

Een werkelijk goede oplossing?

Hybride ventilatie in scholen

Bij geen ander systeem voor de ventilatie luistert de coördinatie en integratie van de diverse bouw- en installatie-onderdelen van het gebouw- en het installatiesysteemconcept zo nauw als bij hybride ventilatie voor scholen. Vanwege de relatief hoge persoonsbezetting en het daaruit volgend hoge ventilatiedebiet is schoolventilatie kritisch wat betreft het voorkomen van tocht en klachten over kou.

Prof.ir. (Wim) Zeiler, TU/e Faculteit Bouwkunde, Installatietechnologie

Het ventileren van gebouwen is belangrijk om een wenselijk binnenluchtkwaliteit en comfort in ruimten in stand te houden. Ventilatie kan op verschillende manieren: natuurlijk, mechanisch of een combinatie hiervan. Er kan verder gekeken worden naar het hoofddoel van het ventileren, luchtverversing of koeling, alsmede de seizoenen, dag-/nachtsituatie en regelstrategie. Natuurlijke ventilatie is vanuit historisch perspectief gezien het meest toegepaste systeem [1]. Voortkomend uit de wens om de sterke punten van zowel natuurlijke als mechanische ventilatie te combineren, zijn hybride ventilatieconcepten bedacht die een symbiose van natuur en techniek beogen te bereiken [2]; techniek wordt alleen ingezet als het nodig is [3]. In het kader van het onderzoeksprogramma IEA (International Energy Agency) Annex 35 Hybvent werkten 15 landen van 1998 tot 2002 aan het onderwerp hybride ventilatie [4]. Vanuit Nederland werken TNO Bouw en Cauberg-Huygen R.I. aan verschillende onderzoekstaken [5]. Dit project hanteerde de volgende definitie voor hybride ventilatie; *Hybride ventilatiesystemen kunnen worden beschreven als ventilatiesystemen die een prestatie realiseren ten aanzien van binnenluchtkwaliteit en comfort door gebruik te maken van zowel natuurlijke als mechanische ventilatie. De aansturing van het systeem gebeurt met behulp van een geavanceerd controlemechanisme. Doel van het systeem is het noodzakelijke ventilatiedebiet en ventilatiepatroon te verzorgen, bij het laagst mogelijke energiegebruik [5].*

■ HYBRIDE VENTILATIE

Hybride ventilatiesystemen kunnen worden omschreven als systemen die een comfortabel binnenmilieu verzorgen door zowel natuurlijke als mechanische ventilatie te gebruiken, maar hierbij verschillende eigenschappen van de systemen op verschillende tijden van de dag, het seizoen of het jaar te gebruiken. De regelstrategie varieert met het seizoen en binnen individuele dagen. Deze strategie geeft de relatie weer met het buitenmilieu waarbij maximaal gebruik gemaakt wordt van de externe conditie van een willekeurig punt in de tijd gezien [6].

In [7] wordt een complete classificatie van hybride ventilatiesystemen gegeven. Een gebruikelijke onderverdeling in hoofdconcepten is de volgende driedeling [7]:

- alternatief gebruik van natuurlijke en mechanische ventilatie;
- ventilatie ondersteunde natuurlijke ventilatie: natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging;
- door thermische trek en/of wind ondersteunde mechanische ventilatie.

In de praktijk blijkt dat de concepten natuurlijke ventilatie en mechanische ventilatie steeds dichter naar elkaar toegroeien in het concept van hybride ventilatie. Met name lage druk mechanische ventilatie en vraag gestuurde natuurlijke ventilatie met ondersteunende mechanische afzuiging liggen soms in hun hybride conceptvorm dicht tegen elkaar

[7]. Voorbeelden hiervan zijn zelfregulerende natuurlijke toevoer, vraag gestuurd en koppeling met geregelde mechanische afzuiging of geregelde hybride afzuiging of vraag gestuurde gebalanceerde ventilatie.

Vaak wordt indicatief aangegeven dat met hybride of natuurlijk geventileerde systemen energie bespaard wordt. Door Steiger et al. [2008] is op basis van een gedetailleerde studie een simulatie gemaakt om de verschillen te bepalen tussen hybride ventilatie bij een goed geïsoleerde school en natuurlijke ventilatie en mechanische ventilatie met warmteterugwinning. De energievraag voor verwarming en ventilatie van de verschillende systemen is gesimuleerd voor drie verschillende locaties München, Kopenhagen en Londen, met klimaatcondities conform EN 15251. Uit de resultaten blijkt de energieprestatie van mechanische ventilatiesystemen en natuurlijke ventilatiesystemen ongeveer gelijk zijn in termen van primaire energie, terwijl hybride ventilatiesystemen een energiebesparing van 44 tot 52% beloven (zie figuur 3). Dit is echter in de praktijk moeilijk hard te maken aangezien het vaak situaties betreft met verschillende comfortniveaus en binnenluchtkwaliteiten. Wat betreft energiegebruik voor de opwarming van ventilatielucht verdient gebalanceerde ventilatie met hr-warmteterugwinning en dc-ventilatoren de voorkeur [9]. Enige terughoudendheid is geboden bij het te optimistisch benaderen van het energiegebruik als motivering voor de

keuze voor hybride ventilatie. Belangrijk is de reden van ventilatie. Zo geeft ventilatie voor beheersing van de binnenmilieukwaliteit een geheel andere benodigde luchthoeveelheid dan ventilatie voor de verbetering van het thermisch zomercomfort. Hierbij is het goed te bedenken dat er meer problemen zijn met hybride systemen dan met mechanische ventilatiesystemen wat betreft comfort en binnenmilieu. Een groot onderzoek op dit gebied heeft in Finland plaatsgevonden, waarbij 1.164 scholen zijn onderzocht [Kurnitski et al. 1996]. Figuur 2 geeft een overzicht van de resultaten waaruit duidelijk blijkt dat er meer problemen zijn met natuurlijke en hybride ventilatie dan met mechanische ventilatie.

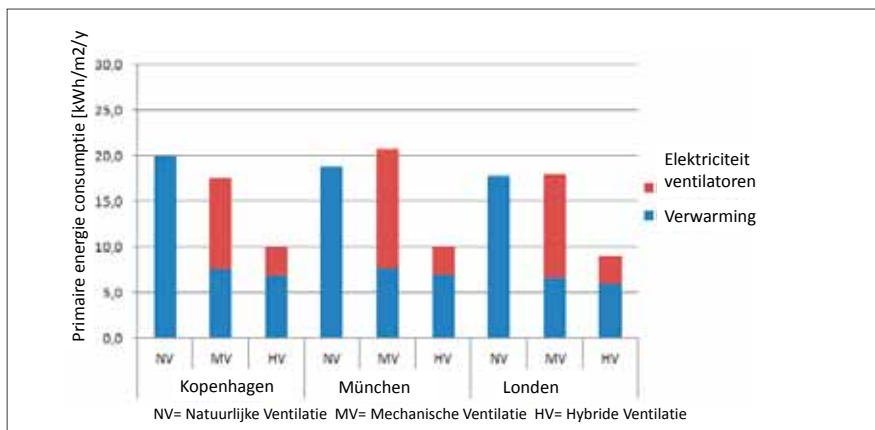
INTEGRAAL BENADEREN

De samenwerking van architect en installatieadviseur is essentieel. Helaas ziet men de installatie-onderdelen te vaak als zelfstandige elementen en is er minder begrip voor het nut en de noodzaak van integratie en coördinatie, ook richting uitvoering en oplevering. Het gebouwontwerp en het installatie/ventilatieconcept dienen vroegtijdig te worden afgestemd. Dit dient aan de hand van systeemdefinities met bijbehorende beschrijvingen voor alle disciplines begrijpelijk te worden gemaakt voor zowel de uitvoerders als de gebruikers. Te kritische detaillering of te complexe werking en bediening zijn fataal voor de goede werking van een hybride ventilatiesysteem. Alleen door een integrale ontwerpbenadering worden foutieve of minder optimale situaties voorkomen.

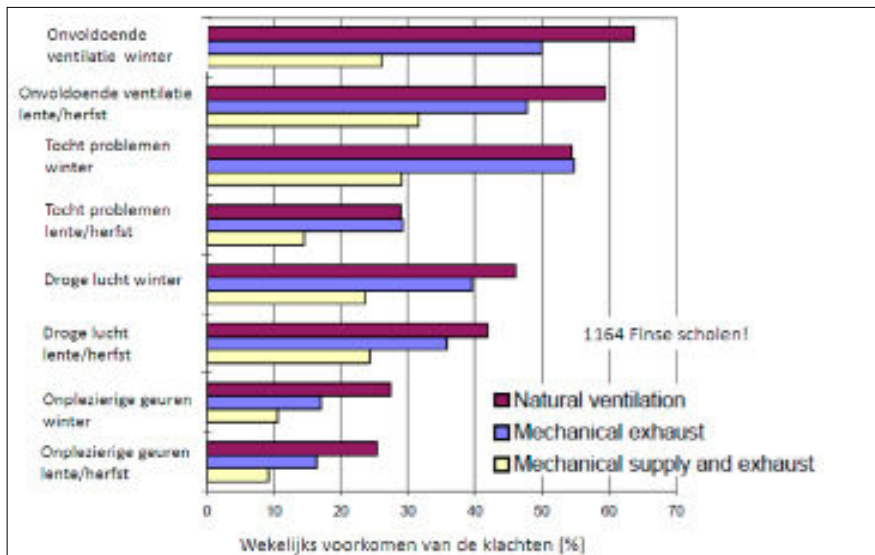
In studies van de TU/e [11-16] is een vergelijk tussen Nederlandse scholen gemaakt, in eerste instantie met de specifiek focus op hybride ventilatie en later specifiek op recente duurzame scholen. De resultaten daarvan worden in tabel 1 en figuur 3 weergegeven. Hierbij zijn steeds de resultaten van de werkelijk gemeten gemiddelde waarden tijdens bedrijfstijd weergegeven als de omgerekende waarde naar de bezetting volgens de norm, 32 leerlingen en een docent. Aangezien de werkelijk bezetting in de gemeten klaslokalen ongeveer een derde lager is, resulteert dit in lagere CO₂-concentraties dan het geval zou zijn bij volledige bezetting. Door deze omrekening worden de onderlinge resultaten ook beter vergelijkbaar, anders zou immers een school met een lagere bezetting zo een lagere gemeten CO₂-concentratie krijgen.

DE PRAKTIJK

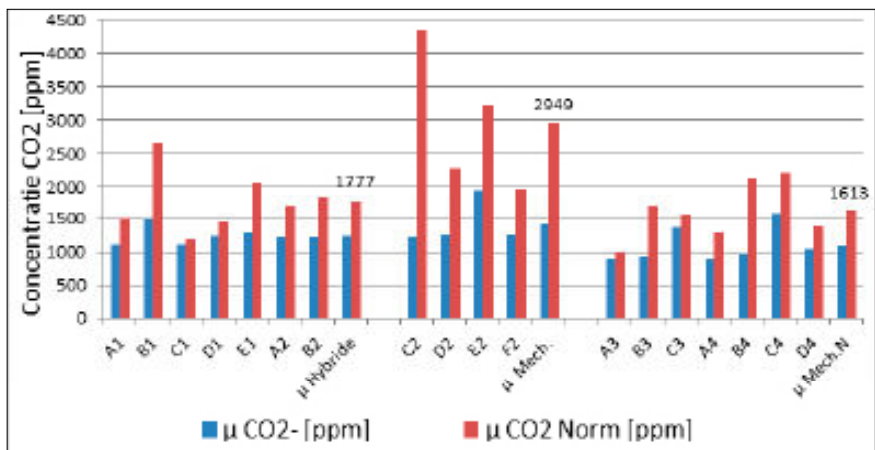
Hoewel dus uit het onderzoek van de TU/e is gebleken dat er met name bij de nieuwste duurzame scholen met mechanische ventilatie ten opzichte van hybride ventilatie nauwelijks



-Figuur 1- Primaire energie consumptie [Steiger et al. 2013]



-Figuur 2- Vergelijking van klachtenniveaus bij natuurlijke ventilatie, hybride ventilatie en mechanische ventilatie [Kurnitski et al. 1996]



-Figuur 3- Resultaten CO₂-concentraties, bepalingen eerste serie scholen A1-E1 [11], tweede serie scholen A2-F2 [13] en het gemiddelde van deze hybride en mechanische geventileerde scholen vergeleken met de recente duurzame scholen A3-D4 gemeten door de Waard [15] en Teeuwen [16]. Bij 'CO₂-norm' is de gemeten CO₂ omgerekend naar 32 leerlingen.

sprake is van verbetering, geldt nog steeds dat streefwaarden van beneden de 1.000 ppm gemiddeld genomen niet gerealiseerd worden. Bij bezetting volgens de norm 32 leerlingen plus docent is er sprake van dat de nieuwste gebalanceerde mechanische ventilatiesystemen het iets beter doen. Maar naast de recente nieuwbouw hebben we te maken met de bestaande scholen. Uit onderzoek van de

GGD Groningen is gebleken dat in 97% van de lokalen voor VO (voortgezet onderwijs) en 86% van de lokalen voor primair onderwijs, de CO₂-waarden gemiddeld 27% van de lestijd hoger oplopen dan 1.400 ppm [17]. Lokalen met mechanische ventilatie bleken gemiddeld lagere CO₂-concentraties te hebben dan lokalen met alleen natuurlijke ventilatie [18, 19]. Belangrijk is nu te kijken of het mogelijk is

om concepten ook met name voor renovatie van bestaande scholen toe te passen. Op basis van de opgedane ervaringen heeft de GGD Groningen een buitenlucht-luchtoevoerconcept met een geperforeerde borstwering bedacht voor toepassing in scholen. TNO heeft het idee uitgewerkt tot een ontwerp en getest in een proefopstelling [20,21]. De conclusie daarvan was dat er via de omkasting van radiatoren en de bovenramen veel lucht tochtvrij zou kunnen worden toegevoerd. Hierna is een praktijkproef uitgevoerd in een lokaal van groep 5 van een openbare basisschool, die bij het eerdere onderzoek van de GGD een zeer slechte binnenmilieuscore had behaald [17]. Na vele aanpassingen is uiteindelijk besloten de omkastingen rond de radiatoren weg te halen en werd de proef als mislukt beschouwd [17]. Met name door de hoge geluidsproductie van de ventilatoren en hun hoge energiegebruik, doordat ze vrijwel altijd op hoge toeren functioneerden [17]. Het geeft aan dat het in de praktijk toch moeilijk is een goed werkende, probleemloze oplossing voor hybride ventilatie te realiseren, alle proefopstellingen, simulatie en berekeningen ten spijt.

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Duurzaam bouwen, energie-efficiëntie en gezond wonen en werken zijn de centrale thema's waarmee gebouwen, en dus ook scholen, zich dienen te onderscheiden [22]. Deze benodigde voortdurende aandacht voor energie-efficiëntie, duurzaamheid, milieu verantwoord materiaalgebruik en een gezond alsmede comfortabel binnenmilieu vragen een integraal concept waarin de keuze tijdens het ontwerp van het gebouw in nauwe relatie met de installaties dienen te worden afgestemd op het werkelijke gedrag van de gebruikers [22]. Hybride ventilatie kan een integrale oplossing vormen voor ventilatie, gezondheid en energie [23]. Er zijn en worden steeds nieuwe vormen voor hybride ventilatie bedacht. Het zal beslist niet zo zijn dat een ventilatieprincipe een dominante marktpositie zal krijgen, één en ander is te sterk afhankelijk van gebouw- en gebruikerskarakteristieken. De ervaring met vele (proef)projecten leert dat bij hybride ventilatie de afstemming tussen omgeving, gebouw, klaslokaal en benodigde installaties nog veel meer van belang zijn dan anders. Vraagsturing en hybride ventilatie (zonder hinderlijke tochtverschijnselen) zijn technieken die verder ontwikkeld dienen te worden. Belangrijke randvoorwaarde is de ontwikkeling op conceptniveau en niet alleen op componentniveau. De integrale benadering van gebouw, installaties en gebruikers is essentieel. Soms wordt een natuurlijke toevoeropening in de gevel gebracht met een

School	Verwarming en ventilatie	Aantal leerlingen
A1	RV, Hybride	22
B1	CV, Hybride	17
C1	RV, Hybride	30
D1	RV, Hybride	27
E1	RV, Hybride	19
A2	CV, Hybride	28
B2	CV, Hybride	20
C2	PH, BMVHR	23
D2	VW, BMV	26
E2	AA, BMV	25
F2	AA, BMVHR	20
A3	TABS, BMVHR	26
B3	TABS, BMVHR	11
C3	TABS, BMVHR	27
A4	AA, BMVHR	23
B4	VW, BMVHR	15
C4	TABS, BMVHR	28
D4	VW, BMVHR	25

Legenda:

RV =	Radiatorverwarming
PH =	Radiatorverwarming
BMVHR =	Gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning,
AA =	All Air
Hybride =	Natuurlijke toevoer, mechanische afzuiging
BMV =	Gebalanceerde mechanische ventilatie
CV =	Convectiverwarming
VW =	vloerverwarming
TABS =	Thermisch Actieve Bouwsystemen

-Tabel 1- Kenmerken eerste serie scholen A1-E1 Joosten [11] en tweede serie scholen A2-F2 van Bruchem [13] en die van de Waard[15] en Teeuwen[16]

labyrint boven een radiator of convector. Aan de radiator of convector worden vervolgens magische krachten toegekend om tijdens de winterdag binnenvallende koude luchtstroming altijd via een convectieve luchtstroming te compenseren. Dit denken komt overeen met de magische pijlen die sommige architecten op hun tekeningen zetten en die de gewenste luchtstromingen aangeven. De oorspronkelijke betekenis van hybride, alsmede de oorsprong van het Griekse woord hubris, geeft een interessant link naar overmoed:

hybride zn. 'bastaard'[24];
- *Internationaal wetenschappelijk neologisme uit de biologie, uit Neolatijn hybrida 'bastaardplant of -dier', bij klassiek Latijn hybrida 'bastaardhond' (bij Plinius). Hiervan wordt aangenomen dat het is ontleend aan een niet geattesteerd Grieks woord *hubris (genitief *hubridos), waarschijnlijk verwant met Latijn iber 'muilezel', dat is samengevallen met húbris 'overmoed'.*

Helaas is de werkelijkheid weerbarstig en zal alleen door goede afstemming van de diverse aspecten uit de diverse vakdisciplines een goed resultaat kunnen worden bereikt. Integraal ontwerpen is dan ook een noodzaak bij hybride ventilatie om tot een goed ontwerp te komen. Alleen dan kan hybride ventilatie een goed oplossing zijn voor scholen.

LITERATUUR

1. Zeiler W., Natuurlijke ventilatie, TVVL Magazine, 2/2001
2. Bronsema B., Natuurlijke ventilatie van kantoorgebouwen een goed idee?, TVVL Magazine, 9/1996.
3. Paassen A.H.C. van, Natuurlijke ventilatie beheersbaar maken met moderne regeltechniek een goed idee?, TVVL Magazine, 12/1996
4. Heiselberg P., Outline of Hybvent, Presented at the First International One day Forum on Natural and hybrid Ventilation, HypVent

Forum '99, 09/1999, Sydney, Australia

5. Vonk E.C., Aa A. van der, Hybride ventilatie, de praktijk van de theorie, TVVL Magazine, 7-8/2000
6. Heiselberg P., The Hybrid Ventilation Process Theoretical and Experimental Work, Air Infiltration Review 22(1): 1-4
7. Wouters P. et al., Classification of Hybrid Ventilation Concepts, First International One day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum '99, 09/1999, Sydney, Australia
8. Steiger S., Roth J.K., Østergaard L., 2013, Hybrid Ventilation –The Best Ventilation Concept For future School Buildings?, Cibse Technical Symposium, Liverpool John Moores University, Liverpool, UK, 11-12 April 2013
9. Veld P. op 't, Gids Wide, Techniek inventarisatie ventilatie. Ontwikkelingen, trends en concepten, Verwarming & Ventilatie, januari 2000. http://www.aicv.org/air/21_1/21conf_report1.html
10. Kurnitski J., Palonen J., Enberg S., Ruotsalainen R., 1996, Indoor climate in schools - questionnaire for the principals and measurements (in Finnish), Helsinki University of Technology, HVAC-laboratory, Espoo, Helsinki
11. Joosten L.A.H., 2004. Field study on the performance of exhaust-only ventilation in schools with regard to indoor air quality. TU/e Master thesis Eindhoven
12. Joosten L.A.H., Boxem G., Pernot C., Cloquet R., 2005, Gezond en tochtvrij ventileren op school, TVVL Magazine 10/2005
13. Bruchem, van M. 2005. Verbeterd installatietechnisch ontwerp voor basisscholen om luchtkwaliteit en comfort te waarborgen. TU/e Master thesis Eindhoven
14. Bruchem M. van, Smits E.H.J., Boxem G., 2005, Luchtkwaliteit en comfort op basisscholen, TVVL magazine 10/2005
15. Waard M.J. de, 2012, Field study on indoor air

- quality IAQ in sustainable schools, masterproject report TU/e
16. Teuwen S.J.C., 2014, Field study on the indoor air quality of sustainable schools, masterproject report TU/e
 17. Meijer G., Duijm F., 2013, Praktijkproef tochtvrije natuurlijke luchttoevoer, GGD Groningen, April 2013
 18. Meijer G., Duijm F. Binnenmilieu van de openbare scholen in Groningen Groningen, GGD Groningen, 2009
 19. Meijer G., Duijm F. CO₂-gehalten in scholen in relatie tot ventilatiecapaciteit, ventilatiebehoefte en ventilatienorm. TSG 2009;176:181 en TSG2009;260 (rectificatie)
 20. Jacobs P, Knoll B. Ontwerp en beproeving van verbeterde geveltoevoer voor scholen. Delft, TNO, rapport 034-DTM-2009-03928B, 2009
 21. Jacobs P, Kornaat W, Steeg ter RTM. Haalbaarheidsstudie benutting warmte uit de afgevoerde lucht. Delft, TNO, rapport 060-DTM-2011-04131, 2011
 22. Veld P. op 't, Slijpen H.G., Energie-efficiënt bouwen, Een kwalitatief hoogwaardig ventilatiesysteem is vereist, TVVL Magazine 4/1997
 23. Cauberg H., Aa A. van der, Gids W. de, Hybrid Ventilation – An Integral Solution for Ventilation, Health and Energy, Proceedings Second International One-day Forum, Department of building Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geo science, TU-Delft, 14 may 2001, <http://www.hybvent.civil.aau.dk/puplications/report/Principles%20of%20H%20V.pdf>
 24. Philippa M., e.a. (2003-2009) Etymologisch Woordenboek van het Nederland, <http://>