

## Auteurs

ing. C.J.J. (Kai) Corten, Master student Building Physics and Services, Technische Universiteit Eindhoven;  
 Ir. W.H. (Wim) Maassen PDEng, Senior Consultant, Royal HaskoningDHV en TU/e Fellow, Technische Universiteit Eindhoven;  
 Prof.ir. W. (Wim) Zeiler, Hoogleraar Installaties, Technische Universiteit Eindhoven

# Hoe presteren frisse en energiezuinige scholen in de praktijk?

*Dit artikel licht het gevoerde onderzoek naar het verschil tussen de ontworpen en gemeten prestatie van twee scholen toe. Aanleiding van dit onderzoek was dat prestaties van gebouwen met betrekking tot energie en thermisch binnenklimaat in werkelijkheid vaak afwijken ten opzichte van het ontwerp. In dit indicatieve onderzoek is vastgesteld dat dit ook voor deze scholen geldt en tevens zijn hier oorzaken van bepaald. Om het binnenklimaat en de energieprestaties van frisse energiezuinige scholen in de praktijk te verbeteren wordt geadviseerd om commissioning strikter toe te passen, gedrag en bewustwording van de gebruikers te stimuleren en iemand de taak te geven om de prestaties te monitoren. Door deze maatregelen zullen de prestaties van frisse energiezuinige scholen beter aansluiten bij de prestaties die op grond van hun ontwerp verwacht worden.*

## Inleiding

Met ruim 9200 scholen, volgepakt met leerlingen, spelen scholen een rol van betekenis voor de toekomst van Nederland. Zij zouden bij uitstek een voorbeeldfunctie moeten hebben op het gebied van een gezonde en duurzame toekomst. Helaas is niets minder waar, meer dan driekwart van alle scholen heeft een veel te hoog energiegebruik en/of een matig tot slecht binnenklimaat. Een ongezond binnenklimaat kan zowel de gezondheid als de schoolprestaties negatief beïnvloeden. Kinderen besteden veel tijd op school en is dus belangrijk dat scholen hun gebruikers naast een energiezuinig ook een comfortabel en gezond binnenklimaat bieden [1]. Dat het ook anders kan heeft de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in diverse initiatieven laten zien. Zo zijn er in 2014 en in 2016 door de RVO overzichten opgesteld van

de meest energiezuinige scholen van Nederland [2]. In deze rapporten zijn de vijftien meest energie-efficiënte basisscholen en middelbare scholen uit Nederland opgenomen. Ten opzichte van 2014 zijn de berekende energieprestaties aanzienlijk verbeterd: zo is de school die als 15e is geëindigd maar liefst 68% zuiniger dan het bouwbesluit voorschrijft. Het doel vanuit het ministerie van BZK is het stimuleren van energiebesparing in en rond gebouwen. Het is echter zo dat deze overzichten zijn gebaseerd op de uitgangspunten van het ontwerp en niet op de werkelijke waarden. In de praktijk kan echter blijken dat de energieprestatie van scholen slechter is dan de verwachte prestatie op basis van het ontwerp. Het is zaak om dit nader te onderzoeken.

In opdracht van RVO heeft een adviesbureau enkele scholen gedurende enkele seizoenen gemonitord. De resultaten daarvan zijn vervolgens vergeleken met de oorspronkelijke uitgangspunten van het ontwerp en de verschillen daartussen zijn onderzocht. De monitoringrapporten zijn een belangrijke openbare informatiebron voor de evaluatie van de geleverde kwaliteit van de verschillende aspecten met betrekking tot binnenklimaat en energiegebruik van scholen. Hierdoor zijn verschillen tussen ontwerp en werkelijkheid naar voren gekomen. Om het verschil tussen de ontworpen en gemeten prestatie duidelijk te krijgen zijn twee scholen van de RVO lijst 2016 [2] nader onderzocht op basis van onder meer de criteria van het Programma van Eisen (PVE) Frisse Scholen en de werkelijke prestaties op het gebied van energiegebruik, luchtkwaliteit en thermisch comfort.

## Methode

**Energie**

Het verschil tussen het ontworpen en gemeten primaire energieverbruik van de twee scholen is gedetailleerd onderzocht door de EPC-berekening te vergelijken

	Compact Zon-orientatie Lucht-dicht (l/s/m <sup>2</sup> )	Rc (W/m <sup>2</sup> )	Glas	Zonwering	Verwarming	Afgifte	Ventilatie (centraal, gebalanceerd)	Zonne boiler (m <sup>2</sup> )	PV	Overig	Frisse Scholen	Verlichting
School A	ja ja 0,23	5	HR++	Automat.	Stadsverwarming	vloer/lucht	CO <sub>2</sub> -sturing	-	126 kWp 662 m <sup>2</sup>	Opwekking = 26%	Klasse A	Aanwezigheid, (kwaliteitsverklaring)
School B	nee ja 0,09	7,5	3-laags	Vaste lamellen	WP + WKO	WP + WKO	vloer/lucht	10	117 kWp 780 m <sup>2</sup>	Opwekking = 53%	Klasse B	daglicht + aanwezigheid

Tabel 1: Kenmerken van school A en school B

met energierekeningen en met de meetgegevens uit het gebouwbeheersysteem (GBS). Om dit goed met elkaar te kunnen vergelijken is het verwachte primaire energieverbruik van apparatuur toegevoegd aan het ontworpen energiegebruik. Verder zijn de metingen gecorrigeerd door middel van warmte- en koeltesdagen en omgerekend naar het primaire energieverbruik.

### Binnenklimaat

De verschillen tussen het ontwerp en het werkelijke thermisch binnenklimaat zijn onderzocht door de eisen van Frisse Scholen te vergelijken met diverse metingen. Er zijn drie klassen Frisse Scholen: klasse A, B en C, waarbij klasse A het hoogst haalbare niveau is. Een Frisse School wordt gekwalificeerd als een school met een laag energieverbruik en een gezond binnenklimaat met betrekking tot luchtkwaliteit, temperatuur en comfort, licht en geluid. Energie en een gezond binnenklimaat kunnen soms tegenstrijdig zijn omdat een gezond binnenklimaat voor een hoger energieverbruik kan zorgen [3]. Om erachter te komen aan welke klasse de scholen voldoen zijn de CO<sub>2</sub>-concentratie, operatieve temperatuur en luchtsnelheid gemeten, gedurende zeven dagen in een representatief klaslokaal. Tijdens deze dagen heeft de docent een logboek ingevuld met de activiteiten in het klaslokaal en bijgehouden wanneer er een deur of raam open stond. Hierdoor kunnen afwijkingen in de meetgegevens verklaard worden. In aanvulling op de metingen hebben gebruikers van de scholen een enquête ingevuld. Door deze enquête wordt het duidelijk hoe

de gebruikers het gebouw ervaren met betrekking tot het thermisch binnenklimaat en binnenmilieu. Dit is belangrijk, aangezien zo de door de gebruikers ervaren tekortkomingen van de school aan het licht komen. Tijdens de metingen in school A was de buitentemperatuur lager dan 10,0°C. Dit betekent dat de metingen bij school A zijn gebaseerd op de wintersituatie van Frisse Scholen. Bij school B was de buitentemperatuur op een aantal dagen hoger dan 10,0°C. Op deze momenten zijn de metingen gebaseerd op de zomersituatie van Frisse Scholen [3].

### Case studies

In de bovenstaande tabel zijn de belangrijkste kenmerken van de twee onderzochte scholen weergegeven.

#### School A

Schoolgebouw A is gerealiseerd in 2014 en heeft een vloeroppervlakte van circa 6.000 m<sup>2</sup>. Volgens het ontwerp is de school bijna energieneutraal met een Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) van 0,091 en voldoet het aan klasse A van het PvE Frisse Scholen. De stadsverwarming en stadskoude wordt gebruikt met een warmtepomp voor extra verwarming en koeling van de school. Het gebouw is voorzien van ongeveer 880 m<sup>2</sup> PV-panelen. De school wordt geventileerd door middel van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning en CO<sub>2</sub>-sturing per lokaal. [1, 4].

#### School B

School B betreft een energieneutraal scholencomplex

School A	Ontwerp primaire energie gebruik [MJ/m <sup>2</sup> ]			
Installatie	Ontwerp	Gemeten	Vershil	RVO
Verwarming + Warm water	64,4	135,0	110%	179,3
Koeling	9,2	10,1	11%	37,7
Totaal elektriciteitsgebruik	322,7	514,4	59%	538,7
Totaal energiegebruik	406,3	659,5		755,7

Tabel 2: Vergelijk ontwerpwaarden en gecorrigeerde metingen school A

School B	Ontwerp primaire energie gebruik [MJ/m <sup>2</sup> ]			
Installatie	Ontwerp	Gemeten	Vershil	RVO
Verwarming	58,5	51,8	-11%	55,8
Warm water	46,1	48,6	5%	71,3
Koeling	29,1	11,3	-61%	12,4
Ventilatie	81,7	38,6	-53%	40,3
Verlichting & apparatuur	113,8	232,2	104%	130,2
Totaal energiegebruik	329,2	382,5		310,0

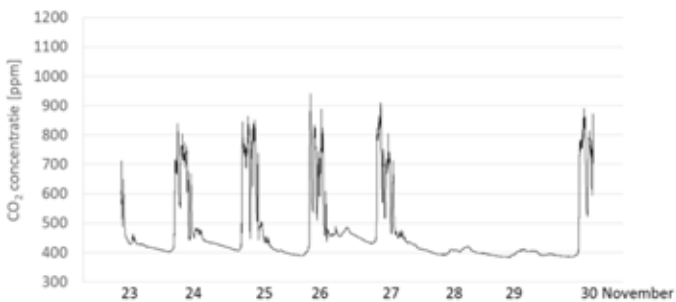
Tabel 3: Vergelijk ontwerpwaarden en gecorrigeerde metingen school B

van circa 2.700 m<sup>2</sup> dat voldoet aan klasse B van het PvE Frisse Scholen en met een EPC van 0 (energieneutraal). Toegepast zijn hoogwaardige isolatie (R<sub>c</sub>>7), drievoudig glas (HR +++), gebalanceerde en hybride ventilatie met WTW, warmtepomp met aquifer en PV-panelen. Het gebouw is begin 2014 opgeleverd en sindsdien worden de prestaties van de installaties intensief gemonitord. [1, 5].

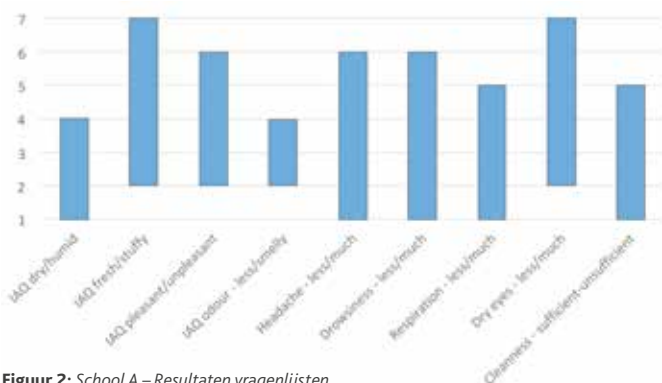
## Resultaten

### Energie

De verschillen tussen het ontwerp en de metingen zijn in Tabel 2 en 3 weergegeven. Het totaal gemeten energiegebruik van school A is meer dan anderhalf keer zoveel als het ontworpen energiegebruik. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het warmtegebruik (verwarming en warm tapwater) en door het elektriciteitsgebruik (ventilatoren, verlichting en apparatuur). Bij school B wordt het verschil met name veroorzaakt door het elektriciteitsgebruik van verlichting en apparatuur.

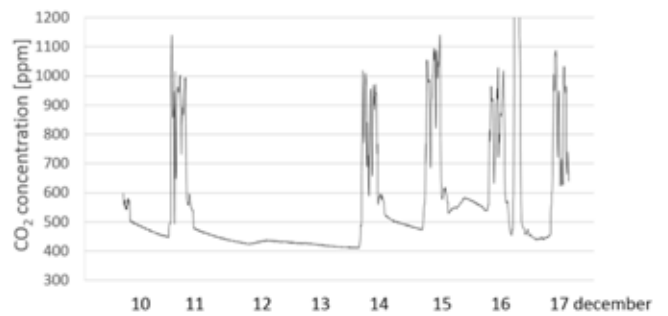


Figuur 1: School A – Gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties gedurende een week

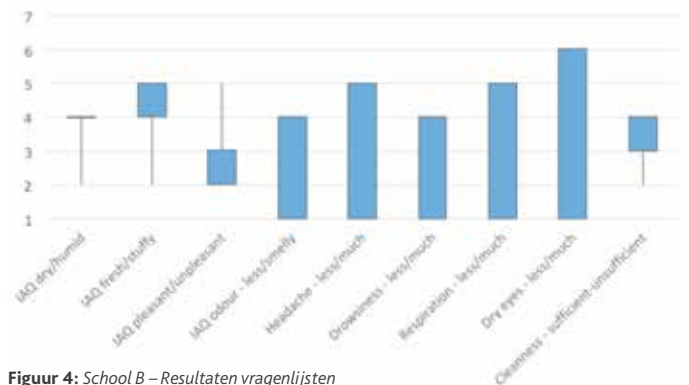


Figuur 2: School A – Resultaten vragenlijsten

De gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie in de twee scholen is weergegeven in Figuur 1 en 3. In Tabel 4 is de hoogst gemeten CO<sub>2</sub>-concentratie tijdens 95% van de gebruikstijd weergegeven. Hieruit blijkt dat beide scholen niet voldoen aan de ontworpen klasse. Dit heeft tot gevolg dat de gebruikers



Figuur 3: School B – Gemeten CO<sub>2</sub>-concentraties gedurende een week



Figuur 4: School B – Resultaten vragenlijsten

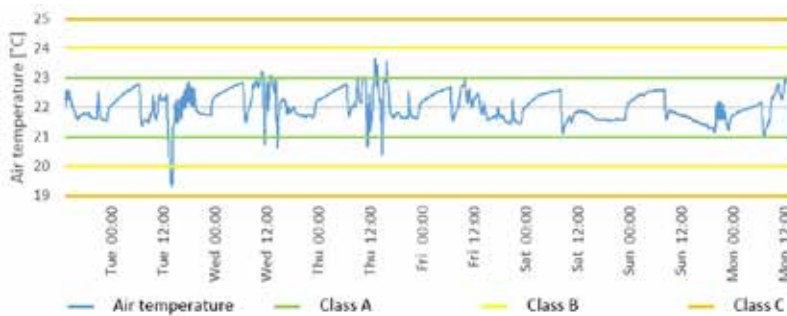
	Eis Frisse Scholen	School A		School B	
	Klasse B	Hoogst gemeten bij 95%	Werkelijke klasse	Hoogst gemeten bij 95%	Werkelijke klasse
CO <sub>2</sub> -concentratie	≤ 950 ppm	1003 ppm	C	1074 ppm	C

Tabel 4: Gemeten klasse van Frisse Scholen met betrekking tot het binnenmilieu [3]

klachten kunnen ervaren, wat wordt bevestigd door de resultaten van de vragenlijsten, weergegeven in Figuur 2 en 4.

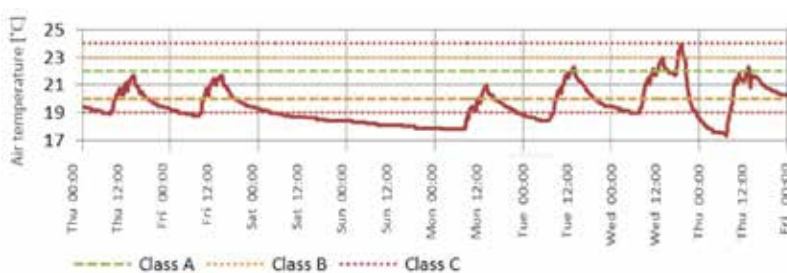
### Temperaturen

Figuur 5 laat de gemeten luchttemperatuur in een klaslokaal zien gedurende de week van dinsdag 24 november tot en met maandag 30 november. De gemiddelde luchttemperatuur tijdens de lessen is 22,3°C, met een minimum van 19,3°C op dinsdag 24 november en een maximum van 23,6°C op donderdag 26 november. De luchttemperatuur is 's nachts en in de weekends meer dan 21°C. Dit betekent dat de school ook 's nachts en in het weekend wordt verwarmd tot de normale bedrijfssituatie, met als resultaat dat er meer energie gebruikt wordt dan nodig. De gemeten thermisch comfort klasse voldoet aan klasse B. De enkele uitschieters naar beneden ontstaan door het opneven van de ramen tijdens de lunchpauze.



Figuur 5: School A – Resultaten temperatuur metingen, met de randcondities voor de klasse A, B en C

Figuur 6 geeft de resultaten van de luchttemperatuur metingen in school B gedurende een week van donderdag 10 december tot en met donderdag 18 december. De maximum lucht temperatuur tijdens de lessen is 22,3°C bij buitentemperaturen van minder dan 10°C en 23,0°C bij buitentemperaturen boven de 10°C. De minimum temperatuur tijdens de lessen is 18,0°C. Duidelijk is dat het thermisch comfort klasse C is.



Figuur 6: School B – Resultaten temperatuur metingen voor de klasse A, B en C

### Discussie

Bij school A kan het verschil alsnog worden verkleind door de installaties van het gebouw juist in te stellen en de gebruikers bewuster te maken van de invloed van hun regelgedrag op de prestaties van het gebouw. Uit de metingen is namelijk gebleken dat de temperatuur in het gebouw 's nachts en in het weekend te hoog is en er verwarmd wordt als op een normale schooldag. Tevens wordt de school onnodig geventileerd in het weekend, zie figuur 5. Het is belangrijk dat controlemetingen bij de inbedrijfstelling als uitgangspunt dienen voor het goed monitoren van de prestaties en deze terug te koppelen, want anders ontstaat energieverspilling zoals gemeten. Verder is uit de enquête gebleken dat de gebruikers soms ramen geopend

hebben terwijl de ruimte werd verwarmd. Tijdens deze momenten wordt er dus ook onnodig energie verbruikt. Uit de analyse van school B is gebleken dat ook niet alle doelstellingen vanuit het ontwerp zijn behaald. Het gebouw en de meeste installatieonderdelen functioneren naar verwachting. Het aandeel van de HR107-ketel ten behoeve van warm tapwater is significant hoger dan verwacht door problemen met de zonneboilerinstallatie en grote leidingverliezen.

### Conclusie

Uit het onderzoek blijkt dat de gemeten prestaties van beide scholen niet voldoen aan de prestaties volgens het ontwerp. Bij school A waren de instellingen, het gebruik en de regelingen niet zoals aangenomen in het ontwerp. Tevens had niemand de specifieke taak om het energiegebruik en het binnenklimaat in de gaten te houden. Bij school B werd de thermische comfort klasse niet gehaald en bleek de zonneboilerinstallatie niet volgens het ontwerp te werken.

### Advies

Gebaseerd op de studie wordt het volgende geadviseerd bij de realisatie en het gebruik van frisse energiezuinige scholen:

- pas adequate commissioning strikt toe zodat onvolkomenheden snel aan het licht komen en vroeg in de ontwerp, realisatie en gebruiksfase opgelost kunnen worden.
- monitor het energieverbruik en het thermisch binnenklimaat tijdens de gebruiksfase en optimaliseer de instellingen zodat deze passen bij het werkelijke gebruik.
- geef iemand expliciet de functie van energie- en kwaliteitscoördinator, die energiezuinig gedrag stimuleert en bewustwording activeert bij gebruikers en stel gebruikers in staat om gebouw en installatie optimaal in te stellen op het momentane behoefte.

### Referenties

1. Kephelopoulou, S., Csobod, É., Bruin, Y. B., & Fernandes, E. d., 2014, Guidelines for healthy environments within European schools.
2. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016, Top 15 energiezuinige scholen - onderzoeksrapport 2016, Publicatienummer: RVO-080-1601/BR-DUZA.
3. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2014, Programma van Eisen - Frisse Scholen 2015, Publicatienummer: RVO-039-1401/BR-DUZA.
4. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016, Publicatienummer: RVO-190-1501/RP-DUZA.
5. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2016, Publicatienummer: RVO-189-1501/RP-DUZA.
6. Dronkelaar, C. v., Dowson, M., Spataru, C., & Mumovic, D., 2016, A review of the regulatory energy performance gap and its underlying causes in non-domestic buildings.
7. <https://www.duurzaamgebouwd.nl/duurzame-scholen/20180319-frisse-scholen-hoe-presteren-ze-in-de-praktijk?>