

Zon-WEL

Dynamische Zonnegevel

Openbaar eindrapport

ECN - B.J. de Boer

Cepezed - J. Heijnis, J. Pesman

Free Energy Europe - P. van der Vleuten

Itho - L. van Bohemen

AGC Flat glass - A. Peters, M. Jansen

Level Energy technology - W.B. Veltkamp, P. Hoogendoorn

TNO - P. de Wilde, B. van Kampen, L. Zonneveldt, E. de Groot

Jan van der Vlucht bv - K. van der Vlucht

Rijksgebouwendienst - E. Schoenmaeckers

Verantwoording

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Programma E.E.T. (Economie, Ecologie, Technologie) een gezamenlijk initiatief van de Ministeries van Economische Zaken, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Volkshuisvesting. Het programma is uitgevoerd door het Programmabureau E.E.T., een samenwerking van Senter en Novem. EET Project nr. K01117.

economie**ecologie****technologie**

Abstract

The main goal of the Zon-WEL-project 'dynamic solarfacade' was the development of innovative facade components and facade concepts which enable an intelligent facade system that:

- adapts dynamically to actual conditions (day/night, seasons)
- is market conform (in the sense that in terms of investments, exploitation costs and esthetics it does not distinguish negatively compared to standard facade systems)
- reduces the energy use of buildings by 50% (based on EPC-calculations, this means the EPC of dwellings is 0.5 and for offices 0.7), and in the future enables energy-zero concepts.
- has a low environmental impact during the life-cycle of the facade/building (that means reducing the use of material and energy use during the phases of production, usage and demolishing)''

The project has been executed following the different phases:

- 1 Inventory of technique & market
- 2 Programme of requirements & wishes
- 3 Concept development
- 4 Development trajectory for components & systems
- 5 Demonstration, knowledge transfer

The result of the project is a facade concept (the Smartbox Energy Facade) that is market conform and reduces the building related energy use by more than 50% without any additional costs compared to business as usual. On top of that it also improves the indoor climate due to decentralised facade integrated installations.

The decentral installation-unit (the Smartbox) is integrated in the facade and takes care of the indoor climate of the space behind the facade. The facade concept can be realized without additional costs due to savings on the installations (equipment, ducts and cables) and a decreased gross floor height. The energy demand is reduced with 50% by measures like improved insulation, smart sun shading and daylight admittance combined with energy-efficient heating, cooling and ventilation. With the window integrated ETAP system daylight can be directed to the back of the room thus increasing lighting quality and decreasing the energy use of artificial lighting. More information can be found at www.smartfacade.nl

The Smartbox Energy Facade is the result of the R&D project Dynamische Zonnegevel Zon-WEL (Dutch acronym for Heat, Electricity and Light of the Sun).¹ The project is executed by ECN, TNO, Cepezed architects, Level Energy Technology, ITHO, AGC Flatglass, Free Energy Europe, Jan van der Vlucht & Zn. and the Rijksgebouwendienst.

Voorwoord

Dit rapport is door de penvoerder ECN opgesteld aan de hand van de door de partners gezamenlijk gemaakte voortgangsrapportage van het Zon-WEL project. Naast de bijdrages van de auteurs die ook op het voorblad zijn genoemd, zijn er gedurende het project ook diverse waardevolle, inhoudelijke bijdrages geweest die in dit rapport zijn opgenomen of hebben personen anderszins bijgedragen aan de totstandkoming van het eindresultaat. In het rapport is niet bij ieder onderdeel aangegeven wie eraan heeft bijgedragen. Daarom wil ik hierbij graag de volgende personen nogmaals bedanken voor hun bijdrage aan het project: E.J. Bakker, B. Jablonska, M.J.M. Jong, H.F. Kaan, F.A.T.M. Ligthart, H.H.C. de Moor, I.J. Opstelten, J. Paauw, M. Reinders, G.J. Ruijg, R. Schuitema, N.C. Sijpheer [ECN]; J. Heijnis, J. Pesman B. van Lieshout [Cepezed architecten]; L. van Bohemen, Henk-Willem Brouwer [Itho bv]; A. Peters, M. Jansen [AGC Flatglass]; W.B. Velkamp, P. Hoogendoorn [Level Energy Technology]; B. van Kampen, P. de Wilde, E. de Groot [TNO], L. Zonneveldt [TNO, TU/e] K. van der Vlucht [Jan van der Vlucht bv], E. Schoenmaeckers [Rijksgebouwendienst]. Voor de organisatie van de presentatiemiddag bij ECN gaat onze dank uit naar A.Th. Huese-Meeder [Vos en Veld] en M.J. Kuit [ECN]. Tenslotte ook een woord van dank aan M. Kavelaars van SenterNovem (EET) voor de begeleiding en adviezen gedurende het project.

Namens het Zon-WEL team,

B.J. de Boer [ECN - Penvoerder Zon-WEL]

¹ This project is supported with a grant of the Dutch Programme EET (Economy, Ecology, Technology) a joint initiative of the Ministries of Economic Affairs, Education, Culture and Sciences and of Housing, Spatial Planning and the Environment. The programme is run by the EET Programme Office, SenterNovem.

Inhoud

Verantwoording	2
Abstract	2
Voorwoord	3
Lijst van tabellen	7
Lijst van figuren	7
Samenvatting	8
1. Projectbeschrijving	9
1.1 Inleiding	9
1.2 Doelstelling van het project	9
1.3 Beoogd resultaat	9
1.4 Beoogde bijdrage aan EET doelstellingen	10
1.4.1 Economie	10
1.4.2 Ecologie	10
1.4.3 Technologie	10
1.5 Projectpartners en taakverdeling	11
1.5.1 Projectpartners	11
1.5.2 Samenwerkingsstructuur	11
1.5.3 Onderzoeksstructuur	11
1.6 Uitvoering, fasering	12
2. Taak I: Inventarisatie & analyse techniek, markt, ecologie	13
2.1 Inventarisatie & analyse techniek	13
2.1.1 Doel van de taak	13
2.1.2 Werkzaamheden	13
2.1.3 Resultaten	13
2.2 Inventarisatie & analyse markt	14
2.2.1 Doel van de taak	14
2.2.2 Werkzaamheden	14
2.2.3 Resultaten	14
2.3 Inventarisatie & analyse ecologie	15
2.3.1 Doel van de taak	15
2.3.2 Werkzaamheden	15
2.3.3 Resultaten	15
2.3.4 Conclusie	17
2.4 Synergiepunten	17
2.4.1 Doel van de taak	17
2.4.2 Werkzaamheden	17
2.4.3 Resultaten	17
3. Taak II: Programma van wensen & eisen	19
3.1 Doel van de taak	19
3.2 Werkzaamheden	19
3.3 Resultaten	19
4. Taak III: Gevelconceptontwikkeling & deelonderzoek	22
4.1 Conceptontwikkeling met behulp van PvE	22
4.1.1 Doel van de deeltaak	22
4.1.2 Werkzaamheden	22
4.1.3 Resultaten	22
4.2 Bouwfysisch en bouwtechnisch onderzoek	23
4.2.1 Doel van de deeltaak	23

	4.2.2	Werkzaamheden	23
	4.2.3	Resultaten	24
4.2.3.1		Energetische aspecten, verkennend onderzoek ECN	24
4.2.3.2		Daglicht aspecten, verkennend onderzoek TNO (licht)	25
4.3		Deelonderzoek Zon WEL: warmte, elektriciteit & licht	26
	4.3.1	Doel van de deeltaak	26
	4.3.2	Werkzaamheden	26
	4.3.3	Resultaten deelonderzoek componenten	26
4.3.3.1		Vacuümisolatiepanelen (VIP)	26
4.3.3.2		Regelbare vacuümisolatie	26
4.3.3.3		PV op vacuümpanelen	28
4.3.3.4		Doorzicht PV panelen	29
4.3.3.5		'Slimme beglazing'	29
4.3.3.6		Installatieunit Climate Control Unit (CCU) of 'Smartbox'	30
4.4		Voorlopig gevelontwerp	33
	4.4.1	Doel van de deeltaak	33
	4.4.2	Werkzaamheden	33
	4.4.3	Resultaat	34
4.5		Metingen aan componenten	34
	4.5.1	Doel van deze deeltaak	34
	4.5.2	Werkzaamheden	34
	4.5.3	Resultaten	34
4.5.3.1		Decentrale installatie unit [Level]	34
4.5.3.2		Semi-decentrale installaties [Itho]	36
	4.5.4	Evaluatie en definitieve keuze	36
5.		Taak IV: Ontwikkeling van componenten en systemen	37
	5.1	Definitief ontwerp Zon-WEL testgevel (componenten en gevelsysteem)	37
	5.1.1	Doel van de deeltaak	37
	5.1.2	Werkzaamheden	37
	5.1.3	Resultaat	37
	5.1.3.1	<i>Problematiek</i>	37
	5.1.3.2	Oplossingsrichting	37
	5.1.3.3	Concept	38
	5.1.3.4	Kenmerken	38
	5.2	Bouwen van prototype gevels	39
	5.2.1	Realiseren en meten van testopstellingen.	40
	5.2.2	Toetsen van Zonnegevel op bouwkundige en functionele eisen.	40
	5.2.2.1	Metingen energieprestatie testgevel ECN	41
	5.2.2.2	Lichtopbrengst metingen en resultaten TNO	46
	5.2.2.3	Kosten-baten analyse	47
6.		Taak V: Demonstratie, kennisoverdracht	49
	6.1	Doel van deze taak	49
	6.2	Werkzaamheden	49
	6.3	Resultaat	49
	6.3.1	Demonstratie-materiaal	49

6.3.2	Eindpresentatie	49
6.3.3	Website	50
6.3.4	Artikelen, publicaties	50
7.	Conclusies	52
7.1	Eindconclusie	52
7.2	Commerciële vooruitzichten van het E.E.T.-project	52
7.3	Vervolgtraject, pilot-project	53
Bijlage A	Schetsen Gevelsystemen Zon-Wel	54
Bijlage B	Simulaties Zon-WEL basis variant	55
Bijlage C	Bijlage 3 Schetsontwerpen Climate Control Unit	57
Bijlage D	Ontwerp Zon-WEL gevel testgevel	58
Bijlage E	Schetsontwerp Zon-WEL gevel	59
Bijlage F	Definitief Ontwerp Zon-WEL testgevel	60
Bijlage G	Foto's realisatie testgevel	61

Lijst van tabellen

<i>Tabel 1</i> Overzicht maatregelen van de Zon-WEL basisvariant	24
<i>Tabel 2</i> Warmte- en koudevraag en overschrijdingsuren bij verschillend installatievermogen ..	25
<i>Tabel 3</i> Rekenwaarden voor berekening effect regelbare isolatie	27
<i>Tabel 4</i> Keuzetabel voor ventilatie in semi- decentraal systeem	33
<i>Tabel 5</i> Resultaten van de blowerdoortest	42
<i>Tabel 6</i> Overzicht maatregelen van de Smartfacade vergeleken met standaard nieuwbouw	45
<i>Tabel 7</i> Investerings- en exploitatielasten van traditioneel gevelsysteem versus Smartfacade ..	48

Lijst van figuren

<i>Figuur 1</i> Schetsen van in de gevel geïntegreerde installaties	22
<i>Figuur 2</i> Schetsen Zon-WEL concept	23
<i>Figuur 3</i> Koelvermogen inclusief hulpenergie als functie van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten	28
<i>Figuur 4</i> Opbouw mogelijkheden vacuüm-PV paneel	28
<i>Figuur 5</i> Opengewerkt monster vacuümisolatiepaneel (links) en a-Si in isolatieglas (rechts) ..	29
<i>Figuur 6</i> Luxaclair met retroreflecterende lamellen	30
<i>Figuur 7</i> Eerste ontwerptekeningen van het CCU concept	31
<i>Figuur 8</i> Ruimtelijke weergave CCU met luchtstromingsrichtingen	31
<i>Figuur 9</i> Overzicht van de verschillende ventilatieprincipes	32
<i>Figuur 10</i> Voorlopig ontwerp Zon-WEL gevel	34
<i>Figuur 11</i> Transparant prototype van de Smartbox of RCCS	35
<i>Figuur 12</i> Foto van het (opengewerkte) prototype van de decentrale WTW-ventilatieunit	36
<i>Figuur 13</i> Zon-WEL testgevel ECN Petten	39
<i>Figuur 14</i> Testruimte TU/e met meetcomputer en luminantcamera	39
<i>Figuur 15</i> Meetruimte met de semi-decentrale installaties(l) en de Smartbox (r)	40
<i>Figuur 16</i> Plattegrond (van de begane grond) en zijaanzicht van de testwoning	40
<i>Figuur 17</i> De installaties op de begane grond (onder) en de verdieping (boven) in de draaibare onderzoeksfaciliteit van ECN	41
<i>Figuur 18</i> Infrarood opnamen van de Smartfacade	42
<i>Figuur 19</i> Afgenomen elektrisch vermogen begane grond (Itho ruimte)	43
<i>Figuur 20</i> Elektrisch vermogen eerste verdieping (Level ruimte)	44
<i>Figuur 21</i> Gemeten comfort niveau in beide ruimten	44
<i>Figuur 22</i> Energiebesparingspotentieel van de Smartbox energy facade in vergelijking met een standaard referentiekantoor	45
<i>Figuur 23</i> Principe schets van de werking van het ETAP systeem (links) en foto van lamellen zonder en met retroreflecterende coating (rechts)	46
<i>Figuur 24</i> Afbeeldingen van de kantoorcel (links), referentie kantoor (midden) en Zonwel kantoor (rechts)	47
<i>Figuur 25</i> Foto's van de eindpresentatie bij ECN (juni 2007)	49
<i>Figuur 26</i> Selectie van twee pagina's van de website www.smartfacade.nl	50

Samenvatting

De hoofddoelstelling van het Zon-WEL-project 'dynamische zonnegevel' was het ontwikkelen van innovatieve gevelcomponenten en gevelconcepten die leiden tot een intelligent gevelsysteem dat:

- zich aanpast aan heersende condities (dag/nacht, seizoenen)
- marktconform is (d.w.z. zich qua investering, exploitatiekosten en esthetiek niet negatief onderscheidt van gangbare gevelsystemen)
- een halvering van het gebouwgebonden energiegebruik realiseert (op basis van EPC-berekeningen: EPC woningen van 0,5 en EPC kantoren van 0,7), later zelfs energie-nul concept
- over de gehele levensketen een lage milieu-impact heeft (vermindering materiaal- en energiegebruik tijdens productie- en gebruiksfase, goede hergebruiksmogelijkheden)”

Het project is gefaseerd uitgevoerd en bestond uit de volgende onderdelen:

- 1 Inventarisatie techniek & markt
- 2 Programma van wensen & eisen
- 3 Conceptontwikkeling
- 4 Ontwikkeltraject voor componenten & systemen
- 5 Demonstratie, kennisoverdracht

Het resultaat van het project is een marktconform gevelconcept (de Smartbox Energy Facade) dat zonder meerkosten een halvering van het gebouwgebonden energiegebruik mogelijk maakt en bovendien een verbetering van het binnenklimaat geeft. De in het project ontwikkelde, decentrale installatie-unit (de Smartbox) is geïntegreerd in de gevel en regelt het binnenklimaat van de achterliggende ruimte. Het gevelconcept kan, in vergelijking met standaard nieuwbouwkantoren zonder meerkosten worden uitgevoerd door de besparingen op installaties (kanalen en leidingen) en een bruto lagere verdiepingshoogte. De energievraag wordt gehalveerd door o.a. betere isolatie, slimme zonwering en daglichttoetreding gecombineerd met energie-efficiënte verwarming, koeling en ventilatie. Met het ETAP daglichtsysteem kan daglicht verder de ruimte in worden gebracht waarmee het lichtcomfort toeneemt en het energiegebruik (voor kunstlicht) afneemt. Meer informatie over het gevelconcept is tevens te vinden op www.smartfacade.nl

De Smartbox Energy Facade is ontwikkeld binnen het onderzoeksproject Dynamische Zonnegevel Zon-WEL (Warmte, Elektriciteit en Licht van de zon).² Het onderzoek is uitgevoerd door ECN, TNO, architectenbureau Cepezed, Level Energy Technology, ITHO, AGC Flatglass, Free Energy Europe, Jan van der Vlugt & Zn. en de Rijksgebouwendienst.

² Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Programma E.E.T. (Economie, Ecologie, Technologie) een gezamenlijk initiatief van de Ministeries van Economische Zaken, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Volkshuisvesting. Het programma wordt uitgevoerd door het Programmabureau E.E.T., een samenwerking van Senter en Novem.

1. Projectbeschrijving

1.1 Inleiding

De gevel zoals die traditioneel wordt ontworpen en gemaakt, is een vrij log en statisch systeem dat onder andere als functie heeft licht door te laten en warmte tegen te houden. Nieuwe materialen maken het mogelijk om een gevel de rol van “energie-opwekker” te geven (d.m.v. zonnepanelen en thermische collectoren), of om de warmte-uitwisseling te reguleren (d.m.v. schakelbare vacuümisolatie en intelligente beglazing).

Een dynamische gevel, die ontstaat door innovatieve materialen en technieken zoals vacuümisolatie, ‘slimme’ zonwering en daglichttoetreding en innovatieve installatietechnieken toe te passen, maakt het mogelijk om een comfortverhoging te combineren met minimaliseren van de energiebehoefte. Een dynamische zonne-energie gevel kan in een noodzakelijke vermindering van de behoefte aan fossiele energie voorzien, duurzame energie genereren en daarnaast een comfortabel binnenklimaat verzorgen.

Naast energie besparen en comfortverhogen is het van groot belang om de gevelsystemen betaalbaar te houden door bijvoorbeeld zo veel mogelijk te prefabriceren. Hierdoor wordt in de bouwwereld industriële kwaliteit en nauwkeurigheid in de uitvoering verkregen, resulterend in betere, goedkopere, energiezuinige gebouwen met een hoger comfortniveau.

1.2 Doelstelling van het project

De hoofddoelstelling van het Zon-WEL-project was het ontwikkelen van innovatieve gevelcomponenten en gevelconcepten die leiden tot een intelligent gevelsysteem dat:

- zich aanpast aan heersende condities (dag/nacht, seizoenen)
- marktconform is (d.w.z. zich qua investering, exploitatiekosten en esthetiek niet negatief onderscheidt van gangbare gevelsystemen)
- een halvering van het gebouwgebonden energiegebruik realiseert (op basis van EPC-berekeningen: EPC woningen van 0,5 en EPC kantoren van 0,7), later zelfs energie-nul concept
- over de gehele levensketen een lage milieu-impact heeft (vermindering materiaal- en energiegebruik tijdens productie- en gebruiksfase, goede hergebruiksmogelijkheden)

Door het ontwikkelen van nieuwe gevelcomponenten en deze te combineren en integreren in gevelconcepten wordt de basis gevormd voor zeer energiezuinige, maar toch betaalbare gebouwen. Het uiteindelijke streven is om op langere termijn te komen tot economisch aantrekkelijke energie-nul concepten voor zowel woningen (vooral renovatie van gestapelde bouw) als kantoren.

1.3 Beoogd resultaat

Het gewenste resultaat volgens het projectvoorstel was een op benutting van zonne-energie gebaseerd dynamisch gevelconcept voor gestapelde woning- of utiliteitsbouw, dat op het gebied van duurzame energie benutting, energiebesparing en comfortniveau een doorbraak betekent ten opzichte van weliswaar modern ogende maar functioneel feitelijk ‘traditionele’ gevels.

De te ontwikkelen Zonnegevel, zoals door het consortium werd beoogd, zou modulair, in schillen, opgebouwd moeten zijn waarbij de eindgebruiker de keuzevrijheid heeft om de gevel meer of minder intelligent uit te voeren. Combinaties met andere gebouwdelen (zoals vloeren of daken) dienen hierbij eenvoudig gemaakt te kunnen worden.

Het eindresultaat diende een gevelconcept te worden waarmee de gebouwgebonden energiebehoefte in de woning- en utiliteitsbouw, zowel bij renovatie als nieuwbouw, tegen beperkte meerkosten gehalveerd kan worden en waarmee uiteindelijk gebouwen met een netto nul energiegebruik (mede) gerealiseerd kunnen worden.

1.4 Beoogde bijdrage aan EET doelstellingen

Het programma Economie, Ecologie, Technologie (E.E.T.) ondersteunt innovatieve instellingen en bedrijven om samen te werken aan technologische innovatie. Op welke wijze dit project heeft kunnen bijdragen aan het verbeteren van deze drie onderdelen staat hieronder beschreven.

1.4.1 Economie

Door nieuwe en verbeterde producten zal een vergroting van de bestaande marktaandelen van de partners kunnen worden gerealiseerd. Deze marktgroei is niet beperkt tot Nederland maar zal tot een vergroot marktaandeel in met name West-Europa kunnen leiden. De markt voor de nieuw te ontwikkelen technologieën en gevelconcepten beperkt zich voor de meeste partners tot de architecturale sector. Het marktaandeel op middellange termijn, zal naar verwachting zeer hoog zijn.

1.4.2 Ecologie

Dit project is gericht op de ontwikkeling van verbeterde en nieuwe energieconversie- en besparingstechnieken, productietechnologie en integratie van duurzame energiesystemen in gevels. Doel hierbij was maximalisatie van duurzame energiebronnen waardoor minimalisatie van de inzet van fossiele brandstoffen mogelijk wordt. Bij de ontwikkeling van de duurzame gevelcomponenten en systemen heeft aandacht voor milieuaspecten over de totale levenscyclus (LCA) voorop gestaan.

1.4.3 Technologie

Om de zonnegevel te realiseren was componentontwikkeling, onderlinge afstemming en integratie noodzakelijk. Er is op drie gebieden van zonne-energiebenutting onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van componenten tot een gevelement:

- (Regelbare) vacuümisolatie en thermische zonne-energiebenutting (Zon-thermisch)
- Dunne-film en doorzicht zonnepanelen (Zon-fotovoltaïsch)
- Intelligente, lichtregulerende beglazing (Zon-lichttoetreding)

Daarnaast is de ontwikkeling van een gevelgeïntegreerde unit met installaties (de Smartbox) een belangrijk onderdeel van het project geweest. De componenten zijn geïntegreerd tot een modulair systeem dat energiezuinig, gebruikersvriendelijk, goedkoop en toch kwalitatief hoogwaardig is. In dit project werd een conceptuele ontwikkeling nagestreefd waarbij de componenten simpel aan elkaar gekoppeld en gecombineerd kunnen worden.

1.5 Projectpartners en taakverdeling

1.5.1 Projectpartners

In het project werkte een groot aantal partijen samen, te weten:

- ECN
- Cepezed
- Free Energy Europe
- Itho
- Level Energy Technology
- AGC Flatglass
- Rijksgebouwendienst
- TNO
- Van der Vlucht

ECN en TNO zijn leidende onderzoeksorganisaties op het gebied van energie en gebouwen. Het architectenbureau Cepezed is toonaangevend in het ontwikkelen en toepassen van geavanceerde gebouwtechnologie. Level Energy Technology heeft ervaring in onderzoek en ontwikkeling van energiebesparende producten, zoals tegenstroom warmtewisselaars voor lucht, vacuüm isolatie en collectoren met thermisch gelaagde seizoenopslag. AGC Flatglass is een van de belangrijkste glasindustrieën in Nederland. Van der Vlucht is actief zowel in ontwikkeling en vervaardiging van gevelconstructies als in projectontwikkeling. Free Energy Europe was bij de start van het project de enige Nederlandse fabrikant van amorfe zonnecellen. Itho (tevens eigenaar van ZEN) heeft een belangrijk aandeel in de mechanische ventilatie en warmteterugwinningsmarkt en via haar dochterbedrijf ZEN ook in zonnecollectormarkt. De Rijksgebouwendienst zorgt voor de huisvesting van rijksdiensten, zelfstandige bestuursorganen en internationale organisaties en is bij uitstek geschikt om als potentieel ‘eindgebruiker’ van het in het EET project ontwikkelde zonnegevel-concept op te treden.

1.5.2 Samenwerkingsstructuur

De projectcoördinatie lag bij ECN, per taak was er echter een aparte taakleider verantwoordelijk voor de uitvoering van de deelprojecten. De partners hebben elk een projectleider en contactpersoon voor coördinatie van de werkzaamheden binnen het eigen bedrijf aangewezen. Er is regelmatig, circa eens in de vier tot acht weken, een werkbespreking gehouden tussen de taak- en projectleiders om de werkzaamheden te evalueren en op elkaar af te stemmen. Dit gebeurde op initiatief en onder voorzitterschap van de penvoerder (projectleider/coördinator bij ECN), die eveneens de contacten met het E.E.T.-programmabureau en de externe contacten onderhield. Daarnaast is er frequent bilateraal werkoverleg in klein comité tussen de verschillende projectpartners geweest.

1.5.3 Onderzoeksstructuur

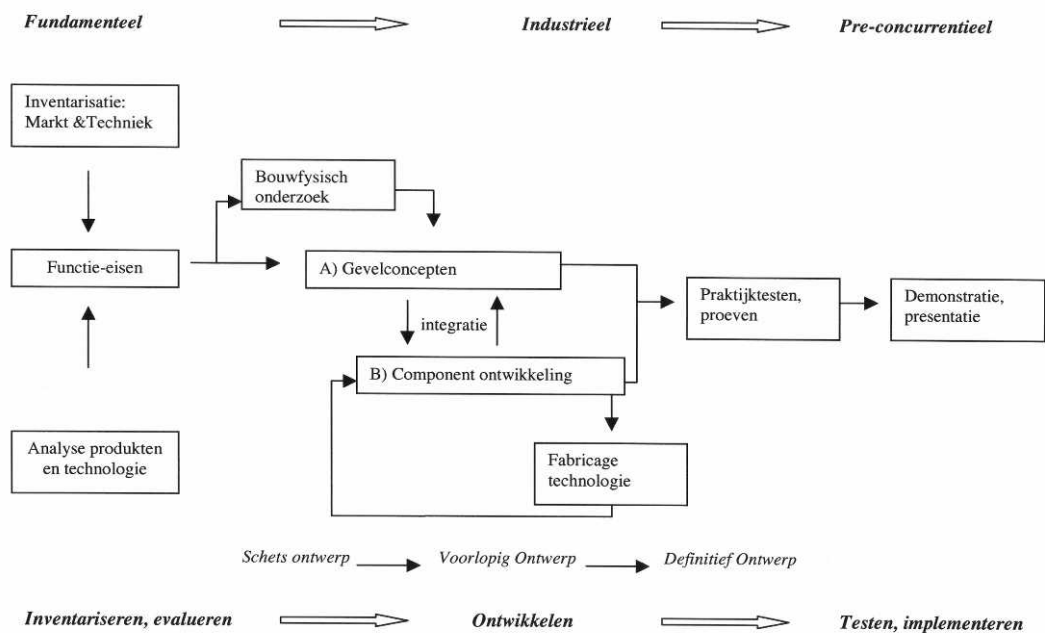
De componenten konden nog beter tot hun recht komen doordat er naast de ontwikkelingen op productniveau een integraal energetisch, systeemtechnisch en bouwkundig ontwerp is gemaakt, waarbij de gebruiker van het gebouw centraal bleef staan. De componentontwikkeling werd versterkt door systeemstudies (simulaties) en duidelijke functie-eisen vanuit de gebruikerskant. Hiermee kon de complementariteit worden bevorderd, het comfortniveau van het dynamische zonnegevelsysteem zo hoog mogelijk worden gehouden en tegelijkertijd het energiegebruik en de kosten zo laag mogelijk worden.

Er is uitgegaan van een ambitieuze ontwikkellijn voor een dynamisch zonnegevelconcept bestaande uit:

- dichte delen met (regelbare) vacuümisolatiepanelen en PV panelen aan de voorzijde;

- doorzichtige delen die actief reageren op de zonnestraling en zorgen voor de gewenste zonwering en verlichtingsniveaus zonder comfortaspecten, uitzicht en belevingswaarde tekort te doen;
- warmtebenutting door middel van passieve of actieve zonne-energiebenutting met collectoren, raam- of gevelspouwen gecombineerd met ventilatie en warmteterugwinning

Het dynamische karakter van de gevel is met name verkregen door de ontwikkeling van de gevelgeïntegreerde installatie-unit. Voor de ontwikkeling van de innovatieve componenten was onderzoek benodigd. Door de ontwikkeling van de componenten, waarbij de flexibiliteit in de maatvoering, op elkaar is afgestemd ontstond een modulaair systeem waarbij de componenten als uitwisselbare modules in de schil naar keuze 'samengesteld' kan worden.



Figuur 1 Onderzoeksstructuur Zon WEL Dynamische Zonnegevel

1.6 Uitvoering, fasering

Het onderzoek is gedurende een periode van vier jaar gefaseerd en in (deel-)taken uitgevoerd. Deze taken konden deels parallel worden uitgevoerd. Er zijn vijf taken geformuleerd die elk weer uit deeltaken bestonden.

- Taak 1: Inventarisatie & analyse techniek, markt, ecologie
- Taak 2: Programma van wensen & eisen
- Taak 3: Gevelconceptontwikkeling & deelonderzoek
- Taak 4: Ontwikkeling van componenten, systemen en productietechnieken
- Taak 5: Demonstratie, kennisoverdracht

In de volgende hoofdstukken worden de doelen, de werkzaamheden en de resultaten van bovenstaande taken beschreven.

2. Taak I: Inventarisatie & analyse techniek, markt, ecologie

2.1 Inventarisatie & analyse techniek

2.1.1 Doel van de taak

De inventarisatie heeft ten doel gehad:

- inzicht te geven in toepasbaarheid van interessant geachte technieken, componenten
- kennis te nemen van relevante, nieuwe ontwikkelingen
- mogelijke systeemcombinaties voor toepassing in Zon-WEL te identificeren

2.1.2 Werkzaamheden

In deze fase is de huidige stand van de techniek en aanwezige kennis bij de partners in kaart gebracht. Er is gekeken naar nieuwe productietechnologieën, verwachte toekomstige ontwikkelingen en systeemcombinaties die voor zonnegevels die denkbaar zijn. De drie te onderzoeken technologieën betroffen zon-photovoltaïsch, zon-thermisch en zon-lichtbenutting/zonwering.

Door de eerste gegenereerde ideeën voor te leggen aan de RGD als potentieel eindgebruiker wordt duidelijk welke aspecten de gebruiker met name waardeert en belangrijk acht. Door slimme combinaties van componenten te maken kan de Zon-WEL gevel meerwaarde krijgen. Er is een vergelijking tussen 'zonnegevels' en standaard gevels gemaakt door de effecten op het milieu van 'wieg tot graf' middels de Life Cycle Analysis (LCA)- methodiek te beschouwen.

2.1.3 Resultaten

Voor warmtapwaterbereiding in woningen is in Nederland de afgedekte vlakke plaatcollector van ruim 4 m² in combinatie met een voorraadvat van circa 100 liter het meest geschikt. Voor ruimteverwarming is de vacuümbuiscollector geschikter omdat deze in het stookseizoen beter presteert. Er is in dit geval een opslagmedium nodig van enkele duizenden liters water of het equivalent hiervan aan wamteopslagcapaciteit. Mede om die reden worden zonneboilers voor ruimteverwarming niet algemeen toegepast. Voor montage in de zuidgevel moet voor beide typen worden gerekend met een rendementsverlies van circa 25% ten opzichte van de ideale hoek van rond de 40 graden. Toepassing in de gevel ligt hierdoor niet voor de hand.

Bij toepassing van hoogrendement warmteterugwinning uit de ventilatielucht is een luchtcollector overbodig omdat de warmte voor 90-95% wordt teruggewonnen. Als warmteterugwinning niet wordt toegepast kan de luchtcollector een beperkte bijdrage leveren bij het verwarmen van de ventilatielucht. Luchtcollectoren kunnen 's winters wek gebruikt worden om buitenlucht voor te verwarmen tot boven het vriespunt, denk bijvoorbeeld aan bodembuizen. Het aanbod van zonnewarmte is echter voor een groot deel asynchroon met de warmtevraag. Dat een luchtcollector al of niet in combinatie met een 'Trombe muur' rendabel kan werken is nog niet aangetoond hoewel het systeem al lang bestaat.

Systemen bestaande uit PV-panelen in combinatie met zonnecollectoren (PVT panelen) zijn inmiddels op de markt gekomen. Overigens gelden voor deze systemen dezelfde beperkingen als voor bovengenoemde collectoren. De behoefte aan kortere of langere termijn warmteopslag (en een warmtepomp) drijven de investeringen op tot boven een op dit moment voor de bulk van de markt acceptabel niveau. Warmteterugwinning voor ventilatielucht en douchewater hebben een hoger rendement op de investering.

Aan de ontwikkeling van TIM (translucente isolatie materialen) is door veel onderzoeksinstituten rond 10 jaar geleden veel aandacht besteed. Met de komst van dubbel glas met een U-waarde in de buurt van 1 W/m².K is de belangrijkste grond voor verdere

ontwikkeling weggevallen; het invangen en isoleren van zonnewarmte. Voor toepassingen van daglichtregulering zijn inmiddels ook veelzijdiger en intelligentere mogelijkheden voorhanden.

Vacuüm isolatie en vacuüm glas zijn beiden veelbelovende technieken. Vacuüm isolatie kan in bepaalde, compacte constructies nuttig zijn bij het voorkomen van koudebruggen. Als ruimtewinst wordt meegerekend is vacuüm isolatie al gauw rendabel toe te passen. Panelen met instelbare isolatiewaarde lijken voor woningen en kantoren minder goed toepasbaar. De afkoeling die door het uitschakelen van de isolatie in de zomer wordt bereikt is beperkt en minder effectief dan bijvoorbeeld zomer-nachtventilatie. Bovendien heeft het koelend oppervlak (de buitengevel) een zeer asymmetrische koudestraling tot gevolg hetgeen comfortproblemen geeft.

Photovoltaïsche (PV) panelen kunnen op vele plaatsen worden toegepast en ook in de gevel. Bij integratie in een zuidgevel neemt de opbrengst af tot circa 75% van het maximum. De toepassing van PV wordt zonder subsidie op dit moment nog veelal te duur gevonden maar het brengt wel zeer specifieke architectonische mogelijkheden met zich mee. De combinatie met daglichttoetreding kan esthetisch attractief zijn maar heeft het nadeel niet instelbaar te zijn (het concept van PV-lamellen als zonwering is hierop een uitzondering).

Alle vaste voorzieningen voor zonwering en daglichtsturing, anders dan prismatische, brengen een vermindering van de toetreding van daglicht met zich mee. Vormen van lichtplanken binnen of buiten de gevel kennen het probleem van vervuiling. Om onder alle omstandigheden de juiste zonwerings- en daglicht regelingscondities te kunnen creëren is een aanpasbaar systeem nodig. Het 'zonnediode raam' bijvoorbeeld, is aanpasbaar aan zomer- en wintercondities. Echter zomer- en winterseizoen lopen in elkaar over; in de zomer komen koude periodes voor en omgekeerd. Een aanpasbaar systeem is daarom te verkiezen boven een twee-standensysteem.

2.2 Inventarisatie & analyse markt

2.2.1 Doel van de taak

Om de wensen en eisen van de uiteindelijke gebruikers te inventariseren is binnen de Rijksgebouwendienst een groep van deskundigen geformeerd die in het project als een klankbordgroep fungeerde.

2.2.2 Werkzaamheden

Door potentiële eindgebruikers in het ontwerpproces te raadplegen is een goede feedback gekregen van aspecten die van belang zijn voor de beoogde technologieontwikkeling. Door de eerste gegenereerde ideeën voor te leggen, werd duidelijk welke aspecten de potentiële eindgebruiker belangrijk acht en of het projectteam met het concept op de goede weg zit.

2.2.3 Resultaten

Bij de toetsing van het eerste Zon-WEL concept (zie 4.1.3 Resultaten) door de Rijksgebouwendienst kwam naar voren dat men enthousiast over het getoonde concept was. Er werden wel een aantal mogelijke knelpunten genoemd en er werden aandachtspunten voor de verdere uitwerking aangereikt. Het ging hierbij om onder meer de volgende punten:

- In kantoortuinen is de akoestiek vaak een probleem. Hier wordt vaak gebruik gemaakt van 'schotten' hangend aan het plafond (baffels) en deze verstoren het gewenste coanda-effect (de luchtstroom die blijft 'plakken' aan het plafond)
- Als de warmtewisselaar van de warmtepomp lek raakt kan dan koelmiddel in de ruimte worden verspreid?
- Dwarsventilatie door het gebouw bij openstaande deuren is mogelijk een probleem.
- Moet bij onderhoud het apparaat van zijn plaats?
- Moet bij vervangen van de filters het bureau van zijn plaats?
- Kan het reguliere onderhoud ingepast worden in het totale onderhoud van het gebouw?

- Bij ontdooien van de warmtewisselaar vindt recirculatie plaats. Dit moet tot het minimum worden beperkt.
- De decentrale installatie units vergen elke 1.20 meter een aparte elektrische aansluiting.

Op basis van de onderzoeksresultaten en na het voorleggen van de eerdere resultaten aan de klankbordgroep is besloten dat het concept voor verdere ontwikkeling geschikt is. Zie ook 4.5.4 Evaluatie en definitieve keuze voor meer informatie.

2.3 Inventarisatie & analyse ecologie

2.3.1 Doel van de taak

Om te kunnen waarborgen dat het ontwikkelde gevelconcept ook goed presteert ten aanzien van de milieubelasting is bepaald wat het milieuprofiel van de Zon-WEL gevel in vergelijking met standaardgevels is. De milieuprestatie in de verschillende fases (realisatie, gebruik en afdanking) van de Zon-WEL gevel is bepaald door de effecten van grondstoffen/materiaalgebruik, energiegebruik en afval te beschouwen. Deze analyse is gemaakt op basis van het ontwikkelde Zon-WEL concept dat in hoofdstuk 4 beschreven wordt.

2.3.2 Werkzaamheden

Er is een kwantitatieve vergelijking gemaakt tussen de milieu-effecten bij huidige gangbare productietechnieken en het beoogde gevelconcept. Er is in een vergelijking gemaakt tussen een kantoorgebouw met de 'Zon-WEL gevel' en een gebouw met standaard gevels door de effecten op het milieu van 'wieg tot graf' middels de Life Cycle Analysis (LCA) - methodiek te beschouwen.

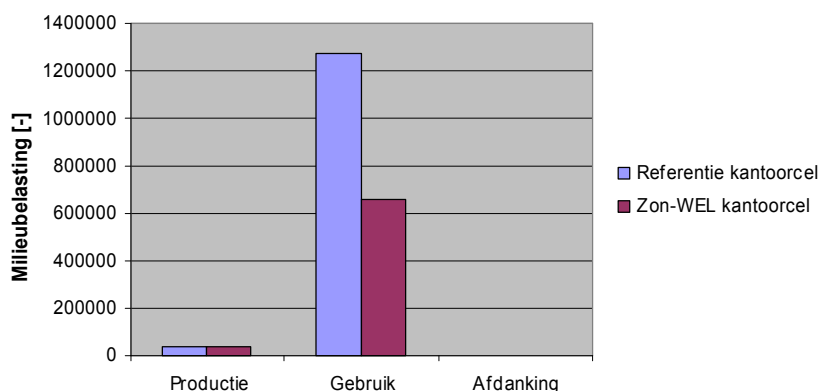
2.3.3 Resultaten

Het doel van een milieugerichte levenscyclusanalyse (LCA) is het systematisch vaststellen van de milieuprestatie van een product. Het principe van deze methode berust op een inventarisatie van de interactie tussen het product en het milieu. Hierbij wordt de gehele levensduur in beschouwing genomen.

De milieubelasting van de referentie kantoorcel wordt bepaald door per fase in de levenscyclus te kijken naar de interactie met het milieu. Er worden drie fasen onderscheiden, te weten productie, gebruik en afdanking. Per fase spelen andere factoren een rol bij deze interactie.

De resultaten van de bepaling van de milieuprestatie van de Zon-WEL gevel, zoals wordt beschreven in hoofdstuk 4, in vergelijking met een standaard gevel zijn in onderstaande figuur weergegeven:

Milieuprestatie Zon-WEL en referentie kantoorcel



Figuur 2 Milieuprofiel van de Zon-WEL kantoorcel vergeleken met een referentiekantoorcel.

Deze milieuprestatie is bepaald met het programma Sima Pro. De berekende milieubelasting staat weergegeven op de y-as, en geeft voor de drie levensfasen productie, gebruik en afdanking de score aan van de Zon-WEL kantoorcel in vergelijking met de referentiekantoorcel:

- Productie

De productiefase in de levenscyclus van een product kenmerkt zich door productie en assemblage. Voor deze fase worden in een LCA alle materialen van het product met bijbehorende hoeveelheid geïnventariseerd. Daarnaast wordt informatie verzameld over de productie- en assemblageprocessen. Voor de Zon-WEL kantoorcel is primair gekeken naar de toegepaste materialen.

De Zon-WEL kantoorcel heeft in de productiefase een betere milieuprestatie dan de referentiekantoorcel, omdat er door de gereduceerde verdiepingshoogte minder van dezelfde bouwmaterialen in het concept verwerkt zijn. Dit betekent automatisch minder uitputting van grondstoffen en minder energiegebruik bij productie. In de vergelijkingsstudie is de impact van materiaalgebruik van de installaties niet meegenomen.

- Gebruik

De gebruiksfase in de levenscyclus van een product, betreft de periode tussen aanschaf en afdanking. De fase kenmerkt zich door energiegebruik met de daarbij behorende emissies, zoals CO₂ uitstoot. De milieuprestatie van een product gedurende zijn gebruiksfase is daardoor sterk afhankelijk van het type energiedrager dat wordt gebruikt en de manier waarop deze energie opgewekt is. Energieprestatie van het product speelt dus een belangrijke rol in de mate van milieubelasting in de gebruiksfase.

Het energiegebruik van het Zon-WEL concept is ongeveer een derde van het energiegebruik door de referentie kantoorcel. Dit betekent niet automatisch een drie keer betere milieuprestatie; het type energiedrager (gas of elektra) is immers ook van belang. Het elektriciteitsgebruik wordt in de vergelijking zwaarder gewogen en uiteindelijk presteert de Zon-WEL kantoorcel hierdoor een factor twee beter dan de referentie kantoorcel.

- Afdanking

De afdanking vormt de laatste fase in de levenscyclus van een product. Afdanking houdt in, dat het product wordt gestort, verbrand of gerecycled. Afdanking is over het algemeen een proces dat energie kost; door benutting van verbrandingswarmte kan echter ook energie opgewekt

worden. Hieruit volgt dat in de afdankingfase zowel een positief als negatief energiegebruik geconstateerd worden.

De afdankingsfase heeft minimale invloed op het milieuprofiel van de Zon-WEL gevel. Desondanks scoort de Zon-WEL gevel in deze fase van de levenscyclus wederom beter omdat meer recyclebare materialen worden toegepast.

2.3.4 Conclusie

In de gebruiksfase wordt duidelijk dat de milieuprestatie beter is door de betere gebouwschil en de energie efficiëntere installaties die in de Zon-WEL gevel zijn toegepast. De Zon-WEL kantoorcel scoort ongeveer een factor twee beter op het milieuprofiel dan de referentie kantoorcel. Dit komt vooral door het lagere energiegebruik in de gebruiksfase. Ook in de productie- en afdankingfase scoort de Zon-WEL gevel beter, maar het effect hiervan op het milieuprofiel is minimaal.

De betere energiestaat van de Zon-WEL gevel geeft niet een geheel evenredige verbetering van de milieuprestatie. Oorzaak hiervan is het verschil in energiedrager voor warmte-opwekking: in de referentiesituatie wordt aardgas gebruikt voor verwarming en in de Zon-WEL kantoorcel elektriciteit. Omdat voor de elektriciteitsopwekking in Europa een mix van fossiele, duurzame en nucleaire bronnen is genomen, geeft dat een zwaardere milieubelasting per opgewekte MJ elektriciteit dan het opwekken van elektriciteit door middel van uitsluitend gasgestookte elektriciteitscentrales. Door het feit dat de energiedrager elektriciteit relatief veel invloed heeft op de milieuprestatie van de Zon-WEL gevel, kan de milieubelasting effectief worden teruggebracht door meer gebruik te maken van duurzame bronnen bij het opwekken van elektriciteit, en het reduceren van fossiele en nucleaire bronnen in deze mix.

2.4 Synergiepunten

2.4.1 Doel van de taak

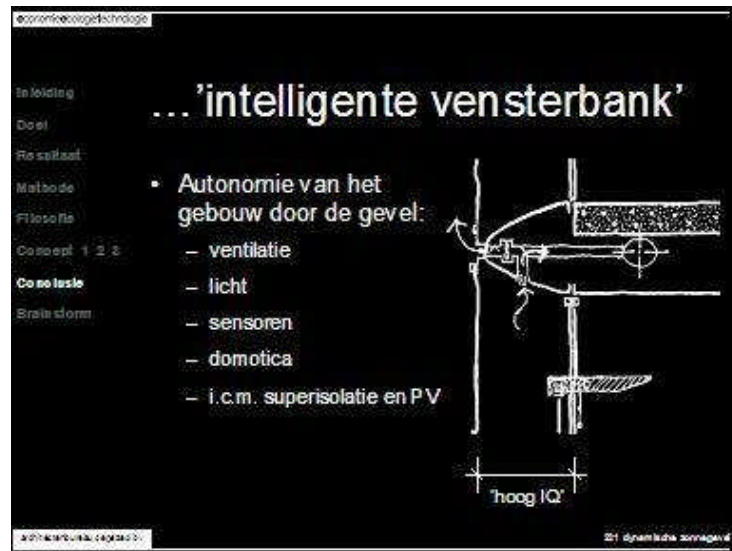
Bij dit laatste onderdeel van deze taak ging het erom antwoord te kunnen geven op de vraag: Hoe kunnen de zonnegevel componenten elkaar versterken/aanvullen?

2.4.2 Werkzaamheden

Door slimme combinaties van componenten te maken kan de zonnegevel meerwaarde krijgen. Aan de hand van onder meer een brainstormsessie is gekeken naar een dusdanige uitwerking van het Zon-WEL concept dat de integratie van oplossingen een meerwaarde geeft en marktconform kan worden uitgevoerd.

2.4.3 Resultaten

Voorafgaand aan de algemene brainstorm/workshop zijn door Cepezed in samenwerking met ECN en TNO enkele concepten gegenereerd waarbij de ontwerpbenadering in abstracte vorm en met beelden beschreven werd. Deze concepten zijn ter inspiratie gepresenteerd aan de overige partners. Bij de brainstorm/workshop zijn een aantal interessante reacties en ook nieuwe ideeën geuit die weer de basis vormde voor de verdere uitwerking van de concepten. Door de toepassing van bijvoorbeeld een 'intelligente vensterbank' (zie onderstaand figuur) kan de intelligentie in de gevel worden gebracht en kan het casco eenvoudig en goedkoop uitgevoerd worden.



Figuur 3 Concept Zon-WEL 'intelligente vensterbank'

3. Taak II: Programma van wensen & eisen

Voor de te ontwikkelen gevel(onderdelen) is een lijst van gewenste functiespecificaties opgesteld. Deze variëren van wettelijke en bouwkundige eisen tot eisen op verschijningsvorm, energetische functies, etc. Om het scala aan gewenste functies op hun waarde te kunnen schatten worden zij door de eindgebruikers gewogen op importantie.

Naast optionele, ‘gewenste’ functies zijn er ook harde randvoorwaarden vanuit bouwkundige, (Bouwbesluit, EPC e.d.), constructieve, bouwfysische, energetische, gebruiksmatige, economische, esthetische, architectonische en ecologische eisen en randvoorwaarden. Door deze eisen en wensen op te stellen in een Programma van wensen & eisen is het kader gegeven waarin de componenten ontwikkeld moesten worden.

3.1 Doel van de taak

Door eisen en wensen op te stellen in een Programma van wensen & eisen wordt een duidelijk kader geschapen waarbinnen de componenten ontwikkeld dienen te worden.

3.2 Werkzaamheden

Voor de te ontwikkelen gevel(onderdelen) is een lijst van gewenste functiespecificaties opgesteld. Deze variëren van wettelijke en bouwkundige eisen tot eisen op verschijningsvorm, energetische functies, etc.

3.3 Resultaten

Hieronder volgt een beknopte weergave van het resulterende Programma van Eisen & Wensen:

Hoofddoel ZonWEL-project:

Ontwikkeling van innovatieve gevelcomponenten en gevelconcepten die na integratie en onderlinge afstemming leiden tot een intelligent gevelsysteem dat :

- zich aanpast aan heersende condities (dag/nacht, seizoenen) ten behoeve van:
 - optimalisatie van opwekking duurzame energie
 - minimalisatie gebruik primaire brandstoffen
 - garanderen van de luchtkwaliteit
 - garanderen comfort (warmte, licht, ...) van gebruikers
- marktconform is (d.w.z. zich qua investering, exploitatiekosten en esthetiek niet negatief onderscheidt van gangbare gevelsystemen)
- een halvering van het (gebouwgebonden) energiegebruik realiseert, en later zelfs energie-nul concepten mogelijk maakt
- over de gehele levensketen een lage milieu-impact heeft (vermindering materiaal- en energiegebruik tijdens productie- en gebruiksfase, goede hergebruiksmogelijkheden)

Eisen & wensen

De te ontwikkelen Zonnegevel zal modulair en gelaagd zijn opgebouwd, waarbij de eindgebruiker de keuze heeft om de gevel meer of minder functies toe te kennen. Er wordt een modulair concept ontwikkeld waarin componenten gecombineerd kunnen worden, waardoor variatie ontstaat in de hoeveelheid:

- opgewekte zonnestroom
- voorverwarmde lucht of water
- warmtetransmissie

- zon- en daglichttoetreding

Inzet met betrekking tot veelbelovende gevelcomponenten:

- dunne-film zonnepanelen
- doorzicht PV
- regelbare vacuümisolatie
- (intelligente) lichtregulerende beglazing en zonwering

Contextaspecten:

- Focus op met name U-bouw, met een eenvoudige versie voor W-bouw
- Toepassing van slimme regelingen (nachtkoeling, sturing, ...)
- Gelijkstroom (DC) installatie-componenten toepassen
- Motivatie voor integratie van PV in gevels in plaats van daken op basis van financieel-economische, bouwtechnische en architectonische afwegingen.
- Ontwikkelingen van technologie bij de diverse partners in het consortium.
- Doorbreken van de belemmerende factor: 'conservatieve houding van de bouwkolom'.
- Bouw -, assemblage - en bevestigingsmethodieken
- Prefabriceren van componenten
- Geïndustrialiseerd bouwen ('mass customized products')
- Ontwerpen voor productie: Design For Manufacturability (DFM)
- Synergie in combinatie van componenten: méér dan de som der delen
- Flexibiliteit voor en na het bouwen
- Open systeem (gemakkelijke aansluiting op bestaande/andere gebouwen en systemen)
- Verschil in gebruikerspatronen van woningen versus kantoren
- Gevel en zijn varianten moeten worden gedefinieerd vanuit gebouwconcepten.

Naast optionele, 'gewenste' functies zijn er ook concrete, harde randvoorwaarden (Bouwbesluit, EPN, Arbo e.d.) vanuit bouwkundige constructieve, bouwfysische, energetische, gebruiksmatige, economische, esthetische, architectonische en ecologische eisen en randvoorwaarden.

Nadat het Zon-WEL gevelconcept in een volgende fase door middel van schetsen is uitgewerkt (zie hiervoor Hoofdstuk 4 Taak III: Gevelconceptontwikkeling & deelonderzoek) is nog een aanvulling gemaakt op het bovenstaande programma van eisen en wensen.

Aanvullende eisen:

- Het is belangrijk dat een modulmaat wordt gekozen die zo klein mogelijk is om een grote flexibiliteit te waarborgen in gevelindelingen. Ook met het oog op de beschikbare breedte van bijvoorbeeld plaatmateriaal is het verstandig een relatief smalle beukmaat te kiezen. Een ondergrens van 1200 mm lijkt het meest geschikt.
- Het gevelvlak dient volledig vrij indeelbaar en invulbaar te zijn door de architect: transparant, translucient, gesloten. Wel kunnen ideale indelingen en invullingen voorgesteld worden en randvoorwaarden voor een minimaal prestatieniveau.
- Belangrijk is dat de gevel (met het gestelde basisniveau: 'basic') bovengemiddeld moet presteren zonder de hulp van allerlei 'uitsteeksels' in het gevelvlak en andersoortige opvallende componenten aan de binnen- of buitenzijde van de gevel. Deze componenten kunnen echter wel aangeboden worden in het systeem maar dan slechts als aanvulling op het basisontwerp en met als gevolg een hogere prestatie. Op deze manier wordt een goed functionerende gevel met een zo neutraal mogelijk uiterlijk gecreëerd. De basisvariant moet uitgebreid kunnen worden naar energetisch en comforttechnisch meer geavanceerde varianten. Het idee is dat klanten (lees: architecten) elementen kunnen toevoegen. Toevoegen is immers leuker dan wegnemen: er is dan meer een idee van een 'eigen ontwerp'.

- Hierbij is het van belang dat per 1200 mm gevelbreedte het klimaat middels de voorziene Climate Control Unit (CCU) geregeld kan worden zodat toekomstige herindelingen van de plattegrond geen probleem zijn.
- Om de flexibiliteit te vergroten dienen er aan het achterliggende vertrek geen of zo min mogelijk eisen gesteld te worden (afgezien van maximale diepte etc.). Dit verhoogt de inzetbaarheid in de markt.
- Om maximale winst uit de ruimtebesparing te halen door de installatie in de gevelzone te plaatsen is het belangrijk dat er geen verlaagd plafond vereist is om de verdiepingshoogte nog verder te minimaliseren.

Aanvullende wensen:

- Er moet een duidelijk onderscheid gemaakt worden in woningbouw en utiliteitsbouw; deze verschillen te veel om met één systeem te kunnen ondervangen.
 - Flexibiliteit is gewenst en wel als volgt:
 - Flexibiliteit tijdens de productiefase van de gevel: afmetingen moeten gemakkelijk aanpasbaar zijn ondanks een beoogd industrieel productie proces.
 - Flexibiliteit vlak vóór de bouw: de configuratie van de gevel moet aan te passen zijn kort voor de montage van de componenten.
 - Flexibiliteit na de bouw: componenten moeten inwisselbaar zijn voor andersoortige componenten zonder grote bouwkundige gevolgen.
- Het gebruik van de gevel moet voor de klant een duidelijke besparing opleveren ten opzichte van gangbare gevelsystemen ondanks een waarschijnlijk hogere prijs. Dit kan op verschillende manieren:
 - directe kosten besparing door een lagere verdiepingshoogte;
 - directe kostenbesparing door het verminderen van energiegebruik;
 - indirecte kostenbesparing door de comfortverhoging en creëren van een gezonder klimaat.
- Assemblage op de bouwplaats heeft de voorkeur boven traditionele bouwwijzen, zeker bij complexe, intelligente en relatief kostbare componenten. Bij voorkeur worden slechts droge verbindingwijzen toegepast.
- Snel water- en winddicht zijn van het gebouw heeft hoge prioriteit en just-in-time management kan helpen bij een zo kort mogelijke opslag van gevoelige componenten op de bouwplaats.

Het complete Programma van eisen en wensen is opgesteld in het rapport over deze deeltaak, getiteld 'Dynamische zonnegevel Zon-WEL - Eindrapportage deeltaak 2: Programma van eisen en wensen' (TNO report 2004-DEG-R059).

4. Taak III: Gevelconceptontwikkeling & deelonderzoek

Door middel van kleinschalige testen, metingen en toetsing van tekening zal worden vastgesteld of de gevel voldoet aan de opgestelde bouwkundige en functionele eisen en wensen. Met name de technische, energetische en bouwkundige kwaliteiten worden hier geëvalueerd.

Op basis van de in de vorige taken opgedane algemene kennis betreffende bouwfysische eigenschappen, en het energetisch en bouwkundig functioneren is in deze fase een definitief ontwerp gemaakt. Tevens zijn er 1:1 prototypes gemaakt die in deze fase getest zijn op maakbaarheid op componentniveau.

Aan het einde van deze taak zijn de schetsontwerpen uitgewerkt naar een voorlopig ontwerp van gevelcomponenten en gevelsysteemconcepten. Op basis van de onderzoeksresultaten en na raadplegen van de klankbordgroep werd in deze fase besloten of het concept voor verdere ontwikkeling geschikt was.

4.1 Conceptontwikkeling met behulp van PvE

4.1.1 Doel van de deeltaak

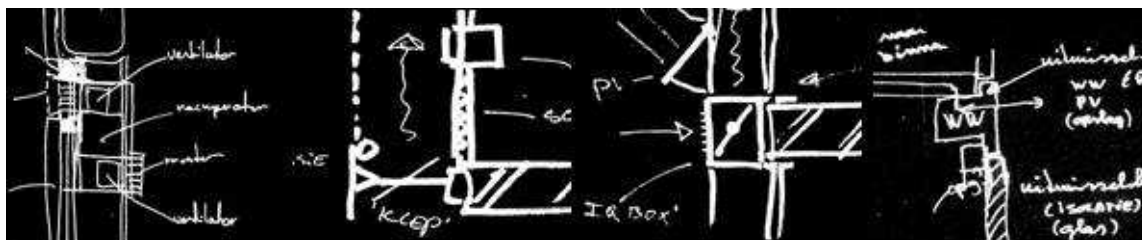
Doel van deze deeltaak was om schetsontwerpen te maken aan de hand van het opgestelde Programma van Eisen en Wensen.

4.1.2 Werkzaamheden

In de conceptontwikkelingsfase zijn varianten voor componenten en systemen opgesteld en onderzocht. Er zijn integrale bouwkundige en energetische concepten opgesteld met de drie elementen warmte, licht, en elektriciteit als gemene deler. Door het maken van schetsontwerpen voor componenten en complete gevelsystemen en het opstellen van energie-concepten wordt de materialisatie en vormgeving ingevuld.

4.1.3 Resultaten

Voortbouwend op de intelligente vensterbank is het vernieuwende ‘gevelgeïntegreerde autonome installatie unit’ concept als uitgangspunt voor de Zon-WEL gevel gedefinieerd. De ontwikkeling is gebaseerd op het idee van een volledige integratie van klimaatinstallaties in de gevel. Alle comfortbepalende functies worden door deze dynamische zonnegevel verzorgd. Onder andere door de zeer goede isolatie en actieve zonwering en door het toepassen van gebalanceerde ventilatie is de warmte- en koudevraag zeer gering, deze kan verzorgd worden door een zeer kleine warmtepomp die de buitenlucht naar wens kan verwarmen of koelen.



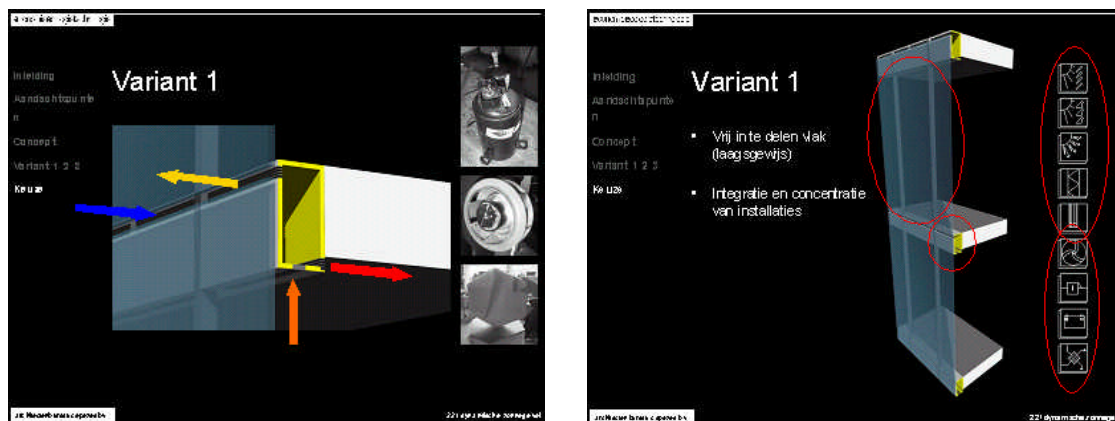
Figuur 1 Schetsen van in de gevel geïntegreerde installaties

Het idee is ontstaan om alle componenten in één ‘installatiebox’ in de gevel op te nemen. De direct of indirect door zonnestroom gevoede componenten verzorgen het klimaat in het achterliggende vertrek. De autonome unit maakt besparing op installaties, verlaagde plafonds, radiatoren, leidingen, ventilatiekanalen, etc., mogelijk.

De installatie-unit kan ter hoogte van de vloer of als borstwering worden uitgevoerd. Vloer/gevel integratie geeft maximale indelingsvrijheid, goede inblaas en afzuigmogelijkheden voor ventilatie. Plaatsing van de installatie-unit in de borstwering geeft een goede bereikbaarheid, past in gevels van 'standaard dikte'.

Voor de invulling van de modulair opgebouwde gevel kan naar wens uit een meer of minder uitgebreid 'pakket' gekozen worden. De Zon-WEL 'basic' variant heeft bijvoorbeeld wel een installatie-unit en vacuumisolatie maar geen lichtsturing en zonnepanelen. De Zon-WEL 'pro' versie heeft alle optionele comfortverhogende en energiebesparende opties. Zie bijlage 1 voor schetsen van het Zon-WEL gevelsysteem en de varianten.

Bij het ontwerp wordt een grote flexibiliteit beoogd. Dit betekent weinig eisen aan de constructiewijze van het gebouw, maatvoering, variatie in uitstraling: vrij indeelbaar gevelvlak. Dit heeft voorlopig geresulteerd in een voorgestelde maatvoering van 1,2 m breed en een beperking van de maximale toe te passen vertrekdiepte van 7,0 m. Er is onderscheid tussen woningbouw en kantoorbouw door verschillen in beschikbaar budget, gebruiksmomenten, verwarmings- verlichtings-, ventilatie en koelbehoefte, acceptatiegraad gebruikers. Het voorlopige Zon-WEL concept is in onderstaande 3d-schets weergegeven door Cepezed:



Figuur 2 Schetsen Zon-WEL concept

4.2 Bouwfysisch en bouwtechnisch onderzoek

4.2.1 Doel van de deeltaak

In deze deeltaak is verkennend onderzoek gedaan naar de keuzes voor gevel-, gebouw- en installatieparameters met het oog op de gewenste energetische doelstellingen en de beoogde kwaliteit en de gezondheidsaspecten voor de achterliggende ruimten.

4.2.2 Werkzaamheden

De onderzoeksactiviteiten richtten zich in deze deeltaak op toe te passen materialen, de bouwfysische en energetische vraagstukken. Het uitvoeren van berekeningen en simulaties voor het energetisch en bouwfysisch functioneren (energie opbrengst, warmte en koudevraag, lichtaspecten) is hierbij een belangrijk onderdeel geweest. De architect en de leveranciers/ontwikkelaars van componenten gaven door het maken van schetsontwerpen aan hoe de componenten bouwkundig en architectonisch optimaal op elkaar afgestemd konden worden. Bij het maken van de schetsontwerpen werd teruggekoppeld aan het programma van eisen en aan de uitkomsten van het bouwfysisch/bouwtechnisch onderzoek.

4.2.3 Resultaten

4.2.3.1 Energetische aspecten, verkennend onderzoek ECN

Om de keuze voor gebouw- en installatieparameters zoals isolatiewaardes, percentage glas, luchtdichtheid, warmteterugwinrendement, etc. te onderbouwen is een Zon-WEL basisversie met verschillende, realistisch geachte (lage en hoge) eigenschappen gesimuleerd in het dynamische simulatiepakket TRNSYS. Hier kwam een 'range' voor de warmtevraag en koelvraag uit waar de installatie aan moet voldoen in een typisch kantoor. Vervolgens is op basis van deze energiebehoeftes de installatie gedimensioneerd.

Door ECN is onderzoek gedaan naar de invloed van de ontwerp variabelen op de resulterende warmte- en koelvraag. In eerste instantie is een referentie kantoorcel gedefinieerd die zo goed mogelijk een standaard kantoor vertegenwoordigt bij nieuwbouw. Van deze kantoorcel is de jaarlijkse warmte- en koudevraag bepaald.

Vervolgens is van deze kantoorcel een zogenaamde Zon-WEL variant gedefinieerd. Hiervan is eveneens de warmte- en koudevraag bepaald. Vervolgens zijn op deze Zon-WEL variant enkele varianten gesimuleerd om de invloed van diverse parameters op de warmte- en koudevraag te bepalen. De kenmerken van de kantoorcel zoals die in TRNSYS is gesimuleerd staan in onderstaande tabel. De overige kenmerken van deze basis variant zijn in bijlage 1 opgenomen.

Tabel 1 Overzicht maatregelen van de Zon-WEL basisvariant

Overzicht maatregelen	Zon-WEL variant kantoorcel
Diepte x hoogte x breedte	5,4 x 2,7 x 3,6 m
Oriëntatie	Zuid
Dichte delen gevel	$R_c = 4,8 \text{ m}^2\text{K/W}$
Kozijnen / beglazing	1,6 / 1,1 $\text{W/m}^2 \text{K}$
Infiltratievoud	0,025/h
Ventilatievoud	1,7/h
Zonwering	75% gesloten (1-ZTA), temperatuurgeregeld
Warmteterugwinning ventilatielucht	90 %
Verlichting	8,5 W/m^2
Koeling setpoint	23,5 - 25,5 °C
Verwarming setpoint	21 - 23 °C
Zomernachtventilatie	Ja

Uit de simulaties blijkt dat bij de referentie situatie de warmtevraag met 2,17 GJ hoger is dan de koudevraag (0,96GJ) van de kantoorcel. Bij de Zon-WEL basis variant is dit precies omgekeerd. Hier is de warmtevraag aanzienlijk kleiner dan de koudevraag (0,04 GJ per jaar tegenover 0,33 GJ per jaar).

De varianten die zijn gemaakt op deze Zon-WEL gevel hebben betrekking op:

- R_c -waarde dichte delen: 2,5 / 3 / 7,5 $\text{m}^2\text{K/W}$
- Glasoppervlak: 3, 6 en 9 m^2
- U-waarde dubbel glas: 1,3 en 1,5 $\text{W/m}^2\text{K}$
- ZTA-waarde dubbel glas: 31 % en 60 %
- Infiltratievoud : 0,45 en 1
- Warmteterugwinning: 75 en 95 %
- Zonwering: binnen / buiten / geen
- Hoge interne warmte productie: 3 personen en 3 PC's (115 Watt per PC)
- Lage interne warmte productie: 1 persoon en 1 PC met TFT scherm (55 Watt per PC)
- Hoek kantoorcel
- Oriëntatie: Noord / Oost / West

Uit de simulaties blijkt dat infiltratie (de ongecontroleerde ventilatie via naden en kieren) een belangrijke factor is voor de hoogte van de warmtevraag. De aanwezigheid van goede zonwering en de interne warmtelast is in hoge mate bepalend voor de koelvraag.

Naast de bepaling van de invloed van de ontwerpparameters is een 'worst-case' simulatie gedaan om te bepalen wat het piekvermogen voor koeling en verwarming dient te zijn, gegeven de ontwerpgegevens en afgemeten tegen het adaptieve temperatuurcriterium (ATG) uit Isso publicatie 74. Er is met verschillende vermogens voor koeling en verwarming gesimuleerd.

Tabel 2 Warmte- en koudevraag en overschrijdingsuren bij verschillend installatievermogen

Weerdata	Koelvermogen [W]	Verwarmingsvermogen [W]	Warmtevraag [GJ/jaar]	Koudevraag [GJ/jaar]	Overschrijdingsuren	Onderschrijdingsuren
TRY	1000	1000	0.80	0.46	0	0.3
TRY	500	500	0.77	0.45	20.3	48.9
TRY	600	600	0.78	0.46	6.8	23
1976 (warm)	600	600	0.70	0.47	1.5	18.5
1963 (koud)	600	600	1.05	0.33	0.5	35.5

Uit de tabel blijkt dat bij een verwarmings- en koelvermogen van 1000 W er nauwelijks temperatuurover- of onderschrijdingsuren optreden. Uiteindelijk is uitgekomen bij een toereikend geacht vermogen van 600 W, zowel voor verwarming als koeling (alleen voelbaar, er is geen rekening gehouden met de ont-/bevochtiging). Het aantal over- en onderschrijdingsuren (ten opzichte van het 90 % acceptatie criterium uit Isso publicatie 74) is respectievelijk 7 en 23 per jaar.

4.2.3.2 Daglicht aspecten, verkennend onderzoek TNO (licht)

TNO heeft een (simulatie)studie gedaan naar de effecten van lichttoetreding bij een kantoorcel (Zonneveldt, L., P. de Wilde, 2005. Daglichtstudie voor het ZonWEL project. Delft: TNO report 2005-BBE-R043). Uitgangspunt was een kantoorkamer van 3,6x5,4x2,7 (bx dxh) meter, in 9 segmenten opgedeeld. Belangrijkste conclusies/aanbevelingen waren:

- licht is 'onzichtbaar': het oog ziet helderheden, geen vlakken. Het beeld bestaat uit verschillen in helderheid
- glas beneden voegt weinig toe
- probeer om het glas zo hoog mogelijk in de gevel te plaatsen i.v.m. lichttoetreding achterin
- zorg voor individuele regelbaarheid
- 500 Lux op werkplek (80 cm hoog)
- geen grote ramen
- geen hoge contrasten
- helderheidswering toepassen
- goede materiaalkeuze
- oplossingen uit ander klimaat niet zonder meer overnemen

Het doel van deze lichtsimulaties is om de kwaliteit en de gezondheidsaspecten voor de achterliggende ruimten sterk te verbeteren. De consequenties van de daglichtsimulaties zijn in het ontwerp van de Zon-WEL-gevel opgenomen door de verdere ontwikkeling van de ramen met retroreflecterende lamellen in het project te onderzoeken en toe te passen. De principewerking en de opbrengst van deze lichtreflecterende lamellen wordt toegelicht in paragraaf 5.2.2.2 Lichtopbrengst metingen en resultaten TNO.

4.3 Deelonderzoek Zon WEL: warmte, elektriciteit & licht

4.3.1 Doel van de deeltaak

Van de verschillende componenten van het Zon-WEL concept is gericht onderzoek uitgevoerd naar de knelpunten die bij componentontwikkelingen optraden. Hierbij moet gedacht worden aan onderzoek naar de toepassing van regelbare vacuümisolatie, de ontwikkeling van raangeïntegreerde lamellen met coatings voor de lichtregulerende beglazing, alternatieve module compositie voor a-Si zonnepanelen en oplossingen voor de bouwkundige bevestiging van de componenten in gevelprofielen.

4.3.2 Werkzaamheden

Vanuit de in het consortium aanwezige en in het project ontwikkelde kennis en inzichten van techniek op componentniveau is bepaald welke (deel)onderzoeken noodzakelijk en het meest gewenst zijn. Aan het einde van dit onderzoekstraject zijn de schetsontwerpen uitgewerkt naar een voorlopig ontwerp van gevelcomponenten en gevelsysteemconcepten en zijn proefcomponenten van kleinere afmetingen gemaakt. Het ging hierbij om deelonderzoek naar en de ontwikkeling van:

1. Vacuümisolatiepanelen
2. Regelbare vacuümisolatie
3. PV op vacuümpanelen
4. Doorzicht PV panelen
5. 'Slimme beglazing'
6. Installatieunit CCU of Smartbox

4.3.3 Resultaten deelonderzoek componenten

4.3.3.1 Vacuümisolatiepanelen (VIP)

Bij de ontwikkeling van deze component ging het met name om de bouwtechnische inpassing in de Zon-WEL gevel. De vacuüm isolatie panelen dienden op dezelfde wijze als het glas bevestigd te worden. Dit om een zo uniform mogelijk beeld te krijgen. Het belangrijkste is dat de bevestiging van de panelen binnen het systeem past en niet (visueel) afwijkt van de overige invullingen.

Vacuüm panelen kunnen 'kaal' als gecoat RVS, (on)gepolijst RVS, geborsteld aluminium, of gepoedercoat aluminium worden uitgevoerd. Ook kan er een glasplaat op de panelen worden verlijmd: eventuele grote panelen, samengesteld uit meerdere VIP's kunnen zo toch een uniform uiterlijk gehouden. De realisatie van de productielijn voor grotere VI-panelen kon niet binnen de looptijd van het project plaatsvinden. Om deze reden is gebruik gemaakt van de vacuümpanelen van de firma Schueco.

4.3.3.2 Regelbare vacuümisolatie

Doel van dit deelonderzoek (uitgevoerd door Level) is het onderzoeken van de haalbaarheid van koeling door middel van een in isolatiewaarde schakelbaar isolatiemateriaal, en dit te vergelijken met de koeling door ventilatie. Het materiaal kan aan- of uitgeschakeld worden en naar keuze een zeer hoge of lage isolatiewaarde verkrijgen.

Er wordt uitgegaan van een "Zon-WEL kantoorunit" met de volgende waarden:

Tabel 3 Rekenwaarden voor berekening effect regelbare isolatie

breedte	b	3,6	[m]
hoogte	h	2,7	[m]
diepte	d	5,4	[m]
flow ventilatie		70	[m ³ h ⁻¹]
	f	0,0194	[m ³ s ⁻¹]
ρ lucht	ρ	1,16	[kgm ⁻³]
cp lucht (idem)	cp	1000	[Jkg ⁻¹ k ⁻¹]
isolatiedikte	d _{iso}	20	[mm]
warmtegeleidingscoëfficiënt geschakeld	λ	0,2	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]
αbinnen	α1	7	[Wm ⁻² K ⁻¹]
αbuiten	α2	10	[Wm ⁻² K ⁻¹]
temperatuur binnen	T1	20	[°C]
temperatuur buiten	T2	0	[°C]

Het warmteverlies door ventilatie is volgens (1) : 451 [W]. Als het temperatuurverschil niet meegenomen wordt is dit 22,6 [WK⁻¹]

$$P_{\text{ventilatie}} = f \cdot \rho \cdot cp \cdot (T1 - T2) \quad (1)$$

Het warmteverlies van 1 m² geschakeld isolatiepaneel is volgens (2): 58,8 [W]. Als het temperatuurverschil niet meegenomen wordt is dit 2,94 [WK⁻¹]

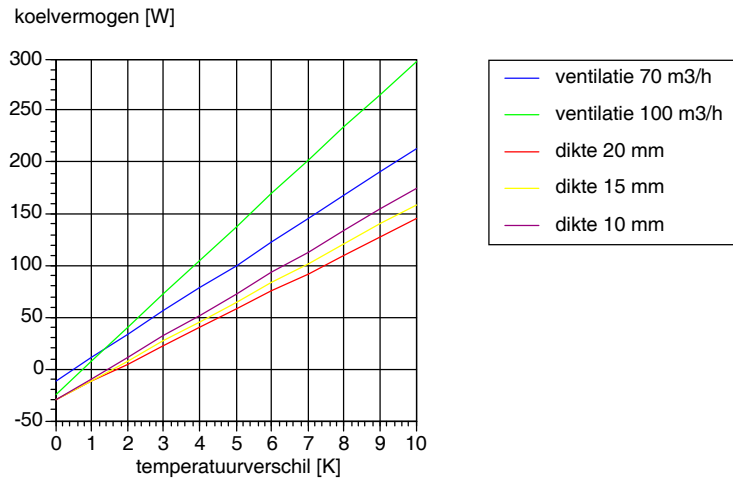
$$P_{\text{isolatie}} = \frac{(T1 - T2)}{\frac{1}{\alpha1} + \frac{d_{\text{iso}}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha2}} \quad (2)$$

Als er uitgegaan wordt van 6 m² schakelbaar isolatiemateriaal kan er gekoeld worden met 352,8 [W], of 17,6 [WK⁻¹], Dit is 85 % van het vermogen wat met ventilatie gehaald kan worden. Met ventilatie kan eenvoudig een hogere flow gekozen worden, voor schakelbaar isolatiemateriaal kan een kleinere dikte van het isolatiemateriaal gekozen worden.

Het schakelen van een paneel van 1 [m²] kost 5 [W], in de toekomst is dit naar verwachting geen continu vermogen maar alleen een kortstondig vermogen op het moment van schakelen, in de volgende berekening is dit vermogen als continu meegenomen.

Voor het ventileren is energie nodig voor het aandrijven van ventilatoren. In de woningbouw is een minimale ventilatie vereist, en deze mag je dus niet aftrekken van het koelvermogen, voor de utiliteitsbouw zou je kunnen zeggen dat buiten werktijd de ventilatoren uit staan, en het koelen dus vermogen van de ventilatoren kost. Twee gelijkstroomventilatoren voor 70 [m³h⁻¹] vragen ongeveer 12 [W]. Voor 100 [m³h⁻¹] is dit 24 [W].

Er is in de berekeningen geen rekening gehouden met opwekrendementen voor elektriciteit, welke benodigd is voor de schakelbare panelen of de ventilatoren. In fig. 9 en fig. 10 staat het koelvermogen weergegeven voor twee verschillende stromen, en voor drie schakelbare panelen van verschillende dikte, er is uit gegaan van 6 m² schakelbaar paneel.

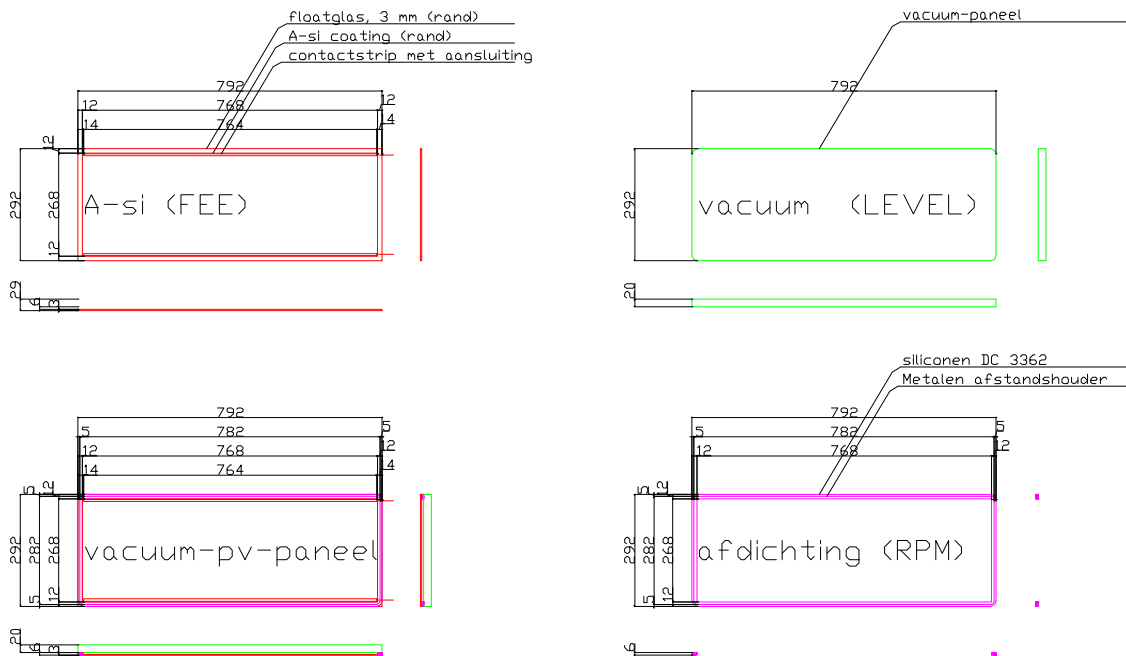


Figuur 3 Koelvermogen inclusief hulpenergie als functie van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten

Conclusie: Door te ventileren met frisse lucht kan, op momenten dat het buiten koeler is dan binnen, een groter koelend effect worden bereikt dan met schakelbare panelen. Schakelbare panelen vormen echter wel een goede aanvulling op het concept in het geval van koelvraag.

4.3.3.3 PV op vacuümpanelen

AGC Flatglass is betrokken bij de integratie van vacuümisolatiepanelen met PV-panelen. In eerste instantie is uitgegaan van een standaard maat, volgens onderstaande tekening in figuur 4. Een verdergaande integratie is technisch mogelijk (amorf-Si aanbrengen op een drager van vacuümisolatie, voorzien van een kunststof beschermlaag).



Figuur 4 Opbouwmogelijkheden vacuüm-PV paneel

Door FEE is nader onderzoek gedaan naar de mogelijke ontwikkeling van dunne film

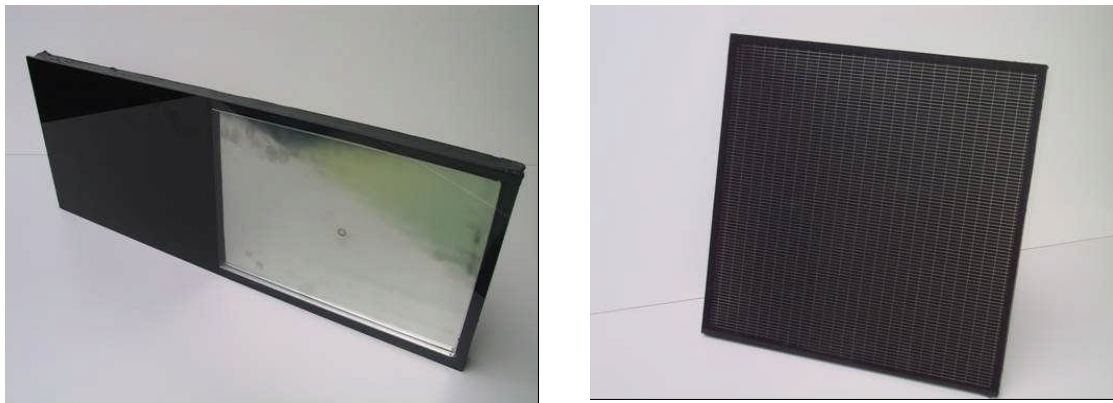
zonnepanelen op een metalen substraat; er is vooral gekeken naar de verschillende mogelijke metaalsoorten en naar de mogelijkheden voor het aanbrengen van een elektrisch isolerende laag op het metaalsubstraat. Er zijn testen uitgevoerd met verschillende soorten emaille.

Er is tevens onderzoek gedaan naar verbeterde encapsulatie-methoden voor zonnepanelen t.b.v. de toepassing in gevels. Er zijn vooral proeven gedaan met “breathable coatings”, zoals siliconen en bio-harsen; dit onderzoek wordt voortgezet door FEE.

Er is een monster gemaakt met als basis samenstelling: vacuümisolatie met a-Si (PV), zie bovenstaand figuur. Optioneel kan het vacuümisolatiepaneel worden gecombineerd met geëmailleerde beglazingen. Mogelijk is deze afgeleide toepassing vanwege de kosten zelfs succesvoller dan de combinatie met a-Si.

4.3.3.4 Doorzicht PV panelen

AGC Flatglass is betrokken bij de integratie van PV-panelen in de gevel. In eerste instantie zal worden uitgegaan van een standaardpaneel. De gebruikte zonnecelpanelen zijn van het type ASI THRU® en worden geleverd door de firma Schott Solar. Het is een semi-transparante module die beschikbaar is als laminaat of als dubbel glas (zie onderstaand figuur).



Figuur 5 Opengewerkt monster vacuümisolatiepaneel (links) en a-Si in isolatieglas (rechts)

4.3.3.5 'Slimme beglazing'

Er zijn door AGC drie typen beglazing voor Zon-WEL gedefinieerd:

a) Basis samenstelling doorzicht

Bestaande uit 6 mm Energy op blank floatglas ongehard, 15 mm spouw met argon gasvulling, 4 mm blank floatglas, ongehard.

b) Bovenlicht met Raywall

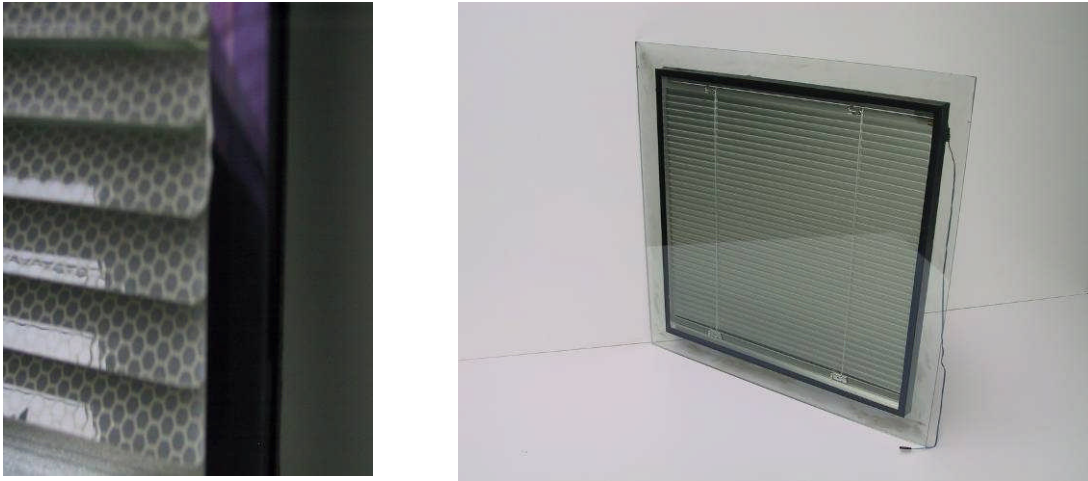
Bestaande uit 6 mm Sunergy op blank floatglas ongehard, 15 mm spouw met argon gasvulling, 4 mm Raywall 90. Het Raywall glas is bedoeld voor bovenlichten en weerkaatst het licht naar het plafond.

c) Lichtregulerende beglazingen

Bestaande uit 6 mm Energy op blank floatglas, ongehard, 22 mm spouw met argon gasvulling en kantelbare Luxaclair jaloezieën, kleur 0001, voorzien van retroreflecterend materiaal, 6 mm blank floatglas met een dubbele 'Amiran'-coating. Het principe van retroreflecterend materiaal op lamellen is gebaseerd op een patent van ETAP.

Mede afhankelijk van de van toepassing zijnde randvoorwaarden, zal de beglazing constructieve eigenschappen bezitten. Deze constructieve eigenschappen kunnen echter aangewend worden

om de achterliggende constructie lichter uit te voeren c.q. de mogelijkheid geven tot keuzes voor de achterliggende constructie. Theoretisch is het mogelijk de achterliggende constructie (regels en/of stijlen) geheel weg te laten door afwijkende bevestigingsmethodieken. Aan de hand van huidige stand van zaken in het project, zijn de navolgende principedetails ontwikkeld om een aantal oplossingen te creëren om de beglazingen een constructieve rol te laten vervullen. Deze mogelijkheden in combinatie met recente investeringen bij AGC Flatglass (lamineerstraat, hardingsoven, heat soak oven, bewerkingsmachines voor slijpen en boren) maken het mogelijk de combinaties op kostenefficiënte wijze uit te voeren.



Figuur 6 Luxaclair met retroreflecterende lamellen

Het systeem gaat uit van een traploos kantelbaar systeem middels een nieuw ontwikkeld besturingssysteem van Hunter Douglas. Besturingmogelijkheden:

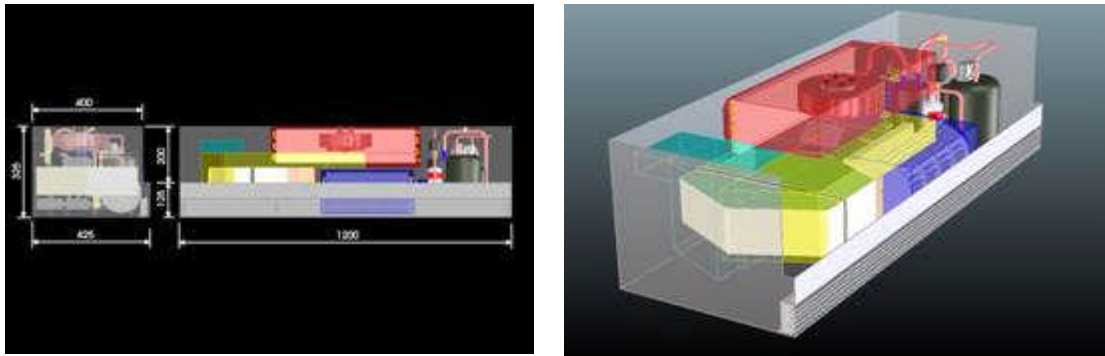
- Individuele bediening
- Groepsbesturing middels 60 programmeerbare adressen per groep
- Optioneel programmeerbare IR / RF bediening, programmeerbaar per individuele eenheid of logische eenheid
- Aansluiting op gebouwmanagementsysteem
- Software met open broncode
- Direct aan te koppelen aan besturingen van buitenzonweringen en Luxaflex.

4.3.3.6 Installatieunit Climate Control Unit (CCU) of 'Smartbox'

Op basis van normen en wetgeving is een eerste opsomming van de eisen voor de Smartbox gemaakt. Vervolgens is door ECN met behulp van het simulatiepakket TRNSYS het benodigde vermogen voor klimatisering van enkele varianten kantoorcellen bepaald.

Door Itho is de eerste opzet van de CCU (Climate Control Unit) als 3D model gepresenteerd. De unit kan koelen, verwarmen en ventileren. Eerst is onderzocht of één CCU unit per 1,2 meter stramieneenheid haalbaar was. Belangrijkste componenten zijn een warmtepomp voor verwarmen en koelen en een warmtewisselaar voor ventilatielucht. De warmtepomp zal worden uitgevoerd met een traploos regelbare de compressor waardoor het geheel modulerend kan functioneren.

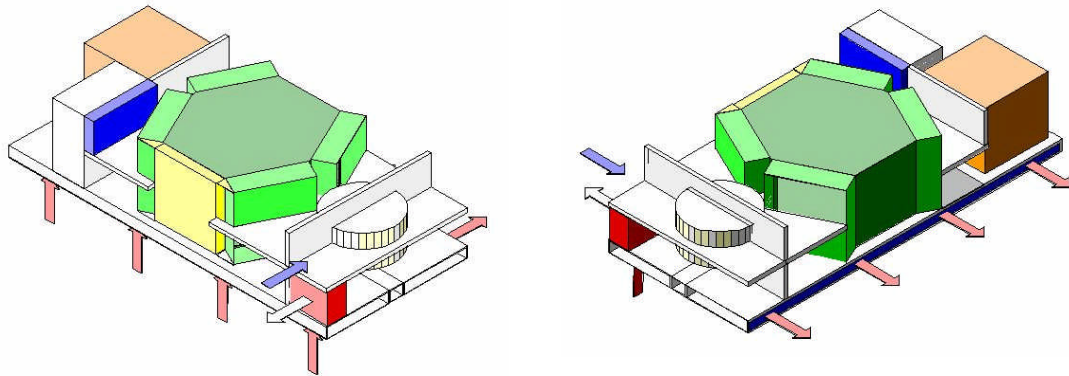
De ventilatie heeft een variabel debiet. De ventilatielucht wordt langs een tegenstroom warmtewisselaar geleid die door Level is ontwikkeld. Invriezen bij lage temperaturen kan worden voorkomen door een klepmechanisme dat de luchtstromen omdraait of door het bijmengen van binnenlucht bij de buitenlucht. De unit kan tevens een groot deel van het jaar vrij koelen met buitenlucht. Er wordt naar gestreefd om het aantal bedrijfsuren van de compressor zoveel mogelijk te beperken. Onderstaande figuren tonen ontwerpschetsen van het eerste concept:



Figuur 7 Eerste ontwerptekeningen van het CCU concept

De opzet van de CCU is verder uitgewerkt op basis van eisen aan koelvermogen, werp van ventilatielucht en comfort. Drie losse CCU's voor een referentiekantoor lijkt een goede oplossing te zijn. Hierbij ontstaan echter praktische problemen als hoge kosten en beschikbaarheid van geschikte onderdelen. Er is in dit stadium naar verdringingsventilatie gekeken als alternatief voor mengventilatie (zie *Figuur 9 Overzicht van de verschillende ventilatieprincipes*).

Voor de Smartbox zijn kleppen ontwikkeld die in combinatie met de wisselaar kunnen zorgen voor vochtterugwinning. Naast het terugwinnen van thermische energie kan ook de latente energie (de verdampingsenergie) teruggewonnen worden waardoor het rendement toeneemt. Met een kleppensysteem kan de lucht in de kanalen wisselen. De afvoerstream gaat dan door de kanalen waar eerst de verse stroom door stroomde, en andersom. Op deze manier kan zowel thermische energie als latente energie (vocht) teruggewonnen worden. De hoeveelheid terug te winnen latente energie voor de in Nederland voorkomende situaties kan variëren tussen de 0 en 250 % van de thermische energie.



Figuur 8 Ruimtelijke weergave CCU met luchtstromingsrichtingen

De ontwikkelingen met betrekking tot CCU en bouwkundige integratie die in het project aan de orde gekomen zijn:

➤ *CCU-verdeling en stramienen (zie bijlagen):*

- a) gescheiden WP en V unit (per 2400 of 3600)
- b) gecombineerde WP en V unit (per 2400 of 3600)

Nader beschouwd blijkt de CCU toch 1,60 meter lang gemaakt te kunnen worden omdat er geen gevelankers om de 1,20 m nodig zijn. Met deze lengte past de unit in zowel een 2,40 (2x1,20) als een 3,60 (2x1,80) stramien. De diepte en breedte van de vetrekken is variabel maar er wordt aan toepassing voor kantoorruimtes gedacht met een typische diepte van 5,4 tot 7,2 meter diep en 3,6 tot 4,8 meter breed.

➤ *Dimensionering vermogen CCU*

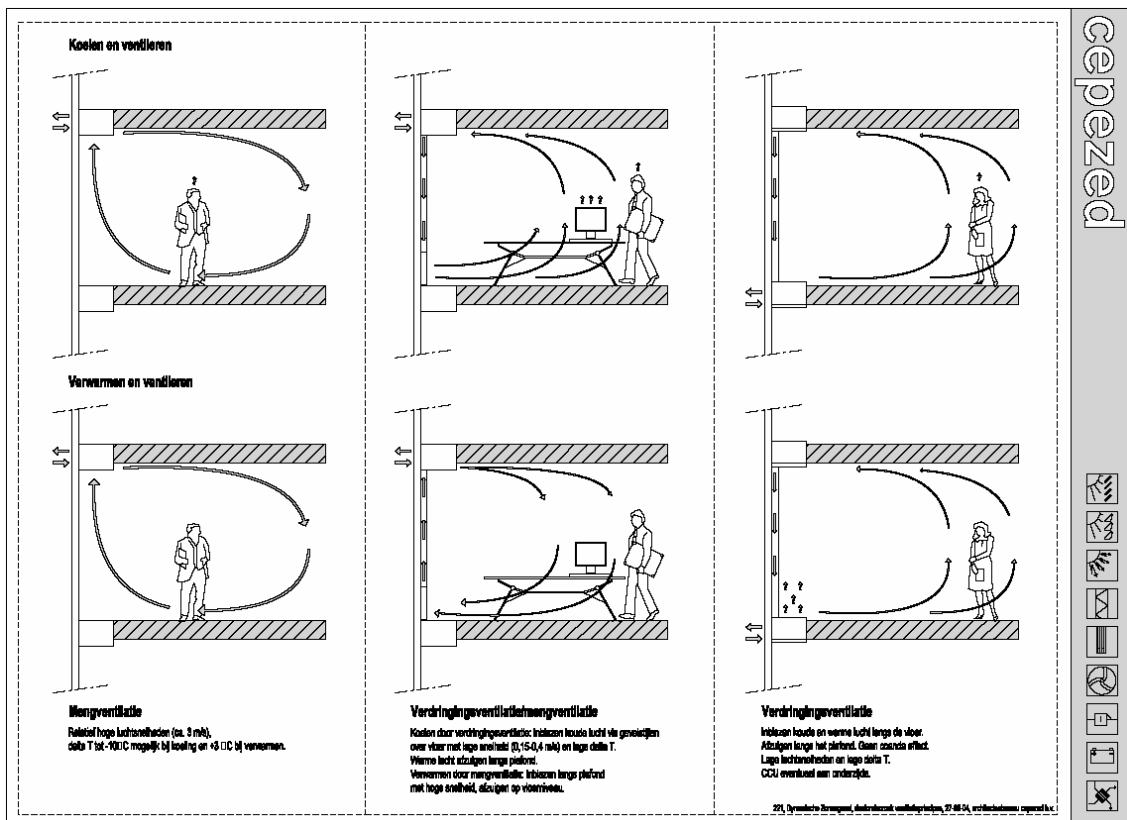
Uit de schematische weergave van CCU verdeling en stramienen wordt duidelijk dat als de unit op een zelfde h.o.h. afstand (om en om) of in ieder stramien van 2,40 of 1,80 geplaatst wordt, dat er dan op sommige vertrekken ondercapaciteit of overcapaciteit zal zijn

Het plaatsen van 1 unit per stramien zal tot overcapaciteit of ongebruikte units leiden. Uit oogpunt van flexibiliteit en herindeling van ruimtes is op elk stramien een unit gewenst maar dit zal extra kosten geven. Het naar keuze plaatsen of verwijderen van een unit (mits eenvoudig bereikbaar en eenvoudig te doen) lijkt een beter alternatief. Werken met een unit van 1 capaciteit heeft duidelijk de voorkeur. Aandachtspunt is de mogelijke plaatsing van scheidingswandjes ter plaatse van een (beoogde) CCU. Overcapaciteit is minder erg dan ondercapaciteit maar bij een aan- uitschakeling werkt het koel- of verwarmingssysteem niet optimaal.

➤ *Ventilatieprincipe:*

- a) mengventilatie
- b) verdringingsventilatie
- c) combinatie van meng- en verdringingsventilatie

Bij oplossing b) en c) dient gebruik te worden gemaakt van hetzij een verticale ventilatieschacht geïntegreerd in de kozijnen met een opening over de volle breedte (plint), hetzij een 'voorzetraam' met een sleuf. De benodigde opening dient circa 50 cm² links en rechts per stijl (V=5 m/s) te zijn. De opening van de plint is dan circa 10 cm hoog (bij circa 2,5 meter lang).



Figuur 9 Overzicht van de verschillende ventilatieprincipes

➤ *Mogelijkheden en knelpunten bij verdringingsventilatie:*

Knelpunten zijn de bouwkundige en esthetische acceptatie c.q. architectonische mogelijkheden van de verticale schacht of de praktische bezwaren bij het gebruik van een ‘voorzetraam’ (raam niet te openen, stofophoping, schoonmaken).

Er zijn vele aspecten die van invloed zijn bij het maken van een keuze tussen mengventilatie en verdringingsventilatie. De overwegingen zijn samengevat in een matrix met aandachtspunten:

Tabel 4 Keuzetabel voor ventilatie in semi- decentraal systeem

ASPECT	MENGVENTILATIE	VERDRINGINGSVENTILATIE	Extra aandachtspunten
Tocht/comfort	? Tocht op hoofdhoogte ? Optreden van wervels	? Koude voeten / stroming ? Menemen van vuil van de vloer ? Welk debiet is nu eigenlijk nodig ? Eventueel meerwaarde: zonwering segmenten	
Kosten	goedkoper	duurder	
Ruimte/compactheid	Constructie is slanker	Constructie is forser (minimaal 10 tot 15 cm)	Afstand van bureau tot gevel is sowieso 60 cm (ivm schoonmaken etc)
Vermogen	Meer vermogen in de ruimte zelf	Indirect	LET OP REGELBAARHEID!
Geluid	Lastiger dempen * geluid van CCU zelf * geluid van buiten	Langere weg, spouw dient als suskast	
Vuil/stof		Voorzetruit moet schoongemaakt	Is systeem met voorzetruit wel verdringing? Of is dat eigenlijk bronventilatie vanuit de gevel? PAS OP VOOR OVERVENTILEREN!
Energie	Wervels kosten eventueel meer energie?	Zou meer natuurlijke krachten volgen?	
Flexibiliteit	Makkelijker aansluiten van binnenwanden Makkelijker te modificeren bij toevoeging van extra gevelcomponenten	Minder flexibel mbt tot binnenwanden en extra componenten	
Zonnestraling/temperatuur		3 glasplaten, binnenste gekoeld zonwering in spouw verwarmt lucht en werkt mogelijk stroming tegen Complexer (Murphy)	IS BUITENZONWERING NOG MOGELIJK?
Complexiteit	Minder complex (bewegende delen, materiaalgebruik, schoonmaken, montage, onderhoud)		
Esthetiek			Niet te beoordelen (subjectief) Hooguit "neutraliteit" Sterk gekoppeld aan flexibiliteit
Daglichttoetreding	ETAP-systeem toepasbaar	ETAP-systeem niet toepasbaar Eventueel een screen maken? Of draaibare, verticale, glazen lamellen?	

Naast de ontwikkeling van de Smartbox door Level heeft Itho een variant uitgewerkt waarbij de installatieunit gesplitst is in twee separate componenten: een verwarmingsunit, en een ventilatieunit. Voor testen en uitwerken zou in de verwarmingsunit in plaats van met een omkeerbare warmtepomp gewerkt kunnen worden met het zogenaamde ‘Daikin VRV concept’, hetgeen een bewezen systeem is. Het gaat hierbij om een nieuwe combinatie van bestaande concepten: een decentraal verwarmings- en koelsysteem, met centrale warmtepomp, gecombineerd met een decentrale ventilatieunit met gevel WTW.

4.4 Voorlopig gevelontwerp

4.4.1 Doel van de deeltaak

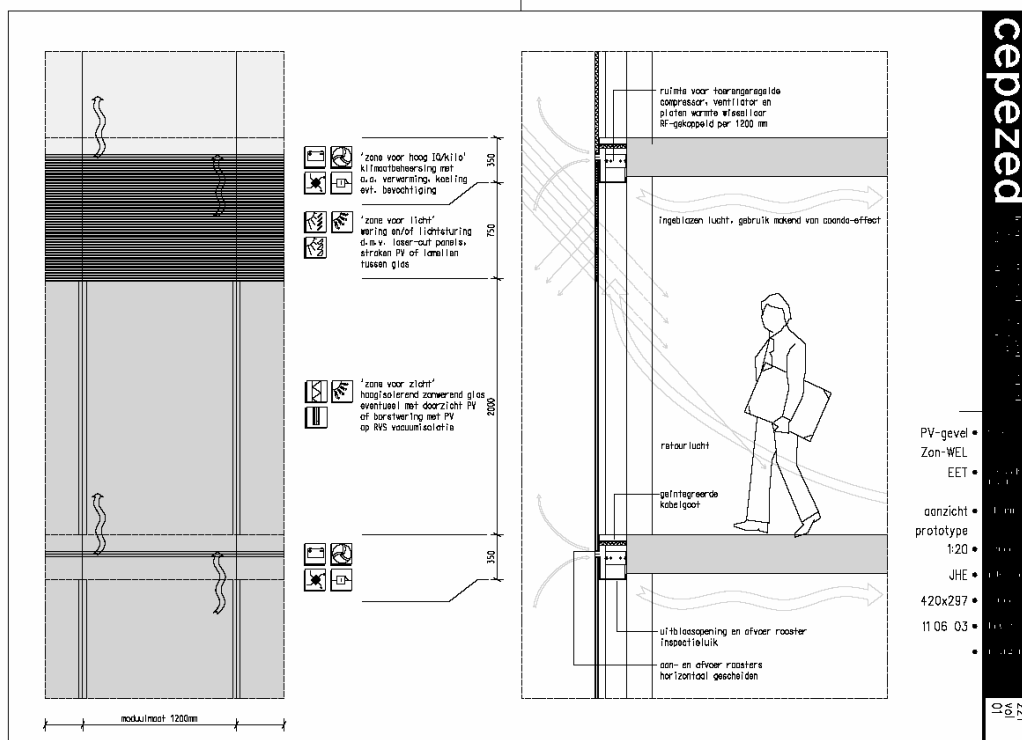
Door de proefvervaardiging van componenten (van kleinere afmetingen) kon een voorlopig ontwerp van de Zon-WEL gemaakt worden. De 1:1 monsters van de PV panelen, de vacuümisolatiepanelen en ramen met geïntegreerde, retro-reflecterende lamellen maakten duidelijk hoe de gevelcomponenten en het gevelontwerp gemaakt kon worden.

4.4.2 Werkzaamheden

Het voorlopig gevelontwerp is verder uitgewerkt op basis van het deelonderzoek van de Zon-WEL componenten. Van de gemaakte (schaal 1:1) componenten is de technische haalbaarheid/maakbaarheid onderzocht.

4.4.3 Resultaat

Het voorlopig ontwerp van de Zon-WEL gevel is weergegeven in onderstaande figuur:



Figuur 10 Voorlopig ontwerp Zon-WEL gevel

4.5 Metingen aan componenten

4.5.1 Doel van deze deeltaak

Doel in deze fase is het maken van labopstellingen op componentniveau van de gevel- en installatiecomponenten om duidelijk te maken of het concept voldoet aan de energetische en bouw fysieke verwachtingen en om te onderzoeken waar verbeteringen nodig zijn.

4.5.2 Werkzaamheden

Wat betreft de installaties voor de Zon-WEL gevel is er voor een 2-sporen beleid gekozen: één semi-decentraal systeem (door Itho uitgewerkt) en één decentrale, autonome unit (door Level uitgewerkt). Vóór het inbouwen van de componenten in de onderzoeksgevels is het functioneren van de twee systemen beproefd.

4.5.3 Resultaten

4.5.3.1 Decentrale installatie unit [Level]

Naast het terugwinnen van thermische energie kan ook de latente energie (de verdampings energie) teruggewonnen worden. Met een kleppensysteem kan de lucht in de kanalen wisselen. De afvoerstroam stroomt dan door de kanalen waar eerst de verse stroom door stroomde, en andersom. Op deze manier kan zowel thermische energie als latente energie als vocht teruggewonnen worden. De hoeveelheid terugwinbare latente energie voor de in Nederland voorkomende situaties kan variëren tussen de 0 en 250 % van de thermische energie.

Het eerste prototype van de Smartbox of RCCS (recuperative climate control system), zie Figuur 11 Transparant prototype van de Smartbox of RCCS, heeft de volgende mogelijkheden: in wintersituaties:

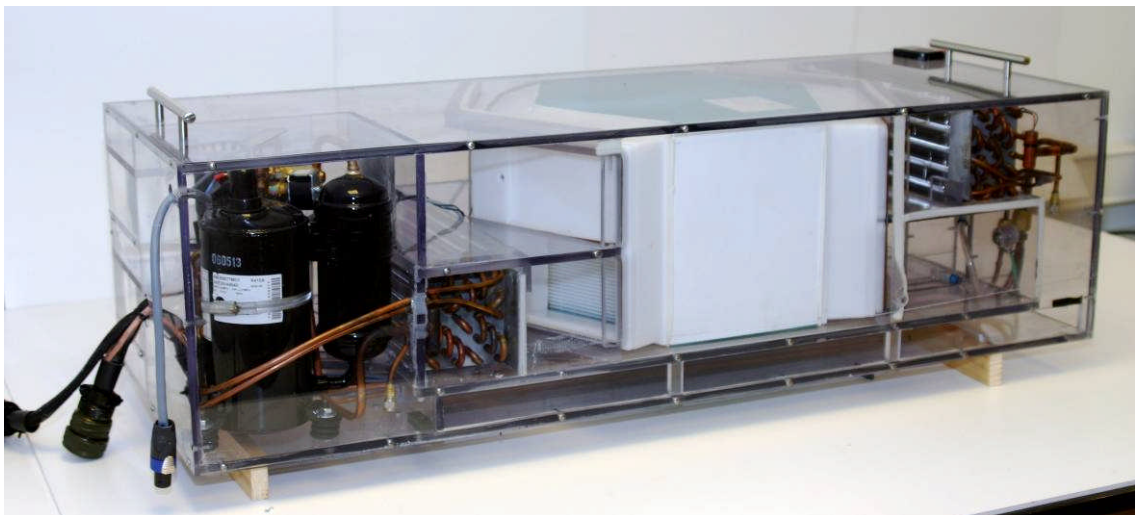
- terugwinnen van voelbare warmte
- indien gewenst terugwinnen van latente warmte
- indien gewenst terugwinnen van vocht
- met een warmtepomp verwarmen van verse lucht (welke in de warmtewisselaar al voorverwarmd is)

in zomersituatie:

- koelen van verse buitenlucht
- ontvochtigen van verse buitenlucht
- actief koelen van lucht door gebruik te maken van een warmtepomp
- door gebruik te maken van adiabatische verkoeling van de afvoerlucht kan de verse lucht verder ontvochtigd en gekoeld worden.

De unit bestaat uit een tweetal ventilatoren, een warmtepomp en een Recair enthalpy warmtewisselaar met kleppen. Het gebruik van de kleppen heeft de volgende voordelen:

- naast voelbare warmte kan ook latente warmte en vocht teruggewonnen worden
- de flow kan indien gewenst omgekeerd worden (dus waar in de ruimte in- en uitgeblazen wordt kan verwisseld worden)



Figuur 11 Transparant prototype van de Smartbox of RCCS

De vervaardiging van het prototype Smartbox is medio november 2005 gereed gekomen. Alle elementen waren ingebouwd en het apparaat werkte. De regeling moest nog wel worden ingevoerd. De transparante unit is niet geoptimaliseerd wat betreft luchtstromingen en geluidsproductie maar geeft wel goed aan wat de principewerking is.

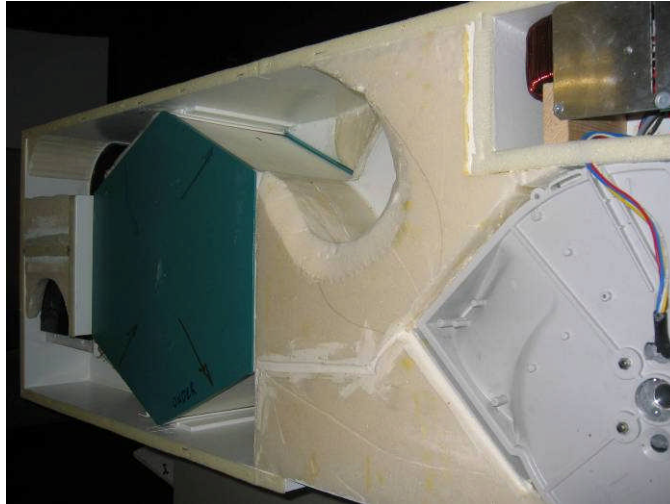
De Smartbox bestaat uit:

1. een Recair Enthalpy voor het terugwinnen van zowel voelbare als latente warmte;
2. een warmtepomp met een condensor en een verdamper welke zowel voor koelen als voor verwarmen kan dienen;
3. twee ventilatoren voor de verse en de af te voeren flow;
4. een bypass om tijdens koelen direct buitenlucht aan het vertrek toe te voeren;
5. een bypass om extra lucht over de verdamper of condensor te voeren om warmte/koude direct naar buiten af te voeren.

Met de kleppen van de Recair enthalpy kan zowel voor verdringingsventilatie als voor mengventilatie gekozen worden

4.5.3.2 Semi-decentrale installaties [Itho]

Het door Itho vervaardigde prototype ventilatie-unit is te zien op de foto's in onderstaande figuur. De ventilatie-unit is hier omgekeerd neergelegd met zichtbaar de WTW unit, gelijkstroomventilatoren en adiabatische koeling d.m.v. een druppelaar (werkend op waterdruk). Na 'proefdraaien' in het lab is ook dit prototype klaar om in de testgevel bij ECN geplaatst te worden.



Figuur 12 Foto van het (opengewerkte) prototype van de decentrale WTW-ventilatieunit

4.5.4 Evaluatie en definitieve keuze

In februari 2004 is het concept voorgelegd aan de klankbordgroep van de Rijksgebouwendienst (Rgd). De conclusie van de Rgd was dat het systeem zeer tot de verbeelding spreekt maar dat nog wel enkele knelpunten moeten worden opgelost: het ging hierbij om onder meer de volgende punten (zoals ook beschreven in paragraaf 2.2.3):

- In kantoorruimten is de akoestiek vaak een probleem. Hier wordt vaak gebruik gemaakt van 'schotten' hangend aan het plafond (baffels) en deze verstoren het gewenste coanda-effect (de luchtstroom die blijft 'plakken' aan het plafond)
- Als de warmtewisselaar van de warmtepomp lek raakt kan dan koelmiddel in de ruimte worden verspreid?
- Dwarsventilatie door het gebouw bij openstaande deuren is mogelijk een probleem.
- Moet bij onderhoud het apparaat van zijn plaats?
- Moet bij vervangen van de filters het bureau van zijn plaats?
- Kan het reguliere onderhoud ingepast worden in het totale onderhoud van het gebouw?
- Bij ontdooien van de warmtewisselaar vindt recirculatie plaats. Dit moet tot het minimum worden beperkt.
- De decentrale installatie units vergen elke 1,20 meter een aparte elektrische aansluiting.

Op basis van de onderzoeksresultaten en na het voorleggen van de eerdere resultaten aan de klankbordgroep is besloten dat het concept voor verdere ontwikkeling geschikt is. De verdere evaluatie door middel van de toetsing aan economische en technische aspecten wordt in een volgende fase uitgevoerd.

5. Taak IV: Ontwikkeling van componenten en systemen

5.1 Definitief ontwerp Zon-WEL testgevel (componenten en gevelsysteem)

5.1.1 Doel van de deeltaak

In deze taak zullen de geselecteerde componenten en productietechnologieën uit de vorige deeltaak verder worden beproefd en wordt kennis ontwikkeld voor het definitieve ontwerp van de modulair op te bouwen componenten en gevelsystemen.

5.1.2 Werkzaamheden

Op basis van de in de vorige taken opgedane kennis betreffende het energetisch en bouwkundig functioneren van de Zon-WEL gevel componenten is een definitief ontwerp gemaakt waarbij de ontwikkelde productie/assemblage techniek kan worden toegepast.

5.1.3 Resultaat

Zie bijlage 4 voor het definitieve ontwerp ten bate van de testgevel. Hoe de totstandkoming van het definitieve ontwerp heeft plaatsgevonden wordt hieronder toegelicht:

5.1.3.1 Problematiek

Het ontwerpen van een gevelsysteem dat voldoet aan hoge technische eisen zoals in het Programma van Eisen beschreven lijkt geen onmogelijke opgave. Bij het specifiek voor één gebouw ontwerpen van een zo energiezuinig mogelijke gevel is de techniek de leidende factor. Wanneer ditzelfde gerealiseerd moet worden voor een nog onbekende opdrachtgever is het een ander verhaal. Het systeem dient achteraf aan de specifieke wensen van de klant aangepast te kunnen worden qua afmetingen, materialisatie en functionaliteit naast meer gebruikelijke aspecten als kleur, structuur en textuur. Er is dus een flexibiliteit gewenst in de breedste zin van het woord:

- Flexibiliteit tijdens de productiefase van het systeem.
- Flexibiliteit in het toepassen van het systeem.
- Flexibiliteit tijdens het gebruik van het systeem

Het is voor de *architect* zaak de beschikking te hebben over een systeem dat binnen zijn ontwerp past en waarbij alle voordelen van het systeem zelf behouden blijven. Voor de *producent/ontwerper* van het systeem is het van belang zoveel mogelijk vierkante meters gevel te verkopen en deze op een zo efficiënt mogelijke manier te produceren.

5.1.3.2 Oplossingsrichting

Het probleem van flexibiliteit ligt bij de verschillende partijen op verschillende vlakken, namelijk: techniek en esthetiek.

De combinatie maatwerk (architect) en massaproductie (fabrikant) lijkt in eerste instantie in tegenspraak. In de auto-industrie is men echter al heel ver in het 'op maat maken' van massaproducten. Men kan uit vele opties kiezen terwijl de modellen van dezelfde lopende band rollen. Deze manier van fabriceren, iets op maat maken en toch in massa produceren, heet 'mass customization'. Dit is het antwoord op de genoemde problematiek. Het ontwerpen van een 'mass customized product' vraagt een bepaalde ontwerphouding. Onder andere Design For Manufacturing (DFM, ontwerpen voor productie) kan houvast bieden.

Verder zijn er de volgende basisregels:

- het toevoegen van functies moet de systeembasis zoveel mogelijk intact laten.
- volledige integratie van componenten is slechts verstandig indien deze zich altijd in de basisconfiguratie bevinden.
- verschaling van componenten slechts in één of twee dimensies en de derde dimensie in een apart onderdeel oplossen.

Het ontwerpen van een systeem voor zoveel mogelijk smaken is lastig. Het uitgangspunt is daarom het ontwerpen van een zo neutraal mogelijke basis met de mogelijkheid tot uitbreiding en aanpassing op het gebied van functionaliteit en vormgeving.

5.1.3.3 Concept

Maatsysteem

Bij het ontwerpen van een systeem komt al gauw de term ‘modulair bouwen’ ter sprake. Het maatsysteem mag echter niet leidend worden maar moet altijd als ondersteuning dienen van het ontwerp. Er is daarom gekozen voor een moduulmaat van 1,2 m per gevelement (breedte). Deze maat wordt algemeen gehanteerd in de utiliteitsbouw. De hoogte wordt niet vastgelegd omdat dit de toepassingsmogelijkheden te veel beperkt.

Het hart van het element is de zogenaamde Climate Control Unit (CCU). Hier wordt lucht binnengehaald, behandeld ingebracht en weer afgevoerd. Er is besloten de unit in de gevelzone vóór de vloer te plaatsen. Dit is zowel architectonisch als installatietechnisch de meest logische plaats. Het gevelvlak wordt in horizontale zin in drie zones opgedeeld. Elke zone heeft een bepaalde ‘overheersende’ functie: zo is de bovenste zone de lichtzone. Hier wordt licht geweerd en gestuurd. De tweede zone is de zichtzone en primair bedoeld voor het verhogen van het visuele comfort van de gebruiker. De onderste deel is een vrij in te vullen zone (bijvoorbeeld PV panelen). De grenzen van deze zones zijn niet star; ze kunnen afhankelijk zijn van bijvoorbeeld de oriëntatie van de gevel en het soort gebouw.

Kit of parts

De basis van het systeem bestaat uit een draagstructuur en de CCU. Deze componenten zijn altijd aanwezig. De horizontale zonering resulteert in drie functiegroepen: componenten voor licht, zicht en overige functies. Binnen deze groepen kan gekozen worden uit verschillende kwaliteiten en uitvoeringen. Op deze manier kan er binnen het systeem voldoende gevarieerd worden om een zo groot mogelijke markt te bedienen.

5.1.3.4 Kenmerken

Samengevat heeft het gevelconcept de volgende kenmerken:

- Het systeem is gebaseerd op een moduulmaat van 1,2 m.
- Neutraal uiterlijk van de basisvariant; gemakkelijk uit te breiden, grote uitwisselbaarheid van componenten mogelijk (ook na realisatie).
- Vrij in te vullen gevelvlak met licht-, zicht- en vrije zone.
- Comfortverhoging door individuele klimaatregeling, decentraal per stramien breedte.
- Besparing van bruto inhoud door het vervallen van verlaagde plafonds, leidingschachten en installatieruimten.
- Onderhoudsvrije installaties, 'plug and play' aansluitingen. Installatie van gevoelige apparatuur op het laatste moment voorkomt schade en verlaagt kans op diefstal.
- Volledige prefabricage, aanvoer in (sub)componenten en directe assemblage; voorkomt schade aan elementen door onnodige opslag op de bouwplaats.
- Er worden alleen droge verbindingen toegepast.
- Snel wind- en waterdicht.

Het is een systeem dat breed inzetbaar is, een grote variatie aan gevelbeelden mogelijk maakt, een buitengewone energieprestatie neerzet en een grote comfortverhoging ten opzichte van reguliere systemen tot gevolg heeft.

5.2 Bouwen van prototype gevels

Er zijn schaal 1:1 prototypes van de componenten vervaardigd die vervolgens in testgevels zijn ingebouwd en op de locaties bij ECN te Petten en TNO te TU Eindhoven beproefd werden.



Figuur 13 Zon-WEL testgevel ECN Petten

In paragraaf 5.2.2.1 Metingen energieprestatie testgevel ECN wordt verslag gedaan van de metingen betreffende het energetisch presteren.



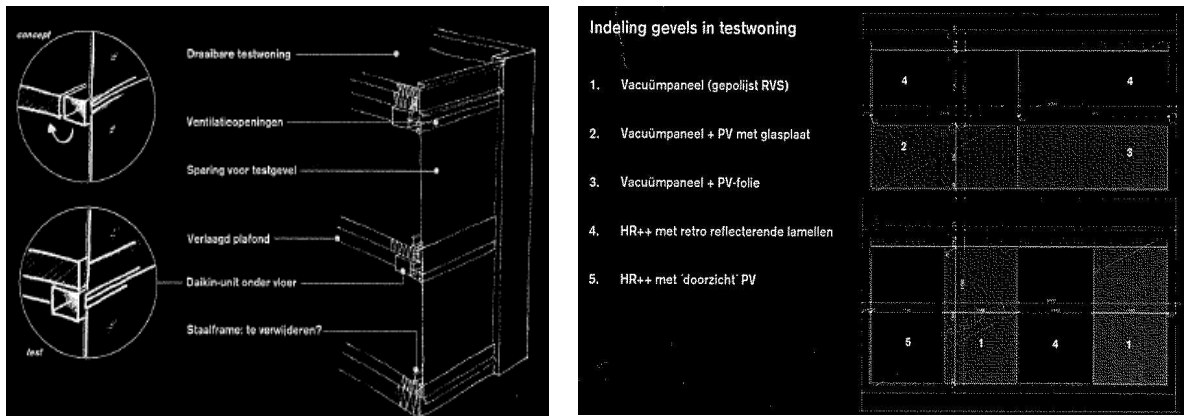
Figuur 14 Testruimte TU/e met meetcomputer en luminantiecamera

Een verslag van de metingen voor lichtaspecten is te vinden in paragraaf 5.2.2.2 Lichtopbrengst metingen en resultaten TNO.

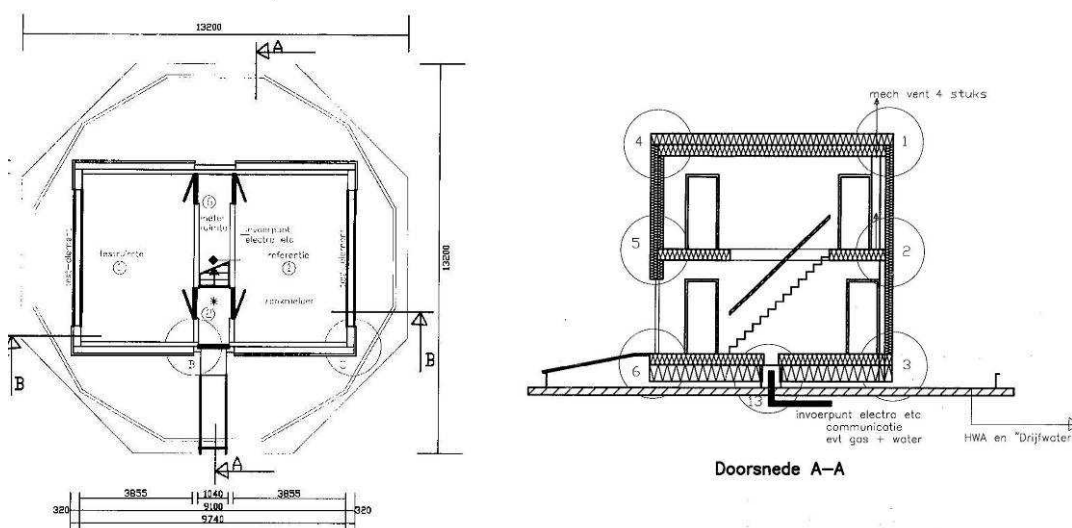
5.2.1 Realiseren en meten van testopstellingen.

Bij ECN is de gevelopstelling gebruikt om het bouwkundig en energetisch functioneren te beproeven. Hiervoor is gebruik worden gemaakt van een draaibare testfaciliteit. Bij deze 1:1 uitvoering is het gebruikersgedrag (o.a. de setpoints en interne warmte) gesimuleerd.

Er zijn twee onderzoeksgevels gerealiseerd, beiden typisch voor de utiliteitsbouw, maar met mogelijke bruikbaarheid van elementen voor de (gestapelde) woningbouw. Zie ook bijlage 5 voor de foto's van de gerealiseerde testgevel. Door de bestaande staalconstructie van de gevel was het niet mogelijk om de smartbox op vloerhoogte in te bouwen. De installatie zijn daarom tegen de onderzijde van het plafond geplaatst (zie ook *Figuur 17 De installaties op de begane grond (onder) en de verdieping (boven) in de draaibare onderzoeksfaciliteit van ECN.*)



Figuur 15 Meetruimte met de semi-decentrale installaties(l) en de Smartbox (r)



Figuur 16 Plattegrond (van de begane grond) en zijaanzicht van de testwoning.

5.2.2 Toetsen van Zonnegevel op bouwkundige en functionele eisen.

Door middel van testen, metingen en toetsing van tekening is bepaald of de gevel voldoet aan de opgestelde eisen en wensen. In het bijzonder zijn de energetische en bouwkundige kwaliteiten hierbij geëvalueerd door de resultaten van de metingen te interpreteren naar de verwachte energieprestatie. Er is gemeten op warmtestromen (ECN), technisch functioneren (ECN) en de kwaliteit van de lichttoetreding en zonwering (TU/e en TNO). Vanwege de specifieke benodigde kennis en apparatuur en de grote afstand tussen Petten en Eindhoven is ervoor gekozen om de metingen op componentniveau niet op geïntegreerd niveau maar op

verschillende locaties uit te voeren. Daarnaast is er een kostenvergelijking gemaakt tussen een 'standaard' kantoor en een Zon-WEL kantoor.

5.2.2.1 Metingen energieprestatie testgevel ECN

De installaties en gevels die zijn ontwikkeld binnen het Zonwel project zijn geïnstalleerd in de draaibare onderzoeksfaciliteit van ECN in Petten. In deze faciliteit is meetapparatuur geïnstalleerd waarmee het mogelijk is de warmtewinsten en -verliezen door de gevel en het energiegebruik van de installaties in kaart te brengen. Op de bovenverdieping is een prototype geplaatst van Level Energy Technology waarin ventilatie, verwarming, koeling en warmteterugwinning zijn geïntegreerd in één apparaat. Op de begane grond zijn twee units geplaatst: een Daikin split unit voor verwarmen en koelen en een prototype van Itho waarmee indirect adiabatisch kan worden gekoeld en waarmee warmte- en koude terugwinning op de ventilatielucht kan worden gerealiseerd.



Figuur 17 De installaties op de begane grond (onder) en de verdieping (boven) in de draaibare onderzoeksfaciliteit van ECN

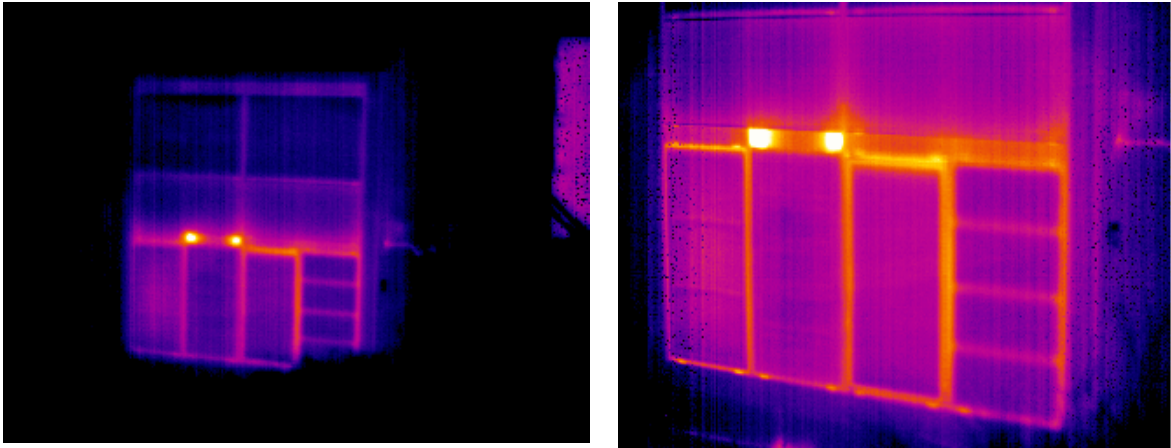
De volgende metingen zijn uitgevoerd, onder realistische gebruikscondities:

- Infraroodopnamen van de Smartfacade
- Luchtdichtheidsmetingen (Cauberg Huijgen)
- Elektriciteitsgebruik van de installaties
- Temperatuur en relatieve vochtigheid in de ruimten
- Temperatuur in diverse delen van de installaties
- Zoninstraling op de gevel
- Lokale buitentemperatuur, relatieve vochtigheid en wind condities

De resultaten uit de metingen zijn gebruikt om de prototypen van de installaties te verbeteren en om de energiestromen in de installaties en door de gevel in kaart te brengen.

Infraroodopnamen

Op 22 februari 2006 zijn in de ochtend infraroodopnamen gemaakt van de gevel. De buitentemperatuur bedroeg ca. 4°C, de zon ging schuil achter een dik wolkendeek. Binnen in de onderzoekswoning bedroeg de temperatuur tussen de 20°C en 22°C. De volgende opnamen leggen duidelijk de relatieve koudebruggen van de bevestigingsprofielen in de constructie bloot. Deze zijn te zien door de roodgele lijnen in de paarsblauwe vlakken. De roodgele vlakken zijn ca. 4°C warmer dan de paarsblauwe. De helgele vlakken links van het midden, zijn de in- en uitblaasopeningen van de ventilatie-unit die is gemonteerd op de begane grond. De in- en uitblaasopeningen van de unit op de verdieping zijn niet terug te zien, omdat deze om het moment van de opname niet in gebruik was.



Figuur 18 Infrarood opnamen van de Smartfacade

De gevel van de begane grond vertoont ten opzichte van de eerste verdieping relatief veel koudebruggen. De warmteverliezen bij de verticale en horizontale aansluitingen van de bevestigingsprofielen en de vier panelen vormen een punt van aandacht.

Luchtdichtheidsmeting

Van de draaibare onderzoekswoning zijn in de twee testruimtes (begane grond en verdieping) luchtdichtheidsmetingen uitgevoerd. Deze ruimten zijn op onderdruk en op overdruk gebracht met behulp van een ventilator (blowerdoor test). De gevonden resultaten leiden tot een onnauwkeurigheid van circa 5% tijdens de metingen. Bij variërende buitenomstandigheden zal deze onnauwkeurigheid veranderen. De metingen zijn gedaan op 17 februari en 28 april 2006. Onderstaande tabel toont de resultaten:

Tabel 5 Resultaten van de blowerdoortest

Ruimte	Oppervlak [m ²]	Meting 17-2-2006		Meting 28-4-2006	
		Q _{v10} [l/sec]		Q _{v10} [l/sec]	
		onderdruk	overdruk	onderdruk	overdruk
Begane grond	22	17	14	14	13
Eerste verdieping	22	16	12	11	11

Op onderstaande plekken zijn lekken geconstateerd, die voorafgaand aan de metingen gedicht zijn:

- aansluitingen van de meetgevel op het houten kozijn, en van het houten kozijn op de constructie van de onderzoekswoning.
- ter plaatse van de aansluiting van aluminium strip op houten kozijn, de 'pur'-naad en de horizontale naden tussen de houten platen kitvoegen rondom de naar buiten stekende geveldelen boven de gevel (voornamelijk in het paneel net rechts van het midden)

- naden in de woning zelf ter plaatse van de aansluitingen tussen vloerdelen tussen vloer en wand en tussen wand en deurkozijn

De volgende lekken zijn technisch moeilijk te dichten:

- lekken ter plaatse van bevestigingsschroeven in de wand
- onderaansluiting van de meetgevel op de constructie van de proefwoning, bij de naden onder het stelanker
- afdichtingen met schuimband tussen de gevel en de bevestigingsconstructie

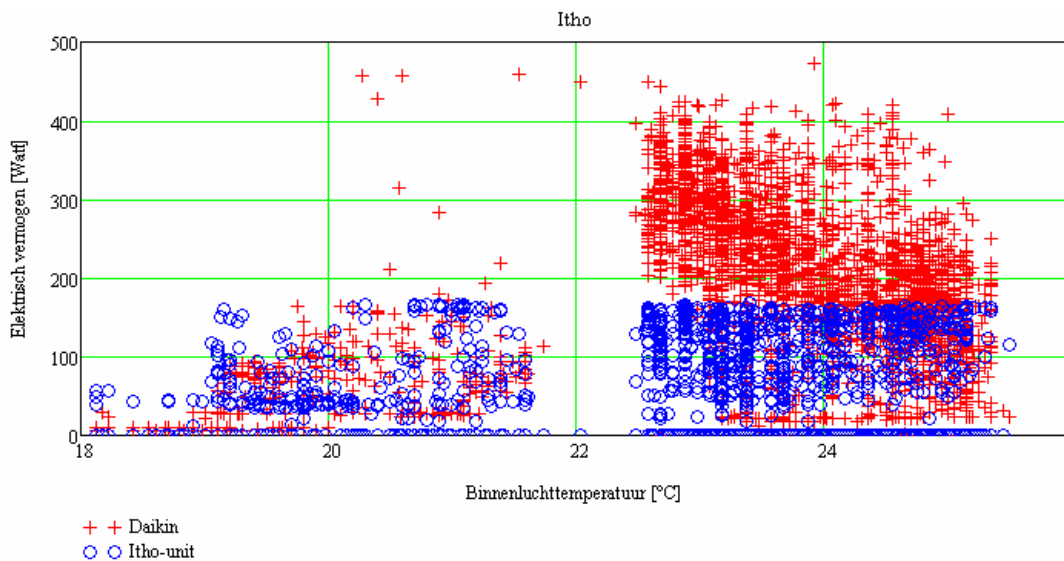
De ruimten en de gevel voldoen ruimschoots aan de normen op het gebied van kierdichting.

Luchtverversing

Van beide installaties bleek dat de ventilator niet de hoeveelheid luchtverversing realiseerde die was beoogd. Totaal benodigde luchtverversing door het ventilatiesysteem in beide ruimtes was ca. 7,8 liter/sec. De gemeten luchtverversing (exclusief infiltratie) is maximaal circa 20 liter/sec, afhankelijk van de buitencondities. Gemiddeld voegt infiltratie circa 12 liter/sec toe aan de luchtverversing.

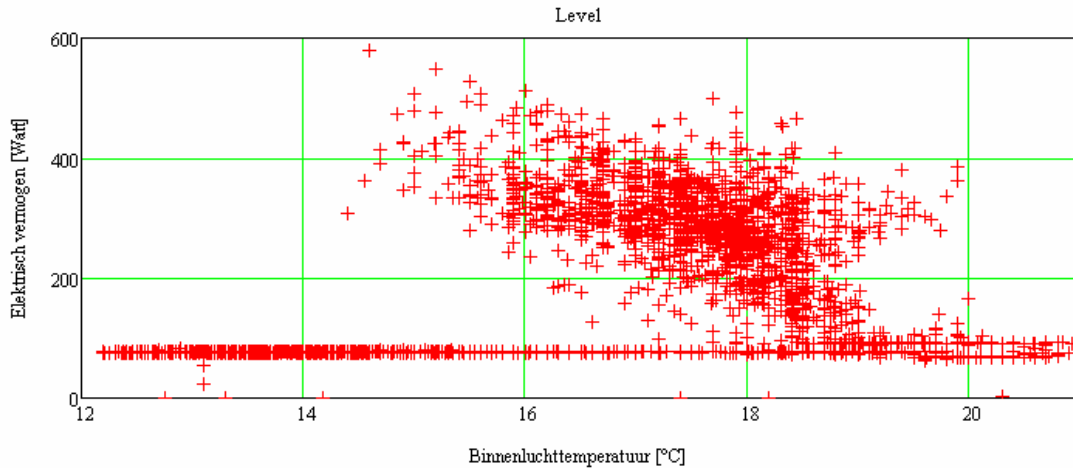
Elektriciteitsgebruik van de installaties

Afhankelijk van de binnentemperatuur draaien de installaties in een bepaalde modus, bijvoorbeeld; verwarmen, koelen en/of ventileren. Afhankelijk van deze modus wordt een bepaald elektrisch vermogen afgenomen. In onderstaande grafieken, gemeten in januari, is voor de beide prototypen (Level en Itho) het afgenomen elektrisch vermogen uitgezet tegen de gemeten binnenluchttemperatuur.



Figuur 19 Afgenomen elektrisch vermogen begane grond (Itho ruimte)

Maximaal neemt het prototype van Itho 180 Watt op. De split-airco unit (Daikin) maximaal 450 Watt. Gezamenlijk nemen de installaties op de begane grond maximaal 630 Watt. Opvallend is dat beide units geen elektriciteit verbruiken als de temperatuur rond de 22°C is.

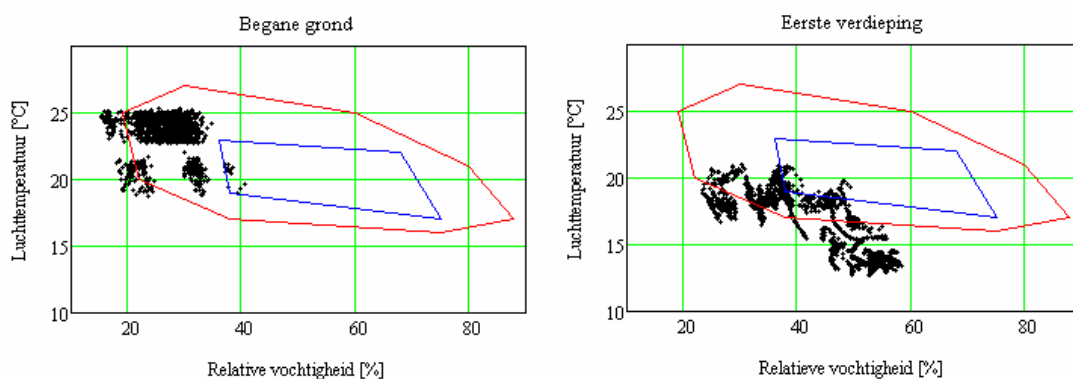


Figuur 20 Elektrisch vermogen eerste verdieping (Level ruimte)

Maximaal neemt het prototype van Level 580 Watt op. De ventilator neemt hiervan 80 Watt voor zijn rekening. Tijdens het bedrijf van de prototypen bleek dat deze geen representatief beeld geven van het energiegebruik van het apparaat zoals die voor commerciële toepassing gaat worden. Hierdoor is besloten om vooral te kijken naar mogelijke verbeteringen in de installaties en minder op het energiegebruik van de geïnstalleerde prototypen. Denk hierbij aan verbeteringen ten aanzien van condensafvoer, geluid, regeling en luchtstromingen.

Functioneren van de prototypen

Doordat beide prototypen kampten met technische problemen, bleek het niet mogelijk om lange periodes zonder storingen door te kunnen meten. Hierdoor is te weinig data verzameld om een goed beeld te geven van de prestaties van de installatie op lange termijn. Van de maand januari in 2007 is het comfort niveau gemeten in beide ruimten. Hieruit bleek dat het prototype van Level door beperkingen in de uitvoering te weinig verwarmingsvermogen in de ruimte kon brengen. Onderstaande grafieken geven de behaaglijksgebieden volgens Fanger weer. Binnen het blauwe gedeelte is het behaaglijk. Tussen blauw en rood is het beperkt behaaglijk. Buiten het rode gedeelte is het onbehaaglijk.



Figuur 21 Gemeten comfort niveau in beide ruimten.

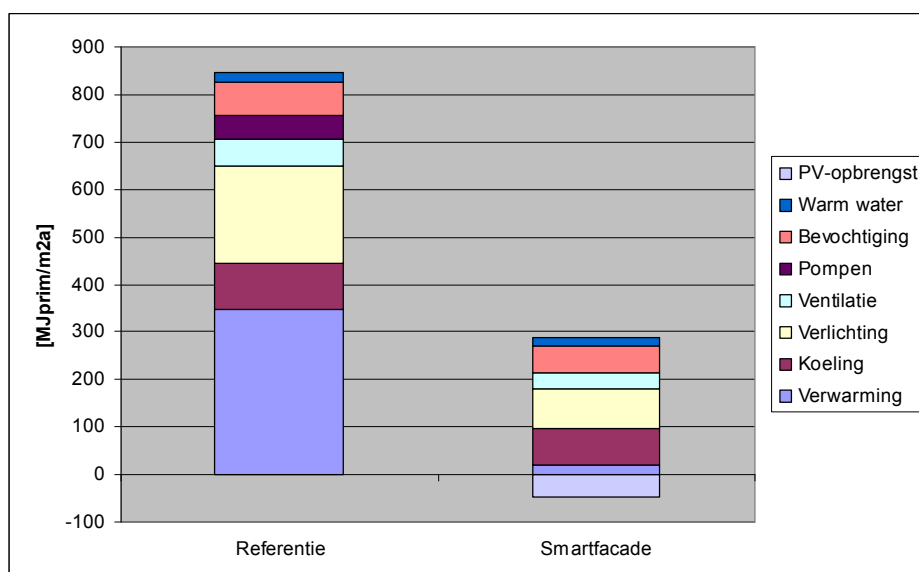
Bepaling van het totale, jaarlijkse energiegebruik

Aan de hand van de meetresultaten van de prototype installaties en de bouwfysische eigenschappen van de testgevel is door middel van het dynamische simulatieprogramma TRNSYS het energiegebruik voor een kantoorcel gesimuleerd. In onderstaande tabel is aangegeven welke gebouw- en installatie eigenschappen zijn gebruikt.

Tabel 6 Overzicht maatregelen van de Smartfacade vergeleken met standaard nieuwbouw

Overzicht maatregelen	Nieuwbouw kantoorcel	Smartfacade kantoorcel
Diepte x hoogte x breedte	5,4 x 2,7 x 3,6 m	Idem
Dichte delen gevel	Rc = 3,0 m ² K/W	Rc = 5,0 m ² K/W
Kozijnen / beglazing	2,4 / 2,0 W/m ² K	1,6 / 1,1 W/m ² K
Infiltratievoud	0,75/h	0,025/h
Ventilatievoud	3/h	3/h
Zonwering	Binnenzonwering	ETAP in spouw
Vochtterugwinning	Nee	Ja
Warmteterugwinning	70 %	90 %
Verlichting	11 W/m ² , vertrekschakeling	8 W/m ² , veeg en daglichtschakeling, ETAP
Koeling	Conventioneel, SPF 1,5	Decentraal, SPF 1,7
Verwarming	Centraal, HR107 ketel, 90% rendement	Decentraal SPF 2,5
Kanalen/leidingen	Ja	Nee, decentraal

Omdat de prototypes tekortkomingen bleken te hebben die in de uiteindelijk marktrijpe gevelcomponenten en installaties zullen zijn verholpen, is hierbij uitgegaan van inschattingen op basis van in de praktijk gerealiseerde vergelijkbare technieken. Zo is bijvoorbeeld voor de uiteindelijke efficiency voor verwarming en koeling van de installaties evenals voor de luchtdichtheid van de gevel een hogere, meer realistische waarde gekozen dan de bij de testfaciliteit gemeten waarden.



Figuur 22 Energiebesparingspotentieel van de Smartbox energy facade in vergelijking met een standaard referentiekantoor

In bovenstaande figuur is te zien dat met name het energiegebruik voor verwarming en voor verlichting enorm is teruggebracht. De sterke afname van de ruimteverwarmingsvraag is het gevolg van de verbeterde isolatiewaarden voor de dichte delen, het glas en de kozijnen en een verbeterde luchtdichting van de gevel in combinatie met een hoger rendement warmteterugwinning van de ventilatielucht. Door deze maatregelen en een efficiëntere voorziening van warmte (gebruik van een warmtepomp in plaats van een gasgestookte ketel) is het totale primaire energiegebruik voor verwarming een factor 15 lager.

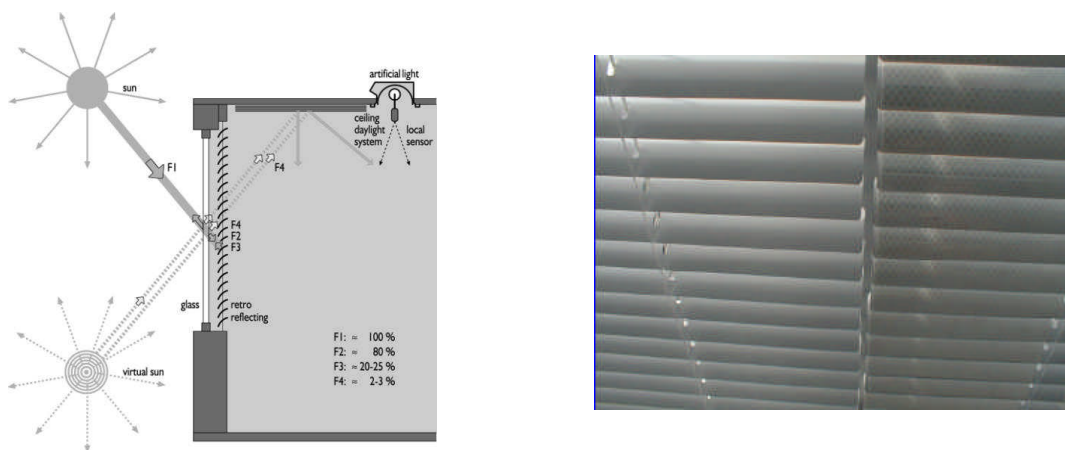
Het terugbrengen van de verlichtingsenergie met circa 60% is te danken aan de toepassing van ETAP-systeem (circa 20% besparing) en door de toepassing van energiezuinige, daglichtgestuurde armaturen met een veegschakeling (overige 40%).

De doelstelling om bij toepassing van dit gevelconcept bij kantoorgebouwen meer dan 50% energie te besparen kon gehaald worden door de volgende benadering te kiezen:

1. Minimaliseer de vraag naar energie (hoge isolatie, geen luchtlekkage, zonwering, locale hoog efficiënte warmte- en vochtterugwinning uit ventilatielucht)
2. Maximaliseer het gebruik van gratis, duurzame energie (passieve zonne-energie, omgevingswarmte, 'slimme' daglichtsystemen, zomer-nachtkoeling)
3. Efficiënt gebruik van fossiele brandstoffen voor resterende vraag (locale verwarming en koeling met efficiënte warmtepompen)
4. Duurzame energieopwekking met gevelgeïntegreerde fotovoltaïsche zonnepanelen resulteert in een verdere reductie van de fossiele energievraag.

5.2.2.2 Lichtopbrengst metingen en resultaten TNO

In het kader van het Zon-WEL project is onderzoek gedaan naar een efficiënt zon- en helderheidweringsysteem gebaseerd op het ETAP systeem, een horizontaal lamellen systeem met daarop aangebracht een retroreflecterende coating in combinatie met een spiegelen plafondelement. Het patent van dit systeem is nog in behandeling. Uit onderzoek uitgevoerd in opdracht van ETAP Lighting is gebleken dat dit systeem, wanneer het aan de binnenkant van het raam voor dubbelglas wordt opgehangen, ten opzichte van een traditioneel lamellen systeem zorgt voor een betere verdeling van het licht in de ruimte. De resultaten laten zien dat er 15% meer licht achter in de ruimte komt (op 3,5 m van het raam), 30% meer licht op 2,3 m van het raam en 10% minder licht dicht bij het raam. Uit dit onderzoek is tevens gebleken dat de toepassing van het ETAP systeem leidt tot een gemiddelde elektriciteitsbesparing op daglichtgerегelde kunstverlichting van 20% vergeleken met het traditionele lamellen systeem. (zie voor meer informatie: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/lighting/daylight/docs/preszonneveldt.pdf>)



Figuur 23 Principe schets van de werking van het ETAP systeem (links) en foto van lamellen zonder en met retroreflecterende coating (rechts)

Tijdens het ZonWEL project ontstond de vraag of het ETAP systeem ook tussen glas goed zou kunnen functioneren. Hiertoe is een experimentele ruimte op de TU/e in Eindhoven aangepast en gedurende enkele maanden is de daglichttoetreding geregistreerd. Doel van het onderzoek: Bepalen of het ETAP systeem tussen glas opgehangen goed functioneert, en vaststellen wat de verschillen zijn in daglichtsturing ten opzichte van het oorspronkelijke systeem

De resultaten laten zien dat een spiegelen glasvlak nabij het raam gemiddeld over alle weercondities 9% (± 2) minder licht doorlaat dan wanneer er geen extra glasvlak is aangebracht

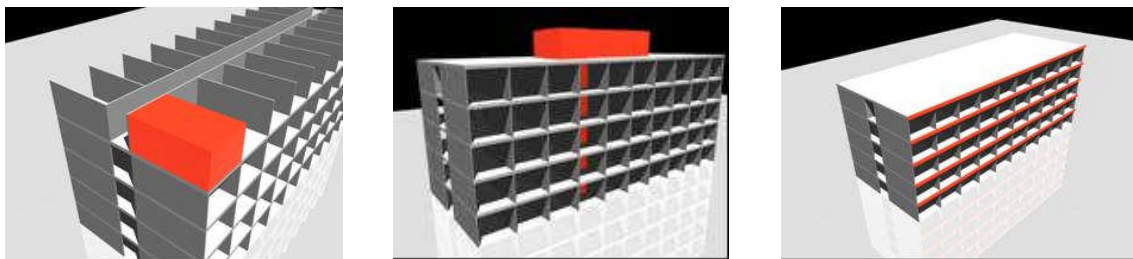
aan de binnenzijde van het ETAP systeem. Wanneer het extra glasvlak ontspiegeld is laat het gemiddeld (6 ± 1 %) minder daglicht door. Op 2.6 m van het raam is het verschil tussen spiegelend en ontspiegeld glas het grootst: spiegelend glas laat 11% (± 2) minder licht door en ontspiegeld glas slechts 4% (± 2 %) minder licht.

De resultaten laten tevens zien dat het plafondelement essentieel is voor een betere verdeling van het licht in de ruimte. Bij normale witte plafondplaten wordt het licht grotendeels (70%) diffuus gereflecteerd waardoor het blijft hangen in het gebied dicht bij het raam, waar toch al (te) veel licht is. Met het ETAP plafondelement wordt het opvallende licht gericht gereflecteerd naar achteren, waardoor de verdeling beter wordt. In het hier uitgevoerde experiment komt er meer licht op 2.6 m van het raam, maar met een andere vorm van de plafondreflectoren kan dit gereflecteerde licht ook in een ander gebied in de ruimte terecht komen.

De metingen zijn uitgevoerd met een extra glasvlak aan de binnenzijde van het raam, terwijl het systeem voor dubbelglas was opgehangen, dus met in totaal 3 glasvlakken in plaats van 2. Wanneer we er rekening mee houden dat in de uiteindelijke Zon-WEL gevel niet drie maar twee glasvlakken gebruikte worden, kan geconcludeerd worden dat het aannemelijk is dat de werking van het ETAP systeem wanneer het tussen twee glasvlakken wordt gemonteerd nagenoeg identiek is aan het originele ETAP systeem dat voor dubbelglas wordt opgehangen.

Door toepassing van het ETAP systeem en in combinatie met overige energiebesparende maatregelen zoals daglichtgestuurde armaturen en een veegschakeling kan het benodigd elektriciteitsgebruik voor verlichting met circa 60% worden teruggebracht.

5.2.2.3 Kosten-baten analyse



Figuur 24 Afbeeldingen van de kantoorcel (links), referentie kantoor (midden) en Zonwel kantoor (rechts)

In overleg met de Rgd is een prognose gemaakt van de kosten en baten van het Smartfacade concept. Toepassing van de het Smartfacade concept bij een kantoorgebouw geeft, ten opzichte van een referentie kantoor met 'standaard' gevels, besparingen op:

- Installatiekosten (meer dan 50% reductie door goedkopere installaties en vermeden kosten voor kanalen en leidingen)
- Energiegebruik (meer dan 50% energiebesparing op gebouwgebonden energiegebruik)
- Bruikbaar vloeroppervlak door vermeden schachten en installatieruimte (2 – 3% besparing op BVO)
- Geveloppervlak per verdieping (10 -15% minder benodigd)
- Gebouwhoogte (extra verdieping bij gelijke hoogte mogelijk bij 7 à 8 verdiepingen)

In de volgende tabel zijn de uitkomsten van de kostenanalyse gegeven. Hierbij is voor de Smartbox energy facade onderscheid gemaakt tussen een 'basis' en 'plus' variant. Bij de 'plus' variant is ook PV in de gevel opgenomen:

Tabel 7 Investerings- en exploitatielasten van traditioneel gevelsysteem versus Smartfacade

Variant	Traditionele gevel	Smartbox energy facade		
		Basis	Plus	
Gevelkosten	€332	€461	€498	/m ² BVO
Installatiekosten	€285	€103	€103	/m ² BVO
Investeringslasten per jaar	€82	€75	€80	/m ² BVO/jaar
Onderhoud	€11	€10	€10	/m ² BVO/jaar
Energie	€10	€5	€3	/m ² BVO/jaar
Totale exploitatielasten	€102	€89	€92	/m ² BVO/jaar

De uitkomst van de kostenanalyse is dat de meerkosten voor de gevel (30-50%) van het Smartfacade-concept ruimschoots opwegen tegen de verwachte besparingen. De verwachte besparingen op installatiekosten (meer dan 50%) en de besparingen op bouwkosten door de lagere bruto verdiepingshoogte (circa 10-15%) zorgen ervoor dat de investeringslasten per m² BVO per jaar voor het Smartfacade concept (€75-80 /m² BVO/jaar) vergelijkbaar of zelfs iets lager zijn dan bij een traditioneel gebouwd kantoor (€82 /m² BVO/jaar). Wanneer vervolgens de energiekosten en onderhoudskosten mee worden geteld op de totale investeringslasten van het gebouw dan worden de investeringslasten voor het Smartfacade-concept (€ 89-92 /m² BVO/jaar) zelfs zo'n 10% lager dan een traditioneel kantoorgebouw (€ 102 /m² BVO/jaar).

Uit de tabel valt af te lezen dat de initiële investeringen voor de gevelcomponenten van de Smartfacade hoger is, terwijl de kosten voor de installaties lager zijn. Omgerekend naar investeringslasten per jaar blijkt de Smartfacade goedkoper te zijn dan een traditionele gevel. Door de lagere exploitatiekosten voor energie en onderhoud valt de vergelijking van de investeringslasten voor de Smartfacade nog gunstiger uit.

Bij deze vergelijking is overigens een ander positief effect van het Smartfacade concept niet meegenomen: bij een gebouwhoogte van 7 à 8 verdiepingen wordt bij het Smartfacade concept een extra verdieping mogelijk, wat meer netto m² vloeroppervlak bij gelijke gebouwhoogte oplevert.

6. Taak V: Demonstratie, kennisoverdracht

In deze laatste fase is demonstratiemateriaal (een Zonnegevel) gebouwd voor test- en demonstratie doeleinden. Indien zich de mogelijkheid tot een pilot-project voordoet bij bijvoorbeeld de Rgd zal dit worden aangegrepen om het concept toe te passen. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoeks- en ontwikkelingsproject. Door het geven van presentaties op beurzen en congressen en het schrijven van artikelen in tijdschriften, vakbladen en het maken van een website is verdere bekendheid gegeven aan de ontwikkelde 'Smartfacade'.

6.1 Doel van deze taak

Doel van deze laatste taak van het project is de resultaten van het Zon-WEL project zo goed mogelijk naar de markt bekend te maken.

6.2 Werkzaamheden

De kennisoverdracht bestond onder meer uit het realiseren van demonstratie materiaal, het maken van een website en het geven van een eindpresentatie voor diverse partijen uit de (gevel) bouwbranche. Daarnaast zijn er diverse publicaties in vaktijdschriften verschenen.

6.3 Resultaat

6.3.1 Demonstratie-materiaal

In deze laatste fase zijn er van elementen uit het Zon-WEL concept schaal 1:1 componenten vervaardigd voor demonstratie-doeleinden op beurzen, congressen en geïnteresseerde partijen voor verdere vermarkting. Naast de 1:1 componenten van VI-panelen, PV-panelen, raam met ETAP lamellen en de Smartbox is ook de testgevel zelf beschikbaar voor demonstratiedoeleinden.

6.3.2 Eindpresentatie

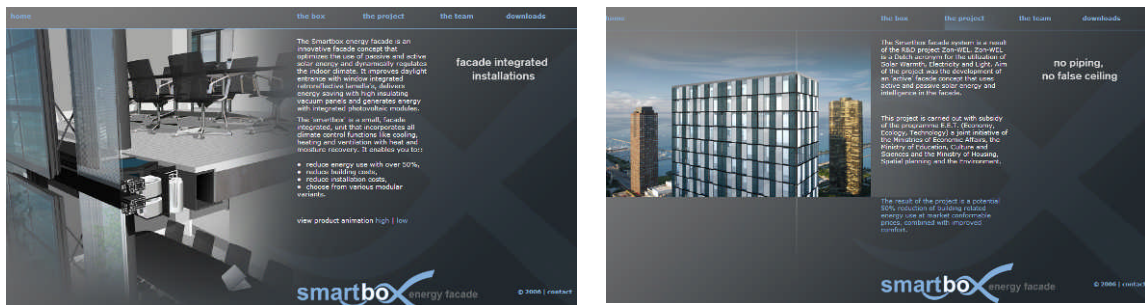
In juni 2007 is bij ECN een openbare eindpresentatie van het Smartfacade concept gegeven voor diverse partijen uit de gevelbouw bij ECN. Deze bijeenkomst werd goed bezocht (ca 90 deelnemers) door diverse partijen uit de (gevel)bouwbranche. Er is een enquête gehouden waaruit bleek dat de middag positief werd gewaardeerd (gemiddelde waardering een 8).



Figuur 25 Foto's van de eindpresentatie bij ECN (juni 2007)

6.3.3 Website

Tegelijk met de presentatiedag in juni 2007 is ook de website www.smartfacade.nl in de lucht gegaan. In onderstaande figuur een impressie van de website met als downloads onder meer 'factsheets' en een animatie.



Figuur 26 Selectie van twee pagina's van de website www.smartfacade.nl

6.3.4 Artikelen, publicaties

Er zijn in de loop van het project diverse artikelen in tijdschriften en vakbladen gepubliceerd om de resultaten van de ontwikkelde Smartfacade naar de markt over te dragen:

Artikelen, publicatie:

- de Wilde, P., B. de Boer and J. Heijnis, 2003. ZonWEL - a Dynamic Solar Façade. In: Bustamante and Collados, ed. PLEA'03, 20th International Conference, Santiago de Chile, Chile, november 9-12 2003, paper G19 (CD-ROM)
- de Boer, B., H. de Moor, F. Ligthart, J. Heijnis, P. Hoogendoorn, B. Veldkamp, L. van Bohemen, P. de Wilde. Zon-WEL, een innovatief gevelconcept. Verwarming Ventilatie Plus, juni 2005, jaargang 62, nr. 6, pag. 440 t/m 443
- de Boer, B., H. de Moor, P. de Wilde, J. Heijnis, 'Zon-WEL' Dynamic Solar facade, Cisbat 2005 proceedings, 28 September 2005, Lausanne, Switzerland, page 101-106
- artikel ECN Nieuws, juni 2007
- Persbericht 'Halvering energiegebruik door slim gevelconcept', juni 2007
- Website met downloads: www.smartfacade.nl, juni 2007
- ECN nieuwsbrief 'Halvering energiegebruik door slim gevelconcept'
- VV+ 'Smartfacade verlaagt exploitatiekosten' september 2007
- VV+, 'Smartbox voor klimaatbeheersende functies', oktober 2007
- produktinformatie 'Slimme facade' Architect, augustus 2007
- Artikel BouwIQ 'Smartbox energy facade - besparen zonder meerkosten'
- Artikel NBD
- Artikel Cobouw
- Presentatie innovatiedag VMRG 6 september 2007
- 'Prototypes, the work of Cepezed', ISBN nummer 978-90-6450-613-0 publicatie van Cepezed

Nieuwsberichten op Internet:

- www.senternovem.nl 'EET project Zon-WEL presenteert De Smartbox Energy Façade', Mei 2007
- www.tno.nl 'Halvering energiegebruik door slim gevelconcept', mei 2007
- www.energeia.nl, 'Decentrale airco en verwarming, minder energie en kosten maar radicaal anders', juli 2007
- www.ecn.nl 'Halvering energiegebruik door slim gevelconcept', juni 2007
- www.nieuwsbank.nl
- www.bouwenwonen.nl
- www.engineering360.nl

e) Openbare publicaties

- Openbaar eindrapport (verkrijgbaar door download van www.ecn.nl)
- Diverse 'factsheets' (in Engels), zie de downloads op www.smartfacade.nl:
 - o Adiabatic cooling of ventilation air
 - o Recuperative Climate Control System
 - o Recair enthalpy heat exchanger
 - o ETAP daylight system
 - o Spandrels: vacuum + glass
 - o IGU with A-SI(-THRU)
 - o Energy savings

7. Conclusies

7.1 Eindconclusie

De hoofddoelstelling van het ZonWEL-project bij de start van het project was het ontwikkelen van innovatieve gevelcomponenten en gevelconcepten die leiden tot een intelligent gevelsysteem dat:

- a) zich aanpast aan heersende condities (dag/nacht, seizoenen)
- b) marktconform is (d.w.z. zich qua investering, exploitatiekosten en esthetiek niet negatief onderscheidt van gangbare gevelsystemen)
- c) een halvering van het gebouwgebonden energiegebruik realiseert (op basis van EPC-berekeningen: EPC woningen van 0,5 en EPC kantoren van 0,7), later zelfs energie-nul concept
- d) over de gehele levensketen een lage milieu-impact heeft (vermindering materiaal- en energiegebruik tijdens productie- en gebruiksfase, goede hergebruiksmogelijkheden)

De in het project ontwikkelde innovatieve Smartbox Energy Facade is een intelligent gevelsysteem dat:

- a) zich aanpast aan de heersende buitencondities door de in de gevel geïntegreerde installaties voor klimatisering (de Smartbox) en de toepassing van 'slimme' daglichttoetreding.
- b) naar verwachting marktconform zal zijn. Hoewel de smartbox nog niet op de markt verkrijgbaar is zal het Smartfacade concept zelfs tegen lagere kosten geëxploiteerd kunnen worden dan gebouwen met reguliere gevelsystemen (zie **Error! Reference source not found.**).
- c) zorgt voor meer dan een halvering van het energiegebruik (zie 5.2.2.1 Metingen energieprestatie testgevel ECN). Door de inzet van zonnecelpanelen is zelfs energieneutraliteit mogelijk (betrokken op gebouwgebonden energie).
- d) een lage milieu-impact (een goede LCA score) heeft ten opzichte van standaard bouwmethoden (zie 2.3 Inventarisatie & analyse ecologie). Met name het lage energiegebruik in de gebruiksfase is hierbij van grote invloed.

Er kan derhalve geconcludeerd worden dat de hoofddoelstelling gehaald is. Ook de partners in het project geven overwegend aan het project als (zeer) geslaagd te beschouwen. Het ontbreken van subsidie voor zonne-energie werd genoemd als een factor die het concept minder geslaagd maakt in zijn doelstelling om uiteindelijk energieneutraal of energieleverend te kunnen zijn.

Hoewel het Smartfacade gevelconcept met name gericht is op toepassing voor kantoorgebouwen heeft het 'spin-off' door mogelijke toepassing en van elementen (zoals adiabatische koeling, decentrale warmteterugwin unit) naar de woningbouw.

7.2 Commerciële vooruitzichten van het E.E.T.-project

Er zijn veelbelovende commerciële vooruitzichten voor het toepassen van het Smartfacade gevelconcept en onderdelen ervan, te weten de smartbox, vacuümisolatie panelen (VIP), PV-VIP, dubbel glas met retroreflecterende lamellen, decentrale ventilatie-unit (met adiabatische koeling). Cruciaal is echter de uitontwikkeling van de Smartbox, het zogenaamde 'hart' van het concept. Level Energy Technology geeft aan dat de vooruitzichten zijn dat dit echter nog minimaal 1 tot 2 jaar zal duren voor marktintroductie kan plaatsvinden. Er is veel interesse van grote marktpartijen maar vooralsnog is het afwachten of de geïnteresseerden daadwerkelijk de productie op zullen starten.

7.3 Vervolgtraject, pilot-project

Het gevelconcept als geheel en de actuele status ervan wordt via de website www.smartfacade.nl getoond. Omdat de uitontwikkeling van de Smartbox naar verwachting nog minimaal 1 á 2 jaar zal duren vervalt de mogelijkheid om op korte termijn een pilot-project te maken. Zodra dit mogelijk is zal er onder meer bij de Rijksgebouwendienst worden gekeken of het concept kan worden toegepast. Geïnteresseerde partijen kunnen zich via de website melden om op de hoogte te worden gebracht van de actuele stand van zaken. Hoewel een vervolgtraject buiten de scope van dit onderzoeks- en ontwikkelingstraject valt zullen de partners in het project graag meewerken aan de realisatie van een pilot-project.

Bijlage A Schetsen Gevelsystemen Zon-Wel

Bijlage B Simulaties Zon-WEL basis variant

Kenmerken

Afmetingen

Lengte x breedte x hoogte: 5,4 x 3,6 x 2,7 m

Inhoud

52,5 m³

Oriëntatie

Zuid oriëntatie.

Isolatie

Rc-waarde gevel: 4,8 m² K/W

Beglazing

Glasoppervlak: 4,32 m²

Opbouw glas (van binnen naar buiten): Dubbele beglazing (6 / 16 / 6 mm) met U-waarde 1,1 W/m² K, luchtspouw, 35 mm met zonwering, enkel glas met U-waarde 5,8 W/m² K. De buitenste luchtspouw is een niet geventileerde luchtspouw.

ZTA-waarde glas: dubbel glas 40 %, enkel glas 85 %.

Ventilatie

Ventilatieluchthoeveelheid : 90 m³/hr (ventilatievoud 1,7), ma - vrij 06:00 - 18:00 uur

Warmteterugwinning ventilatielucht: 90 %, voorzien van bypass.

Infiltratie

Infiltratie : 1,3 m³/hr (infiltratievoud 0,025)

Zonwering

Er is zonwering in de buitenste spouw. Doorlaat is 25 % in gesloten toestand. Zonwering gaat naar beneden als directe straling op Zuid gevel > 100 W/m² en als T kantoor > 23 °C. Als T kantoor < 21 °C of als directe straling op Zuid gevel < 100 W/m² gaat de zonwering weer omhoog.

Nachtventilatie

Er vindt nachtventilatie plaats van maandag tot en met vrijdag tussen 18:00 - 6:00 uur en zaterdag en zondag als:

T kantoor ≥ 23 °C en T buiten ≥ 15 °C. De nachtventilatie schakelt af als T buiten < 15 °C of T kantoor ≤ 21 °C. Het ventilatievoud van de nachtventilatie 2,5.

Extra ventilatie

Er vindt extra ventilatie plaats van maandag tot en met vrijdag van 6:00 - 18:00 uur als T kantoor ≥ 23 °C en T buiten ≥ 15 °C. De extra ventilatie schakelt af als T buiten < 15 °C of T kantoor ≤ 21 °C. Het ventilatievoud van extra ventilatie 0,8, waardoor het totale ventilatievoud dan uitkomt op 2,5.

Verwarming

Maandag tot en met vrijdag 6:00 - 18:00 uur: 21 - 23 °C (verwarming gaat bij 21 °C aan en bij 23 °C uit).

Maandag tot en met vrijdag 18:00 - 6:00 uur: 16 °C

Zaterdag en zondag: 16 °C
 Piekvermogen verwarming: 1000 W, niet modulerend.

Koeling

Maandag tot en met vrijdag 6:00 - 18:00 uur: 23,5 - 25,5 °C (koeling bij 25,5 °C aan en bij 23,5 °C uit).

Maandag tot en met vrijdag 18:00 - 6:00 uur: geen koeling

Zaterdag en zondag: geen koeling

Verlichting

Het geïnstalleerde vermogen voor verlichting is 165 W (8,5 W/m²), maandag tot en met vrijdag 8:00 - 18:00 uur.

Personen

1,5 persoon per kamer, 70 W per persoon, aanwezig maandag tot en met vrijdag van 8:00 - 18:00 uur, bezettingsgraad 85 %.

Apparatuur

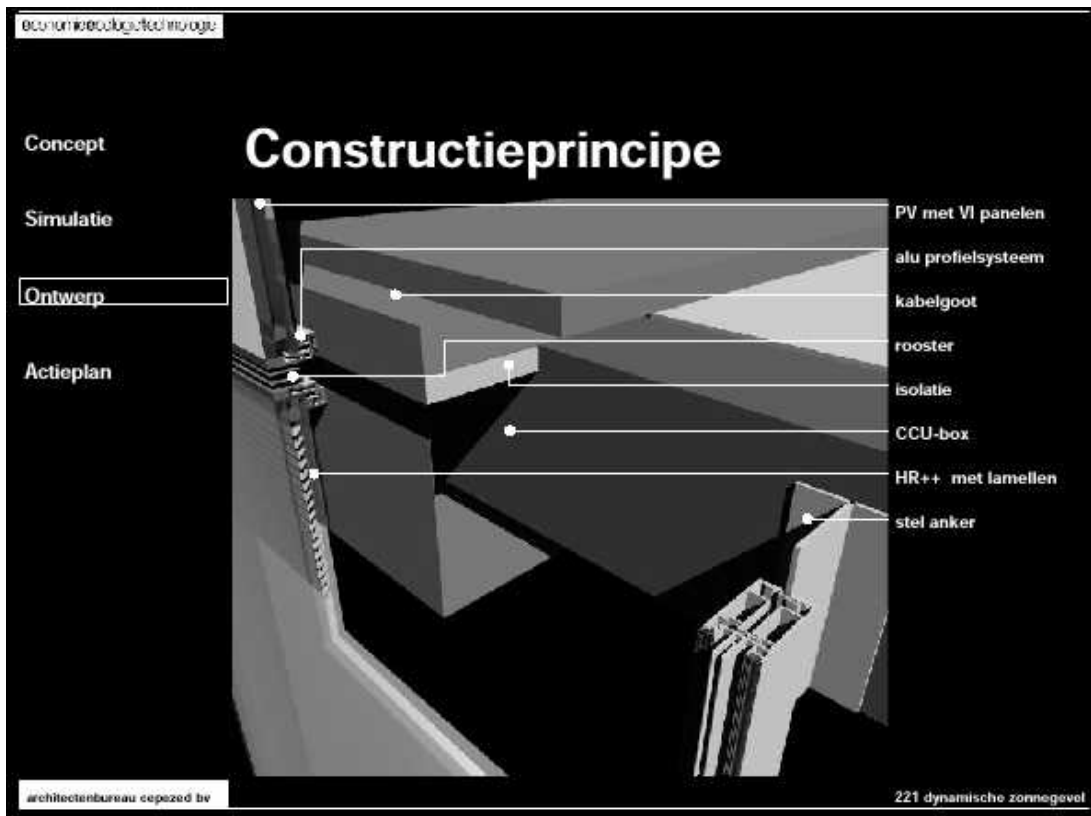
Achtergrond: 18 W (continu)

Computers: 172,5 W (115 W per PC), maandag tot en met vrijdag 8:00 - 18:00 uur

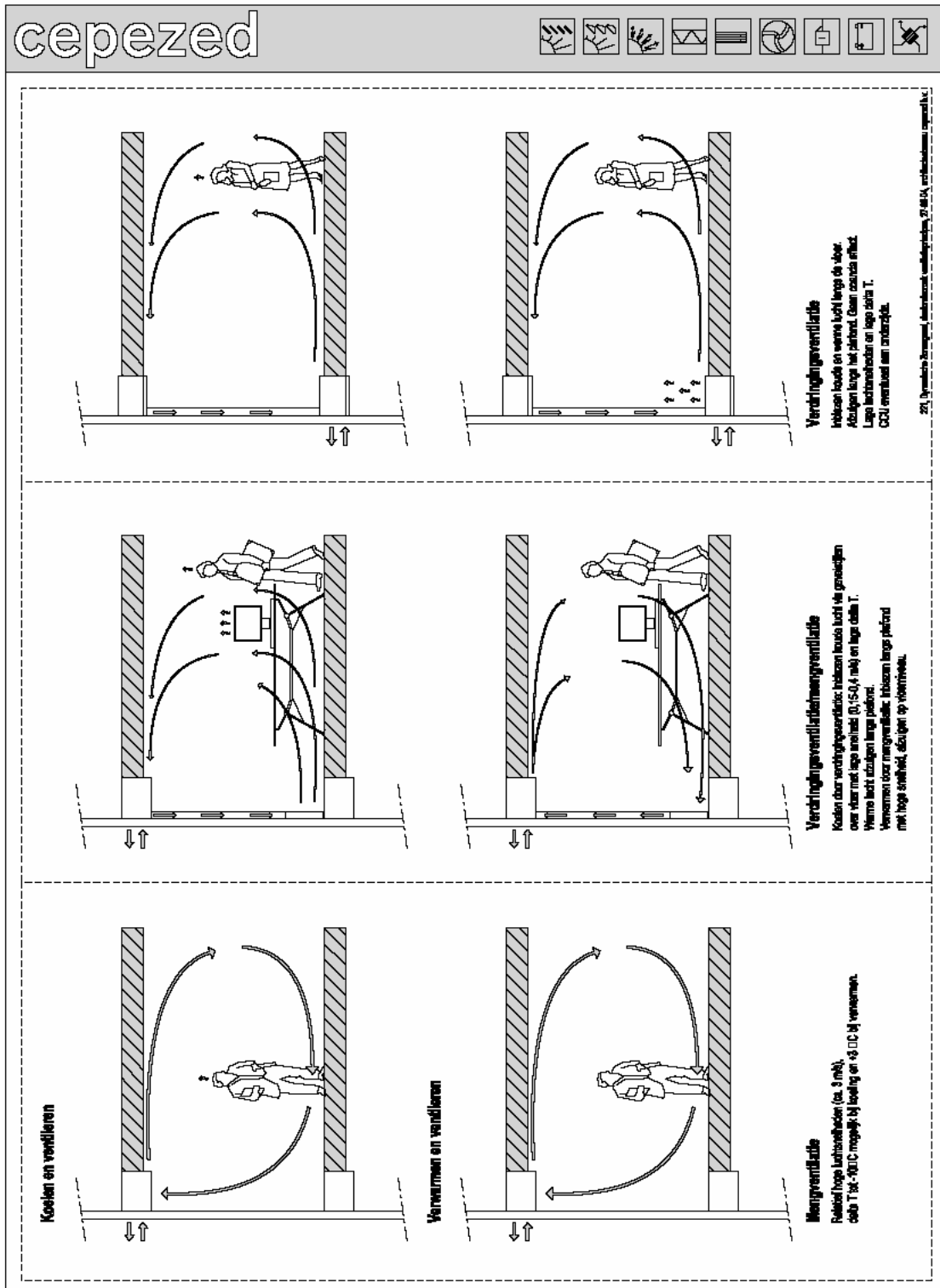
Resultaten simulaties

De referentie situatie, de Zon-WEL basis variant en alle varianten op de Zon-WEL basis variant zijn gesimuleerd met het simulatiepakket TRNSYS. In de tabel hieronder zijn de jaarlijkse warmte- en koudevraag voor alle varianten te zien (per kantoorcel).

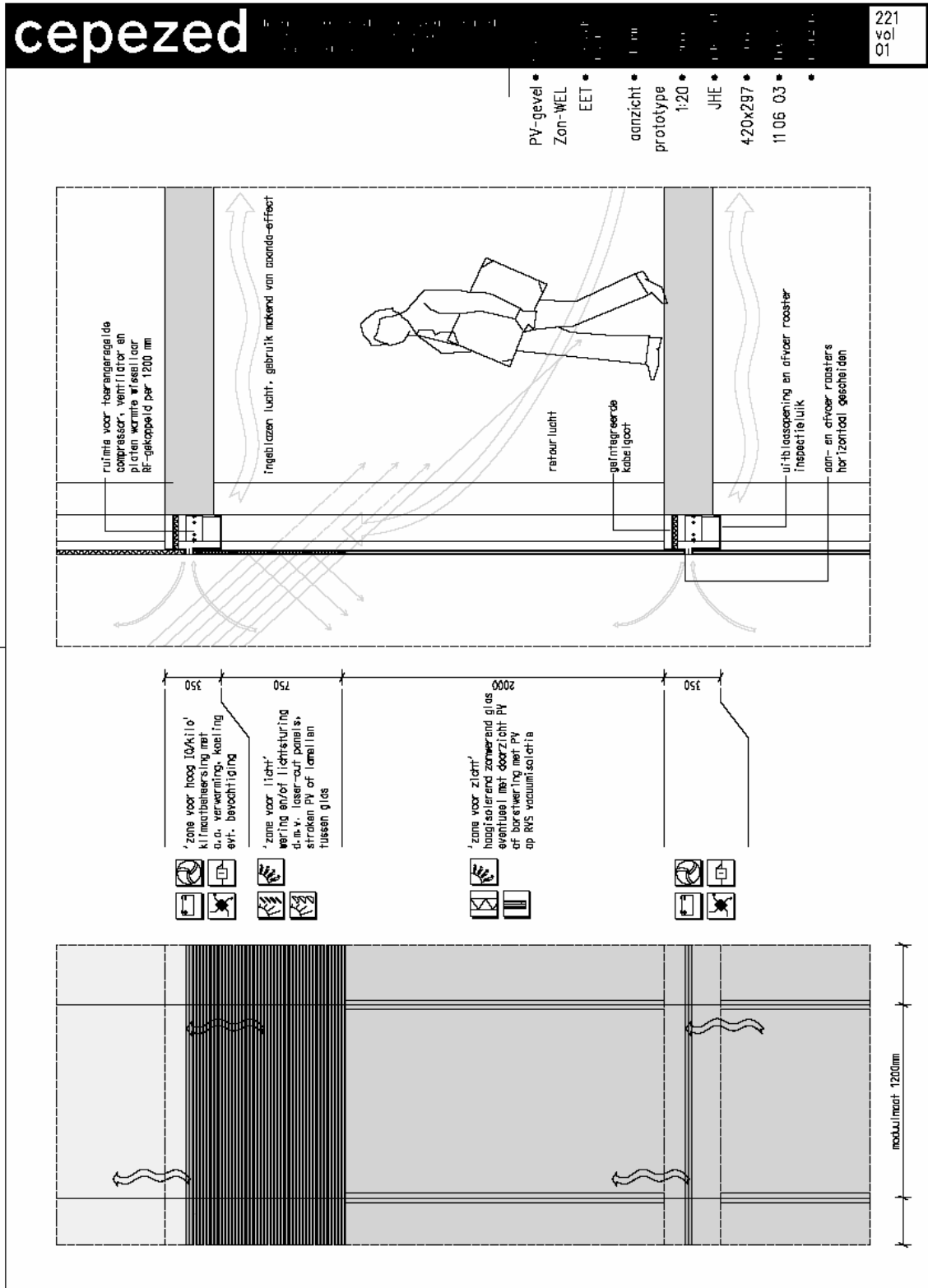
Variant	Warmtevraag [GJ/jaar]	Koudevraag [GJ/jaar]
Zon-WEL basis variant	0.04	0.33
Zon-WEL Rc=2,5 m2 K/W	0.13	0.32
Zon-WEL Rc=3,0 m2 K/W	0.10	0.32
Zon-WEL Rc=7,5 m2 K/W	0.02	0.33
Glasoppervlak 3 m2	0.01	0.23
Glasoppervlak 6 m2	0.08	0.52
Glasoppervlak 9 m2	0.17	0.92
U-waarde glas 1,3 W/m2 K	0.06	0.34
U-waarde glas 1,5 W/m2 K	0.05	0.32
ZTA-waarde glas 31 %	0.04	0.30
ZTA-waarde glas 60 %	0.05	0.43
Infiltratievoud 0.45	0.98	0.19
Infiltratievoud 1	3.54	0.13
Warmteterugwinning 75 %	0.13	0.32
Warmteterugwinning 95 %	0.03	0.33
Geen zonwering	0.03	0.66
Zonwering buiten	0.05	0.18
Zonwering binnen	0.03	0.62
Orientatie Noord	0.07	0.17
Orientatie Oost	0.06	0.27
Orientatie West	0.06	0.34
Hoekkantoorcel	0.83	0.28
Zonwel hoge interne warmtelast	0.04	1.30
Zonwel lage interne warmtelast	0.18	0.13
Referentie situatie (standaard)	2.17	0.96



Bijlage D Ontwerp Zon-WEL gevel testgevel



Bijlage E Schetsontwerp Zon-WEL gevel



Bijlage G Foto's realisatie testgevel



Verwijderen oude testgevels



Monteren stijl en regelwerk



Testgevel gereed



Gevelaanzicht



Decentrale ventilatie unit (Itho)



Smartbox (Level)