

2006-2007

# ENERGEEERING

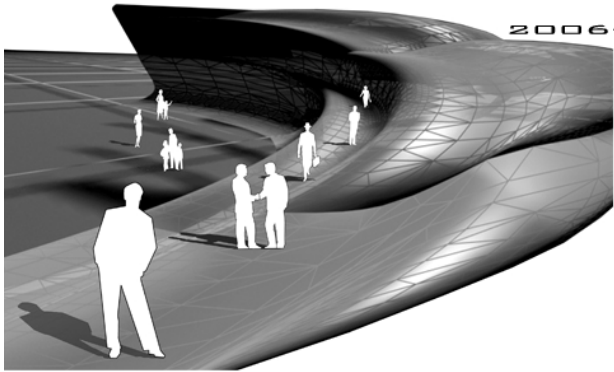
ENERGETIC ENGINEERING  
A GREEN BRIDGE BETWEEN ARCHITECTURE AND ENGINEERING



2006-2007

# ENERGEEERING

ENERGETIC ENGINEERING  
A GREEN BRIDGE BETWEEN ARCHITECTURE AND ENGINEERING







*"Architecture will therefore become more informed by the wind, by the sun, by the earth, by the water and so on. This does not mean that we will not use technology. On the contrary, we will use technology even more because technology is the way to optimize and minimize the use of natural resources."*

Architect Richard Rogers

## INHOUDSTAFEL

### DANKWOORD

### PERSOONLIJKE MOTIVATIE

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>1</b>
<b>DEEL 1: ARCHITECTURE .....</b>	<b>2</b>
1 Visie en context.....	2
1.1 Pleidooi voor een esthetisch geïntegreerde architectuur.....	2
1.2 Computer als vormbepaler .....	3
2 Concreet: C4A.....	4
2.1 Aard en bestemming .....	4
2.2 Concept en vormgeving .....	4
<b>DEEL 2: ARCHINEERING .....</b>	<b>10</b>
1 Inleiding.....	10
2 REG-Principes -vanuit architecturaal oogpunt geïntegreerd .....	10
2.1 Functionele indeling .....	10
2.2 Actieve elektrische energie: fotovoltaïsche cellen.....	12
2.3 Actieve thermische energie: zonnecollectoren .....	13
2.4 Natuurlijke ventilatie .....	15
2.4.1 Koepel .....	15
2.4.2 Units.....	16
2.5 Verwarming en koeling .....	17
<b>DEEL 3: ENERGEERING .....</b>	<b>20</b>
<b>1 INLEIDING: ROUTING.....</b>	<b>20</b>
<b>2 PROJECTSCREENING.....</b>	<b>21</b>
2.1 Inventaris van de ruimtes.....	21
2.2 Kengetallen .....	21
2.3 Belangrijkste bouwkundige kenmerken .....	22
<b>3 BRAINSTORM .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Fase 1 .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Algemene constructie .....	23
3.1.1.1 Luchtdichtheid van de koepel .....	23
3.1.1.2 Aanpassing basisontwerp architectuur .....	24
3.1.1.3 Onderhoud .....	25

3.1.2	Natuurlijke ventilatie .....	25
3.1.3	Verwarming en koeling .....	25
3.1.3.1	Koepel .....	26
3.1.3.1.1	Koelen .....	27
3.1.3.1.1.1	Passieve koeling .....	28
3.1.3.1.2	Verwarming .....	28
3.1.3.1.2.1	Passieve voorverwarming.....	28
3.1.3.1.2.2	Verdringingsventilatie.....	29
3.1.3.1.2.3	Vloerverwarming .....	29
3.1.3.1.2.4	Stralingspanelen.....	30
3.1.3.1.2.5	Destratificatoren.....	30
3.1.3.2	Units.....	31
3.1.3.2.1	Verwarmen.....	31
3.1.3.2.2	Koelen .....	32
3.1.3.3	Projectiezaal .....	32
3.1.3.4	Servers .....	33
3.1.3.5	Bodemwarmte.....	34
3.1.4	Berekening .....	34
3.1.5	Tussentijdse systeemsamenvatting .....	35
<b>3.2</b>	<b>Fase 2 .....</b>	<b>37</b>
3.2.1	Ontwerp en constructie.....	37
3.2.1.1	Oplossing van terrasfunctie .....	37
3.2.2	Techniek .....	37
3.2.2.1	Bodemopslag .....	37
3.2.2.1.1	Keuze van het type grondwarmtewisselaar .....	37
3.2.2.1.1.1	Systeem 1 .....	37
3.2.2.1.1.2	Systeem2 .....	38
3.2.2.1.1.3	Geologische analyse.....	39
3.2.2.1.2	Probleemstelling rond bodemopslag .....	40
3.2.2.1.2.1	Ontwerpvoorstel: dubbel netwerk.....	40
3.2.2.2	Warmtepomp .....	41
3.2.3	Verwarming en koeling .....	41
3.2.3.1	Koepel .....	42
3.2.3.2	Servers .....	42
3.2.4	Berekening .....	43
3.2.4.1	Eerste warmteverliesberekening .....	44

3.2.4.2 Conclusie.....	45
3.2.5 Tussentijdse systeemsamenvatting .....	46
<b>3.3 Fase 3 .....</b>	<b>48</b>
3.3.1 Revisie ontwerp.....	48
3.3.1.1 Aanpassing ontwerp grondboring .....	48
3.3.1.2 Revisie architectuurontwerp .....	49
3.3.1.3 Revisie detailopbouw .....	51
3.3.1.3.1 Opbouw unit wand: .....	51
3.3.1.3.2 Opbouw unit plafond:.....	51
3.3.1.3.3 Opbouw unit vloer: .....	51
3.3.1.3.4 Algemene conclusie .....	52
3.3.2 Ventilatie.....	52
3.3.2.1 Koepel .....	52
3.3.2.2 Units.....	53
3.3.3 Verwarming en koeling .....	53
3.3.3.1 Verwarming van de koepel.....	53
3.3.3.2 Koeling van de units.....	53
3.3.3.2.1 Conclusie .....	55
3.3.4 Tussentijdse systeemsamenvatting .....	56
<b>3.4 Fase 4 .....</b>	<b>58</b>
3.4.1 Voorbereiding van de definitieve warmteverliesberekening .....	58
3.4.1.1 Revisie van eerste verliesberekening .....	58
3.4.2 Bouwfysische berekening glasprofiel.....	60
3.4.2.1 Voorbereidend werk.....	60
3.4.2.2 Samenstelling glaspakket .....	61
3.4.2.3 Profielberekening .....	63
3.4.2.4 Extra: Condensatiecontrole .....	66
3.4.2.5 Algemene conclusie profielberekening .....	65
3.4.3 Berekening koepeltemperatuur .....	67
3.4.3.1 Formule uit de norm .....	67
3.4.3.2 Aangepaste methode .....	68
3.4.3.2.1 Voorbereidende berekening.....	69
3.4.3.2.2 Gelijkstellen van de vergelijkingen .....	70
3.4.3.2.3 Opmerking .....	70
3.4.4 Conclusie.....	71
<b>3.5 Fase 5 .....</b>	<b>72</b>

3.5.1	Verwarming en koeling .....	72
3.5.1.1	Uitbreiding van Betonkernactivering (BKA) .....	72
3.5.1.1.1	Systeemspecificatie .....	72
3.5.1.1.2	Constructieve bedenkingen .....	74
3.5.1.1.3	Opmerking .....	74
3.5.1.2	Stralingspanelen .....	75
3.5.1.3	Zonnecollectoren .....	77
3.5.1.4	Luchtgroep .....	77
3.5.2	Luchtbevochtiging .....	77
3.5.2.1	Passief bevochtigen .....	78
3.5.2.2	Verneveling .....	79
3.5.3	Tussentijdse systeemsamenvatting .....	81
<b>4</b>	<b>SYSTEEMCONSENSUS .....</b>	<b>83</b>
<b>4.1</b>	<b>Finale systeemconsensus .....</b>	<b>83</b>
4.1.1	Rationeel energiegebruik .....	84
4.1.2	Energieconcept .....	85
4.1.3	Systeemlisting .....	86
4.1.4	Systeemkoppelingen C4A .....	87
4.1.4.1	Systeemkoppeling zomer .....	87
4.1.4.2	Systeemkoppeling winter .....	88
<b>5</b>	<b>SYSTEEMCALCULATIE- EN SPECIFICATIE .....</b>	<b>89</b>
<b>5.1</b>	<b>Comfortcriteria .....</b>	<b>89</b>
5.1.1	Units .....	89
5.1.1.1	Winter .....	89
5.1.1.2	Zomer .....	90
5.1.2	Koepel .....	91
<b>5.2</b>	<b>Bepaling koel- en verwarmingsvermogen .....</b>	<b>92</b>
5.2.1	Koelvermogen units .....	92
5.2.1.1	Interne winsten .....	92
5.2.1.2	Transmissiewinst .....	92
5.2.2	Verwarmingsvermogen units .....	93
<b>5.3</b>	<b>Systeemberekeningen .....</b>	<b>94</b>
5.3.1	Betonkernactivering .....	94
5.3.1.1	Berekening koeltijd BKA .....	95
5.3.2	Vloerconvectoren .....	96
5.3.3	Stralingspanelen .....	97

5.3.4	Geothermiek.....	99
5.3.4.1	Grondwarmtewisselaar.....	99
5.3.4.2	Warmtepomp.....	101
5.3.4.3	Warmtewisselaar.....	102
5.3.5	Vermogensberekening lucht.....	102
5.3.5.1	Algemeen.....	102
5.3.5.2	Berekening totale koelvermogen koepel.....	104
5.3.5.2.1	Afvoer warmtevermogen door natuurlijke ventilatie.....	104
5.3.5.2.2	Totaal koelvermogen koepel.....	105
5.3.5.2.3	Netto koelvermogen koepel.....	107
5.3.6	Luchtverdringing.....	107
5.3.6.1	Verdringingsventilatie.....	107
5.3.6.2	Luchtgroep.....	109
5.3.6.3	Verdringingsarmaturen.....	111
5.3.7	Thermische zonne-energie.....	112
5.3.7.1	Zonnecollectoren.....	112
5.3.7.2	Opslagvaten.....	114
5.3.7.3	Absorptiekoelmachine.....	115
5.3.8	Elektrische systemen.....	115
5.3.8.1	Klimaatkasten.....	115
5.3.8.1.1	Eisen.....	115
5.3.8.1.1.1	Temperatuur.....	115
5.3.8.1.1.2	Relatieve Vochtigheid.....	116
5.3.8.1.2	berekening.....	116
5.3.8.2	Destratificatoren.....	117
5.3.9	Bevochtiging.....	118
5.3.9.1	Hogedrukverneveling.....	118
5.3.10	Natuurlijke ventilatie.....	118
5.3.10.1	Ventilatieluisen en plooi­gevel.....	118
5.3.10.2	Canadese putten.....	119
5.3.11	Fotovoltaïsche energie.....	119
5.3.11.1	Constructieve opbouw.....	119
5.3.11.2	Vermogens.....	121
5.3.11.3	Elektrotechnisch.....	122
5.3.11.4	Bekabeling.....	122
5.3.11.5	Systeemkost.....	123

5.3.11.5.1	Totaal energieverbruik.....	123
5.3.11.5.2	Financiële voordelen.....	123
5.3.11.5.2.1	Schatting geïnvesteerd bedrag.....	123
5.3.11.5.2.2	Ecologiepremie .....	124
5.3.11.5.2.3	Wettelijke basis .....	124
5.3.11.5.2.4	Subsidie Vlaams Gewest .....	124
5.3.11.5.2.4.1	Groenestroomcertificaten .....	125
5.3.11.5.2.4.2	Investeringsaftrek .....	125
5.3.11.5.2.5	Finale systeemkost.....	125
5.3.12	Extra projectdetaillering.....	126
5.3.12.1	Laagspanningsinstallaties.....	126
5.3.12.1.1	Speciale voorzieningen .....	126
5.3.12.1.2	Bouwkundige voorzieningen .....	126
5.3.12.1.3	Vaste elektrische installaties op zeer lage spanning.....	126
5.3.12.1.4	Verlichting .....	126
5.3.12.1.5	Domotica.....	127
5.3.12.2	Onderhoud.....	128
5.3.12.2.1	Extern onderhoud .....	128
5.3.12.2.2	Intern onderhoud.....	128
5.3.12.3	Brand en evacuatie .....	129
5.3.12.3.1	Koepel .....	129
5.3.12.3.2	Units.....	130
<b>6</b>	<b>SAMENVATTENDE PROJECTFICHE .....</b>	<b>131</b>
	<b>CONCLUSIE .....</b>	<b>132</b>
	BIJLAGES.....	134
	LITERATUUROPGAVE EN REFERENTIES.....	135
	LIJST VAN FIGUREN.....	140

## **DANKWOORD**

Bij het realiseren van dit eindwerk past het dat een aantal mensen expliciet bedankt worden voor hun verleende hulp.

In de eerste plaats en heel bijzonder, wens ik mijn stagebegeleider, Wilfried Bleus, hoofd van de calculatiedienst bij IMTECH PROJECTS NV., nadrukkelijk te bedanken voor zijn vrijgemaakte tijd, goede raad, bereidwilligheid, maar zeker voor zijn grote hulp bij het onderzoeksproces en het op punt krijgen van dit eindwerk. Eveneens het ter beschikking stellen van technische informatie en het contacteren van professionele derden ter bekomen van informatie en technische documenten verdient appreciatie.

Bijhorend zou ik Dirk Vanstraelen, algemeen directeur IMTECH PROJECTS NV., eervol willen bedanken voor de kans tot stage in zijn bedrijf. Het is immers niet vanzelfsprekend een stagebegeleider tijd te laten vrijmaken in een intensief werkend bedrijf.

Ik houd er eveneens aan een woord van dank te richten aan Prof. Dr. Ir. Didier De Buyst om via zijn professionele contacten deze stage administratief mogelijk te maken.

Verder verdient mijn intern promotor Sofie Knoops bedankt te worden voor haar hulp bij het coördineren van dit eindwerk, de hulp bij het halen van deadlines en haar begripvolle manier van omgaan bij het tot stand komen van deze verhandeling.

Verder dient er ook vermelding gegeven te worden aan een aantal personen omwille van hun welwillendheid en enthousiasme.

Ik denk hierbij onder meer aan Marc Séré, offertendienst bij BUDERUS, om de informatieverstrekking omtrent de integratie van warmtepompen.

Maar ook aan Raf Poppe, productmanager Climadeck van ECHO NV, voor de telefonische hulp en technische productinformatie betreffende betonkernactivering.

Eveneens wil ik niet vergeten Gretel Ver Eecke, medewerkster binnendienst GEA-HAPPEL, te bedanken voor de calculatie en specificatie van de gebruikte luchtgroep.

Maar zeker Veerle Demeulenaer, PhD-researcher aan de Katholieke Universiteit Leuven, Department Civil Engineering, verdient dank voor haar vrijgemaakte tijd en hulp bij de berekening van de profielverliezen.

Tot slot verdienen ook Bart Ory en Agnes Ilsbroux een hartelijk woord van dank voor het helpen dragen van de laatste loodjes.

Bij deze mijn waardering voor ieders hulp en bijdrage.

Geert Ory



## PERSOONLIJKE MOTIVATIE

Mijn persoonlijke visie op het maken van een eindwerk reflecteert zich in het woord 'climax'. Ik beschouw het als een uitdaging om een symbiose te maken van de in de voorgaande studietijd verworven kennis te maken. Mijn eindproject architectuur vormde een samensmelting tussen creativiteit, ruimtebepaling, technisch inzicht, constructief inzicht en rationeel energiegebruik. Tijdens deze aansluitende studie bouwkundig ingenieur heeft mijn kennis zich echter uitgebreid. Ik kreeg een andere kijk op constructieve opbouw en op de nieuwe technische detaillering op gebied van elektriciteit, grondmechanische factoren en bouwkundige principes.

Dit eindwerk was voor mezelf een uitdaging om deze nieuw verworven inzichten toe te passen in een eenduidig project. Daar deze studie als bouwkundig ingenieur nauw aansluit bij mijn opleiding architectuur, beschouw ik dit eindwerk als een verlengde van mijn eindproject architectuur.

Passend in de huidige milieuproblematiek en verder bordurend op een aantal in het project geïntegreerde duurzame principes, heb ik ervoor gekozen dat concrete eindproject klimatologisch verder te engineeren, gefocust op rationeel energiegebruik.

Om een zo breed mogelijk beeld te krijgen van de toepasbare duurzame oplossingen, heb ik beslist het project als globaal geheel te bestuderen. Het is naar mijn overtuiging waardevoller te proberen van een aantal nieuwe bouwkundige technieken op meso-niveau, dan zich tot op micro-niveau te specialiseren in slechts één systeem. In het uiteindelijk gekozen resultaat heb ik echter geprobeerd zo diep mogelijk richting micro-niveau te gaan, om alzo de ontwerpgradatie van macro naar micro duidelijk te integreren.

Vermits het om een ingenieursmatig ontwerpproces gaat, bestaat er geen rechte lijn in vogelvlucht naar de eindoplossing toe. Het *trial-and-error* proces heeft een grote rol gespeeld in het verkrijgen van een uiteindelijke projectconsensus tussen alle toegepaste systemen. Het is dan ook noodzakelijk de verschillende stages van dit proces te integreren om alzo het aftastende en onderzoekende karakter van deze verhandeling te laten primeren.

Dit *trial-and-error* verhaal heeft ook geleid tot een gedeeltelijke revisie van het architectuurontwerp, zodat het ook duidelijk wordt dat een brug tussen ingenieur en architect levensnoodzakelijk is voor het slagen van een bouwkundig project.

Archineering is de naam van die brug...

## ABSTRACT

### Over esthetiek en techniek

Esthetiek is een bij de mens gevoelig begrip, terwijl techniek vooral louter functioneel beschouwd wordt. Ingenieurs zijn nog te vaak enkel geïnteresseerd in de puur functionele voordelen, terwijl architecten zweren bij hun creatiefste oplossing. Een symbiose dringt zich op. Nog te weinig ontwerpers wagen zich aan architecturaal geïntegreerde technische oplossingen. De techniek is voorhanden, de vraag wordt groot, de interesse blijft achter. Als afgestudeerd architect en huidig student ingenieur bouwkunde, ben ik er sterk van overtuigd dat de toekomst zit in een nieuwe vorm van ontwerpen die interpoleert tussen architecten en ingenieurs.

Door de steeds actuelere nood aan duurzame oplossingen en implementatie van rationeel energiegebruik (REG) in gebouwen, is er vraag naar **creatieve oplossingen**. De nieuwe duurzame technieken worden echter nog te onvoorwaardelijk als onesthetisch beschouwd.

Het alomvattende opzet van deze verhandeling zal zich dan ook buigen over de naar rationeel energie gebruik gefocuste engineering van mijn vorig jaar ontworpen eindproject. Het zal een **trial-and-error** verhaal worden waarin de zoektocht beschreven wordt naar de beste en meest haalbare oplossingen omtrent het energiebeheer van het project.

Een geïntegreerde verzoening van techniek en architectuur is echter een nobele maar soms moeilijk te bereiken doelstelling. Daarom dient een brug te worden gelegd tussen de soms té creatieve architect en de soms té rationele ingenieur. Het eindproject werd daarom niet toevallig 'Center for Archineering' (C4A) gedoopt. Het omvat een professioneel centrum dat zich richt op de ontwikkeling van architecturaal niet-conventionele gebouwen, met een allesoverheersende focus op rationeel energiegebruik.

Daar het project vanuit zijn kinderschoenen reeds gevoed is met het oog op de **integratie van groene energiebronnen**, zal er regelmatig gereflecteerd worden op de integratie van de haalbare esthetiek. Door dit morfologisch extravagante project klimatologisch op een 'groene manier' uit te werken, hoop ik de creatief-technische lezer te prikkelen. Enerzijds door hem te duiden op de nodige aanpassing van de klassieke bouwkundige principes aan de huidige milieuproblematiek en anderzijds door hem uit te nodigen uitdaging te zoeken in een creatieve en innovatief gerichte oplossing. Hierdoor wordt de lezer aangezet verder te zoeken dan louter de onesthetische klassieke oplossingen die voorhanden zijn.

Geert Ory

## DEEL 1: ARCHITECTURE

Aangezien het **architectuurproject** de alomvattende basis is voor dit technisch eindwerk, dient er eerst een grondig beeld van dat project te worden gecreëerd voor de lezer van dit werk. Men dient immers de **conceptuele voorgeschiedenis** van het beschouwde project te kennen, om de context van dit document te vatten. Vandaar dat we in eerste instantie deze architecturale voorgeschiedenis nader toelichten, om daarna de overstap te kunnen maken naar de technische uitwerking.

### 1 Visie en context

Ecologisch bouwen is een nieuwe opkomende trend. De toekomstgerichte burger is betrokken bij het wereldgebeuren en de wereldwijde milieuproblemen die zich via de media regelmatig presenteren. Uitputting van fossiele brandstoffen en het broeikas-effect hangen als het zwaard van Damocles boven ons hoofd. Dagelijks worden wij gemotiveerd om het milieu te verbeteren door te beginnen in onze eigen omgeving. Om die **betrokkenheid** met onze omgeving tot uiting te brengen, zijn wij meer en meer bereid ons te profileren tegenover de gevestigde orde die zich veelal gedraagt alsof er helemaal geen milieu-, laat staan energieproblemen bestaan. Het is van belang om als ontwerper hierop in te spelen.

#### 1.1 Pleidooi voor een esthetisch geïntegreerde architectuur

Design is een onmiskenbare factor voor de toenemende verspreiding van nieuw ontwikkelde technieken. De manier waarop ecologisch verantwoorde technieken zoals zonnepanelen, zonnecollectoren, warmtepompen, etc. zich in de gebouwde omgeving uiten, beïnvloedt op een niet te onderkennen manier de al dan niet sociale integratie van het materiaal. Of kort gezegd: **Design matters**.

Aangezien het belang van dit design, is er nood aan verdere architecturale **promotieprojecten** die de populariteit van in de omgeving geïntegreerde systemen helpen verhogen. Hiervoor zou de energiebewuste toekomstarchitectuur aan design-based **marketing** moeten doen, maar ook de integratie van duurzame systemen in historische gebouwen zou hierin een belangrijke rol kunnen spelen. Enkel door te experimenteren, al dan niet met *trial-and-error*, zal men de grenzen van innovatieve en duurzame bouwmaterialen kunnen verleggen tot '**materialen van de toekomst**'.

Vaak wordt er echter kritiek gegeven op het duurzame aspect van deze installatie. Volgens critici zouden de productiekosten ervan in verhouding veel hoger liggen dan hetgeen ze zouden opwekken. Dit is echter een te pejoratieve benadering die de mogelijkheden van ecologische ontwikkelingen op langere termijn niet erkent. Dat bijvoorbeeld zonne-energie een positieve rol speelt in de huidige milieuproblematiek, is niet te miskennen. Dat het een

bruikbare vorm is van groene energie en een verminderde uitstoot van schadelijke gassen oplevert, is eveneens een ijzersterk feit. De voornaamste troef van architectuur is dat het een makkelijk toegankelijk medium is met een grote reikwijdte. De combinatie van dit medium samen met ecologische energie-oplossingen, zorgt voor een prima **promotie** omtrent het duurzaam omgaan met bouwmaterialen. En dat is nu net de belangrijkste waarde waar de critici geen rekening mee houden. De confrontatie van de bevolking met 'nieuwe' energie beoogt namelijk het piramide-effect inzake **integrale verspreiding**. Als mensen zien hoe het kan, kunnen ze er zich voor openstellen, zich verwonderen en er zelf toenadering toe zoeken. Dit geldt ook voor de ontwerpers. Zij bepalen hoe onze toekomstige omgeving er zal uitzien. Als ook zij overtuigd geraken van de meerwaarde van duurzame oplossingen in architectuur, kan er zich geleidelijk aan een nieuwe generatie architecten en ingenieurs ontwikkelen met gevoel voor integratie van 'groene' technieken. Zodoende zal stilaan de waas van onwetendheid die rond groene energie hangt, wegtrekken en plaats maken voor een integrale instraling in de gebouwde omgeving.

Als Louis Sullivans adagium '*form follows function*' nog geldt, en als architectuur werkelijk een vertaling van de tijd is, zou voor deze energieopwekkende gebouwen eigenlijk een nieuwe vormtaal ontwikkeld moeten worden. De architect zal wellicht bij dergelijke gebouwen een stap terug moeten zetten omdat computersimulaties mede de uiteindelijke vorm bepalen. De opbrengst van de geïntegreerde technieken moet immers worden vergroot en dat is vormbepalend.

Energieopwekkende gebouwen zullen in belangrijke mate hun vorm krijgen door lokale omstandigheden, bijvoorbeeld de meest voorkomende windrichtingen of de stand van de zon. Met andere woorden: Form follows climate. Deze gebouwen leggen hun lot in handen van de techniek.

## **1.2 Computer als vormbepaler**

Tegenwoordig worden vooral door de computer zichtbaar gemaakte natuurlijke elementen, zoals de windstromingen en de inval van zonlicht, gebruikt om de externe vorm te bepalen.

Invloeden van buitenaf bepalen de ontwerpen. Bij dit ontwerpproces is de computer onmisbaar. Zo is het mogelijk een aantal parameters in de computer in te geven en de computer vervolgens aan de hand van die parameters de meest optimale vorm te laten bepalen. De invloed van de ontwerper beperkt zich tot de bepaling van de parameters en variatiegraden waarop het computerprogramma zich baseert.

In het hieronder besproken project heeft de computer eveneens een grote rol gespeeld in de uiteindelijke vormgeving. Het proces van theoretisch analyseren en synthetiseren resulteert

op een gegeven moment in een aantal parameters die, zij het met de nodige bijstellingen, virtueel vertaald worden in architectuur. Het eindresultaat vormt een geoptimaliseerde vormgeving, gericht op de site-gebonden analyse van de meest gunstige inclinatie- en oriëntatiehoeken voor fotovoltaïsche energie.

## 2 Concreet: C4A

Nu de globale context geschetst is, past het dat een concrete algemene voorstelling van het architectuurproject gegeven wordt. Het concept van het project vormt omwille van haar specifieke technische inspiratie immers de basis voor de latere technische uitwerking.

### 2.1 Aard en bestemming

Het functionele opzet van het project bestaat uit een '**Center for Archineering**'. Een professioneel centrum voor architecturale engineering en parametrisch design, dat zich focust op de toekomst voor het virtueel ontwerpen en berekenen van niet-alledaagse gebouwen. Het gebouw heeft een **organische vormgeving**, maar is functioneel gezien vrij rationeel opgebouwd uit **aparte units**. Er is aldus een opsplitsing tussen de 'huid' van het gebouw en de aparte bouwvolumes hierbinnen.

Programmatisch is het gebouw gericht op het proces van architecturale **totaalprojecten**, vandaar de rationele opbouw van de functies volgens een orthogonaal raster. Dit maakt een vlotte switch tussen de verschillende designteams mogelijk. Elk stadium van het ontwerp is vervat in zijn eigen bouwvolume. De opdeling gaat van het designteam van architecten, over de ingenieursunit (3Dcalculaties, structuurontwerp,...), 3D-modelling team, tot de samenbundeling van deze vorige door het photoscience platform. Het einddoel is een digitale projectie van de totaalprojecten. Hierbij spelen de ontworpen gebouwen een hoofdrol in de animatiefilm. Deze voorstellingen zijn publiek toegankelijk, waardoor het gebouw ook een meer open karakter krijgt, hetgeen de hierbij horende functies impliceert. Samen met demonstraties voor professioneel geïnteresseerden, recepties, samenkomsten, congressen, seminaries en workshops zorgt dit voor een levend geheel. Een symbiose tussen het publieke en professionele karakter wordt nagestreefd.

### 2.2 Concept en vormgeving

De externe vormgeving van het project is de cruciale factor in het ontwerp. **Fotovoltaïsche energie** is het allesbepalende uitgangspunt. Het grote opzet is het verkrijgen van een architecturaal verantwoord **autarkisch** project. Het project is als het ware de architecturaal vleesgeworden **synthese** van een zuiver rationele **analyse**. Er is in het ontwerp getracht de expliciete basisvoorwaarden van een PV-installatie te verzoenen met de architecturale aspecten van deze rationele energiefactor. Een perfecte oriëntatie en hellingshoek van de

PV-panelen zijn cruciaal om een doeltreffende en rendabele installatie te verwezenlijken.

Hieronder wordt kort weergegeven op welke manier de vormgeving tot stand is gekomen:

Stap 1:

Bepalen van de nuttige ratio van oriëntatie en opstellingshoek van de panelen op basis van de **optimale instraling**. Uitgaande van de vastgelegde (Belgische) norm dat een PV-installatie subsidies krijgt indien aan een **instralingseis** van minimum 90% is voldaan, wordt het hieronder weergegeven toepassingsgebied gedestilleerd.

Vertaling Optimale Waarden Per 10° Oriëntatie					
Graden Oriënt.	Helling		Instraling %	Code	
	Min	Max			
-170	10	12	80/85		
-160	10	13	80/85		
-150	10	14	80/85		
-140	10	15	80/85		
-130	10	16	80/85		
-120	10	19	80/85		
-110	10	10	85/90		
-100	10	14	85/90		
<b>Oost</b>	-90	10	21	85/90	
	-80	10	30	85/90	
	-70	10	42	85/90	
	-60	13	35	90/95	
	-50	10	58	90/95	
	-40	30	30	95/100	
	-30	20	59	95/100	
	-20	18	54	95/100	
	-10	16	56	95/100	
<b>Zuid</b>	0	16	59	95/100	
	10	16	59	95/100	
	20	18	58	95/100	
	30	19	55	95/100	
	40	21	49	95/100	
	50	10	57	90/95	
	60	12	57	90/95	
	70	20	30	90/95	
	80	10	40	85/90	
<b>West</b>	90	10	26	85/90	
	100	10	15	85/90	
	110	10	10	85/90	
	120	10	20	80/85	
	130	10	17	80/85	
	140	10	15	80/85	
	150	10	14	80/85	
	160	10	13	80/85	
	170	10	12	80/85	
<b>Noord</b>	180	10	12	80/85	

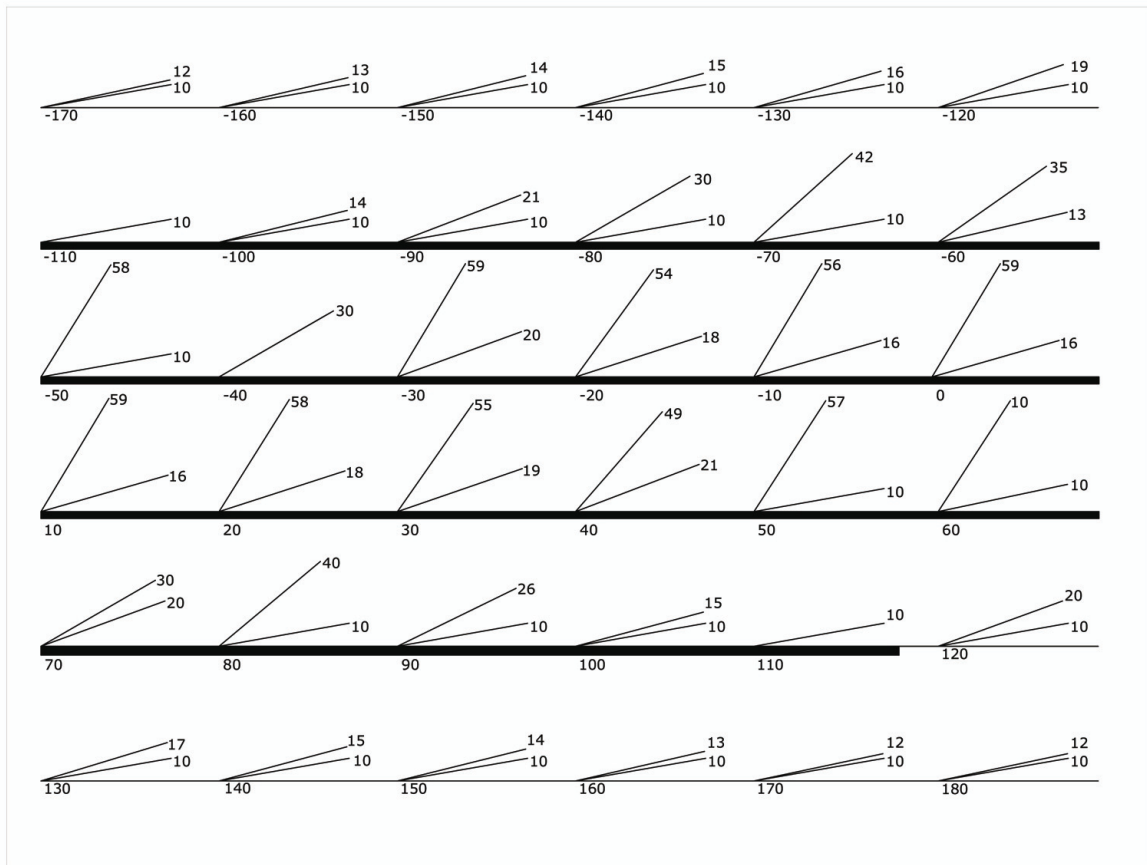
  

Legende	
<span style="background-color: red; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span>	95 tot 100%
<span style="background-color: orange; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span>	90 tot 95%
<span style="background-color: yellow; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span>	85 tot 90%
<span style="background-color: lightyellow; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span>	80 tot 85%
<span style="background-color: gray; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span>	Voldoet aan minimaal vereiste 90%

**Figuur 1 : destillatie van de oriëntatiewaaijer via de 90%-eis**

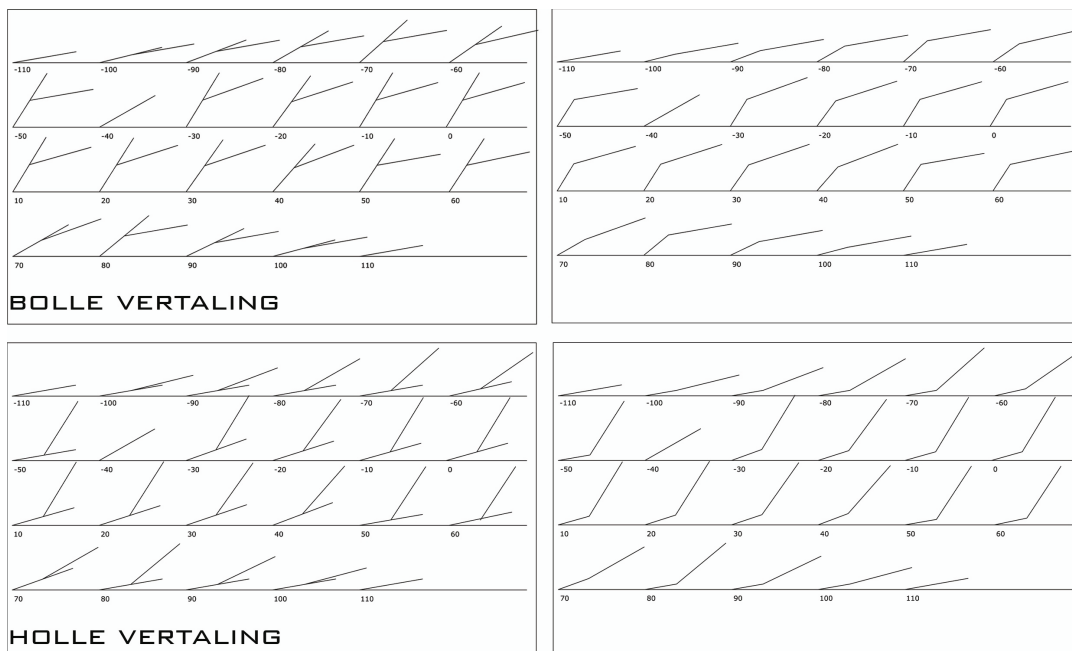
Stap 2:

Bepalen van de waaier van bijhorende **inclinatiehoeken** die per **oriëntatiegraad** voor de PV-panelen mag worden toegepast. Per  $10^\circ$  oriëntatiehoek blijken uit de grafiek telkens een minimum en maximum toepasbare inclinatiehoek. Volgende figuur geeft telkensdeze minimum en maximum hoek weer per  $10^\circ$  oriëntatie. Er is reeds een verloop te merken. De donkere lijn duidt het gedestilleerde toepassingsgebied aan.



**Figuur 2 : grafische voorstelling van maximale en minimale hellingshoek per  $10^\circ$  oriëntatiehoek**

Stap 3: Uittekenen van de waaier van hoeken per 10° oriëntatie en stapeling. Door de **stapeling** van de hoeken te realiseren van steil naar plat of vise versa, krijgt men een bol, respectievelijk hol 'verhaal'.



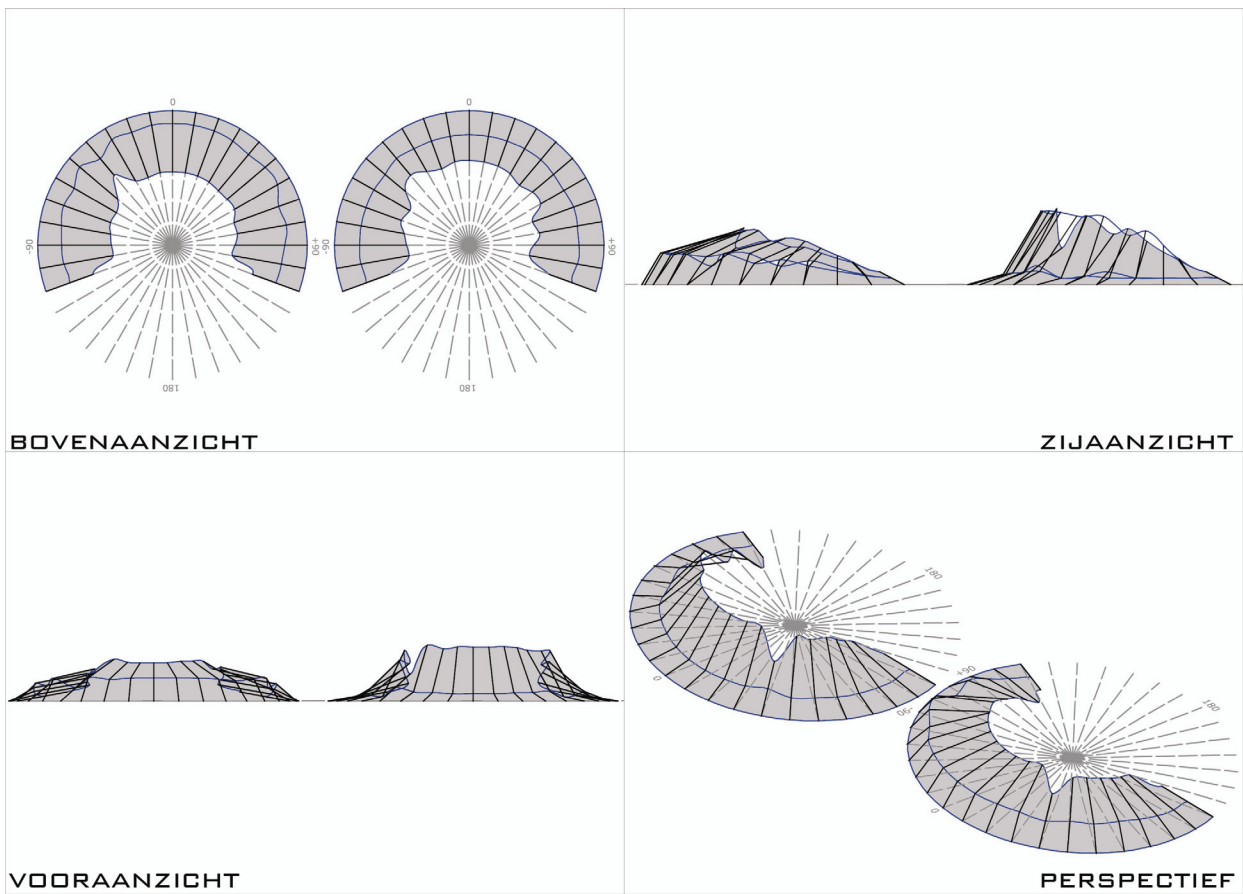
**Figuur 3 : holle en bolle stapeling van de minimale en maximale hellingshoeken per 10° oriëntatie**



Stap 4:

3D vertaling van deze 2D opsomming van hoeken.

Aangezien de **bolle stapeling** architecturaal gezien de beste kenmerken heeft om een ruimte te vormen, is er verder gegaan met deze vertaling.



**Figuur 4 : zichten van holle en bolle 3D-vertaling**

### Stap5:

Parametrische vertaling van de bekomen 3D-waardes (oriëntatie en inclinatie). Hierdoor ontstaat een waaier van hoeken om een geleidelijke overgang te creëren en aldus alle hoeken in een gradiënt te impliceren, afhankelijk van de ingevoerde parameters, marges en variatiecoëfficiënten.

Deze voor fotovoltaïsche energie **geoptimaliseerde vormgeving** vormt de basis van de gebouwschil waaronder de functies worden gegroepeerd. Hieruit ontstaat het verhaal van een '**beschermende huid**' waaronder de programmatische functies losstaand worden gegroepeerd. Van hieruit heeft het project zich verder ontwikkeld. Om een beeld te krijgen van de definitieve architecturale uitwerking, wordt verwezen naar de compilatie in bijlage 1: 'Overview C4A'. Deze architectuurbeelden, samen met de grotere context, zijn een belangrijke basis voor het verder begrijpen van deze verhandeling.



**Figuur 5 : geoptimaliseerde 3D-eindvorm**

## DEEL 2: ARCHINEERING

### 1 Inleiding

Het is belangrijk dat de ontwerper van een gebouw **in het ontwerpproces** al vroegtijdig rekening gehouden wordt met de implementatie van duurzame energie, ook al blijken de voorgestelde oplossingen niet ideaal te zijn.

Aanpassingen kunnen altijd doorgevoerd worden, in tegenstelling tot de integratie van klimatisatie *nà* het ontwerp. Moge het in een ontwerp niet altijd concreet zijn welke de specifieke technische uitwerking zal zijn, toch is de voorziene integratie van een aantal basissystemen aanwezig om in een latere systeemuitwerking technisch gedetailleerd te worden.

Vandaar volgt hieronder een beschrijving van de duurzame **energieprincipes** die in het architectuurproject reeds werden voorzien. Het uitgangspunt was dat zoveel mogelijk voorzieningen *in prima facti* passief werden uitgevoerd. Het morfologische concept van het project was op zich volledig geïnspireerd op duurzame energieopwekking. Er worden telkens voorstellen gedaan voor zowel de overkoepeling als de functionele ruimtes (units). Er dient vermeld te worden dat dit gebeurd is met de **toenmalige** kennis van zaken, aangezien de grootste focus lag op de architecturale ontwikkeling van het project.

Het dient duidelijk gemaakt te worden dat de hieronder beschreven principes enkel een beschrijving zijn van de **architecturaal** geïntegreerde principes. Het gaat hier nog **NIET** om de uiteindelijke zoektocht naar de correcte uitwerking. Wel om een volledig inzicht in het voorontwerp.

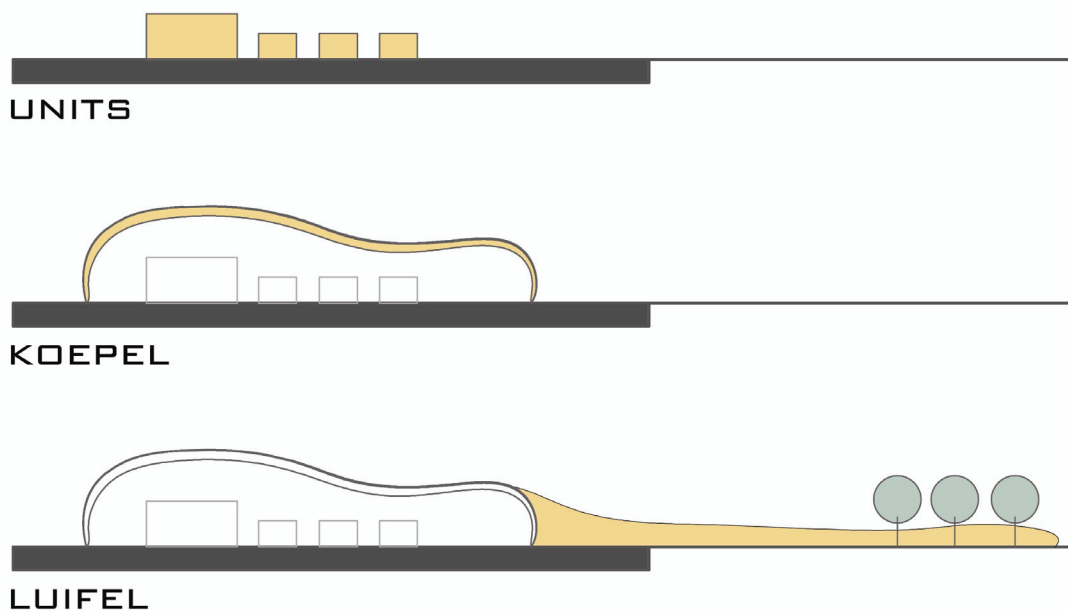
## 2 REG-Principes vanuit architecturaal oogpunt geïntegreerd

### 2.1 Functionele indeling

Het principe van de functionele opdeling tussen **koepel en units** heeft gezorgd voor nieuwe mogelijkheden tot integratie van REG in het project.

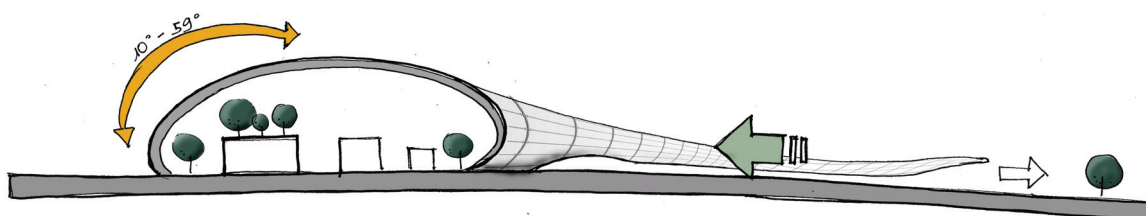
De functionele ruimtes zijn als losstaande bouwkundige elementen opgevat. De met zonnecellen bezaaide 3D-overkoepeling vormt een ruimtelijke **covering** waardoor deze als klimaatbuffer kan opgevat worden. De units worden bijgevolg niet meer rechtstreeks

blootgesteld aan de omgeving, maar genieten van een binnenklimaat, waardoor de conditionering gematigder kan gebeuren. Vooral convectieverliezen door de wind worden vermeden. De bouwkundige detaillering van de units wordt eveneens een stuk simpeler vermits er geen rekening gehouden moet worden met waterdichtheid.



**Figuur 6 : de drie grote entiteiten in het project**

Deze elementaire opsplitsing vertaalt zich in een algemeen energieconcept. De beschermende schil deint uit tot een 1800m<sup>2</sup> grote, met zonnecollectoren gezaaide luifel, die de grootste aanvulling vormt op de 5030m<sup>2</sup> zonnepanelen. Deze twee grote principes vormen de belangrijkste componenten in de waaier van genomen maatregelen omtrent rationeel energiegebruik en zullen in de loop van deze verhandeling speciale aandacht genieten. Maar ook de principes van actieve elektrische en thermische energie, natuurlijke ventilatie, verwarming en koeling zullen hierna nader worden toegelicht.

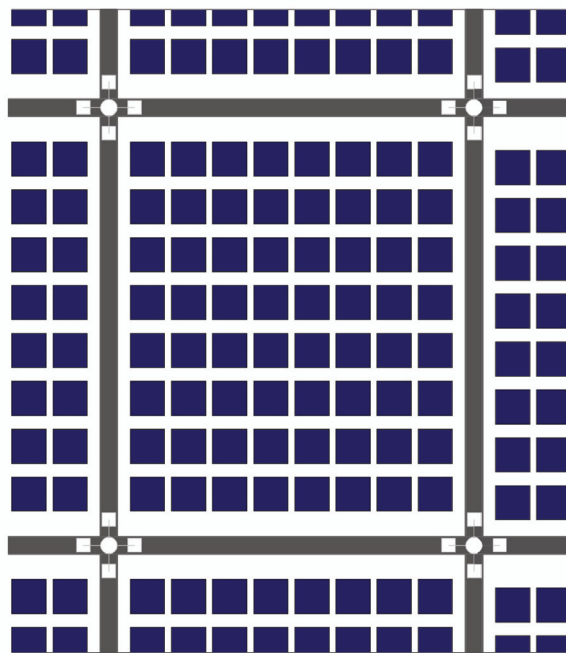


**Figuur 7 : ontwerpschets**

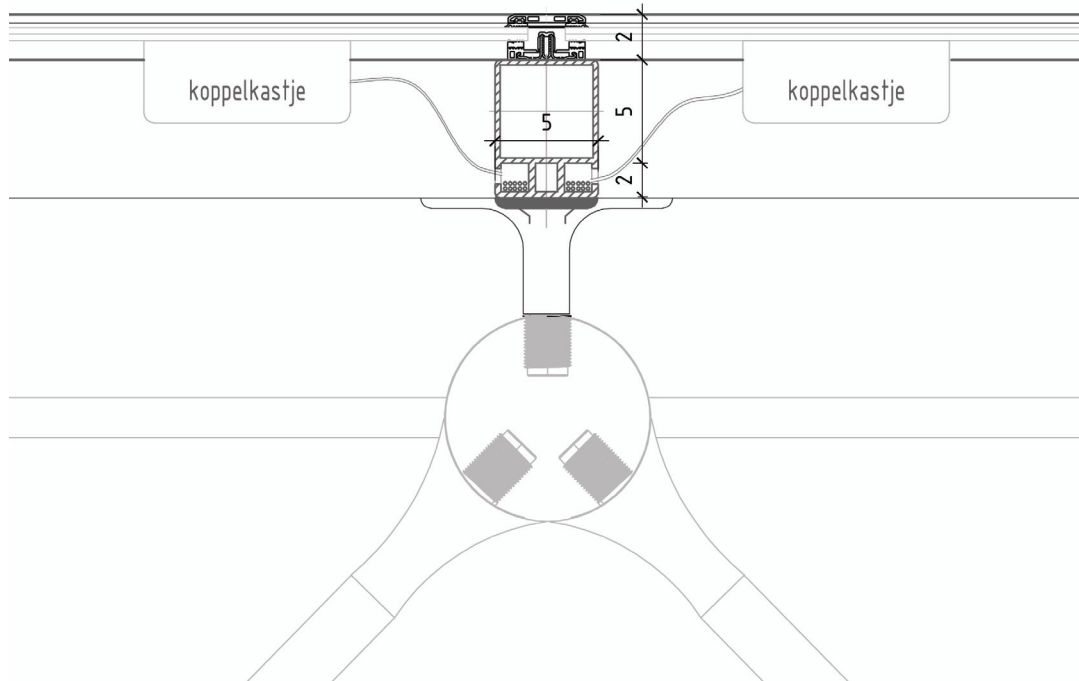
## 2.2 Actieve elektrische energie: fotovoltaïsche cellen

De opwekking van energie via zonnepanelen is het allesbepalende uitgangspunt van het hele ontwerp. Het gaat om een geoptimaliseerde zonnestroominstallatie van 5030m<sup>2</sup>. De installatie is opgebouwd uit **semi-transparante zonnepanelen** met een instralingsgraad van 50%. Ze vervullen dus een dubbele functie: **elektriciteitsopwekker** en **zonnewering**.

De kabels van de panelen en hun koppelkastjes zijn zichtbaar geïnstalleerd en beklemtonen het technische karakter van de overkoepeling. Rekening houdend met de hoogte van het dak, vormen zij geen storend element in de dakstructuur. Voor deze zichtbare constructie, is er zelf een raamprofiel ontworpen dat zich op de 3D-staalstructuur kan enten. Specifiek bij dit profiel is dat er een dubbel kabelgootje is geïntegreerd om van de kabels van de koppelkastjes langs de structuur te leiden. Anders zou een wirwar van kabels ontstaan. Dit zou alles behalve veilig zijn.



Figuur 8 : semi-transparante module



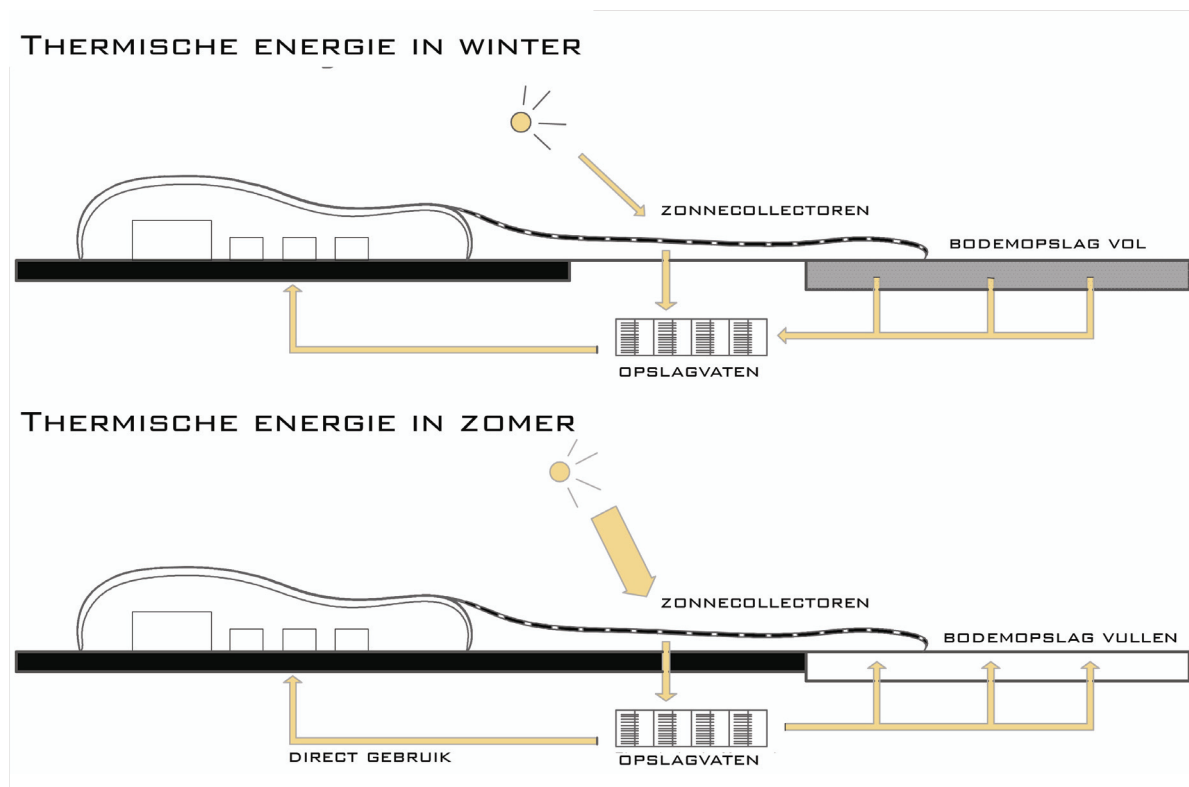
**Figuur 9 : ontwerp van raamprofiel voor de zonnemodules – bevestiging op de 3D-staalstructuur**

Op de begane grond bevindt zich de meterkast in de **Energy Conscience Wall**. Deze opstelling geeft alle in het project opgenomen hernieuwbare energiebronnen weer. De PV-display duidt de hoeveelheid opgewekte gratis energie aan, evenals de hoeveelheid vermeden CO<sub>2</sub>- en NOx-uitstoot. De opgewekte energie kan zowel voor eigen gebruik worden aangeboord, als worden doorverkocht aan het net. Het hoofddoel van de fotovoltaïsche installatie is het project volledig **autarkisch** te maken.

### **2.3 Actieve thermische energie: zonnecollectoren**

Het warm water komt integraal van de 1800m<sup>2</sup> zonnecollectoren op de **luifel** van de parking. Zij zorgen in de zomer voor een rechtstreekse aanvoer van warm water. Ze zijn gekoppeld aan **opslagvaten** van 1000liter in de onderkeldering van de parking en zijn extern toegankelijk via een aparte toegang. Het opgewarmde water wordt enerzijds aangevat om het sanitaire warme water te voorzien en anderzijds als medium ter verwarming van de koepel en units.

Er zal in de zomer een **overproductie** van warmte zijn. Deze overtollige warmte wordt gecapteerd in de hiervoor voorziene bodemsectie en de seizoensgebonden **thermische opslag** wordt aldus gevuld. In de winter kan hieruit geput worden om de mindere productie van warm water bij te springen en zal aldus de thermische opslag worden geleedigd.



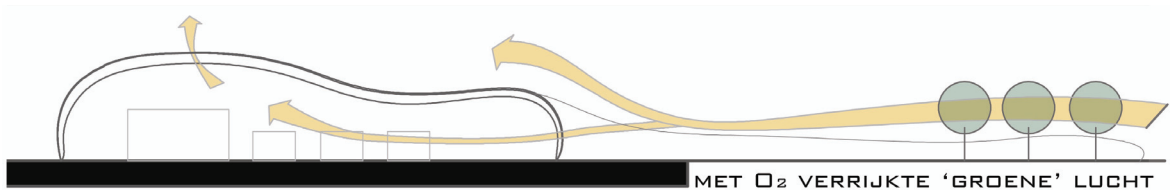
**Figuur 10 : schema van thermische energie in winter en zomer**

### **BACK-UP voorstel**

Tijdens de periodes dat de zon onvoldoende vermogen heeft om de boiler volledig op temperatuur te brengen wordt de **naverwarming** ingeschakeld. Aangezien fossiele brandstoffen van uit rationeel energetisch oogpunt uit den boze zijn, is er gekozen voor een elektrische naverwarming met weerstand. De fotovoltaïsche cellen produceren immers een voldoende groot overschot aan 'gratis elektriciteit', waardoor het hele systeem tot een nuloperatie komt.

## 2.4 Natuurlijke ventilatie

De organische vormgeving van het gebouw bevordert de natuurlijke ventilatie. De verse lucht wordt binnengeblazen via het aanliggende park. Hierdoor wordt de overkoepeling gevuld met zuurstofrijke **'groene' lucht**.



**Figuur 11 : natuurlijke ventilatie vanuit het aanliggende park met vijver**

### 2.4.1 Koepel

In de **zomer** wordt de overkoepeling natuurlijk geventileerd. Hiertoe wordt een deel van de koepel geopend met een openplooiend pneumatisch **pompsysteem**. (type L'hémisferic van Calatrava; zie figuur12)



**Figuur 12 : l'Hemisferic\_architect Calatrava\_Valencia**

Op regelmatige plaatsen in de koepel zijn glazen **'parapluluiken'** voorzien die automatisch geopend kunnen worden.

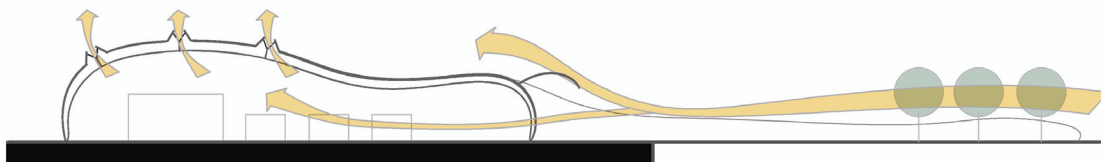
Hierdoor wordt de koepel geperforeerd, waardoor de warmte kan ontsnappen en er voldoende verse lucht wordt toegevoerd. Deze luiken vormen als het ware de



**Figuur 13 : 'parapluluiken'**

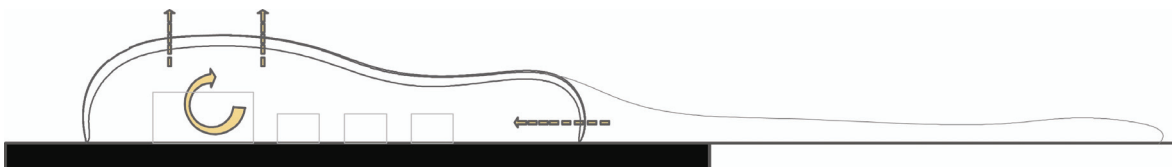


**poriën** van de beschermende huid. Hierdoor wordt de overkoepeling doorspoeld met zuurstofrijke verse lucht.



**Figuur 14 : natuurlijke doorstroming van de koepel in de zomer**

In de **winter** zal de koepel gesloten blijven en fungeren als klimatische **bufferzone**.



**Figuur 15 : mechanische ventilatie in de winter**

Dan wordt er mechanisch geventileerd, met warmterecuperatie van de zonelucht van de units. De energie nodig voor deze mechanische ventilatie wordt geproduceerd door de PV-installatie, waardoor de elektriciteitsrekening een nuloperatie wordt.

## 2.4.2 Units

De functionele ruimtes staan los onder de met zonnecellen bezaaide koepel, die als klimaatbuffer dienst doet. De units worden bijgevolg niet meer rechtstreeks blootgesteld aan de omgeving, maar genieten van een **binnenklimaat**. Dit zal een positieve invloed hebben op hun klimatisatie.

De functie-units worden in de winter **mechanisch geventileerd** worden op basis van een **CO<sub>2</sub>-sensor**. Zo voorkomen we dat er overbodig geventileerd wordt, hetgeen energieverkwistend zou werken.

De bijkomende mechanische installatie gebeurt centraal op het dak van de projectiezaal. Dit niveau is eveneens publiek terrein, waardoor het contact met de installatie als technisch kunstobject wordt beoogd. Dit impliceert echter een propere afwerking in een esthetisch en architecturaal verantwoord RVS-uitvoering.

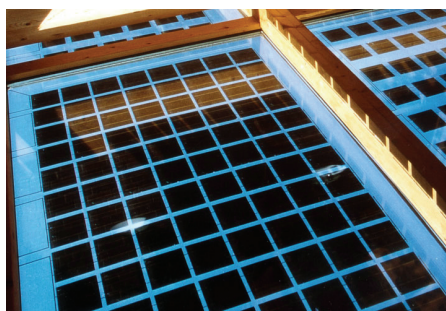
De **mechanische ventilatie** voor de functie-units wordt opgesplitst omwille van de

uitgestrektheid van het gebouw. Er worden tevens tussenstations geplaatst met een ventilator die extra luchtstroom creëert om voldoende de ventilatielucht op voldoende snelheid door de kanalen te laten circuleren. Voor de inblaas- en afvoerkanalen naar en van de units zijn nissen in de gebouwstructuur voorzien. Dit zorgt voor een makkelijke inbouw. De toevoer- en afvoerleidingen zijn in oppositie geplaatst om aldus een optimale opstelling te bekomen. Beide ventilatiesystemen zijn gebalanceerde systemen met **warmteterugwinning**. Dit om de energiekosten toch zo veel mogelijk te drukken.

De afvoer van afvallucht gebeurt via een ondergronds kanaal om de doorvoer door de gevel te vermijden.

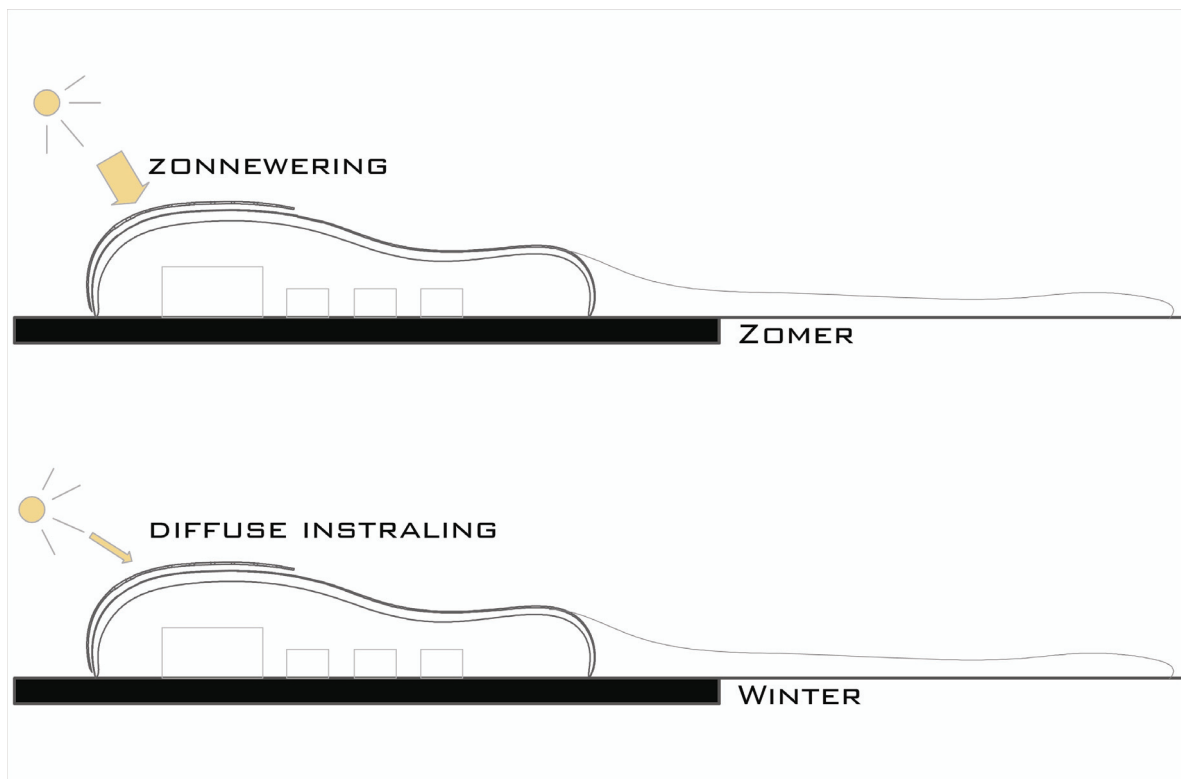
## 2.5 Verwarming en koeling

Het zonnestroomsysteem levert de integrale energietoevoer van het gebouw, maar doet eveneens dienst als bouwkundig geïntegreerde zonnewering. De hiervoor specifiek gekozen semi-transparante zonnepanelen houden een verschil van zonnewarmtetransmissie in van de koepel. In de zomer zorgen deze panelen voor een *shading* van 50%. Ze beperken dus de interne zonnewinsten, waardoor het koelvermogen gedrukt wordt.



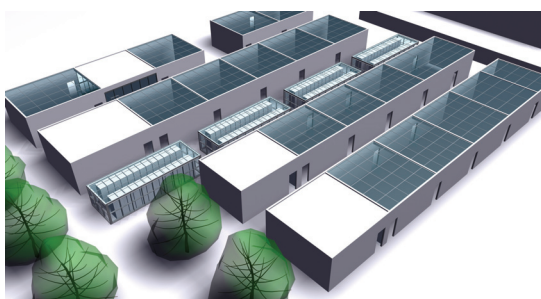
**Figuur 16 : semi-transparante cellen\_Soltech**

In de **winter** voorziet de semi-transparantie voldoende lichtinval en zorgt voor interne zonnewinst. Zowel de **koepel** als de **units** profiteren van dit passieve principe.

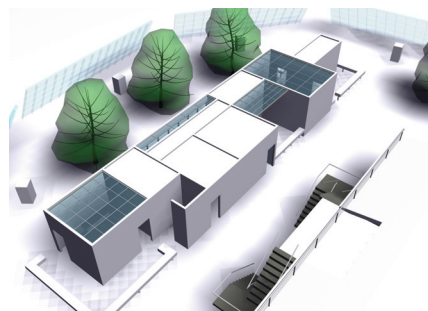


**Figuur 17 : dubbele functie van de semi-transparante modules**

Architecturaal is deze oplossing betrokken bij het concept van de overkoepeling, aangezien deze een specifieke schaduwwerking teweegbrengt in de ruimtes en voor voldoende verlichting voor de ruimtes zorgt. Deze functie-units zijn op hun beurt dan ook telkens voorzien van hun eigen opengewerkte glazen wanden, hetgeen **verlichting grotendeels overbodig** maakt.

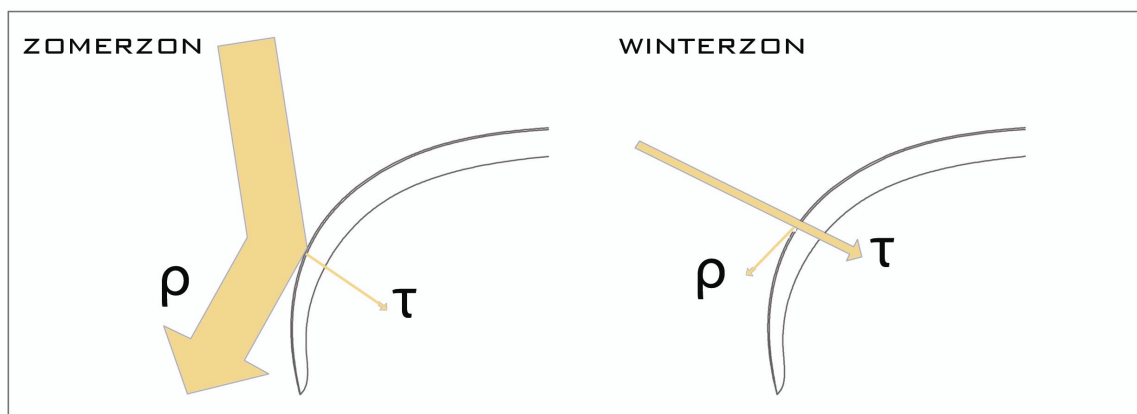


**Figuur 18 : binnenzicht op de work-units**



**Figuur 19 : zicht op de administratieve unit**

Bijkomend zorgt de **curving** van de glazen schil in de **zomer**, bij een hoge zonnestand, voor een verhoogde reflectiefactor, waardoor er een relatief groot deel van de IR-straling het gebouw niet indringt en de opwarming relatief beperkt wordt. In de **winter** staat de zon daarentegen lager, hetgeen een hogere transmissie van de stralen ten gevolge heeft en er dus een welkome verhoogde **passieve warmtewinst** ontstaat.



**Figuur 20 : reflectie van de hoge zomerzon en transmissie van de lage winterzon**

Doordat de plafonds van de **units** met glas zijn opengewerkt, profiteren de interne functies in de **winter** mee van de opwarming door de eventuele zonne-instraling in de koepel. Verdere toepassing van passieve methodes voor de units wordt niet toegepast. Zij zullen **actief bijverwarmd** moeten worden. Het voorstel is dat dit integraal met **lucht** gebeurt via een centrale opwarming met elektrische weerstand. De elektriciteit hiervoor wordt gehaald van de zonne-energiegenerator, waarbij er bijkomend aan **warmterecuperatie** gedaan wordt. De interne winsten van de computerlokalen en renderfarms zijn immers niet te onderschatten. De warmte van deze afvallucht zal via een warmtewisselaar aan de verse lucht overgedragen worden. Zo worden de **interne warmtewinsten** optimaal benut. De bijhorende technische ruimte bevindt zich ondergronds, onder de parkingluifel.

In de **zomer** worden de units **mechanisch bijgekoeld**. De luchtvang van de te voorziene luchtgroep zal dan ondergronds gebeuren, op een diepte van 4m, waardoor de ingevoerde lucht reeds op een relatief lage temperatuur staat. Dit is het systeem van **Canadese putten**. Het verkoelen gebeurt gratis. De afvoer van afvallucht zal ook via een ondergronds kanaal om de doorvoer door de gevel te vermijden.

Voor de koeling van de **renderfarm**, is het noodzakelijk een **ijswatermachine** te voorzien.

## DEEL 3: ENERGEERING

### 1 INLEIDING: ROUTING

Uitgaande van de in het architecturaal concept toegepaste passieve technieken is het de bedoeling in deze verhandeling tot een uiteindelijke projectconsensus te komen. Dit telkens in overleg met mijn stagebegeleider Wilfried Bleus, hoofd van de calculatiedienst bij Imtech Projects NV. in Alken.

In een eerste fase, de **MACRO**-analyse, worden de principes vanuit de architecturale opleiding voorgelegd. Uitgaande daarvan wordt er tijdens een aantal sessies **gebrainstormd** over de mogelijkheden omtrent rationeel energiegebruik. Hierbij wordt vooral kennis gemaakt met een aantal systemen, hun voor- en nadelen en toepasbaarheid, waarbij ook telkens de theoretische achtergrond bestudeerd wordt. De voorziene basisprincipes zullen worden getoetst, bekritiseerd, aangevuld en verbeterd. Er zal blijken dat er op basisniveau van het architecturale **concept** een aantal **wijzigingen** doorgevoerd moeten worden in functie van de **klimatologische engineering**.

Vermits er niet slechts één perfecte combinatie als resultaat bestaat, bestaat de moeilijkheid erin een keuze te maken in de besproken systemen en deze telkens met elkaar proberen te **combineren**. Aangezien dit eveneens een –zij het technisch- ontwerpproces is, moet er dikwijls worden teruggekoppeld om de systemen op elkaar te kunnen afstemmen. Uiteindelijk hebben we na deze uitgebreide **trial-and-error** uit de brainstorm één **projectconsensus** gedestilleerd. Zowel de brainstorms, als de systeemconsensus vormen een belangrijk aandeel in het algemene onderzoeksproces.

Een diepere uitwerking tot op **MESO**-schaal is de volgende fase. Hierbij worden de weerhouden principes verder uitgespit en vormen theoretische kennisverwerving en systeemstudie de belangrijkste basis. Een algemene **analyse** van elk systeem *an sich* is een noodzaak, zodat de mogelijkheden binnen het systeem duidelijk worden. Op basis hiervan kan de juiste keuze gemaakt worden in functie van het specifieke project, om uiteindelijk tot een **systeemconsensus** te komen.

Met de verworven achtergrond begeven we ons tot op het **MICRO**-niveau. Uiteindelijk dienen er immers een aantal **berekeningen** gemaakt te worden die aan de basis liggen van de te installeren **vermogens** in functie van de uitgefilterde systemen. Ook de vermogens van de klimatologische toestellen worden - voor zover mogelijk - berekend. Op basis hiervan kan worden gespecificeerd welk **type** toestel voor welke toepassing gebruikt zal worden, welke de nodige technische ruimte is, de juiste opslagcapaciteiten, de diepte van de grondboringen, etc. Deze **calculatieve fase** resulteert bijgevolg terug in een bouwkundig gegeven. Het bekomen verfijnde technisch beeld van de hele projectconsensus vormt het

beoogde **doel** en bijgevolg eindpunt van dit eindwerk. Vanaf deze verfijning begint een gecompliceerde detailuitwerking die verder in het vakdomein van de fabrikanten en technisch installateurs ligt.

## 2 PROJECTSCREENING

Ter voorbereiding van de technische analyse en uitwerking van het project, wordt er eerst een overzicht gegeven van een aantal belangrijke basisgegevens omtrent het C4A.

### 2.1 Inventaris van de ruimtes

Hiervoor wordt verwezen naar bijlage 2: 'Function-listing'. Deze tabel bevat de voornaamste gegevens van alle ruimtes uit het programma met het oog op de klimatologische uitwerking. Telkens wordt de ruimtecategorie, de geometrie, het aantal personen en de kwaliteitsklasse per ruimte weergegeven. De gekozen ruimtecategorie staat in functie van het aantal vierkante meter per persoon.

### 2.2 Kengetallen

<b>SYSTEEMPARAMETERS</b>	
<b>Totale grondoppervlakte</b>	<b>6205</b> m <sup>2</sup>
Netto-oppervlakte units	1875 m <sup>2</sup>
Netto-oppervlakte koepel	4330 m <sup>2</sup>
<b>Totale schiloppervlakte</b> <b>5910</b> m <sup>2</sup>	
Netto-oppervlak glas	5302 m <sup>2</sup>
Netto-oppervlak profiel	608 m <sup>2</sup>
Oppervlak zonnecollectoren	1800 m <sup>2</sup>
Oppervlak zonnepanelen	5030 m <sup>2</sup>
<b>Totaal volume</b>	<b>40025</b> m <sup>3</sup>
Nettovolume units	8465 m <sup>3</sup>
Nettovolume koepel	31560 m <sup>3</sup>
<b>Totaal aantal personen</b>	<b>1632</b>
Netto aantal in units	507

Netto aantal in koepel	1125
<b>Algemene geometrie</b>	
Maximale hoogte koepel	14 m
Gemiddelde hoogte koepel	6,5 m
Gemiddelde hoogte functies	4,5 m
Hoogte units	3,4 m

### 2.3 Belangrijkste bouwkundige kenmerken

- De overkoepeling is grotendeels voorzien van dubbel beglaasde PV-modules bevestigd op een 3D-staalstructuur.
- Op de luifel van de overdekte parking zijn platte zonnecollectoren aangebracht op de staalstructuur, kaderend binnen een zonnestelsel van geïntegreerde opslagvaten, koperen leidingen, warmtepompen en thermische opslag.
- Intern zijn de bouwvolumes gerealiseerd in een geïsoleerde houten skeletconstructie en opengewerkt met een isolerende dubbele beglazing.
- De algemene vloerafwerking van de koepel bestaat uit gepolierd beton, afgewisseld met een houten vloerbekleding in de units zelf.
- De koepel is intern doorzaaid met fluweelbomen (Rhus Typhina).
- Een groot stuk van de gevel ter hoogte van het park kan openplooien.

### 3 BRAINSTORM

Tijdens deze fase zullen de reeds voorgestelde basisprincipes vanuit technisch oogpunt worden **getoetst, bekritiseerd, aangevuld of verbeterd**. Telkens worden de items gebundeld per domein. Een aantal bemerkingen worden gemaakt of vragen gesteld rond elk item. Er zal ook blijken dat er op basisniveau van het architecturale concept een aantal wijzigingen of veranderingen doorgevoerd moeten worden.

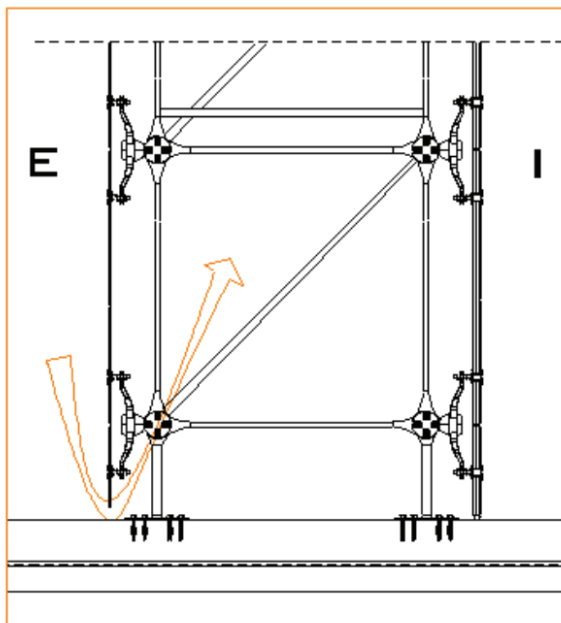
Er moet uitdrukkelijk op gewezen worden dat het telkens effectief over een brainstormsynthese gaat. Het is een opeenvolging van **idee en reply**, nog géén samenhangend geheel. Deze samenhang wordt gecreëerd in de uiteindelijke systeemconensus.

#### 3.1 Fase 1

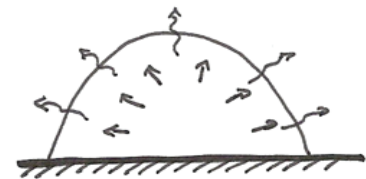
##### 3.1.1 Algemene constructie

##### 3.1.1.1 Luchtdichtheid van de koepel

Doordat de koepel opgebouwd is uit een gesegmenteerde glazen bedekking, bestaat er kans op lekverliezen. Door deze lekverliezen ontstaat een groter warmteverlies naar de omgeving. De structuur ontdebelen zou een goede oplossing zijn. Door de schil eveneens in



**Figuur 22 : ontdebeld structure**



**Figuur 21: koepel in overdruk**



overdruk te zetten, kunnen eventuele kieren en luchtverliezen geëlimineerd worden. Deze ontdebbling gebeurt door een tweede glasscherm tegen de binnenkant van de 3D-staalstructuur te bevestigen.

Een bijkomende factor om het ontdebbling van de glazen schil te verantwoorden, ligt bij de zonnepanelen. Door de ventilatieschil wordt de achterkant van de panelen constant te geventileerd (**corridorprincipe**<sup>1</sup>) en zal het rendement van de PV-installatie verhogen. PV-panelen zijn immers berekend in STC<sup>2</sup> condities, hetgeen onder andere een oppervlaktetemperatuur van 25°C inhoudt. Deze zou in de zomer sterk kunnen worden overschreden, met een lagere elektriciteitsopbrengst als gevolg.

### 3.1.1.2 Aanpassing basisontwerp architectuur

Bij het eerste architecturale ontwerp zijn de **units veel te licht** ontworpen door de te grote glasvlakken en glazen plafonds en de houten opbouwanden. Deze constructieve lichte opbouw had als uitgangspunt de aanpasbaarheid naar later functiewisseling van de koepel, maar ook de openheid naar de schil toe.

In combinatie met de glazen schil en haar te grote warmteverliezen is het energetisch gezien te verkwistend de units degelijk te conditioneren. De warmteopslag is immers nihil. Het warmteverlies van de units moet worden beperkt en een aanpassing in het ontwerp dringt zich op.

Allereerst moet de **warmte-instraling** in de units in de zomer worden beperkt. Het glas in het dak moet beperkt worden. Zelfs het voorzien van luifels zou goed zijn. Er wordt besloten de units dicht te maken langs boven toe. In de winter is de zonne-instraling echter gunstig voor de passieve verwarming van de units. Het ontwerp dient te worden aangepast.

Anderzijds dient de **warmteopslagcapaciteit** van de units te worden vergroot. De muren worden zwaarder uitgevoerd. Hiertoe passen we de constructieve opbouw aan van hout naar een massieve isolerende cellenbetonblok van 14cm. Zodanig heeft de muur nog voldoende isolerende functie en heeft ze toch meer massa. Een warmteverliesberekening in volgende fase zal een idee geven van het bijhorende warmteverlies.

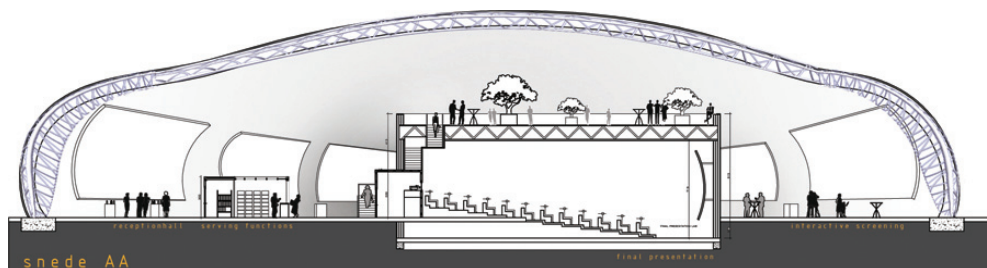
Een tweede architecturale moeilijkheid wordt het **demo-platform** op de projectiezaal op een hoogte van acht meter. In de zomer zal het er veel te warm worden aangezien de

---

<sup>1</sup> **Corridorprincipe**: lett. 'ganggevel'. Een grote luchtspouw die voor de hele gevel doorloopt met als doel als ventilatiespouw te fungeren. Veel voorkomend principe in klimaatgevels.

<sup>2</sup> **STC**: Standard Test Conditions

warme lucht zal stijgen. Het behouden van deze functie zou teveel energetische inspanningen vragen naargelang haar belang en zou door haar moeilijke karakter de uitbouw van de hele systeemconsensus bemoeilijken. Ook hier vraagt een aanpassing te gebeuren.

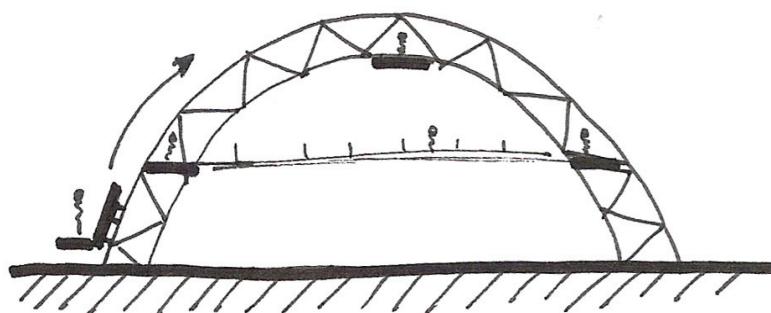


**Figuur 23 : dwarsnede met demo-platform boven de projectiezaal**

**Conclusie:** Er dient een architecturale toegeving te worden gedaan ten behoeve van de klimatologische logica.

### 3.1.1.3 Onderhoud

Aangezien de erg onregelmatige vorm van de koepel, dienen we de mogelijkheid tot onderhoud van de ontdebbelede glazen schil ook te concipiëren. Het idee van loopbruggen in de koepel of tussen de 3D-structuur kan een oplossing zijn voor intern onderhoud. Mogelijkheid tot het inclicken op valbeschermingshaken is een noodzaak. Extern kan er gedacht worden aan een geïntegreerd railsysteem met mobiel plateau en regelmatige bevestigingspunten voor **valbeveiliging**. Bij de uiteindelijke uitwerking zal dit verder gedetailleerd moeten worden.



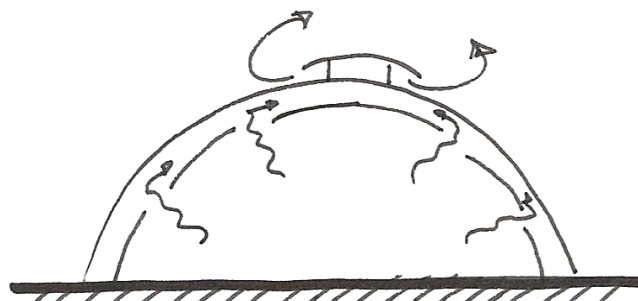
**Figuur 24 : ontwerpschets voor onderhoud van de koepel**

### 3.1.2 Natuurlijke ventilatie

In het architecturale beginontwerp gebeurt de natuurlijke ventilatie van de koepel door een deel van de gevel dat zich openplooit, in combinatie met openingen in de glazen koepel. Bij dit systeem van **poriën** in de schil voor de warmteafvoer moeten we rekening houden met de externe **weercondities**. Zo kan het nodig zijn de koepelluiken open te zetten, maar als het tegelijkertijd regent of onweert kan dit voor problemen zorgen. De **sturing** van de koepelluiken dient dus doordacht te gebeuren, eventueel op basis van een klein weerstation op het dak (windmeting). Als het stormt, kunnen de luiken gesloten worden en schakelt de verdringingsventilatie op. Gebruik maken van gecontroleerde registerkleppen kan een alternatief zijn. Esthetische integratie is hier de uitdaging.

Een andere mogelijke oplossing kan geboden worden door geen openingen in de buitenste glaslaag te voorzien, maar **axiaalventilatoren** in de ontdubbeling te plaatsen met openingen in de binnenste glaspartij. Deze zullen een luchtstroom genereren in de ontdubbelde gevel en de warmte bijgevolg afvoeren via een centraal punt dat bescherming biedt tegen weersinvloeden (zogenaamde 'paddestoelafvoer'). Deze ventilatoren verbruiken ongeveer 1 à 2 kW per stuk.

Ook het systeem om het **atrium** te openen dient stevig genoeg te worden ontworpen. Een groot oppervlakte van de gevel moet immers in één keer geopend worden.



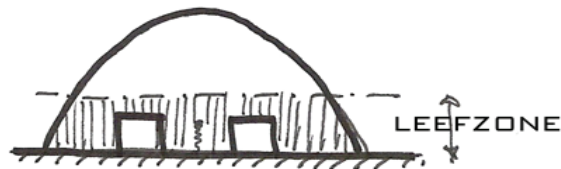
Figuur 25 : warmteafvoer via de schil

### 3.1.3 Verwarming en koeling

#### 3.1.3.1 Koepel

De overkoepeling heeft een erg groot volume en is vrij hoog. Verwarming en koeling van deze ruimte is bijgevolg geen sinecure. Om overdreven grote vermogens te vermijden, beperken we de conditionering tot de onderste **drie meter**. Deze zone vormt namelijk de nuttige circulatieruimte en dient –zonder al te strenge eisen- comfortabel gemaakt te

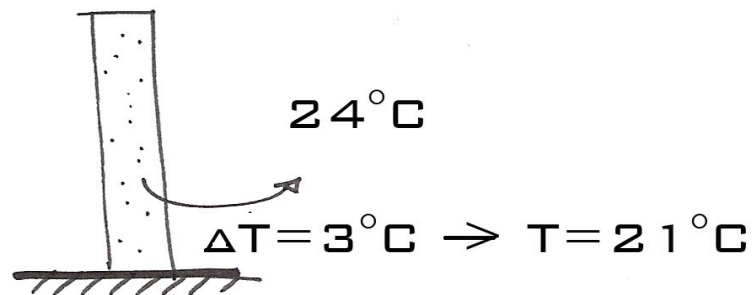
worden. De omstandigheden boven deze drie meter interesseren ons comfortgericht bekeken niet.



**Figuur 26 : onderste te conditioneren zone**

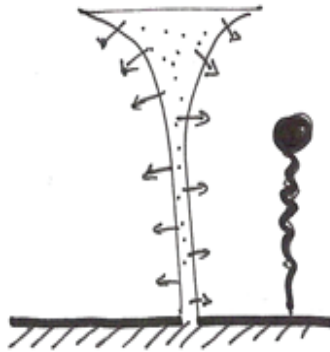
### 3.1.3.1.1 Koelen

Daar het om een groot oppervlakte gaat en de eisen niet overdreven streng zijn in deze wandelzone, passen we ter koeling het systeem van **verdringingsventilatie** toe. Er wordt bij dit principe veel lucht ingeblazen, maar een weinig warmte. Het temperatuurverschil  $\Delta T$  tussen de inblaas- en ruimtelucht bedraagt 2 à 3°C. Aangezien we een gekozen waarde voor de comforttemperatuur in deze wandelzone ambiëren van 24°C, gaan we aan 21°C lucht inblazen.



**Figuur 27 : temperatuurverschil bij verdringing**

Typisch aan een verdringingsinstallatie zijn de **inblaasarmaturen**. Voor ons project kiezen we voor een esthetisch aangepaste oplossing, namelijk de inblaaszuilen. Vormgeeflijk kan hier ook mee gespeeld worden, waardoor deze armaturen een extra cachet krijgen dan louter hun functionele aanwezigheid in de ruimte.



Figuur 28 : ontwerp van verdringingsarmatuur als object

### 3.1.3.1.1 Passieve koeling

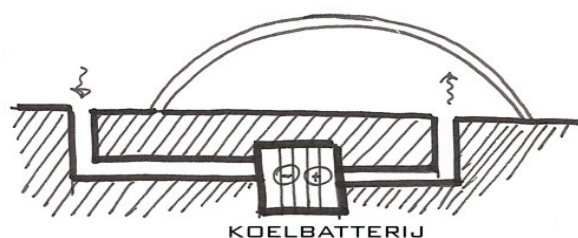
Door het gebruik van de **semi-transparante** zonnecellen in de overkoepeling, kunnen we eveneens spreken van passieve koeling. Door hun 50% transparantie vormen zij een bouwkundig geïntegreerde zonnewering waardoor in de zomer de zonnewinsten beperkt worden. Bijgevolg laten zij ook passieve verwarming toe in de winter. Samen met hun energieopwekkend vermogen, zenitale lichtfunctie en esthetische kwaliteit vormen ze dus een mooi voorbeeld van een bouwkundig multifunctionele toepassing.

### 3.1.3.1.2 Verwarming: keuzemogelijkheden

#### 3.1.3.1.2.1 Passieve voorverwarming

Het luchtkanaal dat de luchtgroep van verse lucht voorziet, ligt ondergronds op een diepte van vier meter ingegraven. Dit is gebaseerd op het systeem van 'Canadese putten'. De aardbodem slaat namelijk de door de zon ingestraalde warmte op en hierdoor heerst er al vanaf een geringe diepte een vrij constante temperatuur van 10 à 12°C. Zowel in winter als zomer blijft deze temperatuur constant. Zodoende kunnen we de ventilatielucht gratis voorverwarmen of -koelen. Er is een ondergrondse leiding nodig, die extra geïsoleerd dient te worden om schimmel en dergelijke te voorkomen.

Voor de invoer van de lucht naar de luchtgroep is er een **kleppensysteem** geïntegreerd.



Figuur 29 : voorverwarming- en verwarming via ondergronds kanaal

In de zomer koelen we voor, zonder uiteraard de hete lucht uit de koepel aan te trekken. In de **winter** daarentegen wordt het Canadese kanaal afgesloten en opent de **afzuiging** uit de koepel, waar de warme lucht zich concentreert. Deze lucht is dan warmer dan de temperatuur van de grond.

### 3.1.3.1.2.2 Verdringingsventilatie

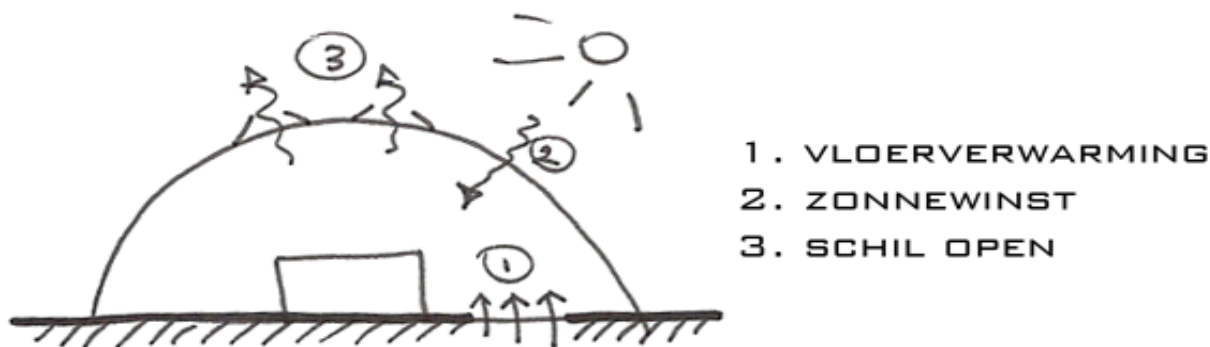
Indien we het **verdringingsprincipe** ook om te verwarmen willen gebruiken, moeten we opletten. De warmte lucht zou namelijk dadelijk beginnen stijgen, hetgeen niet opportuun is. Het warmtegevoel zou zich dan slechts in de korte nabijheid van de inblaaszulen manifesteren, terwijl de hele onderste zone geconditioneerd zou moeten worden. Dit is geen consequente manier van werken. We besluiten dus dat we de verdringingsventilatie in hoofdzaak gebruiken om te **koelen**. Ermee verwarmen wordt voorlopig achterwege gelaten.



Figuur 30 : perforatie inblaaszuil

### 3.1.3.1.2.3 Vloerverwarming

Een optie om de onderste zone in de koepel te verwarmen, kan eveneens liggen in **vloerverwarming** in de wandelgangen. Ook hierbij echter een belangrijke bemerking. Vloerverwarming is immers een systeem dat traag op gang komt en niet meteen stilgelegd kan worden. Aangezien plotse zonne-instraling niet voorspeld kan worden, kan volgend effect optreden:



- 1. VLOERVERWARMING
- 2. ZONNEWINST
- 3. SCHIL OPEN

Figuur 31 : gevolgen van vloerverwarming in de koepel bij plotse zonnwinst

1. Het is koud: de vloerverwarming draait op volle toeren.
2. Bij plotse zonne-instraling komt er warmte in de schil en de units bij. Als de sensor van de vloerverwarming uitvalt, blijft de vloerverwarming nog ongeveer twee uur verder warmte afgeven.
3. Het wordt dus veel te warm waardoor de koepel opengezet gaat worden.

Dit is alles behalve een flexibele en energiebewuste manier van werken en past bijgevolg niet in het algemene concept. Bijkomend probleem zijn de bomen en het groen in de gangen. Deze zouden het leidingtracé sterk bemoeilijken.

**Vloerverwarming** kan daarentegen wel een prima toepassing zijn in de **units**. Daar speelt –na correcte aanpassing van de constructieve opbouw- de plotse bezonning quasi geen rol.

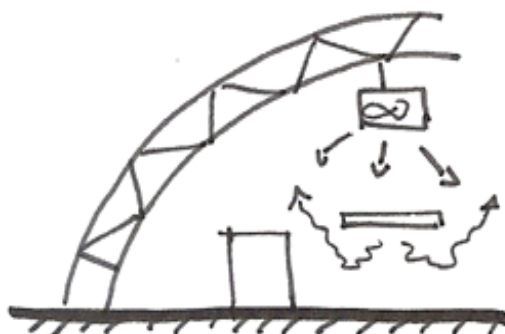
#### **3.1.3.1.2.4 Stralingspanelen**

Een oplossing kan gevonden worden in de plaatsing van **passieve stralingspanelen** in de wandelzone. Deze panelen hangen op een hoogte van drie meter boven de te conditioneren circulatieruimte. Ze worden opgehangen aan de staalstructuur. In een eerste voorstel worden ze gevoed door het warme water komende van de **warmtepomp**. Deze staat op haar beurt gekoppeld op een **grondboring**. De warmte uit de bodem zal dus opgewaardeerd worden en alzo de stralingswarmte mogelijk maken.

#### **3.1.3.1.2.5 Destratificatoren**

De warme lucht zal sowieso naar het hoogste punt van de koepel stijgen en aldus verloren gaan. Om deze reeds opgewekte warmte niet onbenut te laten, bieden **destratificatoren** een goede oplossing. Deze modules blazen simpelweg de lucht terug naar onder. Ze moeten daartoe zo **hoog** mogelijk gehangen te worden.

Het moet wel toegegeven dat deze toestellen werken op elektrische energie, maar daarvoor wordt de door de zonnecellen opgewekte energie aangesproken. Het weze duidelijk dat men beter gratis –en bovendien groene- energie kan gebruiken ten eigen behoefte, dan een grote hoeveelheid warmte zomaar verloren te laten gaan. Deze gerecupereerde warmte compenseert immers een deel van de verwarming in de wandelzone, waardoor eventuele bijverwarming beperkt blijft. Om de destratificatoren niet nodeloos te laten werken, moeten ze voorzien worden van een **thermostaat**.

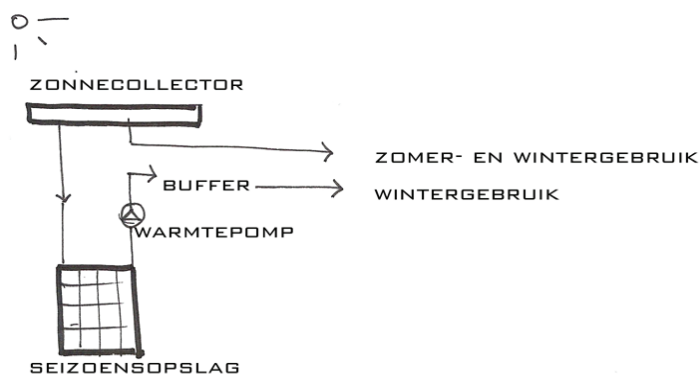


**Figuur 32 : destratificatoren houden de warme lucht onderaan**

### 3.1.3.2 Units

#### 3.1.3.2.1 Verwarmen

Zoals reeds is aangehaald zou **vloerverwarming** in de units een goede oplossing vormen. Passieve stralingspanelen zouden echter ook mogelijk zijn. Bij beide systemen zouden we als eerste voorstel gebruik willen maken van het door de **zonnecollectoren** aangemaakte warme water. Indien zou blijken dat de zonnecollectoren in de winter de hoeveelheid rechtstreeks warm water niet zouden kunnen leveren, kiezen we als alternatief systeem voor een **warmtepomp** die de warmte van seizoensopslag in de bodem zou kunnen opwaarderen.



**Figuur 33 : ontwerpschets koppeling zonnecollectoren op bodemopslag**

Deze bodemopslag is echter nog in vraag te stellen aangezien we de grondsoort nog niet kennen. De toepassing van dit systeem als warmwatervoeding is dus afhankelijk van geografisch onderzoek.

**Conclusie:** Een voorlopige keuze valt op de **vloerverwarming**, gevoed door de **zonnecollectoren**.

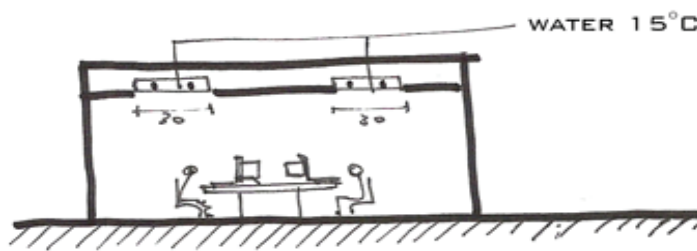
Een **opmerking** is gepast. Vloerverwarming is een **traag** systeem. Gedurende de werkdagen werkt de thermische opslag van de constructie, samen met de hoge interne winsten als 'voorverwarming'. Na het weekend moeten de units echter ook opgewarmd zijn. Vloerverwarming via domotica is bijgevolg een goede optie.



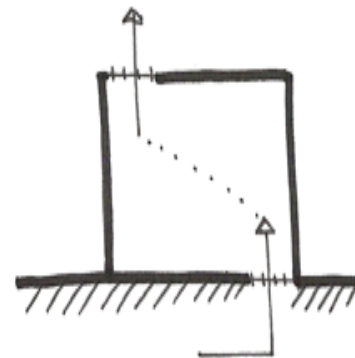
### 3.1.3.2.2 Koelen

Voor het koelen van de units denken we in eerste instantie aan **verdringingsventilatie**. De units zullen worden voorzien van een toevoerrooster dat in oppositie staat met het afzuigrooster. Zodanig wordt een optimale verspreiding van de koele lucht bekomen.

Een tweede optie ligt in het gebruik van **passieve koelbalken**. Deze worden in de zomer gevoed door koud water van 15°C, afkomstig van bijvoorbeeld bodemkoeling. Het nadeel van dit systeem is echter dat er een vals plafond dient voorzien te worden in de units.



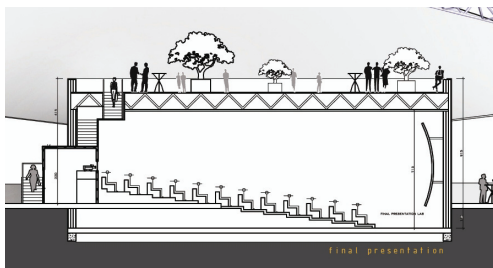
Figuur 35 : stralingsbalken met vals plafond in de units



Figuur 34 : luchtstroom verdringing

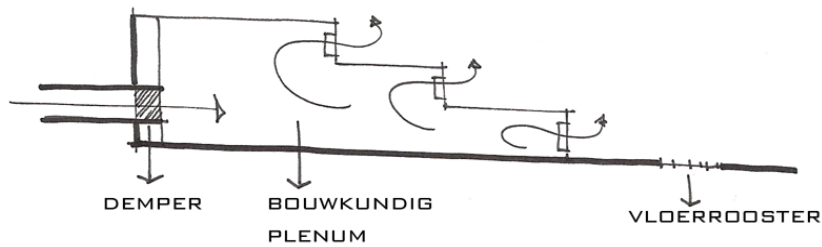
**Conclusie:** We kiezen voorlopig voor de **verdringinginstallatie** in de units. Dit omwille van de passende systeemtechniek en de mogelijkheid tot een subtielere integratie dan het vals plafond met verwarmingsbalken, waarbij de unithoogte beperkt zou worden.

### 3.1.3.3 Projectiezaal



Figuur 36 : snede projectiezaal

Door het grote volume van deze functie, passen we hier het **verdringingsysteem** toe. De trappenhelling dient als bouwkundig plenum en de lucht wordt via de trappen ingeblazen.



**Figuur 37 : verdringing via trappen**

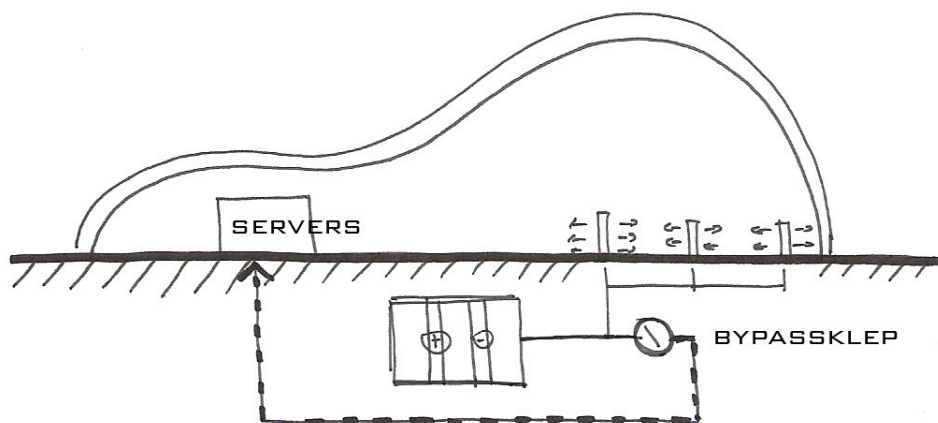
### 3.1.3.4 Servers

De serverlokalen hebben een strenge klimatisatie nodig en dienen dus apart te worden beschouwd. Het vochtgehalte en de temperatuur dienen constant te blijven.

Aangezien in de zomer een overvloed aan warm water van de zonnecollectoren aanwezig is en in de winter men kan rekenen op de bodemopslag, kiezen we er in deze instantie voor om een **absorptiekoelmachine** te installeren die de voorhanden warmte omzet in koude. Deze vraagt wel elektrische energie, maar omwille van de strengere eisen, is deze te verantwoorden. Er zou dan beroep gedaan worden op de 'groene zonnecelenergie'.

Als back-up van de absorptiekoelmachine zijn volgende oplossingen mogelijk:

- Ketel (geen optie ov gebruik van fossiele brandstof)
- Schakeling van alle debieten van de luchtverdringing door de servers in noodsituaties dmv een **bypass**-klep op de luchtgroep
- Extra of aparte installatie (elektrische klimaatkasten)



**Figuur 38 : bypass op de verdringing**

### 3.1.3.5 Bodemwarmte

We hebben bij de passieve stralingspanelen de optie om een warmtepomp te gebruiken reeds aangehaald. Deze zou via een **grondwarmtewisselaar** de natuurlijke warmte uit de bodem kunnen opwaarderen. Grondwarmte is onuitputtelijk maar heeft een te laag temperatuurniveau om verwarmingselementen rechtstreeks op aan te kunnen sluiten. De aardbodem slaat namelijk de door de zon ingestraalde warmte op en hierdoor heerst er al vanaf een geringe diepte een vrij constante temperatuur van 10 à 12°C. De temperatuur zal dus eerst verhoogd moeten worden, waardoor we wel comfortabel kunnen verwarmen met duurzame energie uit de omgeving. De **warmtepomp** is het ideale apparaat om die temperatuurverhoging tot stand te brengen.

Er zijn twee soorten bodemwarmtewisselaars te onderscheiden: horizontale en verticale bodemwarmtewisselaars. Welke er in het project zal toegepast worden, zal door verdere analyse bepaald worden in functie van de specifieke projecttoepassing.

### 3.1.4 Berekening

Ter bepaling van het vermogen van de uiteindelijk te installeren verwarmingssystemen, zal er in de loop van het engineeringproces van het project een **warmteverliesberekening** gedaan moeten worden. Voor deze berekening valt een erg belangrijke opmerking te maken. Voor het warmteverlies van de glazen schil dient rekening gehouden te worden met zowel de warmtedoorgangscoefficiënt van het toegepaste glas, als met de coëfficiënt van de bijhorende profielen! Deze vormen eveneens een koude brug, maar worden vaak vergeten of uit gemakzucht bewust verwaarloosd zo blijkt. Bij de latere berekening van het warmteverlies zal er dus een **opsplitsing** gemaakt moeten worden van de profielen met hun specifieke k-waarde en het glas met haar k-waarde.

### 3.1.5 TUSSENTIJDSE SYSTEEMSAMENVATTING

#### WINTER

##### UNITS

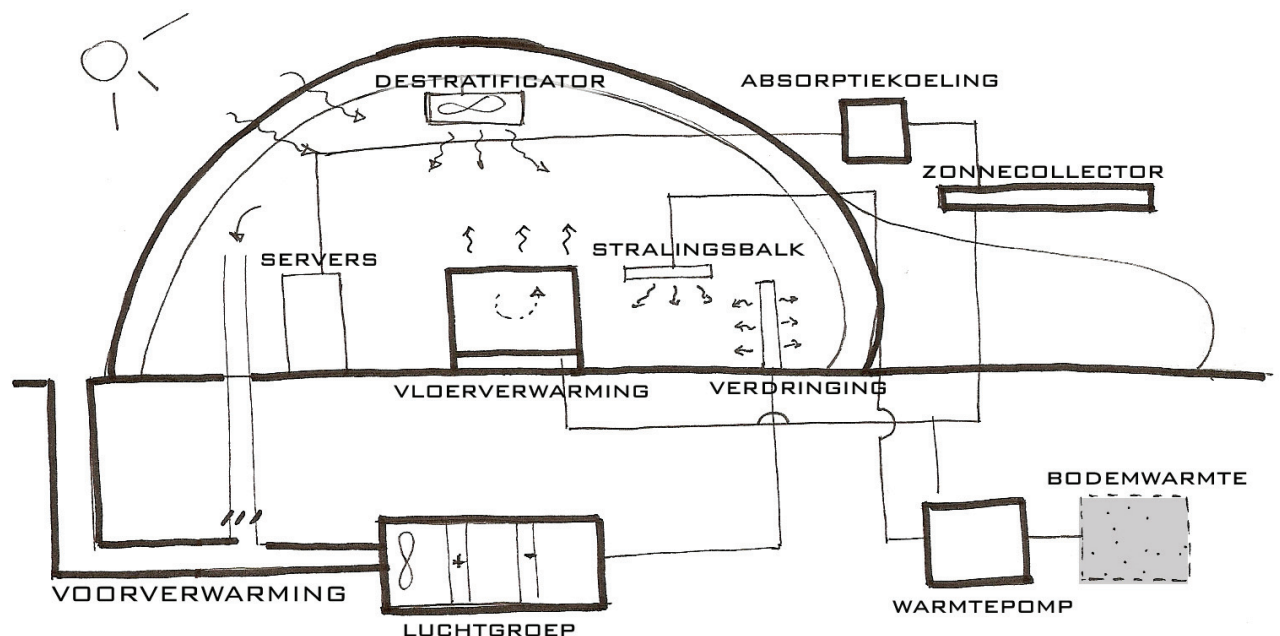
Vloerverwarming op het warm water van de zonnecollectoren  
Interne winsten

##### KOEPEL

Passieve stralingsbalken gevoed door bodemwarmte via warmtepomp  
Interne winsten komende van de verliezen van de units  
Destratificatoren  
Afzuiging van koepellucht en grondkanaal als voorverwarming luchtgroep  
Zonnewinsten door de semi-transparantie  
Verse lucht via de verdringingsventilatie

##### SERVERS

Absorptiekoeler adhv warm water van de zonnecollectoren



Figuur 39 : tussentijdse systemsamenvatting fase1\_winter

## ZOMER

### UNITS

Verdringingsventilatie

### KOEPEL

Verdringingsventilatie op luchtgroep met Canadese voorcoeling

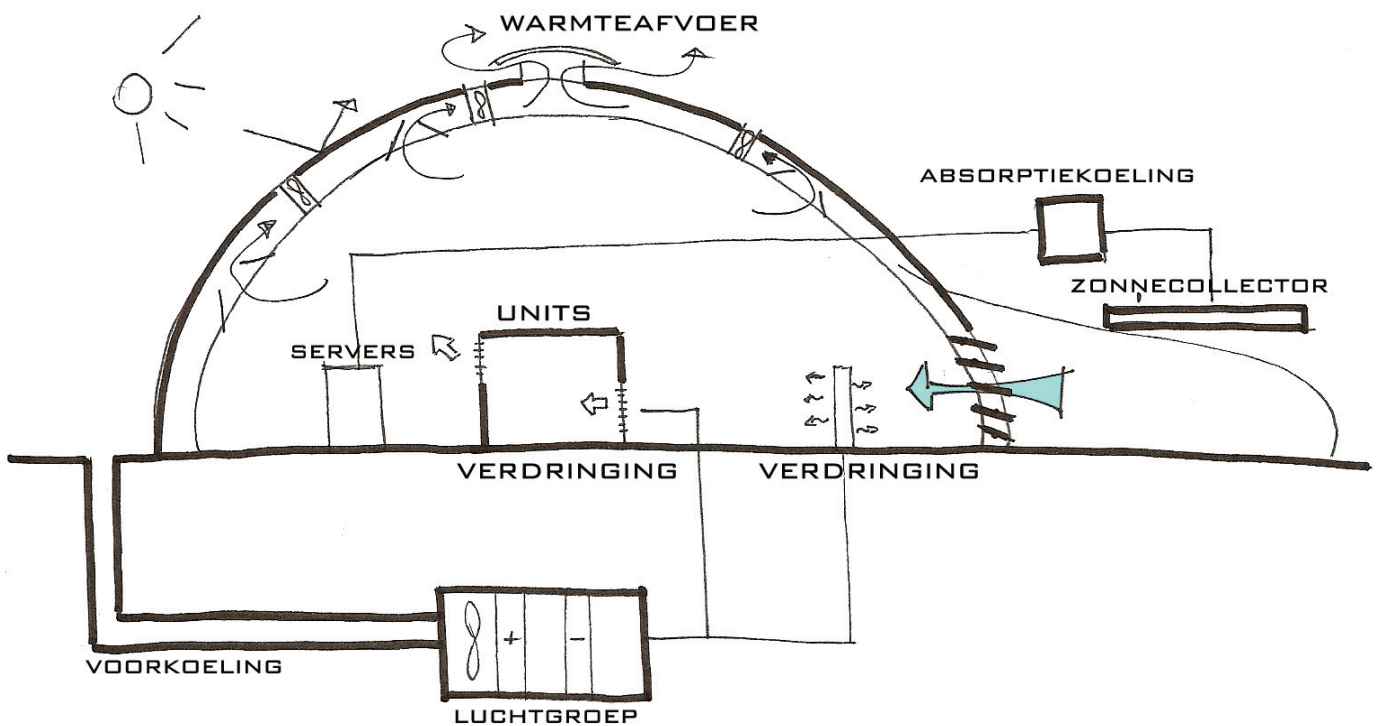
Axiaalventilatoren in ontdubbelde schil voor de warmteafvoer via het dak

Registerkleppensysteem in plaats van open atrium

Passieve *shading* door semi-transparante zonnepanelen

### SERVERS

Absorptiekoeler adhv warm water van de zonnecollectoren



**Figuur 40 : tussentijdse systemsamenvatting fase1\_zomer**

## 3.2 Fase 2

### 3.2.1 Ontwerp en constructie

#### 3.2.1.1 Oplossing van terrasfunctie

Daar deze functie een uitbreiding was en bijgevolg geen basisvereiste in het functionele programma van het project, wordt de functie van toegankelijk demoplatform veranderd. Conceptueel wordt zij vervangen door een groen dak met tropische lage begroeiing. Dit sluit aan bij het in de koepel verspreide groen en vormt door haar verheven volume een visueel groen eiland. Dit groen helpt de lucht passief te conditioneren.

### 3.2.2 Techniek

#### 3.2.2.1 Bodemopslag

##### 3.2.2.1.1 Keuze van het type grondwarmtewisselaar

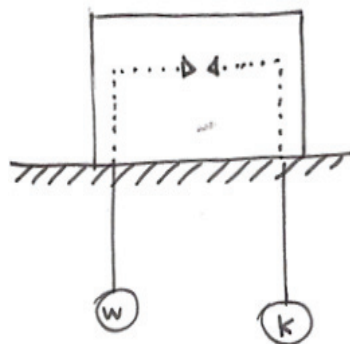
Aangezien door de energievraag de benodigde grondoppervlakte te groot wordt, kiezen we voor een **verticale** bodemwarmtewisselaar. Deze werkwijze vergt een goede analyse vooraf en een nauwe samenwerking met een grondboorbedrijf.

Gebruikelijk worden er in België bodemwarmtewisselaars toegepast tot 100 m diep. De juiste diepte, het aantal en de afstand tussen de bodemwarmtewisselaars worden bepaald door de bodemgesteldheid, de beschikbare ruimte en de uiteindelijke warmteontwikkeling.

Binnen de keuze van verticale bodemwarmtewisselaars, dienen we een keuze te maken tussen de volgende twee meest toepasbare **systemen**:

##### 3.2.2.1.1.1 Systeem 1

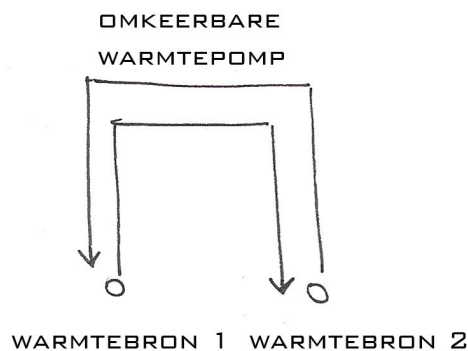
Het systeem met een dubbele warmtebron. Enerzijds een warmtebron, waaruit in de winter geput wordt. Anderzijds een koudebron, die in de zomer dienst doet. Dit systeem vereist een goede bodemsamenstelling met goede warmtecapaciteit.



Figuur 41 : warme en koude warmtebron

### Opmerking: verzanding

De keuze van het type verticale grondboring zal in functie van de opslag van het overschot aan warmte van de zonnecollectoren in de **bodem** gebeuren. Hiervoor is het



**Figuur 42 : omkeerbare warmtepomp**

type van de **omkeerwarmtepomp** (principe systeem 1) de simpelste oplossing. Er wordt geput uit twee warmtebronnen, namelijk één voor de warmte en één voor de koude. Als er in de zomer uit de koudebron geput wordt, kan de overtollige warmte van de zonnecollectoren in de warme bron worden opgeslagen. Voor dit omkeerprincipe is echter een goede ondergrond nodig. Door de wisseling van warmte en koude rondom de grondwisselaars zou er immers het probleem van **verzanding** kunnen optreden, hetgeen de gunstige werking van de grond aantast, evenals zijn stevigheid, waardoor verzakking het gevaar wordt. De grondgegevens zijn afhankelijk van het geologisch onderzoek.

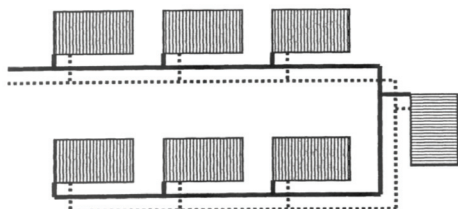
#### 3.2.2.1.1.2 Systeem2

Een netwerk van boringen met hierin een buizennetwerk van warmtewisselaars. Zodanig kan in geval van een minder perfecte bodemgesteldheid toch voldoende warmte/koelte uitgewisseld worden. Op deze grondwarmtewisselaars zou voor de verwarming een warmtepomp gekoppeld worden en voor de koeling een warmtewisselaar. De verticale warmtewisselaars staan in een **Tichelmann-schakeling**<sup>3</sup>.

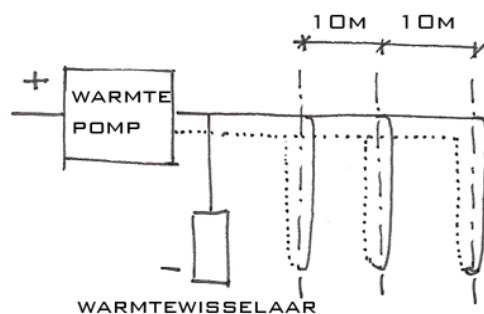
---

<sup>3</sup> **Tichelmann-schakeling:** Tweepijpsschakeling. Dit betekent dat twee netwerken worden uitgebouwd, de ene voor de aanvoer en de andere voor de retour met de verwarmingselementen tussen beide geschakeld. In die zin staat tweepijps voor "parallel". Hydraulisch evenwicht wordt bekomen door de evenwijdige aanvoer en retour zo aan te sluiten dat het eerste element op de vertrekleiding als laatste op de retour zit, etc.

De voordelen hiervan zijn dat alle warmtewisselaars een zelfde temperatuur afgeven en dat grote debieten beperkt blijven. Als nadeel geldt de vrij dure leidingaanleg (dubbele lengte).



Figuur 43 : Tichelman schakeling \*



Figuur 44 : Tichelman grondboring

[\* Bron Figuur 45: De Buyst D., Prof. Dr. ir., *Technische installaties in gebouwen, rev. 1.9.2. ed 2006-2007*, Associatie Universiteit Hogescholen Limburg departement architectuur, 2006]

### 3.2.2.1.1.3 Geologische analyse

Vooraleer een keuze te maken welk systeem van grondwarmte we zullen toepassen, dienen we ons eerst even toe te spitsen op de **geologische kenmerken** van onze site.

Via de Lambertcoördinaten van onze site in Antwerpen aan de Berchembrug, hebben we via de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV), opgezocht of er gegevens voorhanden zijn over de desbetreffende site in Antwerpen. Er waren inderdaad reeds verschillende boringen en sonderingen uitgevoerd op de desbetreffende site.



Figuur 45 : aanduiding van sondering en boring voor de C4A-site\_DOV



In bijlage 3: 'Grondanalyse', is het gedetailleerd verslag van de diepste boring en sondering opgenomen. De gegevens gaan echter maar tot een diepte van 20m. Hier kan als conclusie getrokken worden dat het voornamelijk over **zandhoudende grond** gaat en dat dit niet de beste grond is om een omkeerwarmtepomp te installeren. We weten echter niet welke de volgende grondlagen zullen zijn, maar we rekenen op het **worst case** scenario.

Uitgaande van een slechte grondkwaliteit kiezen we voor het systeem van de verticale netwerkgrondboring zoals hierboven geschetst is (systeem 2). De wisselingen van warmte en koude in de grond zijn hier immers niet zo groot, waarbij verzanding geen gevaar vormt.

### **3.2.2.1.2 Probleemstelling rond bodemopslag**

De warmteopslag in de grond komende van de zonnecollectoren kan echter een hekel punt worden. In de zomer zou men warmte moeten stockeren in de grond die men in de winter terug zou kunnen aanspreken, waardoor de grond opwarmt, terwijl er tegelijkertijd ook koude uit de grond als koeling nodig is. Deze twee toepassingen spreken elkaar tegen en zijn niet met elkaar verenigbaar. Daarom wordt volgend **voorstel** gedaan, waarbij er sprake is van **twee verschillende netwerken** van grondboringen: één voor de koeling in de zomer, gekoppeld op een warmtewisselaar en één voor de opslag van de warmte voor in de winter.

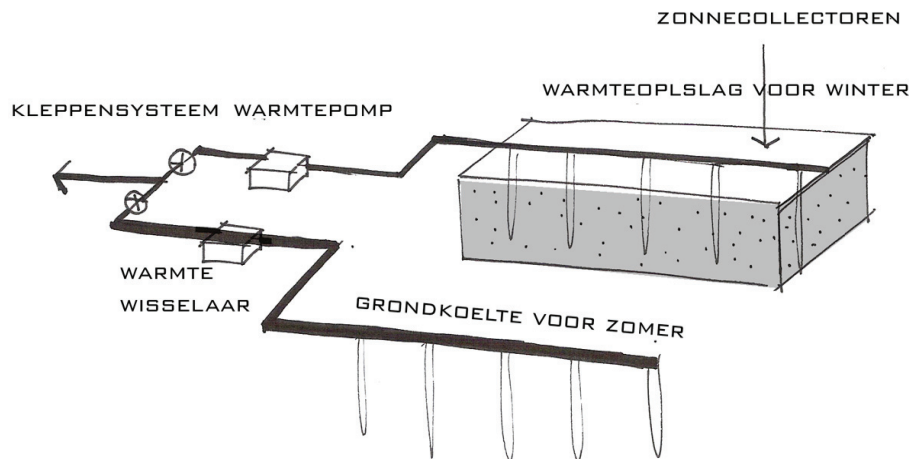
#### **3.2.2.1.2.1 Ontwerpvoorstel: dubbel netwerk**

Zomer: Koude van de grond via wisselaar  
Opslag van warmte komende van de zonnecollectoren  
Winter: Teren op de in de zomer opgeslagen warmte

Er zal in de **zomer** immers een overproductie van warmte zijn. Deze overtollige warmte wordt **gecapteerd** in de hiervoor voorziene bodemsectie en de seizoensgebonden thermische opslag wordt aldus gevuld. In de **winter** kan hieruit geput worden om de mindere productie van warm water bij te springen en zal aldus de thermische opslag via een warmtepomp worden **geledigd**.

Tegelijkertijd is er ook nood aan **grondkoelte**. Deze wordt via een warmtewisselaar uit de tweede aparte bodemsectie gehaald via de hierin voorziene grondwarmtewisselaars.

Dit voorstel verenigt twee technieken van geothermie en zou indien het haalbaar geacht wordt, een mooie –echter wel dure- oplossing zijn.



**Figuur 46 : ontwerpschets dubbel netwerk**

Indien dit de oplossing zou vormen, is er ook meer vermogen uit de **warmtepomp** voorhanden in de winter, zodat deze onder andere gebruikt kan worden voor:

- De bijverwarming van het water van de zonnecollectoren
- De bijverwarming van de verdringingsventilatie op kamertemperatuur (15°C) zodat de warmte niet te snel stijgt.

Er dient echter wel nog te worden nagegaan of dit voorstel realistisch en vooral uitvoerbaar is.

### **3.2.2.2 Warmtepomp**

Bij het gebruik van een warmtepomp moet worden vermeld dat het niet gaat om een kostenloze zaak. Een **warmtepomp** waardeert de warmte op, maar heeft hiervoor ook energie nodig. De input elektrische energie bedraagt verhoudingsgewijs 1 met een outputfactor 3 à 4. Als we in ons geval weten dat die geïnvesteerde elektrische energie wél gratis uit de zon gewonnen wordt, is de wisselwerking tussen zonne-energie en de warmtepomp een mooie symbiose. Elektriciteit wordt bij wijze van spreken warm water.

Milieutechniek en grondonderzoek is echter belangrijk in functie van de nodige boringen, aangezien elke soort grond zijn specifieke warmtevermogen heeft. Ook het eventueel voorkomen van waterlagen in de grond is positief voor het systeemvermogen. In praktijk moet er dus een voorafgaand bodemonderzoek gebeuren.

Bij de keuze voor de warmtewisselaar geniet een **plaatwarmtewisselaar** de voorkeur. De platen zijn immers vervangbaar bij aantasting door kalk uit het gebruikte kraanwater. Kalk

tast eveneens de koperen buizen aan. In geval van grote hoeveelheden kalk in het kraanwater, kan de plaatsing van een ontkalker ook een optie zijn.

### 3.2.3 Verwarming en koeling

#### 3.2.3.1 Koepel

Zoals in de vorige brainstorm al werd gesuggereerd, gaan we het **verdringingsysteem** enkel gebruiken om in hoofdzaak te **koelen**. In geval van verwarmen zou er teveel energie in de lucht gestoken moeten worden om de warmte ver genoeg rond de inblaasarmaturen voelbaar te maken.

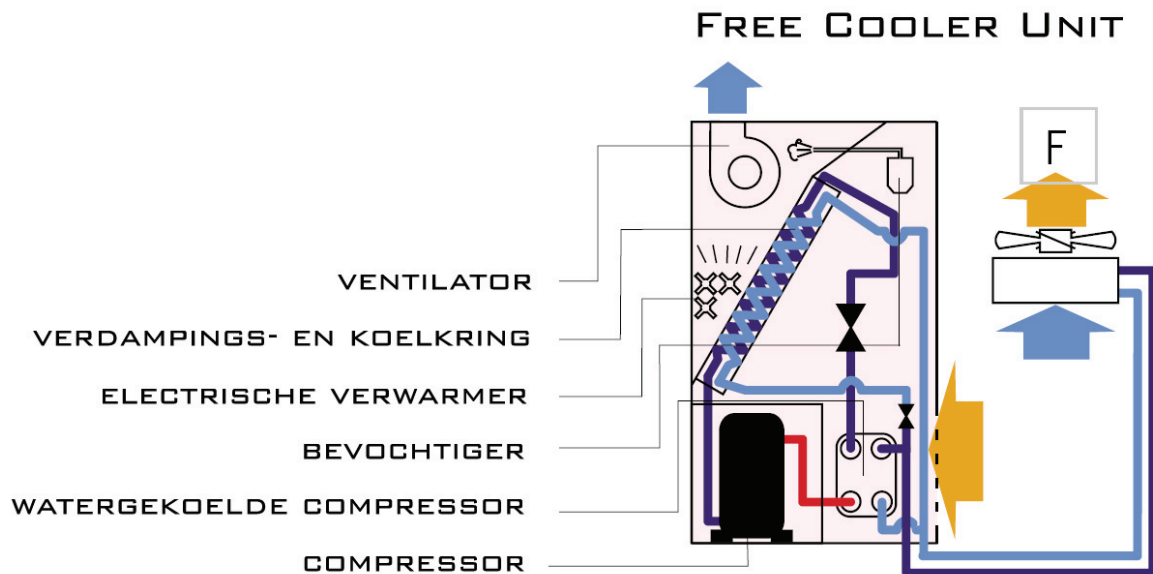
Het streefdoel is door de **verdringingskoeling** een gevoelstemperatuur van maximum 24°C in de zomer (21°C inblazen) te bekomen. Deze temperatuur is comfortabel en haalbaar. Bij lagere koeltemperaturen zou er ook teveel energie in de lucht gestoken moeten worden. In de **winter** zorgt de verdringing voor de aanvoer van **verse lucht** in de koepel. Deze verse lucht staat echter niet op de koude buitenlucht, maar wordt passief voorverwarmd tot een relatief lage temperatuur aan de hand van **warmterecuperatie** en menging met de zonelucht via een **afzuigkanaal** in de koepel. Dit kanaal vult de voorverwarming door het Canadees **grondkanaal** aan. Zodanig worden de ventilatieverliezen beperkt. Door deze slechts lichte opwarming stijgt de ingeblazen lucht ook niet te snel. Het is zoals gezegd echter niet de bedoeling via verdringing de koepel te verwarmen, maar enkel om het verschil tussen inblaas- en ruimtetemperatuur niet te groot te maken, waardoor de stralingsbalken in de winter een beperkter vermogen moeten leveren.

#### 3.2.3.2 Servers

In een eerste versie voorzagen we de serverlokalen van een absorptiekoelmachine. De eisen voor de omgevingslucht in serverlokalen blijken echter enorm streng. In combinatie met de slechte verhouding kostenbaten en het mogelijke gebrek aan warm water in de winter ter voeding van de voorziene absorptiemachine, verwerpen we dit systeem en maken bijgevolg een **uitzondering** op het concept van rationeel energiegebruik. We kiezen voor bedrijfszekerheid. De renderfarm vormt immers het drijvende hart van het bouwcentrum.

Om de serverlokalen te conditioneren, dwz koelen, verwarmen, bevochtigen en drogen, zullen we nu gebruik maken van het **DX Free Cooling systeem**.

Het betreft een klassieke klimaatskast met directe expansie (DX) en een *free-cooling* module, geïmplementeerd door **Carrier**. *Free-cooling* units maken gebruik van een watergekoelde **condensator** die buiten opgesteld staat.

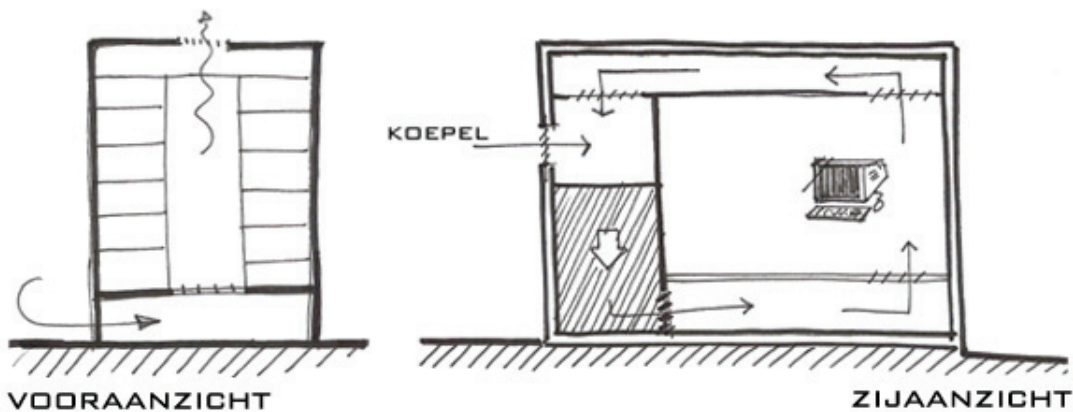


**Figuur 47 : klimaatkast met externe condensor\_Hiross**

Het principe bestaat erin om de **koude buitenlucht** te gebruiken om water te koelen met een minimum aan energieverbruik. De innovatie bestaat erin dat gebruik wordt gemaakt van de **natuurlijke migratie** van koelmiddel van de warmtewisselaar met de hoogste temperatuur (verdampers), naar de warmtewisselaar met de laagste (condensator).

Dit systeem is **zuiniger dan de traditionele hydraulische oplossingen**, omdat men ijswater kan produceren zonder de compressoren te laten draaien, en dit van zodra de buitentemperatuur lager is dan 5°C. In dat geval wordt het koelcircuit alleen aangedreven door de ventilatoren en een minipomp. Er wordt warmte via de verdampers aan het retourijswater onttrokken om via de condensator hetzij naar de omgeving te worden gedumpt, hetzij voor voorverwarming van ventilatielucht, te worden aangewend. Door gebruik te maken van de natuurlijke migratie met directe ontspanning, hoeft men geen extra hydraulische groepen in te schakelen, wat resulteert in een lager energieverbruik. Met deze relatief zuinige en ecologische methode kan men de computerruimtes het hele jaar door koelen.

Het **luchtstroompatroon** wordt weergegeven in onderstaande figuur. Er wordt langs boven afgezogen. De luchtaanvoer gebeurt langs onder door roosters in een verhoogde vloer. De verhoging vervult een dubbele functie: zowel als luchttoevoerkanaal als behuizing voor de technische voorzieningen zoals kanalen en kabels. Het plenum kan voorzien worden van een geluidsdemper of fijnfilter.



**Figuur 48 : luchtstroompatronen in serverlokaal**

### 3.2.4 Berekening

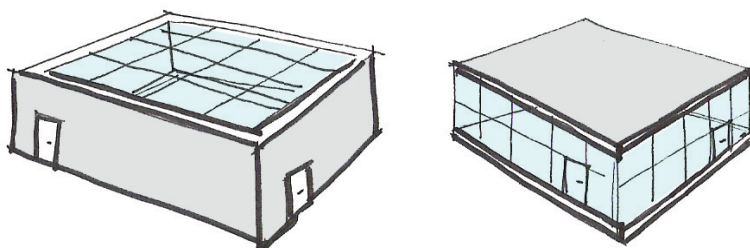
#### 3.2.4.1 Eerste warmteverliesberekening

Zoals reeds is vermeld, zal er een **warmteverliesberekening** dienen te gebeuren om in een latere fase de te installeren koel- en verwarmingsvermogens te kunnen bepalen.

Deze berekening zal gebeuren via een door calculator Wilfried Bleus ontwikkeld rekensheet in Excel. Hiervoor heeft hij zich gebaseerd op de normen **NBN 62\_002** 'Berekening van warmtedoorgangscoefficienten van wanden van gebouwen' en **NBN 62\_003** 'Berekening van de warmteverliezen van gebouwen'. In dit rekensheet zullen een aantal parameters van het project moeten worden ingegeven:

Allereerst de specifieke **opbouw** van de gebruikte gebouwonderdelen, zoals de wanden, deuren, vensters, vloer op volle grond, etc. Daarna wordt de **geometrie** van elke gebruikte ruimte ingegeven, samen met een aantal **klimatologische parameters**, zoals onder andere de binnen-, buiten- en pulsietemperatuur, maar ook de temperatuur van de naastgelegen ruimte.

Een **eerste warmteverliesberekening** wordt gedaan met als doelstelling kennis te maken met het programma. De eerst te lichte opbouw van de units wordt aangepast naar twee basistypes. Bij het ene zijn alle **wanden dicht** en bestaat het **plafond uit glas**. Vice versa voor het andere type.



**Figuur 49 : ontwerp twee nieuwe types units**

De opbouw van de wanden bestaat uit een massieve **cellenbetonblok**. Zo krijgen we een eerste idee van het totale warmteverlies, leren we werken met de excelsheet, de invoermogelijkheden en de aan te passen parameters. In bijlage 4: 'Warmteverlies units01' is een kort overzicht gegeven van deze berekening, de ingevoerde parameters en een voorbeeld van een ingegeven ruimte. Er wordt in eerste instantie gerekend met een buitentemperatuur van  $-10^{\circ}\text{C}$ , een aangrenstemperatuur voor de units van  $15^{\circ}\text{C}$  en een pulsie van  $22^{\circ}\text{C}$  om een binnentemperatuur van  $21^{\circ}\text{C}$  te bekomen. Door deze  $1^{\circ}\text{C}$  hogere pulsie steken we op voorhand meer energie in de lucht en beperken alzo de transmissieverliezen.

Hierbij zetten we ook de units op overdruk door een ventilatievoud van  $1,3u^{-1}$  ipv de normale  $1 u^{-1}$  toe te kennen. Zo worden kieren en spleten geëlimineerd. Uiteindelijk bekomen we een totaal warmteverlies van  $63,56\text{kW}$ . Ook de warmteverliesberekening voor de **koepel** op zich is gemaakt en weergegeven in bijlage 5: 'Warmteverlies schil01'. Hier bedraagt het verlies  $213,65\text{kW}$ .

### **3.2.4.2 Conclusie**

Het type units met het glazen plafond mag in het ontwerp slechts **sporadisch** voorkomen. Door het open plafond zal er teveel gevaar voor zonne-instraling in de zomer bestaan. Het warmteverlies in de winter wordt eveneens veel te hoog. Er is te weinig massa aanwezig om de opstijgende warmte tegen te houden of te capteren. Vandaar dat het warmteverlies zo hoog is. Een verdere **aanpassing** van de constructieve opbouw van de units is een must. Er moet nog veel meer de nadruk gelegd worden op de **massa** en de **geslotenheid** van het plafond. Deze eerste aanpassing was nog te zwak. Het ontwerp van de units dient grondig te worden herzien in een volgende fase.

### 3.2.5 TUSSENTIJDSE SYSTEEMSAMENVATTING

#### WINTER

##### UNITS

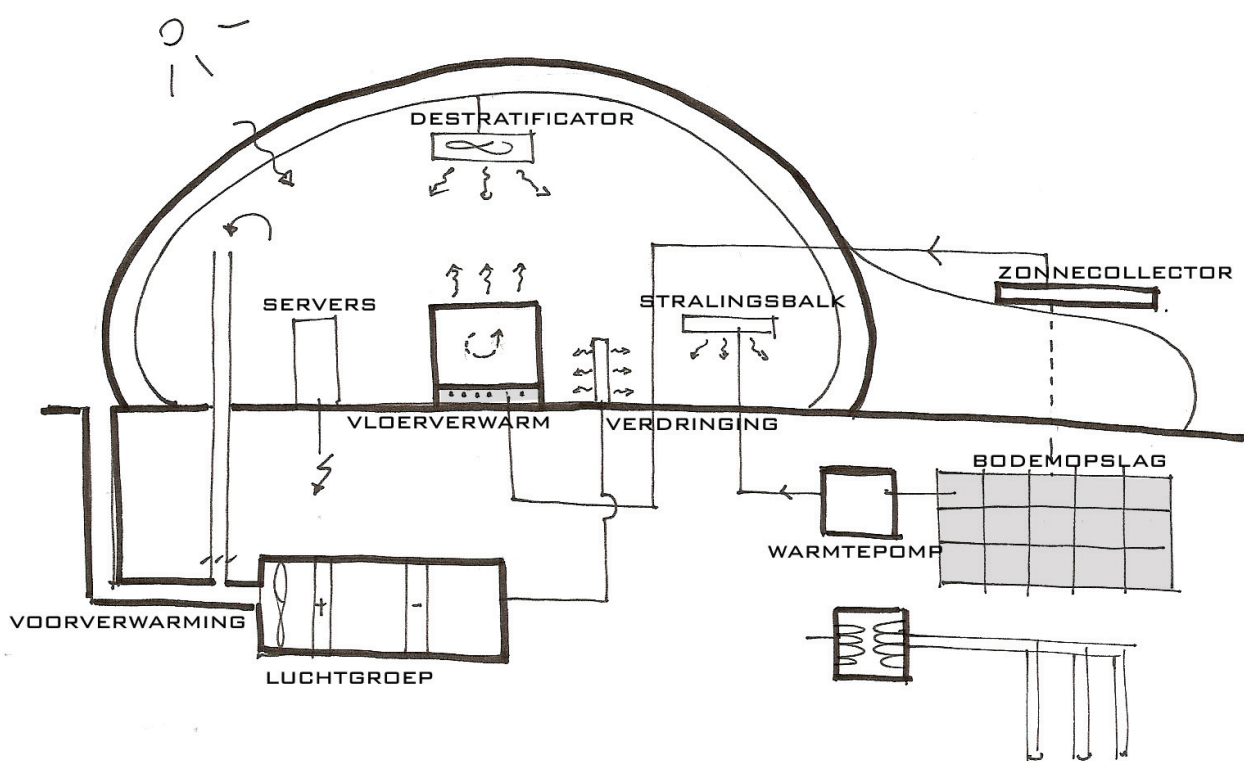
Vloerverwarming op het warme water van de zonnecollectoren  
Interne winsten

##### KOEPEL

Passieve stralingsbalken gevoed door warmtepomp op de seizoensopslag  
Destratificatoren  
Afzuiging van koepellucht en grondkanaal voorverwarming luchtgroep  
Verse lucht via de verdringingsventilatie  
Interne winsten komende van de verliezen van de units  
Zonnewinsten door de semi-transparantie

##### SERVERS

Klimaatkast *Precision Free-Cooling*



Figuur 50 : tussentijdse systeemsamenvatting fase2\_winter

## ZOMER

### UNITS

Verdringingsventilatie

### KOEPEL

Verdringingsventilatie op luchtgroep met Canadese voorcoeling

Koelbatterij luchtgroep op warmtewisselaar op grondboring

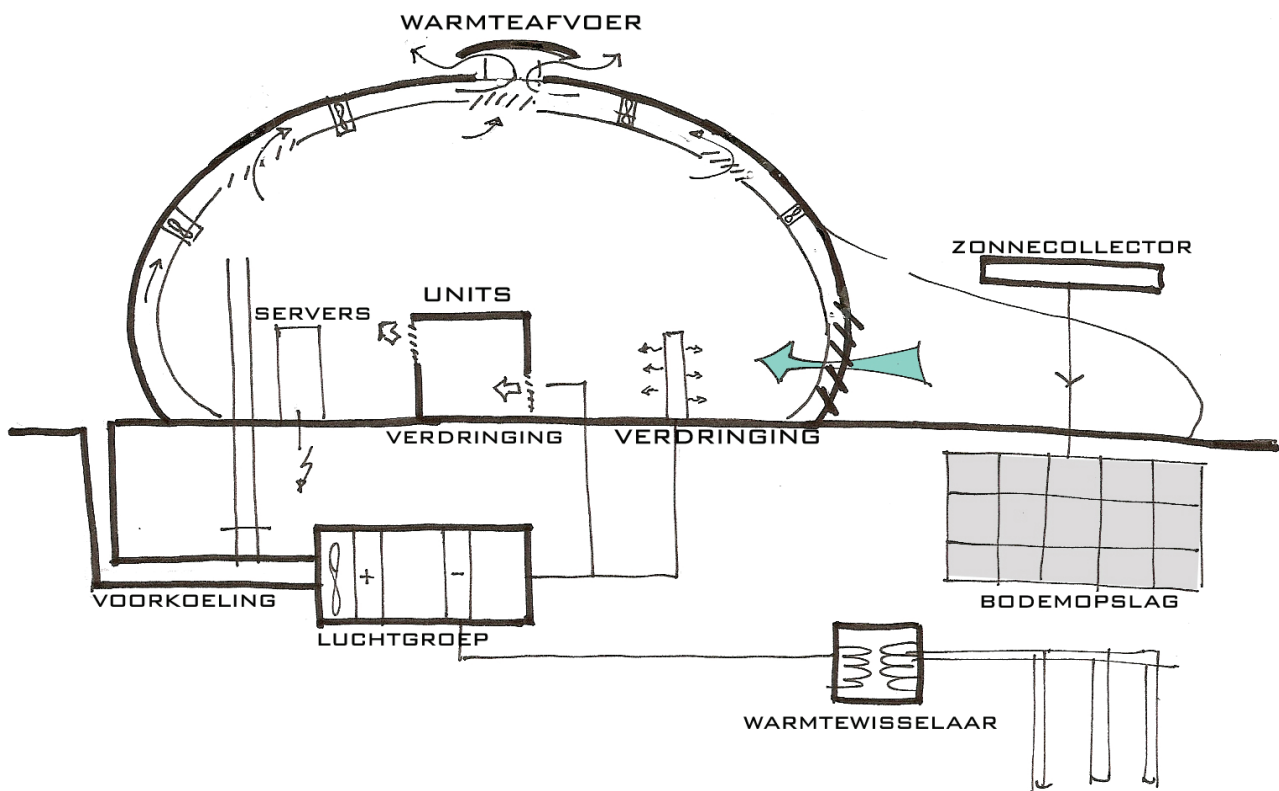
Axiaalventilatoren in ontdubbelde schil voor de warmteafvoer via het dak

Registerkleppensysteem in plaats van open atrium

Passieve *shading* door semi-transparante zonnepanelen

### SERVERS

Klimaatkast *Precision Free-Cooling*



Figuur 51 : tussentijdse systemsamenvatting fase2\_zomer



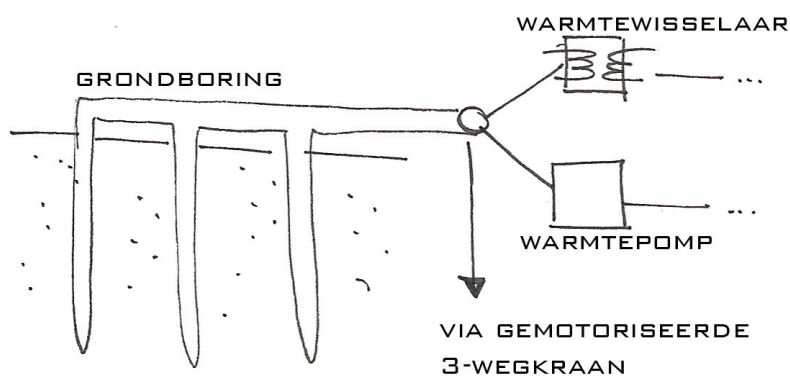
### 3.3 Fase 3

#### 3.3.1 Revisie ontwerp

##### 3.3.1.1 Aanpassing ontwerp grondboring

Het vorige voorstel omtrent de opsplitsing van de grondboring in twee gescheiden stelsel van grondboringen met de bedoeling zowel grondopslag van overtollige warmte in de zomer te integreren als een koeltebron is na overleg geen passende oplossing gebleken.

Aangezien de **complexiteit** van de grondboringsinstallatie en de hierbij horende constructieve problemen, beperken we ons tot een **enkel netwerk** van grondwarmtewisselaars, dat via gemotoriseerde **driewegskranen** gekoppeld staat op enerzijds een warmtewisselaar en anderzijds een warmtepomp.



Figuur 52 : enkel netwerk met wisselaar en warmtepomp via driewegkraan

Bij de **warmtewisselaar** wordt het koude water gebruikt voor de koelbatterij van de verdringingsluchtgroep. Bij de **warmtepomp** gebeurt er een opwaardering van het warme water in de grondwisselaar. Hiertoe zal er echter eerst een elektrische input voorzien moeten worden. Deze wordt wel met een factor 4 teruggewonnen. Doordat de energie-input afkomstig is van de groene energie van de zonnecellen, blijft de elektriciteitsrekening op nul uitdraaien. Het opgewaardeerde warme water zal de voeding vormen voor de vloerverwarming in de units.

De mogelijkheid tot **bodemopslag** wordt hierbij definitief **geschrap**. Dit is een belangrijke **conclusie** vermits het systeem van bodemopslag al van in het begin van het architectuurproject voorzien was. Door de grootte van het project zou het volume warmteopslag zodanig kolossaal worden zodat het project z'n realisme zou verliezen. Hieruit blijkt nog maar eens dat ontwerp en realiteit soms erg uit elkaar gelegen zijn.

Bijgevolg zullen de **stralingspanelen** van de koepel rechtstreeks gevoed worden door de

**zonnecollectoren.** Het is echter nog de vraag of zij het nodige vermogen kunnen leveren. Dat zal pas na een latere vermogensberekening duidelijk worden.

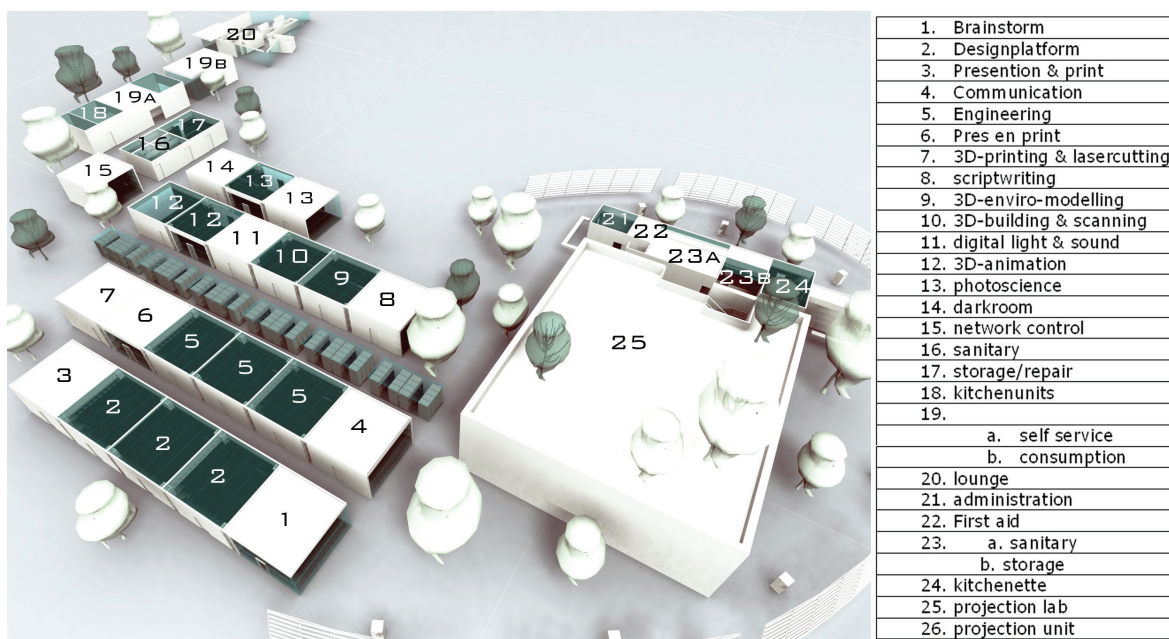
### 3.3.1.2 Revisie architectuurontwerp

Naar warmteverliesbeperking toe, is er een dringende nood aan een **revisie** van het **globale ontwerp** van de units.

De twee in vorige instantie ontworpen basisvormen voor de units waren ondanks een zwaardere structuur nog steeds **te ijl** om klimatologisch deftig te kunnen conditioneren. En dit omwille van volgende redenen:

- Er is **meer massa** vereist voor de warmteopslag in de constructie.
- Het gevaar voor **oververhitting** door directe zonne-instraling door de open plafonds is te groot.

Onderstaande rendering geeft een overzicht van de aan te passen units, samen met een lijst van de bijhorend functies.

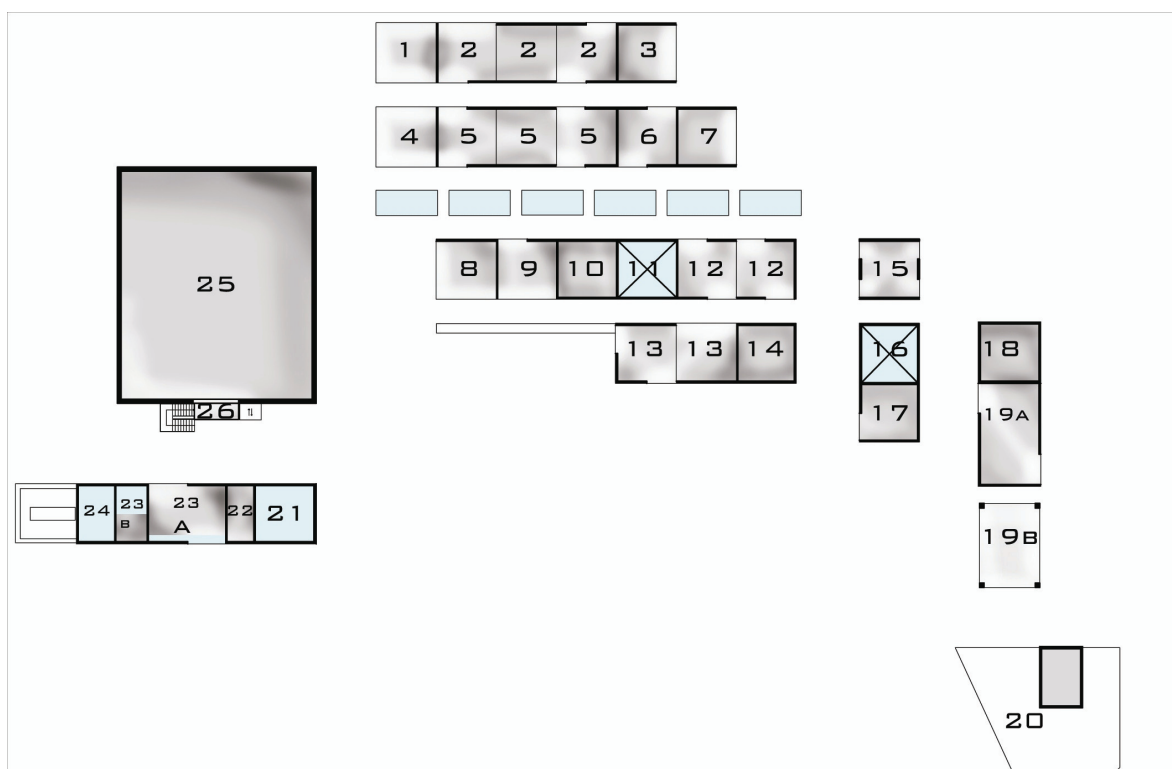


**Figuur 53 : overzicht van de verschillende units met hun functie**

In het project moet een **conceptuele wijziging** worden doorgevoerd. De volledig met glas opengewerkte plafonds of wanden zullen grotendeels dichtgewerkt moeten worden en

vervangen door doordacht geplaatste glasvlakken. Dit wil echter niet zeggen dat de units volledig dichtgebunkerd moeten worden en het architecturale uitzicht esthetisch moet inboeten. Aangezien een gesloten plafond drastisch de lichtinval afblokt, zullen de wanden op doordachte regelmatigere plaatsen geopend worden.

Op het bijgevoegde gereviseerde grondplan van deze units, wordt weergegeven waar de nieuwe openingen in de wanden zich bevinden. De nummering komt nog overeen met degene in bovenstaande tabel.



**Figuur 54 : revisie ontwerp in grondplan.**

Waar het vooreerst de bedoeling was het koepelgevoel maximaal vanuit de units te ervaren, zal er nu gewerkt worden op het **contrast horizontaal-verticaal**. Vanuit de design-units (1 tem 20; zie figuur 57) heeft men een sterk horizontaal zicht door de koepel en is bijgevolg het contact met de andere samenwerkende units groter. Eens men zich in de wandelgangen begeeft, krijgt men een sterk vertikaal gevoel met openheid naar buiten, hetgeen een 'verluchtend' gevoel geeft.

Aangezien de openheid van het **administratief blok** (21 tem 24; zie grondplan) en de aldus minder strenge conditionering, mag het open karakter van het plafond blijven. De lichtheid van de constructie benadrukt ook het onthaltende karakter van de functie, in

contrast met de sterker gesloten design-units.

### 3.3.1.3 Revisie detailopbouw

Nu het globale ontwerp van de units is herzien, dient ook de detailopbouw van de constructie te worden aangepast. In onderstaande opbouwdetails wordt telkens de nieuwe definitieve opbouw duidelijk.

#### 3.3.1.3.1 Opbouw unit wand:

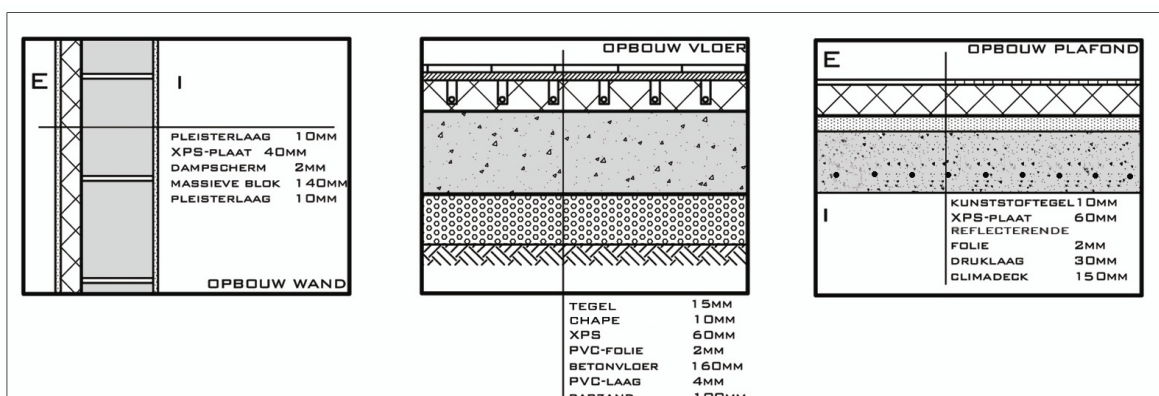
Een eerste aanpassing voor de **wanden** werd gedaan met volle Ytongblokken van 14cm. Deze hebben echter een nog te beperkte massa. Er wordt overgegaan naar zware betonblokken van 14cm die veel meer warmte kunnen capteren.

#### 3.3.1.3.2 Opbouw unit plafond:

Ook de opbouw van het plafond dient te worden verzaamd om in de winter de stijgende warmte in de ruimtes tegen te houden en te capteren. In de zomer vormt deze zwaardere massa eveneens een bouwkundige weerstand tegen de hitte.

#### 3.3.1.3.3 Opbouw unit vloer:

Tot nu toe werd er gekozen voor een systeem van vloerverwarming. Als vloerafwerking werd in het basisontwerp de conceptuele keuze van **parket** in de units gemaakt, in contrast met de gepolierde beton in de koepel en refererend naar de intern geplaatste bomen. Zodanig wordt het binnen-buiten gevoel versterkt, aanvullend op horizontale-verticale effect (zie aanpassing beglazing). Vermits een houten vloer echter te isolerend werkt, wordt deze optie in vraag gesteld. Als beslissing wordt het concept van de houten vloerafwerking vervangen door een warmbruine keramische **tegels**.



Figuur 55 : opbouwdetails van resp. wand, vloer en plafond van de units

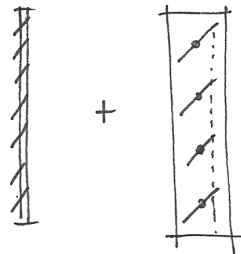
#### 3.3.1.3.4 Algemene conclusie

Met dit nieuwe op punt gestelde ontwerp van de units kan in een latere berekeningsfase een nieuwe exactere warmteverliesberekening gedaan worden.

### 3.3.2 Ventilatie

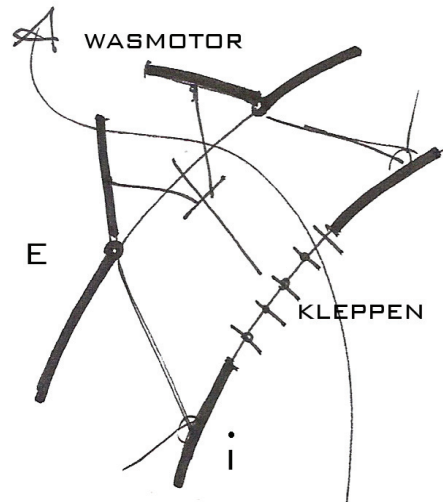
#### 3.3.2.1 Koepel

In verband met de **natuurlijke ventilatie** van de **koepel**, is er reeds voorgesteld een buitenrooster en achtergeplaatste registerkleppen in de koepel te voorzien als ventilatie. Deze zouden motorisch aangedreven worden.



**Figuur 56 : buitenrooster met registerklep**

Deze optie wordt door de uitgestrektheid van het gebouw, evenals de esthetisch gezien slechte integratie afgeblazen. Het systeem zal zich – zoals in het begin reeds conceptmatig in het project was geïntegreerd (zie *Deel 2; 2.4 Natuurlijke ventilatie*) - baseren op de opening van de buitenschil aan de hand van 'poriën'. Aangezien de dubbele uitvoering van de glazen schil, zal bij het openen van een 'porie' tegelijkertijd een geïntegreerd glazen **jalousiesysteem** zich mechanisch openen. De poriën werken op het principe van wasmotoren, hetgeen vaak in de serrebouw wordt toegepast. Ze worden gestuurd door een temperatuur en windregelaar om schade te voorkomen.



Figuur 57 : 'porie' met kleppensysteem in dubbele schil

### 3.3.2.2 Units

De units moeten ook worden geventileerd. We voorzien hiervoor geen energieverkwistende luchtgroepen of afzuigingen, maar simpelweg in de glazen wanden van de units geïntegreerde horizontale glazen lamellen. Deze kunnen handmatig geopend of gesloten worden. De koepellucht wordt immers constant ofwel natuurlijk ofwel door de verdringingsventilatie ververst.

### 3.3.3 Verwarming en koeling

#### 3.3.3.1 Verwarming van de koepel

Tot nu toe is de voorverwarming van de ventilatielucht altijd gebeurd door enerzijds het grondkanaal dat constant op 12°C staat en anderzijds door de warmterecuperatie van de koepellucht. Deze zal niet voldoende blijken, zodat we de **warmtebatterij** van de luchtgroep voeden met warm water komende van de **warmtepomp** op de grondboring.

#### 3.3.3.2 Koeling van de units

Tot nu toe zijn we er van uit gegaan dat in de units passieve koelbalken voorzien zijn aan het plafond, aangevuld met vloerkoeling. We gaan bij deze op zoek naar een meer **geïntegreerde oplossing**, in combinatie met het feit dat de bouwkundige structuur van de units zwaarder en meer gesloten wordt. We zullen hierna dieper in op de mogelijke systemen om daarna op basis van een korte analyse een definitief koelsysteem voor de units te kiezen.

We sommen hierbij even de voor ons passende **mogelijkheden** op. Onderstaande voor- en nadelen zijn niet-limitatief. Het gaat enkel om de belangrijke punten.

- **passieve stralingspanelen** gevoed met 15°C watertemperatuur.

Voorbeelden: Nike in Geel ; sporthal Houthalen ; refter KHLim.

Voordeel: Passief

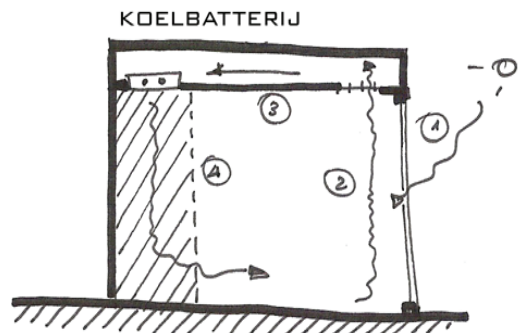
Stofvrij

Integratie van verlichting en brandinstallatie mogelijk

Alle lengte mogelijk; breedte 30 of 60cm.

Nadeel: Verlaagd plafond nodig

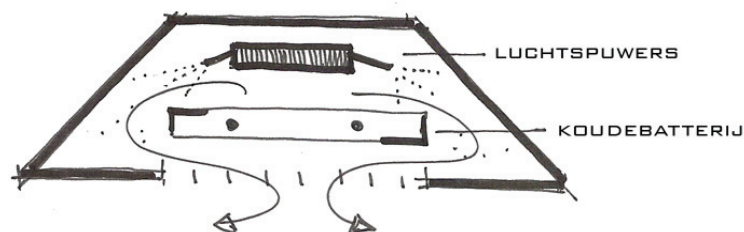
Onbruikbare zone omwille van koude zone



Figuur 58 : luchtstroom en koude zone bij passieve balken

- **Actieve koelbalken**

Nadeel: Extra energie nodig!

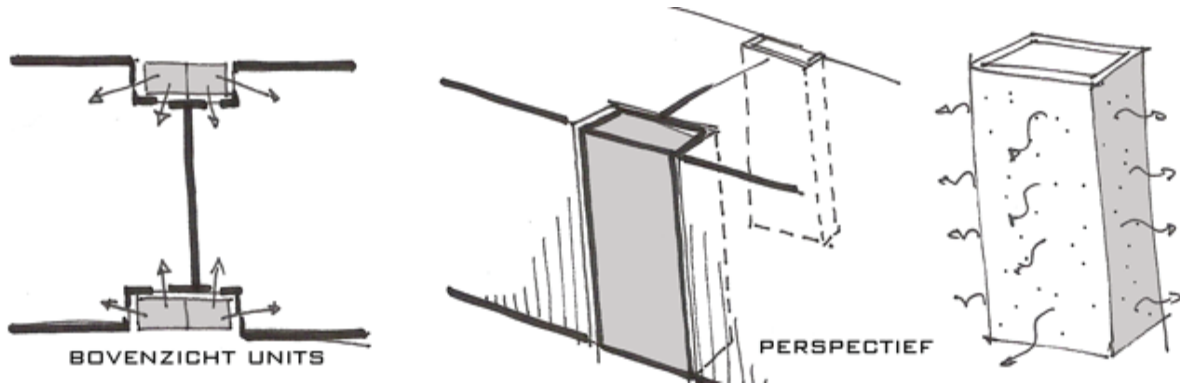


Figuur 59 : snede actieve koelbalk

- **Verdringingsventilatie** met koele 15°C lucht, via inblaasroosters

Nadeel: Extra luchtkanalen + integratie + afzuiging

Stof- en luchtcirculatie (slecht voor PC's)



**Figuur 60 : verdringing in de wanden van de units geïntegreerd**

- **Betonkernactivering:**

Voordeel: Prefab geïntegreerd = snel bouwproces

Optimale nachtelijke koeling

Geen hinderlijke geluiden van installaties

Passief: CO<sub>2</sub>-uitstoot daalt

Hoge buffercapaciteit spreidt vermogens over 24 uur

Geen stof- en luchtcirculatie

Nadeel: Massa nodig + plafond dicht

### 3.3.3.2.1 Conclusie

We kiezen definitief voor **betonkernactivering als koeling** voor de units. Het feit dat de ventilatievoorzieningen kleiner gedimensioneerd kunnen worden en dat er nauwelijks onderhoudskosten aan het systeem verbonden zijn, maken betonkernactivering tot een **economisch** systeem. De ruimtetemperatuur schommelt quasi niet en blijft binnen de comfortzone van 20 tot 26°C. Deze stralingswarmte en -koeling zorgt voor een hoger comfortgevoel. Ook een belangrijk voordeel is dat de lucht- en stofbewegingen afnemen (belangrijk omwille van de grote concentratie PC's). Bovendien was er reeds grote **behoefte aan massa** in de units en was het plafond al massief voorzien. De prefab betonelementen passen perfect binnen dit kader. Deze oplossing biedt bijgevolg een geïntegreerde oplossing voor verschillende problemen. Betonkern kan overigens zowel voor koeling als voor verwarming worden gebruikt. Of we hiervan gebruik maken, dient nog te worden overwogen. Om te koelen wordt de betonkern gevoed door het koude water van de **warmtewisselaar** op de grondboring.



### 3.3.4 TUSSENTIJDSE SYSTEMSAMENVATTING

#### WINTER

##### UNITS

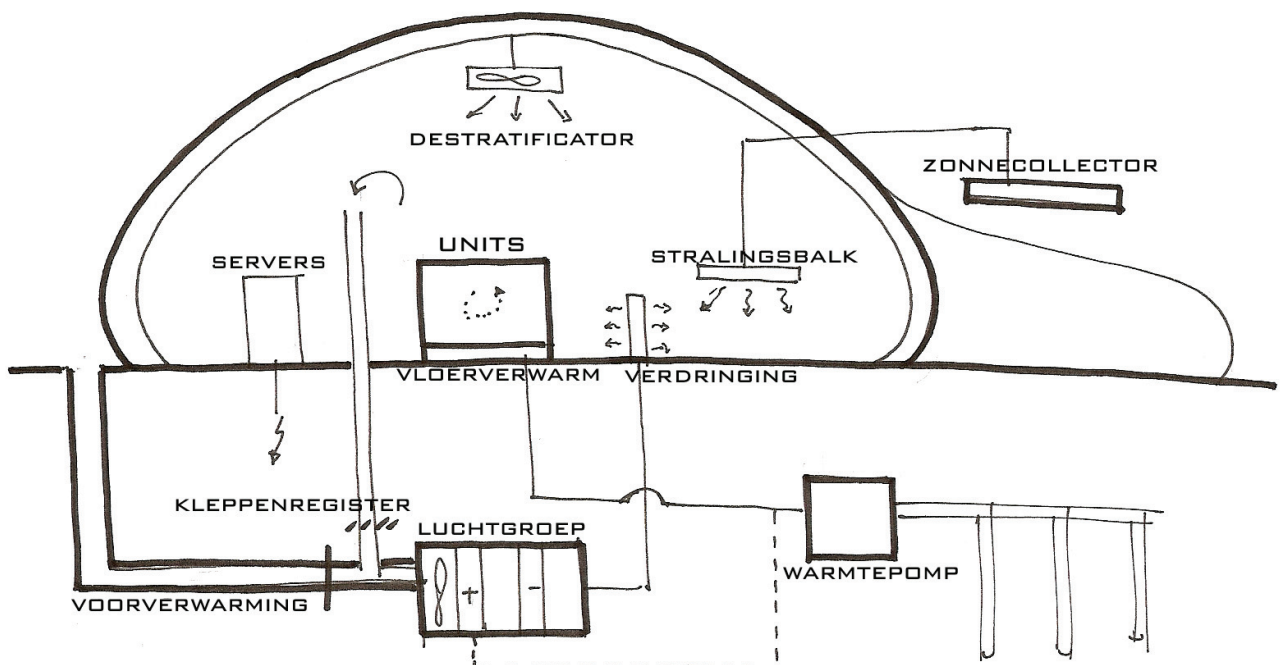
Vloerverwarming- gevoed door de warmtepomp op de grondboring  
Interne winsten

##### KOEPEL

Destratificatoren  
Stralingsbalken- rechtstreeks op de zonnecollectoren  
Warmtebatterij luchtgroep op warmtepomp (indien bijverwarming nodig)  
Afzuiging van koepellucht als voorverwarming luchtgroep

##### SERVERS

Klimaatkast *Precision Free-Cooling*



Figuur 61 : tussentijdse systemsamenvatting fase3\_winter

## ZOMER

### UNITS

Betonkernactivering- gevoed door warmtewisselaar op de grondboring

### KOEPEL

Verdringingsventilatie op luchtgroep met Canadese voorkoeling

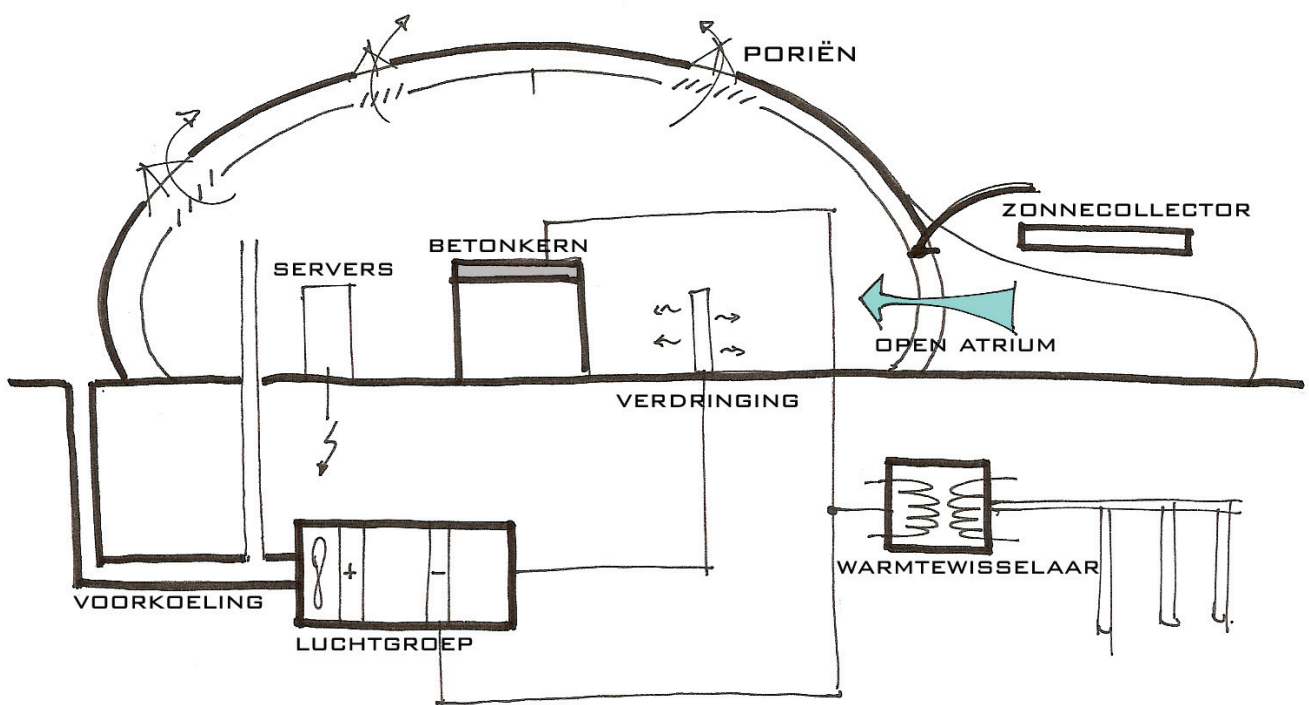
Koudebatterij luchtgroep op warmtewisselaar op grondboring

Natuurlijk geventileerd via parapluiken met achterliggende registerkleppen

Open atrium

### SERVERS

Klimaatkast *Precision Free-Cooling*



Figuur 62 : tussentijdse systemsamenvatting fase3\_zomer

## 3.4 Fase 4

### 3.4.1 Voorbereiding van de definitieve warmteverliesberekening

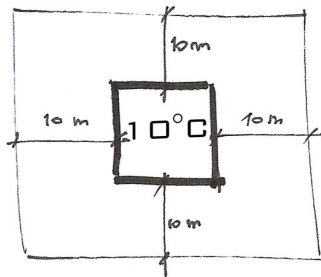
Na de nodige bouwkundige aanpassingen aan de units, is het de bedoeling in een latere fase een nieuwe warmteverliesberekening te maken. Aangezien we al een eerste berekening gedaan hebben, zijn we vertrouwd met het programma. Hierna volgt, op basis van bijlage 4: 'Warmteverlies units01' en bijlage 5: 'Warmteverlies schil01' een bespreking van de gebruikte parameters, samen met een aantal opmerkingen, waar in de definitieve calculatie rekening gehouden zal moeten worden.

#### 3.4.1.1 Revisie van eerste verliesberekening.

Het opgegeven **ventilatievoud** is enkel het volume aan verse lucht, niet het totale debiet. Er wordt van uit gegaan dat deze buitenlucht op de opgegeven buitentemperatuur staat. Dit is overcalculatie aangezien we de ventilatielucht passief voorverwarmen, maar deze voorverwarming wordt verwaarloosd, waardoor we een zekerheid inbouwen. Evenals de maximum hoeveelheid aanwezige personen per ruimte, is de waarde voor het ventilatievoud afkomstig van een extra excelberekening. (zie bijlage 6: 'Ventilatievouden'.)

De berekening is gebeurd met een **buitentemperatuur** -10°C. Deze is echter een te extreme waarde. De buitentemperatuur wordt door de norm NBN B62\_003 voor Antwerpen echter op **-8°C** aangegeven (zie bijlage 7: 'Temperaturen NBN B62\_003'). Er moet wel opgemerkt worden dat deze norm enkel geldt als richtlijn voor gebouwen met een maximale hoogte van 4m. Daar het C4A veel hoger is, is de norm niet bepalend. We kunnen dus scherper en aldus energiezuiniger gaan rekenen. Aangezien de waarde van -5°C slechts 40u per jaar voorkomt (zie bijlage 8 'Temperatuursfrequentie') en dan nog hoofdzakelijk 's nachts, wanneer er geen activiteit in het gebouw plaatsvindt, is het een verantwoorde keuze te rekenen met een buitentemperatuur van **-5°C** in plaats van -8°C zoals de norm voorschrijft. Als we de kaart (zie bijlage 9: 'Kaart dagtemperaturen') van de laagste daggemiddeldes voor december en januari bekijken, zitten we zelfs met deze waarde nog te hoog. We houden de reeds afgezwakte -5°C echter aan om niet overdreven te positief te rekenen. De warmteverliezen worden dus herberekend met deze nieuwe waarde, zowel voor de units als voor de schil.

De **grondtemperatuur** wordt in het programma standaard berekend, in functie van de opgegeven oppervlakte van de ruimte, zolang deze binnen een perimeter van 10m past (berekening op basis van de norm NBN B62\_003). Als deze oppervlakte groter wordt, past de grondtemperatuur zich automatisch aan.



**Figuur 63 : perimeter voor de grondtemperatuur**

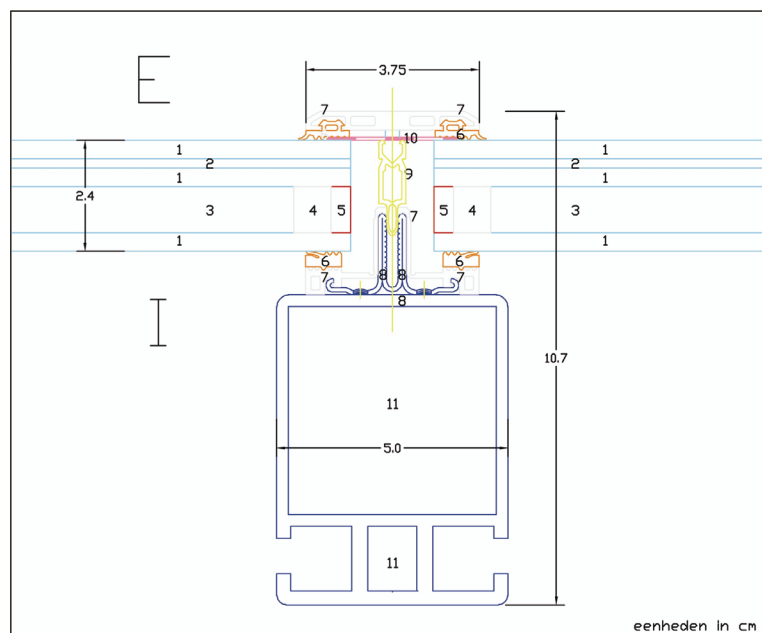
Bij de eerste warmteverliesberekening van de **units** hebben we de aanname van een **aangrenstemperatuur** van  $15^{\circ}\text{C}$  gedaan. Hier stoten we echter op een probleem. We weten wel welke de aangrenstemperatuur van de **wanden** is, maar niet die van het **plafond** van de units. Ter hoogte van de wanden wordt de wandelzone van de koepel immers verwarmd, terwijl dat boven het plafond niet het geval is. Daar heerst een nog onbekende **ruimtetemperatuur van de koepel**. De aangrenstemperatuur van het plafond van de units is gelijk aan die koepeltemperatuur. Het is bijgevolg noodzakelijk de temperatuur in deze schil te kennen om een juiste berekening te kunnen doorvoeren.

Om de schiltemperatuur te kennen, is op haar beurt eerst een **bijkomende bouwphysische berekening** nodig. De temperatuur die in de koepel heerst, wordt onder andere bepaald door het warmteverlies door de glazen constructie. Om het exacte warmteverlies van de schil berekend worden, moet er rekening gehouden worden met zowel de U-waarde van zowel het glas, als van de raamprofielen van de zonnemodules. In de eerste warmteverliesberekening van de schil is er enkel rekening gehouden met de warmtedoorgangscoefficiënt van het argongevulde dubbele glas, hetgeen tot té positieve resultaten leidt. De **verliezen door de profielen** van de zonnepanelen zijn immers niet in rekening gebracht. Om juiste verdere calculaties te kunnen maken, zullen we ook het warmteverlies door de profielen moeten berekenen.

### 3.4.2 Bouwfysische berekening glasprofiel

#### 3.4.2.1 Voorbereidend werk

Zoals in de voorstelling van de basisprincipes vanuit architecturaal oogpunt reeds vermeld is, maken we geen gebruik van een standaard profiel. Er is zelf een glasprofiel ontworpen voor het project (zie *DEEL II, 2.2 Actieve elektrische energie*). We kunnen dus niet terugvallen op reeds gemeten waarden van standaard profielen en moeten een specifieke bouwfysische analyse doorvoeren.



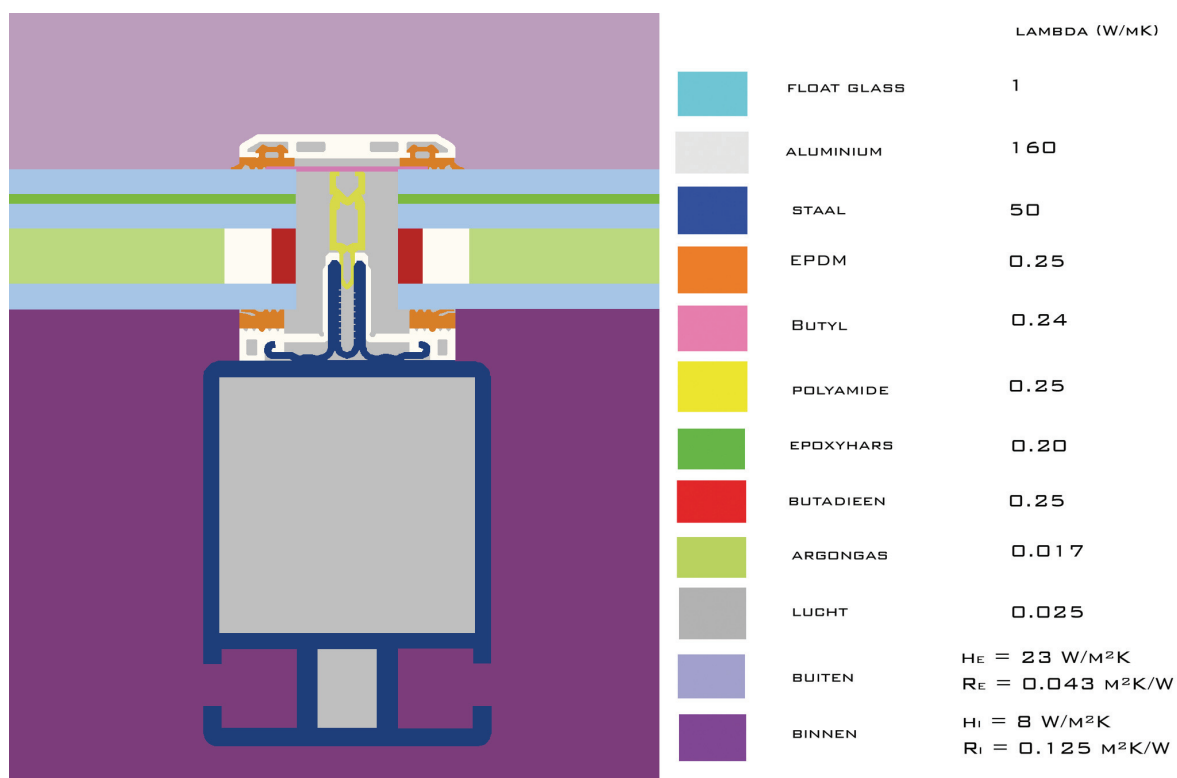
**Figuur 64 : detail van ontworpen profiel**

De hierna volgende berekening zal gebeuren met het software programma **TRISCO** van **PHYSIBEL**, dat rekent volgens de norm EN ISO 10211-2. De verschillende stappen in de analyse worden hierbij verklaard.

Om het warmteverlies te berekenen, nemen we steeds de **wintercondities** van het gebouw aan. In dit geval betreft dit een buitentemperatuur van  $-5^{\circ}\text{C}$  en een temperatuur van  $14^{\circ}\text{C}$  in de wandelzones van de koepel. In de zomer weegt de k-waarde immers niet zo zwaar door omwille van de kleinere temperatuursverschillen tussen binnen en buiten.

Alvorens er een berekening kan volgen, dient allereerst de specifieke sectie van het profiel in **bitmapformaat** te worden ingelezen. Hierbij geeft men de toegepaste materialen telkens een unieke kleur. Ook de binnen- en buitenomgeving krijgen een kleur, waaraan we de aangenomen temperaturen toekennen.

Na het opmaken van een inleesbare bitmapafbeelding, moeten de juiste **parameters** worden bepaald. *In concreto* gaat het over de juiste overgangscoefficienten en testcondities (exterieur -5°C en interieur +14°C omwille van de geconditioneerde omstandigheden van de schil), alsook de juiste  $\lambda$ -waarde voor elk toegepast materiaal. Deze  $\lambda$ -waarden zijn genormeerd gekozen op basis van bijlage 10: 'Tabel lambda EN 10456'.



**Figuur 65 : kleurenindeling van het profiel per materiaal**

### 3.4.2.2 Samenstelling glaspakket

De samenstelling van het hier gebruikte **glaspakket** bestaat uit enerzijds een geharde floatglasplaat ter bescherming van de hieronder in epoxyhars ingebedde zonnecellen, waaronder nog een met argon gevulde dubbelglazen plaat, met name SGG PLANITHERM. Dit resulteert in het specifieke pakket 4/2/4/10/4.

Onderstaande berekening geeft de U-waarde van dit glaspakket.

$$R_{glasplaten} = 3 \times \left( \frac{0,004m}{1 \frac{W}{mK}} \right) = 0,012 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{epoxy} = \frac{0,002m}{0,1 \frac{W}{mK}} = 0,001 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{argon} = \frac{0,01m}{0,017 \frac{W}{mK}} = 0,588 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_e = 0,043 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_i = 0,125 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U = \frac{1}{\sum R} = 1,30 \frac{W}{m^2 K}$$

De  $\lambda$ -waarde  $0,017 \frac{W}{mK}$  van het argon uit de norm houdt echter enkel rekening met

**geleiding**, terwijl er in werkelijkheid ook **convectie** in de spouw optreedt.

Correchter zou zijn de door de glasproducent Saint Gobain Glass opgegeven gemeten U-waarde voor het aparte pakket 4/10/4 dubbel glas te gebruiken, om alzo de **gecorrigeerde  $\lambda$** -waarde voor de argonspouw te bepalen. Op basis van deze U-waarde kunnen we dan de juiste  $\lambda$  bepalen om aan de argonspouw in de PHYSIBEL-berekening te linken en bijgevolg onze invoerparameters te vervolledigen.

De gemeten U-waarde van enkel het dubbel glas (4/10/4), zonder de extra toplaag, is terug te vinden in de technische fiche van Saint Gobain Glass (zie [bijlage 11: 'SGG Planitherm'](#)). Voor de met argon gevulde dubbelglazen plaat 4/10/4 wordt er een **U-waarde van 1,6 W/m<sup>2</sup>K** opgegeven.

Indien we uitrekenen welke de gecorrigeerde  $\lambda$ -waarde is om tot de door SGG opgegeven U-waarde van 1,6 W/m<sup>2</sup>K te bekomen, geeft dit een  **$\lambda$  van 0,0223 W/mK**. Deze waarde ligt **31% hoger** ligt dan de waarde 0,017 W/mK puur voor geleiding. Deze toename is enkel te wijten aan het voorkomen van convectie in de argonspouw.

Als we combinatie met de extra laag floatglas en epoxyhars maken om terug het pakket 4/2/4/10/4 te verkrijgen, resulteert deze gecombineerde U-waarde in een kleine verbetering van

$$U = 1,6 \frac{W}{m^2K} \text{ tot } U = 1,566 \frac{W}{m^2K}.$$

Onderstaande berekening voor de totaalopbouw 4/2/4/10/4 verduidelijkt dit.

<b>Materiaal</b>	$\lambda$ (W/mK)	Dikte (cm)	<b>R-waarde</b> (m <sup>2</sup> K/W)	k-waarde (W/m <sup>2</sup> K)
Glaslaag	1	0,4	0,004	
Epoxyhars	0,2	0,2	0,01	
Glaslaag	1	0,4	0,004	
Argonvulling (gecorrigeerde $\lambda$ )	0,0223	1	0,448430493	
Glaslaag	1	0,4	0,004	
R <sub>e</sub>			0,043	
R <sub>i</sub>			0,125	
<b>Totale R-waarde(m<sup>2</sup>K/W)</b>			0,638430493	<b>1,566341</b>

### 3.4.2.3 Profielberekening

Het hoofdopzet van de berekening was echter het calculeren van de juiste **U-waarde van het profiel**. We beschikken nu over alle in te geven parameters. Hierna volgen de resultaten van de berekening door TRISCO PHYSIBEL. Alle bijhorende bouwfysische figuren zijn gebundeld in een overzicht in [bijlage 12: 'Profielberekening'](#).

#### TRISCO - Rekenresultaten

TRISCO gegevensbestand: profiel\_final\_-5-14\_lambda\_aangepast.trc

Aantal knooppunten = 195386

Warmte divergentie voor totaal object = 1.00572e-005

Warmte divergentie voor meest nadelige knoop = 0.573816

Klr.	Type	Naam	tmin	X	Y	Z	tmax	X	Y
			[°C]				[°C]		



7	EQUIMAT	air	0.01	323	20	0	10.53	203	267
9	MATERIAL	float glass	-3.66	0	54	1	10.26	416	161
14	MATERIAL	butadien	4.76	269	96	1	6.90	260	135
39	MATERIAL	EPDM	-0.03	60	40	0	9.04	350	183
52	MATERIAL	epoxy	-3.53	0	73	1	4.00	109	88
127	MATERIAL	polyamide	1.11	226	55	1	8.86	203	148
145	MATERIAL	steel	8.82	224	118	0	10.62	387	266
148	BC_SIMPL	indoor	<b>(*) 6.07</b>	358	161	1	10.62	387	266
190	MATERIAL	argon	-3.15	0	96	1	10.13	416	139
231	MATERIAL	butyl	0.63	225	49	1	1.54	121	54
238	BC_SIMPL	outdoor	-3.66	0	54	1	0.98	52	54
246	MATERIAL	aluminium	0.01	331	10	0	9.08	60	237
Kl.	Type	Naam	ta	Flux in	Flux uit				
			[°C]	[W]	[W]				
148	BC_SIMPL	indoor		17.50	0.00				
238	BC_SIMPL	outdoor		0.00	17.50				
<p>Temperatuurfactor (EN ISO 10211-2) = 0.583  <math>h_i = 8.00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math>  <math>R_{si} = 0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}</math></p> <p>Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (EN ISO 10211-2)</p>									

$$\text{psi} = (Q/(t_i - t_e) - U_1 \cdot A_1 - U_2 \cdot A_2 - U_3 \cdot A_3)/l = 0.522 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\mathbf{Q = 17.502 \text{ W}}$$

$$t_i = 14.00^\circ\text{C}$$

$$t_e = -5.00^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{U_1 = 1.566 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})}$$

$$X_{\min}=19 \quad X_{\max}=19 \quad Y_{\min}=10 \quad Y_{\max}=255 \quad Z_{\min}=0 \quad Z_{\max}=0$$

$$\mathbf{A_1 = 0.25523 \text{ m}^2}$$

$$X_{\min}=0 \quad X_{\max}=416 \quad Y_{\min}=0 \quad Y_{\max}=0 \quad Z_{\min}=0 \quad Z_{\max}=1$$

$$U_2 = 0.000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A_2 = 0 \text{ m}^2$$

$$U_3 = 0.000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A_3 = 0 \text{ m}^2$$

$$l = 1 \text{ m}$$

Uit deze bekomen gegevens wordt het extra warmteverlies door de koudebrug ter hoogte van het profiel begroot door van het totale warmteverlies  $Q = 17,502\text{W}$ , het ééndimensionaal verlies van het glas af te trekken, zijnde  $U_1 \cdot A_1 = 1,566 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \cdot 0,25523\text{m}^2$ .

$$\text{Bijgevolg } \frac{Q}{\Delta T} - U_1 \cdot A_1 = \frac{17,502\text{W}}{19\text{K}} - (1,566 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \cdot 0,25523\text{m}^2) = 0,522 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

#### 3.4.2.4 Algemene conclusie profielberekening

Het extra verlies van het profiel is begroot op  $0,522 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$  aangezien het detail over de lengte van 1m werd berekend. Het warmteverlies door het profiel wordt niet uitgedrukt als een U-waarde voor het profiel, maar als een lijnkoudebrug bovenop de U-waarde van het glas.

Nu kunnen we teruggrijpen naar de grotere **context** van deze berekening. Het was namelijk het opzet om de juiste k-waardes van de constructieve componenten van de schil te berekenen. Met deze exacte waardes kan de berekening gebeuren van de temperatuur die heerst in de overkoepeling. Deze te vinden temperatuur past binnen de nog grotere context van het opstellen van een correcte warmteverliesberekening op basis van de juiste aangrenstemperaturen van de units.

### 3.4.2.5 Extra: Condensatiecontrole

In de bovenstaande resultatenberekening kunnen we de minimum en maximum temperaturen terugvinden. Belangrijk is de minimale temperatuur langs de binnenzijde op te merken. Deze bedraagt **6,07°C (\*)** voor de opgegeven binnen- en buitentemperaturen +14°C en -5°C. Hieruit kan de temperatuursfactor worden bepaald volgens de formule:

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{Si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Met

$f_{R_{si}}$  de temperatuursfactor

$\theta_{Si}$  de oppervlaktebinnentemperatuur

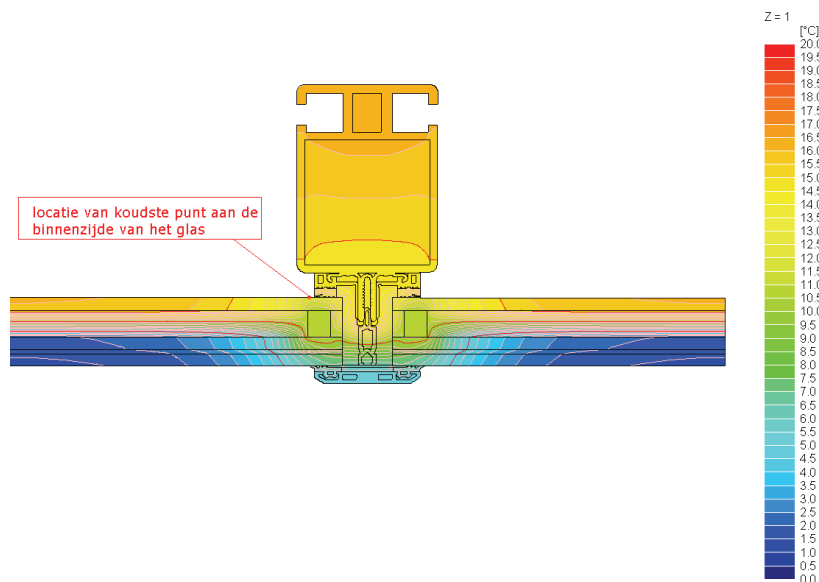
$\theta_e$  de temperatuur van de buitenlucht

$\theta_i$  de temperatuur van de binnenlucht

Toegepast betekent dit een temperatuursfactor van 0,583 volgens:

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{Si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{6,07^{\circ}C - (-5^{\circ}C)}{14^{\circ}C - (-5^{\circ}C)} = 0,583$$

Deze waarde is vrij laag en er bestaat dus kans op condensvorming. Op onderstaande figuur is de plaats van de mogelijke condensvorming aangeduid.



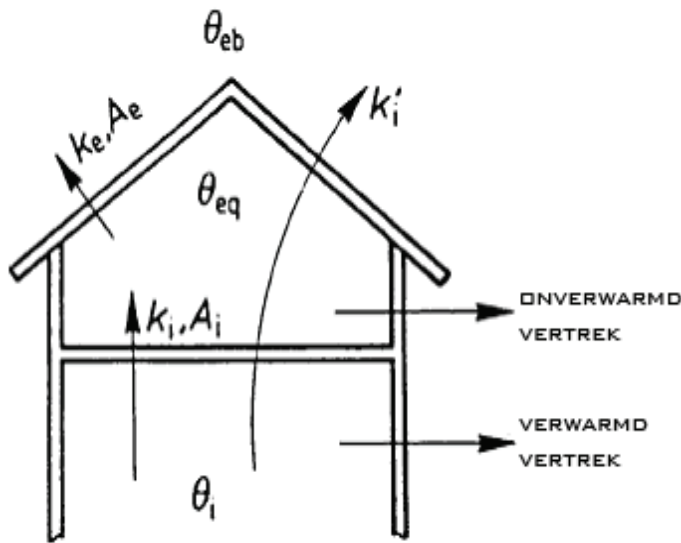
**Figuur 66 : aanduiding van de kans op condensatie**

### 3.4.3 Berekening koepeltemperatuur

#### 3.4.3.1 Formule uit de norm

We gaan te rade bij de norm NBN 62\_002 'Berekening van warmtedoorgangs-coëfficiënten van wanden van gebouwen'. De juiste formules en gedachtenstappen worden hieronder *in extensis* verduidelijkt.

De norm NBN B62\_002 geeft samen met de bijhorende figuur volgende formule als basis voor de berekening van onverwarmde vertrekken:



Figuur 67 : warmtefluxen\_NBN B62\_002

$$\theta_{eq} = \frac{\sum k_i \cdot A_i \cdot \theta_i + \sum k_e \cdot A_e \cdot \theta_{eb} + 0,34 \cdot \beta \cdot V_l \cdot \theta_{eb}}{\sum k_i \cdot A_i + \sum k_e \cdot A_e + 0,34 \cdot \beta \cdot V_l}$$

Met

$\sum k_i \cdot A_i$  De som van de producten van de oppervlakten van de wanden die de onverwarmde koepel scheiden van de verwarmde units, met hun respectievelijke k-waarde (W/K)

$\sum k_e \cdot A_e$  De som van de producten van de oppervlakten van de wanden die de onverwarmde koepel scheiden van de buitenomgeving, met hun respectievelijke k-waarde (W/K)

$\beta$  Het ventilatievoud van de onverwarmde koepel ( $h^{-1}$ )

Voor zwak verluchte ruimtes	$\beta=0,5 \text{ h}^{-1}$
Voor matig verluchte ruimtes	$\beta=1,0 \text{ h}^{-1}$
Voor sterk verluchte ruimtes	$\beta=4,0 \text{ h}^{-1}$

$V_i$	Het luchtvolume van de onverwarmde koepel ( $\text{m}^3$ )
$\theta_i$	De binnentemperatuur van de verwarmde units die grenzen aan de onverwarmde koepel. ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\theta_{eb}$	De basisbuitentemperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ )
0,34	Het product van de massawarmte en de volumemassa van de lucht op $20^{\circ}\text{C}$ , gedeeld door 3600. ( $\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$ )

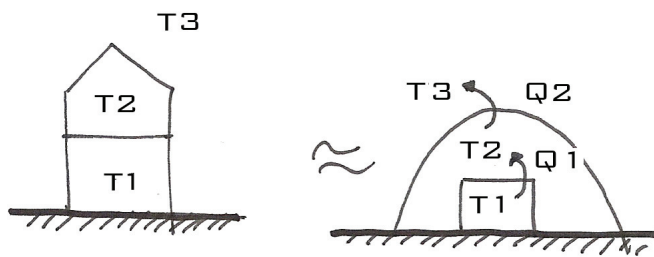
### Opmerking!

In deze formule wordt er rekening gehouden met een **verluchtingsvoud** van de onverwarmde koepel ( $\beta$ -waarde). Dat zou willen zeggen dat één keer per uur (criterium 'matig verlucht') heel het koepelvolume met verse lucht van  **$-5^{\circ}\text{C}$**  zou worden ververs. Dit zal een te negatieve inpakt hebben op de temperatuur in de overkoepeling, aangezien we de inblaaslucht **voorverwarmen**.

Bijgevolg passen we een voor het besproken project specifiekere (afgeleide) methode toe, namelijk deze van de **gelijkgestelde warmtefluxen**. Deze bestaat erin de vergelijkingen van de warmteflux van de koepel naar de omgeving en van de units naar de koepel aan elkaar gelijk te stellen. De temperatuur in de schil is dan de enige onbekende en kan uit deze vergelijking gehaald worden. De exacte berekening wordt hieronder uiteengezet.

#### 3.4.3.2 Aangepaste methode

Door de twee voorkomende warmtefluxen ( $Q_1$  en  $Q_2$ ) aan elkaar gelijk te stellen, stelt ons dit in staat de onbekende koepeltemperatuur ( $t_2$ ) te berekenen.



**Figuur 68 : aanpassing basisfiguur voor C4A**

$$Q_1 = \sum k_1 \cdot A_1 \cdot \Delta t_1 = \sum k_1 \cdot A_1 \cdot (t_1 - t_2)$$

$$Q_2 = \sum k_2 \cdot A_2 \cdot \Delta t_2 = \sum k_2 \cdot A_2 \cdot (t_2 - t_3)$$

### 3.4.3.2.1 Voorbereidende berekening

k-waardes: zie [bijlage 13: 'k-waardes constructieonderdelen'](#)

**Opmerking:** k-waardes van het glaspakket en profielen van de koepel: zie 3.4.2.2 'Samenstelling glaspakket' en 3.4.2.4 'Algemene conclusie profielberekening'.

#### UNITS

	oppervlakte <i>m</i> <sup>2</sup>	k-waarde <i>W/m</i> <sup>2</sup> <i>K</i>	<b>k<sub>1</sub> x A<sub>1</sub></b> <i>W/K</i>
Plafond	1875	0,268	503
Vloer volle grond	1875	0,491	921
Binnenmuur	2010	0,347	697
Binnendeur	163	0,621	101
Binnenvenster	812	1,566	1272
<b>TOTAAL UNITS</b>			<b>3493</b>

#### KOEPEL

	oppervlakte <i>m</i> <sup>2</sup>	k-waarde <i>W/m</i> <sup>2</sup> <i>K</i>	<b>k x A</b> <i>W/K</i>
Vloer volle grond	4330	0,491	2126
Buitenvenster	5302	1,566	8303
	<i>m</i>	<i>W/mK</i>	
Profiel*	10656	0,522	5562
<b>TOTAAL UNITS</b>			<b>15991</b>

\*Vermits het profiel een lijnkoudebrug vormt, dient het aantal lopende meter profiel dat op het koepeloppervlak voorkomt berekend te worden. Op basis van het percentage profiel per

module blijkt dat voor een oppervlak van 5910m<sup>2</sup> er 10 656 lopende meter profiel aanwezig is.

### 3.4.3.2.2 Gelijktellen van de vergelijkingen

$k_1 A_1 =$	3485 W/K	units
$k_2 A_2 =$	15991 W/K	koepel
$t_1 =$	21 °C	in units
$t_3 =$	-5 °C	buiten

Gelijktellen van de twee warmtefluxen

$$Q_1 = Q_2$$

$$\Rightarrow \sum k_1 \cdot A_1 \cdot (t_1 - t_2) = \sum k_2 \cdot A_2 \cdot \Delta t_2$$

$$\Rightarrow (\sum k_1 \cdot A_1) \cdot (21^\circ\text{C} - t_2) = (\sum k_2 \cdot A_2) \cdot [t_2 - (-5^\circ\text{C})]$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\Rightarrow Q_2 - Q_1 = \mathbf{0}$$

Te berekenen waarde:

$t_2 =$	<b>-0,3 °C</b>
---------	----------------

### 3.4.3.2.3 Opmerking

Aangezien de brandbestrijdingsinstallatie bevestigd is aan de koepelconstructie en de kans op **vriezen** bestaat in extreme omstandigheden, dient men een **droog sprinklersysteem**<sup>4</sup> toe te passen. De berekende -0,3°C is echter relatief, vermits hier geen rekening gehouden wordt met de stijgende warme lucht die door de stralingspanelen in de wandelzone wordt opgewekt, noch met de interne winsten. Deze waarde wordt toch als veilige rekenwaarde gebruikt in de verder berekeningen.



Figuur 69 : sprinklers aan de constructie bevestigd\_Hessing Cockpit\_W.Sorgeloos

<sup>4</sup> **Droog sprinklersysteem:** de leidingen zijn met lucht gevuld zodat er geen bevroingsgevaar ontstaat en worden pas gevuld van zodra het systeem in actie treedt. Dit systeem wordt gebruikt in niet-verwarmde ruimtes, waar temperaturen onder het vriespunt kunnen voorkomen.

#### **3.4.4 Conclusie**

De bedoeling van deze hele bouwfysische analyse was het uiteindelijk bepalen van de juiste koepeltemperatuur. Met de berekende **schiltemperatuur van  $-0,3^{\circ}\text{C}$**  kunnen we nu het **warmteverlies van de units naar de koepel** exact berekenen met het oog op de verdere specificering van de verschillende systeemvermogens. De wanden van de units bevinden zich namelijk in de door de stralingsbalken en verdringingsventilatie geconditioneerde circulatiezone, terwijl het plafond aan een veel lagere temperatuur grenst, hetgeen het warmteverlies beïnvloedt.



### 3.5 Fase 5

#### 3.5.1 Verwarming en koeling

Na zich dieper over de voorbereiding van de warmteverliesberekening te hebben gebogen, concentreren we ons terug op de globale engineering van het project.

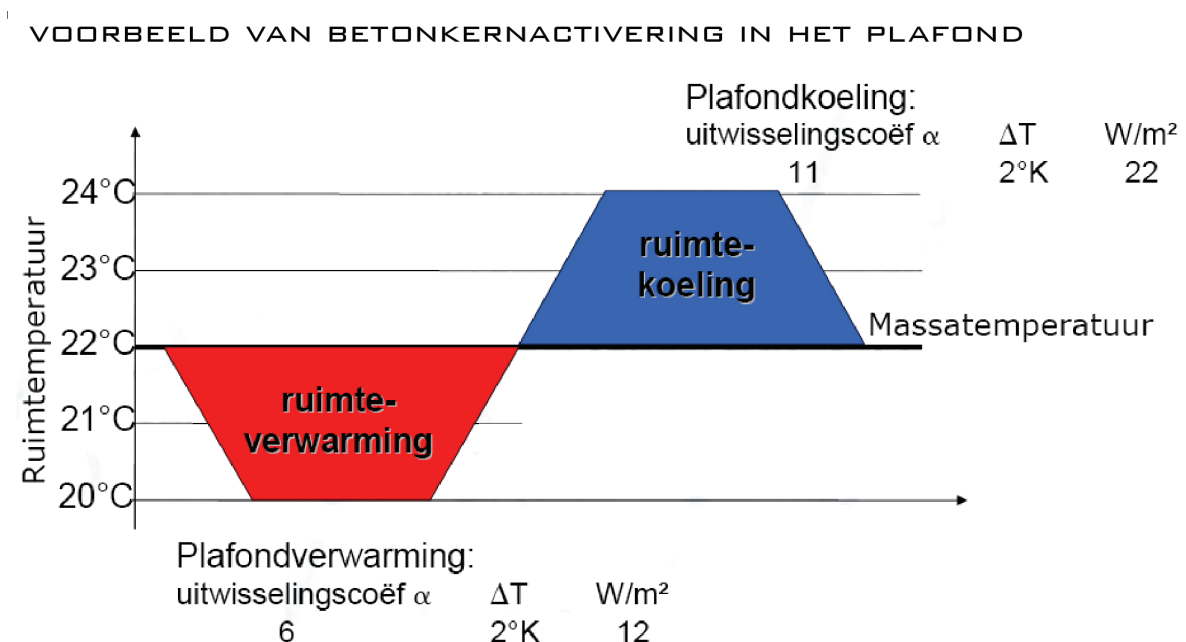
##### 3.5.1.1 Uitbreiding van Betonkernactivering (BKA)

We hadden reeds de definitieve keuze gemaakt om in de zomer met BKA de units te koelen (zie 3.3.3.2 *Koelen van de units*). We breiden deze toepassing uit en beslissen om dit systeem ook verder toe te passen in de winter om te **verwarmen**, op basis van onderstaande analyse.

###### 3.5.1.1.1 Systemspecificatie

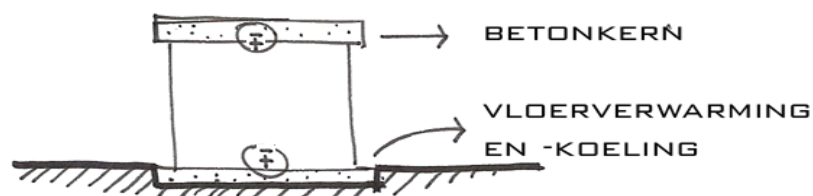
We spitsen ons even toe op de mogelijkheden van de betonkernkoeling en -verwarming.

Onderstaande grafiek geeft de massatemperatuur weer in functie van de ruimtetemperatuur. Uit de gegevens blijkt wel dat de uitwisselingscoëfficiënt voor de koeling bijna een verdubbeling is ten opzichte van deze voor verwarming. Het aantal uitgewisselde  $\frac{W}{m^2}$  is bijgevolg ook tweemaal zo groot.



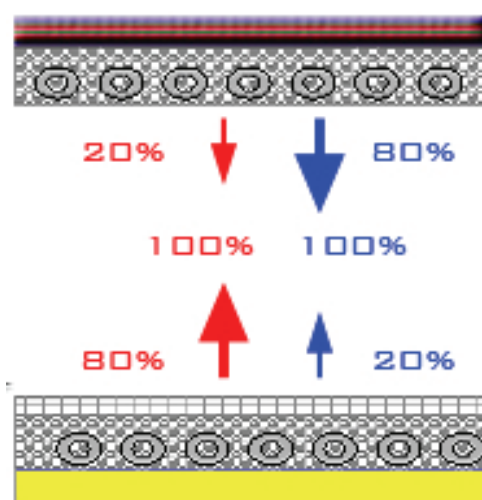
Figuur 70 : betonkernactivering als plafondverwarming: ruimtetemperatuur ifv massatemperatuur

Dit heeft alles te maken met het simpele feit dat warmte stijgt en koelte daalt. Vandaar dat de ruimtekoeling door de toepassing van BKA in het plafond een veel grotere impact heeft. Indien men dit weet is het bijgevolg een logische redenering om zowel BKA in het plafond als in de vloer te voorzien.



**Figuur 71 : betonkernactivering in plafond en vloer**

Zoals op onderstaand schema te zien is, compenseren beide componenten dan elkaars zwaktes en wordt een sluitend systeem gevormd dat de koel- of verwarmingsbehoefte voor 100% dekt.



**Figuur 72 : invloed van betonkernactivering in vloer en plafond\_Echo**

De betonkernactivering in de vloer kan dus opgevat worden als vloerverwarming. In de **winter** wordt het warme water van de **warmtepomp** (40-50°C) gebruikt, terwijl in de zomer het systeem een vloerkoeling wordt op basis van de koelte die via de **warmtewisselaar** uit de bodem afkomstig is. We moeten dan wel opletten voor condens waardoor de plaatsing van condensvoelers in de vloer noodzakelijk is. De sturing van de vloerverwarming kan gebeuren door een gebouw-weer-systeem (GWS).

### 3.5.1.1.2 Constructieve bedenkingen

Zoals op *figuur 72* te zien is, is er slechts een bepaald percentage van de uitgestraalde warmte/koelte die vanaf het plafond de ruimte beïnvloedt. Hier kan men zich de constructieve vraag stellen of een **pleisterlaag als afwerking** onder de welfsels toegelaten is. Enerzijds omwille van scheurvorming door de wisselende temperatuur, anderzijds omwille van de extra bouwfysische weerstand ten opzichte van de straling.

Indien de pleisterlaag gewapend is, zal er weinig kans op scheuren zijn. De temperatuursverschillen manifesteren zich immers erg langzaam en zijn ook niet groot. Wat betreft de extra weerstand voor straling, als we voor de welfsels een gladde onderkant voorzien, geniet schilderen eerder de voorkeur. Een **verflaag** is altijd beter aangezien de beperking van de laagdikte ten opzichte van een pleisterlaag. Een extra, vrij dense laag toevoegen zou het effect van het systeem negatief beïnvloeden.

Een bijkomende constructief aandachtspunt is de afwerking van de bovenkant van de welfsels. We voorzien dus voldoende dikke isolatie (10cm XPS). Door een te dun **isolatiepack** op de welfsels zou teveel van de uitgestraalde warmte via het plafond verloren gaan in plaats van naar de onderliggende ruimte te worden gestraald. Dit heeft een belangrijke invloed op de thermische capaciteit van de BKA. Als bijkomende factor voorzien we een reflecterende dampdichte folie bovenop het betonpakket om de warmtestraling zo goed mogelijk binnen te houden (cfr. Folie achter radiator).

### 3.5.1.1.3 Opmerking

Er wordt nu ook verwarmd door de BKA, maar het koudegevoel ten gevolge van de straling aan de relatief grote glazen wandvlakken is hierbij nog niet opgelost. Vandaar dat we een bijkomend verwarmingssysteem van **geïntegreerde vloerconvectoren** op de scène roepen. Door hun warmeluchtgordijn zal het ook kort bij de glasvlakken aangenaam vertoeven zijn. Voor deze integratie van vloerconvectoren wordt gekozen voor het energiezuinige **Mini-Canal** van JAGA. Zij zijn omwille van hun compactheid en beperkte inbouwhoogte in de vloer zeer interessant. Deze vloerconvectoren worden aangesloten op de



Figuur 73 : principe vloerconvector

warmtepomp van de grondboring.

### 3.5.1.2 Stralingspanelen

We maken de keuze om in de koepel stralingspanelen te voorzien.

De panelen hebben een praktisch vlakke bodem en zijn ideaal voor plaatsing in ruimtes met een laag plafond. Het brede kleurengamma maakt een perfecte integratie in **harmonie** met het architecturale design van het gebouw mogelijk. Om de panelen zo licht mogelijk te laten lijken, kiezen we voor een hagelwitte coating in harmonie met de witgepleisterde units. De interne lichtreflectie vormt de basis van deze keuze.

De elementen kunnen in lengte van **4m of 6m** (3m en 5m op aanvraag) worden geleverd. Elk element kan gemakkelijk aangesloten worden aan de hand van drukfittings of lasverbindingen. Ophangingsogen zijn om de meter op de panelen voorzien om een maximum installatieflexibiliteit te verzekeren. De juiste opbouw van het paneel *an sich* is te zien in bijlage 14: 'Opbouw stralingspaneel'. De stralingspanelen worden gevoed door het warme water van de **zonnecollectoren**. Deze staan op hun beurt gekoppeld op buffervaten van 1000l zodat de panelen een dalperiode van een aantal dagen slecht weer kunnen overbruggen.

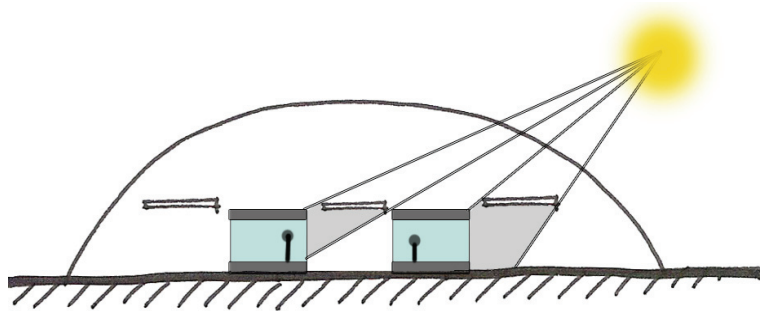


**Figuur 74 : stralingspanelen aan het plafond\_Sabiana**

Door de **flexibiliteit** en de **uitbreidbaarheid** van het systeem is het een ideale toepassing om de verspringende wandelzones te verwarmen.

De stralingsbalken gebruiken we enkel om in de winter te verwarmen en niet om in de zomer te koelen. In de **zomer** doen deze panelen echter dienst als '**zwevende luifels**', waardoor er quasi geen rechtstreekse zonnestraling de units binnenvalt en aldus de

**zonnefactor** in de koellastberekening **nul** genomen mag worden. De panelen vormen een soort *covering* van de circulatiezone waardoor het gevoel van een 'open gang' gecreëerd wordt. Dit vormt **ruimtelijk** gezien een aangename overgang tussen de units met gesloten, relatief lage plafonds enerzijds en de hoge open glasstructuur van de overkoepeling anderzijds. Dit is een perfect voorbeeld van multifunctionele systeemintegratie.



**Figuur 75 : stralingspanelen als zonneluifels**

### 3.5.1.3 Zonnecollectoren

De **vertrektemperatuur** van het zonnecollectorwater is belangrijk. Een lage vertrektemperatuur heeft een **groter collectoroppervlak** nodig om de vooropgestelde temperaturen te kunnen halen. In het project maken we gebruik van gewoon kraanwater op **10°C**. In de boilers staan de buizen van het systeemwater immers bloot aan het hete opslagwater. Hierdoor zal de vertrektemperatuur lichtjes **verhogen**, met een **effectiever** collectorsysteem als gevolg.

In de zomer werken de zonnecollectoren optimaal. Het is echter koeling die dan primeert. Vandaar koppelen we een **absorptiekoelmachine** op de zonnecollectoren. Deze zet het warme water om in koud water, dat we gebruiken om de **koelbatterij** van de luchtgroep te voorzien.

### 3.5.1.4 Luchtgroep

In een vorige ontwerpfase hebben we besloten de warmtebatterij van de luchtgroep ter voorverwarming van de ventilatielucht te koppelen op de warmtepomp. Aangezien door een aantal nieuwe systeemkoppelingen deze warmtepomp zowel de betonkernactivering in de vloer, als de vloerconvectoren moet bevoorraden van warmte, dreigt haar vermogen te beperkt te zijn. Vandaar maken we de keuze om de **warmtebatterij** op de **zonnecollectoren** en hun buffervaten te koppelen.

## 3.5.2 Luchtbevochtiging

In de zomer zal de lucht ook **bijbevochtigd** moeten worden. Als we dit aan de hand van een HVAC-installatie zouden doen, wordt dit een energievretend proces.

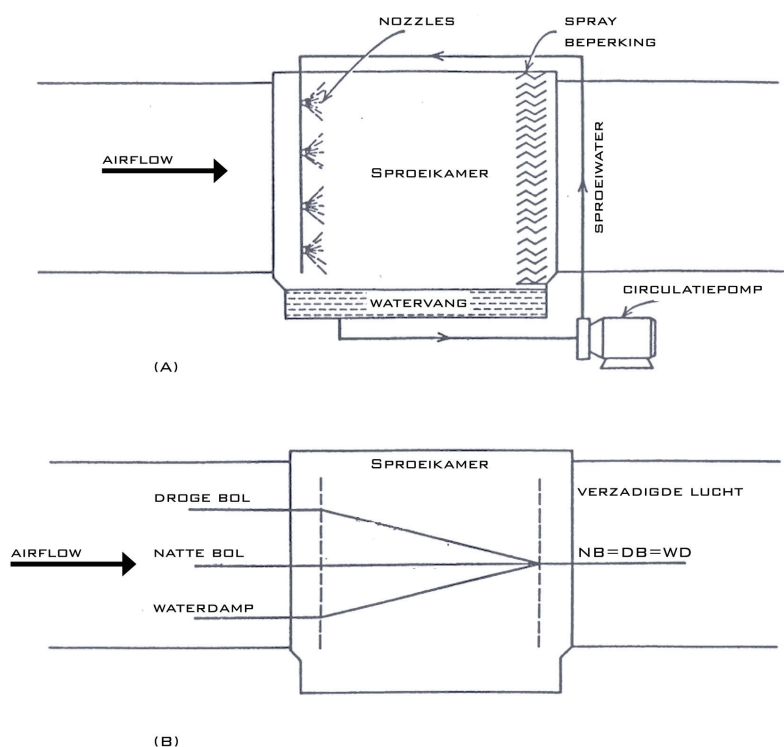
De bevochtiging zou thans relatief goedkoop kunnen geschieden met **adiabatische**<sup>5</sup> bevochtiging. Alleen de waterbehandeling en UV-installatie van dit systeem kosten in exploitatie. Deze stoombevochtigers zijn echter nog altijd verre van energiezuinig. Om te **ontvochtigen** dienen we eerst diep te koelen om het vocht uit de lucht te halen en daarna terug te verwarmen om niet te koud in te blazen. Dit brengt eveneens energieverkwisting

---

<sup>5</sup> **Adiabatische koeling:** Bij adiabatische processen verandert de enthalpie van de vochtige lucht niet, doch de enthalpie van de droge lucht kan toenemen en deze van de waterdamp kan met eenzelfde hoeveelheid afnemen (of omgekeerd). Een praktische toepassing is de adiabatische bevochtiging van lucht, ook evaporatieve koeling genoemd, zoals te zien op figuur 76. Onverzadigde lucht wordt zeer intens in contact met water gebracht, door middel van een sproeisysteem. Er verdampst water zodat de vochtigheid van de lucht, de dauwpunttemperatuur en de latente warmte van de lucht toenemen.

met zich mee. De geïnstalleerde luchtgroepen voorzien we dus enkel om de verdringingsventilatielucht te koelen en te verwarmen.

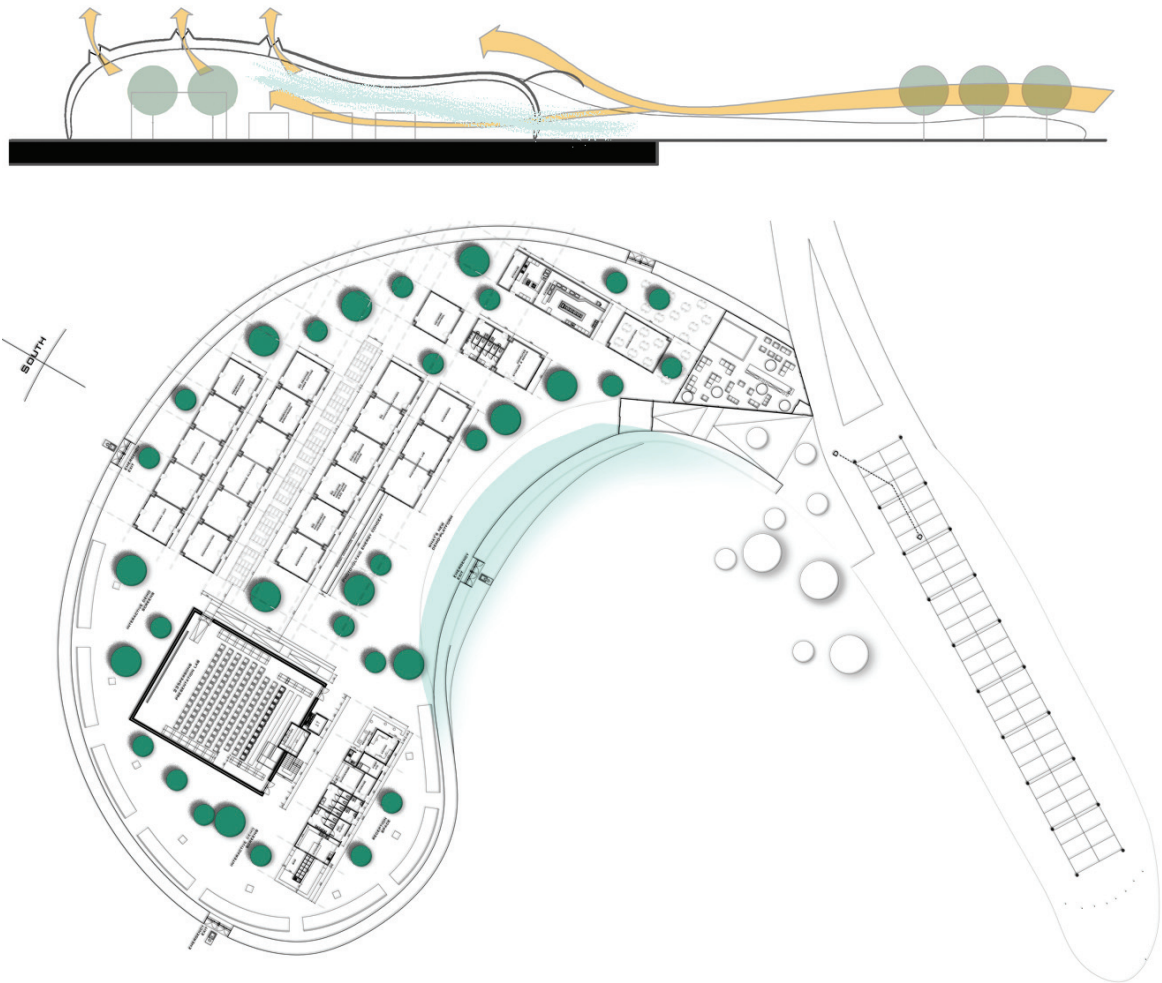
**Figuur 76 : adiabatisch bevochtigen \***



[\* Bron Figuur 76: De Buyst D., Prof. Dr. ir., *Technische installaties in gebouwen*, rev. 1.9.2. ed 2006-2007, Associatie Universiteit Hogescholen Limburg departement architectuur, 2006]

### 3.5.2.1 Passief bevochtigen

Aangezien HVAC-installaties energievreters zijn, kiezen we voor een **alternatieve** conditionering van de lucht. Hieronder verstaan we onder andere de aanwezige **bomen** die de lucht van zuurstof en waterdamp voorzien, alsook een geïntegreerd **watervlak** in combinatie met natuurlijke ventilatie. Dit watervlak bevindt zich aan de randzone waar de schil zich opent naar het park toe, zodanig dat bij de opening van de koepel de wind waterdamp meevoert doorheen het gebouw. De plaatsing van de bomen in de koepel zal zich laten beperken door het ondergrondse luchtkanalentracé.



**Figuur 77 : boven: verspreiding waterdamp door natuurlijke ventilatie**

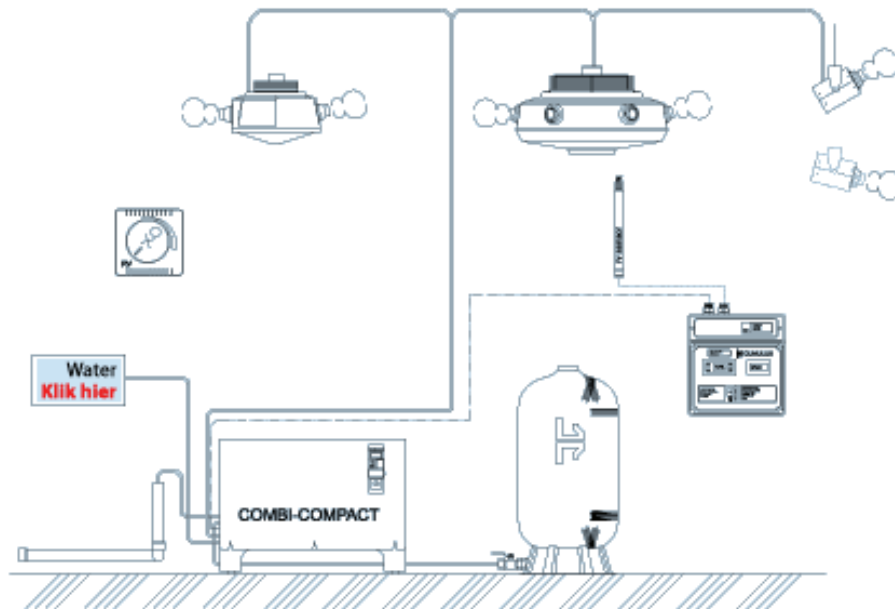
**onder: integratie van watervlak en bomen in C4A**

### **3.5.2.2 Verneveling**

Een bijkomende aanvulling op de passieve bevochtigingsmethode zou de plaatsing van een **vernevelingsinstallatie** kunnen zijn op basis van hogedrukpompen. Hierbij dient wel de waterconditie te worden gecontroleerd. Aan de schilstructuur worden dan zogenaamde **nozzles** geplaatst die fijne waterdamp in de ruimte verspreiden. Deze nevel verspreidt zich integraal over het luchtkoepelvolumen. In de zomer heeft dit eveneens een verkoelend effect. Door bij een bepaalde temperatuur de in de lucht aanwezige waterdamp met een bepaalde concentratie te verhogen, vergroot men de **absolute vochtigheid** van de lucht waardoor bij eenzelfde **enthalpie** van de lucht een **lagere luchttemperatuur** en **hogere relatieve vochtigheid** wordt verkregen (zie bijlage 15: 'Molierdiagramma'). Hierbij moeten we wel opletten dat er niet teveel bevochtigd wordt, vermits men bij een RV hoger dan 65% snel



een drukkend 'onweergevoel' krijgt. Bouwkundig gezien moeten we ook rekening houden met de plaatsing van de hogedrukpompen en compressievaten.



**Figuur 78 : hogedrukverlevelingsinstallatie**

Door het energetisch elimineren van de puur elektrische ont- en bevochtigingsmethodes, blijft men in het gareel van het **rationele energiegebruik** lopen. Er moet echter worden toegegeven dat ook bij deze 'passieve' methodes er een –zij het beperkte- elektrische input vereist is. Men werkt in feite met **hybride systemen**, maar aangezien de elektrische kant van het systeem via de zonnetechnologie wordt voorzien, blijft het project op globaal niveau nog steeds een autarkisch gebouw.

### 3.5.3 TUSSENTIJDSE SYSTEEMSAMENVATTING

#### WINTER

##### UNITS

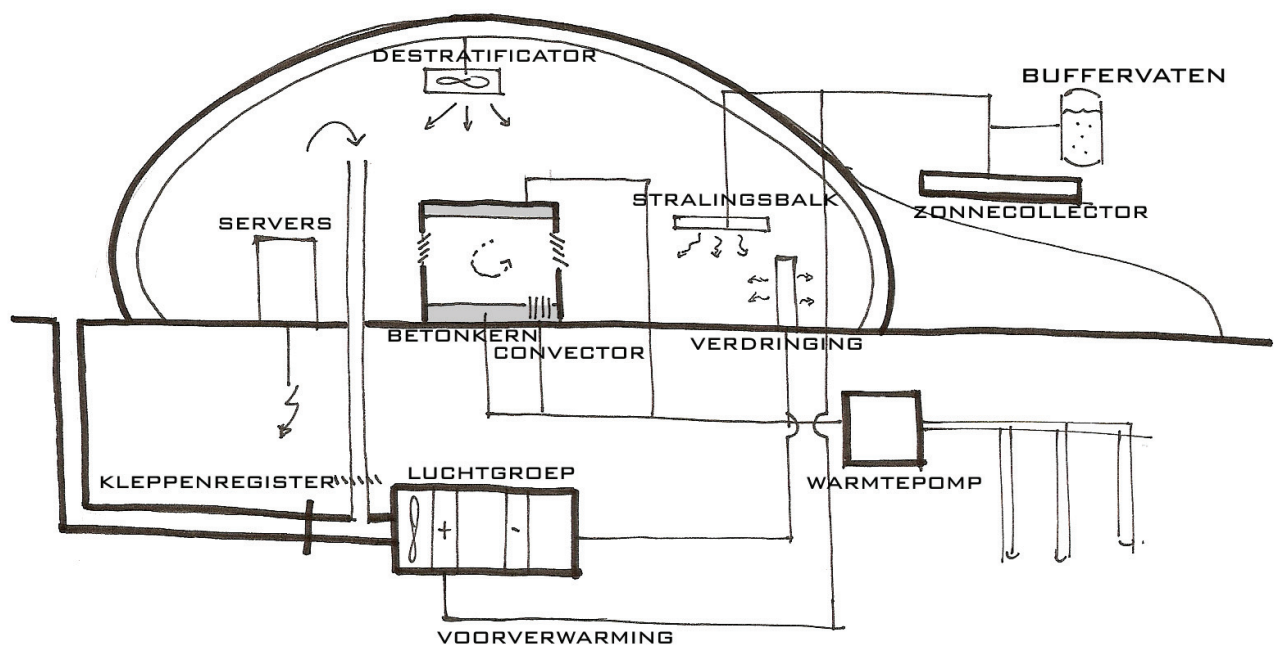
- Betonkernactivering - gevoed door warmtepomp op de grondboring
- Vloerconvectoren – gevoed door warmtepomp op de grondboring
- Interne winsten

##### KOEPEL

- Destratificatoren
- Stralingsbalken- rechtstreeks op de zonnecollectoren – eventueel op buffervaten
- Afzuiging van koepellucht als voorverwarming luchtgroep (kleppensysteem)
- Warmtebatterij luchtgroep op zonnecollectoren ter voorverwarming luchtgroep

##### SERVERS

- Klimaatkast *Precision Free-Cooling*



Figuur 79 : tussentijdse systemsamenvatting fase5\_winter

## ZOMER

### UNITS

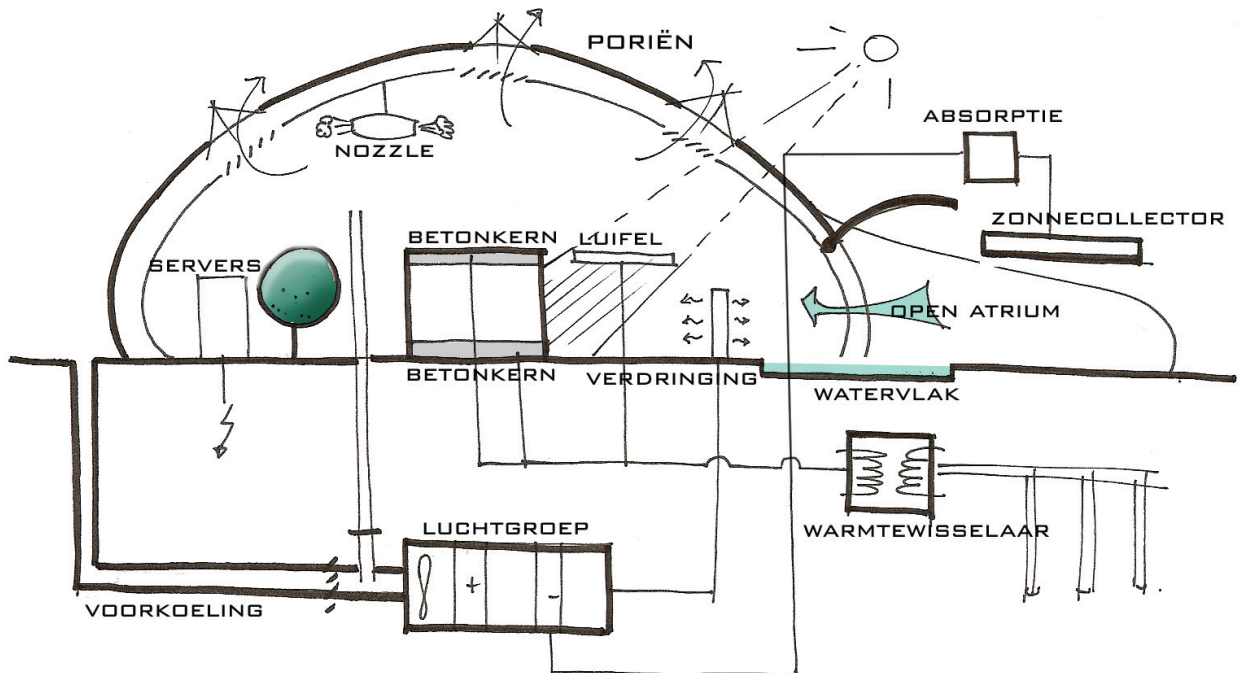
Betonkernactivering- gevoed door warmtewisselaar op de grondboring  
'Natuurlijke' ventilatie en bevochtiging, geënt op de conditionering van de koepellucht  
Luifels (stralingspanelen) tegen rechtstreekse instraling

### KOEPEL

Verdringsventilatie- op luchtgroep met Canadese voorkoeling  
Koelbatterij luchtgroep via absorptiekoeling op de zonnecollectoren  
Natuurlijk geventileerd via parapluiken met achterliggende registerkleppen  
Open atrium  
Passief bevochtigd door bomen en watervlak.  
Eventueel aanvullende bevochtiging met vernevelingsapparaatuur

### SERVERS

Klimaatkast *Precision Free-Cooling*



Figuur 80 : tussentijdse systemsamenvatting fase5\_zomer

## 4 SYSTEEMCONSENSUS

### 4.1 Finale systeemconsensus

In de uitgebreide brainstorm hebben we - dikwijls met *trial-and-error* - kennis gemaakt een aantal verschillende systeem mogelijkheden voor het C4A-project. We hebben telkenmale een **keuze** gemaakt voor een bepaald systeem of principe. Daar een brainstorm een kriskras is van onderzoek, ideeën en terugkoppelingen, is het in dit stadium essentieel een duidelijk overzicht te geven van de definitieve systeemkeuzes. De bedoeling is nu om een **FINALE SYSTEEMCONSENSUS** op te stellen. Aan de hand van deze consensus zullen we later kunnen starten aan de uiteindelijke detailleringfase.

Eerst wordt er een overzicht gegeven van de gebruikte principes in verband met **REG**, waaruit dan een globaal **energieconcept** is opgesteld. Vervolgens wordt een lijst gemaakt van alle in het project toegepaste **installaties**, waarna ze geplaatst worden in een **boomschema** dat de verschillende systeemkoppelingen duidelijk maakt.

#### 4.1.1 RATIONEEL ENERGIEGEBRUIK

##### **Gebruikte basisprincipes REG [koepel + units]**

##### **Actieve zonne-energie**

Zonnecollectoren	Warm water - rechtstreeks of via de buffervaten [winter] Koud water - via absorptiekoelmachine [zomer].
Zonnecellen	= groene elektriciteit voor: Eigen gebruik Aandrijving van de installaties

##### **Passieve zonne-energie**

Klimaatbuffer	Semi-transparantie 50% zonne-instraling [winter] 50% zonnewering [zomer]
---------------	--

##### **Passieve koeling**

Waterverneveling	[= spelen op Moliardiagramma; bijlage 15] Bomen Watervlak Nozzles
Zonnereflectie	Curving van de schil

##### **Geothermische energie**

Grondboring	Warmtepomp [winter] Warmtewisselaar [zomer]
Canadese putten	Voorverwarming ventilatielucht

##### **Natuurlijke ventilatie**

Hydraulisch opengaande gevel  
Paraplu-ventilatieluiken  
Gebouwworm + inplanting  
Canadese putten

##### **Alternatieve bevochtiging**

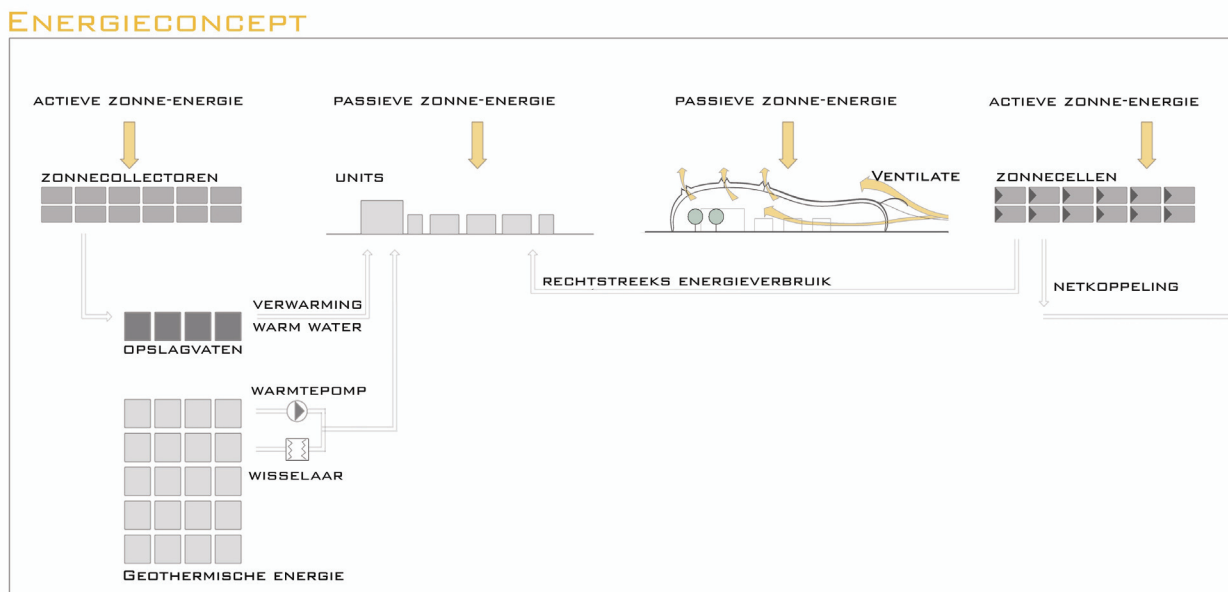
Bomen = waterdamp  
Watervlak bij opengaande gevelvlak  
Nozzle-verneveling  
Natuurlijke ventilatie bij te hoge waterdampconcentratie

##### **Exceptioneel**

Klimaatkast *Precision Free-Cooling*

### 4.1.2 Energieconcept

Aan de hand van deze systemen is in onderstaande figuur een grafisch overzicht gegeven van het energieconcept, uitgaande van de hoofdprincipes van REG (zie ook [bijlage 16: 'Energieconcept'](#))



**Figuur 81 : energieconcept**

#### 4.1.3 SYSTEEMLISTING

##### **SYSTEEMLISTING**

##### **Elektriciteit**

5030m<sup>2</sup> PV-panelen

##### **Verwarming en koeling**

Zonnecollectoren + Buffervaten  
Absorptiekoelmachine  
Vloerconvectoren  
Verdringingsventilatie  
Luchtgroep  
Tredewerfel  
Armaturen  
Canadese putten  
Koepelafzuiging met kleppenmodule (menging)  
Grondwarmtewisselaar (=grondboring)  
Warmtepomp  
Warmtewisselaar  
Betonkernactivering  
Stralingspanelen  
Destatificatoren  
Klimaatkast Precision Free Cooling + ijswatermachine

##### **Ventilatie**

koepelluiken (wasmotoren)  
open atrium (hydraulisch)  
verdringingsventilatie  
Luchtgroep  
Tredewerfel  
Armaturen

##### **Bevochtiging**

Hogedrukverneveling  
Bomen  
Watervlak

#### 4.1.4 SYSTEEMKOPPELINGEN C4A

##### 4.1.4.1 Systeemkoppeling winter

###### Actieve zonne-energie

Zonnecollectoren

- Betonkernactivering [units]
- Passieve stralingsbalken [koepel]
- Warmtebatterij luchtgroep → Verdringing [koepel]

Zonnecellen

- Licht en elektriciteit [units + koepel]
- Aandrijving installaties

###### Geothermische energie

Grondboring → Warmtepomp → Vloerconvectoren [units]

###### Ventilatie

Koepelafzuiging =warmterecuperatie → Luchtgroep → Verdringing [koepel]

###### Bevochtiging

Bomen

Watervlak

###### Exceptioneel

Destratificatoren [koepel ]

Klimaatkast + ijswatermachine [servers]

#### Opmerking!

Om zich een beter beeld van deze koppelingen te kunnen vormen, zijn in bijlage 17: 'Consensus Winter' deze systemen grafisch weergegeven op een snede van C4A.



#### 4.1.4.2 Systeemkoppeling zomer

##### Actieve zonne-energie

Zonnecollectoren

→ Buffervaten

→ Absorptiekoelmachine → Koelbatterij luchtgroep → Verdringing [koepel]  
→ [klimaatkast indien overschot] [servers]

Zonnecellen

→ Licht en elektriciteit [units + koepel]

→ Aandrijving installaties

##### Geothermische energie

Grondboring → Warmtewisselaar → Betonkernactivering [units]

Canadese putten → Luchtgroep → Verdringing [koepel + projectiezaal]

##### Natuurlijke ventilatie

Ventilatieluisen + open gevel [koepel + units]

##### Bevochtiging

Bomen

Watervlak

Hogedrukverneveling [koepel]

##### Exceptioneel

Klimaatkast + ijswatermachine [servers]

#### Opmerking!

Om zich een beter beeld van deze koppelingen te kunnen vormen, zijn in bijlage 18: 'Consensus Zomer' deze systemen grafisch weergegeven op een snede van C4A.

## 5 SYSTEEMCALCULATIE EN -SPECIFICATIE

Allereerst spitsen we ons toe op de algemene comfortcriteria voor ons project. Daarna bepalen we de nodige koel- en verwarmingsvermogens om dan ten slotte de berekeningen te doen voor elke systeem apart

### 5.1 Comfortcriteria

De mens beoordeelt de binnenlucht op drie criteria: **luchtkwaliteit, luchttemperatuur en luchtvochtigheid**. Deze drie criteria hangen nauw samen voor het comfortgevoel. Zo wordt bijvoorbeeld een gegeven luchtkwaliteit bij hoge temperatuur en hoge vochtigheid als slechter ervaren dan bij lage temperatuur en lage vochtigheid. Hoge temperaturen worden beter verdragen bij lage vochtigheid, terwijl bij een hoge vochtigheidsgraad de temperatuur laag moet gehouden worden.

Hierna volgt een opsomming van de **comfort- en gezondheidscriteria**, zowel voor **zomer als winter**, die voor de units in het *Center for Archineering* van toepassing zijn. Het betreft bijgevolg de criteria voor **plaatselijk comfort**.

#### 5.1.1 Units

##### 5.1.1.1 Winter

Comfortlimieten voor lichte, voornamelijk sedentaire activiteit tijdens de **winter**. De comfortlimieten zodat meer dan 80% van de aanwezigen de thermische binnencondities aanvaardbaar zullen vinden zijn de volgende:

- De droge resulterende temperatuur moet tussen 20 en 24°C gelegen zijn.
- De luchttemperatuur mag tussen 0,1 en 1,1 m boven het vloerpeil maximaal 3°C verschillen. [*Belangrijk voor betonkernactivering in de vloer*].
- De oppervlaktetemperatuur van de vloer moet normaal tussen 19 en 26°C gelegen zijn. [*Belangrijk voor betonkernactivering in de vloer*]
- De gemiddelde luchtsnelheid moet lager zijn dan de waarde die volgt uit de figuur uit bijlage 19: 'Toelaatbare luchtsnelheid'.
- De asymmetrie in stralingstemperatuur ten gevolg van ramen of andere koude verticale oppervlakken moet lager zijn dan 10°C (t.o.v. een klein verticaal vlak op 0,6 m boven het vloerpeil). [*Belangrijk voor units omwille van de grote glasvlakken. Aangezien de directe buitenomgeving van de units verwarmd wordt tot minimaal 14°C en het binnen 21°C is, is de maximale asymmetrie 7°C.*]

- De asymmetrie in stralingstemperatuur ten gevolg van een verwarmd plafond moet lager zijn dan 5°C (t.o.v. een klein horizontaal vlak op 0,6 m boven het vloerpeil). [*Belangrijk omwille van de betonkernactivering in het plafond.*]
- De relatieve vochtigheid moet tussen 30 en 70% gelegen zijn. Hierbij werd uitgegaan van een **Clo-factor**<sup>6</sup> van 1,0. [*We gaan uit van een ideale RV van 50% in de koepel.*]

[ Bron: De Buyst D., Prof. Dr. ir., *Technische installaties in gebouwen, rev. 1.9.2. ed 2006-2007*, Associatie Universiteit Hogescholen Limburg departement architectuur, 2006]

### 5.1.1.2 Zomer

Comfortlimieten voor lichte, vnl. sedentaire activiteit tijdens de **zomer**. De comfortlimieten zodat meer dan 80% van de aanwezigen de thermische binnencondities aanvaardbaar zullen vinden zijn de volgende:

- De droge resulterende temperatuur moet tussen 23 en 26°C gelegen zijn.
- De luchttemperatuur mag tussen 0,1 en 1,1 m boven het vloerpeil maximaal 3°C verschillen.
- De gemiddelde luchtsnelheid moet lager zijn dan de waarde die volgt uit de figuur uit bijlage 19: 'Toelaatbare luchtsnelheid'.
- De relatieve vochtigheid moet tussen 30 en 70% gelegen zijn.
- Hierbij werd uitgegaan van een *Clo-factor* = 0,5.<sup>7</sup>
- Tochthinder is afhankelijk van de luchttemperatuur en de turbulentiegraad. Om de PPD-index niet groter dan 15% te laten bedragen, dient er een courante luchttemperatuur (21°C) te worden nagestreefd, met een luchtsnelheid van

---

<sup>6</sup> **Clo**: factor om de weerstand van een bepaalde kleding uit te drukken.

**Clo= 1,0** : Categorie 'Binnenkleding in de winter'\_(Amerikaans systeem), *in concreto* ondergoed, hemd met lange mouwen, pantalon, pull-over met lange mouwen, wollen kousen en schoenen.

**Clo=0,5** : Categorie 'Lichte zomerkleding', *in concreto* slip, pantalon, open hemd met korte mouwen, lichte sokken +schoenen.

maximum  $0,15 \frac{m}{s}$ .

[\* Bron: De Buyst D., Prof. Dr. ir., *Technische installaties in gebouwen, rev. 1.9.2. ed 2006-2007*, Associatie Universiteit Hogescholen Limburg departement architectuur, 2006]

### 5.1.2 Koepel

Het ontwerp creëert een nieuw klimaat onder de overkoepeling, hetgeen zijn invloed heeft op het binnenklimaat van de units. De toegevoerde lucht voert immers afvalwarmte, waterdamp, CO<sub>2</sub> en geurstoffen af.

- Daar er gebruik is gemaakt van gepolierd beton als voornaamste grondoppervlak, is er geen extra luchtverontreiniging van de vloerafwerking.
- De relatieve vochtigheid dient tussen 30 en 70% te liggen.
- Voor een persoon die een lichte activiteit uitvoert (wandelen van unit naar unit) en bijhorend een hoeveelheid vocht van 30 à 60 g/h uitademt, mag het vochtgehalte niet groter zijn dan 11,5g per kilogram droge lucht.
- Voor het binnenklimaat van de overkoepeling is vooral van belang dat het percentage **CO<sub>2</sub>** optimaal blijft. Hiervoor is degelijke ventilatie van belang. [*We voorzien een CO<sub>2</sub>-gevoelige sturing*]
- Als men de menselijke bezoedeling als referentie neemt voor het minimum ventilatiedebiet, mag het maximum toegelaten percentage CO<sub>2</sub> in de lucht voor kantoren en publieke ruimtes slechts 0,14 bedragen. Om hieraan te voldoen is er een luchtverversing van 20m<sup>2</sup>/h per persoon nodig. De strengere Duitse norm DIN 1946 schrijft voor kantoren 30 tot 50m<sup>2</sup>/h per persoon voor.

[\* Bron: De Buyst D., Prof. Dr. ir., *Technische installaties in gebouwen, rev. 1.9.2. ed 2006-2007*, Associatie Universiteit Hogescholen Limburg departement architectuur, 2006]

## 5.2 Bepaling koel- en verwarmingsvermogen

Om de reeks systeemgelinkte calculaties uit te voeren, beginnen we met het bepalen van de koel- en verwarmingsbehoefte.

### 5.2.1 Koelvermogen units

Vermits we 'zwevende luifels' (stralingspanelen) in de gangen tussen de units hebben aangebracht die rechtstreekse zonne-instraling in de zomer vermijden, mag de **zonnefactor** voor de berekening gelijk aan nul genomen worden. Daar er geen zonnebelasting optreedt, zijn enkel de **interne winsten** en **transmissiewinst** bepalend voor het vermogen.

#### 5.2.1.1 Interne winsten

Volgende berekening geeft de **interne winsten** van de units op basis van ervaringsgerichte rekenregels voor het aantal  $\frac{W}{m^2}$  per item.

$$\text{Licht: } 15 \frac{W}{m^2} \times 1875 m^2 = 28,13 kW$$

$$\text{Elektriciteit: } 20 \frac{W}{m^2} \times 1875 m^2 = 37,50 kW$$

$$\text{Personen units: } 68 \frac{W}{pers} \times \frac{1 pers}{10 m^2} \times 1600 m^2 = 10,9 kW$$

$$\text{Personen vergaderzaal: } 68 \frac{W}{pers} \times \frac{3 pers}{10 m^2} \times 275 m^2 = 5,6 kW$$

Dit geeft een **te koelen vermogen** van **82,13kW**.

#### 5.2.1.2 Transmissiewinst

Uit de warmteverliesberekening in bijlage 20: 'Warmteverlies 03 (24,32)' blijkt dat er door de opgewarmde omgeving in de zomer bijkomend **9,4kW via transmissie** de units binnendringt.

Als we deze twee waarden in rekening brengen, wordt het te installeren koelvermogen voor de units begroot op  $82,13 kW + 9,39 kW = 91,52 kW$ .

**Conclusie:** Koelvermogen UNITS = 91,52kW

### **5.2.2 Verwarmingsvermogen units**

Deze zijn gedetailleerd berekend in bijlage 21: 'Warmteverlies units02' en begroot op **51,74kW.**

**Conclusie:** Verwarmingsvermogen UNITS = 51,74kW

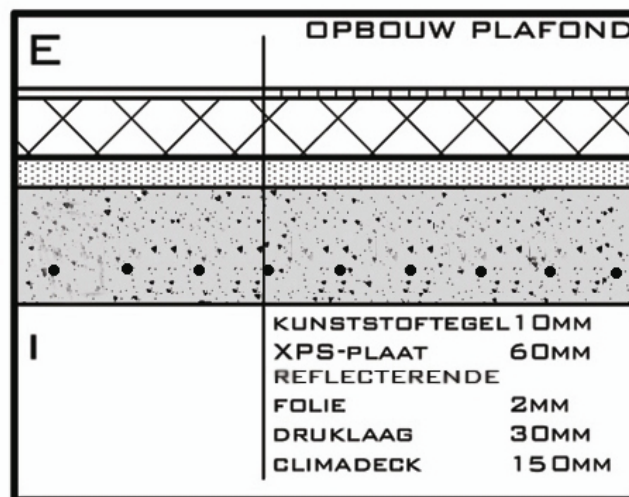
### 5.3 Systeemberekeningen

Op basis van de berekende koel- en verwarmingsvermogens, kunnen we de bijhorende systemen specificeren.

#### 5.3.1 Betonkernactivering

Nu we het te installeren koel- en verwarmingsvermogen van de units kennen, kunnen we nagaan of de BKA in onze behoeftes kan voorzien. Eerst moeten we een **exacte keuze** maken in het productaanbod van de prefabwelfsels.

Vermits de maximale overspanning van de units **6m** bedraagt, hebben we voldoende aan een prefab plaatdikte van **15cm** zoals uit de technische fiche in bijlage 22: 'BKA Climadeck' kan worden afgeleid. We kiezen dus voor het Climadeckwelfsel **type KP 15/120**. Onderstaand constructief detail geeft de opbouw van het plafond weer.



Figuur 82 : detail plafondopbouw

Na telefonisch contact met Raf Poppe, productmanager van Climadeck bij Echo, blijkt dat we voor verwarming door betonkernactivering uit mogen gaan van  $30 \frac{W}{m^2}$  opgewekt vermogen voor verwarming en  $50 \frac{W}{m^2}$  voor koeling.

Aangezien we ongeveer over  $1875m^2$  plafondoppervlak beschikken, maakt dit dat er voor

de **verwarming**  $30 \frac{W}{m^2} \times 1875m^2 = 56,3kW$  en voor

de **koeling**  $50 \frac{W}{m^2} \times 1875m^2 = 93,75kW$  opgewekt kan worden.

Aangezien we zowel BKA in het plafond als in de vloer hebben, mogen we deze resultaten voor **100%** in rekening nemen.

Dit betekent dat de betonkernactivering vlot de in bijlage 21: 'Warmteverlies units02' berekende 51,74kW kan leveren om de units te **verwarmen**. We beschouwen dit systeem dan ook als **hoofdverwarmer** van de units. (De vloerconvectoren vormen in ons geval, zoals hierna zal blijken, een noodzakelijke aanvulling op dit verwarmingssysteem omwille van koudestraling van de glasvlakken.) Ook het **koelvermogen** van 93,75kW dekt –zij het vrij nipt- de koelbehoefte van de units.

**Conclusie:** BKA levert 93,75kW koel- en 56,3kW verwarmingsvermogen, hetgeen voldoende is om in onze behoefte, respectievelijk 91,52kW en 51,75kW, te voorzien.

### 5.3.1.1 Berekening koeltijd BKA

Nu we weten dat we de koel- en verwarmlast aankunnen, willen we checken of we voldoende **tijd** hebben om de ruimtes met de opgegeven prefab welfsels van **15cm** afdoend te koelen. Onderstaande berekening gaat uit van het **accumulatievermogen** van de welfsels en geeft uiteindelijk een idee van het **aantal koeluren** dat voor de gewenste afkoeling vereist is.

$$\text{Soortelijke Warmte} = 870 \frac{J}{kgK}$$

$$\text{Soortelijk Gewicht} = 2450 \frac{J}{kgK}$$

$$\text{Plaatdikte} = 150mm$$

Via de formule van warmteopslagcapaciteit:

$$\frac{SW \times SG \times d}{3600s} = \frac{0,870 \frac{kJ}{kgK} \cdot 2450 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,15m}{3600s} = 0,089 \frac{kWh}{m^2K}$$



Met een koelbelasting van  $48,6 \frac{W}{m^2}$   $\left( \frac{91,14kW}{1875m^2} = 0,0486 \frac{kW}{m^2} \right)$  betekent dit:

$$\frac{89 \frac{Wh}{m^2 K}}{48,6 \frac{W}{m^2}} = 1,95h \text{ koelen per } ^\circ K \text{ temperatuursverandering.}$$

Wanneer de massa in de nacht  $3^\circ C$  gekoeld wordt (bv. van  $24^\circ C$  naar  $21^\circ C$ ), dan heeft men voldoende met  $3 \times 1,95h = 5,85h$  koeling, hetgeen prima mogelijk is in de nacht.

**Conclusie:** BKA koeltijd  $1,95 \frac{h}{K}$  voldoet!

### 5.3.2 Vloerconvectoren

De betonkernactivering dekt de globale verwarming en koeling van de units, maar is niet in staat aan lokale verwarming te doen. Aangezien de wanden in de units regelmatig zijn opengewerkt met **glasvlakken** van  $3m \times 3m$ , ontstaat er immers een sterke lokale **koudestraling** en aldus een onbehaaglijk gevoel in de winter. Door **vloerconvectoren** telkens vóór deze glazen vlakken te integreren, wordt een soort **warmtegordijn** opgetrokken die deze koudestraling tegengaat.

In principe worden de vloerconvectoren niet gedimensioneerd op het berekende warmteverlies, maar zijn zij dus louter functioneel **aanvullend**. Dit betekent dat er voldoende **marge** is om de units in de winter te verwarmen. We kiezen daarom voor het energiezuinige **Mini-Canal** van JAGA. Welk type we juist nodig hebben, wordt hierna bepaald. Aangezien ze in de vloer geïntegreerd worden, wordt voor het *Designo* donkerbruin gelakte afwerkingsrooster gekozen, in harmonie met de warmbruine tegelvloer.

Aangezien de glasvlakken op een raster van **drie meter** zijn ontworpen, nemen we ook deze lengte als uitgangspunt om het juiste type te kiezen. Op basis van het grondplan in bijlage 23: 'Revisie unitsontwerp' zien we dat er voor de compensatie van de glasvlakken **57 stroken van 3m** nodig zijn. Verder moeten de vloerconvectoren zoals gezegd ontworpen worden op een beoogd vermogen van **51,74kW**. In feite is het de betonkernactivering die dit verwarmingsvermogen voorziet, maar uit conservatief oogpunt dimensioneren we ook de vloerconvectoren op dit warmteverlies. Aan de hand van volgende formule kunnen we het juiste type vloerconvectoren kiezen op basis van haar afgifte:

$$\begin{aligned} \text{afgifte}(W) \times \frac{x(L - 30\text{cm})}{100} &= \text{vermogen}(W) \\ \Rightarrow \text{afgifte} &= \frac{\text{vermogen} \times 100}{x(L - 30\text{cm})} \\ \Rightarrow \text{afgifte} &= \frac{51736W \times 100}{57(300\text{cm} - 30\text{cm})} = 336W \end{aligned}$$

Aan de hand van de berekende moduleafgifte kiezen we uit de technische fiche (zie bijlage 24: 'Vloerconvector Mini-Canal') het **type B26-H11-L300** met een afgifte van **349W**.

**Conclusie:** 57 Mini-Canal type B26-H11-L300 met afgifte 349W per module, in stroken van 300cm.

### 5.3.3 Stralingspanelen

De lucht van de koepel staat uiterlijk op  $-0,3^{\circ}\text{C}$ , zoals berekend in 3.4.3.2.2 'Gelijkstellen van de vergelijkingen', terwijl we het streefdoel op  $18^{\circ}\text{C}$  gevoelstemperatuur in de onderste 3 meter wandelgangen wensen te stellen.

Het te plaatsen gemiddeld vermogen van de panelen laat zich berekenen aan de hand van de stralingsintensiteit. Naar aanleiding van overleg met Ludo Monten, vertegenwoordiger Sabiana stralingspanelen, hanteren we volgende ervaringsgerichte rekenregel:

Een stralingsintensiteit van  $14 \text{ W/m}^2$  verhoogt de aanwezige ruimtetemperatuur met  $1^{\circ}\text{C}$ .

Vermits wij een ruimtetemperatuur van  **$18^{\circ}\text{C}$**  nastreven en er een stralingsintensiteit van  **$55 \text{ W/m}^2$**  voorzien dient te worden onder het ervaringscriterium 'behaaglijke stralingsintensiteit', betekent dit dat de luchttemperatuur van de ruimte moet staan op:

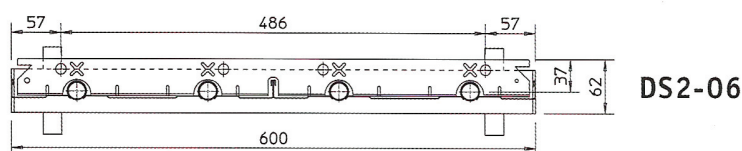
$$18^{\circ}\text{C} - \frac{55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} / ^{\circ}\text{C}} = 14,1^{\circ}\text{C}$$

Deze luchttemperatuur wordt gehaald door de verdringingsventilatie (zie 5.3.6.2 'Luchtgroep'). De stralingspanelen moeten in de aangestraalde zones deze temperatuur verhogen naar 18°C.

We maken de keuze om in de koepel de **Duck Strip** stralingspanelen van **SABIANA** te voorzien. De hieronder gebruikte waardes zijn op basis van de tabellen in bijlage 25: 'Stralingspanelen tabellen'.

We kiezen omwille van een tussen de units voorziene gangbreedte van 2,40m voor het type DS2-06 (60cm breedte; zie bijlage 26: 'Stralingspanelen technisch').

Model **DS2** - Ø 1/2" 150 mm pijpafstand



**Figuur 83 : technische snede Duck Strip DS2\_Sabiana**

Lokaaltemperatuur: 14,1°C (zie bovenstaande redenering)

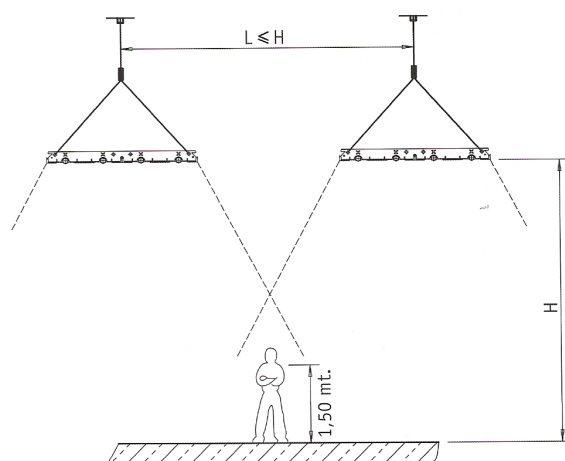
Mediumtemperatuur: 80°C (zonnecollectoren Vitosol 100)

→ $\Delta T_m = 66^\circ\text{C}$

Bijhorende warmteafgifte: 356 W/m

Minimale installatiehoogte: 3,10m

Aangezien onze unithoogte 3,4m bedraagt, wordt ter uitlijning ook de installatiehoogte van de panelen 3,4m genomen. Zoals op *figuur 84* te zien is, moet de hart-op-hart maat van de panelen kleiner of gelijk zijn aan 3,4m. Aangezien een gangbreedte van 2,4m, kiezen we voor een enkele reeks panelen van 60cm breedte. De panelen worden in de koepel wel op de HOH-afstand gehangen, en variëren zelfs van hoogte naargelang de koepelvorm, om alzo het



**Figuur 84 : hart-op-hart maat ifv installatiehoogte**

ruimtelijke effect van de koepelhoogte niet te zeer te verstoren.

Aangezien we 55 W/m<sup>2</sup> stralingsintensiteit nastreven om een behaaglijk en aangenaam gevoel te bekomen, en we over 4 330m<sup>2</sup> te verwarmen vloeroppervlakte beschikken, moet het geïnstalleerde vermogen van de stralingspanelen gelijk zijn aan:

$$55 \frac{W}{m^2} \times 4330m^2 = 238,15kW$$

Met een warmteafgifte van 356 W/m, betekent dit dat er minimaal

$$\frac{238,15kW}{0,356 \frac{kW}{m}} = 669$$

lopende meter stralingspaneel DS2-06 voorzien moet worden. Als we op het vereenvoudigde grondplan van het C4A de nodige stralingspanelen aanduiden, rekening houdend met de minimale tussenafstanden, komen we aan een totaal van 678 lopende meter (zie bijlage 27: 'Vereenvoudigde geometrie'). Er is dus sprake van een kleine functionele marge. Op de tekening in bijlage is eveneens te zien waar de panelen hoger worden gehangen, anticiperend op de koepelvorm.

### 5.3.4 Geothermiek

#### 5.3.4.1 Grondwarmtewisselaar

Uit de Databank Ondergrond Vlaanderen (**DOV**), bekomen we -via de Lambertcoördinaten van onze site- een aantal geologische gegevens. Bijlage 3: 'Grondanalyse' toont de resultaten van de diepste boring en sondering. Er blijkt enkel onderzoek tot op **20m** diepte zijn uitgevoerd. De hoofdsamenstelling is **zandgrond**. Verdere info over de grond is er niet. Daar grondwarmtesystemen tot op grotere dieptes worden uitgevoerd om het nodige vermogen te kunnen opwekken, dient in realiteit een significantere analyse te gebeuren om de specifieke grondsamenstelling te kennen. Elke grondlaag heeft immers haar eigen karakteristieken. Aangezien we geen zekerheid over het verdere verloop van de grondlagen hebben, gaan we ter berekening uit van een ondergrond die geschikt genoeg is om boringen tot **100m** uit te voeren. Daar we geen volledige gegevens hebben, gaan we uit van een benaderende zandhoudende grond, waarvoor de worst-case rekenregel geldt van

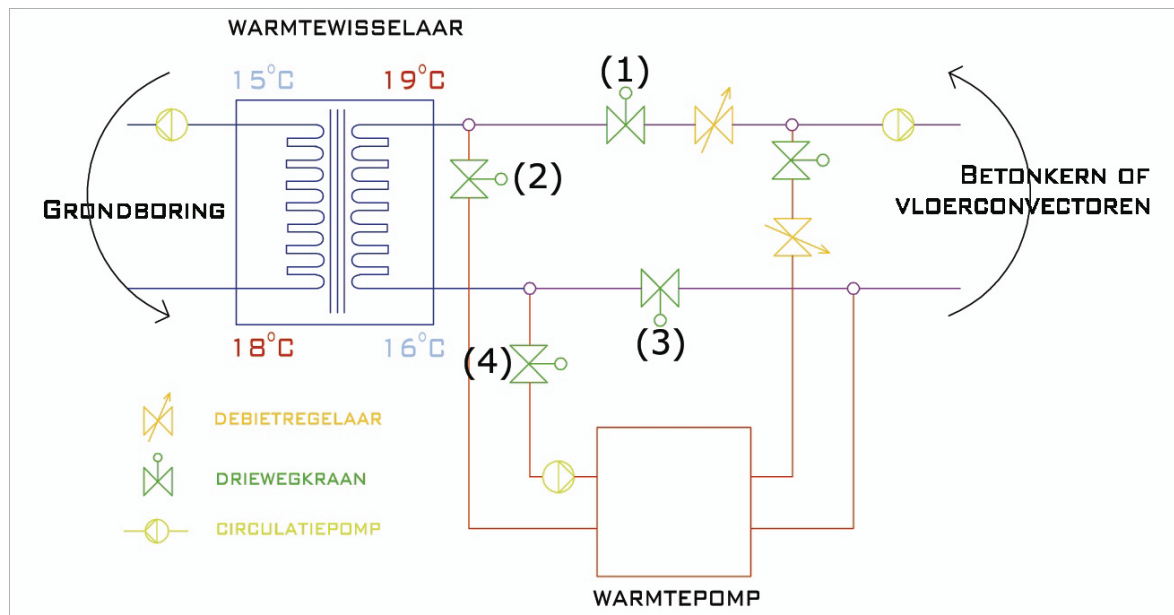
*30W warmteafgifte per lopende boormeter.*

Het feit dat er een aantal veronderstellingen gedaan worden is niet catastrofaal. Het is vooral de bedoeling een idee te krijgen van de **systemparameters**, zoals het nodige aantal boringen, de diameter van de buizen en welk type warmtepomp hierop aangesloten wordt.

Als we de rekenregel voor zandgrond toepassen en weten dat we 51,7kW moeten kunnen leveren, moeten er  $\frac{51700W}{30\frac{W}{m}} = 1724m \times \frac{100m}{boring} = 18boringen$  uitgevoerd worden.

Elke put bevat **5 leidingen**: Twee departleidingen, twee retourleidingen en één stortleiding om de geboorde put terug af te dichten en alzo de eventueel doorboorde kleilagen te herstellen. De leidingen worden via een diameter 32 PE-buis naar de collector gevoerd en vandaar verspreid naar de warmtewisselaar en warmtepomp. Vanaf hier vertrekken leidingen naar het secundaire systeem.

Het Tichelmann-netwerk van de grondwarmtewisselaars staat via gemotoriseerde **driewegskranen** gekoppeld op enerzijds een warmtewisselaar en anderzijds een warmtepomp. In onderstaand schema wordt deze koppeling duidelijk.



**Figuur 85 : detailschema koppeling grondwisselaar met warmtepomp en warmtewisselaar**

## Uitleg figuur

Het temperatuursregime van de **primaire** waterstroom komende van de grondboring staat op 18°C/15°C (in/out) over de warmtewisselaar. De **secundaire** waterstroom na de wisselaar staat in **tegenstroom** op 19°C/16°C. Op deze watercyclus staat een samenwerkend systeem van gemotoriseerde **driewegskranen** om de koppeling te maken met de warmtepomp. Als de kranen (1) en (3) open staan en (2) en (4) dicht, maakt men enkel gebruik van het principe van de **warmtewisselaar** met het oog op koeling. Draait men daarentegen het systeem om, namelijk (1) en (3) dicht en (2) en (4) open, wordt het water via de **warmtepomp** opgewaardeerd voor verwarmingsdoeleinden. Aangezien de watercyclus aangedreven wordt door een **circulatiepomp**, is het noodzakelijk dat deze pomp telkens dezelfde weerstand ondervindt van zowel de warmtepomp als de wisselaar. Vandaar dat er op de twee kringen telkens nog een **debietregelaar** gekoppeld is.

**Conclusie:** Tichelmann-netwerk 18 grondboringen van 100m.

### 5.3.4.2 Warmtepomp

De warmtepomp moet de vloerconvectoren voeden met warm water. Vermits de vloerconvectoren integraal op de **warmtepomp grond/water** zijn aangesloten, wordt deze op basis van onderstaande berekening specifiekier uitgewerkt.

Via de technische fiche van Viessmann (zie bijlage 28: 'Warmtepomp Vitocal 300') selecteren we twee Vitocal 300-warmtepompen **type BW226 B0/W35** met elk een verwarmingsvermogen van 28kW, zodat er **56kW** voorzien wordt en de verwarmingsbehoefte van 51,74kW bijgevolg ruim gedekt is. Deze warmtepompen hebben elk een **COP<sup>8</sup> van 4,57** en verbruiken elk 6,1kW elektrische energie (afkomstig van de PV-generator).

**Conclusie:** 2 warmtepompen VITOCAL 300 type BW226 B0/W35 met totaal vermogen = 56kW en verbruikt vermogen = 12,2kW

---

<sup>8</sup> **COP:** Eng. Coëfficiënt Of Performance.

### 5.3.4.3 Warmtewisselaar

Op basis van het koelvermogen voor de units wordt eveneens de inox warmtewisselaar, die op de grondboring gekoppeld staat, gedimensioneerd. Het betreft een **platenwisselaar** aangezien door kalkaanslag de platen gereinigd moeten kunnen worden. Vermits we 91,52kW koeling moeten voorzien, kiezen we voor een plaatwarmtewisselaar **type M6-MW FG** van Alfa Laval (zie [bijlage 29: 'Plaatwarmtewisselaar'](#)), die koelvermogens aankan tussen 35kW en 250kW en een ontwerpdruk van 1,6MPa. Aangezien de zeer specifieke berekeningen, valt de juiste opbouw en dimensionering door de fabrikant te worden bepaald.

**Conclusie:** plaatwarmtewisselaar type M6-MW FG

### 5.3.5 Vermogensberekening lucht

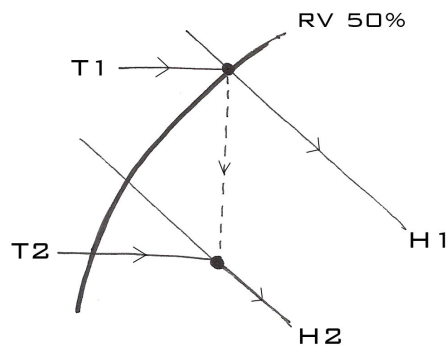
#### 5.3.5.1 Algemeen

De berekening van het systeemvermogen, voor koeling of verwarming met **lucht**, gebeurt op basis van onderstaande formule.

$$P = \frac{\dot{V} \cdot sg \cdot \delta H}{3600}$$

Met	$P$	Vermogen ( $kW$ )
	$\dot{V}$	Volumedebiet $\left(\frac{m^3}{u}\right)$
	$sg$	Luchtdichtheid $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
	$\delta H$	Verschil in enthalpie $\left(\frac{J}{kg} = \frac{W}{kg \cdot s}\right)$

Het verschil in enthalpie bekomen we via het **Molierdiagramma**. Hieronder wordt de werkwijze aan de hand van onderstaande schets kort verduidelijkt. De exacte figuur is terug te vinden in [bijlage 15: 'Molierdiagramma'](#).



**Figuur 86 : principe Moliardiagramma**

Bij het Moliardiagramma ligt de **temperatuur** ( $^{\circ}\text{C}$ ) op de Y-as, het **vochtgehalte**  $\left(\frac{\text{g}}{\text{kg}}\right)$  op de X-as en de **RV** (%) op de gebogen lijnen. De begintemperatuur  $T_1$ , de beoogde temperatuur  $T_2$  en RV dienen gekend te zijn.

Met  $T_1$  en RV gekend, kunnen we het snijpunt van de bijhorende lijnen bepalen. Aangezien we er van uit gaan dat er **niet bevochtigd of gedroogd** wordt, kunnen we in een verticale lijn van  $T_1$  naar  $T_2$  verschuiven. Weer vinden we een snijpunt. De bijhorende resp. enthalpiewaardes  $H_1$  en  $H_2$  worden gevonden door vanuit deze punten de diagonale lijnen te volgen. Hieruit kan  $\delta H = H_1 - H_2$  gevonden worden.

In de **ontwerpfase** rekent men echter sneller met een vereenvoudigde formule, waarbij het Moliardiagramma niet gebruikt hoeft te worden. De basisformule wordt dan tot volgende **ontwerpformule** herleid:

$$P = 0,34 \cdot \Delta T \cdot \dot{V}$$

De factor 0,34 bekomt men wanneer men de standaard dichtheid van de lucht  $1,224 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  aanneemt en deelt door de term 3600 uit de noemer. Aangezien de eerste formule het meest exact is, gebruiken we voor de **eenduidigheid** overal de **basisformule** in samenspraak met het Moliardiagramma.

**Conclusie:** We gebruiken voortaan  $P = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot \delta H}{3600}$  als vermogenberekening.

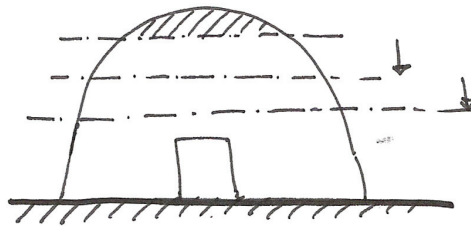


### 5.3.5.2 Berekening totale koelvermogen koepel

In het kader van het te berekenen netto koelvermogen van de koepel, is het noodzakelijk eerst de hoeveelheid door natuurlijke ventilatie afgevoerde warmte te kennen. Deze kan men immers in vermindering brengen van het totale berekende koelvermogen.

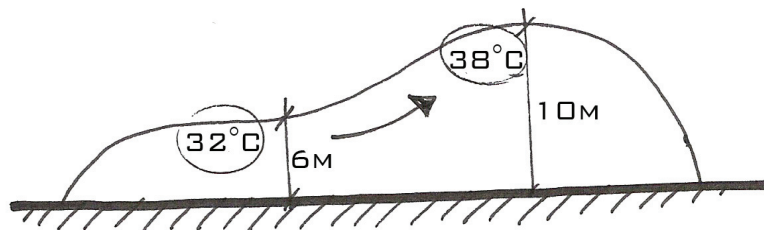
#### 5.3.5.2.1 Afvoer warmtevermogen door natuurlijke ventilatie

We gaan om te koelen uit van **24°C comforttemperatuur** in de gangzones in de zomer. Doordat de stijgende warme lucht zich bovenaan de koepel verzamelt, moeten we rekening houden met de vorming van een **warmtefront** vanaf de top van de koepel. Na telefonisch contact met Etienne Poncelet, Directeur Halton België, blijkt dat om de temperatuur van het warmtefront te berekenen, een vermeerdering van 1,5°C per meter hoogte geteld mag worden. Voor de gemiddelde gebouwhoogte van 6m, komt dit neer op een **toptemperatuur** van  $24^{\circ}\text{C} + \left(1,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}} \times (6\text{m} - 1\text{m}_{\text{startniveau}})\right) = 31,5^{\circ}\text{C}$ .



Figuur 87 : vorming van warmtefront

Door de architecturale vormgeving van de koepel, verzamelt de stijgende lucht zich echter op één centrale plaats met een hoogte van **10m**. Hier bekommen we een toptemperatuur van **38°C (=T<sub>1</sub>)**. Het is deze warmte die we willen **eliminieren** tot de buitentemperatuur aan de



Figuur 88 : architecturale vorm leidt warmte naar hoogste punt

hand van natuurlijke ventilatie.

Uit het aangevraagde KMI-diagramma (zie [bijlage 8: 'Temperatuursfrequentie'](#)) blijkt dat de **buitentemperatuur** op het heetste van het jaar **31°C (=T<sub>2</sub>)** bedraagt (gedurende 5,33 u per jaar; 35°C is de maximaal gemeten temperatuur, maar omwille van het exceptionele voorkomen, nemen we 31°C als aanvaardbare uiterste waarde).

Het **ventilatievoud** voor de luchtkoepel wordt **10u<sup>-1</sup>** genomen. Dit is een benadering van een volledig geopend atrium en geopende koepelluiken.

Het koelvermogen bedraagt bijgevolg:

Voor de basisgegevens		
T <sub>1</sub> =	38 °C	Max. koepeltemperatuur
T <sub>2</sub> =	31 °C	Buitentemperatuur
v =	10 u <sup>-1</sup>	Ventilatievoud
V=	31560 m <sup>3</sup>	Koepelvolumen
$\dot{V}$ =	315600 m <sup>3</sup> /u	Volumedebiet

Vermogensberekening op basis van Molierdiagramma		
sg=	1,15 kg/m <sup>3</sup>	
H <sub>1</sub> =	91,8 kJ	
H <sub>2</sub> =	85 kJ	
$\Rightarrow P = \frac{\dot{V} \cdot sg \cdot \delta H}{3600} = \mathbf{685,6 \text{ kW}}$		

Het bekomen vermogen is de hoeveelheid warmte die **via natuurlijke ventilatie** uit de koepel kan worden **afgevoerd**. Dit vermogen dient gekend te zijn om later het nodige koelvermogen exact te kunnen berekenen en dus geen overcalculatie door te voeren.

**Conclusie:** Warmteafvoer door natuurlijke ventilatie 685,6kW

### 5.3.5.2.2 Totaal koelvermogen koepel

De volgende stap in de berekening is het **totale koelvermogen** van de schil te berekenen. Dit doen we op basis van de **Carrier-methode** aan de hand van het softwareprogramma *Carrier Hourly Analysis Program v4.06*. De resultaten zijn opgenomen in [bijlage 31: 'Carrier koelvermogen koepel'](#).

Een korte samenvatting en verklaring van deze **resultaten** is gepast.

Berekening gedaan voor de piekperiode van 14 juni, locatie Antwerpen	
Zonneoppervlak:	5910m <sup>2</sup>
Lichtlast:	34300W
Elektrische last:	3000W
Aantal personen:	1125
Skylighttransmissie:	5910m <sup>2</sup>

Het oppervlakte bij de skylighttransmissie bedraagt ondanks de semi-transparantie van de PV-modules 5910m<sup>2</sup>. De reden hiervoor is dat in dat oppervlak een specifiek ingerekende waarde voor de semi-transparante zonnepanelen vervat zit. Het programma rekent met een **Shade-coëfficiënt**. Deze valt te bepalen aan de hand van de door ons gevonden **ZTA-waarde**<sup>9</sup>.

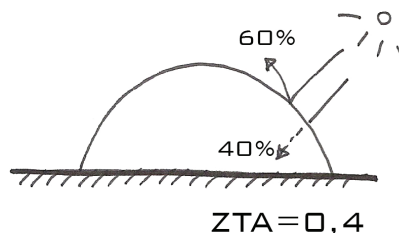
	Zonnecellen	Zonnereflecterend glas
ZTA of β-waarde	0	0.7
Bezettingsgraad	50%	50%
Totale ZTA	<b>0,35</b>	

Omrekening van ZTA-waarde naar Shade-coëfficiënt:

$$\text{Shadecoëff} \times 0,88 = ZTA$$

$$\Rightarrow \text{Shadecoëff} = \frac{ZTA}{0,88} = \frac{0,35}{0,88} = 0,4$$

Deze Shade-coëfficiënt is een maat voor de toelating van de **zonnestraling** in het gebouw.



**Figuur 89 : grafische vertaling van de ZTA-waarde**

<sup>9</sup> **ZTA**: Zon Toetreding Absoluut. De ZTA-waarde is een maat waarmee het glas de zonnestraling tegenhoudt en dus ook de opwarming van het lokaal.

Door de geïntegreerde semi-transparantie en het reflecterende glas is er dus slechts 40% van de zonnestraling die het gebouw binnendringt.

De geometrie van de koepel dient als volgt vereenvoudigd te worden ingegeven. Aangezien de schil de perfecte **gradiënt** tussen 0° en 90° vormt voor de optimalisatie van de zonnepanelen, nemen we een gemiddelde helling van het dak aan van **45°**. Het volume wordt eveneens gestyleerd tot een vierkant volume met elk een zijde bedekt met 1477m<sup>2</sup> glas (semi-transparantie van de panelen ingerekend in de ZTA-waarde) en 1m<sup>2</sup> 'dak' (= minimum in te geven waarde vermits er geen 'dak' is).

De software berekent dat voor de piek op 14juni een **design (bruto) koelwaarde** van **1033,3kW** voorzien moet worden.

#### **5.3.5.2.3 Netto koelvermogen koepel**

Het **brutovermogen** van 1033,3kW is gerekend zonder de warmteafvoer door de natuurlijke ventilatie in te calculeren. Aangezien we eerder al berekend hadden dat er 685,6kW via het dak aan warmte wordt afgevoerd, bekomen we  $1033,3kW - 685,6kW =$  **347,7kW** als te installeren koelvermogen.

<p><b>CONCLUSIE:</b> Te installeren koelvermogen koepel = 347,7kW</p>
---

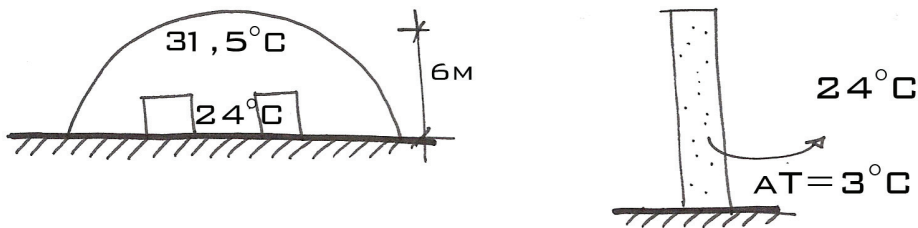
### **5.3.6 Luchtverdringing**

#### **5.3.6.1 Verdringingsventilatie**

Met het zonet berekende koelvermogen kunnen we het te leveren debiet van de verdringingsinstallatie voor de **koepel** nader dimensioneren.

Zoals al vermeld beschouwen we 24°C als comforttemperatuur in de **zomer**. Daar de koepelhoogte gemiddeld 6m bedraagt (een berekening met de centrale hoogte van 10m zou

een overcalculatie geven), heerst er via de  $+1,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$  rekenregel bovenaan de koepel een warmtefront van **31,5°C**. We gaan er in worst case vanuit dat dit front zich ophoopt tot op leefniveau en dit dus de te verlagen ruimtetemperatuur is.



**Figuur 90 : links: weergave temperaturen voor berekening**

**rechts: inblaastemperatuur 21°C**

Met de uit het Molierdiagramma gedestilleerde waardes, doen we volgende debietberekening:

Voor de basisgegevens

$T_1 =$	31,5 °C	Max.koepeltemp.
$T_2 =$	21 °C	Wandelzone

Berekening op basis van Molier-diagramma

$sg =$	1,2 kg/m <sup>3</sup>
$H_1 =$	69 kJ
$H_2 =$	40,8 kJ

$$\Rightarrow P = \frac{\dot{V} \cdot sg \cdot \delta H}{3600} = 347 \text{ kW} \quad (\text{zie reeds berekend})$$

$$\Rightarrow \dot{V} = \frac{P \cdot 3600}{sg \cdot \delta H} = 36915 \frac{\text{m}^3}{\text{u}}$$

**CONCLUSIE:** Volumedebiet luchtgroep voor koeling =  $36915 \frac{\text{m}^3}{\text{u}}$

### 5.3.6.2 Luchtgroep

De technische keuze van de luchtgroep en het bepalen van de juiste afmetingen in functie van het voor  $36915 \frac{m^3}{u}$  berekende debiet is vrij complex en vergt **gespecialiseerde** kennis.

Er dient namelijk rekening gehouden te worden met de temperatuur van de warmtebron, de samenstelling van de verschillende secties, aanwezigheid van controledoeuren, etc. We hebben bijgevolg beroep gedaan op de professionele hulp van fabrikant **Gea-Happel**. Op basis van de onderstaande eisen heeft men een ontwerpvoorstel gedaan.

**Eisen** waaraan de door ons toegepaste luchtgroep moet voldoen:

- Pulsiegroep met minimaal debiet van  $36915 \frac{m^3}{u}$
- Luchtgroep met menging en recuperatie (van de zonelucht)
- Koelbatterij van minimaal 347,7kW (op basis van koelvermogen)

**Opmerking:** We hadden besloten om niet expliciet te verwarmen met de verdringingsinstallatie. Het was echter wel de bedoeling om de koude inblaasluucht op een aanvaardbare temperatuur te krijgen, om zo geen te grote ventilatieverliezen te veroorzaken. Aangezien 14°C als voorwaarde voor de stralingspanelen was aangenomen, is het essentieel voor te verwarmen om de koele lucht op deze uitgangstemperatuur te krijgen. Het mengregime van het grondkanaal op 4m diepte en de koepelafzuiging is in principe voldoende om deze **voorverwarming** te realiseren. Dit is echter ook **weersafhankelijk**. Voor het geval lagere temperaturen worden behaald, dienen we een actieve verwarming te voorzien, onder de vorm van een **warmtebatterij** in de luchtgroep.

Met de richtwaarde van 14°C in de koepel, berekenen we het te installeren vermogen van de warmtebatterij. Een warmteverliesberekening van de schil met pulsietemperatuur 15°C (zie bijlage 32: 'Warmteverlies schil02\_pulsie15') geeft 308,8kW als verlieswaarde.

Het totale warmteverlies van de koepel is echter niet het te installeren vermogen. We moeten ook rekening houden met het **warmteverlies van de units onder de schil**. De warmte die de units verliezen –enkel via het plafond en de wanden- is immers een winst voor de koepel. Het totale verlies van het gebouw via de schil wordt als volgt bekomen:

$$\textit{Totaal verlies} = \textit{verlies koepel} - \textit{verlies units zonder vloerverlies}.$$

Als we het in bijlage 33: 'Warmteverlies units voor schil' berekende warmteverlies van de units zonder vloer, namelijk 36,1kW kennen, wordt het totaal warmteverlies:

$$308,8kW - 36,1kW = 272,7kW$$

Tenminste als we met de verdringing steeds een **pulsie van 15°C** in de koepel kunnen garanderen. De luchtverdringing is namelijk via een warmtebatterij gekoppeld op de zonnecollectoren, waarvan opgewekte vermogen nog te onzeker is. Het is naar conservatief rekenen toe veiliger af te zwakken tot een **pulsie van 10°C**.

Als we de herberekening doen met pulsietemperatuur 10°C, bedraagt het totale warmteverlies (zie bijlage 34: 'Warmteverlies schil02 pulsie10') 433,2kW.

Bij de berekening die hieronder volgt, zijn we ervan gegaan dat we de koude lucht van -5°C opwaarderen tot 10°C. In de berekening is rekening gehouden met de positieve invloed van het verlies van de units ten opzichte van de koepel.

<i>Zie bijlage 34 'Warmteverlies_schil02_pulsie10'.xls'</i>			
Verlies koepel	<b>433,2 kW</b>	met $\theta_{\text{binnen}}$	14°C
		$\theta_{\text{pulsie}}$	10°C
		$\theta_{\text{buiten}}$	-5°C
<i>Zie bijlage33 'Warmteverlies_units voor schil.xls'</i>			
Verlies units	<b>36,1 kW</b>	met $\theta_{\text{binnen}}$	21°C
(zonder vloer)		$\theta_{\text{pulsie}}$	22°C
		$\theta_{\text{wanden}}$	18°C
		$\theta_{\text{plafond}}$	-0,3°C
<b>TOTAAL verwarming koepel</b>	<b>397,1 kW</b>		

Uit voorstel van Gretel Ver Eecke van GEA-HAPPEL Belgium blijkt volgende oplossing:

- Luchtgroep **GH type 220.188** (zie bijlage 35: 'Luchtgroep Gea-Happel') met bijhorend debiet van  $37\,000 \frac{m^3}{u}$  en een nominaal verbruik van **22kW**.
- Vermogen verwarmingsbatterij : 434 kW van 0°C tot 35°C met water 80/60°C
- Vermogen koelbatterij : 436 kW van 30°C tot 10°C met water 6/12°C

De luchtvang van de groep gebeurt via een **Canadees kanaal**. De kanalen vertakken zich **ondergronds** naar de ventilatiearmaturen.

De afmetingen van de algemene technische ruimte voor de luchtgroep, absorptiekoelmachine en ijswatermachine zijn afhankelijk van de systeemgeometrie,

dewelke door de fabrikanten is bepaald. Een ruwe schatting levert ons een idee van de te voorziene plaats.

Indien alle installaties in één **technische ruimte** worden ondergebracht, rekening houdend met de plaats voor de nodige aan- en afvoerleidingen etc, mag men ervaringsgewijs rekenen op een lokaal van minimaal **10x10x5m** (LxBxH). Dit technisch lokaal wordt ondergebracht in de gedeeltelijke onderkeldering van het project en is bereikbaar van buitenaf, zowel voor onderhoud als voor de plaatsing van de erg omvangrijke installatieonderdelen.

**Conclusie:** Pulsieluchtgroep Gea-Happel type 220.188

Debiet  $37000 \frac{m^3}{u}$     434kW warmtebatterij    436kW koelbatterij    Verbruik 22kW

### 5.3.6.3 Verdringingsarmaturen

Vermits de armaturen als losstaande objecten in de koepel worden geplaatst, mogen ze noch figuurlijk, noch letterlijk aanstootgevend zijn. Esthetisch en functioneel gezien kiezen we voor **cilindervormige** armaturen. Zoals uit de softwarematige berekening<sup>10</sup> (zie [bijlage 36: 'Berekening verdringingsventilatie'](#)) blijkt, zijn er minimaal 30 armaturen nodig van elk 1,8m hoogte, een bijhorend debiet van  $1233 \frac{m^3}{h}$  en een maximale totale drukval  $\Delta P_{tot}$  van 9Pa. Op basis van deze parameters kiezen we via de ontwerptabel in [bijlage 37: 'Verdringingsarmatuur Halton'](#) het **type AFC-400** met een debiet van  $1440 \frac{m^3}{h}$  en een totale drukval  $\Delta P_{tot}$  van 7Pa.

**Conclusie:** Cilindrisch verdringingsarmatuur AFC\_400

---

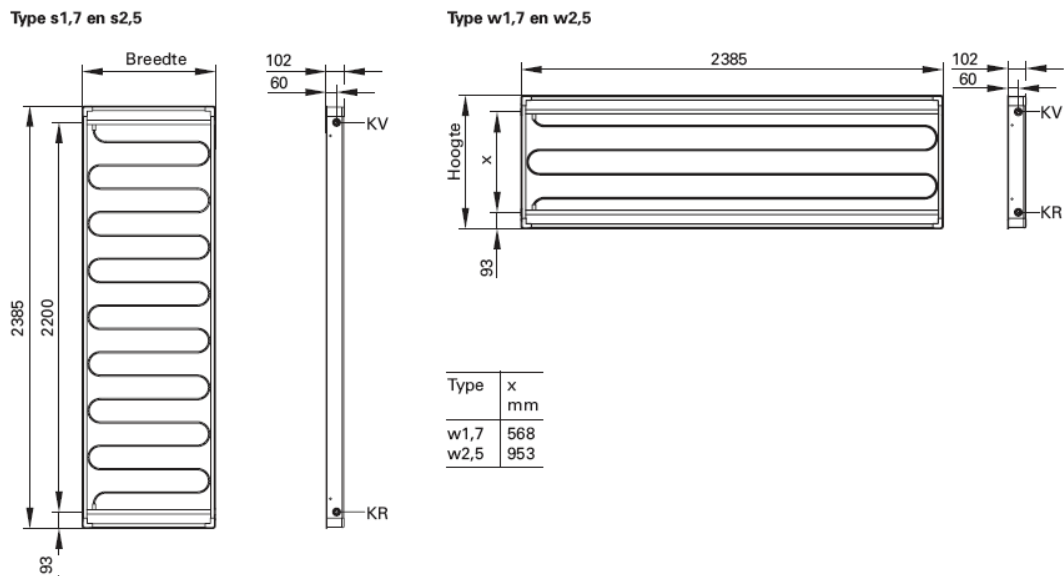
<sup>10</sup> **Berekeningssoftware:** Halton Hit Design



### 5.3.7 Thermische zonne-energie

#### 5.3.7.1 Zonnecollectoren

We maken gebruik van vlakkeplaatcollectoren **Vitosol 100 s/w2,5** van Viessmann. (zie bijlage 38: 'Zonnecollector Vitosol100'). Ze hebben een nuttige oppervlakte van 2,5m<sup>2</sup> en een optisch rendement van 84%.

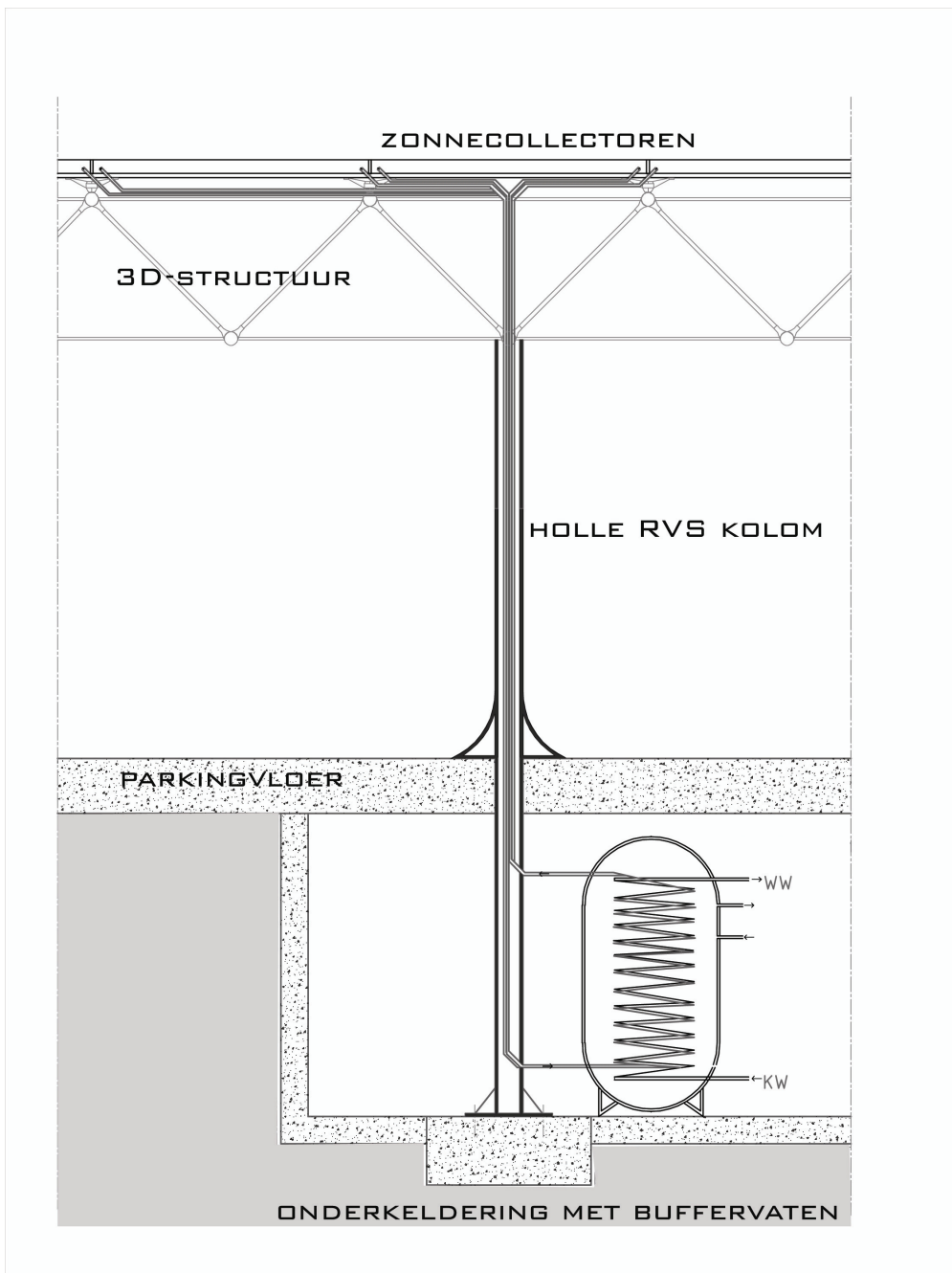


**Figuur 91 : technische tekeningen zonnecollector s/w 2,5**

Concreet gaat het om 664 aangesloten modules die op een **1800m<sup>2</sup>** grote **stalen structuur** zijn aangebracht. Zij vormen de overdekking van de parking.

**Conclusie:** 1800m<sup>2</sup> = 664 Vitosol100 s/w 2.5 zonnecollectoren

De staalstructuur rust op haar fundering via **holle RVS kolommen**. Sommige van deze kolommen worden als constructief dragend geskipt en voeren de leidingen van de zonnecollectoren naar de onderliggende onderkeldering. Hiervoor dient er rondom de koperen leidingen goede **isolatie** te worden voorzien, aangezien de grote **warmtespanningen** intern. Eventueel dienen ze te worden geperforeerd of met een schouwventilatieprincipe te worden geventileerd om oververhitting te voorkomen.



**Figuur 92 : detail afvoer collectorleidingen via holle kolom naar buffervat**

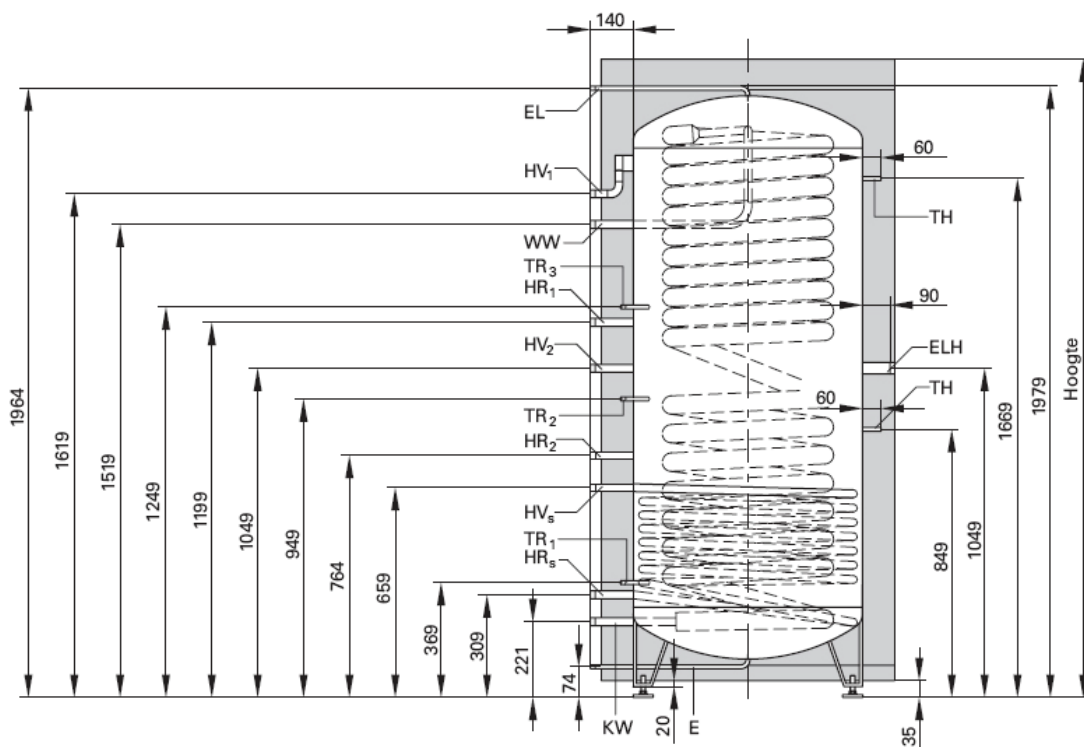
### 5.3.7.2 Opslagvaten

Het is de rekenregel om het volume van de te voorziene warmwateropslag van de zonnecollectoren te begroten op **50liter opslag per vierkante meter** zonnecollector. Aangezien we over 1800m<sup>2</sup> collectoroppervlak beschikken, geldt volgende berekening:

$$50 \frac{l}{m^2} \times 1800m^2 = 90000l \times 1000 \frac{l}{vat} = 90vaten \text{ van telkens diameter } 1055mm \text{ en een hoogte}$$

van 2070mm (zie bijlage 39: 'Opslagvat Vitocell L100'). Met telkens 60cm tussen de vaten omwille van technisch onderhoud en controle, bekomen we netto een oppervlakte van **245m<sup>2</sup> onderkeldering** die onder de parking zal moeten worden voorzien.

Zoals gezegd zal in deze onderkeldering ook nog het technisch lokaal van de **absorptiekoelmachine** worden gehuisvest.



**Figuur 93 : snede opslagvat**

**Conclusie:** 90 Vitocell L100 opslagvaten in 245m<sup>2</sup> onderkeldering

### 5.3.7.3 Absorptiekoelmachine

Vermits de absorptiekoelmachine de koelbatterij van de verdringingsluchtgroep bevoorraadt, dient het koelvermogen van de koepel (347,7kW) te worden gebruikt ter dimensionering.

We voorzien **vier Yazaki WFC S-C30** koelmachines die elk 105,5kW = **422kW** leveren (zie bijlage 40: 'Absorptiekoeling Yazaki'). Het verbruik per module bedraagt 0,3kW, hetgeen een totaal van 1,2kW inhoudt.

De absorptiekoelmachine wordt in een onderkeldering van de parkeerplaats geïnstalleerd, bereikbaar via een aparte toegang.

**Conclusie:** 4 Yazaki WFC S-C30 koelmachines = 422kW met verbruik 1,2kW

### 5.3.8 Elektrische systemen

#### 5.3.8.1 Klimaatkasten

##### 5.3.8.1.1 Eisen

Het is vooraleer een berekening uit te voeren prioriteit de **strengere omgevingsvoorwaarden** voor serverlokalen in kaart te brengen.

##### 5.3.8.1.1.1 Temperatuur

Het is in het algemeen aanbevolen dat de temperatuur binnen in een server-rack<sup>11</sup> de 23°C niet overstijgt.

Meestal wordt de veranderende temperatuur in de server ruimte zelf als richtwaarde genomen om de klimatisering te sturen. De temperatuur in de ruimte kan echter sterk verschillen van de temperatuur in de server-racks. De sensoren die de klimaatkast coördineren worden dus het best in de server-racks geplaatst in plaats van in de serverruimte zelf. Zo kunnen de temperatuurschommelingen in de server-racks stipt worden bijgestuurd.

---

<sup>11</sup> **Server-rack:** Opstelmodule waarbinnen een aantal servers horizontaal met voldoende luchtsponw ten opzichte van elkaar zijn gestapeld.

### 5.3.8.1.1.2 Relatieve Vochtigheid

Meestal wordt enkel de temperatuur in de serverrooms nagestreefd, maar houdt men geen rekening met de gevaren van de relatieve vochtigheidsgraad. Een lage RV (<35%) houdt gevaar voor elektrostatiche ontlading in. Deze kunnen een blijvende schade aanrichten voor de installaties.

Een ander gevaar van een lage RV is het ontbinden van sommige in de installaties gebruikte kunststoffen, met een vroegtijdige veroudering als gevolg. Om de gevaren van een lage RV te voorkomen, dient bevochtiging in de koelmachine te worden geïntegreerd. Een hoge RV of snelle temperatuursdalingen resulteren in condensatie die op alle oppervlaktes kan voorkomen. Water kan condenseren aan de binnenkant van de IT-installatie en laat roest en vuil achter. De RV in server rooms zou rond 50% moeten liggen met een maximale marge van  $\pm 10\%$ .

### 5.3.8.1.2 Berekening

De server-racks staan opgesteld in 6 aparte te conditioneren units, elk met een geometrie van 600/250/220cm (B/D/H). Tesaamen vormen ze een te conditioneren volume van 198m<sup>3</sup>.

Volgende berekening bepaalt het te installeren vermogen van de klimaatkast:

Te conditioneren volume	198 m <sup>3</sup>
Vooropgesteld ventilatievoud	3 u <sup>-1</sup>
Bijhorend debiet	594 m <sup>3</sup> /u
Tmax	80 °C
Topt	15 °C
$\Rightarrow P = 0,34 \cdot \Delta T \cdot debiet = 13,1 \text{ kW}$	

Uit de technische fiche van HIROSS klimaatkasten **Free-Cooling** (zie [bijlage 41: 'Klimaatkast Hiross'](#)) kiezen we bijgevolg het **type 8GU** met een totale koelcapaciteit van **14kW**.

**Conclusie:** klimaatkast Hiross Free-Cooling - type 8GU van 14kW

### 5.3.8.2 Destratificatoren

We maken hier een **opsplitsing** in de overkoepeling in functie van de plaatsingshoogte van de toestellen. Zodanig kunnen we een juistere benadering van het aantal modules doen. De berekening en keuze van de destratificatoren is op basis van bijlage 42: 'Destratificator Reznor'.

- 2735m<sup>2</sup> met een gemiddelde hoogte van 10m = 27350m<sup>3</sup>.

Aangezien de installatiehoogte van 9m, kiezen we voor het type Maximizor 4500 met

$V_{\text{prim}} = 4150 \frac{m^3}{u}$ . Volgende formule berekent het aantal van deze modules:

$$N = \frac{V \times 2}{V_{\text{prim}} \times 1,5} = \frac{27350m^3 \times 2}{4150 \frac{m^3}{h} \times 1,5} = 9 \text{ stuks}$$

- Met een verbruik van 0,25kW per stuk, betekent dit een totaal van 2,25kW opgenomen vermogen.

- 3470m<sup>2</sup> met een gemiddelde hoogte van 6m = 20820m<sup>3</sup>.

Aangezien de installatiehoogte van 5,5m, kiezen we voor het type Maximizor 3000

met  $V_{\text{prim}} = 2830 \frac{m^3}{u}$ . Volgende formule berekent het aantal van deze modules:

$$N = \frac{V \times 2}{V_{\text{prim}} \times 1,5} = \frac{20820m^3 \times 2}{2830 \frac{m^3}{h} \times 1,5} = 10 \text{ stuks}$$

- Met een verbruik van 0,16kW per stuk, betekent dit een totaal van 1,6kW opgenomen vermogen.

**Opmerking:** Het opgenomen vermogen van 3,75kW wordt voorzien door de zonne-energie.

**Conclusie:** 10 Reznor Maximizor 3000 met installatiehoogte 5,5m

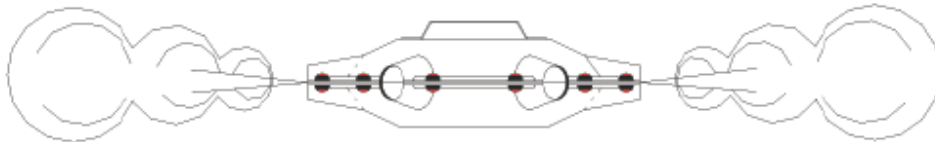
9 Reznor Maximizor 4500 met installatiehoogte 9m

=Totaal verbruik 3,75kW

### 5.3.9 Bevochtiging

#### 5.3.9.1 Hogedrukverneveling

Omwillen van zijn esthetische vormgeving passen we het **type UFO HD 6E** van Cumulus in de koepel toe. De specificaties van het luchtbevochtigersapparaat zijn gegeven in bijlage 43: 'Verneveling\_Cumulus UFO'.



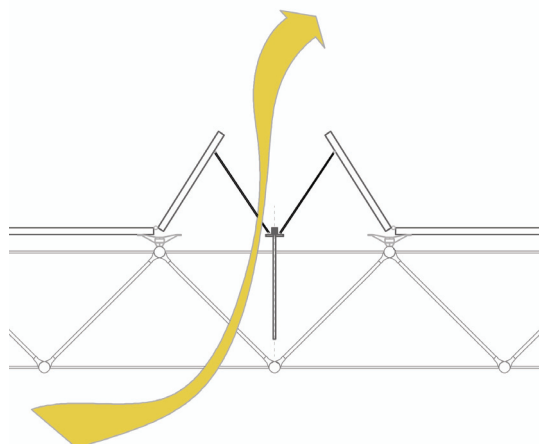
**Figuur 94 : vernevelaar of 'nozzle' type UFO\_Cumulus**

De passieve bevochtiging via de aanwezige **bomen** [*Rhus Typhina* 'fluweelboom'] en het geïntegreerde watervlak spreken uiteraard voor zich.

### 5.3.10 Natuurlijke ventilatie

#### 5.3.10.1 Ventilatieluiken en plooiëvel

De natuurlijke ventilatie wordt voorzien door enerzijds de **parapluluiken** in de koepel (poriën) en anderzijds een speciaal ontworpen openplooiende **gevelconstructie**. Deze laatste is constructief uitgetekend in bijlage 44: 'Pompsysteem plooiëvel'.



**Figuur 95 : parapluluik 'porie' in de koepel**

### 5.3.10.2 Canadese putten

Om een idee te krijgen van de opbouw van dit systeem, verwijzen we naar de technische fiche in [bijlage 45: 'Canadese putten'](#).

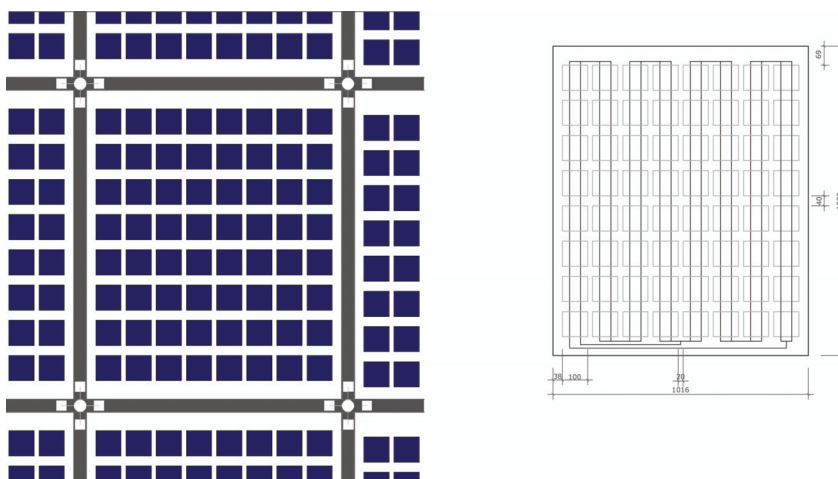
### 5.3.11 Fotovoltaïsche energie

Fotovoltaïsche energie is het allesbepalende uitgangspunt van het hele ontwerp en verdient een uitgebreide detaillering. Het gaat om een geoptimaliseerde **PV-installatie** van **5030m<sup>2</sup>**, opgebouwd uit **semi-transparante** zonnepanelen van het type **Schott Solar Sol 109 ISO**. We maken deze keuze omdat deze panelen het best in het architectuurconcept passen.

#### 5.3.11.1 Constructieve opbouw

De PV-installatie bedekt 5030m<sup>2</sup> van het 5910m<sup>2</sup> grote koepeloppervlak. Het verliesoppervlak is te wijten aan het feit dat over de omtrek van 290m de effectieve installatie pas begint op een hoogte van 3m om **vandalisme** te vermijden. Visueel wordt de constructie met hetzelfde specifieke raster van vierkante cellen verder gezet aan de hand van dummypanelen.

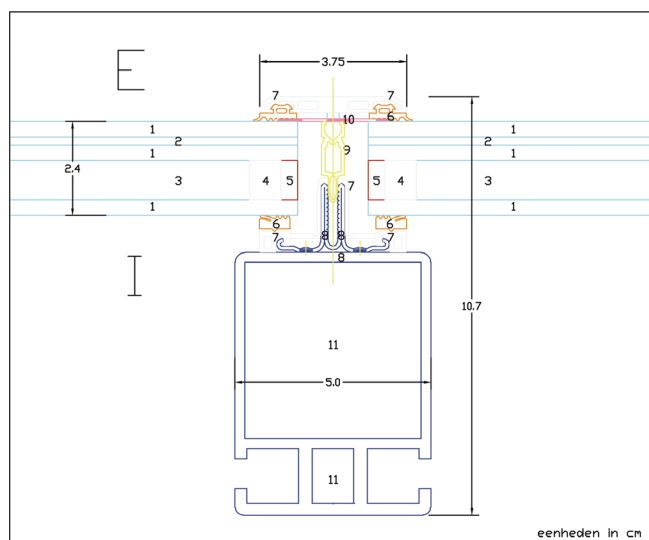
De panelen hebben een glasmaat van **1230 x 1014 mm**. Elke module omvat 64 cellen van 100 x 100 mm elk. De panelen vormen semi-transparante modules met een **instralingsgraad** van 50%. Ze dienen tegelijk als elektriciteitsopwekker en zonnewering.



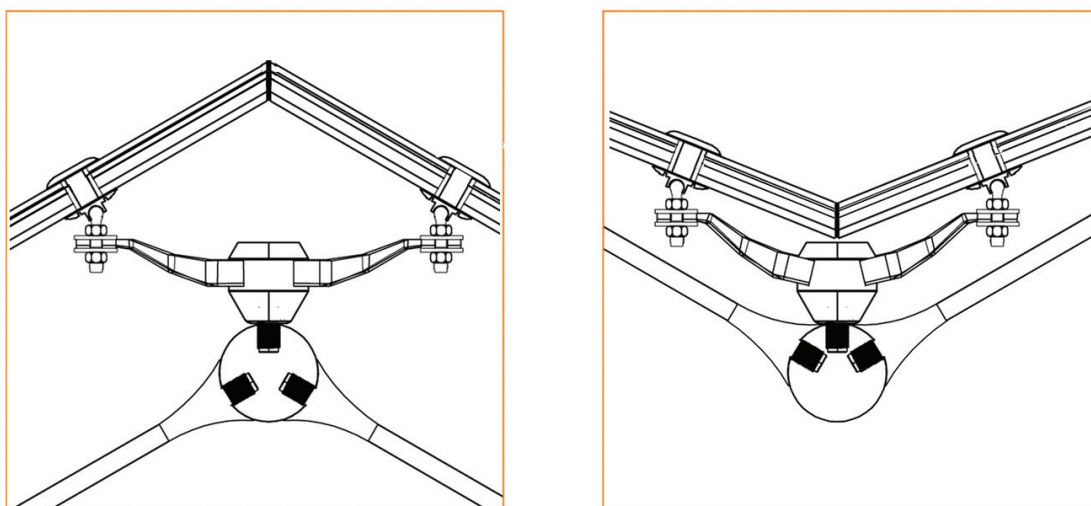
**Figuur 96 : semi-transparant zonnepaneel**



De zonnecellen bevinden zich tussen twee gelijmde glasplaten. De samenstelling van het gebruikte **glaspakket** bestaat uit enerzijds een geharde floatglasplaat ter bescherming van de hieronder in 2mm epoxyhars ingebedde zonnecellen, waaronder nog een met argon gevulde dubbelglazen plaat, met name SGG PLANITHERM. Dit resulteert in het specifieke opbouwpakket 4/2/4/10/4. Deze laminaten zijn geplaatst in een gesegmenteerd aluminium **gevelsysteem**. Dit systeem is op basis van een zelf ontworpen thermisch onderbroken dakdicht **profiel** dat bevestigd is op de grote 3D-staalstructuur. Zowel het glaspakket als het ontworpen profiel zijn te zien in onderstaande tekening. Deze bevestiging gebeurt telkens op de knooppunten met een aanpasbaar **gewricht**.



**Figuur 97 : detail glasopbouw**



**Figuur 98 : knooppuntsgewrichten**

### 5.3.11.2 Vermogens

Vermits het opgesteld oppervlak 5030m<sup>2</sup> betreft, hebben we te maken met 4032 Schott Solar zonnepanelen.

Het hele PV-systeem is elektrisch opgebouwd uit 14 **secties**. Elke sectie bevat 8 zogenaamde **arrays** met elk een eigen **inverter** van 2500 W. Elk zo een *array* is opgebouwd uit 3 **strings**, dewelke parallel aangesloten zijn op de omvormer. Elke *string* bestaat uit 12 in serie verbonden identieke **modules**.

Deze hele installatie heeft een totaal opgesteld vermogen van **334,7kWp**

<b>Conclusie:</b> Nuttig oppervlak	5030m <sup>2</sup>
Geïnstalleerd vermogen	334,7kWp
4032 semi-transparante Schott Solar <i>Sol 109 ISO</i> panelen	

De arrays hebben ieder een eigen **netgekoppelde inverter** om van de gelijkspanning van de array een wisselspanning te maken die geschikt is voor teruglevering aan het elektriciteitsnet. In deze PV-installatie is gebruik gemaakt van 112 SMA Sunny Boy 2500 inverters. Bij de berekening van een PV-systeem worden de panelen altijd **overgedimensioneerd** ten opzicht van de inverters. Zonnepanelen zijn immers berekend in **STC**-omstandigheden, dewelke té ideaal zijn om op de bouwsite na te streven.

Vermits per inverter drie strings zijn aangesloten, mogen de totale vermogens (996 Wp) van de drie identieke **strings opgeteld** worden, waardoor men een maximaal vermogen van **2988 Wp** bekommt per inverter. Dit zijn echter de resultaten in ideale STC-omstandigheden. Als we de gangbare overdimensionering van 20% inrekenen, bekommen we dat een inverter met een nominaal vermogen ( $P_{nom}$ ) van **2500 W** en een maximaal vermogen ( $P_{max}$ ) van 2770 W toereikend is. We kiezen bijgevolg voor **SMA Sunny Boy SWR 2500U** inverters (zie bijlage 46: 'Inverter SWR 2500U').

<b>Conclusie:</b> 14 secties = 112 arrays = 334 strings = 4032 panelen
112 SMA Sunny Boy SWR 2500U inverters

### 5.3.11.3 Elektrotechnisch

Aangezien elke **module** een vermogen heeft van 83 Wp, een open spanning van 38,4 V en een kortsluitstroom van 3,0 A, betekent dit dat de hele **string** een totaal vermogen van 996 Wp, een totale gelijkspanning van 460,8 V en een kortsluitstroom van 3,0 A omvat.

De nominale ingangsspanning ( $U_{in,nom}$ ) van de **inverters** is 600 V. De maximale ingangsstroom ( $I_{in,max}$ ) is 11A. Elke inverter is voorzien van een fijnbeveiliging. In de groepenkast bevindt zich een middenbeveiliging, terwijl er net voor de hoofdschakelaar een grofbeveiliging is voorzien.

Op de begane grond bevindt zich de meterkast in de '**Energy Conscience Wall**'. Hierdoor kan men nauwkeurig meten hoeveel het PV-systeem aan elektriciteit opwekt. Op deze meterkast is een groepenkast aangesloten. Verder is er ook een **controle-unit** aangesloten onder de koppelkast en een **PV-display** voorzien ter bewustwording van de bezoekers en gebruikers omtrent de hoeveelheid opgewekte 'gratis' energie, hoeveelheid vermeden CO<sub>2</sub>- en NOx-uitstoot.

### 5.3.11.4 Bekabeling

De kabels van de modules en hun koppelkastjes zijn **zichtbaar** geïnstalleerd en beklemtonen het technische karakter van de overkoepeling. Rekening houdend met de hoogte van het dak, vormen zij geen storend element in de dakstructuur.

Deze bekabeling wordt op geconcentreerde plaatsen via de staalstructuur **gebundeld** (per 8arrays, dus op 112 plaatsen) en afgeleid naar de grond. De aders zitten in een tehalit **bedradingskanaal** dat door middel van een spanklem op de stalen structuur is bevestigd.

In deze installatie zijn de **koppelkastjes** zichtbaar op de achterkant van de panelen bevestigd. Hierdoor worden de *strings* rechtstreeks op de *inverters* aangesloten met multicontactstekkers.

De modules in de strings zijn bekabeld met 1 x 2,5 mm<sup>2</sup> VUV-kabel. De verbinding tussen de inverters en de automatische schakelaars in deze groepenkast gebeurt door 3 x 2,5 mm<sup>2</sup> YmVk-kabel met een maximale stroomsterkte van 12 A. De inverters zijn met 16 mm<sup>2</sup> VDS-kabel met de aarde verbonden. Verder is vanaf de inverters 5 x 16 mm<sup>2</sup> YmVk-kabel gebruikt voor de AC-aansluiting.

<p><b>Conclusie:</b> in <a href="#">bijlage 47: 'Gedetailleerd PV-schema'</a> is de hele boomstructuur met alle systeemcomponenten en installatiewaardes van 1 sectie specifiek voor het C4A uitgetekend.</p>
---

### 5.3.11.5 Systeemkost

#### 5.3.11.5.1 Totaal energieverbruik

Aan de hand van een aantal verbruikte vermogens van de geselecteerde installaties, doen we een ruwe opsomming van het nodige interne verbruik van het C4A. Zodanig kunnen we checken we hoeveel overschot we met deze zonnestroominstallatie behalen en in welke mate het project autarkisch is.

**Opmerking:** Een aparte berekening van het interne verbruik van de units, is opgenomen in bijlage 48: 'Elektrisch vermogen units'.

82kW	intern verbruik units
34,30kW	licht van de koepel ( <i>schatting via grondoppervlak</i> )
3 kW	elektriciteit van de koepel ( <i>functionele schatting</i> )
14,4 kW	klimaatkasten
22kW	luchtgroep
12,2kW	warmtepompen
3,75kW	destratificatoren
1,2kW	absorptiekoelmachine

**TOTAAL:** 172,85kW + 10% marge = **190 kW verbruikt vermogen.**

Dit houdt dus in dat er ongeveer **144,6kWp overschot** in het project zit.

#### 5.3.11.5.2 Financiële voordelen

Nu we het systeem- en overschotvermogen kennen, kunnen we een overzicht geven van de financiële voordelen, louter op gebied van de fotovoltaïsche installatie. Allereerst doen we een schatting van de kostprijs van de fotovoltaïsche installatie.

##### 5.3.11.5.2.1 Schatting geïnvesteerd bedrag

Onderstaande tabel is een ontwerptabel om een schatting te kunnen doen van het **geïnvesteerd bedrag** van de PV-generator. Rekening houdend met de modules, inverters, constructie, elektrische benodigdheden, planning, installatie en montage, komen we op € 4 885 per kWp. Gerekend met een 10% vermeerdering omwille van de specialere uitvoering en modules, geeft dit € 5 373,5/kWp. Voor onze 334,7kWp betekent dit **€ 1 798 510.**

Prijs in € per kWp	1kWp	6kWp	20kWp	1MWp
PV-systeem met geïnstalleerd vermogen van				
Modules	1250	3760	3600	3260
Inverters	1150	700	650	450
Constructie	600	550	450	675
Elektrische componenten	750	375	250	400
Planning, installatie en montage	1625	745	350	50
<b>TOTAAL</b>	<b>8375</b>	<b>6120</b>	<b>5350</b>	<b>4885</b>

**Figuur 99 : raming PV-installatie per kWp**

### 5.3.11.5.2.2 Ecologiepremie

De steun bedraagt 25% op 70% van het investeringsbedrag (grote ondernemingen). Dit betekent dus een effectieve steun van **17,5%**. De basissteun van 25% kan met maximaal 5% verhoogd worden indien men in het bezit is van één of meerdere milieuzorgsystemen. Daar het C4A een volledig energiezuinig geconcipieerd project is, verhoogt de basissteun dus tot 30% en bijgevolg een effectieve steun van 21%. Deze ecologiepremie bedraagt op basis van het geschatte geïnvesteerde bedrag bijgevolg **€ 377 687**.

### 5.3.11.5.2.3 Wettelijke basis

In het geval van zonne-energie bedraagt de wettelijk<sup>12</sup> bepaalde minimumprijs **€ 150** per **opgewekte MWh** elektriciteit.

Met een overschot van 144,6 kWp en een geoptimaliseerde plaatsing (1100 W per m<sup>2</sup> per uur) betekent dit omgerekend **159,1 MWh**. Gerekend op de minimale vergoeding van € 150 per opgewekte MWh elektriciteit, resulteert dit in een jaarlijkse opbrengst van **€ 23 865**.

### 5.3.11.5.2.4 Subsidie Vlaams Gewest

Inzake optimale oriëntatie en hellingshoek is een minimale zonne-instraling van 90% vereist. Als bijkomende voorwaarde wordt een minimale hellingshoek van 10° vooropgesteld. Aangezien dit het allesbepalende concept van het C4A was, komen we in aanmerking voor volgende financiële voordelen:

<sup>12</sup> Het K.B. van 16.07.2002 betreffende de instelling van mechanismen voor de bevordering van elektriciteit opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen (B.S. 23.08.2002)

#### 5.3.11.5.2.4.1 Groenestroomcertificaten

De regel voor de groenestroomcertificaten<sup>13</sup> is € 0,45/kWh, per schijf van 1 000 kWh. De opgewekte 334,7kWp komt overeen met **368,16MWh** op basis van de geoptimaliseerde vormgeving die 1100W instraling per m<sup>2</sup> rechtvaardigt. Concreet betekent de opbrengst aan groenestroomcertificaten  $368,16\text{MWh} \times € 0,45/\text{kWh} = \mathbf{€ 165\ 672}$

#### 5.3.11.5.2.4.2 Investeringsaftrek

Bijkomend geldt nog een verhoogde **investeringsaftrek** voor energiebesparende investeringen: 13,5% op de belastbare winst. Deze factor kunnen we bij gebrek aan gegevens niet in rekening brengen.

#### 5.3.11.5.2.5 Finale systeemkost

Het is een vanuit de overheid opgestelde regel dat het **totaal** van alle subsidieerbare kosten worden **beperkt tot € 8 250/kWp** (excl. BTW). Voor onze PV-installatie betekent dit een maximale subsidie van **€ 2 761 275**.

Als we de groenestroomcertificaten en ecologiepremie optellen, komen we aan een totaalbedrag van **€ 543 359**. We blijven dus ruim onder het maximum.

Concreet gezien bedraagt de totale effectieve kost dus **€ 1 798 510 - € 543 359 = € 1 246 151**. Jaarlijks **sparen** we niet alleen alle **energiekost** uit, maar hebben ook nog een opbrengst van **€ 23 865** van de overtollige energie.

#### Opmerking:

Er dient te worden vermeld dat dit slechts een ruwe berekening is. Zo wordt er bijvoorbeeld geen rekening gehouden met de netto constante waarde en verdisconteerde opbrengsten.

#### **Conclusie:** Het C4A is volledig **AUTARKISCH**

Geïnstalleerd vermogen	334,7kW ~ 368,16MWh
Jaarlijkse opbrengst	€ 23 865
Effectieve kost	€ 1 246 151

<sup>13</sup> Elektriciteitsdecreet van 07.05.2004 (B.S. 08.06.2004),

### **5.3.12 Extra projectdetailing**

#### **5.3.12.1 [Laagspanningsinstallaties]**

Bij deze wordt een opsomming gegeven van de vaste elektrische installaties die in het gebouw opgenomen moeten worden. Zodanig krijgen we een idee van de te voorziene aansluitingen en installaties. De gedetailleerde uitwerking ervan is niet de bedoeling.

##### **5.3.12.1.1 Speciale voorzieningen**

Uninterruptible Power Supply (UPS) aangezien de renderfarm en serverlokaal het drijvende hart van het project vormen.

##### **5.3.12.1.2 Bouwkundige voorzieningen**

Er is een lokaal voorzien in de technische ruimte onder de parking voor het algemeen laagspanningsbord (ALSB) met een directe toegang naar buiten. Hier bevindt zich ook de teller. Kleinere spanningsborden zijn verspreid in het gebouw zelf aangebracht.

##### **5.3.12.1.3 Vaste elektrische installaties op zeer lage spanning.**

- Internetaansluiting
- Bedrading PC-netwerk: gestructureerde bekabeling, UPS-beveiliging en uitgangen op elke werkplek voorzien
- Wireless LAN: opletten met elektromagnetische interferentie!
- Monitoring (Energy Conscience wall)
- Branddetectie
- Inbraakbeveiliging: actief systeem met infrarooddetectoren en een binnensirene
- Centrale kasten met patch-panelen.

##### **5.3.12.1.4 Verlichting**

Algemeen worden volgende richtlijnen nagestreefd:

- 500lux op het werkvlak voor de computerunits, dubbele TL voor avond- of nachtwerk
- 300lux voor de opslagruimtes en sanitaire ruimtes
- De presentatielokalen moeten voorzien zijn van dimverlichting
- Presentatie-unit: dimverlichting en noodverlichting voorzien
- Sfeerverlichting voor receptie en demonstratieruimtes in de koepel zelf (vloerinbouw)
- Verlichting parking 's avonds met grondverlichting

- Noodverlichting in de koepel
- Binnenverlichting van koepel 's avonds met blauwe halogenen, gemonteerd tussen de 3D-structuur.

#### **5.3.12.1.5 Domotica**

- Bewegingssensoren brandalarm
- Lichtsensor voor de nachtelijke koepelverlichting
- Weerstation ter aansturing van de ventilatieluiken in de koepel
- Sturing van het kleppensysteem op de luchtgroep
- CO<sub>2</sub>-sensor in de koepel ter sturing van de ventilatieluiken
- Centrale bediening via pc.

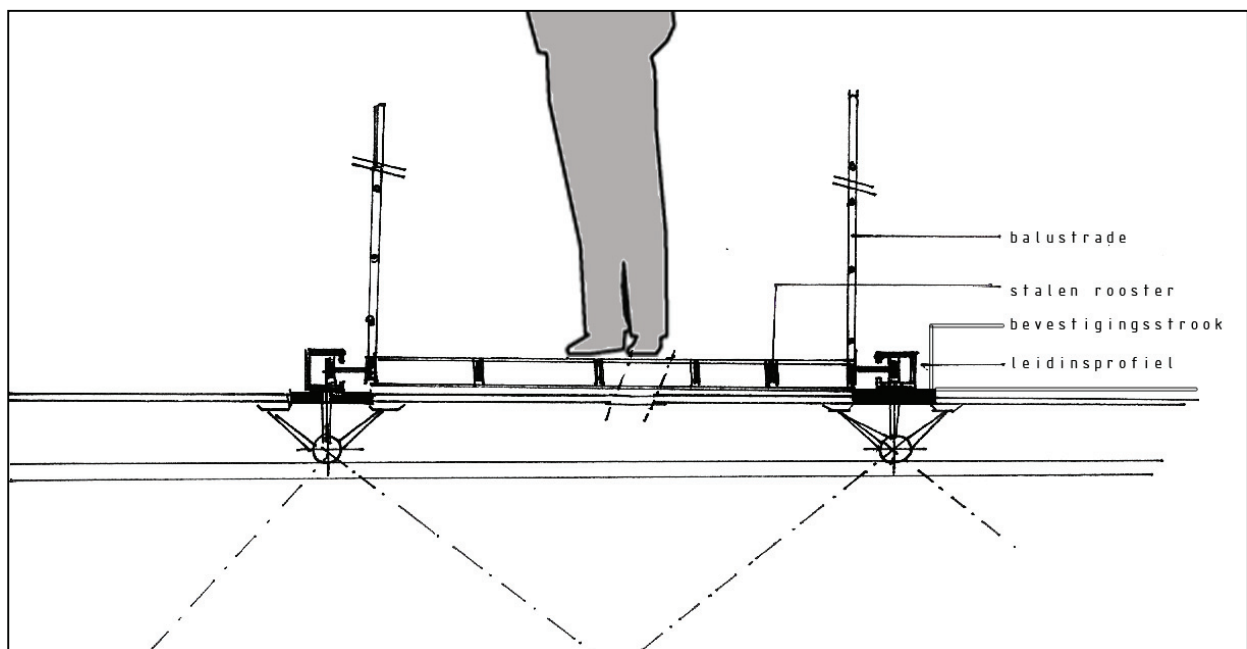


### 5.3.12.2 Onderhoud

Aangezien de erg onregelmatige vorm van de koepel, dienen we de mogelijkheid tot onderhoud van de ontdubbelde glazen schil ook te concipiëren. Het idee van **loopbruggen** in de koepel of tussen de 3D-structuur kan een oplossing zijn voor intern onderhoud. Mogelijkheid tot het inclicken op **valbeschermingshaken** is een noodzaak. Extern kan er gedacht worden aan een geïntegreerd railsysteem met mobiel plateau en regelmatige bevestigingspunten voor valbeveiliging.

#### 5.3.12.2.1 Extern onderhoud

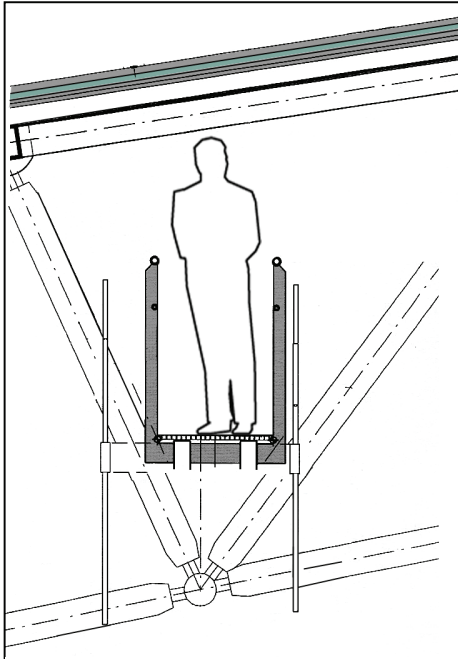
Metalen plateaus met geleidingsrail bevestigd op staalstructuur.



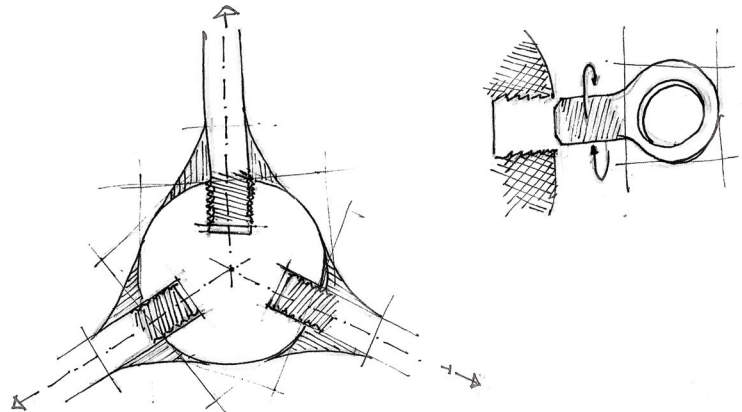
**Figuur 100** : extern railsysteem op de koepelstructuur

#### 5.3.12.2.2 Intern onderhoud

Er worden op een aantal plaatsen **loopbruggen** voorzien waartussen handmatig ook 'bruggen' kunnen gemaakt worden. Eveneens wordt **valbeveiliging** voorzien door middel van in structuurknooppunt passend anker.



**Figuur 101: loopbruggen**



**Figuur 102 : schroefankers**

### 5.3.12.3 Brand en evacuatie

We geven ten slotte nog een algemene **brandbestrijdingsfilosofie** voor het C4A ter vervollediging van de systeemdetaillering. De hieronder beschreven maatregelen worden verduidelijkt in het grondplan in bijlage 49: 'Grondplan brandpreventie'.

#### 5.3.12.3.1 Koepel

- Bluswaterleidingen zijn aan de constructie bevestigd en voorzien van **sprinklerkoppen**. Aangezien we in de koepel zelf geen compartimentering hebben, werken de sprinklers op het **déluge-systeem**<sup>14</sup> om snelle verspreiding van brand in deze open constructie tegen te gaan.
- Er zijn **vier nooduitgangen** voorzien op de meest uiteenliggende punten.

---

<sup>14</sup> **Déluge-systeem:** Hierbij gaan alle sprinklerkoppen tegelijkertijd af. Dit systeem wordt gebruikt in zones waar brand zich snel kan verspreiden.

- De staalconstructie is afgewerkt met een brandwerende **verflaag**.
- De ventilatieluiken doen dienst als automatische rook- en warmteafvoer (**RWA**).
- Noodverlichting is voorzien in heel het gebouw.

### 5.3.12.3.2 Units

- Op regelmatige basis zijn er **brandhaspels** aangebracht. Deze zijn geplaatst op een maximum loopafstand van **30m**. De **loopstralen** van 30m zijn in het grondplan aangeduid ter verduidelijking van de plaatsing van de brandhaspels. De kasten hebben een standaardafmeting van 800x1000x300mm en zijn bloot geplaatst.
- Er is een **hemelwaterput** voorzien. Deze voorziet onder andere het gebouw van speel- en schoonmaakwater, maar dient ook als **waterbuffer** voor de sprinklerinstallatie. Op die manier implementeren we nog een gedeelte rationeel watergebruik (RWG).
- De **final projection**-ruimte is omwille van haar publieke karakter voorzien van drie 2meter brede nooduitgangen. De twee **trappen** zijn berekend op het aantal personen, uitgaande van volgende rekenregel:

*'Standaard 60cm per 50 personen en +10cm per 9 bijkomende personen.'*

Aangezien de zaal over 235personen kan beschikken, volgt volgende berekening:

$$\begin{aligned}
 & - 235/2=118 \text{ personen per trap max.} \\
 & - 118-(2 \times 50 \text{ pers})= 18 \text{ personen extra} \\
 & \Rightarrow (2 \times 60 \text{ cm}) + \left( 18 \text{ pers} \times \frac{10 \text{ cm}}{9 \text{ pers}} \right) = 140 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

→ Totale **trapbreedte**: 140cm.

- Er is nog een extra nooduitgang voor mindervaliden voorzien via een hellend vlak.
- Noodverlichting is voorzien in alle units.

## 6 SAMENVATTENDE PROJECTFICHE

Ter overzicht en finalisering van dit eindwerk maken we onderstaande projectfiche op, uitgaande van alle systeeminstallaties en vermogensberekeningen.

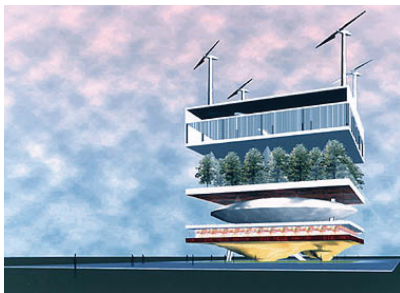
INSTALLATIE	SPECIFICATIE
<b>Elektriciteit</b>	
Fotovoltaïsche panelen	[Schott Solar Sol 109 ISO]
<b>Verwarming en koeling</b>	
Zonnecollectoren	[Vitosoll100 type s/w2,5]
Buffervaten	[Viessmann Vitocell L100]
Absorptiekoelmachine	[Yazaki WFC S-C30]
Vloerconvectoren	[Jaga Mini-Canal B26-H11-L300]
Verdringingsventilatie	
Luchtgroep	[Gea Happel type 220.188]
Tredewerfel	[Trox Technik type SD-Q-LQ]
Armaturen	[Halton AFC-500]
Canadese putten	[Fränkische Terra Air type H]
Koepelafzuiging met kleppenmodule	[Trox Technik]
Grondwarmtewisselaar	[Viessmann; 18x100m; vijfkanals]
Warmtepomp	[Viessmann Vitocal 300 BW226]
Warmtewisselaar	[Alfa Laval M6-MW]
Betonkernactivering	[Echo Climadeck type KP 15/120]
Stralingspanelen	[Sabiana Duck Strip type DS2-06]
Destatificatoren	[Reznor Maximizor 3000 en 4500]
Klimaatkast Precision Free Cooling	[Liebert Hiross type 8GU]
<b>Ventilatie</b>	
Verdringingsventilatie	
Luchtgroep	[Gea Happel type 220.188]
Tredewerfel	[Trox Technik type SD-Q-LQ]
Armaturen	[Halton AFC-500]
koepelluiken (wasmotoren)	
open atrium (hydraulisch)	
Verdringingsventilatie	
<b>Bevochtiging</b>	
Hogedrukverneveling	[Cumulus type UFO HD 6e]
Bomen	[Rhus Typhina "fluweelboom"]
Watervlak	

## CONCLUSIE

### Het opgeloste energievraagstuk?

Energieopwekkende gebouwen zijn **sociale** gebouwen. Zij voorzien weliswaar vooral nog in hun eigen behoefte, maar hebben een dusdanige energiezuinigheid, zodat deze behoefte tot een minimum is teruggebracht. Produceren ze te veel energie dan verkopen ze het overschot aan het elektriciteitsnet. In de nabije toekomst kan dit soort gebouwen een belangrijke bijdrage leveren aan de energieneutraliteit van de gebouwde omgeving.

Het oorspronkelijke ontwerp voor het **paviljoen voor de wereldtentoonstelling** in Hannover in 2000 van het Rotterdamse architectenbureau **MVRD** laat goed zien dat de bebouwde omgeving zich anders kan ontwikkelen. Op het dak staan een aantal windmolens, verder zijn er fotovoltaïsche cellen aangebracht en wordt er energie opgewekt door middel van verbranding van gekweekte biomassa. Het gebouw is door deze concentratie van technieken **autarkisch**. En zelfs meer dan dat. Volgens modernistisch gebruik zou de overtollige energie ten goede moeten komen aan de gemeenschap. MVRDV gaat er daarentegen van uit dat de energie die in het gebouw wordt opgewekt, zelf mag worden gebruikt. In het paviljoen lijkt dus sprake van enorme energieverpilling, maar omdat er geen onvervangbare fossiele energie wordt gebruikt, is dat niet het geval.



**Figuur 103 : paviljoen MVRDV**

Het ontwerp van MVRDV legt een belangrijke vraag voor: is het werkelijk zo dat zelfopgewekte, schone energie naar **eigen behoefte** gebruikt mag worden? Als deze vraag met ja wordt beantwoord, dan heeft dit verregaande bouwkundige consequenties. De energieprestatiecoëfficiënt heeft dan geen betekenis meer en zal vervangen moeten worden door een getal dat bijvoorbeeld puur het maximale verbruik van fossiele brandstof weergeeft. Het kan ook goed zijn dat dergelijke getallen overbodig worden.

Zoals ook bij het *Center for Archineering* het geval was, werkt het positieve antwoord voor ontwerpers en ingenieurs twee kanten op. De integratie van efficiënte, energieopwekkende installaties heeft een beeldbepalende **invloed** op het ontwerp, maar tegelijkertijd genereren deze een enorme **vrijheid**. Er moet alleen correct mee worden omgegaan. Deze vrijheid dient zich te manifesteren binnen een symbiose tussen ingenieur en architect. Maar daarvoor zal schoenmaker niet bij zijn eigen leest moeten blijven. Zoals in de loop van het *trial-and-error* verhaal duidelijk is geworden, is er nood aan **overleg** tussen beide partijen. Door te vertrekken van een eigen ontwerp heb ik mezelf in die vooropgestelde symbiose geworpen. De juiste attitude aankweken, rechtstreeks toetsen aan de praktijk en dúrven terugkoppelen was de uitdaging. En daarbij hoeft creatief niet altijd onrealistisch of techniek lelijk te zijn.

***'Coffee is what makes life possible in these demanding times.'***

Erasmus\_Friends Coffeeshop\_Port Elisabeth\_South-Africa\_15-05-2005

## **BIJLAGES: EXTERN BIJGEVOEGD**

- bijlage 1: Overview C4A
- bijlage 2: Function-listing
- bijlage 3: Grondanalyse
- bijlage 4: Warmteverlies\_units01
- bijlage 5: Warmteverlies\_schil01
- bijlage 6: Ventilatievouden
- bijlage 7: Temperaturen NBN B62\_003
- bijlage 8: Temperatuurfrequenties
- bijlage 9: Kaart dagtemperaturen
- bijlage 10: Tabel lambda EN 10456
- bijlage 11: SGG Planitherm
- bijlage 12: Profielberekening
- bijlage 13: k-waardes constructieonderdelen
- bijlage 14: Opbouw stralingspaneel
- bijlage 15: Moliardiagramma
- bijlage 16: Energieconcept
- bijlage 17: Consensus\_Winter
- bijlage 18: Consensus\_Zomer
- bijlage 19: Toelaatbare lichtsnelheid
- bijlage 20: Warmteverlies\_03\_(24,32)
- bijlage 21: Warmteverlies\_units02
- bijlage 22: Betonkernactivering\_Climadeck
- bijlage 23: Revisie unitsontwerp
- bijlage 24: Vloerconvectoren\_Mini-Canal
- bijlage 25: Stralingspanelen \_tabellen
- bijlage 26: Stralingspanelen\_technisch
- bijlage 27: Vereenvoudigde geometrie
- bijlage 28: Warmtepomp\_Vitocal 300
- bijlage 29: Plaatwarmtewisselaar
- bijlage 31: Carrier\_koelvermogen koepel
- bijlage 32: Warmteverlies\_schil02 met pulsie15
- bijlage 33: Warmteverlies\_units voor schil
- bijlage 34: Warmteverlies\_schil02 met pulsie10
- bijlage 35: Luchtgroep\_Gea-Happel

bijlage 36: Berekening verdringingsventilatie  
bijlage 37: Verdringingsarmatuur\_Halton  
bijlage 38: Zonnecollector\_Vitosol100  
bijlage 39: Opslagvat\_Vitocell L100  
bijlage 40: Absorptiekoeling\_Yazaki  
bijlage 41: Klimaatkast\_Hiross  
bijlage 42: Destratificator\_Reznor  
bijlage 43: Verneveling\_Cumulus  
bijlage 44: Pompsysteem plooi­gevel  
bijlage 45: Canadese putten  
bijlage 46: Inverter\_SWR 2500U  
bijlage 47: Gedetailleerd PV-schema  
bijlage 48: Elektrisch vermogen units  
bijlage 49: Grondplan brandpreventie

## LITERATUUROPGAVE EN REFERENTIES

### Literatuur

Kaltenbach F., *Translucent Materials - Glass, Plastic, Metals*, Basel, Detail Praxis Magazine, 2004

Krieg B., 1992, *Stroom uit de zon: zonnecel-techniek in theorie en praktijk*, Amsterdam, Elek­tuur

Gooijer de H., ir., *Zonne-energie, de opkomst van een duurzame energiebron*, Domutron, 2000

Parz W., *Elektriciteit uit zonnestralen*, Unesco, 1982

Melet F., *Duurzame Architectuur, streven naar een contrastrijke omgeving*, Rotterdam, NAI Publishers, 1999

Ecofys bv., *Leidraad zonnestroomprojecten in Nederland*, Utrecht, Libertas, 2003

Titulaer C., *Welkom in de toekomst*, Heerlen, Het Spectrum, 1990

Neysens J. en De Roye M., *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*, Enschede, ODE-Vlaanderen, 2004



De Buyst D., Prof. Dr. ir., *Technische installaties in gebouwen, rev. 1.9.2. ed 2006-2007*, Associatie Universiteit Hogescholen Limburg departement architectuur, 2006

Uyttenbroeck J., ir., *Thermisch comfort –Vervolmakingscursus*, Zaventem, ATIC–Commissie Technisch Onderwijs, 1990

Uyttenbroeck J., ir., *Thermisch comfort –Aanvullingen*, Zaventem, ATIC–Commissie Technisch Onderwijs, 1988

Van Nuffel W. en Minne J., *Berekening van warmtedoorgangscoefficienten van wanden voor gebouwen*, Brussel, ATIC–Commissie Technisch Onderwijs, 2003

Standaert P., *Theorie van de warmteoverdracht*, Brussel, ATIC–Commissie Technisch Onderwijs, 2003

Itkonen H., *Halton Indoors\_ Indoor Climate*, Finland, powerpointpresentatie, 2003

Hermannsdörfer I., *Final report 01.07.01 - 31.12.04*, Berlin, Universität der Künste Berlin, Fakultät Gestaltung–Architektur, 2004

De Witte & Co en Echo nv., *Echo's - nieuwsmagazine*, jaargang 3 n°6, Hasselt, Kellens, 2006

Sabiana s.p.a., *Duck Strip Stralingspanelen-productfolder A4800814*, Milaan, 2004

### **Digitale Literatuur**

Buderus, *Planningsdocument warmtepomp*, pdf-document, 2004

Buderus, *Integratiedocument warmtepomp*, pdf-document, 2004

Motmans B., *Verdringingsventilatie*, Leuven, powerpointpresentatie, 2006

Poppe R., *Climadeck 2007*, powerpointpresentatie, 2007

### **Normen**

ISO, *EN 10456, Building material and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values- Revision of ISO 10456:1999*, CEN/TC89, 2004

Belgisch Instituut voor Normalisatie, NBN 62\_002 Berekening van warmtedoorgangscoefficienten van wanden van gebouwen, Brussel, 1987

Belgisch Instituut voor Normalisatie, NBN 62\_003 Berekening van de warmteverliezen van gebouwen, Brussel, 1986

Belgisch Instituut voor Normalisatie, NEN EN ISO 7730 Gematigde thermische binnencondities, Brussel, 1996

Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties (A.R.E.I.), Bijlage I. Grafische symbolen voor het opstellen van de schema's van een huishoudelijke elektrische installatie, 2004, (5/269.6 - 5/269.15)

### Internetbronnen

- [VT05] Vanhal T., *Nanotechnologie zet infrarood licht om in energie*, [online] available <http://www.tweakers.net/nieuws/35807> , 18/01/05
- [SU06] Sunovation, *The creative way to use solar energy*, [online] available <http://www.sunovation.de> , 15/04/06
- [PA06] PV Accept, *Final report*, [online] available <http://www.pvaccept.de>, 14/03/06
- [ST06] Sol Tech, *The Sunny way to energy*, [online] available <http://www.soltech.be> , 20/04/06
- [PV06] Photo Voltech, Webstek, [online] available <http://www.photovoltech.be> 02/03/06
- [NO06] Novem, *PV infosite*, [online] available <http://www.pvinfo.nl> , 02/03/06
- [SI06] Sol Ideas, *Technology development*, [online] available <http://www.solideas.com/index.html> , 02/03/06
- [SI07] Solar Integration, *Glas-Glas-Laminat: SOL 109 ISO*, [online] available [http://www.solarintegration.de/?id=23&produkt\\_id=83](http://www.solarintegration.de/?id=23&produkt_id=83) , 07/10/07
- [BI01] BIPV, *Lehrter Station Berlin*, [online] available [http://www.cler.org/predac/article.php3?id\\_article=511](http://www.cler.org/predac/article.php3?id_article=511) , 25/09/01
- [ET07] Entropie Technology, *Absorption chiller technology*, [online] available <http://www.entropie.com/en/services/absorption/chiller/>, 25/04/07

- [HG06] Halton Group, *Low velocity Supply Unit*, [online] available  
<http://www.halton.be>, 27/08/06
- [SS07] Schott Solar, *Schott Solar products*, [online] available  
<http://www.schott.com/photovoltaic/english/index.html>, 02/05/07

### **Documentatiebronnen**

- [AL04] Alfa Laval, *Plate Heat, semi welded.pdf*, [online] available  
<http://www.alfalaval.com>, 20/02/04
- [EN06] Emerson Network, *Room cooling units – Free cooling*, [online] available  
<http://www.eu.emersonnetworkpower.com>, 03/10/06
- [TT04] Trox Technik, *Tredewervelroosters- 1/9/HL/1-SD*, [online] available  
[http://www.trox.be/be\\_nl/products/air\\_diffusers/stair\\_case\\_diffusers/index.php](http://www.trox.be/be_nl/products/air_diffusers/stair_case_diffusers/index.php), 26/07/04
- [JA04] Jaga, *Technische Fiche Mini Canal.pdf*, [online] available  
[http://www.jaga.be/PDF/NL/MiniCanal\\_NL.PDF](http://www.jaga.be/PDF/NL/MiniCanal_NL.PDF), 06/02/04
- [CN07] Cumulus Nederland BV, *Hogedruk vrije ruimte luchtbevochtting*, [online] available  
<http://www.cumulus.nl>, 9/03/07
- [DO07] DOV Vlaanderen, *Grondboringen en sonderingen*, [online] available  
<http://www.dov.vlaanderen.be>, 3/04/07
- [SG06] SGG, *SGG Comfort- Planitherm-technische fiche*, [online] available  
<http://www.saint-gobain-glass.be>, 25/07/06
- [UP07] Uponor, *Voordelig verwarmen en koelen, betonkernactivering*, [online] available  
<http://www.uponor.nl>, 4/04/07
- [RE02] Reznor Europe NV, *Maximisor 3000-4500-9000*, [online] available  
<http://www.reznor.be>, 22/01/02

- [SA04] S-air international, *NKV-TB Gebogen jaloeziekleppen*, [online] available  
<http://www.sair.be>, 09/06/04
- [VI03] Viessmann, *Vitocal Warmtepompen*, [online] available  
<http://www.viessmann.be>, 19/11/03
- [VI04] Viessmann, *Vitocell Opslagvaten*, [online] available  
<http://www.gea-happel.be>, 25/03/04
- [GH06] Gea-Happel, *GEA CAIRplus*, [online] available  
<http://www.gea-happel.be>, 04/09/06
- [FR06] Fränkische, *Terra Air Home, de aardwarmtewisselaar*, [online] available  
<http://www.gea-happel.be>, 07/12/06
- [EC06] Echobel, *Climadeck - folder*, [online] available  
<http://www.echobel.com/nl/img/pdf/Climadeck.pdf>, 12/01/06
- [YA07] Yazaki, *Water Fired Chillers*, [online] available  
<http://www.yazaki.com>, 02/05/07

## LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 : destillatie van de oriëntatiewaaier via de 90%-eis.....	4	
Figuur 2 : grafische voorstelling van maximale en minimale hellingshoek .....	6	
Figuur 3 : holle en bolle stapeling van de minimale en maximale hellingshoeken .....	7	
Figuur 4 : zichten van holle en bolle 3D-vertaling.....	8	
Figuur 5 : geoptimaliseerde 3D-eindvorm .....	8	
Figuur 6 : de drie grote entiteiten in het project.....	11	
Figuur 7 : ontwerpschets.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>	
Figuur 8 : semi-transparante module .....	12	
Figuur 9 : ontwerp van raamprofiel voor de zonnemodules.....	13	
Figuur 10 : schema van thermische energie in winter en zomer .....	13	
Figuur 11 : natuurlijke ventilatie vanuit het aanliggende park met vijver .....	15	
Figuur 12 : l'Hemisferic_architect Calatrava_Valencia .....	15	
Figuur 15 : parapluiken .....	16	
Figuur 14 : natuurlijke doorstroming van de koepel in de zomer.....	16	
Figuur 15 : mechanische ventilatie in de winter .....	16	
Figuur 16 : semi-transparante cellen_Soltech .....	17	
Figuur 17 : dubbele functie van de semi-transparante modules.....	18	
Figuur 18 : binnenzicht op de work-units	Figuur 19 : zicht op de administratieve unit.....	18
Figuur 19 : zicht op de administratieve unit.....		19
Figuur 20 : reflectie van de hoge zomerzon en transmissie van de lage winterzon.....		19
Figuur 21 : koepel in overdruk .....		19
Figuur 22 : ontdebeldde structuur.....		22
Figuur 23 : dwarsnede met demo-platform boven de projectiezaal .....		25
Figuur 24 : ontwerpschets voor onderhoud van de koepel .....		25
Figuur 25 : warmteafvoer via de schil.....		27
Figuur 26 : onderste te conditioneren zone .....		27
Figuur 27 : temperatuursverschil bij verdringing .....		27
Figuur 28 : ontwerp van verdringingsarmatuur als object.....		28
Figuur 29 : voorkoeling- en verwarming via ondergronds kanaal .....		27
Figuur 30 : perforatie inblaaszuil .....		28
Figuur 31 : gevolgen van vloerverwarming in de koepel bij plotse zonnwinst .....		29
Figuur 32 : destratificatoren houden de warme lucht onderaan .....		30
Figuur 33 : ontwerpschets koppeling zonnecollectoren op bodemopslag .....		32
Figuur 34 : luchtstroom verdringing .....		32

Figuur 35 : stralingsbalken met vals plafond in de units .....	32
Figuur 37 : snede projectiezaal.....	32
Figuur 40 : bypass op de verdringing.....	32
Figuur 41 : tussentijdse systeemsamenvatting fase1_winter.....	35
Figuur 42 : tussentijdse systeemsamenvatting fase1_zomer.....	36
Figuur 43 : warme en koude warmtebron apart.....	36
Figuur 44 : omkeerbare warmtepomp .....	38
Figuur 46 : Tichelmann-grondboring .....	39
Figuur 47 : aanduiding van sondering en boring voor de C4A-site_DOV.....	39
Figuur 48 : ontwerpschets dubbel netwerk.....	41
Figuur 49 : klimaatkast met externe condensor_Hiross .....	43
Figuur 50 : luchtstroompatronen in serverlokaal .....	44
Figuur 51 : tussentijdse systeemsamenvatting fase2_winter.....	47
Figuur 53 : tussentijdse systeemsamenvatting fase2_zomer.....	47
Figuur 55 : overzicht van de verschillende units met hun functie .....	49
Figuur 56 : revisie ontwerp in grondplan.....	50
Figuur 58 : buitenrooster met registerklep .....	52
Figuur 59 : 'porie' met kleppensysteem in dubbele schil.....	53
Figuur 60 : luchtstroom en koude zone bij passieve balken .....	54
Figuur 61 : snede actieve koelbalk.....	54
Figuur 62 : verdringing in de wanden van de units geïntegreerd.....	55
Figuur 63 : tussentijdse systeemsamenvatting fase3_winter.....	56
Figuur 64 : tussentijdse systeemsamenvatting fase3_zomer.....	57
Figuur 65 : perimeter voor de grondtemperatuur .....	59
Figuur 66 : detail van ontworpen profiel .....	60
Figuur 67 : kleurenindeling van het profiel per materiaal.....	61
Figuur 68 : aanduiding van de kans op condensatie.....	66
Figuur 69 : warmtefluxen_NBN B62_002 .....	67
Figuur 70 : aanpassing basisfiguur voor C4A .....	69
Figuur 71 : sprinklers aan de constructie bevestigd_Hessing Cockpit_W.Sorgeloos.....	70
Figuur 72 : betonkernactivering als plafondverwarming .....	72
Figuur 73 : betonkernactivering in plafond en vloer.....	73
Figuur 74 : invloed van betonkernactivering in vloer en plafond .....	73
Figuur 75 : stralingspanelen aan het plafond .....	79
Figuur 76 : stralingspanelen als zonneluifels.....	76
Figuur 77 : stralingspanelen als zonneluifels.....	76

Figuur 78 : adiabatisch bevochtigen .....	78
Figuur 79 : boven: verspreiding waterdamp door natuurlijke ventilatie.....	79
Figuur 80 : hogedrukvernevelingsinstallatie .....	80
Figuur 81 : tussentijdse systeemsamenvatting fase5_winter.....	81
Figuur 82 : tussentijdse systeemsamenvatting fase5_zomer.....	82
Figuur 83 : energieconcept .....	85
Figuur 84 : detail plafondopbouw.....	94
Figuur 85 : hart-op-hart maat ifv installatiehoogte_Sabiana .....	99
Figuur 86 : detailschema koppeling grondwisselaar met warmtepomp en -wisselaar.....	100
Figuur 87 : detailschema koppeling grondwisselaar .....	100
Figuur 88 : vorming van warmtefront .....	108
Figuur 89 : architecturale vorm leidt warmte naar hoogste punt.....	108
Figuur 90 : grafische vertaling van de ZTA-waarde.....	108
Figuur 91 : weergave temperaturen voor berekening.....	108
Figuur 92 : links: weergave temperaturen voor berekening .....	108
Figuur 93 : technische tekeningen zonnecollector s/w 2,5 .....	112
Figuur 94 : detail afvoer collectorleidingen via holle kolom naar buffervat.....	113
Figuur 95 : snede opslagvat.....	114
Figuur 96 : vernevelaar of 'nozzle' type UFO_Cumulus.....	118
Figuur 97 : parapluluis 'porie' in de koepel.....	118
Figuur 98 : semi-transparant zonnepaneel .....	119
Figuur 99 : knooppuntsgewrichten .....	120
Figuur 100 : knooppuntsgewrichten .....	120
Figuur 101 : raming PV-installatie per kWp .....	124
Figuur 102 : extern railsysteem op de koepelstructuur.....	128

