

# Hoe betaalbaar is comfort in schoolgebouwen?

In het ontwerpproces van schoolgebouwen is er een gescheiden focus op investeringskosten, comfort en duurzaamheid. Dit resulteert vaak niet in het gewenste resultaat: een duurzaam en comfortabel binnenklimaat. Integraal ontwerpen op basis van levensduurkosten brengt al deze ambities samen en leidt tot nieuwe inzichten en een nieuw installatieconcept: 'Gangwand-verdringing'. Door een aantal gangbare klimaatconcepten naast elkaar te zetten kan worden geconcludeerd dat "Gangwand-verdringing" op levensduurkosten de beste prestatie neerzet met een verhoging van het comfort.

Ing. R. (Roland) Halle, Levensduurkosten adviseur bbn adviseurs en docent Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

Uit onderzoek van het Centrum voor Gezonde Scholen komt naar voren dat schoolgebouwen in België, Nederland en Luxemburg een ruime onvoldoende score op het binnenklimaat. In 70% van de scholen is het zomers te warm en in 40% 's winters te koud. Ook de ventilatie geeft veel klachten: een muffe en onaangename geur in de lokalen en één op de drie scholen klaagt over tocht en vochtplekken. Een scala aan gezondheidsklachten zoals hoofdpijn, vermoeidheid en extra astma-aanvallen kunnen in verband worden gebracht met een slecht presterende klimaatinstallatie. Een goed installatieconcept kan het ziekteverzuim reduceren en zelfs de leerprestaties verhogen [1]. Hiervan zijn we ons steeds meer bewust. Dit blijkt wel uit de aangescherpte comforteisen voor schoolgebouwen in het Bouwbesluit en het standaard programma van eisen frisse scholen van Agentschap NL dat opdrachtgevers steeds vaker als leidraad hanteren voor nieuw- en verbouw van scholen. Maar hoe zit het nu met de exploitatiekosten van scholen? Deze zijn in feite voor rekening van de schoolbesturen die hiervoor een bepaald budget te besteden hebben. De gemeenten

zijn echter verantwoordelijk voor de realisatie van de school waarvoor zij een bepaald bedrag te spenderen hebben. Gemeenten hebben er dus in feite geen financieel belang bij om een gebouw te laten ontwikkelen met een lage energierekening en lage onderhoudskosten. Deze kosten komen immers voor rekening van de schoolbesturen.

## ■ MOEILIK VERGELIJKEN

Ondanks het goede initiatief van 'Het Programma van Eisen Frisse Scholen' van het ministerie van BZK blijkt het in de praktijk lastig voor opdrachtgevers een eerlijke vergelijking te maken op het gebied van binnenmilieu en energiezuinigheid van verschillende klimaatconcepten. De onderhoudsvriendelijkheid is hierbij vaak onderbelicht. Wanneer de onderhoudskosten over de gehele levensduur van het gebouw worden beschouwd, blijken deze financieel even zwaar mee te wegen als de investeringskosten. Voor de energiekosten kan zelfs gesteld worden dat deze aanzienlijk zwaarder meewegen dan de onderhoudskosten. Maar hoe kan men nu een conceptafweging maken waarbij zowel de

investeringskosten als de exploitatiekosten gunstig uitpakken? Oftewel, is het mogelijk een klimaatconcept te bedenken dat zeer goed presteert op levensduurkosten zonder concessies te doen aan het binnenklimaat? Het is belangrijk te beseffen dat een lange lijst van duurzaamheidsmaatregelen niet automatisch resulteert in een goed binnenklimaat en duurzaamheid. Op het eerste oog lijkt het voor opdrachtgevers gemakkelijk om met een afvinklijst na te gaan welke partij de meeste maatregelen heeft toegepast en dus het beste plan heeft neergelegd. Maar hoe zwaar weegt elke maatregel dan? Maatregelen die leiden tot het inbrengen van extra techniek, gaan ook gepaard met extra investerings- en onderhoudskosten.

## ■ MINIMALE LEVENSDUURKOSTEN

Een belangrijke misvatting is dat duurzaamheid per definitie duur is. Door techniek te minimaliseren en optimaal gebruik te maken van natuurlijke principes, zoals lichtinval, vrije koeling en warmte-accumulatie, is het ook mogelijk een duurzaam gebouwontwerp neer

te leggen zonder meerkosten. Is het daarom niet veel beter om gebouw en techniek eens echt integraal te bezien (LCC-benadering), in plaats van als losse maatregelen in de vorm van een programma van eisen.

Techniek kan helpen om bijvoorbeeld maximaal in te spelen op de variërende vraag van lucht, licht, koeling en verwarming. Denk aan bijvoorbeeld aan vraaggestuurde ventilatie, aanwezigheidsschakeling en daglichtafhankelijke regeling waarmee zeer efficiënt de energiebehoefte van het gebouw kan worden teruggebracht. Het is dan belangrijk dat energiebesparing het comfort niet nadelig beïnvloedt. Door aanvullend de rendementen van alle toegepaste componenten van grof naar fijn te maximaliseren wordt zeer kosten-efficiënt geoptimaliseerd.

Ook door het centraliseren van techniek is het op het gebied van levensduurkosten een aanzienlijke besparing mogelijk. Er is sprake van minder componenten met doorgaans een hoog rendement. De componenten zijn bovendien groter, waardoor optimaal wordt geprofi-teerd van gelijktijdigheden in combinatie met de genoemde vraaggestuurde regelingen. Ook zijn er minder componenten te onderhouden, wat de onderhoudskosten aanzienlijk drukt.

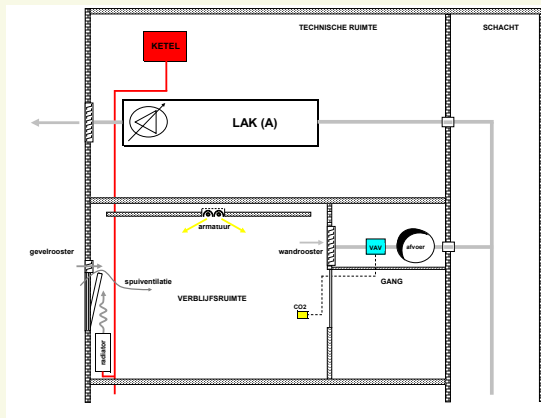
De ontwerpkeuze kan de toekomstbestendigheid van het gebouw vergroten. Er moet verder worden gekeken dan alleen de eisen en wensen van de huidige gebruiker en op voorhand rekening worden gehouden met (nieuwe) duurzame energiebronnen en flexibiliteit. Dit levert in de toekomst veel geldbesparing op bij functie- en installatiewijzigingen.

Figuren 1 t/m 4 tonen mogelijke varianten.

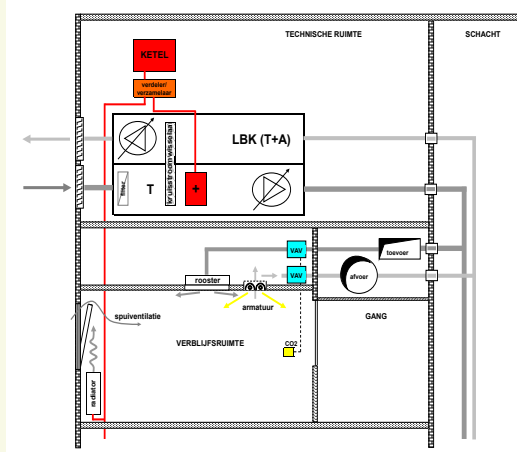
Variante 4 wordt hierna uitvoerig besproken

## ■ GANGWAND-VERDRINGING Ventilatie

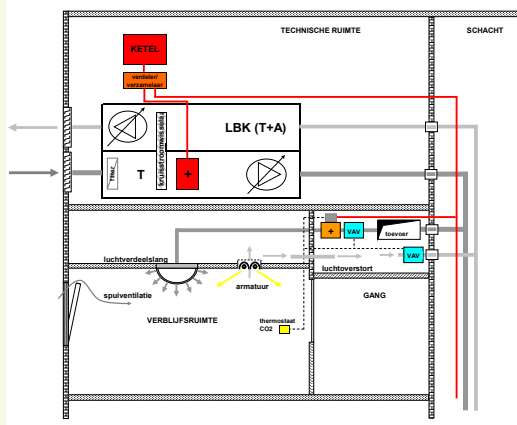
Per installatiezone wordt op hoog niveau een zeer energiezuinige luchtbehandelingskast geprojecteerd. Dit voorkomt tocht en geluidsproblemen, zoals die bij natuurlijke ventilatie via gevelroosters optreden. De bouwkundige schacht zal stofvrij worden afgewerkt en op de luchtbehandelingskast worden aangesloten. Per zone zal door middel van deze schacht met brandwerende toevoerrooster de verse lucht op lage snelheid (circa 1 m/s) tochtvrij in de gangzone worden ingebracht (geforceerde verdringsventilatie via de schachtwand). De luchtkwaliteit zal ook in de gangzone centraal op basis van CO<sub>2</sub> worden bewaakt. De ventilatie start dus al als er mensen in de gangzone zijn en nog niet in de verblijfsruimten. De gefilterde verse lucht zal vanuit de gangzone iets onder ruimtetemperatuur worden overgestort. Hiervoor zal over de complete



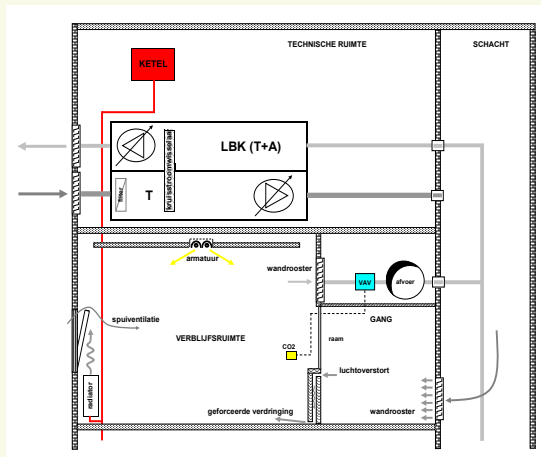
-Figuur 1- Variant 1: principeschema natuurlijke toevoer en mechanische afvoer



-Figuur 2- Variant 2: principeschema standaard gebalanceerde mechanische ventilatie



-Figuur 3- Variant 3: principeschema luchtverdeelzakken



-Figuur 4- Variant 4: principeschema Gangwand-verdringing

### Variante 1

Natuurlijke ventilatie via sus-kasten in de gevel en vraaggestuurde mechanische afzuiging op basis van CO<sub>2</sub> per ruimte. Er wordt geen warmteterugwinning toegepast op de ventilatielucht. Verwarming gebeurt via een hr-ketel en radiatoren. Er is geen mechanische koeling.

### Variante 2

Gebalanceerde mechanische ventilatie met vraaggestuurde mechanische toevoer op basis van CO<sub>2</sub> per ruimte en toevoer via wervelroosters in het systeemplafond. De afvoer wordt met een afzuigpunt per ruimte (plenumafzuiging) meegeregeld. Er wordt hoogrendement warmteterugwinning (90%) toegepast. Verwarming gebeurt via een hr-ketel en radiatoren. Er is geen mechanische koeling.

### Variante 3

Gebalanceerde mechanische ventilatie met vraaggestuurde mechanische toevoer op basis van CO<sub>2</sub> per ruimte. De toevoer verloopt via luchtverdeelslangen in het systeemplafond. De afvoer wordt via de gangzone centraal geregeld. Er wordt hoogrendement warmteterugwinning (90%) toegepast. Verwarming gebeurt via een hr-ketel en luchtverwarmers. Er is geen mechanische koeling.

### Variante 4

Gebalanceerde mechanische ventilatie met vraaggestuurde mechanische afvoer op basis van CO<sub>2</sub> per ruimte. Brandwerende wandroosters in de gangzone voeren de verse lucht toe. Een luchtverstort vanuit de gang voorziet de verblijfsruimten van toevoer. De gehele plint voert de lucht via de tussenwand toe (verdringsventilatie). Er wordt hr-warmteterugwinning (90%) toegepast. Verwarming gebeurt via een hr-ketel en radiatoren. Er is geen mechanische koeling.

lengte van de tussenwand een aanzuig- en toevoerspleet worden opgenomen en wordt de wand uitgevoerd als suskast (berekeningen hebben aangetoond dat aan de eisen van drukverlies, geluidsisolatie en luchtverdeling kan worden voldaan met een totale wanddikte van circa 150 mm). In de gangzone zal op ongeveer 1 m hoogte de verse lucht via een spleet over de gehele breedte worden aangezogen. De lucht zal op plintniveau met relatief lage snelheid (maximaal 1 m/s) tochtvrij in het lokaal worden toegevoerd, volgens het principe van geforceerde verdringing. Door de lichte onder temperatuur zal de lucht zich over het gehele vloeroppervlakte verdelen. Met name de leefzone waar de verse lucht benodigd is, wordt voorzien. De inblaasnelheid zorgt voor voldoende inductie, zodat de luchtsnelheid snel afbouwt. Deze vorm van luchtverdeling geeft ten opzichte van conventionele mengventilatie een veel hogere ventilatie-effectiviteit. Hierdoor kan bij gelijkblijvende luchtkwaliteit (p.p.m. CO<sub>2</sub>) met lagere luchthoeveelheden worden geventileerd. Verontreinigingen en warmte zullen opstijgen en in de bovenste luchtlag aan het plafond ophopen. Door middel van een wandrooster zal deze lucht op hoog niveau worden afgezogen. De luchthoeveelheid zal per vertrek vraaggestuurd worden geregeld op basis van CO<sub>2</sub>. In de gangzone zal hiervoor een (ongeïsoleerd) retourkanaal met de VAV-boxen op de luchtbehandelingskast worden aangesloten, zodat warmteterugwinning mogelijk is.

### Verwarming

Het warmte-afgiftesysteem bestaat uit radiatoren aan de gevel waarmee zeer adequaat koudeval onder de relatief hoge glasvlakken (in verband met de eis van daglichttoetreding) kan worden voorkomen. Door de radiatoren uit te rusten met thermostaatkranen kan de fluctuatie van de bezetting (interne warmtelast) snel worden opgevangen, waarmee een constante ruimtetemperatuur wordt bereikt. Ook wordt zo de gebruiker de mogelijkheid geboden om de ruimtetemperatuur naar wens bij te stellen.

### Koeling

Door het optimaal benutten van warmte/koude accumulerend vermogen van een gebouw in combinatie met nachtventilatie en het toepassen van buitenzonwering kan ruimschoots aan de gestelde thermisch eisen frisse scholen klasse B voor de zomersituatie worden voldaan zonder toepassing van actieve koeling. De installatie is op toekomstige koeling voorbereid, zodat het aanscherpen van de eisen beperkte kosten met zich meebrengt.

## ■ TECHNISCH VERGELIJK

Er zijn veel klimaatconcepten voor schoolgebouwen denkbaar. Drie veel voorkomende concepten worden vergeleken, met als aanvulling de innovatieve variant Gangwandverdringing (zie de figuren 1 t/m 4).

In essentie is variant 4 in zijn deeloplossingen niet nieuw, maar de gehele combinatie is als zodanig nog niet eerder op deze wijze toegepast. De innovatie betreft met name de integrale oplossing van de toevoer van verse lucht via de bouwkundige schacht en gang, en via de speciale tussenwand naar het lokaal. Deze integratie zorgt voor een aanzienlijke kostenreductie aan zowel de investerings- als exploitatiekant. Veel installatiedelen komen te vervallen (kleppen, geïsoleerde toevoerkanaalen, toevoerroosters, etc.). Daarbij worden drukverliezen in het toevoersysteem daadwerkelijk verminderd, wat de benodigde ventilatorenergie aanzienlijk vermindert.

Ook op het gebied van comfort biedt de innovatieve variant voordelen. Een belangrijk pluspunt is dat aanvullende maatregelen, zoals het openen van ramen en deuren, in dit concept worden ondersteund (onderdruk). Denk ook aan de optimale luchtkwaliteit van de gangzones, die steeds vaker functioneel worden ingezet voor leerpleinen en andere bijeenkomstfuncties. Dit levert ook aanzienlijke flexibiliteit op: gangwanden kunnen zonder installatietechnische maatregelen worden weggehaald, aangezien de verse lucht vanuit de gang naar de lokalen stroomt. Verder kan het gehele gebouw in de accumulatie van warmte/koude worden betrokken, hetgeen de passieve thermische werking versterkt en actieve koeling overbodig maakt. Verdringingsventilatie kenmerkt zich door zijn hoge ventilatie-effectiviteit. Dit betekent dat de gewenste luchtkwaliteit bij lagere luchthoeveelheden kan worden gerealiseerd. Om dit te bereiken is het echter wel van belang dat er met een lichte ondertemperatuur wordt toegevoerd, zodat de verse lucht de ruimte vanaf de vloer opvult. De luchttoevoer via de plintspleet in combinatie met de passieve koeling via de koelere gebouwkern zorgt hiervoor, zonder dat actieve koeling van de ventilatielucht benodigd zal zijn. De vraaggestuurde regeling heeft tevens een grote regelbandbreedte zonder de bijkomstigheid van tocht. Hiermee kan optimaal en energiezuinig worden geprofiteerd van de gelijktijdigheid van de bezetting. Variant 3 werkt uit oogpunt van comfort en luchtkwaliteit ook volgens het principe van verdringingsventilatie (luchtverdeelszakken). Aangezien de luchtzakken zichtbaar strak dienen te hangen, kan in de praktijk niet onder de 50% worden terugge-regeld waardoor de energievoordelen beperkt zijn. Luchtzakken worden vaak gecombineerd

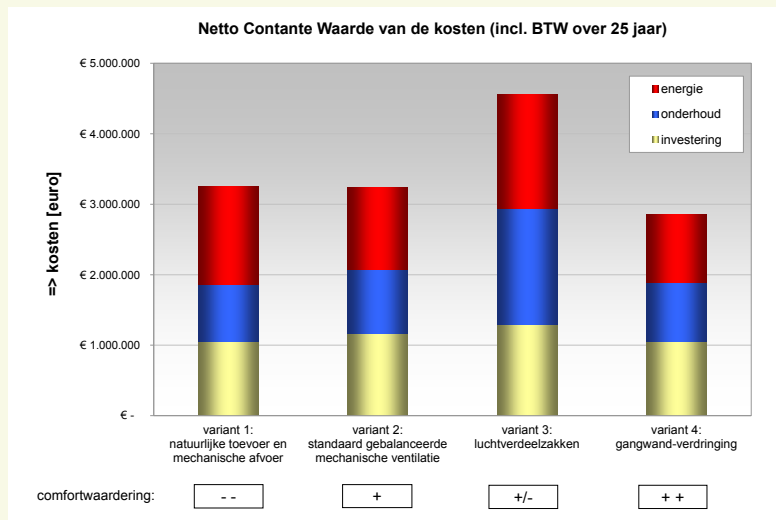
met luchtnaverwarmers, zodat geen radiatoren nodig zijn. Hierdoor dient het systeem ook gedurende de nacht in bedrijf te blijven, aangezien dan vaak een grotere warmtevraag optreedt ('s nachts geen bezetting/interne warmte-ontwikkeling en koudere buitentemperatuur). Dit brengt extra energiekosten met zich mee. Bovendien zal het verwarmen van de toevoerlucht door middel van naverwarmers de ventilatie-effectiviteit nadelig beïnvloeden, aangezien warme lucht de neiging heeft op te stijgen waardoor de verse en warme lucht onvoldoende de leefzone bereikt waar deze gewenst is. In de praktijk wordt dit bij luchtverdeelslangen opgelost door nozzles of grotere gaten in de luchtzakken op te nemen, waardoor een vorm van mengventilatie ontstaat. Hierdoor neemt echter ook de geluidsproductie toe, wat een belangrijk ontwerp-aandachtspunt zal zijn.

## ■ FINANCIËEL VERGELIJK

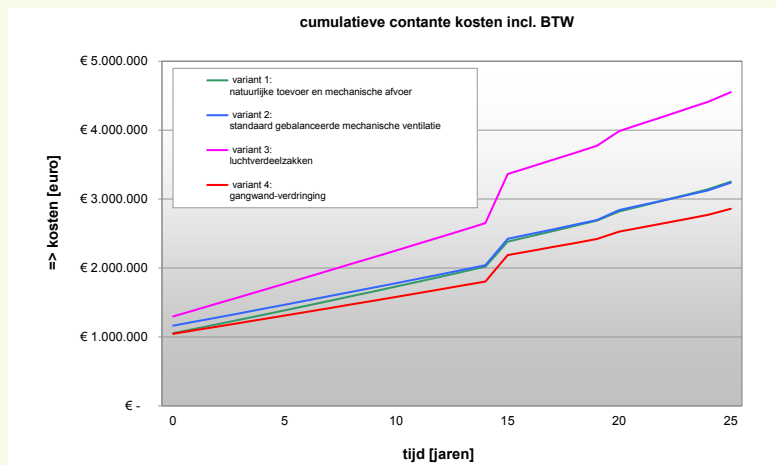
Naast de 'softe' comfortaspecten, die vaak lastig zijn te onderbouwen, zijn met behulp van levensduurkostenberekeningen wel alle financiële aspecten op het gebied van investering, energie en onderhoud te beschouwen. Door bij dezelfde technische randvoorwaarden (bouwkundig eisen, installatietechnische eisen een gebruikseisen) een integrale LCC-berekening uit te voeren, zijn naast de investeringskosten ook de exploitatiekosten over de technische levensduur te beschouwen. In de berekening zijn de gerelateerde kosten voor bouwkundig en elektrotechnisch voor de beschouwde varianten verwerkt.

In figuur 5 is duidelijk te zien dat het relatief eenvoudige concept op basis van natuurlijke ventilatie via gevelroosters goed presteert op investering en onderhoud, aangezien er relatief weinig onderhoud behoevende installatiecomponenten aanwezig zijn. Het grootste nadeel zijn de hoge energiekosten voor verwarming door het ontbreken van warmteterugwinning. Wel liggen de kosten voor luchttransport (ventilatorenergie) bij dit concept het laagst door het ontbreken van een luchttoevoersysteem. Op het gebied van comfort zijn er tochtklachten te verwachten doordat er grote hoeveelheden onverwarmde lucht in het leefgebied worden toegevoerd.

Bij variant 2 is duidelijk te zien dat de energieprestatie is verbeterd door het toepassen van een warmteterugwinsysteem. De kosten voor het transport van ventilatielucht liggen echter aanzienlijk hoger dan bij variant 1 door het aanvullende luchttoevoersysteem. Dit relatief zuinigere standaard concept resulteert echter in circa 10% hogere investeringskosten en navenant hogere onderhoudskosten. Op het gebied van comfort vormt de keuze van



-Figuur 5- Vergelijking netto contante waarde



-Figuur 6- Vergelijking cumulatieve contante kosten

luchttoevoerroosters wel een belangrijk aandachtspunt, aangezien er met de variërende luchthoeveelheden geen tochtverschijnselen op mogen treden.

Bij variant 3 is te zien dat de kostenbesparing door het vervallen van de luchtafvoerkanalen naar de ruimten niet opweegt tegen de hogere kosten van het luchtverdeelstelsel. Ook liggen ten opzichte van variant 2 de onderhoudskosten aanzienlijk hoger door het toepassen van de luchtverdelerslangen die jaarlijks gewassen dienen te worden. Ook de kosten voor luchttransport liggen hoger, doordat bij dit concept naverwarmers die in het luchttoevoersysteem zijn opgenomen voor de verwarming zorgen. Hierdoor dient ook buiten bedrijfstijd ('s nachts) bij het aanspreken van de verwarming het ventilatiesysteem in bedrijf te komen, wat extra energiekosten met zich meebrengt.

Bij het nieuwe klimaatconcept van Gangwand-verdringing (variant 4) is het energiegebruik teruggedrongen door het verlagen van de

drukverliezen (standaard toevoerkanalen ontbreken). Door de toepassing van radiatoren kunnen de luchttransportkosten verder worden teruggedrongen omdat de luchtbehandeling buiten gebruikstijd kan worden uitgezet. Radiatoren zijn nagenoeg onderhoudsvrij en zeer robuust waardoor de onderhoudskosten zich grotendeels beperken tot de centraal opgesteld units (ketels en luchtbehandelingskasten). Het principe van verdringingsventilatie voorkomt dat verse lucht op hoog niveau ongebruikt wordt afgezogen. Deze hoge ventilatie-effectiviteit minimaliseert de verse luchtbehoefte met behoudt van de gewenste luchtkwaliteit. Door de relatief eenvoudige installatieopzet blijven de investeringskosten (en daarmee ook de onderhoudskosten) zeer laag.

Figuur 6 laat goed zien hoe de netto contante waarde zich in de loop van de jaren opbouwt. Aangezien variant 4 de laagste investering heeft, begint deze in figuur 6 al met de laagste kosten. Maar ook op het gebied van energie-

kosten pakt deze variant het gunstigst uit. Alleen op het gebied van onderhoudskosten wint variant 1 het. Dit komt met name door het ontbreken van een luchttoevoerkast. Op basis van levensduurkosten ligt de keuze voor de hand. Hiermee is duidelijk dat lage exploitatiekosten niet per definitie hogere investeringskosten met zich meebrengen en dat door het ontbreken van een meerinvestering het begrip terugverdientijd hier niet eens van toepassing is.

## ■ VERHOOGING COMFORT

Het is interessant te vermelden dat variant 4 tevens een verhoging van de comfortbeleving met zich meebrengt:

- koudeval aan de gevel wordt door toepassing van radiatoren voorkomen;
- er is sprake van tochtvrije ventilatie over de gehele lengte van de plint met lage inblaasnelheid over het gehele regelbereik van de vraaggestuurde ventilatie.
- vrije koeling wordt optimaal benut door accumulatie van zoveel mogelijk gebouw-massa (nachtventilatie).

Bij nieuwbouw is er nog verdere optimalisatie mogelijk van comfort en energie door aanvulling met betonkernactivering bij variant 4. Deze variant zal op het gebied van levensduurkosten, ondanks de extra investering, nog steeds aanzienlijk beter presteren dan de varianten 1 t/m 3. Het thermisch comfort zal optimaal zijn in combinatie met de radiatoren en slechts een geringe toename van de onderhoudskosten vergen. Het concept zal met deze aanvulling nog beter zijn voorbereid op de toekomstige ontwikkeling van duurzame energieopwekking.

Ook voor andere gebouwfuncties en bij renovatie zijn er toepassingsmogelijkheden voor Gangwand-verdringing. In woningen kan, door een lagere luchtbehoefte dan bij scholen, worden volstaan met luchttoevoer via de deurspleten en kan de verse lucht in centrale gangzones worden ingeblazen. De positie van een centrale schacht maakt het mogelijk om eenvoudig en goedkoop schoon te maken.

## ■ BRON

1. Karstenberg, B., Duurzaam onderwijsgebouw verstandig voor de leerprestaties, (Kostenmanagement bouw & infra 2, juli 2013)

Het project waarin het beschreven klimaatconcept van Gangwand-verdringing zal worden toegepast bevindt zich in een voorstadium. Derhalve kan er nog niet naar een concrete praktijkreferentie worden verwezen.