

# Klimaatplafonds in scholen

Het Frisse Scholenproject van Agentschap NL stimuleert scholen om minder energie te gebruiken en het binnenmilieu te verbeteren. De aandacht richt zich voor een groot gedeelte op ventilatie terwijl temperatuurbeheersing en thermisch comfort in algemeenheid meer aanleiding vormen voor klachten. Door middel van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties is het te verwachten binnenklimaat onderzocht voor een klaslokaal voorzien van een Frisse Scholen 2.0 klimaatplafond.

A.W. (Wim) van Genderen, adviseur/directeur Beekink Installatieadviseurs;  
R. (Richard) van de Nes, ONE Simulations

Het meest gebruikte Programma van Eisen (PvE) voor de bouw van scholen is momenteel Frisse scholen april 2012 van Agentschap NL. Het kent drie comfortklassen: A, B en C. A is de hoogste klasse en C is ongeveer gelijk aan het bouwbesluit. Veel scholen zijn nu bezig om comfortklasse B te realiseren. In het deel 'thermisch comfort' staan de eisen voor de operationele temperaturen in de winter en zomer. Bij toepassing van actieve koeling is de eis dat de operationele temperatuur in de zomer tussen de 23 en 26°C mag zijn. Zonder de aanwezigheid van actieve koeling mag de temperatuur binnen met een glijdende schaal oplopen. Dus als het buiten bijvoorbeeld 30°C is, zou het binnen aanzienlijk warmer kunnen worden. Passief bouwen zou dit probleem voor een gedeelte kunnen beperken maar met een actief koelsysteem is een aangenaam binnenklimaat beter te garanderen.

## ■ SNEL REAGEREND SYSTEEM

Het is energetisch zeer interessant om warmtepompen voor de levering van de verwarmingsenergie toe te passen. Door deze toepassing is er ook apparatuur aanwezig om koelenergie te leveren. Vaak wordt er gekozen

voor vloerverwarming/koeling. Echter, door de traagheid hiervan ontstaan er toch te hoge temperaturen door de snel wisselende interne belasting in de lokalen. Er is meer behoefte aan een snel reagerend systeem. Luchtverwarming/koeling is dan een alternatief maar kan vaak niet aan alle eisen tegemoet komen. De factor 'stralingscompensatie' ontbreekt waardoor, met name in de winter, toch klachten ontstaan. Een klimaatplafond heeft dit voordeel wel maar is nog niet vaak toegepast omdat werd aangenomen dat het prijsniveau te hoog zou zijn voor toepassing binnen scholen. Inmiddels is het tegendeel bewezen en zijn er diverse scholen ontworpen, aanbesteed en opgeleverd waarin een klimaatplafond zorgt voor de gewenste binnenluchtkwaliteit en thermisch comfort.

## ■ KLIMAATPLAFOND

Beekink Installatieadviseurs uit Nieuwerkerk aan den IJssel heeft een klimaatconcept ontwikkeld dat verder gaat dan de reguliere klimaatsystemen voor frisse scholen. De naam 'Frisse Scholen 2.0' past daar dus goed bij. Het klimaatplafond in dit concept is aan allerlei opwekkingsystemen te koppelen, zoals een

warmtepomp of een warmte/koudeopslagsysteem.

Het klimaatplafond bestaat uit metalen geperforeerde plafondpanelen, die voorzien zijn van kunststof verwarmingslangen waar warm of koud water doorheen stroomt. Deze verwarmingslangen worden, met uitzondering van de inblaasstroken, volledig afgedekt



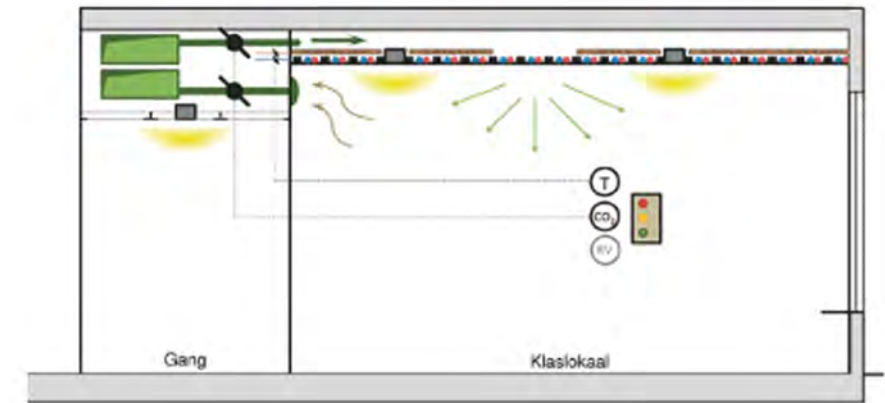
met een isolatiedeken. De warmte of koude in de slangen levert straling op, die hierdoor niet verdwijnt. Deze isolatiedeken staat, door de open structuur van de panelen, in contact met de ruimte, wat resulteert in een akoestische reductie die gelijk is aan een normaliter gebruikt verlaagd plafondplaat. De panelen zijn eenvoudig te reinigen en antistatisch. De frisse lucht uit de centrale luchtbehandeling komt in de ruimte via het plenum boven het plafond en dankzij de gaatjes in de plafondpanelen. Voor dit systeem zijn geen hoge af- en aanvoerkanalen nodig die achter een verlaagd plafond moeten worden weggewerkt en ook toevoerroosters zijn niet benodigd. Hierdoor kan de plafondhoogte van het lokaal gemakkelijker op de vaak gewenste maat van 3,2 m. worden gemonteerd. Het systeem wordt verder voorzien van een CO<sub>2</sub>-regeling en een change-over koppeling aan de warmte- en koude-opwekking. Hiermee is gelijktijdig koelen en verwarmen niet mogelijk. Dit is bij de meeste type scholen vaak ook niet nodig. Uitbreiding is altijd mogelijk.

Het onder andere ontbreken van de kanalen en roosters boven de klimaatplafonds zorgt voor bouwkosten die per m<sup>2</sup> BVO maar zo'n 5 euro hoger liggen dan die van een vloerverwarmingssysteem. Daar staan wel vele voordelen tegenover. Bij een klaslokaal met een oppervlak van 50 tot 60 m<sup>2</sup> is de eis voor het luchtdebiet tussen 800 en 1.340 m<sup>3</sup> per uur. Van belang is dat de lucht tochtvrij wordt ingeblazen en voor een goede doorspoeling zorg. Aan de hand van deze eis is bekeken hoeveel isolatie er weggelaten moet worden, om de lucht op een goede manier in de ruimte te krijgen.

## ■ ONDERZOEK

ONE Simulations bv heeft op verzoek van Beekink het te verwachten binnenklimaat onderzocht voor een klaslokaal dat is voorzien van een Easy-Klima® klimaatplafond door middel van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties. In het PvE Frisse Scholen staan mogelijke prestatie-eisen voor het binnenmilieu en de energiezuinigheid. De CFD-simulaties hebben voor de thema's Ventilatiecapaciteit, Operatieve temperatuur, Lokaal thermisch discomfort en Verticale temperatuurgradiënt, inzichtelijk gemaakt in welke klasse het klimaat valt. De eisen per thema staan samengevat in tabel 2.

Een CFD-simulatie berekent de te verwachten luchtstromingen, operatieve temperaturen en luchtkwaliteit, rekening houdend met de interne warmtebelasting, externe warmtebelasting, componenten van het klimaatbeheerssysteem, vervuilingbronnen en de indeling van de ruimte. Bij een dergelijke



-Figuur 1- Principe doorsnede

Klimaatconcept	klimaatplafond	vloerverwarming
Duurzaamheid (laagtemperatuur)	+	-
Comfort	++	-
Reactiesnelheid systeem	++	-
Akoestiek	+	o
Meerkosten installaties per m <sup>2</sup> BVO	+ €20,--	0
Meerkosten bouwkundig per m <sup>2</sup> BVO	- €15,--	0

-Tabel 1- Overzicht verschillen

Thema	Klasse C – Acceptabel	Klasse B – Goed	Klasse A – Zeer goed
Ventilatiecapaciteit	CO <sub>2</sub> -concentratie < 1.200 ppm, bij 30 leerlingen en 1 docent	CO <sub>2</sub> -concentratie < 950 ppm, bij 30 leerlingen en 1 docent	CO <sub>2</sub> -concentratie < 800 ppm, bij 30 leerlingen en 1 docent
Operatieve temperatuur	Winter: 19°C < Operatieve temp. < 25°C Zomer (zichtbare actieve koeling): 22°C < Operatieve temp. < 27°C	Winter: 20°C < Operatieve temp. < 24°C Zomer (zichtbare actieve koeling): 23°C < Operatieve temp. < 26°C	Winter: 21°C < Operatieve temp. < 23°C Zomer (zichtbare actieve koeling): 23,5°C < Operatieve temp. < 25,5°C
Lokaal thermisch discomfort	- Luchtsnelheid zomer < 0,23 m/s - Luchtsnelheid winter < 0,19 m/s - DR < 30% (DR conform NEN-EN-ISO 7730)	- Luchtsnelheid zomer < 0,20 m/s - Luchtsnelheid winter < 0,16 m/s - DR < 20% (DR conform NEN-EN-ISO 7730)	- Luchtsnelheid zomer < 0,16 m/s - Luchtsnelheid winter < 0,13 m/s - DR < 10% (DR conform NEN-EN-ISO 7730)
Verticale temperatuurgradiënt	De verticale temperatuurgradiënt is < 4 K/m	De verticale temperatuurgradiënt is < 3 K/m	De verticale temperatuurgradiënt is < 2 K/m

-Tabel 2- Eisen per te beoordelen thema en voor iedere klasse uit het Programma van Eisen Frisse Scholen; de eisen gelden voor de leefzone

simulatie wordt een geometrie voorzien van een rekengrid waarbinnen onder andere de massa-, energie- en impulsbalansen worden opgelost. Verder is er gebruik gemaakt van een stralingsmodel voor een nauwkeurige voorspelling van de operatieve temperatuur, die onder andere afhankelijk is van de ontvangen stralingswarmte. Er is tevens een scalaire variabele toegevoegd om de CO<sub>2</sub>-concentratie te kunnen berekenen.

De studie is uitgevoerd voor een zomer- en wintersituatie. Vorig jaar begon de zomerperi-

ode al met hoge temperaturen in april, juist in de maand waarin veel tentamens en examens startten. In dit artikel is die periode daarom het uitgangspunt.

## ■ UITGANGSPUNTEN

Het resulterende binnenklimaat is berekend voor een fictief, zo gemiddeld mogelijk, klaslokaal. In het lokaal bevinden zich 30 schoolbanken en een bureau voor de docent. De interne warmtebelasting bestaat uit apparatuur, verlichting en personen. Er wordt

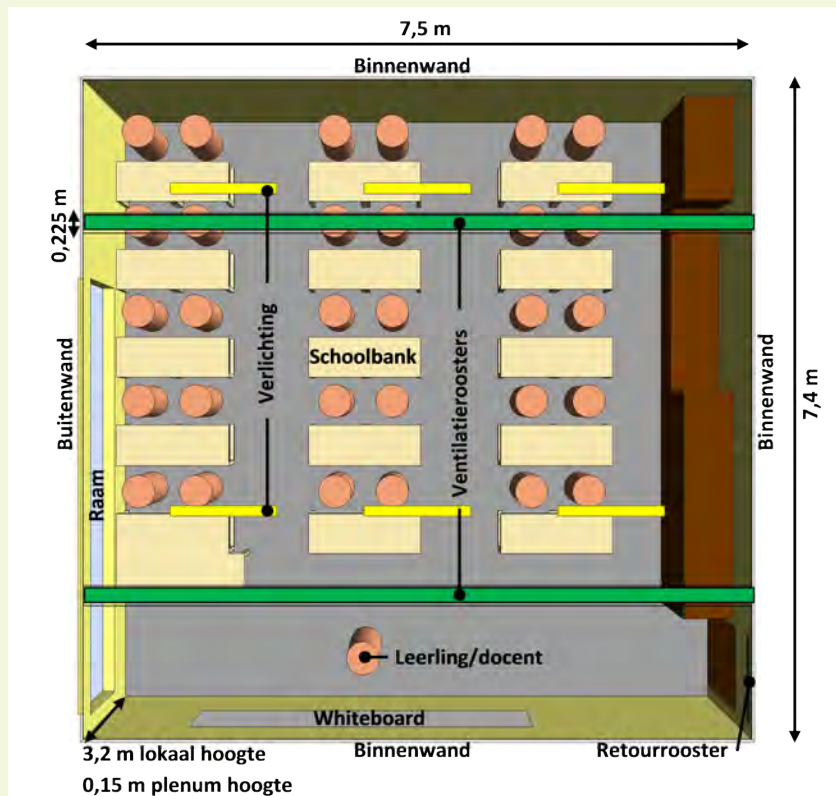
rekening gehouden met een buitentemperatuur van 32°C. Er is verder uitgegaan van een maximale bezetting waarbij alle leerlingen en de docent aanwezig zijn. Elke leerling heeft een ingeschakelde laptop op zijn bureau en de docent gebruikt een digitaal whiteboard met pc. Alle verlichting is tevens ingeschakeld. De leerlingen en de docent produceren per persoon 0,01 m<sup>3</sup>/h aan CO<sub>2</sub>. Er wordt 1000 m<sup>3</sup>/h buitenlucht, toegevoerd vanuit het plenum via twee stroken in de geperforeerde platen die niet zijn afgedekt door isolatiemateriaal. De achtergrondconcentratie CO<sub>2</sub> van de toevoerlucht is 350 ppm. In figuur 2 en de tabellen 3 tot en met 4 zijn het CFD-model en alle randvoorwaarden weergegeven. Voor de beoordeling van het klimaatbeheerssysteem en de classificatie is uitgegaan van de gemiddelde waarde in de leefzone.

### BEREKENING

De CFD-simulatie heeft het te verwachten binnenklimaat in het klaslokaal berekend. Tabel 7 toont de gemiddelde waarde per thema waarop beoordeeld wordt en de klasse waarin het klimaat valt. De waarden in deze tabel zijn de gemiddelden in de leefzone. De resultaten van de simulatie zijn visueel weergegeven in figuur 3a t/m f. Luchtstromingen zijn echter altijd dynamisch en de figuren dus momentopnamen. Lokaal zijn er afwijkingen van dit gemiddelde waarneembaar, die zich tevens kunnen verplaatsen door de ruimte. Op [www.frissescholen20.nl](http://www.frissescholen20.nl) staan animaties die horen bij het uitgevoerde CFD-onderzoek die dit dynamische karakter inzichtelijk maken.

### UITKOMSTEN

De luchttemperatuur is zo goed als overal lager dan 27°C. Alleen nabij warmtebronnen, zoals personen, apparatuur of verlichting, is de temperatuur lokaal hoger. De operationele temperatuur is door de lagere temperatuur van het klimaatplafond gemiddeld bijna een graad lager dan de luchttemperatuur. Er zijn een paar plaatsen waarneembaar waar de luchtsnelheid en dus ook de Draught Rate hoger dan gemiddeld is. Deze plekken zijn niet constant aanwezig maar nivelleren in de tijd. De CO<sub>2</sub>-concentratie is vrij uniform verdeeld over de ruimte. Het klimaatbeheerssysteem zorgt voor een uniforme verdeling van de toevoerlucht. Op basis van de CO<sub>2</sub>-bron veroorzaakt door de aanwezige personen en het ventilatiedebiet met een achtergrond CO<sub>2</sub>-concentratie van 350 ppm is in een ideale situatie de CO<sub>2</sub>-concentratie 660 ppm. De simulatie laat zien dat de CO<sub>2</sub>-concentratie in de leefzone gemiddeld 678 ppm is. Dit betekent dat de doorspoeling van de ruimte goed is, aangezien deze waarde dicht bij de ideale situatie ligt.



-Figuur 2- Overzicht van het 3D CFD-model

Bron	Aantal	Warmte afgifte per stuk	Totale warmte afgifte
		[W]	[W]
Personen	31	85	2.635
Apparatuur laptops	30	35	1.050
PC docent	1	100	100
Digitaal whiteboard	1	100	100
Verlichting	6	54	324
Totaal			4.209

-Tabel 3- Interne warmtebelasting zomersituatie

Constructiedeel	U-waarde	Tref,zomer
	[W/m <sup>2</sup> K]	[°C]
Vloer	2.0	27
Plafond (boven plenum)	0.315	32
Buitenwanden	0.315	32
Binnenwanden	2.0	27
Beglazing	1.2	32

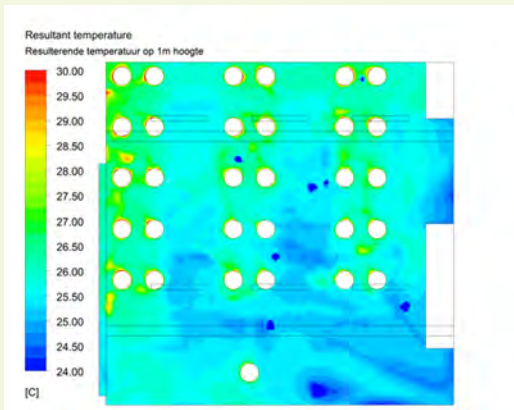
-Tabel 4- Externe warmtebelasting

Simulatie	Plaattemperatuur plafond	Luchtdebiet	Inblaasttemperatuur
	[°C]	[m <sup>3</sup> /h]	[°C]
Zomersituatie	18	1.000	20

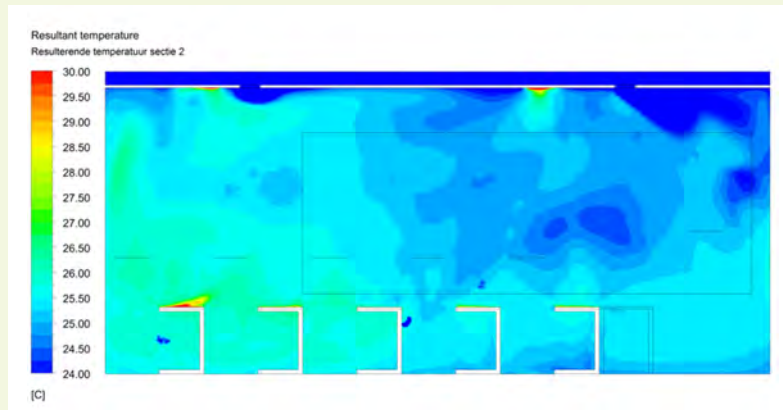
-Tabel 5- Samenvatting van het klimaatbeheerssysteem

Bron	Aantal	CO <sub>2</sub> -productie p.p.	Totale CO <sub>2</sub> -productie
		[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]
Personen	31	0,01	0,31
Achtergrond concentratie (350 ppm)	1	0,35	0,35

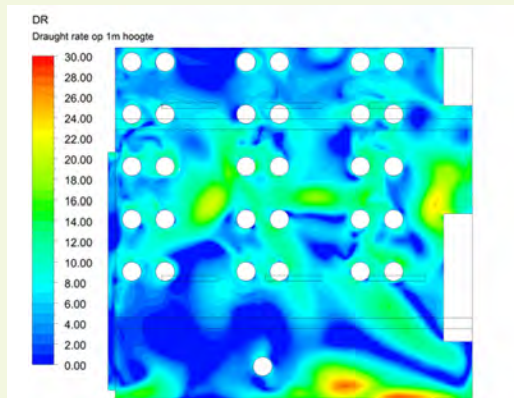
-Tabel 6- CO<sub>2</sub>-productie



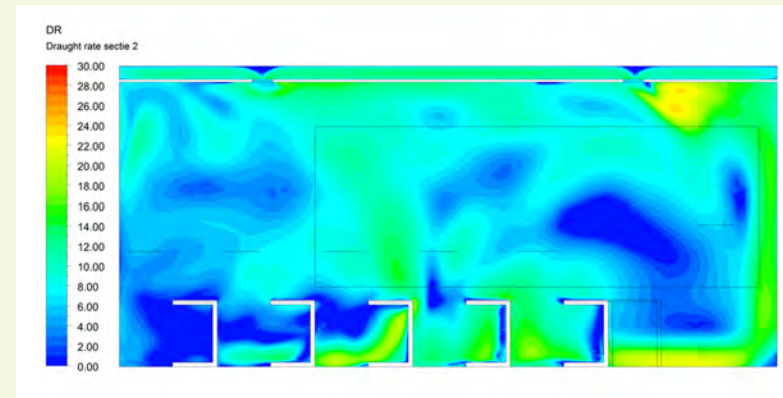
-Figuur 3a- Operatieve temperatuur op 1,0 m boven de vloer



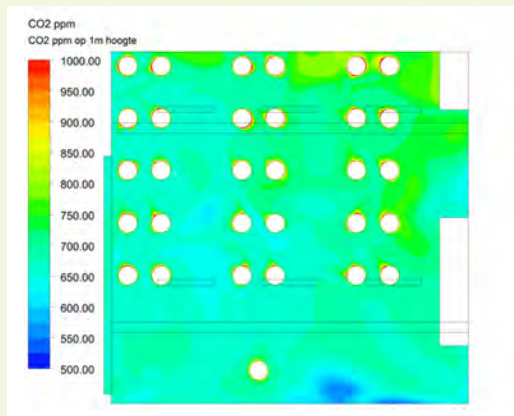
-Figuur 3b- Operatieve temperatuur in doorsnede 2



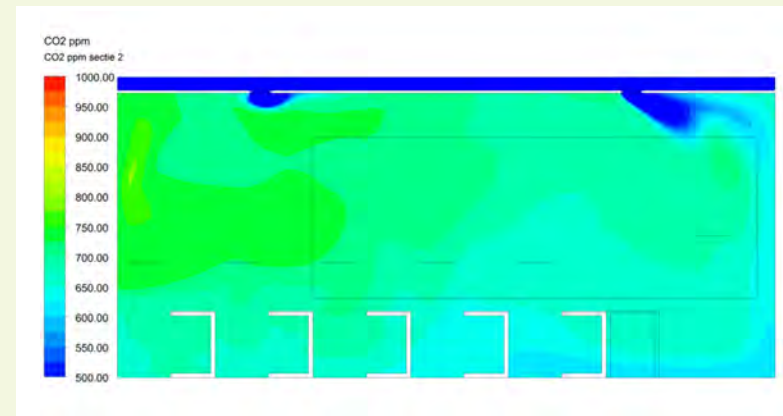
-Figuur 3c- Draught Rate op 1,0 m boven de vloer



-Figuur 3d- Draught Rate in doorsnede 2



-Figuur 3e- CO2-concentratie op 1,0 m boven de vloer



-Figuur 3f- CO2 concentratie in doorsnede 2

## CONCLUSIE

Over het algemeen is vastgesteld dat het klimaatbeheerssysteem dat is voorzien van het Easy-Klima® klimaatplafond in klasse A valt, beschouwd op alle onderzochte thema's zoals Ventilatiecapaciteit, Operatieve temperatuur, Lokaal thermisch discomfort en Verticale temperatuurgradiënt die vermeld staan in het Programma van Eisen Frisse Scholen.

## LITERATUUR

- PvE Frisse scholen, Agentschap NL, mei 2012
- Referentieklimaatjaar 'RA2008T1'
- NEN 5060
- ISSO publicatie 89 Binnenklimaat scholen
- NPR-CR 1752
- NEN-EN 15251

Thema	Zomersituatie		Eenheid
	Gemiddeld in leefzone	Klasse	
Temperatuur	26,4	n.v.t.	°C
Operatieve temperatuur	25,5	A	°C
Verticale temperatuurgradiënt	0,6	A	K/m
Luchtsnelheid	0,14	A	m/s
Draught Rate	6,9	A	%
CO <sub>2</sub> -concentratie	678	A	ppm

-Tabel 7- De gemiddelde waarde in de leefzone per thema waar op beoordeeld wordt, en de klasse waar deze waarde in valt