

Technisch Programma van Eisen 'Frisse Scholen'

Agentschap NL heeft in het kader van het project 'Frisse Scholen' een technisch Programma van Eisen ontwikkeld voor scholen voor het basisonderwijs en het voortgezet onderwijs. Daarin zijn eisen uitgewerkt voor de energiezuinigheid en het binnenmilieu in de klassen A (zeer goed), B (goed) en C (acceptabel). Bij nieuwbouwprojecten gelden in principe minimaal de prestatie-eisen volgens klasse B. Een rekenstudie aan een basisschool laat zien wat de consequenties van dit Programma van Eisen (klasse B) zijn voor de keuze en het ontwerp van de klimaatinstallatie, de noodzaak van koeling, de energieprestatie en het benodigde budget voor de installaties.

Ir. E.N. (Egbert) 't Hooft, Grontmij Nederland B.V.

Alarmerende berichten in de media geven aan dat de kwaliteit van het binnenmilieu op (basis)scholen in meer dan 80% van de gevallen beneden peil is. Recent uitgevoerde onderzoeken hebben aangetoond dat het vaak te koud of te warm is, er tocht optreedt, en ventilatie en schoonmaak onvoldoende zijn. De slechte binnenmilieucondities kunnen leiden tot comfort- en gezondheidsklachten, ziekteverzuim en verminderde leerprestaties. Dit is des te schrijnender omdat het gaat om kinderen in de groei die daarvoor extra gevoelig zijn. Het is dan ook maatschappelijk een absolute noodzaak om in scholen een gezond en comfortabel binnenmilieu aan te bieden dat de leerprestaties positief kan beïnvloeden. Om bij nieuwbouw van scholen een gezond en comfortabel binnenmilieu te realiseren met een beperkt energiegebruik, heeft Agentschap NL (voorheen SenterNovem), in het kader van het project 'Frisse Scholen', een technisch Programma van Eisen opgesteld voor drie ambitieniveaus. De daarin vermelde eisen kunnen worden opgenomen in een

Programma van Eisen voor nieuw- of verbouw. Dit artikel laat aan de hand van een rekenstudie aan een basisschool zien wat de consequenties van dit Programma van Eisen (klasse B) zijn voor de keuze en het ontwerp van de klimaatinstallatie, de noodzaak van koeling, de energieprestatie en het benodigde budget voor de installaties.

■ PRESTATIE-EISEN

Het Programma van Eisen 'Frisse Scholen' [1] formuleert specifieke prestatie-eisen voor energiezuinigheid, luchtkwaliteit, thermisch comfort, visueel comfort en akoestisch comfort. Er is een onderverdeling gemaakt in kwaliteitsklassen, te weten: klasse A (zeer goed), klasse B (goed) en klasse C (acceptabel). Het ambitieniveau van klasse C komt overeen met het minimumniveau volgens de geldende wet- en regelgeving, zoals het Bouwbesluit en de Arbowet.

Op basis van de gedefinieerde klassen kan bij nieuwbouw, afhankelijk van gebruikerseisen en beschikbaar budget, voor een bepaald ambitieniveau of -profiel worden gekozen. In principe

geldt bij nieuwbouwprojecten minimaal de prestatie-eisen volgens klasse B. De keuze valt op klasse A voor één of meer binnenmilieuaspecten als een hogere kwaliteit van het binnenmilieu gewenst is, bijvoorbeeld om medische redenen (allergie) bij een aanzienlijk aantal leerlingen. Bijlage 1 aan het eind van dit artikel geeft een verkort overzicht van de prestatie-eisen per klasse.

Het technisch Programma van Eisen van Agentschap NL is uitgebreider dan dat genoemd in ISSO-publicatie 89 [2]. Hierin zijn alleen de binnenmilieuprestatie-eisen opgenomen die het thermische binnenklimaat, de luchtkwaliteit en het geluid omvatten. De binnenmilieuprestatie-eisen in beide documenten komen, op kleine verschillen na, praktisch overeen. De classificatie volgens de klassen A, B en C is opgesteld naar analogie van de klassenindeling die in NPR-CR 1752 [3] en NEN-EN 15251 [4] wordt genoemd.

■ REFERENTIESCHOOL

Als referentieschool is een basisschool met een bruto vloeroppervlakte van 1.728. m² gekozen.

In de school, die twee bouwlagen omvat, bevinden zich in totaal 24 leslokalen. De lange gevels zijn op het NW en ZO georiënteerd. Voor de ramen is hoogrendement(HR++) beglazing toegepast. De ZO-gevel beschikt over een met de hand bediende buitenzonwering. De school met plattegrond is weergegeven in de figuren 1 en 2.

Voor deze referentieschool wordt uitgegaan van de energie- en binnenmilieuprestatie-eisen volgens klasse B van het Programma van Eisen 'Frisse Scholen' (zie bijlage 1). Na een beschrijving van mogelijke installatieconcepten voor scholen wordt door middel van een rekenstudie onderzocht met welke klimaatinstallatie(s) aan deze eisen kan worden voldaan en/of koeling noodzakelijk is. Dit gebeurt aan de hand van een toetsing op:

- de luchtkwaliteit;
- de daglichttoetreding;
- het thermische binnenklimaat;
- de energiezuinigheid.

■ INSTALLATIECONCEPTEN

De hoge personenbezetting van scholen, die continu grote hoeveelheden verse lucht vraagt, stelt hoge eisen aan de wijze waarop de ventilatie van de leslokalen wordt verzorgd. Om in de vereiste ventilatie te kunnen voorzien, worden in de praktijk verschillende installatieconcepten toegepast. Tabel 1, op de volgende pagina, geeft een overzicht van de meest voorkomende concepten voor scholen. Dit overzicht is niet volledig omdat allerlei fabrikaat afhankelijke varianten, qua systeem en uitvoering, mogelijk zijn, die niet worden beschouwd.

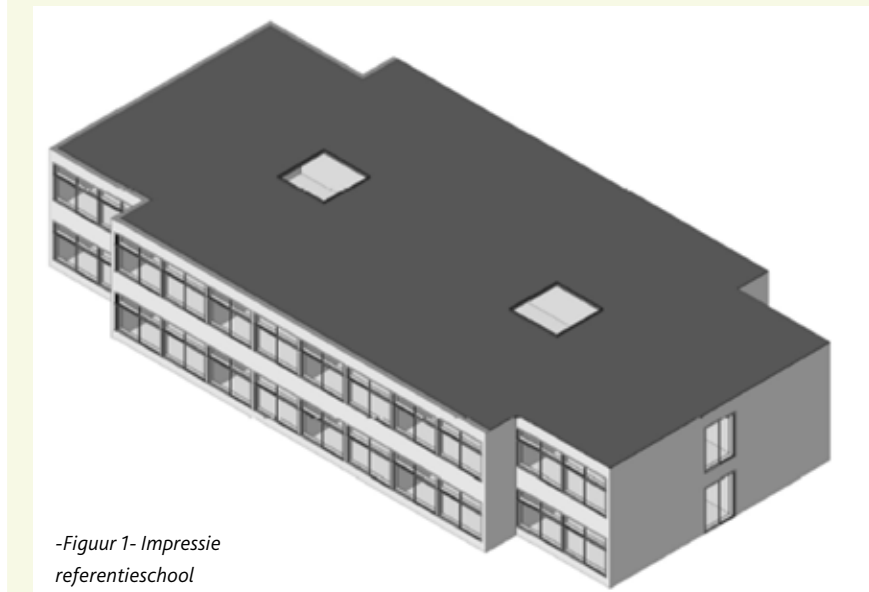
De installatieconcepten in tabel 1 worden hierna kort toegelicht.

Installatieconcept A

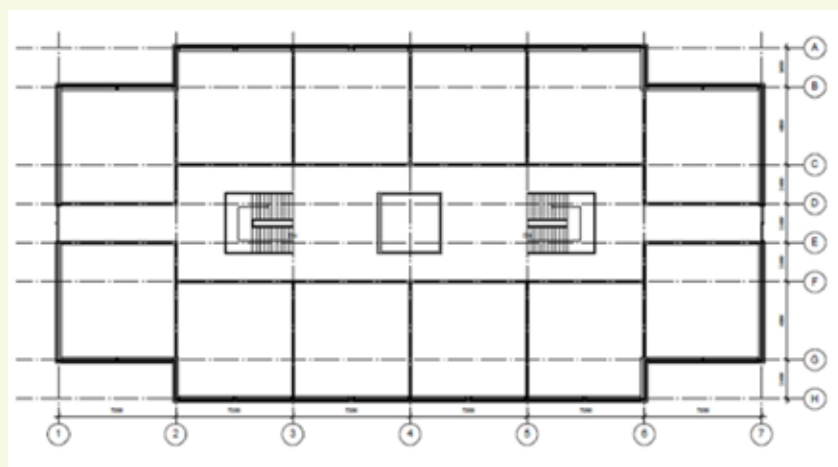
Dit is het traditionele concept. Er wordt verwarmd door middel van thermostatisch geregelde radiatoren en op natuurlijke wijze geventileerd door het openen van ramen. Omdat het gedurende de winter praktisch niet mogelijk is tochtvrij te ventileren, blijven de ramen tijdens de les vaak gesloten, waardoor de kwaliteit van de binnenlucht onvoldoende is (bedompt, te vochtig). Luchten tijdens de pauze is dan noodzakelijk. Om deze reden zijn alternatieve installatieconcepten ontwikkeld die een beter beheersbaar, meer comfortabel binnenklimaat bieden en tevens energiezuiniger zijn.

Installatieconcept B

Hierbij wordt gebruik gemaakt van hoog in de gevel geplaatste zelfregelende roosters met een daaraan gekoppelde centrale mechanische afvoer. De gevelroosters voeren onafhankelijk van de optredende winddruk niet meer



-Figuur 1- Impressie referentieschool



-Figuur 2- Referentieschool – plattegrond bg en 1^e verdieping

lucht toe dan bij de aanwezige bezetting nodig is (maximaal circa 80 m³/h per meter rooster). Het ondersteunende mechanische luchtafvoersysteem garandeert bij windstil weer de vereiste luchthoeveelheden. Om in de winter de kans op tochtklachten tot een minimum te beperken wordt de buitenlucht boven het gedeeltelijk open uitgevoerde verlaagde plafond toegevoerd en door middel van verwarmingselementen voorverwarmd. De ruimteverwarming geschiedt door middel van thermostatisch geregelde radiatoren. Op basis van aanwezigheids- en CO₂-detectie is het mogelijk de hoeveelheid buitenlucht te minimaliseren als de ruimte niet of gedeeltelijk bezet is. De centrale mechanisch afvoer wordt daarop afgestemd (variabel debietregeling). Dit maakt energiebesparing mogelijk.

Installatieconcept C

De luchttoevoer vindt bij dit concept voor 50% plaats via hoog in de gevel geplaatste zelfregelende roosters en voor 50% op mechanische wijze door middel van een toevoerkanalsysteem. De toevoer is gekoppeld aan de centrale (geregelde) mechanische afvoer. Doordat 50% van de vereiste luchthoeveelheid onverwarmd aan de ruimte wordt toegevoerd, is er een geringere kans op tocht. Installatieconcept C is verder identiek aan installatieconcept B.

Installatieconcept D

De toevoer van ventilatielucht geschiedt bij dit concept door middel van speciale thermostatisch geregelde radiatoren. Deze zijn voorzien van een omkasting met een aanzuigopening in de gevel. De ventilatie en verwarming zijn geïntegreerd. Door onderdruk van het (gere-

Installatie-concept	Ventilatie		Verwarming	Koeling ²⁾
	Toevoer	Afvoer		
A	Natuurlijk via te openen ramen 100%	Natuurlijk via te openen ramen 100%	Radiatoren Convectoren	-
B	Natuurlijk via geregelde gevelroosters 100%	Centraal mechanisch via afvoerkanalen ¹⁾ 100%	Radiatoren Convectoren Betonkernactivering	Betonkernactivering
C	Natuurlijk 50% met geregelde roosters Mechanisch 50%	Centraal mechanisch via afvoerkanalen ¹⁾ 100%	Radiatoren Convectoren Betonkernactivering	Betonkernactivering
D	Natuurlijk via radiatoren 100%	Centraal mechanisch via afvoerkanalen ¹⁾ 100%	Radiatoren	-
E	Natuurlijk 50% via radiatoren, 50% via geregelde gevelroosters	Centraal mechanisch via afvoerkanalen ¹⁾ 100%	Radiatoren	-
F	Lokaal mechanisch via radiatoren 100%	Lokaal mechanisch via radiatoren 100%	Radiatoren	-
G	Lokaal mechanisch via ventilatorconvectoren 100%	Lokaal mechanisch via ventilatorconvectoren 100%	Radiatoren	-
H	Lokaal mechanisch via gevelklimaatunit 100%	Lokaal mechanisch via gevelklimaatunit 100%	Gevelklimaatunit Betonkernactivering	Gevelklimaatunit Betonkernactivering
I	Centraal mechanisch via toevoerkanalen 100%	Centraal mechanisch via afvoerkanalen ¹⁾ 100%	Radiatoren Convectoren Betonkernactivering	Ventilatielucht Betonkernactivering

¹⁾ Afvoer is ook mogelijk via overstort naar verkeerszones met afzuigpunten

²⁾ Betreft mogelijke optie

-Tabel 1- Mogelijke installatieconcepten voor scholen

gelde) centrale mechanische afvoersysteem treedt de buitenlucht toe na te zijn gefilterd en voorverwarmd. Het systeem is zodanig met sensoren uitgevoerd dat de hoeveelheid verse lucht wordt gereduceerd door minder af te zuigen. Dit gebeurt indien deze lucht niet tochtvrij kan worden toegevoerd als de radiator bij een kleine warmtevraag de lucht onvoldoende kan opwarmen. De keuze voor dit installatieconcept hangt samen met de beschikbare ruimte aan de gevel, die het aantal radiatoren en daarmee de ventilatiecapaciteit bepaalt (maximaal circa 90 m³/h per meter radiatorbreedte).

Installatieconcept E

Bij installatieconcept E – een variant op concept D – wordt 50% van de vereiste hoeveelheid ventilatielucht via hoog in de gevel geplaatste geregelde ventilatieroosters toegevoerd en 50% via de speciale radiatoren. De luchttoevoer is gekoppeld aan een geregeld mechanisch afvoersysteem. De keuze voor dit installatieconcept hangt samen met de beschikbare ruimte aan de gevel, die het aantal radiatoren en daarmee de ventilatiecapaciteit bepaalt (maximaal circa 90 m³/h per meter radiatorbreedte).

Installatieconcept F

Dit concept is een voorbeeld van een volledig decentraal systeem, waarin verwarming, ventilatie, warmterugwinning, filtering en bewaking van de binnenluchtkwaliteit zijn geïntegreerd. De basis van het concept is een radiator, die is voorzien van een mechanische ventilatie-unit met filter en een warmteterugwonelement. Per radiator zijn twee gevelopeningen nodig: één voor de toevoer van buitenlucht en één voor de afvoer van binnenlucht. Twee toerengeregelde ventilatoren verzorgen het transport van de lucht. Ze worden gestuurd op basis van de CO₂-concentratie en de vochtigheid van de binnenlucht. De warmte uit de afvoerlucht wordt teruggewonnen en overgedragen aan de verse buitenlucht, die van stofdeeltjes en pollen wordt gezuiverd door een elektrostatisch filter. De keuze voor dit installatieconcept hangt samen met de beschikbare ruimte aan de gevel, die het aantal radiatoren en daarmee de ventilatiecapaciteit bepaalt (maximaal 125 m³/h per radiator).

Installatieconcept G

Installatieconcept G is een voorbeeld van een volledig decentraal systeem, waarin verwarming, ventilatie, warmterugwinning, filtering

en bewaking van de binnenluchtkwaliteit zijn geïntegreerd in een plafondunit. Per unit zijn twee gevelopeningen nodig: één voor de toevoer van buitenlucht en één voor de afvoer van binnenlucht. Twee toerengeregelde ventilatoren verzorgen het transport van de lucht. Ze worden gestuurd op basis van de CO₂-concentratie. De warmte uit de afvoerlucht wordt teruggewonnen en overgedragen aan de verse buitenlucht, die wordt gefilterd. De units zijn leverbaar tot een ventilatiecapaciteit van 825 m³/h. De ruimte wordt verwarmd met thermostatisch geregelde radiatoren.

Installatieconcept H

Dit concept is een voorbeeld van een volledig decentraal systeem dat als gevelsysteem is ontwikkeld in de vorm gevelklimaatunits. De verse lucht, die via een toevoerventilator, filter en afsluitbare klep in de gevel wordt aangezogen, wordt naar behoefte via aparte warmtewisselaars verwarmd of gekoeld en via het verdringingsprincipe aan de ruimte toegevoerd. Een terugslagklep verhindert dat bij onderdruk aan de gevel lucht naar buiten stroomt. De afvoerlucht wordt door een tweede ventilator via een warmteterugwinunit (kruisstroomwisselaar) over een afsluitbare

opening in de gevel afgevoerd. Ter voorkoming van bevroering is de warmteterugwinunit van een bypass voorzien. De functies verwarmen, koelen en ventileren zijn individueel regelbaar. Om tochtvrij in te blazen is bij verdringingsventilatie de inblaasttemperatuur begrensd op 18 - 19 °C, waardoor de koelcapaciteit enigszins is beperkt. Dit concept wordt bij grotere koelvermogens toegepast in combinatie met betonkernactivering of koelplafondeilanden. Op basis van aanwezigheids- en CO₂-detectie is het mogelijk de hoeveelheid buitenlucht te minimaliseren als de ruimte niet of gedeeltelijk bezet is. Doordat de mechanische afvoer daarop wordt afgestemd (variabel debietregeling) is energiebesparing mogelijk. De keuze voor dit installatieconcept hangt samen met de beschikbare ruimte aan de gevel, die het aantal units en daarmee de ventilatiecapaciteit bepaalt. De luchthoeveelheid is, afhankelijk van het type, instelbaar van 150 - 250 m³/h per unit.

Installatieconcept I

Een optimale luchtverversing zonder tochtklachten wordt gerealiseerd bij toepassing van gebalanceerde mechanische ventilatie. De centraal geconditioneerde (verwarmde en eventueel gekoelde) verse lucht wordt via een luchtkanaalsysteem aan de ruimte toegevoerd via wervelroosters of textiele slangen. De ruimteverwarming geschiedt door middel van thermostatisch geregelde radiatoren. De afvoer van de lucht geschiedt door middel een afvoerkanaal in het lokaal. Op basis van aanwezigheids- en CO₂-detectie is het mogelijk de hoeveelheid buitenlucht te minimaliseren als de ruimte niet of gedeeltelijk bezet is. Doordat de centrale mechanische afvoer daarop wordt afgestemd (variabel debietregeling) is energiebesparing mogelijk. Een variant op dit concept is betonkernactivering met lucht als gebruik gemaakt wordt van in de vloer opgenomen kanalen voor de toevoer van ventilatielucht. Ook kan men kiezen voor betonkernactivering met watervoerende leidingen in de vloer

(voor verwarming en koeling). Voor een goede warmte-uitwisseling is een thermisch open plafond noodzakelijk.

In stedelijke gebieden bij snelwegen, waar sprake is van geluidsoverlast en verhoogde concentraties fijn stof, is balansventilatie in combinatie met koeling (installatieconcepten H en I) in het voordeel t.o.v. de overige installatieconcepten. Dit omdat de ramen dan niet (voor koeling) hoeven te worden geopend en de lucht door filtering wordt gezuiverd.

LUCHTKWALITEIT

Om bij een volledige bezetting van 30 leerlingen en één docent aan de volgens klasse B vereiste luchtkwaliteit van 1.000 ppm te voldoen, dient per lokaal minimaal 826 m³/h verse lucht te worden toegevoerd. Deze luchthoeveelheid is gebaseerd op een CO₂-afgifte van 17 l/h per leerling en 19 l/h voor een docent bij een CO₂-gehalte van de buitenlucht van 360 ppm. Bij 500 ppm CO₂ in de buitenlucht (in stedelijke gebieden) bedraagt de minimale ventilatiehoeveelheid per lokaal 1.058 m³/h.

De vereiste luchtkwaliteit dient in ten minste 95% van de gebruikstijd te zijn gewaarborgd.

DAGLICHTTOETREDING

Volgens klasse B van het Programma van Eisen 'Frisse Scholen' dient de daglichtfactor in het midden van de ruimte op werkvlakniveau minimaal 5% te bedragen. Om hieraan te kunnen voldoen dient de gevel van de 7,2 m diepe lokalen van circa 60% helder glas (LTA = 0,8) te worden voorzien (betrokken op buitengeveloppervlak). Daarmee wordt ruimschoots voldaan aan de eis van het Bouwbesluit voor daglichttoetreding. De daglichtfactor is bepaald met het programma Relux. Daarbij is rekening gehouden met interne reflecties.

THERMISCH BINNENKLIMAAT

Het thermische binnenklimaat wordt (per oriëntatie) beoordeeld voor een standaard

leslokaal van 7,2 x 7,2 x 3,2 m. De bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten zijn vermeld in bijlage 2, achteraan dit artikel.

Met behulp van het VABI-programma VA114 wordt bepaald met welk ventilatie-debiet en met welke inblaasttemperatuur aan de temperatuureisen volgens klasse B kan worden voldaan. Voor de temperatuurberekeningen is gebruik gemaakt van het nieuw ontwikkelde referentieklimaatjaar 'RA2008T1', conform NEN 5060 [5]. Dit jaar, dat representatief is voor de steeds warmer wordende jaren, wordt volledig doorgerekend, met in achtname van de zomervakantie, waarvoor de periode 15 juli t/m 31 augustus is aangehouden. Leslokalen zijn thermisch zwaar belaste ruimten. De specifieke interne warmtebelasting van personen, apparatuur (digitaal schoolbord à 250 W) en verlichting bedraagt circa 62 W/m², terwijl in kantoren 35 tot 40 W per m² normaal is. Daarnaast is in verband met de vereiste goede daglichttoetreding in scholen relatief veel glas in de gevel noodzakelijk (in dit voorbeeld 60% van het buitengeveloppervlak), hetgeen, rekening houdend met accumulatie, een externe warmtebelasting oplevert van circa 20 W/m². Om aan de vereiste luchtkwaliteit te voldoen (maximaal 1.000 ppm) is, afhankelijk van de kwaliteit van de buitenlucht, een ventilatievoud nodig van 5,0 tot 6,4 m³/(h.m³). In kantoren is, afhankelijk van het installatieconcept, een ventilatievoud van 2,5 à 4 m³/(h.m³) gebruikelijk. Vanwege bovenstaande karakteristieken valt het merendeel van de beschouwde installatieconcepten af. Reden is dat de vereiste ventilatiecapaciteit (bij klasse B: minimaal 826 m³/h), op basis van genoemde maximaal mogelijke debieten per unit, per meter rooster- of radiatorbreedte:

- niet kan worden gerealiseerd (concepten A, B, D en F; bij een gevallengte van 7,2 m is maximaal 7,2 m aan roosters mogelijk en 4 units à 1,5 m);
- de mogelijkheid van koeling ontbreekt (concepten A, D, E, F en G);

Ruimte	Oriëntatie	Ventilatie-debiet ²⁾ [m ³ /h]	T-inblaas ³⁾ [°C]	Overschrijdingen [h/j]		T _{max} [°C]	Aantal weeguren [-]	T _{bu} < 20 °C	T _{bu} > 20 °C
				T ≥ 25 °C	T ≥ 28 °C			Aantal uren/j T _{op} ≥ 23 °C	Aantal uren/j T _{op} > T _{bu} + 3 °C
BG-lokaal	NW	1.140	16	1	0	25,1	1	160 (8,9%)	19 (1,1%)
	ZO	1.260	16	0	0	24,3	0	169 (9,4%)	11 (0,6%)
Daklokaal	NW	1.200	16	1	0	25,2	8	154 (8,6%)	26 (1,4%)
	ZO	1.285	16	0	0	24,7	4	164 (9,1%)	13 (0,7%)

¹⁾ Er is rekening gehouden met de zomervakantie van 15 juli t/m 31 augustus

²⁾ Bij een volledige bezetting bedraagt het minimale luchtdebiet per lokaal 826 m³/h (bij schone buitenlucht)

³⁾ Over het gehele jaar is inblaasttemperatuur constant op deze waarde gehouden

-Tabel 2- Overzicht rekenresultaten variant 1 bij koeling d.m.v. ventilatielucht¹⁾

Ruimte	Oriëntatie	Ventilatie-debiet ²⁾ [m ³ /h]	T-inblaas ³⁾ [°C]	Overschrijdingen [h/j]		Tmax [°C]	Aantal weeguren [-]	T _{bu} < 20 °C	T _{bu} > 20 °C
				T ≥ 25 °C	T ≥ 28 °C			Aantal uren/j T _{op} ≥ 23 °C	Aantal uren/j T _{op} > T _{bu} + 3 °C
BG-lokaal	NW	826	16	0	0	24,4	0	165 (9,2%)	8 (0,4%)
	ZO	885	16	0	0	23,8	0	168 (9,3%)	4 (0,2%)
Daklokaal	NW	950	16	0	0	24,8	0	167 (9,3%)	13 (0,7%)
	ZO	990	16	0	0	24,2	0	167 (9,3%)	11 (0,6%)

¹⁾ Er is rekening gehouden met de zomervakantie van 15 juli t/m 31 augustus

²⁾ Bij een volledige bezetting bedraagt het minimale luchtdebiet per lokaal 826 m³/h (bij schone buitenlucht)

³⁾ Over het gehele jaar is de inblaas temperatuur constant op deze waarde gehouden

⁴⁾ Er is uitgegaan van betonkernactivering met watervoerende leidingen (verwarming en koeling)

-Tabel 3- Overzicht rekenresultaten variant 2 bij koeling d.m.v. ventilatielucht en betokernactivering ^{1) 4)}

- onvoldoende koeling aanwezig is (concepten B en C, waarmee met betonkernactivering 40 tot 45 W/m² aan koeling mogelijk is.

In dit voorbeeld komen in principe alleen gebalanceerde ventilatiesystemen met warmterugwinning en koeling (installatieconcepten H en I) in aanmerking. Vanwege de grotere koelcapaciteit is ervoor gekozen om installatieconcept I verder uit te werken op basis van temperatuurberekeningen. Om tochtklachten te voorkomen is de inblaas temperatuur begrensd op 16 °C (constant gedurende het gehele jaar).

Twee varianten worden beschouwd, te weten:

1. koeling met ventilatielucht;
2. koeling met ventilatielucht, in combinatie met betonkernactivering.

De resultaten van de temperatuurberekeningen zijn voor een standaard leslokaal bij de genoemde varianten samengevat in de tabellen 2 en 3. Het luchtdebiet is zodanig bepaald dat minimaal 90% van de gebruikstijd aan de (beide) temperatuureisen volgens het Programma van Eisen 'Frisse Scholen', klasse B, wordt voldaan. Naast het aantal uren is ook het percentage van de gebruikstijd aangegeven dat het temperatuurcriterium wordt overschreden (laatste twee kolommen). Het aantal overschrijdingen, de maximale temperatuur en het aantal weeguren zijn informatief (wordt niet op getoetst).

Uit de temperatuurberekeningen blijkt dat het criterium voor de operationele temperatuur (T_{op}) bij buitentemperaturen (T_{bu}) < 20 °C maatgevend is voor het benodigde luchtdebiet. Met de gebruikelijke programmatuur voor temperatuurberekeningen kan (nog) niet rechtstreeks op de temperatuurcriteria worden getoetst. Daarvoor is een hulpprogramma gebruikt.

Uit de rekenresultaten van tabel 2 blijkt dat het benodigde ventilatievoud om aan de temperatuureisen te voldoen varieert van 6,9 tot 7,8 m³/(h.m³). Omdat bij dergelijk grote luchtwisselingen zonder speciale inblaasvoorzieningen

tochtklachten onvermijdelijk zijn ligt koeling met alleen ventilatielucht minder voor de hand. Daarom wordt voor de referentieschool gekozen voor de variant met betonkernactivering, met watervoerende leidingen in de vloer voor verwarming en koeling. Omdat een deel van de warmtebelasting door het vloer/plafondsysteem wordt geabsorbeerd, kan de luchtverversing beperkt blijven tot maximaal zes maal de ruimte-inhoud per uur (zie tabel 3). Bovendien biedt dit systeem de mogelijkheid van verwarming met een aanvoerwater temperatuur van maximaal 35 °C (eis volgens klasse B).

Het totale ventilatie-debiet voor de school volgt uit het benodigde luchtdebiet voor de leslokalen (zie tabel 3) en het luchtdebiet in de binnenzone. Op basis van de resultaten van tabel 3 varieert het ventilatievoud in de leslokalen, afhankelijk van oriëntatie en bouwlaag, van 5,0 tot 6,0 met een gemiddelde van 5,5 m³/(h.m³). Omdat de middenzone (zie plattegrond figuur 2) ook voor instructiedoeleinden, individuele opdrachten en werken in kleinere groepen moet kunnen worden gebruikt, is hier een 3,2-voudige luchtwisseling aangehouden. Daarmee komt het totale voor de school benodigde ventilatie-debiet op 26.860 m³/h.

ENERGIEPRESTATIE

Volgens het Bouwbesluit [6] geldt voor een gebouw met een onderwijfsfunctie, inclusief de gebouwgebonden installaties, als eis voor de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) een maximale waarde van 1,3. Conform klasse B van het Programma van Eisen 'Frisse Scholen' moet worden voldaan aan een EPC-waarde die minimaal 30% lager is dan wettelijk vereist, zodat in dit geval als grenswaarde moet worden aangehouden: 0,91.

Op basis van het totale benodigde luchtdebiet en de overige uitgangspunten volgens bijlage 2, is de energieprestatiecoëfficiënt van de school, conform NEN 2916 [7] en de bijbehorende praktijkrichtlijn NPR 2917 [8]

met rekenprogramma (EPU Windows v.2.2), berekend op: 0,90. Hiermee wordt voldaan aan de bij klasse B geldende eis voor de energiezuinigheid. De vereiste energieprestatie kan met een conventionele warmte- en koudeopwekkingsinstallatie (hr-107-ketel en compressiekoelmachine) worden gerealiseerd mits hr-warmterugwinning wordt toegepast met een thermisch rendement van 0,90. Met de aangehouden uitgangspunten wordt voor de referentieschool het energielabel A berekend.

INVESTERINGEN

Bij nieuwbouw van scholen dient het budget voor de benodigde gebouwgebonden technische installaties (klimaat- en verlichtingsinstallatie) toereikend te zijn om het minimaal vereiste kwaliteitsniveau volgens klasse B mogelijk te maken. Om die reden is voor de referentieschool een globale begroting opgesteld.

Afhankelijk van de uitvoering moet worden gerekend op een benodigd budget voor de klimaatinstallaties van 225 tot 235 €/m² bvo (exclusief bouwkundige kosten betonkernactivering) en voor de verlichtingsinstallatie van 45 tot 50 €/m² bvo. De genoemde bedragen zijn exclusief BTW.

CONCLUSIES

Uit de rekenresultaten voor de beschouwde basisschool blijkt dat bij toepassing van de prestatie-eisen conform klasse B van het Programma van Eisen 'Frisse Scholen' die bij de nieuwbouw van scholen wordt aanbevolen:

- balansventilatie met koeling van de ventilatielucht, gecombineerd met betonkernactivering (verwarming en koeling), noodzakelijk is om (tochtvrij) aan de temperatuureisen te kunnen voldoen;
- in de leslokalen het ventilatievoud, afhankelijk van de oriëntatie en bouwlaag, varieert van 5,0 tot 6,0 met een gemiddelde van 5,5 m³/(h.m³) bij een constante inblaas tempera-

- tuur van 16 °C;
- de vereiste daglichtfactor van 5% in het midden van de ruimte op werkvlakniveau resulteert in grote glasoppervlakken (in dit voorbeeld 60% glas, betrokken op buitengeveloppervlak), waarmee de Bouwbesluit-eisen voor daglichttoetreding ruimschoots wordt overschreden;
- het criterium voor de operationele temperatuur bij buitentemperaturen lager dan 20 °C maatgevend is voor het benodigde lichtdebiet;
- het (nog) niet mogelijk is met de gebruikelijke programmatuur voor temperatuur(overschrijdings)berekeningen rechtstreeks op de temperatuureisen te toetsen. Daarvoor is een hulpprogramma gebruikt;
- de temperatuureisen resulteren in een thermisch binnenklimaat voor nieuwbouwscholen dat aanzienlijk strenger is dan voor nieuwbouwkantoren gebruikelijk (150 weeguren);
- de energieprestatie (minimaal 30% lager dan wettelijk vereist) met een conventionele warmte- en koude-opwekkingsinstallatie (hr-107-ketel en compressiekoelmachine) kan worden gerealiseerd mits hr-warmteterug-

winning wordt toegepast met een thermisch rendement van 0,90;

- het bij nieuwbouw van scholen beschikbare budget (normvergoeding) afgestemd dient te worden op de noodzakelijke gebouwgebonden technische installaties (klimaat- en verlichtingsinstallatie) voor het minimaal vereiste kwaliteitsniveau (klasse B);
- afhankelijk van de uitvoering moet worden gerekend op een benodigd budget voor de klimaatinstallaties van 225 tot 235 €/m² bvo (exclusief bouwkundige kosten betonkernactivering) en voor de verlichtingsinstallatie van 45 tot 50 €/m² bvo (exclusief BTW).

De resultaten van deze studie roepen de vraag op of de temperatuur- en daglichteisen niet moeten worden aangepast, omdat deze leiden tot uitgebreide klimaatinstallaties en een binnenklimaat dat aanzienlijk strenger is dan gebruikelijk in kantoren. Het effect van voornoemde eisen treedt des te sterker op bij klasse A. In de praktijk zal daarom voor klasse C worden gekozen. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen met welke installatieconcepten aan alle aspecten van klasse C van het Programma van Eisen 'Frisse Scholen' kan worden voldaan.

LITERATUUR

1. Agentschap NL: Programma van Eisen 'Frisse Scholen' (versie september 2010)
2. ISSO-publicatie 89: Binnenklimaat scholen (2008)
3. NPR-CR 1752 (1999): Ventilatie van gebouwen – Ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden
4. NEN-EN-15251 (2007): Binnenmilieu gerelateerde input parameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermische comfort, de verlichting en akoestiek
5. NEN 5060 (2008): Hygro-thermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens
6. Bouwbesluit – afdeling 5.3 (art. 5.11)
7. NEN 2916 (2004) + aanvulling A1: 2008: Energieprestatie van utiliteitsgebouwen - Bepalingsmethode
8. NPR 2917 + A2: 2010 v. 2.2: Rekenprogramma energieprestatie utiliteitsbouw op CD-ROM met handboek in pdf-formaat

Aspect	Klasse		
	A Zeer goed (extra t.o.v. klasse B)	B Goed (extra t.o.v. klasse C)	C Acceptabel
Energie			
Energieprestatie	EPC conform NEN 2916 minimaal 50% onder eis Bouwbesluit	EPC conform NEN 2916 minimaal 30% onder eis Bouwbesluit	EPC conform NEN 2916 minimaal 15% onder eis Bouwbesluit
Isolatie gebouwschil	R _c gevel, vloer en dak minimaal 5,0 m ² .K/W	R _c gevel en vloer minimaal 3,5 m ² .K/W R _c dak minimaal 5,0 m ² .K/W	R _c gevel, vloer en dak minimaal 3,5 m ² .K/W
Beglazing	HR ⁺⁺ -glas	HR ⁺⁺ -glas	HR ⁺⁺ -glas
Energiezuinige ventilatie	Bij balansventilatie wtw toepassen met rendement van minimaal 90%	Bij balansventilatie wtw toepassen met rendement van minimaal 75%	Bij balansventilatie wtw toepassen met rendement van minimaal 60%
Regeling ventilatie	Volledig VAV met traploos regelbare gelijkstroomventilatoren, CO ₂ -gestuurd	Ventilatie is vraaggestuurd (tijdafh. met verschillende standen of CO ₂ -gestuurd)	Ventilatie is voorzien van een regeling met tijdfankelbaar aan- en uitschakelen
Energiezuinige verwarming	Warmteopwekking met restwarmte en/of duurzame energie	Verwarmingssysteem heeft aanvoertemperatuur van maximaal 35°C	Verwarmingssysteem heeft aanvoertemperatuur van maximaal 50°C
Energiezuinige koeling	Koeling baseren op WKO-systeem, conform ISSO-publicatie 39	Bij mechanische koeling voldoet COP koelmachine aan EN14511, vrije koeling	Buitenzonering, max. verlichtingsvermogen 15 W/m ² , zomernachtventilatie

-Bijlage 1- Programma van Eisen 'Frisse Scholen' (versie september 2010) – verkort weergegeven (vervolg op de volgende pagina)

Aspect	Klasse		
	A Zeer goed (extra t.o.v. klasse B)	B Goed (extra t.o.v. klasse C)	C Acceptabel
Luchtkwaliteit			
Ventilatiecapaciteit	CO ₂ -concentratie in groepsruimten in 95% van gebruikstijd maximaal 800 ppm.	CO ₂ -concentratie in groepsruimten in 95% van gebruikstijd maximaal 1.000 ppm	CO ₂ -concentratie in groepsruimten in 95% van gebruikstijd maximaal 1.200 ppm
Bezetting	30 leerlingen en 1 docent	30 leerlingen en 1 docent	30 leerlingen en 1 docent
Spuiventilatie	In groepsruimten min. 4 te open ramen (tot. opp. ≥ 4 m ²), waarvan 50% boven in raam	In groepsruimten min. 4 te open ramen (tot. opp. ≥ 4 m ²), waarvan 50% boven in raam	In groepsruimten min. 4 te open ramen (tot. opp. ≥ 4 m ²), waarvan 50% boven in raam
Kwaliteit toevoerlucht	Aanwezig ventilatiesysteem voldoet aan klasse A-eisen uit cahier P1	Aanwezig ventilatiesysteem voldoet aan klasse B-eisen uit cahier P1	Aanwezig ventilatiesysteem voldoet aan klasse C-eisen uit cahier P1
Ruimtehoogte	In groepsruimten is de afstand van vloer tot (verlaagd) plafond minimaal 3,5 m	In groepsruimten is de afstand van vloer tot (verlaagd) plafond minimaal 3,2 m	In groepsruimten is de afstand van vloer tot (verlaagd) plafond minimaal 2,8 m
Thermisch comfort			
Operatieve temperatuur	Minimaal 20 °C	Minimaal 20 °C	Minimaal 19 °C
- bij T _{buiten} < 20°C	Maximaal 22 °C	Maximaal 23 °C	Maximaal 24 °C
- bij T _{buiten} > 20°C	Max. T _{buiten} + 2 °C / ≤ 27 °C	Max. T _{buiten} + 3 °C	Max. T _{buiten} + 4 °C
- alle eisen samen	Minimaal 90% gebruikstijd	Minimaal 90% gebruikstijd	Minimaal 90% gebruikstijd
Referentieklimaatjaar	RA2008T1 (NEN 5060)	RA2008T1 (NEN 5060)	RA2008T1 (NEN 5060)
Vloertemperatuur	19 °C < T _{vloer} < 26 °C	19 °C < T _{vloer} < 26 °C	17°C < T _{vloer} < 29°C
Stralingsasymmetrie			
- bij warm plafond	< 5 K	< 5 K	< 7 K
- bij koude wand	< 10 K	< 10 K	< 13 K
- bij koud plafond	< 14 K	< 14 K	< 18 K
- bij warme wand	< 23 K	< 23 K	< 35 K
Luchtsnelheid in leefzone			
- in winter / zomer	$\leq 0,13$ / $\leq 0,16$ m/s	$\leq 0,16$ / $\leq 0,20$ m/s	$\leq 0,19$ / $\leq 0,23$ m/s
Visueel comfort			
Verlichtingssterkte op werkvlakniveau	Minimaal 500 lux	Minimaal 500 lux	Minimaal 300 lux
Daglichtfactor op werkvlak in midden ruimte	Minimaal 8%	Minimaal 5%	Minimaal 3%
Akoestisch comfort			
Installatiegeluid	Maximaal 30 dB(A)	Maximaal 33 dB(A)	Maximaal 35 dB(A)
Nagalmtijd	Maximaal 0,8 s	Maximaal 0,8 s	Maximaal 0,8 s
Luchtgeluidisolatie tussen groepsruimten	Rw > 42 dB	Rw > 38 dB	Rw > 38 dB
Contactgeluidisolatie tussen groepsruimten	Ico = 0 dB	Ico = 0 dB	Ico = 0 dB
Geluidisolatie gevel	Maximaal 30 dB(A)	Maximaal 33 dB(A)	Maximaal 35 dB(A)

-Bijlage 1- Programma van Eisen 'Frisse Scholen' (versie september 2010) – verkort weergegeven

Algemeen	
Gebouw en plattegrond	zie figuren 1 en 2
Oriëntatie lange gevels	NW en ZO
Aantal bouwlagen	2
Bruto verdiepingshoogte	4,0 m
Vrije verdiepingshoogte	3,2 m
Bruto vloeroppervlakte	1.728 m ²
Aantal leslokalen	24
Afmetingen leslokaal	7,2 x 7,2 x 3,2 m (b x d x h)
Aantal personen in lokaal	30 leerlingen + 1 docent
Gebruiksfunctie	onderwijs
Gebruikstijd	08.00 tot 17.00 u gedurende 5 d/w
Zomervakantie	15 juli t/m 31 augustus
Referentieklimaatjaar	RA2008T1, conform NEN 5060

Werktuigkundige installaties	
Klimaatstelsel	mechanische toe- en afvoer met koeling
Ventilatievoud:	
-leslokalen	gemiddeld 5,5 m ³ /(h.m ³) ¹⁾
-middenzone	3,2 m ³ /(h.m ³)
Inblaastemperatuur	constant 16 °C
Nachtventilatie	ja
Debietregeling ventilatoren	terugregeling tot 80% verse buitenlucht
Recirculatie	geen (100% verse buitenlucht)
Warmteterugwinning	hr-warmtewisselaar ($\eta_t = 0,90$)
Ruimteverwarming	d.m.v. betonkernactivering
Ruimtekoeling	d.m.v. ventilatielucht en betonkernactivering
Bevochtiging ventilatielucht	geen
Warmteopwekking	hr107-ketel, $T_{\text{aanvoer}} < 55 \text{ °C}$
Koudeopwekking	compressiekoelmachine
Warm tapwater	elektrische boiler met tappunten < 3m

¹⁾ Op basis van temperatuurberekeningen bepaald

Bouwkundige uitvoering	
R _e -waarden:	
-Buitenwand	3,5 m ² .K/W
-Vloer	3,5 m ² .K/W
-Dak	5,0 m ² .K/W
Beglazing	helder hr ⁺⁺ -glas
Zonwering	uitvalschermb, handbediend op ZO-gevel
U-waarde raam:	
-hr ⁺⁺ -beglazing	1,1 W/(m ² .K)
-Beglazing inclusief kozijnen	1,7 W/(m ² .K)
ZTA-waarde glas	0,60
LTA-waarde glas	0,80
Glaspercentage	60%, betrokken op buitengeveloppervlak
Te openen ramen	ja, met kierdichting
Infiltratie	0,2 dm ³ /(s.m ²)
Thermische capaciteit:	
-Massa vloeren	≥ 400 kg/m ²
-Massa binnenwanden	265 kg/m ²
-Plafond	thermisch open

Elektrotechnische installaties	
Geïnstalleerd verlichtingsvermogen:	
-leslokalen	9,5 W/m ²
-gemeenschappelijke ruimten	9,5 W/m ²
Schakeling verlichting:	
-leslokalen	daglichtregeling + aanwezigheidsdetectie
-gemeenschappelijke ruimten	centraal aan/uit
Afzuiging armaturen	geen
Apparatuur	digitaal schoolbord à 250 W

-Bijlage 2- Bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten referentieschool