-concentratie in klaslokalen voor van 1.200 ppm [5].

Literatuur over relaties [18] tussen binnenlucht en milieukwaliteit (IAQ) in klaslokalen en de gezondheid en academische prestatie van leerlingen is bestudeerd door [12;4]. Relatief weinig praktijkonderzoeken zijn uitgevoerd naar de prestatie van ventilatiesystemen in scholen. In figuur 2 zijn enkele resultaten weergegeven voor Europese scholen [4].

In Nederland zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de binnenluchtkwaliteit, en zijn verschillende CO₂-niveaus gemeten. In 1987 heeft de Landbouw Universiteit Wageningen onderzoek verricht naar binnenluchtkwaliteit op scholen. Hierbij zijn metingen van CO₂-concentraties verricht, en bij 8 van de 12 scholen lag het CO₂-niveau gedurende meer dan 50 % van de schooluren boven de marginale waarde van 1.200 ppm [16]. In 1992 heeft de GGD van West-Brabant de binnenluchtkwaliteit onderzocht in gebouwen van het voortgezet onderwijs. Metingen van CO₂-niveaus zijn verricht en niveaus tot 4.800 ppm werden waargenomen [11]. In 1993 zijn in Groningen verschillende basisscholen geïnspecteerd. In drie van de vier klaslokalen bereikten de CO₂-niveaus de marginale waarde van 1.200 ppm, er werden maxima van 2.400 ppm gemeten [23]. In 1997 zijn metingen van de binnenluchtkwaliteit verricht op vier basisscholen in de regio Oost-Brabant,

hierbij werden piekwaarden van 3.500 ppm gemeten [2]. De gemeente Groningen heeft metingen verricht in zestien klaslokalen en daarbij zwaartepunten van de niveaus tussen de 919 en 1.940 ppm gevonden [20].

EXPERIMENTEN

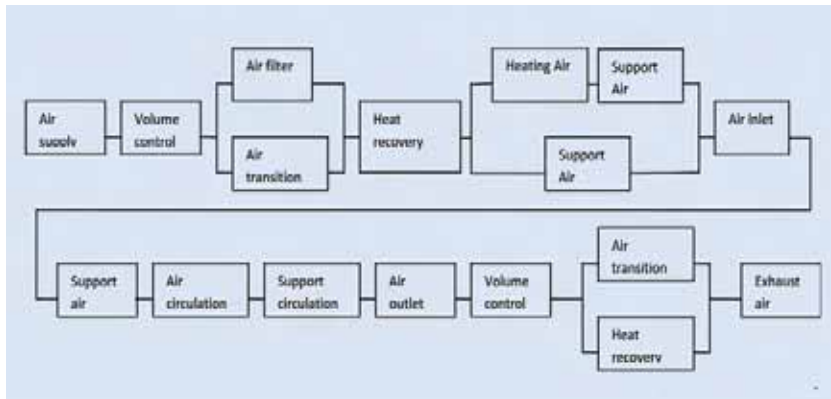
Het doel van een eerste onderzoek was om de prestatie te beoordelen van ventilatiesystemen waarbij de lucht alleen wordt afgevoerd. Op vijf Nederlandse scholen zijn metingen verricht in het stookseizoen voor een periode van ongeveer zeven dagen. Deze metingen omvatten: IAQ (CO₂), thermisch comfort, luchtstroming en buitenklimaatcondities. Een logboek en vragenlijsten hebben informatie verschaft over het gebruik van de ventilatievoorzieningen en over de tevredenheid van de gebouwgebruikers. Resultaten van de metingen lieten zien dat de binnenluchtkwaliteit in vier van de vijf beoordeelde klaslokalen niet aan de eisen voor een goede binnenluchtkwaliteit voldeed. De CO₂-concentraties waren te hoog, hetgeen duidt op een ontoereikende ventilatie. Een eerste conclusie is dat natuurlijke luchttoevoer in klaslokalen zonder enige preventie van tocht een onacceptabele oplossing is. Parallel aan dit onderzoek is een andere studie uitgevoerd binnen de groep onder leiding van prof.dr. Annelies van Bronswijk [5] waarbij de binnenluchtkwaliteit van elf scholen is onderzocht. Beide resultaten zijn door de REHVA Task force 4 "Indoor Climate and Energy of School Buildings" gebruikt in hun rapport [15].

In een daaropvolgend onderzoek zijn zes scholen met verschillende ventilatiesystemen bestudeerd om te zoeken naar concepten waarbij zich minder problemen voordoen. Belangrijkste conclusies van dit onderzoek waren eveneens: de binnenluchtkwaliteit in de beoordeelde scholen voldoet niet aan de eisen en meer ventilatie is essentieel voor een betere binnenluchtkwaliteit. De capaciteit van de ventilatiesystemen dient te worden vergroot. De luchttoevoer door natuurlijke ventilatie is echter beperkt tot openingen in de gevel. In goed geïsoleerde gebouwen is de benodigde warmtetoevoer niet voldoende om tocht door de toevoer van koude buitenlucht te voorkomen. Daarom is bij deze systemen een

Onderzoek	aantal scholen	CO ₂ ppm	
		gemiddelden	spreadig
Joosten, 2004	5	1.220	480 – 2.400
Van Dijken, 2004	11	1.580	450 – 4.700
Bruchem, 2005	6	1.355	550 – 3.000

Gemiddelde en bereik van CO₂-concentraties voor Nederlandse scholen [7; 5; 3].

- FIGUUR 3 -



Functionele opdeling van het voornaamste [3].

- FIGUUR 4 -

andere methode noodzakelijk, waarbij de toevoerlucht beter wordt verspreid.

METHODOLOGIE

De resultaten van de metingen hebben aangetoond dat, uitgaand van de huidige ventilatienormen, veel klaslokalen niet voldoende geventileerd worden. Een verbetering van het ontwerpproces is een doel van verder onderzoek [12]. Een eerste verdedigingslinie tegen slechte binnenluchtkwaliteit in klaslokalen is een toereikende ventilatie, dit zou dan ook het belangrijkste aandachtspunt moeten zijn in het ontwerp [4].

Het huidige ontwerpproces voor scholen begint normaliter met de selectie van een architect. Vervolgens gaat het proces verder met de programmering en het schematisch ontwerpen. Daarna komt de constructeur in het proces en tot slot maakt de installatietechnicus het ontwerpteam compleet. Maar veel beslissingen die het verloop, de contracten, de constructie, de aanbesteding en de bezetting beïnvloeden zijn al genomen in het vroege concep-

tuële ontwerpstadium. Duidelijke doelen waren geen onderdeel van de vaak algemene programmering en het programma van eisen. Hoe eerder doelen om de binnenluchtkwaliteit te verzekeren in het ontwerpproces worden gebracht, des te makkelijker en minder kostbaar ze zijn om te integreren in het ontwerp.

Integraal ontwerpen belooft grote voordelen. Het strekt zich uit over alle disciplines die betrokken zijn bij het ontwerp van een gebouw en overziet hun aanbevelingen als één geheel vanaf het vroege begin van een project. Samenwerking binnen het ontwerp-team en integratie van ontwerpbeslissingen dient te beginnen in de fase waarin het programma wordt opgesteld. Binnenluchtkwaliteit omvat factoren als het behoud van een acceptabele temperatuur en relatieve vochtigheid, beheersing van verontreinigingen in de lucht en verspreiding van voldoende ventilatielucht. Het vereist doelbewuste zorg en samenwerking van het gehele projectteam. Installatietechnici dienen ventilatiesystemen te ontwerpen die de emissies van de acti-

viteiten van gebouwgebruikers verwijderen en die zo verse lucht toevoeren wanneer daar vraag naar is, in de juiste hoeveelheden op de juiste plaatsen en van de juiste temperatuur.

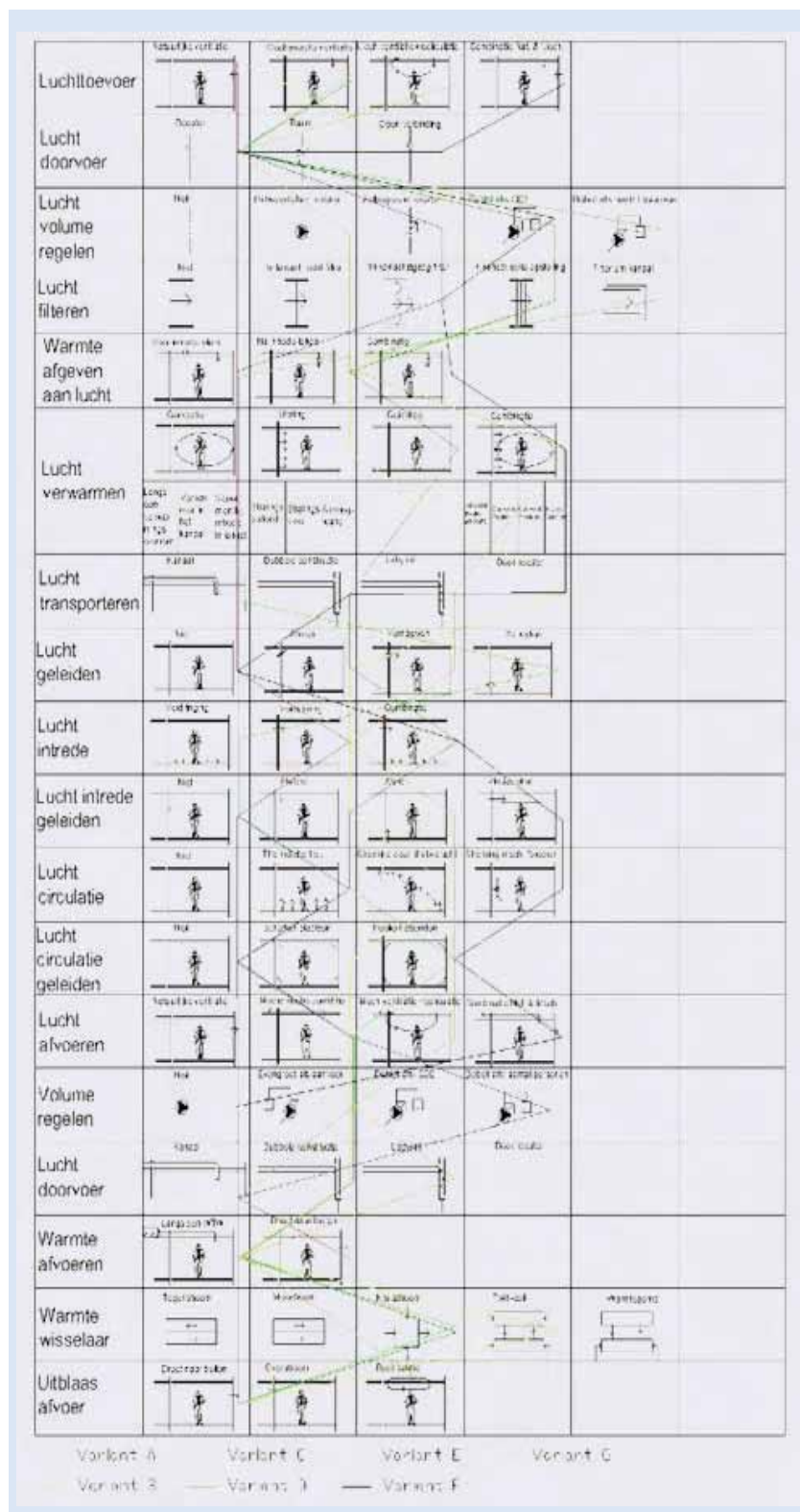
Tot nu toe is het ontwerpproces van een gebouw min of meer opeenvolgend; eerst wordt het gebouw ontworpen en daarna het verwarmings-, koel- en ventilatiesysteem.

Ontwerpen heeft normaliter een dynamisch karakter, met een neiging tot ad hoc handelingen, die zouden moeten worden ondersteund door goede ontwerpmethodieken. Voor het benodigde model van ontwerpondersteuning is een bestaand model uitgebreid: Methodical Design [9]. Het methodische ontwerpproces kan op conceptueel niveau worden omschreven als een keten van activiteiten die begint met een abstract probleem en eindigt in een oplossing.

Communicatie tussen de architect en de installatietechnicus is gebaseerd op abstractie; dat wil zeggen, op de uitwisseling van abstracte beschrijvingen van een ontwerp. Tijdens ontwerpondersteuning is het belangrijk om de essentie van de toegepaste constructies en mechanismen over te brengen zonder de andere partij te overladen met onnodige details.

Om oplossingen in kaart te brengen classificeren wetenschappers oplossingen die zijn gebaseerd op verschillende kenmerken. Deze classificatie verstrekt middelen om complexe ontwerptaken op te delen in problemen met een beheersbare omvang. Een belangrijke opdeling is gebaseerd op de functies van gebouwcomponenten. De functionele opdeling is hiërarchisch uitgevoerd, zodat het gebouw wordt verdeeld in sets van functionele subsystemen. De opdelingen worden uitgevoerd totdat eenvoudige functionele gebouwcomponenten zijn bereikt waarvan het ontwerp een relatief eenvoudige taak is, zie figuur 4.

De opgedeelde functies zijn in serie gezet. De linkerkolom wordt gevormd door de functies die werden vermeld en die zijn gecombineerd met een rij van oplossingen voor iedere functie, zie figuur 5. De matrix van functies en bijbehorende oplossingen wordt een Morfologische lijst genoemd en is ontwikkeld door Zwicky [22]. Iedere



Morfologische lijst, achttien subfuncties met verschillende oplossingen [3].

- FIGUUR 5 -

combinatie van mogelijke oplossingen voor de functies is gecombineerd tot een complete oplossing voor de ontwerptaak. Selectie van de meest acceptabele oplossing kan worden gedaan met hulp van een S-diagram van Kesselring [9; 8]. Alle oplossingen zijn beoordeeld op basis van de criteria van het programma van eisen. De ont-

werpcriteria zijn verdeeld in criteria betreffende het functioneren en het realiseren. De relatieve score is weergegeven in het S-diagram, zie Figuur 6. Door gebruik te maken van morfologische lijsten wordt de communicatie tussen de leden van het ontwerpteam makkelijker en is er een duidelijk overzicht van alle besproken mogelijkhe-

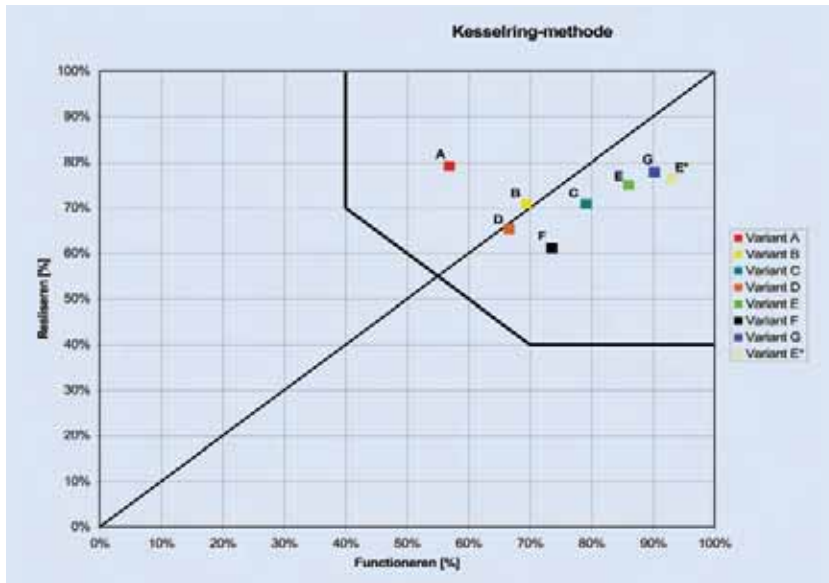
den. De Kesselring methode [8] heeft het besluitvormingsproces duidelijk en begrijpelijk gemaakt voor het ontwerpteam en ook voor alle mensen buiten het team. De voorgestelde methode is gebruikt om een ventilatiesysteem te ontwerpen voor een standaard klaslokaal. De oplossing die daaruit volgde is een gebalanceerd verdringingsventilatiesysteem met warmterugwinning, zoals getoond in figuur 7.

In plaats van normale metalen ventilatie-inlaten worden er ventilatie-inlaten van textiel voorgesteld; deze kunnen eenvoudig worden verwijderd en gewassen in een wasmachine.

Normaal gesproken is het stromingspatroon van verwarmde lucht problematisch als er verdringingsventilatie wordt gebruikt. Bij klaslokalen is dit alleen het geval tijdens de opstartfase van het systeem, omdat de leerlingen zelf meer dan genoeg warmte produceren vanaf het moment dat zij in het klaslokaal zijn. Gedurende de opstartfase is de luchtverspreiding zoals weergegeven in figuur 9. Voornamelijk de wanden en ramen worden opgewarmd en er is geen goede verspreiding van de lucht. Omdat er nog geen leerlingen in de ruimte zijn is dit echter geen probleem. Wanneer de ruimte wordt gebruikt is er te veel warmte en dient de lucht met een iets lagere temperatuur door het verdringingsventilatiesysteem in de ruimte te worden gebracht. Het verwachte stromingspatroon is weergegeven in figuur 9. Door de textielen ventilatie-inlaten nagenoeg overal rondom de vloer van het klaslokaal aan te brengen zal een goede verdeling van de lucht, met een lage luchtsnelheid, worden bewerkstelligd. In vervolgonderzoek zal deze oplossing worden gesimuleerd en zullen laboratoriumproeven worden verricht om het ontwerp te testen.

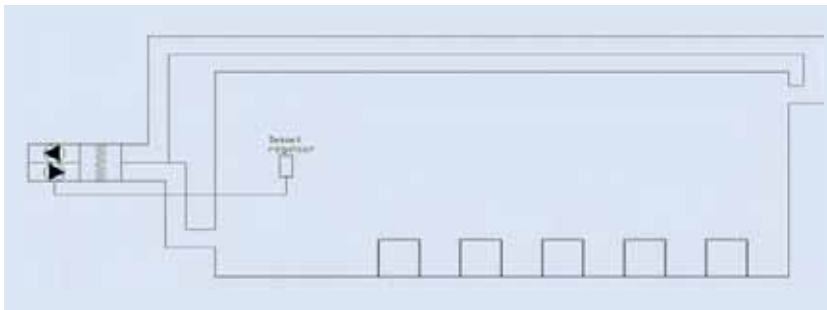
Veel lopend onderzoek richt zich op het introduceren van het gebruikte systematische ontwerpproces in het gebouwontwerp en de architectuur, om zo het architectonische ontwerp aan het klimaatontwerp te koppelen. In Nederland heeft dit geresulteerd in een sterke interesse in wat gewoonlijk 'integraal ontwerpen' wordt genoemd.

Integraal ontwerpen is bedoeld om de moeilijkheden van de samenwerking



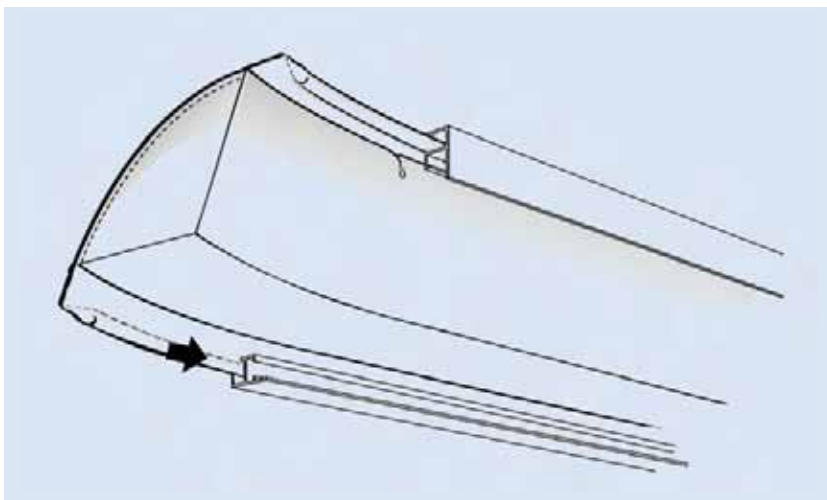
S-diagram Kesselring methode [3].

- FIGUUR 6 -



Schematische weergave van de verdringingsventilatie in het klaslokaal [3].


- FIGUUR 7 -



Ventilatie-inlaat vervaardigd van textiel [6].

- FIGUUR 8 -

binnen het ontwerpsteam te overwinnen, door te voorzien in methoden die het mogelijk maken om de gevolgen van ontwerpbeslissingen op gebieden zoals constructie, kosten, levenscyclus

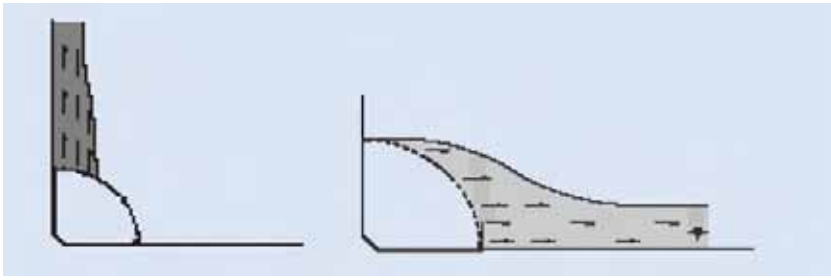
en binnenklimaat in vroegere ontwerpstadia inzichtelijk te maken voor de verschillende disciplines. 

DANKBETUIGING

De stichting PIT (Promotie Installatie technologie) heeft door haar financiële ondersteuning dit onderzoek mede mogelijk gemaakt.

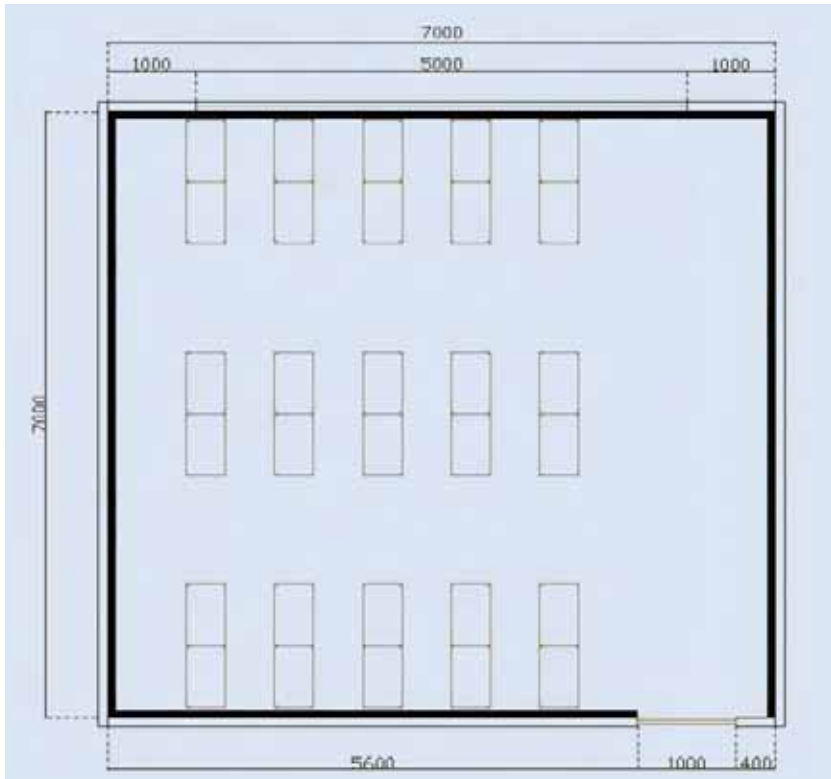
REFERENTIES

- ASHRAE (1999), *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Standard 62-1999*, Atlanta, GA, American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Boske, J.A. ten (1997), *Luchtqualiteit in scholen en aandacht van leerlingen*. Technische Universiteit Eindhoven.
- Bruchem M. van (2005), *Masterthesis; Verbeterd installatietechnisch ontwerp voor basisscholen om luchtqualiteit en comfort te waarborgen*, Technische Universiteit Eindhoven
- Daisey, J.M., Angell, W.J., Apte, M.G (2003), *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information*, Indoor Air, 13, 53-64
- Dijken, F. van (2004), *Masterthesis: "Indoor Environment in Dutch Primary Schools and Health of the Pupils"*, Technische Universiteit Eindhoven
- Euro-Air, (2005) *brochure with general product information*, http://www.euro-air.dk/pdf/EuroAir_main_UK.pdf
- Joosten, L.A.H. (2004), *Masterthesis: 2004 "Field study on the performance of exhaust-only ventilation in schools with regard to indoor air quality"*, Technische Universiteit Eindhoven
- Kesselring F. (1954), *Technische Kompositionslehre*
- Kroonenberg H.H. van den (1978), *Methodisch Ontwerpen (WB78/OC-5883)*, University of Twente.
- Landrigan, P.J.(1997), *Children's Health and the Environment – The first Herbert L. Needleman Award Lecture*, Maternal and Child Health Journal, Vol.1, No.1, 1997.
- Leentvaart, M., Jans, H. (1993), *De kwaliteit van het binnenmilieu na het geven van gedragsadviezen in een aantal lokalen van het Zoomvlietcollege te Roosendaal*. GGD Streekgewest Westelijk Noord-Brabant.
- Mendell, M.J., Heath, G.A. (2005), *Do indoor pollutants and*



Stromingspatroon gedurende de opstartfase en tijdens normaal gebruik.

- FIGUUR 9



Positionering van de inlaten van de verdringingsventilatie.

- FIGUUR 10 -

thermal conditions in schools influence students performance? A critical review of the literature, Indoor Air, 15, 27-52

13. NEN 1089 (1986), *Ventilatie in schoolgebouwen – Eisen*. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft

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

15. Rehva guidebook: (2002) “*Displacement Ventilation In Non-Industrial Premises*”, H. Skistad ea ISBN: 82-594-2369-3

16. Sandt, P. v.d., Potting, J., Hoegen Dijkhof, E. (1987), *Zieke scholen? Report of – Landbouwuniversiteit Wageningen*

17. Seppänen, O.A., Fisk, W.J. and Mendell, M.J. (1999), *Associations of ventilation rates and CO₂-concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings*, Indoor Air, 9, 226-252

18. Shendell, D.G., Prill, R., Fisk, W.J., Apte, M.G., Blake, D., Faulkner, D. (2004), *Associations between classroom CO₂-concentrations and student attendance in Washington and Idaho*, Indoor Air, 14, 333-341

19. Smedje, G.N., Norback, D., and Edling, C. (1997), *Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure*, Indoor Air, 7, 143-150

20. Wassing, M. (2003) *Met de GGD-richtlijn voor ventilatie op pad. A*

report of a study to validate the GGD- guideline ‘*Ventilatie van scholen en de kwaliteit van het binnenmilieu*’.

21. Zeiler W. (1997), *HVAC Process Design improvement by Methodical Process Design*, in Proceedings Clima 2000, a Mundial Forum on HVAC 4 last years progress and challenge for the next century, August 30 to September 2, Brussels

22. Zwicky F. (1969), *Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach*, Toronto, The Macmillan Company

23. Meijer, 1993