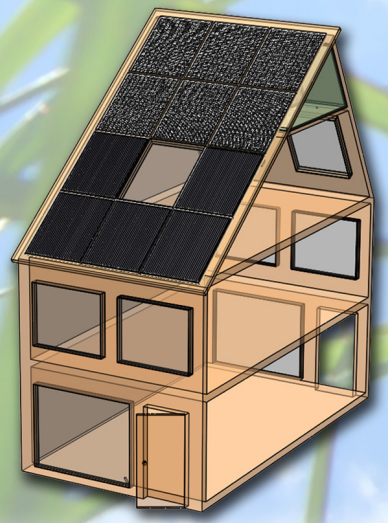
Universiteit Twente

Energieonderzoek Centrum Nederland

Bacheloropdracht bij het ECN

Energieneutraliteit in de Gebouwde Omgeving



"Concepten voor zonenergetische systemen in de toekomst"

Industrieel Ontwerpen
Jochem Nijs, s0090409

Universiteit Twente
Faculteit der Construerende wetenschappen
Postbus 217
7500 AE Enschede
Tel. 053 489 9191

Bestemd voor:

Begeleider Universiteit:	Angèle Reinders
Begeleider ECN:	Marco Bakker
Examinator:	Arthur Eger
Coördinator Bacheloropdrachten:	Wieteke de Kogel-Polak

Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen
bij het Energieonderzoek Centrum Nederland

Energieneutraliteit in de Gebouwde Omgeving

"Concepten voor zonenergetische systemen in de toekomst"

Jochem Nijs	**S0090409**	

Datum van publicatie: 10-07-2007
Aantal pagina's: 112
Aantal bijlagen: 3
Oplage: 6

Inhoudsopgave

Inleiding 4
Samenvatting 5
Doelstelling 6
Vraagstelling 7

Hoofdstuk 1: De passieve benutting van energie in de gebouwde omgeving 8
Passief gebruik maken van energie 8
De energiebalans van een woning 8
Wat moet er veranderen? 8
Warmteverliezen in een woning 9
Winst en besparingen van energie in een woning 10
Het verkleinen van de energievraag 11

Hoofdstuk 2: Duurzame opwekking van energie met behulp van zonlicht 12
Het principe van de zonnecollector 12
De opbouw van een zonnecollector 13
Photovoltaïsche omzetting door zonnecellen (PV) 13
De opbouw van een zonnecel 14
De combinatie van zonnecollectoren & PV: PVT 14
Verschillende typen zonnecollectoren 14
Verschillende aspecten van PV 15
Typen zonnecellen: Siliciumcellen 15
Typen zonnecellen: Dunne film technologieën 16
Opbouw van een PV systeem 17
PV Thermische systemen 18
Verschillende typen PVT systemen 18
Efficiëntie, opbrengsten en kosten 20

Hoofdstuk 3: Bouwkundige aspecten van de woning 22
Locaties voor toepassing van zonneproducten 22
Verschillende typen daken en gevels 22
De opbouw van daken en gevels 23
Isolatie van daken en gevels 25
Locaties van de woning voor toepassing van zonneproducten 25
Veranderingen van bouwkundige aspecten in de toekomst 26

Hoofdstuk 4: Marktonderzoek van zonenergetische producten 29
Verschillende collector, PV en PVT modules 29
Opbouw, installatie en integratie in woningen 31
Materiaalgebruik van zonenergetische producten 33
Regelsystemen en elektronische componenten 33
Problemen bij huidige producten 35

Hoofdstuk 5: Toekomstige mogelijkheden & ontwikkelingen op technologisch gebied van zonne-energie 36
Nieuwe technologieën 36
De opslag van warmte 39
Randvoorwaarden van de besproken technologieën 41

Hoofdstuk 6: Het mogelijke toekomstscenario 42
De toepassing van het product of systeem 42
De toekomstige energievraag en het energiegebruik 42
Het BuildingFuture scenario 43
Schattingen van het verwachte energieverbruik van een huishouden in de toekomst 45
Andere toekomstige ontwikkelingen 45
Haalbaarheid 47

Hoofdstuk 7: Waar moet het ontwerp aan voldoen? 49
Gebruikersonderzoek 49
Probleemanalyse 50
Productfunctieanalyse 51
Programma van Eisen 51

Hoofdstuk 8: Bespreking van de verschillende concepten 54
Concept A: Huidige technologie 55
Concept B: PVT met warmteopslag in TCM 56
Concept C: Opslagsystemen met TCM's 57
Concept D: Toepassing kunststoffen 58
Concept E: Transparant PVT 59
Concept F: Meedraaiende panelen 60
Concept G: Intelligent computersysteem 61
Concept H: Schakelbare dak/gevel delen 62
Concept I: Regelbare isolatie 63
Concept J: Vacuümbuiscollectoren, PV en TCM opslag 64
Concept K: Gekromde oppervlakken met dunne film PV 65
Concept L: Concentrerende effecten 66
Overzicht van de concepten 67
Rangschikking van de concepten 69
De combinatie van verschillende concepten 70
Conceptkeuze 71

Hoofdstuk 9: Uitwerking van ontwerp A voor 2015 72
Vacuümbuiscollectoren, PV panelen en TCM opslag (2015 – 2030) 73
De ontwerpaspecten 80
Kosten en opbrengsten 83

Hoofdstuk 10: Uitwerking van ontwerp B voor 2030 84
Schakelbare dak- en gevelelementen (2030) 84
De opbouw van een (mogelijke) woning 90
Mogelijkheden van koeling bij de bouwelementen 92
De ontwerpaspecten 94
Kosten en opbrengsten 97

Conclusies 99
Aanbevelingen 100
Bronvermelding 101

Bijlage A: Plan van aanpak 102
Bijlage B: Sollicitatiebrief & CV 110
Bijlage C: Zelfreflectie 111

Inleiding

Het verslag wat u nu voor zich heeft is het eindresultaat van een bacheloropdracht (BO) van de studie Industrieel Ontwerpen. Bij deze opdracht is een periode van 3 maanden gewerkt bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), gevestigd in het Noord-Hollandse Petten. Deze opdracht was al enige tijd beschikbaar via de Universiteit, en na een sollicitatiebrief (zie bijlage B) en een gesprek is uiteindelijk besloten dat ik aan deze opdracht kon beginnen op 10 april 2007, durende tot 10 juli, de datum waarop dit verslag ook is gepubliceerd. Een korte beknopte beschrijving van het bedrijf waarbij de opdracht is uitgevoerd is achterin het verslag in de bijlage van het Plan van Aanpak te zien (bijlage A) in het onderdeel Actoranalyse. Gedurende dezelfde periode van 3 maanden verbleef ik op een stage adres dicht in de buurt van het ECN zodat ik op deze manier elke dag aan de slag kon en niet ver hoefde te reizen.

Tijdens de opdracht is gewerkt binnen de programma-unit Energie in de Gebouwde Omgeving & Netten (EGON). Deze unit houdt zich bezig met de transitie naar een duurzame energiehuishouding in de gebouwde omgeving. Binnen de unit lopen een aantal projecten, waarvan één project zich specifiek bezighoudt met de energieneutraliteit van woningen in de toekomst. Hierbij wordt ook gekeken naar de mogelijkheden van zogenaamde "Woningen Als Energieleverend Systeem" (afgekort: WAELS). Hierbij is het de bedoeling om woningen in hun eigen energie te laten voorzien, zodat deze niet meer afhankelijk zijn van het elektriciteitsnet en gas dat via leidingen de woning binnen moet komen. Binnen project WAELS, wordt in samenwerking met TNO onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om in het jaar 2030 een energieneutrale omgeving gerealiseerd te hebben. Dit wordt gedaan door verschillende toepassingen van duurzame energie te integreren in woningen. Het was daarbij benodigd enkele ontwerpen van toekomstige zonenergetische systemen te maken. Dat was een onderdeel van deze bacheloropdracht.

De realisatie van een energieneutrale, of liever nog energieleverende woning, is bij deze opdracht gerealiseerd door gebruik te maken van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht. Dit is een schone manier van energieopwekking die goed toe te passen is op woningen door het aanbrengen van zonnecellen in de vorm van zonnepanelen voor elektriciteitsopwekking en het gebruiken van zonnecollectoren voor het opvangen van warmte van de zon. Wanneer dit op de juiste manier gebeurt, en de juiste hoeveelheden elektriciteit en warmte worden opgevangen kan de totale energievoorziening van de woning op een duurzame manier plaatsvinden. Omdat veel van de toepassingen op dit gebied nog volop in onderzoek zijn, is de onderzoeksopdracht toegespitst op de toekomst; vanaf het jaar 2015 tot rond het jaar 2030. In dit jaar zullen nieuwe technologische mogelijkheden op het gebied van duurzame energievoorziening mogelijk zijn, waardoor de doelstellingen van project WAELS op deze termijn haalbaar zijn.

Aan de opdracht is gewerkt op een werklocatie van het ECN waarbij deels zelfstandig en deels in teamverband werd gefunctioneerd. Het project liep al een tijd en daarom was het nodig eerst te inventariseren welk werk al verricht was voordat aan de opdracht begonnen kon worden. Binnen het ECN kon ik hiervoor bij verschillende mensen terecht die van diverse vakgebieden de benodigde kennis hadden. Op deze manier kwam ik aan de informatie die ik nodig had voor het realiseren van enkele ontwerpen voor het project. Wanneer zich vragen voordeden, kwamen de benodigde antwoorden op deze manier snel binnen mijn bereik.

De eerste maand van de opdrachtperiode is gebruikt om te wennen aan de nieuwe werkomgeving en om in te lezen in de beschikbare kennis die toegepast moest worden in enkele ontwerpen. Vanaf de tweede maand is daarna begonnen met het genereren van concepten met daarin verschillende mogelijkheden voor het bereiken van toekomstige energieneutrale en energieleverende woningen. Deze concepten zijn in overleg van verschillende medewerkers van het ECN tot stand gekomen en enkele zijn gebaseerd op brainstormsessies die al eerder binnen het project hadden plaatsgevonden. Dagelijks contact met zowel mijn begeleider als andere specialisten, maakte het mogelijk om nieuwe technologieën op energiegebied, waar in de praktijk nog weinig toepassingen van te vinden zijn, te integreren in de gemaakte ontwerpen voor de toekomst. De keuze om enkele van deze concepten verder uit te werken is eveneens gemaakt in overeenstemming met de deelnemers van het project waar deze opdracht deel van uit maakte. Daarbij is de keuze gevallen op een tweetal concepten, dat voor verschillende toekomstperioden (2015 en 2030) is uitgewerkt.

Allereerst is voor de vroegere toekomstperiode 2015 – 2030 een ontwerp uitgewerkt wat gebruik maakt van een combinatie van technisch haalbare technologieën op de korte termijn. Daarnaast is een ontwerp tot stand gekomen dat met de verdere toekomst (vanaf 2030) in het oog is gerealiseerd. De totstandkoming van deze twee ontwerpen en hoe deze concepten eruitzien en in elkaar zitten is in dit verslag te zien.

Op maandag 30 juli om 14:00 zal uiteindelijk het examen van deze bacheloropdracht plaatsvinden op de Universiteit Twente. Hierbij zal een korte presentatie van 15 tot 20 minuten gehouden worden over de resultaten van de werkzaamheden van deze opdracht. Bij deze presentatie zullen de volgende deelnemers aanwezig zijn:

Examinator:	Arthur Eger
Begeleider UT:	Angèle Reinders
Begeleider ECN:	Marco Bakker
Student BO:	Jochem Nijs

De presentatie vindt plaats in vergaderruimte Z-203 in het gebouw "de Horst" op de Universiteit Twente in Enschede. Verder wens ik u veel plezier met het doorlezen van dit verslag.

Samenvatting

Bij de BO is begonnen met het maken van een nauwkeurig plan van aanpak (PVA). Dit plan maakte deel uit van het vak Inleiding Technologisch Onderzoek en zorgde ervoor dat het doel van de bacheloropdracht duidelijk is omschreven en er volgens een bepaalde schematische wijze wordt gewerkt. Dit plan van aanpak is in bijlage A te vinden. Het hoofddoel van de opdracht bij het ECN kan kort samengevat worden als:

Het uitwerken van enkele concepten van zonenergetische systemen voor de toekomst (2015 en 2030) waarbij nieuwbouwwoningen in de toekomst energieneutraal of energieleverend gemaakt kunnen worden.

Met deze doelstelling in het achterhoofd is aan de opdracht begonnen door in het PVA een lijst met kritische vragen op te stellen, waardoor bij beantwoording van deze vragen, de doelstelling van het project behaald kan worden. Deze vragen dienen als leidraad voor de opdracht, en worden aan het begin van elk hoofdstuk geformuleerd zodat duidelijk is waar naartoe gewerkt wordt. Per hoofdstuk wordt één hoofdvraag behandeld, met daarbij behorend enkele deelvragen.

Om niet in het wilde weg aan de slag te gaan is een planning opgesteld zodat de 13 weken tijd ook daadwerkelijk nuttig besteed kunnen worden en een goed eindresultaat kan worden behaald. Deze planning is verwerkt in het PVA en achterin het verslag in bijlage A te vinden. Uiteraard diende deze planning als houvast en is af en toe gedeeltelijk van deze planning afgeweken.

Omdat bij mij van tevoren nog weinig kennis aanwezig was over het onderwerp "Duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht", is in de eerste maand van de BO een kleinschalig onderzoek naar dit onderwerp gedaan zodat duidelijk werd waarmee straks ontworpen diende te worden. Het resultaat van dit analytische onderzoek, waarbij ingegaan wordt op verschillende aspecten van dit onderwerp, is in hoofdstuk 1 te lezen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de passieve benutting van energie in de gebouwde omgeving. Hierbij wordt eerst besproken welke manieren er zijn om binnen een woning energie te besparen, voordat voordat daadwerkelijk een zogenaamde "actieve" energieomzetting met behulp van zonlicht plaats zal vinden.
Deze actieve manier van duurzame energieopwekking wordt in hoofdstuk 2 behandeld. Hierbij worden onderwerpen als het opwekken van elektriciteit met behulp van PV panelen en het opvangen van warmte met zonnecollectoren uitvoerig besproken. Er wordt hierbij gekeken naar verschillende typen producten, hun eigenschappen, en de verschillende mogelijkheden van deze technologieën.

Omdat de besproken producten toegepast dienen te worden in de context van het project: "De gebouwde omgeving", dient ook kennis van bouwkundige aspecten van de woning aanwezig te zijn. Dit onderwerp wordt in hoofdstuk 3 behandeld, zodat duidelijk wordt met welke dingen rekening gehouden moet worden bij de toepassing van een nieuw systeem voor woningen in de toekomst. Naast verschillende technische aspecten van de woning zal ook gekeken worden naar de buitenkant; de vormgeving. Hierbij wordt kort geanalyseerd welk architectonisch verloop van woningen de afgelopen 50 tot 60 jaar heeft plaatsgevonden, zodat met deze veranderingen rekening gehouden kan worden voor het ontwerpen voor de toekomst.

Nadat duidelijk is hoe de technologie van de toepassingen in elkaar zit, en hoe deze geïntegreerd kan worden, is het nodig om te kijken naar de verschillende typen producten die nú op de markt te zien. Dit is gedaan in hoofdstuk 4 in een kleinschalig marktonderzoek waarbij verschillende zonenergetische producten van de huidige markt worden besproken en hun voor- en nadelen worden opgesomd zodat duidelijk is welke verbeterpunten voor de toekomst plaats kunnen vinden. Verschillende typen collectoren, PV panelen en combinaties van deze twee (PVT), worden behandeld wat betreft verschillende aspecten zoals materiaalgebruik, bevestiging, aanwezigheid van elektronica, etc.

Een product voor de toekomst ontwerpen betekent dat ook rekening gehouden moet worden met de veranderingen die in de periode tussen nú en de tijd waarvoor het product ontworpen dient te worden, kunnen plaatsvinden. Dit mogelijke toekomstscenario wordt in hoofdstuk 5 besproken qua nieuw verwachte technische mogelijkheden. Hierbij wordt gekeken naar technologieën waar nu (onder andere bij het ECN) onderzoek naar wordt gedaan, maar die nog niet verwerkt zijn in huidige toepassingen.

Naast de beschikbaarheid van techniek is het nodig enkele schattingen en aannames te doen wat betreft het toekomstscenario waarvoor ontworpen dient te worden. Er zullen in hoofdstuk 6 schattingen en voorspellingen gedaan worden over het energieverbruik, de energievraag en andere veranderende aspecten die van belang zijn voor het te ontwerpen systeem voor de toekomst. Daarnaast is gekeken naar de haalbaarheid van het project op korte en middellange termijn.
In de doelstelling zijn verschillende ontwerpaspecten opgesomd waarnaar gekeken dient te worden bij het ontwerp. In hoofdstuk 7 zal een probleemanalyse aangeven hoe de huidig aanwezige producten in deze aspecten tekort schieten, en hoe dit mogelijk op te lossen is in nieuwe toekomstige producten. Dit probleemoverzicht geeft tekortkomingen aan en kan gebruikt worden voor het nauwkeurig definiëren van de functies die het product moet vervullen. Hierop volgend is een uitgebreid programma van eisen geformuleerd waarin wordt opgesomd waar het product aan moet voldoen. Met dit hoofdstuk eindigt het analysegedeelte van de opdracht en wordt gestart met het daadwerkelijke ontwerpgedeelte van de BO.

Na uitgebreide analyse in de voorgaande hoofdstukken is in hoofdstuk 8 een overzicht weergegeven van de in totaal 12 verschillende concepten die zijn gemaakt voor het project. Deze concepten zullen één voor één besproken worden aan de hand van beeld en tekst. Uiteindelijk is een tweetal ontwerpen gekozen om verder uit te werken. Een uitgebreid overzicht met alle voor- en nadelen en een rangschikking van de concepten op basis van verschillende criteria maakt deze keuze duidelijker. Ook wordt gekeken naar de onderlinge combinatie van concepten en de technologische mogelijkheden van deze concepten.

De twee ontwerpen die uiteindelijk zijn uitgewerkt worden in het laatste, meest belangrijke hoofdstuk, hoofdstuk 9 uitgebreid besproken door ze aan alle gestelde ontwerpaspecten te onderwerpen die in de doelstelling omschreven zijn. Door de ontwerpen uit te werken in het 3D CAD programma SolidWorks zijn duidelijke visualisaties van het resultaat weergegeven voor de mogelijkheden van de verschillende ontwerpen.

Tot slot zal in de laatste gedeelten van dit verslag het totale project geëvalueerd worden door conclusies te trekken en enkele aanbevelingen te doen betreffende de resultaten van de opdracht. Daarnaast zal in een korte zelfreflectie, te vinden in bijlage C, kritisch ingegaan worden op de dingen die zijn geleerd tijdens het doen van deze BO.

Doelstelling

Het doel van deze bacheloropdracht is, zoals net al kort werd verteld in de samenvatting, in de eerste week van de BO, geformuleerd in een nauwkeurig plan van aanpak (PVA) wat ook in bijlage 1 te vinden is. Met behulp van deze doelstelling kan precies bepaald worden welke stappen genomen moeten worden om te voldoen aan de opdracht. Een kort samengevatte doelstelling werd net al omschreven in de samenvatting. De totale doelstelling is hieronder als volgt omschreven:

"Het doel van deze bacheloropdracht is om enkele concepten voor zonenergetisch systemen voor de toekomst uit te werken, waarmee toekomstige nieuwbouwwoningen energieneutraal of energieleverend gemaakt kunnen worden. Hierbij zal gekeken worden naar enkele belangrijke ontwerpaspecten zoals energieopbrengst, flexibiliteit, gebouwintegratie, intelligentie, modulariteit, zelfstandigheid, gebruiksgemak, comfort, vormgeving, kosten en technische haalbaarheid. Door goed na te denken over deze aspecten moet de toepassing van een dergelijk zonenergetisch systeem in de woning van een consument in de toekomst interessanter worden. Er zal hierbij gekeken worden naar de ontwikkelingen in diverse onderzoeksvelden rondom zonnecollectoren, PV panelen, en andere technologieën die gerelateerd zijn aan het opwekken van duurzame energie met zonlicht."

Met deze doelstelling in gedachten is een globale aanpak gemaakt over hoe dit doel bereikt kan worden. De realisatie van het doel kan plaatsvinden door eerst een globaal inzicht te verkrijgen in de huidige typen zonenergetische systemen zoals zonnecollectoren en PV panelen. Het doen van vooronderzoek naar het onderwerp door middel van het (in)lezen van de literatuur over dit onderwerp zal hierbij de eerste stap zijn. Met deze kennis en de huidige resultaten van project WAELS kan dan een overzichtelijke lijst opgesteld worden met beschikbare technologieën en randvoorwaarden die van toepassing zijn op zonnecollectoren, PV panelen, warmteopslag, etc. voor de toekomst. Door een inventarisatie te maken van het wenselijke scenario waarin de zonnecollector zal moeten worden toegepast, kunnen de functies van het product opgesteld worden in een productfunctieanalyse. Aan de hand van deze functies kan een programma van eisen en wensen worden opgesteld. Hiermee kunnen enkele concepten gegenereerd worden door het maken van enkele ruwe schetsen. Uit deze concepten zullen vervolgens de beste alternatieven verder uitgewerkt worden waarbij kritisch gekeken wordt naar zowel het technische aspect als de vormgeving van het ontwerp. Uiteindelijk kan hiervan een gedetailleerd ontwerp van een zonenergetisch systeem in 2030 gemaakt worden om vervolgens met behulp van een 3D CAD model een duidelijke visualisatie van het eindproduct te maken. Dit alles zal plaatsvinden in een tijdsbestek van 13 weken.

Bij de doelstelling worden een aantal verschillende woorden genoemd die eerst even toegelicht dienen te worden zodat duidelijk wordt wat bedoeld wordt met deze omschrijvingen. Deze uitleg is hieronder te lezen:

Zonenergetisch systeem: De te ontwerpen (vernieuwde) installatie met zonnecollectoren en PV panelen die ervoor zorgt dat de totale energievraag van de woning geleverd kan worden met behulp van een duurzame, omzetting van zonlicht naar warmte en elektriciteit en hiermee de woning zogeheten energieneutraal maakt.

Energieopbrengst: De hoeveelheid energie uit het zonlicht die door middel van omzetting van het systeem uiteindelijk nuttig gebruikt kan worden binnen de woning in de vorm van warmte enerzijds en elektriciteit anderzijds.

Flexibiliteit: De mate waarin zowel het gebouw waarin het systeem is geïntegreerd, als het systeem zelf, zich eenvoudig aan kunnen passen aan gewijzigde of nieuw toegevoegde componenten in het totale systeem of veranderende wensen van de gebruiker en de interfaces.

Gebouwintegratie: Mate waarop het zonenergetische systeem is geïntegreerd en "verwoven" met de woning waarin deze zich bevindt, zodat deze samen een passend geheel vormen.

Intelligentie: De mate waarin het gebouw en het systeem zichzelf én zijn gedrag, zelfstandig aan de wensen en het gedrag van de gebruiker, het weer, en de gebruiksomstandigheden, aan kan passen.

Modulariteit: Wijze waarop componenten van het systeem enerzijds, of het gebouw anderzijds, eenvoudig onderling toe te voegen of uit te wisselen zijn.

Zelfstandigheid (autonomie): De conditie waarin het gebouw zichzelf kan voorzien in zijn eigen energiebehoefte. Dat wil zeggen: het deel van de energiebehoefte wat niet meer afhankelijk is van energiebronnen die van "buitenaf" moeten komen zoals het elektriciteitsnet of de gastoevoer.

Gebruiksgemak en geleverd comfort: Mate waarin de gebruiker, zonder dat het veel moeite of inspanning kost, het systeem naar behoeve kan gebruiken. Dit kan ook andersom gezien worden; namelijk dat de gebruiker niet het product bedient, maar dat het product de gebruiker bedient.

Nu met deze omschrijvingen een duidelijker beeld is verkregen waar met deze doelstelling van de opdracht naar gekeken zal worden, is het tijd om te kijken naar hoe deze realisatie van de doelstelling precies kan plaatsvinden. Net werd al even een globale beschrijving gegeven van een stappenplan wat zou kunnen leiden tot bevrediging van de doelen van dit project. Om dit echter op een overzichtelijke en systematische wijze te doen is er een bepaalde vraagstelling nodig die als leidraad dient voor dit onderzoek. Deze vraagstelling dient als houvast tijdens het doorlopen van het project en kan grofweg opgedeeld worden in twee onderdelen: een analysegedeelte en een ontwerpgedeelte. Bij het analysegedeelte wordt allereerst uitvoerig onderzocht welke factoren van belang zijn voor het ontwerpen van een nieuw product of systeem voor de toekomst. Bij het daadwerkelijke ontwerpgedeelte zal de uitvoering van deze ontwerpen uitgevoerd worden. Het overzicht van de totale vraagstelling is in het volgende gedeelte van dit verslag te lezen.

Vraagstelling

Analysegedeelte:

1. **Welke rol speelt de passieve benutting van zonne-energie bij de benodigde energetische vraag binnen een huishouden?**
   a. Waaruit bestaat de energievraag van de gebouwde omgeving voornamelijk?
   b. Hoe werkt passieve benutting van zonne-energie binnen de gebouwde omgeving?
   c. In welke mate kan door passieve benutting van energie de energievraag verminderd worden?
   d. Welke van de besproken technieken van passieve benutting van zonne-energie zijn van toepassing op een nieuw te ontwerpen zonenergetisch systeem?

2. **Welke manieren van het duurzaam opwekken van energie met behulp van zonlicht zijn mogelijk?**
   a. Op welke principes berusten deze manieren van energieopwekking?
   b. Hoe werken deze manieren van energieopwekking precies?
   c. Welke verschillende methoden worden het meest toegepast in producten op het gebied van zonne-energie?
   d. Uit welke aspecten bestaan deze verschillende toegepaste methoden?
   e. Wat zijn de voor- en nadelen van deze methoden?
   f. Hoe efficiënt zijn zonenergetische producten tegenwoordig qua rendement van de energieopbrengst?
   g. Hoe efficiënt zijn deze producten als gekeken wordt naar de verhouding van de prijs en de opbrengst?

3. **Welke bouwkundige aspecten van een woning zijn van belang met betrekking tot het ontwerpen van een zonenergetisch systeem voor de toekomst?**
   a. Op welke locaties van een woning kunnen zonnecollectoren en PV-panelen het best geïntegreerd worden om zo efficiënt mogelijk gebruikt te worden?
   b. Aan welke eisen moet een dak / gevel voldoen?
   c. Wat voor soorten daken / gevels zijn er?
   d. Hoe zit een dak / gevel precies in elkaar?
   e. Hoe zit het met de isolatie van de verschillende soorten dakbedekkingen / gevelwanden?
   f. Welke mogelijkheden geven daken en gevels voor de toepassing van zonnecollectoren en PV?
   g. In welke mate zal in de toekomst verandering optreden wat betreft de bouwkundige aspecten en architectuur van woningen?
   h. Welke van deze optredende veranderingen zijn belangrijk om rekening mee te houden bij het te ontwerpen product?

4. **Welke producten zijn er nu op de markt op het gebied van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht?**
   a. Welke losse modules voor zonnecollectoren, PV en PVT zijn er?
   b. Hoe zijn zonenergetische producten gemakkelijk op bestaande woningen te zetten / aan te bouwen (bevestiging- en installatietechnieken)?
   c. Hoe zijn deze te integreren (inbouwen) in reeds bestaande woningen (integratietechnieken)?
   d. Hoe gebeurt de integratie van zonnecollectoren en PV panelen in nieuwbouwwoningen?
   e. Welke materialen worden gebruikt bij de huidige producten die gebruik maken van zonne-energie?
   f. Welke regelsystemen bevatten de huidige zonnecollectoren en PV(T) systemen?
   g. Welke problemen doen zich voor bij de huidige markt van zonne-energie die mogelijkerwijs verbeterd zouden kunnen worden met de ontwikkeling van een nieuw product?

5. **Welke nieuwe technologische mogelijkheden zijn er in het jaar 2030 op het gebied van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht?**
   a. Welke nieuwe technologieën zijn er op dit moment in ontwikkeling?
   b. Welke nieuwe technologieën zouden hun intrede in de toekomst nog kunnen doen?
   c. Aan welke randvoorwaarden zijn deze nieuwe technologieën gebonden?
   d. Welke van deze nieuwe technologieën zijn mogelijk toe te passen in het te ontwerpen product?

Ontwerpgedeelte:

6. **Wat is het toekomstscenario waarin het te ontwerpen product zal moeten gaan functioneren in 2030?**
   a. In welke context zal het product gebruikt gaan worden?
   b. Voor welke woningen / gebouwen zal het nieuwe product geschikt moeten zijn?
   c. Wat zal het verloop van de energievraag en het energiegebruik zijn wanneer gekeken wordt naar de toekomst?
   d. Welke andere ontwikkelingen en veranderingen zijn belangrijk wanneer wordt gekeken naar het jaar 2030?
   e. Wat zal het verloop van de prijs van zonne-energie en regulier opgewekte energie zijn voor de toekomst?
   f. Is het haalbaar om met dit toekomstscenario energieneutraliteit van woningen te garanderen?

7. **Waar moet het nieuw te ontwerpen zonenergetische systeem aan voldoen voor de toekomstige consument?**
   a. Wat zijn de verschillende "stakeholders" die een rol spelen bij het uiteindelijke product (Gebruikersonderzoek)?
   b. Wat is de voornaamste doelgroep van het te ontwerpen product? (Doelgroepanalyse)
   c. Welke problemen treden op bij het kunnen vervullen van de doelstelling wat betreft de verschillende te behandelen ontwerpaspecten? (Probleemanalyse)
   d. Welke functies zijn absoluut noodzakelijk te integreren in het ontwerp om de doelstelling te bereiken? (Productfunctieanalyse)
   e. Welke functies zijn minder van belang maar zouden een nuttige bijdrage kunnen leveren?
   f. Aan welke eisen moet het product voldoen om aan de doelstelling van het onderzoek te voldoen? (Programma van Eisen)

8. **Welke concepten zijn te bedenken voor zonenergetische systemen in de toekomst?**
   a. Welke van deze concepten zijn haalbaar wat betreft de randvoorwaarden en de verwachte technologische mogelijkheden in de toekomst?
   b. Welke van deze concepten zijn uiteindelijk het meest interessant om verder in detail uit te werken?

9. **Hoe kan aan de verschillende gestelde ontwerpaspecten die in de doelstelling zijn geformuleerd worden voldaan?**
   a. Welke technologieën die toegepast worden in het ontwerp zijn nu al beschikbaar?
   b. Welke toegepaste technologieën moeten eerst nog verder ontwikkeld worden?
   c. Hoe hoog is de energieopbrengst bij het ontwerp?
   d. Hoe wordt de flexibiliteit binnen het systeem geregeld?
   e. Hoe wordt gezorgd voor een goede gebouwintegratie van het product?
   f. Op welke manier wordt het systeem intelligent gemaakt?
   g. Uit welke verschillende modules bestaat het product?
   h. Hoe wordt een zekere mate van zelfstandigheid van het systeem geregeld?
   i. Op welke manier kan het gebruiksgemak en geleverde comfort voor de consument zo goed mogelijk worden verzorgd?
   j. Hoe ziet het ontwerp er qua vormgeving uit?
   k. Welke materialen worden toegepast in het ontwerp?
   l. Wat zijn mogelijke problemen die kunnen optreden bij het totale ontwerp?
   m. Hoe zijn deze problemen mogelijk op te lossen?
   n. Wat zijn de voor- en nadelen van het nieuwe, toekomstige ontwerp vergeleken met huidige, vergelijkbare producten in dezelfde categorie?
   o. Wat zijn de verwachte kosten wanneer dit ontwerp in de toekomst toegepast zal worden?

Hoofdstuk 1: Passieve benutting van energie in de gebouwde omgeving

In dit hoofdstuk zal worden onderzocht welke rol de passieve benutting van zonne-energie speelt bij de totale energetische vraag in de gebouwde omgeving. Er wordt hierbij op de schaal van één woning gekeken. Dit wordt gedaan door antwoord te geven op onderstaande hoofdvraag en de daarbij horende deelvragen die gedurende dit hoofdstuk aan de orde zullen komen:

Welke rol speelt de passieve benutting van zonne-energie bij de benodigde energetische vraag binnen een huishouden?

a. Waaruit bestaat de energievraag van de gebouwde omgeving voornamelijk?
b. Hoe werkt passieve benutting van zonne-energie binnen de gebouwde omgeving?

De energievraag van de gebouwde omgeving bestaat grotendeels uit vijf aspecten: (1) het verwarmen van woonruimten, (2) het verwarmen van tapwater en het verzorgen van de ventilatie (3), verlichting (4) en koeling (5) in een gebouw. Daarnaast is ook nog energie benodigd voor huishoudelijke apparatuur en consumentenelektronica. In moderne woningen (huishoudens) die voldoen aan de huidige energieregelgeving wat betreft isolatie en andere energiegebonden normen, bestaat het grootste gedeelte van de totale vraag (meer dan de helft) uit de energie die benodigd is voor het verwarmen van tapwater.

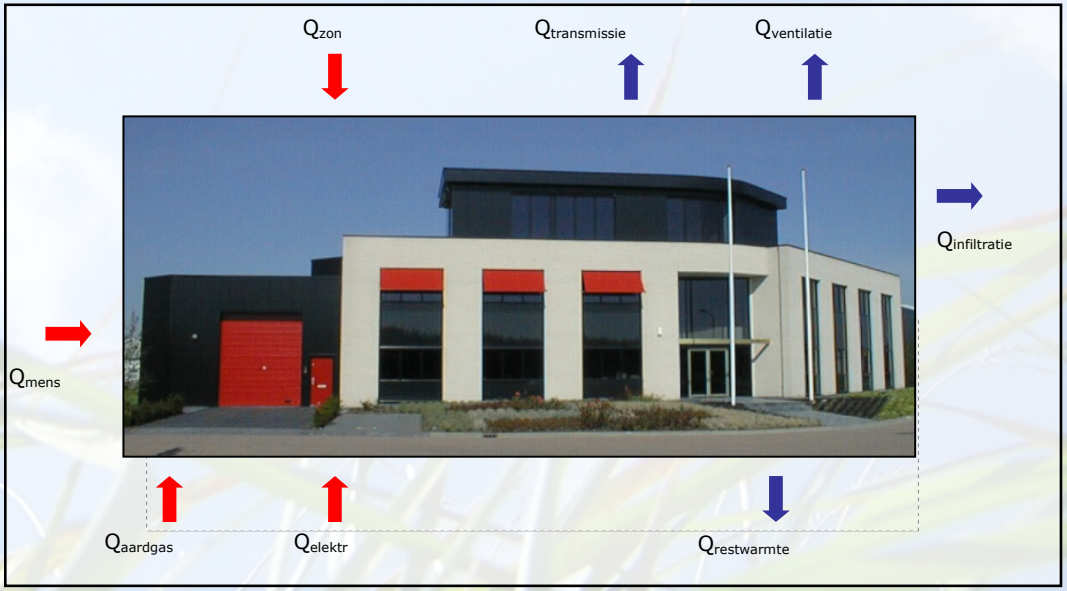
Wanneer de verwarming van woonruimten hierbij wordt gerekend zal dit samen in totaal al tweederde van de totale energievraag in een modern huishouden zijn. De overige energievraag (een derde) is benodigd voor het gebruiken van elektrische apparatuur. Volgens moderne regelgevingen wat betreft de energieprestatie van nieuwbouwwoningen, mag maximaal 50%[1] van het totale energiegebruik gebruikt worden voor het verwarmen van woonruimten. Deze steeds strenger wordende eisen kunnen onder andere bereikt worden door op een juiste manier "passief" gebruik te maken van energie in de gebouwde omgeving.

Passief gebruik maken van energie

Passief gebruik maken van (zonne-)energie in de gebouwde omgeving houdt onder andere in dat met behulp van *besparing* al een zeer groot deel van de energievraag beperkt kan worden. Hierbij is het zo dat, waarbij gekeken wordt naar de toekomst (2030) waarop dit project van toepassing is, de energievraag van woningen zoals deze nu is (2007) al met een factor 4 verminderd kan worden door alleen al gebruik te maken van energiebesparende maatregelen. Steeds meer van deze maatregelen worden tegenwoordig dan ook verplicht gesteld bij het bouwen van nieuwe woningen. Daarom is door de overheid de zogenaamde "EPC waarde" in het leven geroepen. Een afkorting die staat voor de zogenaamde Energie Prestatie Coëfficiënt. Hoe lager deze waarde is, hoe energiezuiniger de woning. Vanaf 2006 is het voor alle nieuwbouw verplicht om een EPC lager dan 0,8 te hebben.[2]

De energiebalans van een woning

Om wat te kunnen zeggen over de passieve benutting van energie is het eerst nuttig om eens te kijken naar de *energiebalans* van een woning. Deze balans bestaat uit het totaal van alle in- en uitgaande energiestromen van een woning en deze zijn schematisch in afbeelding 1.1 weergegeven. Vanuit de omgeving komt ten eerste, via het zonlicht dat de woning binnenvalt, energie in de vorm van warmte en straling binnen (Q_{zon}). Verder zorgt de aansluiting tot het lichtnet voor elektriciteit (Q_{elekt}) zodat elektrische apparaten gebruikt kunnen worden binnenin het huishouden. Daarnaast is er een aansluiting voor gas (Q_{gas}) die ervoor zorgt dat zowel woonruimten als tapwater verwarmd kunnen worden en er op bijvoorbeeld een gasfornuis gekookt kan worden. Uiteindelijk is er nog een laatste binnenkomende stroom van energie (Q_{mens}) die te danken is aan de warmte die de lichamen van de mensen die in een huis leven zelf uitstralen. Deze ingaande energiestroom wordt vaak vergeten maar is toch zeker niet te verwaarlozen. Zeker wanneer binnen één woning relatief veel mensen wonen kan deze energiestroom een aanzienlijke bijdrage leveren.



Figuur 1.1: Overzicht van de totale energiebalans van een woning

Wat moet er veranderen?

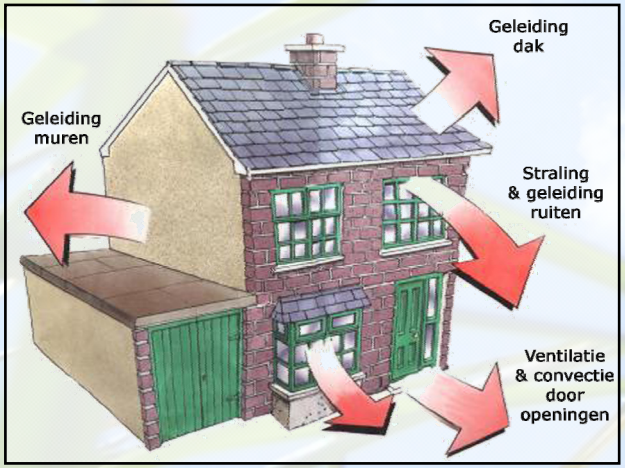
In de huidige situatie is het zo dat Q_{gas} en Q_{elektr} de grootste bronnen van de totale ingaande energiestroom zijn en dat Q_{zon} (op een passieve wijze) slechts in geringe mate een bijdrage levert. In de toekomst (2030) zullen deze twee bronnen van energie echter volledig geëlimineerd worden uit de energiebalans en zal de woning volkomen aangewezen zijn op Q_{zon} en eventueel andere duurzame energiebronnen. Dit betekent dat de woning dan zogenaamd "energieneutraal" moet zijn, en dus zichzelf volledig moet kunnen voorzien van de benodigde energie binnen het huishouden door benutting van zonlicht. Hierbij is uiteraard alleen de passieve benutting van zonne-energie niet genoeg, ook zal er gebruik gemaakt moeten worden van *actieve* manieren die de zon als energiebron gebruiken. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van zonnecollectoren zijn (zonthermische energie), voor het gebruiken voor de verwarming van ruimten en warm tapwater of in de vorm van het gebruik van zonnepanelen (photovoltaïsche energie) ook wel PV panelen genoemd met daarin zonnecellen waarmee kan worden voorzien in de elektriciteits-behoefte van een huishouden. Over deze actieve methoden van gebruik van zonne-energie volgt straks meer in hoofdstuk 2. Er wordt nu eerst gekeken naar de passieve kant van het benutten van de energie uit zonlicht.

Warmteverliezen in een woning

Een woning is onderhevig aan allemaal warmteverliezen die optreden tussen de warme binnenkant van de woning en de koude omgeving die daaraan grenst. Deze warmteverliezen zijn op te delen in verschillende onderdelen en zijn weergegeven als de blauwe pijlen in figuur 1.1 op de vorige pagina.

Uitgaande energiestromen: De uitgaande energiestromen van de energiebalans bestaan uit de warmteverliezen door (1) transmissie, (2) ventilatie, (3) infiltratie en ten slotte (4) restwarmte. Er zal nu precies uitgelegd worden wat deze verliezen zijn, waar ze door worden veroorzaakt en hoe ze zoveel mogelijk te verminderen zijn.

Verlies van warmte: Transmissieverliezen van warmte uit de woning naar de omgeving toe bestaan uit de volgende drie onderdelen: *geleiding*, *convectie* en *straling.* Bij warmteverlies door geleiding is voornamelijk de isolatie-eigenschap van materialen waaruit de woning is opgebouwd van belang. Hierbij is een zo laag mogelijke warmtegeleidingcoëfficiënt gewenst zodat zo min mogelijk warmte geleid wordt naar de koudere buitenomgeving toe. Deze coëfficiënten hangen af van de materiaaleigenschappen. De warmtegeleidingcoëfficiënt van goede isolatiematerialen is bijvoorbeeld 0,04 W/mK en voor steenachtige materialen is deze circa 1 W/mK. Hoe dikker de laag isolatie is, hoe groter de warmteweerstand bovendien wordt.



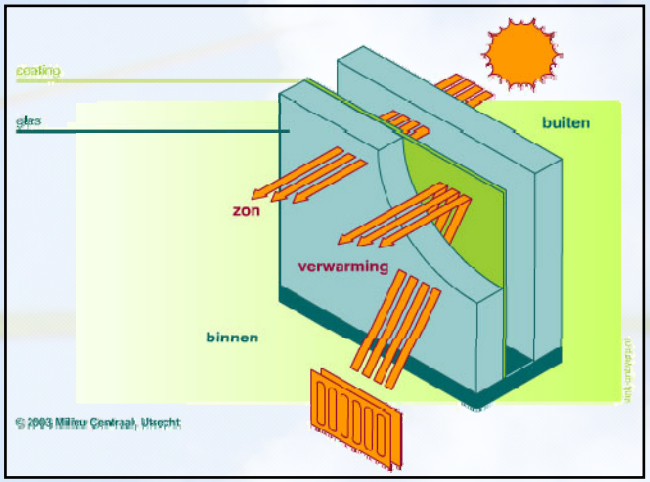
Figuur 1.2: Overzicht van de verschillende typen warmteverliezen in een woning

Er zijn verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de warmteverliezen in een woning. Sommige van deze factoren zijn gemakkelijk te beïnvloeden zodat een groot deel van de warmteverliezen van een woning kunnen worden verminderd.

Oppervlakte buitenoppervlak woning: Een iets minder praktisch aan te passen, maar wel een belangrijke factor bij warmteverlies door geleiding is de totale buitenoppervlakte van een woning. Wanneer deze zeer groot is, zal een groter warmteverlies optreden wat onwenselijk is. Daarom is een compacte bouw van de woning het meest voor de hand liggend. Een voorbeeld van de variërende oppervlakte aan de buitenkant van woningen is dat bij een vrijstaand huis meer warmteverlies zal optreden dan bij een rijtjeshuis. Ook treden er warmteverliezen op door *convectie* waarbij warmte wordt afgegeven aan de koude lucht die langs de warmere binnenlucht heen stroomt. De snelheid van de langsstromende koude lucht is daarbij van belang waardoor de afgifte van warmte aan het buitenoppervlak van de woning over het algemeen hoger zal zijn (als gevolg van de wind) dan bij het binnenoppervlak.

Isolatie*:* Door warmte van de omgeving de woning binnen te laten, en deze warmte vervolgens binnen de ruimten van het gebouw vast te houden met behulp van *isolatie*, kan een groot deel van de energievraag van een woning verminderd worden. Het goed isoleren van muren, daken en vloeren van een gebouw zorgt ervoor dat het warmteverlies naar de omgeving toe zoveel mogelijk geminimaliseerd wordt. De mogelijkheden voor isolatie van vloeren en daken zijn hierbij het meest uit te breiden omdat de isolatielagen hiervan gemakkelijker dikker gemaakt kunnen worden, zonder dit al teveel invloed heeft op de grootte van woonruimten. Het grootste probleem bij de isolatie van een woning treedt op bij de ramen en deuren. Hierbij is het zo dat deuren nog redelijk goed te isoleren zijn door het toepassen van isolatiematerialen, maar bij ramen zal het warmteverlies naar de omgeving al gauw een stuk groter zijn.

Beglazing: Met behulp van het toepassen van meerdere lagen glas (dubbel, driedubbel, of zelfs vierdubbel glas), met daartussen holten die gevuld zijn met lucht of bepaalde inerte gassen, kan de isolatie van ramen verbeterd worden. De gassen die hierbij worden gebruikt tussen de lagen van het glas in, hebben de eigenschap dat ze een lagere warmte overbrengingscoëfficiënt hebben dan lucht, wat verbeterde isolatie eigenschappen oplevert. Wel zijn de kosten van toepassing van deze gassen hoger naarmate de isolerende eigenschappen toenemen. Het meest toegepaste gas is het edelgas argon, wat wordt gebruikt bij het zogenaamde hoogrendement (HR+ en HR++) glas[3].



Figuur 1.3: Werking van spectraal selectieve beglazing

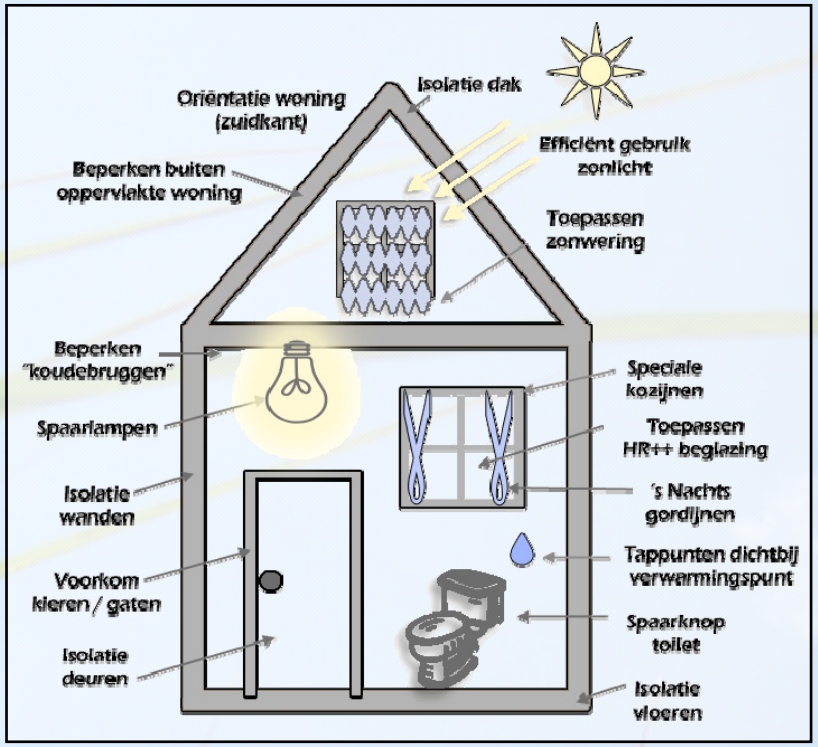
Spectraal selectieve lagen in beglazing[4]*:* Een andere mogelijkheid die ook wordt toegepast om de warmteafgifte naar de omgeving te verminderen is het toepassen van spectraal selectieve lagen op het glas. Deze laag laat het zichtbare licht goed door maar reflecteert de hogere golflengten van het licht, zodat warmtestraling binnenshuis blijft (zie ook figuur 1.3). Daarnaast is het warmteverlies bij ramen niet alleen afhankelijk van het soort glas, maar ook het kozijn waarin de ruit is geplaatst. Speciaal gelamineerde houten kozijnen met toepassing van modern isolatiemateriaal zoals polyurethaan worden steeds meer toegepast om dit warmteverlies zo klein mogelijk te houden. Om het energieverbruik van de woning nog lager te maken, zullen ook de zogenaamde "koudebruggen"[5] binnen woningen zoveel mogelijk moeten worden gereduceerd. Een koudebrug is een plaats in een gebouw waar relatief gezien veel warmte verloren gaat als gevolg van onderbrekingen van de isolatielagen in het bouwwerk: bijvoorbeeld door een ondersteuningsbalk waar geen isolatiemateriaal toegepast kan worden of bij overgangen van (geïsoleerde muren) naar ramen en deuren.

Warmteverlies als gevolg van ventilatie: Behalve het warmteverlies als gevolg van de uitzending van warmte naar de omgeving, is ook het energieverlies als gevolg van *ventilatie* van belang. Factoren die van invloed zijn binnen een woning, zijn bijvoorbeeld de aanwezigheid van openingen en holtes waar koude lucht de woning binnen kan komen, tocht en de aanwezigheid van drukverschillen tussen de woning en de omgeving die veroorzaakt kunnen

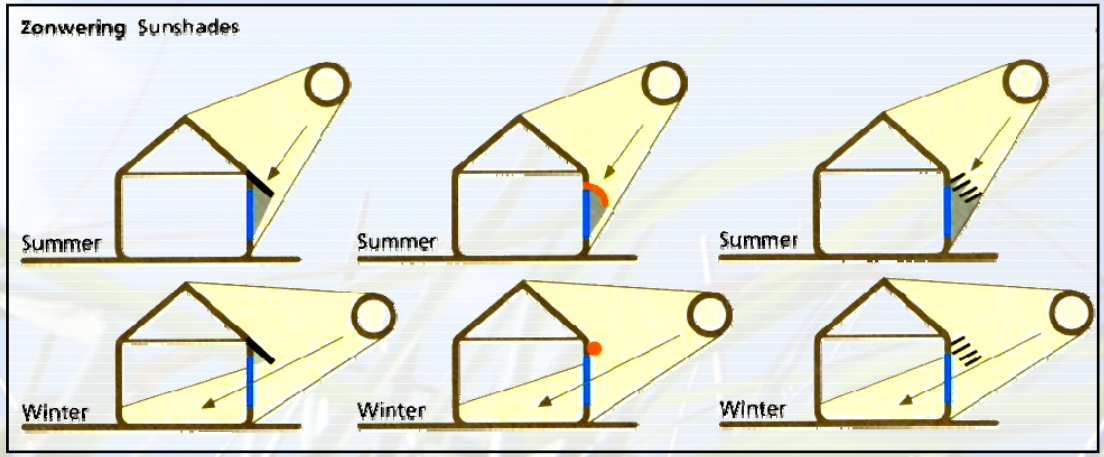
worden door weersinvloeden. Tegenwoordig is het zo dat bij nieuwbouwwoningen de isolatie sterk verbeterd is zodat warmteverlies door geleiding relatief gezien een klein deel representeert. Het verlies als gevolg van ventilatie bestaat echter uit meer dan de helft van het totale warmteverlies van de woning! Ventilatiesystemen waarin moderne warmtewisselaars zijn toegepast, kunnen dit verlies echter sterk reduceren. Een andere factor die warmteverlies veroorzaakt is infiltratie, het verplaatsen van warme lucht de woning uit, door de aanwezigheid van kleine kiertjes, gaatjes en scheurtjes die in de woning aanwezig zijn. Bij de constructie van een huis moet daarom goed gekeken worden naar de luchtdichtheid van het geheel om een zo goed mogelijke warmtehuishouding te creëren.

Winst en besparingen van energie in een woning

Naast *verlies* aan de omgeving, kan ook juist *winst* gehaald worden uit de omgeving waarin de woning staat. De zonnestraling die door de ramen van de woning naar binnen schijnt draagt bijvoorbeeld direct bij aan de opwarming van ruimten. Verder kan een vermindering van de energie die benodigd is voor het opwarmen van warm tapwater bereikt worden door het toepassen van spaarknoppen op toiletten en spaarkoppen bij douches doordat het watergebruik hierbij minder zal zijn. Ook helpt het om de plaatsing van tappunten voor water zo dicht mogelijk bij het verwarmingspunt te realiseren zodat warmteverlies door leidingen minimaal gehouden wordt. Wat betreft verlichting kunnen energiesparende maatregelen zoals het toepassen van hoog efficiënte lichtbronnen zoals hoogfrequente, fluorescerende lichtbronnen een uitkomst bieden. Ook het gebruiken van hoog reflecterende materialen bij lampfittings zorgt ervoor dat het beschikbare licht zo efficiënt mogelijk wordt gebruikt. Nuttig gebruik van het daglicht kan ten slotte gezien worden als een uitermate geschikte passieve bron van zonne-energie, zoals in figuur 1.5 schematisch is weergegeven. Door nuttig gebruik te maken van invallend zonlicht dat de woning binnenkomt, kan de energievraag voor verwarming van ruimten sterk verminderd worden. Bij het ontwerp van een woning kan hiermee rekening gehouden worden, bijvoorbeeld door (wanneer de woning gebouwd wordt op het noordelijk halfrond) aan de zuidzijde juist veel ramen in de gevel te maken zodat hier veel licht kan invallen. Op deze manier kan gezegd worden dat de ramen op deze manier een soort passieve zonnecollectoren vormen. Hierbij kan de ruimte waarin het raam zich bevindt, gezien worden als de absorber van de collector. In de winter kan dit een nuttige bron van extra warmte zijn, maar in de zomer is oververhitting een probleem wat kan optreden. Regelbare zonwering kan dan bij hoge temperaturen ervoor zorgen dat de vertrekken waar veel zon op staat, verminderd verwarmd worden door het tegenhouden van het grootste deel van het zonlicht.



Figuur 1.4: Overzicht van alle maatregelen die genomen kunnen worden voor het verminderen van het energieverbruik in een woning



Figuur 1.5: Invloed van de zon door de seizoenen heen en de aanpassingen die gedaan kunnen worden aan de woning om een prettige woonomgeving te creëren

Het verkleinen van de energievraag

Verminderen van de vraag naar energie in een woning is dus op een heleboel manier mogelijk. Maar welke methoden zijn nou het meest effectief? En hoeveel kan eigenlijk bij toepassing van deze methoden gewonnen worden? Hieronder zal antwoord gegeven worden op de volgende vraag:

c. In welke mate kan door passieve benutting van energie de energievraag verminderd worden?

In onderstaande tabel (figuur 1.6) staan enkele mogelijkheden die goed kunnen bijdragen aan het besparen van energie binnen een woning met daarbij de gemiddelde besparing in kubieke meters aardgas per jaar en de besparing in euro's die hierbij hoort (ervan uitgaande dat 1 m^3 aardgas ongeveer 0,57€ kost). Daarnaast is de terugverdientijd van de kosten die gemaakt moeten worden om de actie te ondernemen weergegeven. Hierbij betekent "zelf doen" dat de maatregel zelf is genomen en er geen installateur aan te pas is gekomen. Bij "laten doen" zijn de installatiekosten meegerekend.

Er zal uiteindelijk een energieopwekkend systeem ontworpen dienen te worden voor nieuwbouwwoningen in het jaar 2030. Hierbij kan het handig zijn om gebruik te maken van veel van de hiervoor besproken mogelijkheden van passieve benutting van zonne-energie. Daarom ligt het erg voor de hand de volgende vraag te stellen:

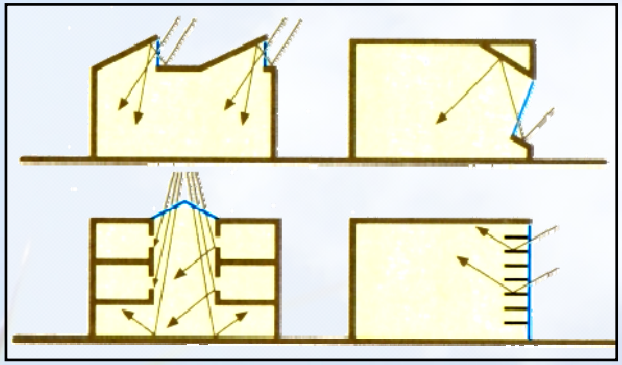
d. Welke van de besproken technieken van passieve benutting van zonne-energie zijn van toepassing op het nieuw te ontwerpen zonenergetische systeem?

Voor het te ontwerpen systeem zal het voornamelijk nuttig zijn om goed naar de dak- en gevelisolatie te kijken omdat het product daar uiteindelijk tot zijn recht zal moeten komen. Hierbij is het de bedoeling dat de warmte die opgevangen wordt, niet meteen wordt verloren aan de omgeving en dat deze zich zal blijven concentreren binnen een bepaald deel van het product zodat deze warmte opgeslagen zal kunnen worden. Daarnaast is het ook voor de hand liggend om de lengte van de leidingen relatief kort te houden zodat het warmteverlies aan de omgeving naar een tappunt toe verwaarloosbaar klein zal worden. De voornaamste techniek waar rekening mee gehouden moet worden bij het ontwerp is het op een zo rendabel mogelijke wijze het invallende zonlicht te gebruiken zodat zoveel mogelijk straling opgevangen kan worden en kan worden gebruikt voor energiebehoevende processen in de woning.

Maatregel	Gemiddelde besparing in m^3 aardgas per jaar	Gemiddelde besparing in euro's per jaar	Terugverdientijd
Het aanpakken van naden en kieren	80 m3 gas	46	1 jaar (zelf doen)
Isoleren van een schuin dak - onverwarmde zolder	300 m3 gas	171	5,5 jaar (zelf doen)
Isoleren van een schuin dak - verwarmde zolder	700 m3 gas	399	2,5 jaar (zelf doen)
Isoleren van de zoldervloer (van een onverwarmde zolder)	400 m3 gas	228	3 jaar (zelf doen)
Isoleren van de bodem van de kruipruimte (50 m^2)	140 m3 gas	98	14 jaar (laten doen)
Isoleren van de vloer van de begane grond (50 m^2)	190 m3 gas	108	4 jaar (zelf doen) 12,5 jaar (laten doen)
Isoleren van de bestaande spouwmuren	225 m3 gas	128	4,5 jaar (laten doen)
Isoleren van de buitengevel	325 m3 gas	185	ruim 20 jaar (laten doen)
Vervanging van enkel glas door gewoon dubbel glas	320 m3 gas	182	10-13 jaar (laten doen)
Vervanging van enkel glas door HR++ glas	480 m3 gas	274	9-12 jaar (laten doen)

Figuur 1.6: Maatregelen ter verlaging van het energiegebruik binnen de woning[6]

Soort vensterglas	Isolatiewaarde (U-waarde)	Gemiddelde jaarlijkse besparing per m2 glas in de woonkamer (m3 aardgas)	Gemiddelde jaarlijkse besparing per m2 glas in de woonkamer (euro's)
Enkel glas	5,8	-	-
Voorzetraam zonder coating	2,8	25 m3	14
Dubbel glas	2,8	25 m3	14
Voorzetraam met coating	2	30 m3	17
HR+	1,6	33 m3	19
HR++	1,2	35 m3	20



Figuur 1.7: Verschillende mogelijkheden voor een optimale benutting van invallend zonlicht in de woning

Wanneer het product geïntegreerd zal worden in het de woning, is het nuttig om rekening te houden met de inval van het licht, en deze eventueel te sturen (zie ook figuur 1.7 hierboven), zodat ruimten onder het dak of achter de gevel waarin het product is verwerkt, op een goede manier gebruik kunnen maken van zowel het licht als de warmte die op deze manier passief bijdraagt aan de energievoorziening in het huis. Ook zal het toepassen van hoogwaardige materialen benodigd zijn wanneer het product geïntegreerd moet worden in de woning. Het voorkomen van kieren en gaten en het zorgen voor een luchtdichte constructie zijn hier onderdeel van. Ten slotte zal ook de oriëntatie van het product een zeer grote invloed hebben op de mate waarop de collector uiteindelijk zijn functie zal voldoen.

Hoofdstuk 2: Duurzame opwekking van energie met behulp van zonlicht

In het vorige hoofdstuk werden verschillende passieve manieren van de benutting van zonlicht behandeld. Uiteraard is alleen passieve benutting niet genoeg om tot de gestelde energieneutraliteit van woningen te komen. In dit hoofdstuk zal daarom behandeld worden op welke *actieve* manieren een duurzame opwekking van energie kan plaatsvinden met behulp van zonlicht. Daarvoor zullen enkele vragen gesteld worden die in de loop van het hoofdstuk beantwoord zullen worden. De hoofdvraag die hierbij hoort is hieronder weergegeven (met daarbij behorend enkele deelvragen die beantwoord zullen worden in dit hoofdstuk):

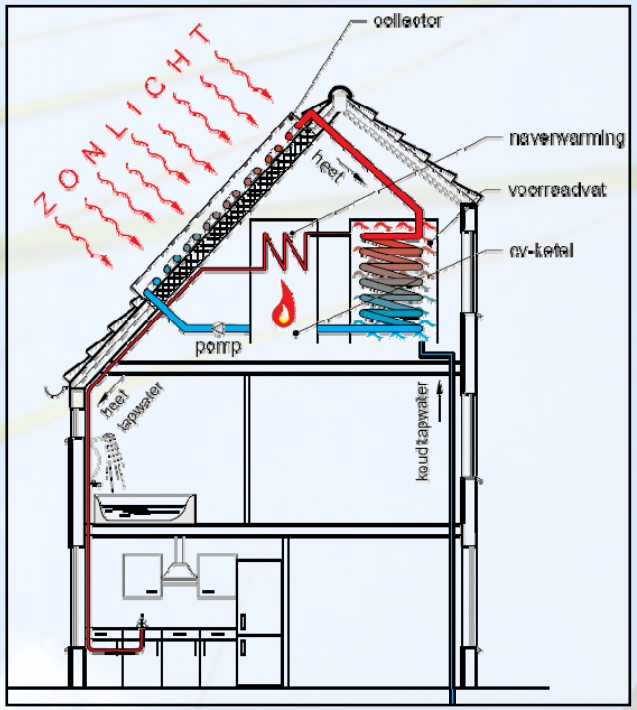
Welke manieren van het duurzaam opwekken van energie met behulp van zonlicht zijn mogelijk?

a. Op welke principes berusten deze manieren van energieopwekking?
b. Hoe werken deze manieren van energieopwekking precies?

Energieopwekking met behulp van zonlicht is globaal op te delen in twee aspecten: (1) het halen van *warmte* uit zonlicht en (2) het omzetten van zonlicht naar *elektriciteit*. Dit eerste kan gebeuren met een zogenaamde *zonnecollector*, en het tweede met behulp van de photovoltaïsche omzetting door zonnecellen in *zonnepanelen,* ook wel PV panelen genoemd. Het opslaan van warmte uit zonlicht met behulp van zonnecollectoren gaat volgens het principe van de absorptie van de warmte uit zonlicht. De omzetting van (zon)licht naar elektriciteit gaat volgens een principe waarbij ladingsverschillen binnenin de zonnecellen zorgen voor de opwekking van een elektrische stroom. De werking van beide principes worden direct uitvoerig uitgelegd.

Het principe van de zonnecollector

Energieopwekking met behulp van een zonnecollector vindt plaats doordat de warmte uit de zonnestraling van de zon wordt opgevangen en op een bepaalde manier wordt opgeslagen om daarna nuttig ingezet te worden voor verwarming van het tapwater, woonruimten of andere doeleinden (zie ook figuur 2.1 hiernaast). De collector werkt hierbij als een warmtewisselaar waarbij een warme stof zoals hete lucht of heet water warmte afgeeft aan een andere koudere stof die meestal een vloeistof of een gas is. Bij een collector zijn een primaire en een secundaire kant te onderscheiden. De primaire kant wordt gevormd door de zogenaamde absorber waarmee de warmte uit de zon wordt opgevangen. De secundaire kant bestaat een vloeistof of gas die deze warmte van het zonlicht overdraagt aan een bepaald opslagsysteem. Het kan ook zo zijn dat deze vloeistof of lucht zelf het opslagsysteem vormt.

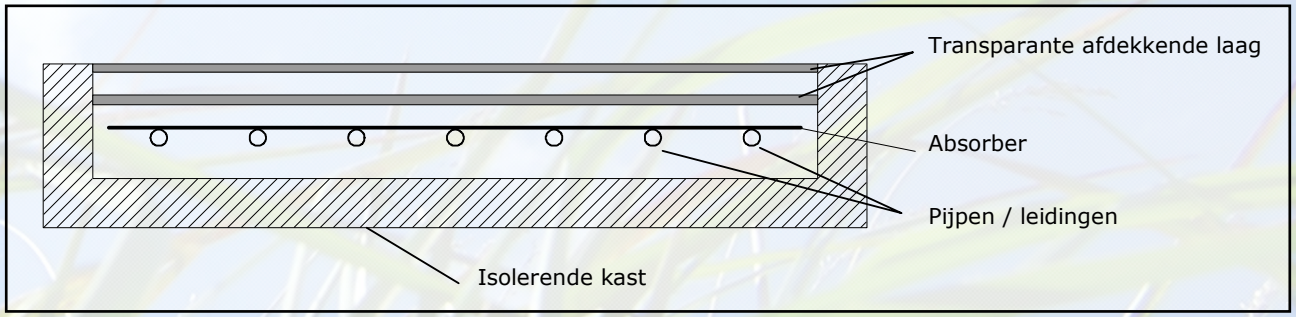


Figuur 2.1: Werking van een zonnecollector binnen de woning

De opbouw van een zonnecollector

De meest voorkomende zonnecollector (althans in Nederlands) is de vlakke-plaat collector (zie figuur 2.1) die bestaat uit een zwarte plaat die de absorber vormt. Het zonlicht wat op deze plaat valt wordt omgezet in warmte die vervolgens wordt afgegeven aan het transportmedium (meestal water of lucht) dat door leidingen of pijpen afgevoerd wordt. Daarnaast wordt de absorber afgedekt met één of enkele transparante lagen die zonlicht doorlaten (meestal glas of kunststofglas) en het infrarode licht van de absorber reflecteren zodat het warmteverlies naar de omgeving toe zoveel mogelijk beperkt wordt. Deze afdeklagen werken bovendien als beschermingslaag en verminderen op deze manier het convectief warmteverlies naar de omgeving toe. Al deze onderdelen zitten in een isolerende kast die stevigheid geeft aan de constructie, het warmteverlies naar de omgeving nog verder vermindert en een goede doorvoer en aansluiting van de pijpen en leidingen mogelijk maakt.

Opdeling fasen: Bij de energieomzetting van zonlicht naar warmte is een opsplitsing te maken in twee fasen: een optische en een thermische fase. Bij de optische fase wordt het zonlicht ingevangen en doorgeleid naar de absorber waar vervolgens warmte wordt gegenereerd. Bij de thermische fase geeft de absorber deze warmte af aan het transportmedium. De warmte die het transportmedium bezit zal vervolgens opgeslagen moeten worden omdat het gebruiken van de beschikbare warmte op momenten moet kunnen gebeuren wanneer dit het meest benodigd is en men hierbij niet afhankelijk wil zijn van weersinvloeden die door de seizoenen heen zeer groot kunnen zijn.



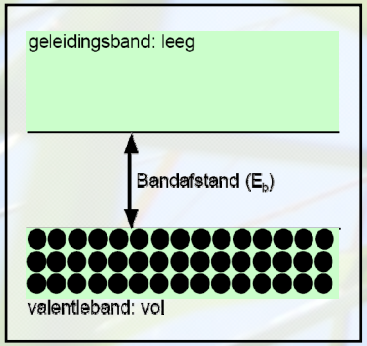
Figuur 2.2: De onderdelen van een zonnecollector

Photovoltaïsche omzetting door zonnecellen (PV)

Met behulp van zonnecellen kan (zon)licht omgezet worden in elektriciteit. Dit gebeurt met het zogenaamde proces van *photovoltaïsche omzetting*, voortaan aangeduid met de afkorting PV. Zonlicht kan zowel worden beschouwd als een elektromagnetisch golfverschijnsel en als een stroom van deeltjes die een bepaalde energie bezitten; zogenaamde fotonen. Deze fotonen bevatten een bepaalde energielading die nuttig gebruikt kan worden om spanningsverschillen mee op te wekken zodat een elektriciteitsstroom het gevolg kan zijn. Hoe dit precies werkt zal hieronder kort uitgelegd worden.

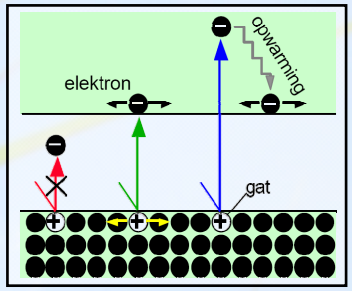
De opbouw van de zonnecel: Een zonnecel bestaat uit een bepaald basismateriaal, de halfgeleider. Deze heeft de eigenschap dat bij bepaalde condities wel elektrische geleiding op kan treden, en bij sommige condities dit niet het geval kan zijn. Een veelgebruikt materiaal hiervoor in zonnecellen is kristallijn silicium. Dit halfgeleidermateriaal heeft de eigenschap dat het bij 0 K niet geleidt en bij een kamertemperatuur van 300 K een zeer geringe geleiding heeft. Binnenin het materiaal zijn verschillende energieniveaus te onderscheiden waarin zich valentie elektronen kunnen bevinden. Er zijn hierbij meerdere banden: een zogenaamde valentieband waarin zich (zoals gezegd bij bepaalde condities) elektronen kunnen bevinden die een bepaalde lading bevatten. Daarnaast is er op een hoger toegankelijk energieniveau een geleidingsband waarin zich, bij geleidende eigenschappen, ook elektronen kunnen bevinden. Tussen deze twee banden is een verboden zone die bestaat uit een bandafstand met een energieverschil van 1,1 eV (zie figuur 2.3).

De halfgeleider: Zoals gezegd kan de conditie van de halfgeleider zo veranderen dat de halfgeleider lichtelijk geleidend wordt. Een eerste manier om dit te veroorzaken is het verhogen van de temperatuur. Hierbij zullen elektronen uit de valentieband overspringen naar hoger gelegen niveaus in de geleidingsband. Op deze manier geven zij daar aanleiding tot geleiding. Met het overspringen van deze elektronen ontstaan daarnaast nu lege plekken op de plaatsen waar deze elektronen zich eerst bevonden: dit worden gaten genoemd. Op deze manier zijn er nu twee ladingdragers te onderscheiden: de elektronen (dit zijn de negatieve ladingdragers) en de gaten (de positieve ladingdragers). Samen zorgen zij ervoor dat er bij kamertemperatuur een zeer geringe geleiding in het materiaal aanwezig is wat uiteindelijk benut kan worden voor het omzetten van zonlicht naar elektriciteit.



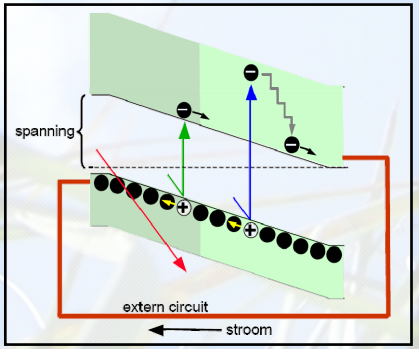
Figuur 2.3: Weergave van de verschillende valentiebanden in zonnecellen

Verstoringen aanbrengen: Een andere manier om het evenwicht in een halfgeleider zo te veranderen dat deze lichtelijk geleidend wordt is door een verstoring aan te brengen (dit wordt ook wel doping genoemd). Dit wordt bijvoorbeeld gedaan door toevoeging van fosfor atomen waarmee dan elektronen in de geleidingsbrand gebracht kunnen worden. Deze fosforatomen doneren *negatieve* ladingdragers (elektronen) aan de geleidingsband waardoor nu wordt gesproken over *N-type* silicium. Andere verontreinigende atomen zoals borium kunnen ook gebruikt worden voor het verkrijgen van de geleidende eigenschappen. Hierbij wordt gesproken over *P-type* silicium omdat deze toegevoegde atomen de elektronen uit de valentieband juist aantrekken en vasthouden (accepteren) waardoor nu sprake is van gatengeleiding, wat de *positieve* ladingdragers zijn.



Figuur 2.4: Werking van de geleiding tussen de verschillende valentiebanden

De P-N overgang: In een laag éénkristallijn silicium kan op een bepaalde, gereguleerde mate, met opzet "verontreinigd" worden zodat er een zogenaamde P-N overgang ontstaat. Deze overgang vormt een grens waartussen een sprong in het potentiaal optreedt als gevolg van de gaten aan de P-kant en de elektronen aan de N-kant. Dit spanningsverschil is uiteindelijk waar het allemaal om draait om de gewenste elektriciteits-omzetting plaats te laten vinden. Bij de P-N overgang is namelijk als gevolg van dit spanningsverschil een constante stroom van deze gaten en elektronen (in tegenwaartse richting van elkaar) gaande, wat uiteindelijk de opwekking van elektriciteit is (zie figuur 2.5).



Figuur 2.5: De stroomgeleiding binnen een zonnecel

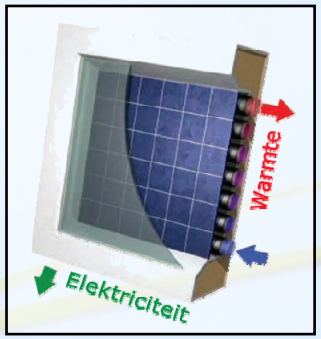
De opbouw van een zonnecel

Een silicium zonnecel zoals deze wordt gemaakt in de fabriek bestaat uit een zeer dun laagje silicium van ongeveer 10x10 cm en een dikte van slechts 0,3 mm. Hierbij wordt bij het fabricageproces een P-N overgang aangebracht door toevoeging van borium in het plakje silicium, en het aanbrengen van een dun laagje fosfor. Om de stroom die in de zonnecel opgewekt zal worden te kunnen opvangen zal daarnaast aan de bovenzijde van de zonnecel een contactrooster aangebracht worden dat bestaat uit een zeer dun metaalrooster. Deze laag moet erg dun zijn zodat het zonlicht nog wel goed de cel binnengelaten wordt, maar moet ook niet weer té dun zijn omdat de stroom anders een te grote weerstand zal ondervinden. Hoe zo'n cel eruit ziet is te zien in figuur 2.6.

Werking van de zonnecel*:* Kort samengevat vinden tijdens het omzettingsproces binnen een zonnecel de volgende stappen plaats: (1) Het zonlicht valt op de zonnecel en dringt door in de zonnecel. (2) De fotonen in het zonlicht die een energie-inhoud bezitten die groter is dan de bandafstand van de halfgeleider, worden daarna geabsorbeerd in de cel. Hierdoor wordt een elektron van de valentieband naar de geleidingsband gebracht (3). Dit elektron maakt plaats voor een "gat" zodat een elektron-gat paar het gevolg is (4). Dit paar zal van elkaar gescheiden worden door het elektrische veld dat in de P-N overgang aanwezig is (5) wat zich uit in een constante stroom naarmate dit proces doorgaat (6). Via het contactrooster kunnen de elektronen die op deze manier vrijkomen worden verzameld (7) waardoor de stroomkring gesloten is en er dus op deze manier opwekking van elektriciteit is mogelijk gemaakt.

Figuur 2.6: Zonnecel

De combinatie van zonnecollectoren en PV: PVT



Figuur 2.7: De combinatie van elektriciteit en warmte in PVT

Daarnet zijn de principes van het opvangen van warmte met behulp van zonnecollectoren en het opwekken van elektriciteit met PV beschreven. Deze twee toepassingen zijn los van elkaar te gebruiken, maar tegenwoordig ook te integreren in één combinatie; het zogenaamde photovoltaïsch-thermisch systeem (afgekort PVT).

Deze combinatie heeft dus beide typen energie die in een woning benodigd zijn: zowel warmte als elektriciteit. Het principe werkt heel gemakkelijk door bij een zonnecollector, de absorber te bekleden met zonnecellen zodat hetzelfde oppervlak wat gebruikt wordt voor het opvangen van warmte, nu ook gebruikt kan worden voor het opwekken van elektriciteit. PVT vangt daarmee als het ware twee vliegen in één klap, en heeft dus in totaal een hogere totale energieopbrengst per vierkante meter.

Nu bekend is hoe de duurzame opwekking met zonlicht precies werkt, is het nuttig om te kijken naar de typen producten waarin deze principes zijn geïntegreerd, welke aspecten hierbij aan de orde komen en wat de verschillende voor- en nadelen zijn die optreden bij toepassing van dergelijke producten. Onderstaande deelvragen zullen in dit gedeelte van het verslag worden beantwoord:

c. **Welke verschillende methoden worden het meest toegepast in producten op het gebied van zonne-energie?**
d. **Uit welke aspecten bestaan deze verschillende toegepaste methoden?**
e. **Wat zijn de voor- en nadelen van deze methoden?**

Verschillende typen zonnecollectoren

Er zijn verschillende systemen waarbij op een diverse manier gebruik wordt gemaakt van zonnecollectoren. De meest toegepaste daarvan (in Nederland) is daarnet al even kort aan bod gekomen; de vlakke-plaat collector met daarbij een losse warmteopslag. Daarnaast zijn er ook systemen die werken met een geïntegreerde opslag waarbij dus geen leidingen naar een opslagvat benodigd zijn. Ook zijn er systemen die volgens de zogenaamde thermosyphon methode werken waarbij het systeem zichzelf regelt volgens bepaalde wetten van de natuurkunde. Een andere manier is die van de vacuümcollector waarbij glazen buizen met vacuüm moeten zorgen voor hoog te behalen temperaturen. Elk van deze typen collectoren wordt hieronder besproken.

Vlakke plaat-collector met een separate warmte-opslag: Dit is de meest toegepaste, praktische oplossing in Nederland, waarbij het opgewarmde water uit de leidingen onder de absorber naar een zonneboiler gepompt wordt. Dit water stroomt vervolgens door een spiraal heen waardoor de warmte op die manier afgegeven wordt aan het tapwater wat in de boiler aanwezig is. Het tapwater wordt op deze manier voorverwarmd met behulp van de opgevangen warmte via de zonnecollector. Indien nodig kan het tapwater nog naverwarmd worden met een naverwarmingstoestel voordat het uit de douche of kraan van de gebruiker stroomt. Het principe hiervan is weergegeven in figuur 2.8. Een probleem bij zonnecollectoren in het algemeen is dat ze 's nachts niet werkzaam zijn vanwege de afwezigheid van zonlicht. Bij vorst zou het water dat zich in de leidingen onder absorber bevindt, kunnen bevriezen wat schade aan kan richten aan de installatie. Daarom is in veel systemen een terugloopregeling aanwezig die volgens een thermostaat-regeling ervoor zorgt dat het water uit de leidingen in een opslagvat gepompt wordt waar het niet kan bevriezen. Een goede isolatie van de bovenkant van de zonnecollector kan ook bijdragen aan het voorkomen van bevriezing van leidingen.

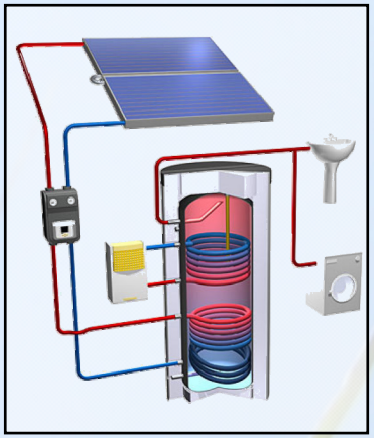
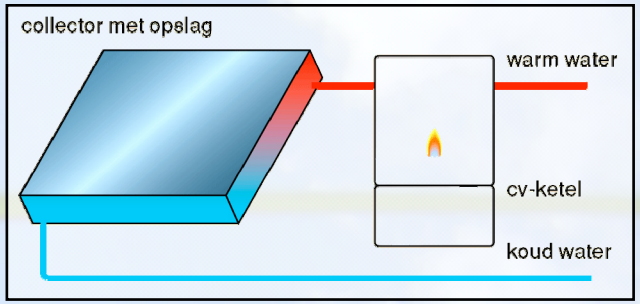


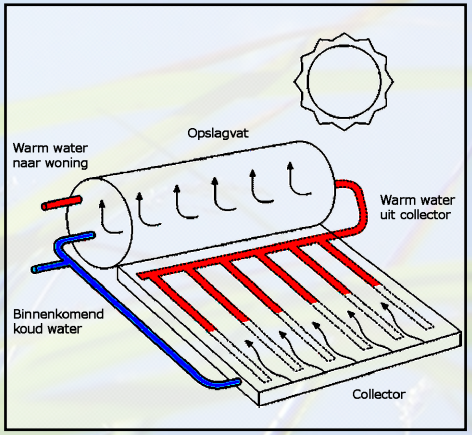
Figure 2.8: Systematische weergave van een collectorsysteem met een apart opslagvat

Systeem met geïntegreerde opslag: Er is ook de mogelijkheid een systeem met zonnecollectoren te gebruiken zonder leidingen, waarbij het water in een opslagvat achter de absorber direct wordt verwarmd, en met behulp van zeer goede isolatie het warmteverlies zo klein mogelijk gemaakt wordt. Een regelsysteem of pomp is hierbij niet benodigd want het opslagvat kan direct op de waterleiding aangesloten worden (met daartussen nog een naverwarmer). Dit principe heeft als voordeel dat er geen apart voorraadvat geïnstalleerd hoeft te worden, maar als nadeel dat deze geïntegreerde opslagcapaciteit relatief klein is in verband met de mogelijkheden tot inbouw in het dak. In afbeelding 2.9 is schematisch te zien hoe een dergelijk systeem eruitziet.



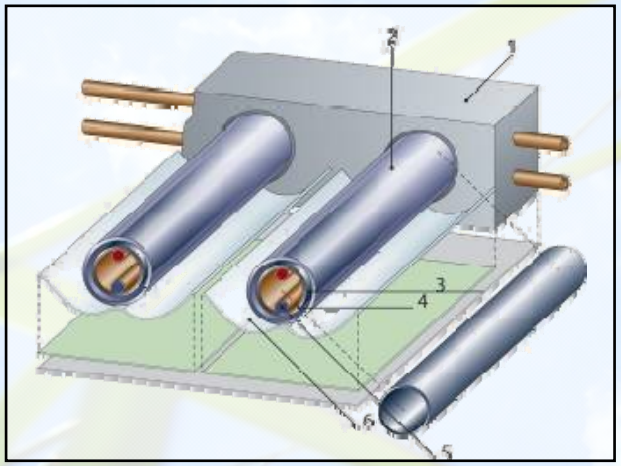
Figuur 2.9: Systematische weergave van een collectorsysteem met geïntegreerde opslag

Thermosyphon collector: Dit is een ander veel toegepast systeem in de voornamelijk zuidelijker gelegen landen. Deze methode heeft geen regeling en pomp nodig omdat het werkt volgens het fysische principe dat warm water een lager soortelijk gewicht heeft dan koud water en daardoor de hoogste plaats zal zoeken binnen het systeem. Een opslagvat dat hoger gelegen is zorgt er dan voor dat het warme water naar boven stroomt, het collectorvat in. Wanneer meer zonlicht opgevangen wordt (bijvoorbeeld bij een mooie zomerdag) en het water sneller verwarmd zal worden, zal het water ook sneller omhoog stromen. Door het toepassen van dunne leidingen naar het collectorvat toe kan een groot temperatuurverschil tussen de in- en uitgang van de collector gerealiseerd worden. Het voordeel van een thermo-syphon systeem is dat er geen regelsysteem en pomp benodigd zijn aangezien het warm water vanzelf naar boven stroomt bij dit systeem. Hierdoor kan bespaard worden op de productie- en installatie-kosten.



Figuur 2.10: Werking van een thermosyphoncollector

Vacuümbuiscollector: Bij dit type zonnecollector is de absorber verwerkt in een langgerekte glazen buis waarbinnen een vacuüm heerst. Deze absorber is afgedekt met een speciale soort spectraal selectieve laag waardoor extra veel zonnewarmte wordt opgevangen. Aan de achterkant van deze absorbers loopt een leiding door de buis heen die de warmte van de absorber afneemt en transporteert naar een collectorvat buiten de vacuümbuizen. Het voordeel van dit type collector is dat er geen convectief warmtevlies op kan treden, vanwege het toepassen van een vacuüm en er dus geen lucht langs de absorber heen stroomt. Een nadeel is dat verlies in warmte echter wel op kan treden in de vorm van geleiding omdat de pijpen die de warmte moeten transporteren aangesloten zijn op de glazen buizen. Dit type collectoren heeft de hoogste opbrengst per vierkante meter, maar is over het algemeen wel duurder dan een normale vlakke plaat collector. In figuur 2.11 is schematisch weergegeven hoe de vacuümcollector is opgebouwd.



Figuur 2.11: Opbouw van een vacuümbuiscollector

De verschillende besproken typen zonnecollectoren zijn tot nu toe alleen schematisch weergegeven. In afbeelding 2.12 is te zien hoe deze eruitzien in de praktijk. In de volgende paragraaf zal ingegaan worden op verscheidene aspecten van PV systemen.

Verschillende aspecten van PV

De toepassing van photovoltaïsche omzetting voor het genereren van elektriciteit uit zonlicht bestaat uit verschillende typen PV systemen waarbij onderscheid te maken is in het soort zonnecellen dat gebruikt is, het soort modules (de panelen waarin deze cellen zich bevinden), de manier van opslag van elektriciteit (in de vorm van accu's), etc. Hieronder zullen deze aspecten één voor één besproken worden. Allereerst zal gekeken worden naar de verschillende typen zonnecellen[7] die tegenwoordig gebruikt worden in PV toepassingen.

Typen zonnecellen: Siliciumcellen

Het grootste deel van de zonnecellen dat tegenwoordig op de markt is en het meest wordt toegepast bestaat uit silicium zonnecellen. Deze worden in de fabriek gemaakt met zogenaamde wafer-technologiën, waarbij uit grote stukken silicium zonnecellen gefabriceerd kunnen worden. Er zijn verschillende soorten siliciumcellen die bij dit onderdeel besproken zullen worden.

Monokristallijn silicium (c-Si): Dit is de vroegst ontwikkelde soort zonnecel (en voorheen ook meest toegepaste) die overigens oorspronkelijk werd ontwikkeld voor de ruimtevaartindustrie. De afgelopen jaren zijn er belangrijke ontwikkelingen geweest in de manier waarop deze cellen qua structuur in elkaar zitten en geproduceerd worden bij ingewikkelde fabrieksprocessen. Het rendement van dit type zonnecellen ligt momenteel tussen de 10 en 17%[8].

Poly- of multikristallijn silicium (mc-Si): Deze typen zonnecellen zijn relatief gemakkelijk te produceren met behulp van giettechnieken en zijn daarom productietechnisch goed te realiseren en daardoor goedkoop. Een nadeel is dat de efficiëntie van dit type cellen 1 tot 1,5% lager ligt dan bij monokristallijn siliciumcellen. Tegenwoordig wordt polykristallijn silicium het meest toegepast bij PV technologieën (het marktaandeel beslaat meer dan de helft van de totale markt van PV technologieën[8]). Mc-Si heeft een rendement tussen de 11 en 15%[8].

Ribbon kristallijn silicium: Dit zijn eigenlijk ook een soort polykristallijn silicium cellen, maar dit type cellen wordt op een andere manier geproduceerd waarbij lange dunne films van gesmolten silicium worden gemaakt. Deze zonnecellen zijn daardoor nóg goedkoper te produceren, maar hebben een relatief lage efficiëntie (tussen de 12 en 13%) dan die van normale multikristallijn cellen. De toepassing hiervan is nog niet erg uitgebreid (in 2002 was dit slechts 3% van het totale gebruik van zonnecellen), maar dit zal in de loop van de jaren waarschijnlijk toenemen.

Figuur 2.12: Toepassing van de verschillende soorten zonnecollectoren in de gebouwde omgeving

Typen zonnecellen: Dunne film technologieën

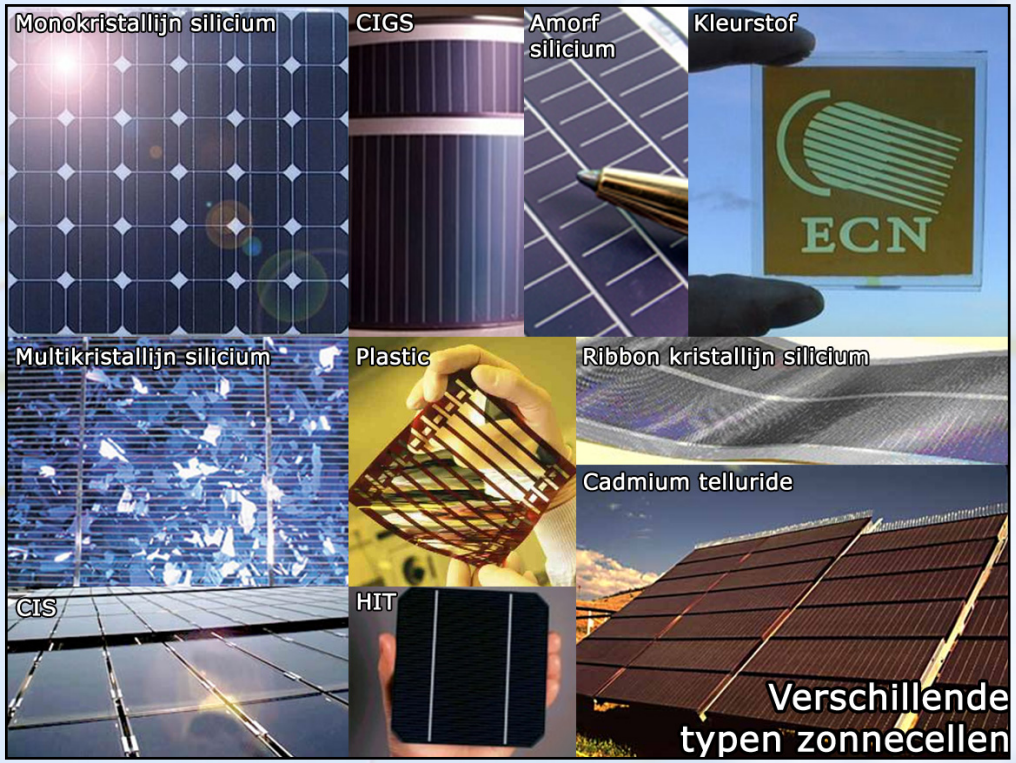
Dunne film (amorf) silicium (a-Si): Deze zonnecellen hebben een zeer geringe dikte van de actieve laag (slechts enkele micrometers) wat mogelijk is doordat materiaal wordt gebruikt wat een zeer hoge absorptiecoëfficiënt bezit voor zonlicht. A-Si zonnecellen hebben een relatief laag rendement (rond de 5%), maar hebben wel het voordeel dat bij de productie ervan weinig energie en materiaal is benodigd. Daarnaast is het bij amorf siliciumcellen relatief gemakkelijk om zogenaamde "tandem" structuren te produceren waarbij meerdere soorten zonnecellen samen gecombineerd kunnen worden om op die manier nog betere eigenschappen voor de cel te creëren. Op deze manier kan de efficiëntie verhoogd worden naar zo'n 7%. Bovendien zijn deze cellen minder stug dan kristallijn cellen, waardoor ze goed toe te passen zijn in gekromde oppervlakken.

Cadmium telluride (CdTe): Dit type zonnecellen is eveneens redelijk gemakkelijk te produceren maar heeft het nadeel dat er materiaal gebruikt wordt wat schadelijk is voor het milieu (cadmium is niet erg milieuvriendelijk). Het rendement wat met deze cellen behaald kan worden ligt ongeveer in het gebied van de 8 tot 10%.

CIGS: Deze afkorting staat voor de toegepaste materialen in de uit de verschillende lagen opgebouwde dunne film composiet zonnecel: indium, gallium en selenide. Dit type zonnecellen bestaat uit meerdere juncties en niet zoals de "standaard" zonnecel uit slechts één type P-N junctie. Met behulp van dit type cellen zijn hogere rendementen te behalen, met als record in december 2005 19,5%. Een nog hogere efficiëntie kan worden behaald met behulp van optische lagen die het zonlicht beter concentreren in de cellen. Een mogelijk nadeel van dit type cellen is de beperkte voorraad van het materiaal indium. Met behulp van een juist recyclingproces voor de producten waarin dit materiaal zich bevindt (het zit ook veel in flatscreen monitoren), kan dit probleem echter worden voorkomen.

Figuur 2.13: Verschillende typen zonnecellen

CIS: Een laatste soort dunne film zonnecel is die van koper-indium-diselenide. Dit is tegenwoordig één van de meest veelbelovende technologieën waarmee in het scala van de dunne film zonnecellen het hoogste rendement behaald kan worden van zo'n 10 tot 12%. Het produceren van deze cellen is echter weer een stuk complexer.



Figuur 2.14: Overzicht van de besproken typen zonnecellen

HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer): Dit is een modern type zonnecel dat net als CIGS gebruik maakt van meerdere juncties, maar daarnaast ook gebruik maakt van dunne film technologie. Op deze manier kunnen hogere rendementen behaald worden (tegenwoordig al rond de 16-17%). Een ander voordeel van dit type zonnecel is dat ze beter bestand zijn tegen hogere temperaturen zodat het rendement ook bij zeer veel instraling en opwarming van de zon hoog zal blijven.

Andere typen: Nieuw is de zogenaamde *kleurstof zonnecel* die op lange termijn waarschijnlijk een stuk goedkoper geproduceerd kan worden en tegenwoordig al recordopbrengsten van 8% behaalt[9]. Ook bestaan er tegenwoordig *plastic zonnecellen* die gemaakt kunnen worden uit polymeren maar zich nog in een zeer vroeg stadium van ontwikkeling bevinden. Het probleem met dit type zonnecellen is echter het zeer lage rendement van ongeveer 3%.

Zonnecellen gebaseerd op III-V halfgeleiders: Dit type zonnecellen bestaat uit kristallen die gevormd zijn door de combinatie van elementen uit groep III en V van het periodiek systeem. De elementen die zich hierin bevinden zijn: Al, Ga, In, N, P, As en Sb. Door deze materialen in een reactor vanuit een gasvormige toestand te laten groeien op een substraat kunnen enkelvoudige, maar ook meervoudige films met een willekeurige samenstelling gemaakt worden zoals GaAs, InN, AlInP, InGaP, AlGaAsP. Deze zonnecellen behalen de hoogste rendementen (er is al meer dan 30% mogelijk) en er wordt nog steeds veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van nieuwe technologieën op dit gebied.

PUM-Cellen: Een veelbelovend type zonnecellen dat naast productietechnische voordelen ook een hogere opbrengst geniet door een slimme technologie die minder beschaduwing van het oppervlak van de cel met zich meebrengt is de zogenaamde Pin-Up-Module cel. Dit type cel zal verderop in het verslag nog aan de orde komen.

Opbouw van een PV systeem

Naast het type zonnecellen dat gebruikt wordt in een module zijn ook een hoop andere aspecten van belang bij samenstelling van een zonnepaneel. Welke aspecten dat precies zijn, wordt in deze paragraaf behandeld.

Afscherming van het paneel: Omdat een PV paneel uiteindelijk wordt toegepast in de buitenlucht moet deze goed beschermd zijn tegen de omgevingsinvloeden zoals wind, regen, hagel en storm. Om de voorkant van een PV module goed te beschermen wordt daarom veel gebruik gemaakt van verstevigd glas met een zo laag mogelijke ijzerinhoud zodat de zonnestraling zo min mogelijk geabsorbeerd zal worden door deze beschermende laag en het rendement van de zonnecellen zo hoog mogelijk blijft. Aan de achterkant van een paneel worden voornamelijk polymeren gebruikt (kunststoffen) vanwege de hoge corrosiebestendigheid, de stevigheid en omdat dit gemakkelijk en goedkoop te produceren is.

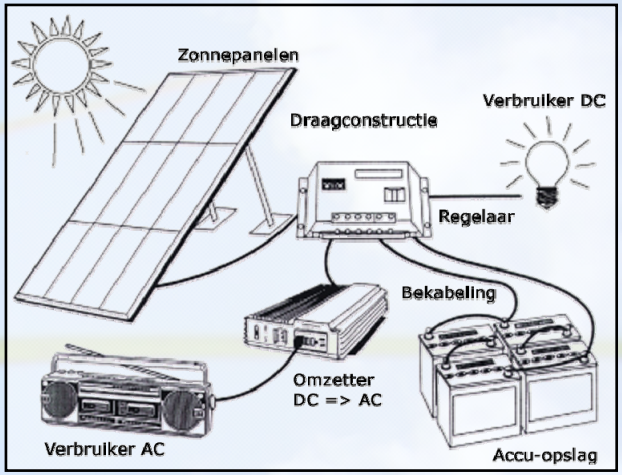
Opslag van elektriciteit: Omdat de instraling van de zon erg variabel is, is het wenselijk om de elektrische energie die door het systeem wordt omgezet, op te slaan zodat deze op een gewenst tijdstip gebruikt kan worden. Bij een PV systeem kan deze opslag een stuk gemakkelijker plaatsvinden dan bij een zonnecollector het geval is. Er wordt voornamelijk gebruik gemaakt van een accu die zonodig wordt opgeladen of ontladen, afhankelijk van de vraag en het aanbod van het systeem. Er zijn ook systemen die zonder opslagmedium werken en direct aangesloten worden op het apparaat van de consument. Dit betekent dat de energie die geleverd wordt dus afhankelijk is van de beschikbaarheid van zonlicht. De meeste toegepaste PV systemen hebben tegenwoordig echter helemaal geen accu meer en zijn aan het net gekoppeld, om daarmee een eventueel overschot van elektriciteit aan het net te leveren. Dit worden zogenaamde "netgekoppelde" systemen genoemd.

Figuur 2.15: De onderdelen van een PV systeem

Een autonoom PV systeem bestaat uit de volgende onderdelen: De zonnepanelen, een draagconstructie, de accu-opslag, een regelaar, bekabeling en de verbruiker van het systeem. De zonnepanelen bestaan hierbij uit grote stukken oppervlakte met daarin de zonnecellen die het zonlicht om kunnen zetten naar elektriciteit. Eén zonnecel produceert hierbij een voltage van ongeveer 0,5 V. Dit is echter te weinig voor de meest praktische toepassingen en daarom worden vaak meerdere zonnecellen in serie geschakeld waardoor een hoger voltage geproduceerd wordt wat wél hoog genoeg is om een accu mee op te kunnen laden. Een veelgebruikte methode is om 36 cellen te koppelen waarmee dan ongeveer 18 V geproduceerd kan worden. De draagconstructie van de panelen dient voor de stevigheid van het systeem en moet bovendien zorgen voor een goede oriëntatie van de zonnepanelen ten opzichte van de omgeving (voor een zo hoog mogelijke instraling). Dit wordt gedaan door ze onder een bepaalde hellingshoek te zetten zodat de instraling van de zon zo effectief mogelijk zal zijn. Een schematische weergave van de onderdelen van een PV systeem is in figuur 2.16 weergegeven.

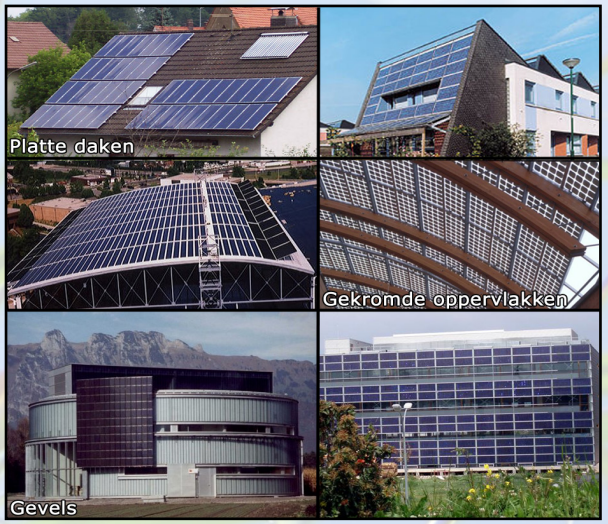
De accu: De accuopslag is bij een autonoom systeem van belang om het systeem werkende te houden bij gebrek aan zonlicht. Op deze manier is 's nachts en op andere momenten waar de zon het laat afweten, toch elektriciteit aanwezig om te kunnen voorzien in de elektriciteitvraag van de verbruiker. Er zijn verschillenden soorten accu's in een PV systeem te gebruiken. De twee meest gebruikte zijn tegenwoordig de loodzuuraccu en de nikkelcadmiumaccu. Bij een accu zijn de capaciteit, het rendement van de energieopslag en de cyclische levensduur van belang. De capaciteit geeft aan wat de hoeveelheid energie (Wh) of de hoeveelheid lading is (Ah) die aan de accu onttrokken kan worden. Het rendement van de energieopslag geeft de verhouding tussen de hoeveelheid energie die aan de accu onttrokken kan worden en de hoeveelheid energie die benodigd was om deze op te laden weer. Ten slotte geeft de cyclische levensduur het aantal malen van de accu aan dat deze tot een bepaalde intensiteit mag worden ontladen. Accu's hebben namelijk de eigenschap uiteindelijk "lui" te worden als niet goed aan deze cyclische levensduur wordt voldaan. Bij de tegenwoordig meest toegepaste netgekoppelde systemen is geen sprake van een accu maar wordt het net gebruikt als buffer om energie aan te onttrekken en te leveren.

De regelaar: Om te voorkomen dat de accu overlaadt of juist te diep ontlaadt is bij autonome systemen een regelaar geïntegreerd die dit voorkomt. Op deze manier wordt de levensduur van de accu gewaarborgd. Voor het te ontwerpen product zouden natuurlijk ook andere functies in deze regelaar geïntegreerd kunnen worden. Om de opgewekte elektriciteit te transporteren naar de verbruiker



Figuur 2.16: Schematische weergave van de manier waarop de componenten in een PV systeem met elkaar samenwerken

is bekabeling benodigd. Hierbij is het nuttig kabels te gebruiken die een zo laag mogelijke weerstand hebben zodat het rendement van het PV systeem zo hoog mogelijk wordt gehouden. Ook moet wanneer het een systeem betreft met geïntegreerde verbruiker, rekening gehouden worden met het rendement van deze gebruiker. Als het gaat om een lamp is het bijvoorbeeld nuttig om een zuinige lamp te gebruiken.



Figuur 2.17: Verschillende voorbeelden van de toepassing van PV langs gevels en op daken

PV Thermische systemen

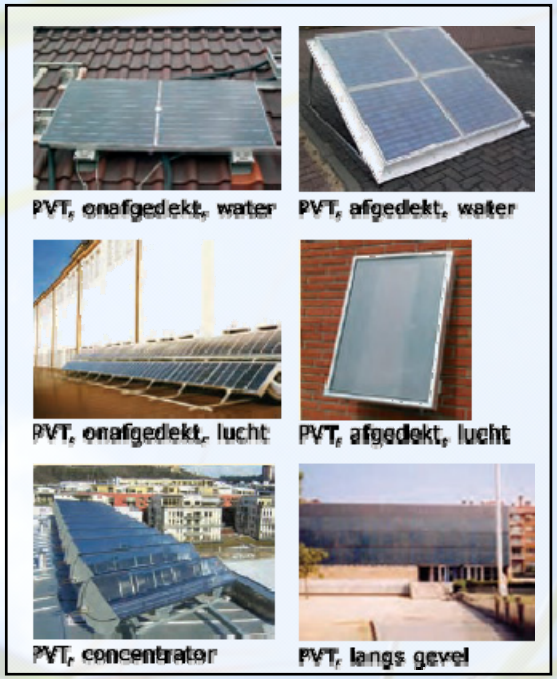
Zoals eerder al werd aangegeven is voor het actief benutten van zonne-energie een globale verdeling te maken in de soort energie die kan worden opgevangen en opgewekt: warmte met behulp van zonnecollectoren en elektriciteit met behulp van zonnepanelen. Net werd al verteld dat er echter ook een technologie bestaat om deze twee te combineren in één product wat de afkorting PVT (*photovoltaïsch & thermisch*) tot gevolg heeft. Het concept van PVT bestaat nog relatief kort, maar de achterliggende gedachte is dat met de combinatie van PV en thermisch als het ware twee vliegen in één klap kunnen worden gevangen. Hetzelfde oppervlak van een systeem kan nu namelijk worden gebruikt voor twee verschillende doeleinden die elkaar zeer goed aanvullen: het opvangen van warmte en het opwekken van elektriciteit. Daarom loopt er veel onderzoek naar nieuwe toepassingen van PVT en de mogelijke verbeteringen hiervan. Aangezien de toekomst veel nieuwe dingen zal brengen is het daarom nuttig ook deze technologie te bekijken.

Opslag van warmte: Bij PVT wordt het oppervlak dat gebruikt wordt voor de PV-panelen ook gebruikt om warmte mee op te vangen. In een PVT systeem zal bovendien opslag plaats moeten vinden voor zowel elektriciteit als energie. Hierbij is, net als bij zonnecollectoren het opslaan van warmte het grootste probleem omdat deze gemakkelijker verloren gaat. Bovendien zijn voor de meest nuttige toepassingen (althans voor de gebouwde omgeving); het verwarmen van water en ruimten, relatief hoge temperaturen benodigd en is daarbij ook een opslagsysteem gewenst wat gedurende lange tijd warmte kan vasthouden. Met de huidige technologie is dit echter (nog) beperkt mogelijk. Daarnaast is een bijkomend probleem dat de temperatuur van de PV-panelen op een acceptabel niveau gehouden moet worden omdat de efficiëntie van de zonnecellen anders in het geding komt.

Combinatie: De hoeveelheid energie die met behulp van een PVT systeem opgebracht kan worden is afhankelijk van verschillende factoren. De belangrijkste is hierbij de hoeveelheid zonnestraling die op de panelen valt. Het is duidelijk dat deze afhankelijk is van de breedtegraad op aarde waar men zich bevindt. Hoe dichter bij de evenaar, hoe groter de instraling van de zon zal zijn. Bovendien zal in deze gebieden de instraling minder afhankelijk zijn van de variatie van seizoenen door het jaar heen. Over het algemeen zal bij een PVT systeem in vergelijking met een losse zonnecollector minder warmte opgevangen worden en ook minder elektriciteit opgewekt worden wanneer deze wordt vergeleken met een los PV-systeem en een losse zonnecollector. De gecombineerde, totale opvang van energie (dus *warmte + elektriciteit*) is echter wel hoger zodat een kleiner oppervlak benodigd is.

Verschillende typen PVT systemen

Er zijn verschillende aspecten waarin PVT toepassingen kunnen variëren. De belangrijkste hiervan zijn het type zonnecellen dat gebruikt wordt, het soort afdekking (wel of geen overdekkende kast), het type opslagmateriaal om de warmte vast te houden (water of lucht), of er wel of geen concentratie van zonlicht naar een bepaald punt wordt toegepast (concentrator) en welk ontwerp van de modules gebruikt wordt (op het dak, aan de gevel, etc.). Verschillende mogelijkheden zijn hieronder weergegeven in figuur 2.18.



Figuur 2.18: Voorbeelden van verschillende typen PVT collectoren

Afdekking: Wanneer hoge temperaturen benodigd zijn kan een afdekking in de vorm van een extra laag glas (die een soort bak vormt) boven de absorber een uitkomst bieden. Op deze manier stroomt er minder koude lucht langs de absorber en wordt als het ware een soort "broeikasje" tot stand gebracht die ervoor zorgt dat er meer warmte opgevangen kan worden en er minder warmteverlies als gevolg van convectie plaatsvindt. Een dergelijke toepassing van een glasbak zorgt echter voor een lagere opbrengst van elektriciteit van de zonnecellen in de PV-panelen. Dit komt doordat de extra laag glas een deel van de invallende straling reflecteert en deze verloren straling dus niet opgevangen kan worden. Daarnaast werken zonnecellen bij een hogere temperatuur minder efficiënt waardoor het rendement hiervan naar beneden gaat. Ook is er kans op oververhitting van bepaalde elektrische componenten in de PVT-module. Daarom is het nuttig om te kijken voor welke toepassing het PVT systeem voornamelijk gebruikt zal worden: wanneer warmteopbrengst een belangrijke factor is kan afdekking een zeer winstgevend effect hebben. Het is hierbij zaak te kijken op welke manier de warmteopbrengst zo hoog mogelijk gemaakt kan worden en hierbij ook rekening te houden met de mogelijke afname van de elektrische opbrengst die dit tot gevolg heeft. In figuur 2.19 is een overzicht te zien met de verschillende typen eisen die aan een PVT product gesteld kunnen worden, en welke variant dan het meest voor de hand ligt afhankelijk van de eis.

Type energie benodigd	**Toe te passen PVT collector**
Hoge temperatuur tapwater (waterverwarming)	Afgedekte collector met water en warmtewisselaar of concentrator Of: onafgedekte collector als bron voor warmtepomp
Hoge temperatuur lucht (ruimteverwarming)	Afgedekte collector met lucht Of: onafgedekte collector / geventileerde PV als bron voor warmtepomp
Lage temperatuur tapwater (waterverkoeling)	Wanneer alleen vraag in de zomer hoog is: afgedekte collector met water Wanneer ook vraag in de winter hoog is: afgedekte collector met water als bron voor warmtepomp (om water af te koelen)
Lage temperatuur lucht (ruimteverkoeling)	Wanneer alleen vraag in de zomer hoog is: onafgedekte collector met lucht of geventileerde PV Wanneer ook vraag in de winter hoog is: afgedekte collector met lucht of afgedekte collector met lucht als bron voor warmtepomp

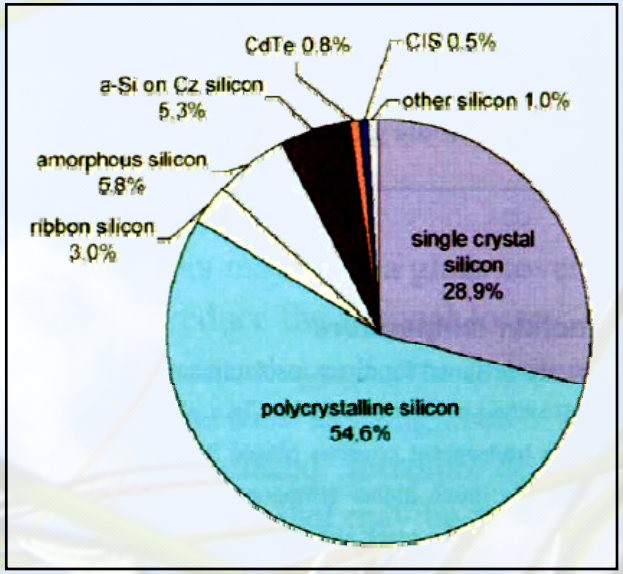
Figuur 2.19: Keuzetabel met toelichting welk type collector het best gebruikt kan worden voor verschillende toepassingen

Te bereiken temperaturen: Zonder afdekking kan bij maximale instraling de temperatuur oplopen tot zo'n 90 °C bij normale PV panelen, terwijl bij een moderne (vlakke plaat) zonnecollector met afdekking temperaturen van 220 °C behaald kunnen worden. Bij PVT ligt de temperatuur zo rond de 150 °C vanwege het feit dat hierbij een grotere weerkaatsing van het zonlicht plaatsvindt en er een groter verlies is aan infrarood uitstraling. Deze temperatuur kan echter ook verhoogd worden tot zo'n 220 °C bij toepassing van bepaalde spectraal selectieve technologieën, maar er kunnen zich daarbij problemen voordoen omdat bepaalde materialen deze temperaturen niet aankunnen. De zonnecellen kunnen deze hoge temperaturen goed verdragen, maar het zijn vooral de materialen die gebruikt worden om de zonnecellen in te kapselen die niet bestand zijn tegen deze hoge temperaturen. Bepaalde technieken zoals zogenaamde variabele reflectiematerialen (VAREM) kunnen hierbij een oplossing zijn (deze techniek wordt later nog besproken). Er is dus nog onderzoek mogelijk op dit gebied zodat de efficiëntie van PVT systemen nog hoger gemaakt kan worden. Bij normale instraling van PVT systemen zullen de temperaturen echter zo rond de 40 °C blijven.

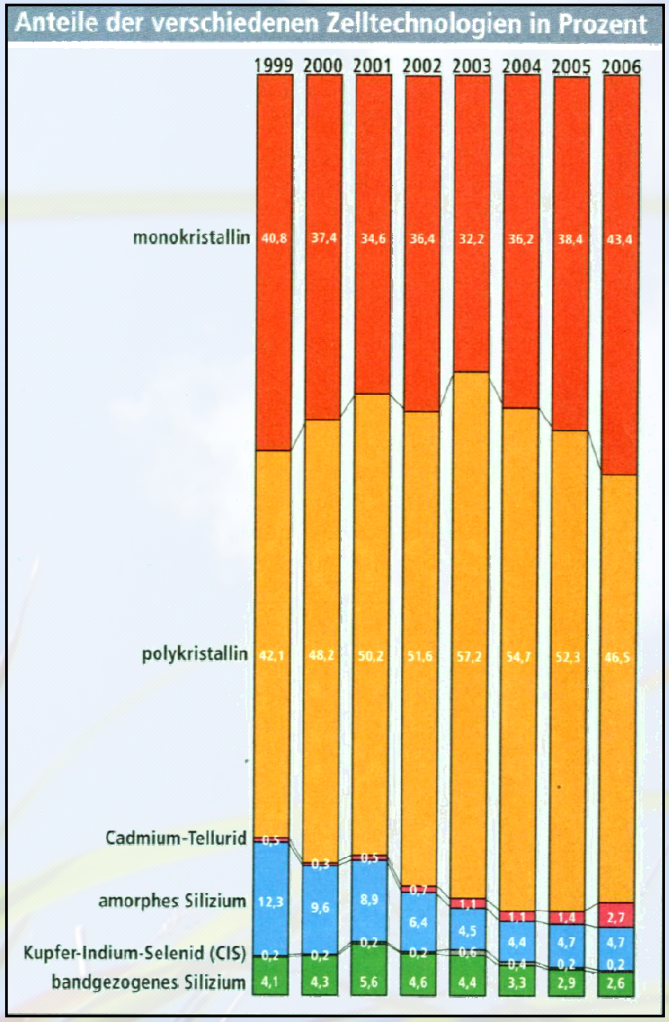
De zonnecellen: Zoals gezegd zijn er verschillende soorten zonnecellen te gebruiken in PVT systemen. Deze verschillende typen zijn al aan de orde gekomen in het stuk over PV systemen en zal dus niet herhaald worden. Het meest toegepast zijn nog altijd kristallijn silicium (c-Si) en amorf silicium (a-Si) met het grootste verschil dat het rendement van kristallijn silicium een stuk hoger is (ongeveer 15%) dan dat van amorf silicium (maximaal 7%, afhankelijk van het aantal toegepaste lagen). De prijs van amorf silicium is echter wel een stuk lager, zodat c-Si en a-Si even duur zijn als wordt gekeken naar de opgewekte energie per vierkante meter (W/m^2). Meer dan de helft van de zonnecellen die worden toegepast in PVT toepassingen zijn polykristallijn siliciumcellen. In figuur 2.20 is te zien wat de marktaandelen waren van de verschillende typen zonnecellen die gebruikt worden in PVT systemen in het jaar 2002. Daarnaast is in figuur 2.21 weergegeven wat het verloop is door de jaren heen in het gebruik van verschillende typen zonnecellen.

De warmteopslag: Bij PVT kunnen net zoals het geval is bij zonnecollectoren verschillende materialen gebruikt worden om de opgevangen warmte op te slaan. Meestal wordt hiervoor *water* gebruikt omdat de toepassing hiervan het gemakkelijkst is; water is gemakkelijk op te slaan, zeer toegankelijk, goedkoop en kan het gehele jaar gebruikt worden. Toch zijn er ook PVT collectoren waarbij lucht als opslagmedium gebruikt wordt met als voordeel dat hierbij normale PV modules gebruikt kunnen worden om de collectoren in te plaatsen. Het grootste nadeel is echter dat met luchtopslag de energieopbrengst veel lager is omdat de behaalde temperaturen minder goed opgeslagen kunnen worden (lucht koelt snel af). Deze opslagmethode is niet efficiënt en wordt ook relatief weinig toegepast (marktaandeel van slechts 1,5%) en zal daarom niet verder besproken worden.

Opbouw: Zoals al eerder werd verteld is een PVT systeem eigenlijk gewoon een zonnecollector met bovenop de absorber een laag PV geplakt. De kosten van een dergelijk systeem zijn dus eigenlijk gewoon die van een zonnecollector + de kosten van de PV panelen en de installatiekosten. Hierbij is het echter zo dat materialen met elkaar geïntegreerd kunnen worden zodat kostenbesparing gerealiseerd kan worden. Hiernaar moet echter nog veel onderzoek gedaan worden. Door het platte karakter van PVT systemen zijn ze gemakkelijk op of in een dak te plaatsen of te integreren, wat tevens een groot voordeel is wat betreft de esthetica van het product. Andere voordelen van PVT ten opzichte van losse zonnecollectoren en losse PV panelen zijn de kortere terugverdientijd, een hogere opbrengst, en een beter installatiegemak (er hoeft immers maar één product ingebouwd te worden).



Figuur 2.20: Percentages van toepassing van verschillende typen zonnecellen in PVT toepassingen



Figuur 2.21: Verloop van het gebruik van de verschillende typen zonnecellen door de jaren heen

Efficiëntie, opbrengsten en kosten

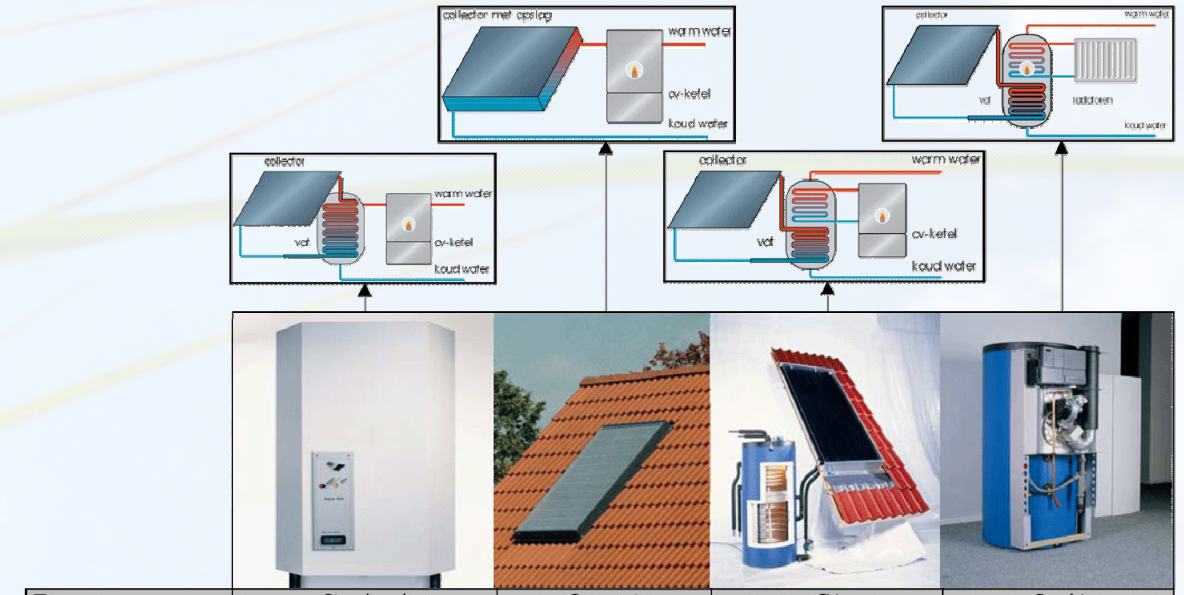
De werking van collectoren en PV is aan de orde geweest, maar er is nog niet gekeken naar de kosten van dergelijke systemen, de opbrengsten die de toepassing ervan oplevert, de verliezen die optreden, en de kwaliteit van dergelijke systemen die nu beschikbaar zijn. Aan deze aspecten zal in deze paragraaf aandacht besteed worden. Onderstaande vragen zullen hierbij beantwoord worden:

f. Hoe efficiënt zijn zonenergetische producten van nu qua het rendement van de energieopbrengst?
g. Hoe efficiënt zijn deze producten als gekeken wordt naar wat je ervoor krijgt (prijs / kwaliteit)?

Zonnecollector: Bij een zonnecollector is het zo dat er altijd enig verlies van warmte optreedt naar de omgeving als gevolg van straling, geleiding of convectie, waardoor het rendement van de zonnecollector niet ideaal is en dus een verminderde efficiëntie het gevolg is. Hierbij is het zo dat de optische efficiëntie afhankelijk is van de transmissie (de mate van licht doorlaten), de absorptie (licht opnemen) en de reflectie (licht terugkaatsen) van de afdeklagen en spiegels waar het licht langs zal gaan voordat het de absorber bereikt. Hierbij is het zo dat voor de verschillende onderdelen van de zonnecollector deze verschillende eigenschappen van belang zijn. Zo is het voor de afdeklagen gunstig als de transmissie zo groot mogelijk is, terwijl bij spiegels deze zo laag mogelijk moet zijn en juist de reflectie van belang is. Voor de absorber is het uiteraard van belang dat de absorptie van licht zo groot mogelijk is om tot een zo hoog mogelijk rendement van de collector te komen. Het totale warmteverlies binnen een zonnecollector is dus afhankelijk van het verlies aan warmte aan de omgeving, dat optreedt door de straling, convectie en geleiding tussen de componenten van het systeem en de omgeving.

Spectraal selectieve coatings: Het aanbrengen van zogenaamde spectraal selectieve coatings op de absorber van collectoren zorgt ervoor dat zo min mogelijk van de warmte door middel van straling naar de omgeving verloren gaat. De spectraal selectieve laag zorgt namelijk voor een hoge absorptiecoëfficiënt in het zichtbare gebied van het spectrum van zonlicht en juist voor een lage absorptiecoëfficiënt van het infrarode gebied. Omdat de emissie hieraan gekoppeld is, zal de uitstraling van warmte in de vorm van infraroodstraling ook minder zijn, wat een positieve invloed heeft op de efficiëntie van de zonnecollector. Voorbeelden van commercieel verkrijgbare spectraal selectieve lagen zijn zwart chroom, nikkel, koper of speciaal in het laboratorium te produceren coatings zoals siliciumstikstof/molybdeen en koolstof/koper.

Rendement: Wanneer een zonnecollector alleen gebruikt wordt voor het verwarmen van warm water kan een erg hoog rendement behaald worden dat tussen de 50 en 75% ligt[10]. Wanneer de warmte die opgevangen wordt ook gebruikt wordt voor het verwarmen van woonruimten (dus bij een combi zonneboiler) kan in totaal ongeveer 15 tot 25% van de energie die benodigd is binnen een huishouden worden bespaard. Dat is bij toepassing van een gemiddelde zonnecollector van 2,8 m^2 ongeveer 4 GJ per jaar aan



Type	Standaard		Compact	CV		Combi	
Omschrijving	Collector plus los voorraadvat. Gesloten systeem. Naverwarmer nodig. Alleen voor tapwater.		Leidingwater wordt direct in collector opgeslagen. Naverwarming nodig. Geen apart voorraadvat. Alleen voor tapwater.	Er wordt direct uit het voorraadvat getapt. Alleen voor tapwater. De cv-ketel houdt, mits noodzakelijk, het boilervat op temperatuur.		Voorraadvat en CV-brander zijn geïntegreerd. Geen aparte CV-ketel nodig. Voor tapwater en verwarming.	
Collector opp.	2,8 m^2	4,2 m^2	2,8 m^2	2,8 m^2	4,2 m^2	2,8 m^2	5,4 m^2
Boiler inhoud	100 l.	160 l.	100 – 150 l.	140 l.	240 l.	240 l.	240 l.
Afm. boiler diameter	50 cm	55 cm	-	50 cm	65 cm	65 cm	65 cm
hoogte	100 cm	145 cm	-	140 cm	150 cm	150 cm	150 cm
Opbrengst	3,8 GJ/jr	4,4 GJ/jr	3,8 GJ/jr	3,8 GJ/jr	4,6 GJ/jr	4,0 GJ/jr	4,8 GJ/jr
Min. besparing gas	184 m^3	214 m^3	184 m^3	184 m^3	224 m^3	194 m^3	233 m^3
Naverwarmer	Combi-ketel of geiser	Combi-ketel of geiser	Combi-ketel of geiser	CV-ketel, warmtepomp	CV-ketel, warmtepomp	Geen	geen
Comfort	+ (als combiketel)	+	+	++ (hoog)	++	++	++

Figuur 2.22: Overzicht met verschillende typen zonnecollectoren en de opbrengsten en besparingen die hierbij horen

energie, wat aan besparing, uitgedrukt in het aantal bespaarde kubieke meters aardgas in een gemiddeld huishouden ongeveer 120 m^3 betekent. Financieel gezien wordt de energierekening hiermee per jaar aan gas ongeveer 60€[11] lager. Dit zijn gemiddelden, want per type zonneboiler kunnen deze waarden uiteraard variëren. De aanschaf van een zonnecollector en zonneboiler is afhankelijk van het type en zal gemiddeld tussen de 2000 en 3000€ zijn (bij een huidige woning) en rondom de 1600€ in een nieuwbouwwoning[12]. Deze bedragen zijn inclusief installatiekosten en BTW.

PV: Een tijdje geleden is er een doorbraak geweest waarbij een rendement van meer dan 40%[13] aan elektrische opbrengst werd behaald bij zeer moderne zonnecellen. Dit is echter een record bij een laboratoriumonderzoek en kan nog niet toegepast worden bij de huidige PV systemen. Het gemiddelde elektrische rendement van PV modules ligt, met multikristallijn silicium cellen, ongeveer tussen de 12 en 15% en voor amorf silicium is dit ongeveer 5 tot 7%. Een zonnepaneel kost verder gemiddeld rond de 700€ per vierkante meter[12]. Daarnaast zijn de installatie- en gebruikskosten die daarbovenop komen nog vaak rond de 200 tot 400 €. Een vuistregel die veel gebruikt wordt is dat de huidige prijs van elektriciteit opgewekt door PV ongeveer 50 cent per kWh bedraagt[14]. Per vierkante meter PV wordt met de huidige panelen tussen de 120 en 130 Wp (Watt-Piek) opgewekt, wat met de instraling in Nederland resulteert in ongeveer 100 kWh[15]. Bij toepassing van een "normaal" oppervlak zonnepanelen (ongeveer 4 m^2) kan hiermee dan per jaar zo'n 75 tot 80 € op de elektriciteitsrekening bespaard worden als wordt gerekend met het huidige energietarief van ongeveer 20 cent voor conventioneel opgewekte energie. Dit resulteert nu nog in een terugverdientijd van ongeveer 25 jaar tot 30 jaar.

Terugverdientijd: De terugverdientijd van PV panelen is eigenlijk relatief lang aangezien de levensduur van PV panelen tussen de 30 en 45 jaar bedraagt voor kristallijn silicium en 5-15 jaar is voor amorf silicium[16]. Hierbij moet opgemerkt worden dat het hierbij gaat om perioden waarin de bedrijven die de panelen leveren nog garantie leveren. De echte levensduur kan veel langer zijn en in het geval van normale kristallijn panelen gemakkelijk langer dan 50 jaar bedragen. Toch maken de relatief hoge prijzen het toepassen van zonne-energie nu nog redelijk duur, maar vanwege de stijgende elektriciteitsprijzen en de ontwikkelingen die plaatsvinden op het gebied van nieuwe technologieën wat betreft zonne-energie zal de prijs van elektriciteitsopwekking door zonnestraling in de toekomstuit alleen maar dalen. Er wordt verwacht dat zonne-energie over 10 jaar waarschijnlijk volledig kan concurreren met de marktprijzen van die van conventioneel opgewekte elektriciteit.

PVT: Omdat PVT twee verschillende soorten energie uit de zon wint; namelijk warmte en elektriciteit, is de totale efficiëntie wanneer deze wordt vergeleken met aparte PV panelen hoger. Er wordt dus meer zonne-energie per vierkante meter product benut met toepassing van PVT. Het elektrische rendement is hierbij ongeveer 10% en het warmterendement zo rond de 50%[17] (bij toepassing voor warm tapwater). Deze waarden van de rendementen zijn weliswaar iets lager dan bij specifiek gebruik van PV of een zonnecollector, maar wanneer per vierkante meter product wordt gekeken is de totale opbrengst aan energie in GJ bij PVT hoger omdat hetzelfde oppervlak gebruikt wordt voor het opvangen van én de warmte én het omzetten van elektriciteit.

Kosten: Er zijn verschillende typen PVT systemen op de markt, maar gemiddeld kosten deze (zeer grofweg genomen) tussen de 900 en 1000 € per m^2 paneel. Dit is namelijk sterk afhankelijk van welk type wordt gebruikt; wel of niet afgedekt, welk type warmteopslag (lucht/water) wordt toegepast en welk type zonnecellen wordt gebruikt in de panelen. Als deze prijs echter wordt vergeleken met die van normaal PV, kan geconcludeerd worden, dat het toepassen van PVT prijsefficiënter is: voor een paar honderd euro meer krijg je behalve elektrische, ook thermische energie geleverd binnen een systeem met dezelfde afmetingen en wordt met het twee-in-een principe ook aan installatiekosten bespaard. De besparing van een PVT systeem op de energiekosten van een gemiddelde woning zal bovendien een stuk hoger zijn; deze bestaat uit de besparing in het gasgebruik vanwege de warmtelevering door het thermisch gedeelte van het systeem en de besparing op het elektriciteitsgebruik vanwege het PV gedeelte.

Besparingen: Een vuistregel[18] is dat per m^2 PVT ongeveer 1,2 GJ aan warmte-energie per jaar wordt opgewekt en voor het PV-gedeelte dit rond de 0,32 GJ (90 kWh) is. Bij elkaar opgeteld levert dit dus grofweg een energieproductie van meer dan 1,5 GJ/m^2/jaar. Op de energierekening zal dit per jaar aan gas (voor toepassing van een gemiddeld systeem van ongeveer 3 m^2) een vermindering van 150 m^3 aan aardgas zijn (een besparing van ongeveer 60€). Voor elektriciteit zal dit bij een gemiddeld systeem op een besparing van 360 kWh liggen wat resulteert in een verlaging van de energierekening van eveneens 60 euro. Hiermee zou de terugverdientijd voor een gemiddeld systeem ongeveer 25 jaar bedragen, wat dus iets korter is dan bij de toepassing van alléén PV panelen. De verschillende parameters van zonnecollectoren, PV-panelen en PVT-modules zijn in figuur 2.23 overzichtelijk weergegeven.

		Zonnecollector	**PV**	**PVT**
Rendement (%)	%	50-75% (warm tapwater)	12-15% (polykristallijn silicium)	10% (elektrisch)
	%	15-25% (ruimteverwarming)	5-7% (amorf silicium)	50% (warmte voor tapwater)
Oppervlak (voor gem. toepassing)	*m2*	3 m2	4 m2	3 m2
Gemiddelde besparing energie / jaar	*GJ*	1,33 GJ / m^2	0,36 GJ / m^2	1,2 GJ / m^2 (thermisch)
	GJ	x	x	0,32 GJ / m^2 (elektrisch)
Besparing gas/elektriciteit / jaar	*m3 gas*	50 m^3 / m^2	x	50 m3 gas / m^2 (thermisch)
	kWh	X	100 kWh / m2	90 kWh / m^2 (elektrisch)
Besparing euro's / jaar	*€ / m2*	15 € / m^2	20€ / m2	20 € / m2 (gas) + 20 € / m2 (elektrisch)
	€ totaal	60 €	80 €	60 € (gas) + 60 € (elektrisch) = 120 € tot.
Aanschaf huidige woning	€	400 € / m^2 (excl. syst.) 600 € / m^2 (incl. syst.)	700 € / m2	900 - 1000 € / m2
Gemiddelde installatiekosten	€	Huidige bouw: 1000 € Nieuwbouw: 500 €	Huidige bouw: 400 € Nieuwbouw: 200 €	Huidige bouw: 400 € Nieuwbouw: 200 €
Aanschaf nieuwbouw	€	500 € / m^2	700 € / m2	ca. 900 € / m^2
Terugverdientijd	*jaar*	10-15 jaar	25 - 30 jaar	25 jaar

Figuur 2.23: Tabel met de kosten, opbrengsten, besparingen, etc. bij verschillende zonenergetische toepassingen

Hoofdstuk 3: Bouwkundige aspecten van een woning

In de vorige hoofdstukken is uitvoerig besproken welke manieren er zijn om op een duurzame manier energie op te wekken met behulp van zonlicht. Hierbij zijn de verschillende methoden aan de orde gekomen die hiervoor beschikbaar zijn en zijn diverse typen producten de revue gepasseerd. Omdat deze opdracht zich toespitst op de toepassing van dergelijke nieuw te ontwerpen producten in de "gebouwde omgeving", is het benodigd om eens te kijken naar deze gebouwde omgeving. Het is daarbij handig om een overzicht te maken van alle aspecten die hierbij aanwezig zijn waarmee rekening gehouden dient te worden voor de toepassing van zonnecollectoren en PV panelen op een woning. Daarom wordt in dit hoofdstuk gekeken naar enkele belangrijke bouwkundige aspecten van woningen. De hoofdvraag die hierbij te beantwoorden valt is de volgende:

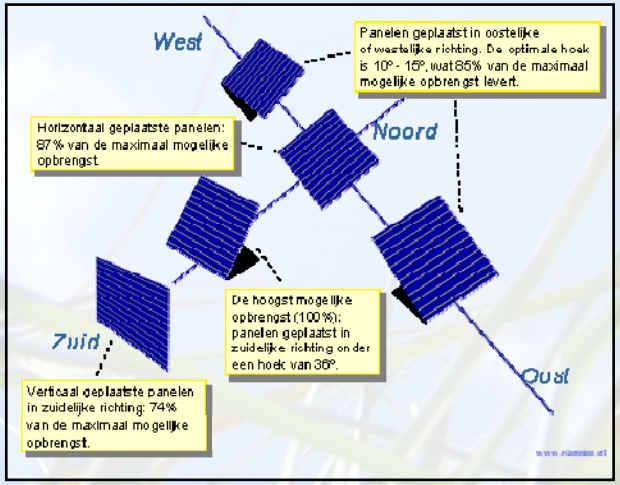
Welke bouwkundige aspecten van een woning zijn van belang met betrekking tot het ontwerpen van een zonenergetisch systeem voor de toekomst?

De gebouwde omgeving is een erg diverse sector, maar wel een sector waar over het algemeen vrij weinig veranderingen plaatsvinden. Bovendien vinden deze veranderingen plaats in een zeer langzaam tempo. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat woningen een lange levensduur hebben, en wanneer woningen eenmaal gebouwd zijn, het niet aantrekkelijk is om veel aanpassingen aan te brengen vanwege de hoge kosten die hiermee gepaard gaan. Dit is een groot probleem wat ervoor zorgt dat nieuwe technieken op energiegebied, wanneer deze eenmaal beschikbaar zijn, lang op de toepassing ervan laten wachten omdat de bouwsector weinig flexibel is voor veranderingen. Vaak zal van deze nieuwste technieken pas gebruik gemaakt worden bij grootschalige nieuwbouwprojecten omdat hierbij de installatiekosten dan relatief laag gehouden kunnen worden. Dit gezegd hebbende blijft het van belang te onderzoeken waar rekening mee gehouden dient te worden bij de toepassing van zonenergetische producten bij woningen. Hierbij is het interessant eerst eens te kijken naar de verschillende locaties van de woning waar deze producten zich zouden kunnen bevinden. Daarom wordt de volgende deelvraag gesteld:

a. Op welke locaties van een woning kunnen zonnecollectoren en PV-panelen het best geïntegreerd worden om zo efficiënt mogelijk gebruikt te worden?

Locaties voor de toepassing van zonneproducten

Zonnecollectoren en PV-panelen kunnen het best gebruikt worden op plekken waar de zonnestraling zo groot mogelijk is. Bij woningen zijn dit voornamelijk het *dak* omdat hier de zonnestraling de gehele dag op geconcentreerd is, en dan vooral de *zuidkant* van het dak. Daarnaast is ook de *gevel* van een gebouw interessant aangezien deze een relatief groot oppervlak van een gebouw beslaat en dus nuttig gebruikt kan worden voor het plaatsen van dergelijke toepassingen. Hierbij is het wel zo dat de gevel wat minder straling van de zon opvangt (vanwege het vaak verticale karakter). Bovendien moet rekening gehouden worden met het creëren van een goede lichtinval in woonvertrekken en de mogelijkheid om naar buiten te kijken door het aanbrengen van beglazing. De efficiëntie van een zonnetoepassing hangt erg af van de gebruikte hellingshoek. Hierbij is het zo dat (in Nederland) een hellingshoek van 36 graden de hoogste opbrengst uit de zonnestraling haalt[19] waarbij de oriëntatie van het paneel op het zuiden gericht is. Bij het bouwen van woningen kan dus rekening gehouden worden met deze optimale waarde. Daarnaast is het zo dat de zon draait; wanneer het paneel mee zou draaien met de oriëntatie van de zon door de dag heen, kan de opbrengst nog groter gemaakt worden (hierover volgt later nog meer).



Figuur 3.1: Mogelijkheden van plaatsing van panelen waarbij een zo hoog mogelijke opbrengst gehaald wordt.

Er is ook de mogelijkheid om PV panelen en zonnecollectoren te gebruiken als bouwmateriaal in woningen. Hierbij kan een dak- of gevelelement dus zowel dienen voor het afdekken van de boven- en zijkant van de woning, en daarmee functioneren als constructie, isolatie en bescherming van de omgevingsinvloeden. Deze manier is zeer kosteneffectief, aangezien hiermee de toepassing van dubbele materialen voorkomen wordt (de collector of het PV paneel is in dit geval het dak of de gevel, en zit er niet bovenop "geplakt"), maar heeft wel bepaalde eisen aan de gebruikte materialen. De geïntegreerde zonne-elementen moeten namelijk voldoende stijfheid en sterkte aan de constructie van de woning kunnen bieden. Hierbij komt de vraag naar voren hoe dit eigenlijk gedaan wordt bij de constructie van huidige woningen:

b. Aan welke eisen moet een dak / gevel voldoen?

Verschillende typen daken en gevels

Daken: Er zijn verschillende typen woningen met allerhande soorten daken die daarmee andere eigenschappen aan een woning geven. De hoofdfunctie van een dak is het beschermen tegen de invloeden van het klimaat en de omgeving waarin de woning staat. Hierbij zijn belangrijke eisen wat betreft bescherming tegen het klimaat, waterdichtheid, waterafvoer, verankering, vormvastheid en het hebben van een goede warmte-isolatie van belang. Wat betreft bescherming tegen de omgeving zijn brandveiligheid en geluidisolatie nodig. Ook moet het dak mogelijkheden bieden voor ventilatie, de afvoer van gassen en het bieden van verlichting van het gebouw. Een laatste belangrijk punt is dat het dak bestand moet zijn tegen mechanische beschadiging, wat betekent dat het geschikt moet zijn voor onderhoud- en reparatiewerkzaamheden. Hierbij kan het dus benodigd zijn het dak te belopen.

Gevels: De gevel van een woning is het gedeelte wat de verticale afsluiting van de woning vormt. Deze heeft net als het dak de functies om het interieur tegen de invloeden van buitenaf te beschermen. Hieronder vallen de klimatologische omstandigheden zoals warmte, kou en vocht, maar ook geluid. Daarnaast zijn in de gevel ramen en deuren aanwezig die moeten zorgen voor dagverlichting, ventilatie en de doorgang tussen vertrekken en de omgeving. De gevel moet verder voldoende vormvast zijn omdat deze krachten te verduren krijgt als gevolg van de wind die erop werkt. Daarnaast moeten gevels goed verankerd zijn aan verticale steunpunten van de woning en aan de vloeren. Nu de hoofdfuncties van daken en gevels duidelijk zijn, kan een inventarisatie gemaakt worden van de verschillende typen die tegenwoordig gebruikt worden in de bouw.

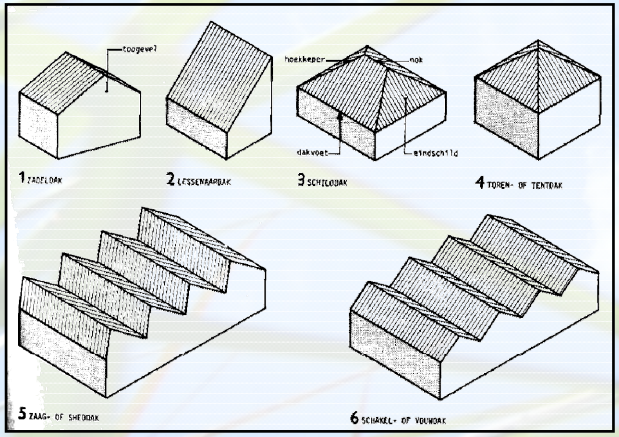
c. Wat voor soorten daken / gevels zijn er?

Daken: Er zijn daken in allerlei verschillende soorten en maten. Allereerst is er een onderverdeling te maken in de hellingsgraad van het dak. Deze hoek ligt in het gebied tussen de 0 en 90° zoals te zien is in figuur 3.2:

Type dak:	Helling:	Bedekking:
Plat	2 - 5°	Teervilt, asfalt-bitumenvilt, kunststoffolie, metalen
Flauw hellend	5 - 20°	Zelfde als plat dak
Hellend	20 - 40°	Bitumineuze, metalen, kunststof bedekking, pannen, leien, riet, golfplaten
Steil hellend	> 40°	< 50° Asfaltbitumenproducten < 75° Dakpannen < 90° Leien, riet, golfplaten, metalen

Figuur 3.2: Verschillende soorten vormen daken[20]

Naast deze variatie in helling zijn er verschillende dakvormen te onderscheiden die allen aparte eigenschappen hebben en bij verscheidene soorten woningen toegepast worden. Deze daken zijn weergegeven in figuur 3.3.



Figuur 3.3: Verschillende soorten vormen daken[20]

Gevels: Er zijn verschillende soorten gevels die ervoor zorgen dat elk gebouw een andere uitstraling heeft. Zogenaamde blinde gevels zijn geheel gesloten en zijn vaak samengesteld uit zwaardere materialen zoals kunststeen,

Figuur 3.4: Voorbeelden van gevels

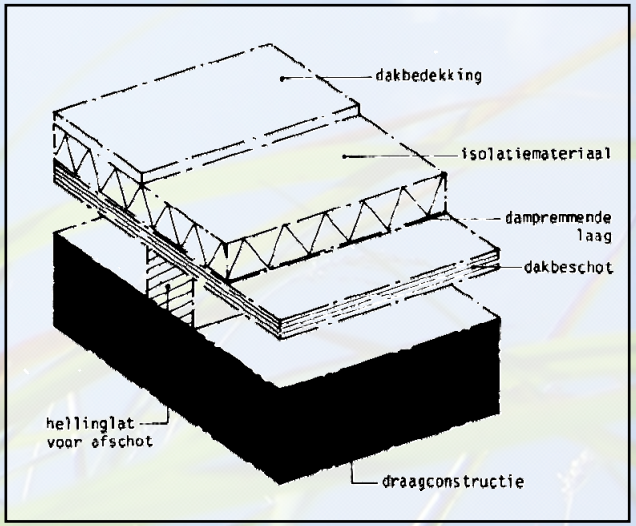
beton, natuursteen, plaatmaterialen zoals aluminium, roestvrij staal, hout, kunststof, of een combinatie van deze materialen[21]. In de meeste gevels zijn echter ramen en deuren aangebracht die op deze manier toegang naar de buitenwereld mogelijk maken. Daarnaast is er nog een verschil aan te brengen in gemetselde gevels, die ter plekke in elkaar worden gemetseld door het bevestigen van bakstenen enerzijds, en vooraf gemonteerde gevels anderzijds, die nagenoeg geheel afgewerkt op de bouwplaats afgeleverd worden en ter plekke gemonteerd kunnen worden. Dit laatste type lijkt een beetje op het type geprefabriceerde dakelementen dat zo meteen aan bod zal komen. De meeste moderne gevels bevatten tegenwoordig een groot aantal ramen, waar een goede mogelijkheid ligt voor het toepassen van zonnecollectoren en PV panelen. Voordat over deze integratiemogelijkheden nagedacht kan worden zal eerst gekeken moeten worden hoe daken en gevels precies zijn opgebouwd.

d. Hoe zit een dak / gevel precies in elkaar?

De opbouw van daken en gevels

Type daken: Een dak bestaat uit verschillende onderdelen zoals ook te zien is in figuur 3.5. Deze onderdelen zijn de draagconstructie, de isolatie, het dakbeschot en de dakbedekking. De draagconstructie dient voor de stevigheid van het dak. Bij kleine dakoverspanningen kan dit simpelweg gebeuren door de constructie op de bouwmuren te plaatsen, maar bij grotere constructies zal gebruik gemaakt moeten worden van zogenaamde spanten. Veelgebruikte materialen hierbij zijn hout, beton en staal. De isolatie van platte daken kan opgedeeld worden in drie typen: de zogenaamde kouddak-, warmdak en de omgekeerde dakconstructie. Het meest toegepast is tegenwoordig de warmdakconstructie waarbij het isolatiemateriaal, boven de draagconstructie bevestigd wordt, en zich op deze manier onder de waterdichte dakbedekking bevindt. Bij een kouddak constructie is deze volgorde precies andersom, en dit type dak heeft het nadeel dat de constructie blootgesteld kan worden aan grotere temperatuurschommelingen die het materiaal op een ongewilde wijze kunnen beïnvloeden.

De opbouw van een plat dak: Bij deze opdracht is het interessant te kijken naar de opbouw van een dak. Om ook precies in te gaan op de draagconstructie gaat te ver, maar de laagsgewijze opbouw van het totale dak wordt hierbij wel behandeld. Allereerst zullen platte daken behandeld worden. Bij een plat dak bestaat de bedekking meestal uit



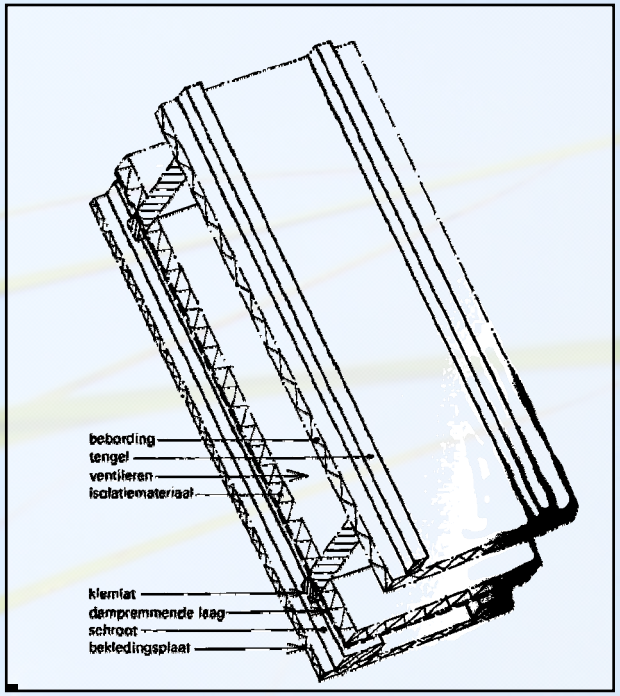
Figuur 3.5: De opdeling van een daklaag

één groot geheel vanwege de benodigde waterdichtheid. Bij erg grote oppervlakken (>200 m^2) zal het dakdeel echter opgedeeld moeten worden in kleinere stukken omdat anders bij temperatuurschommelingen het dak teveel uit kan zetten of krimpen waardoor scheurtjes kunnen ontstaan. Een ander aspect waar bij platte daken rekening mee gehouden moet worden is de wind; er vindt namelijk een relatief grote zuigkracht plaats, waardoor het benodigd is om ballast op het dak te leggen (vaak in de vorm van grind of tegels) om te voorkomen dat het dak gemakkelijk "wegwaait". Een dak heeft een levensduur tussen de 10 en 40 jaar, afhankelijk van de omgeving waarin deze gebruikt wordt en de toegepaste materialen.

Hellend dak: Bij dit type dak zijn dezelfde aspecten te onderscheiden als bij platte daken maar zijn er bepaalde eigenschappen die alleen bij hellende daken van toepassing moeten zijn. Zo moet er nu bijvoorbeeld rekening gehouden worden met grotere dwarskrachten als gevolg van de wind (waardoor een stevigere constructie is vereist). Ook verschilt het type dakbedekking. Deze zal nu voornamelijk bestaan uit dakpannen, platen of leien. Om deze op een hellend dak neer te leggen is echter een constructie vereist die deze bedekking op zijn plek houdt. Hierbij wordt op het dak een soort rooster gemaakt met zogenaamde panlatten waarop het dakmateriaal bevestigd kan worden. De isolatie is bij hellende daken ook iets anders geregeld. Hierbij wordt niet de onderverdeling gemaakt tussen warm- of kouddaken zoals bij platte daken wel het geval is, maar wordt het isolatiemateriaal aangebracht zowel óp als ónder het dakbeschot. Dit is te zien in figuur 3.7.

Prefab dak: Hellende daken zijn ook op te bouwen uit zogenaamde *geprefabriceerde elementen*; kortweg prefab-elementen. Dit type dak bestaat voornamelijk uit triplex en vezelplaat. Deze manier heeft als voordeel dat erg snel het dak bovenop een woning gezet kan worden zonder dat dit een zeer arbeidsintensief proces is. Nadeel van deze prefabdaken is de beperkte flexibiliteit op het gebied van de indeling van de woning. Eventuele aanpassingen zijn later in het proces lastiger te maken zodat van tevoren goed

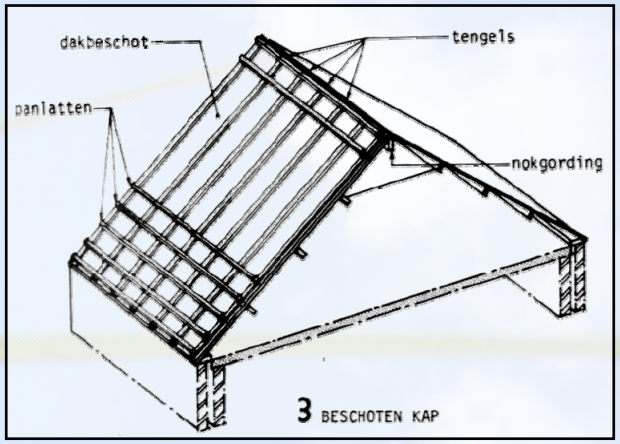
Figuur 3.6: Prefab dakelement



Figuur 3.7: De verschillende onderdelen van een schuin dak

gekeken moet worden naar de opbouw van de totale woning (m.b.t. waterleidingen, elektriciteit, etc.) Deze manier van dakbedekking kan echter zeer interessant zijn voor de markt van zonnecollectoren, PV, en PVT. Door vooraf deze onderdelen te integreren kan gemakkelijk een duurzame energievoorziening met behulp van zonlicht in nieuwbouwwoningen plaatsvinden.

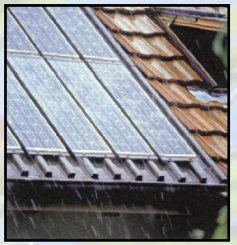
Dakbedekkingen: De toepassing van dakpannen wordt voornamelijk gebruikt bij daken met hellingen van 20 tot 55°. Afhankelijk van de steilheid van deze helling worden de pannen wel of niet vastgenageld aan de latten waarop ze liggen. Bij steile daken zal dit namelijk benodigd zijn omdat ze anders te snel van het dak af kunnen waaien. De opbouw van een dak met dakpannen is te zien in figuur 3.8. Naast dakpannen wordt bij hellende daken heel soms gebruik gemaakt van golfplaten, maar omdat dit er niet heel erg mooi uitziet wordt dit steeds minder toegepast. Dakpannen bieden mogelijkheden voor het toepassen voor PV materiaal. PV panelen kunnen zelfs gebruikt worden als dakpannen (zoals te zien is in figuur 3.9). Hierbij moet wel gekeken worden naar de eigenschappen van de panelen



Figuur 3.8: Bevestiging van de dakpannen op een schuin dak

omdat deze, wanneer ze als dakbedekking fungeren, zullen moeten voldoen aan de gestelde eisen voor het beschermen van de woning tegen invloeden van buitenaf.

Gevel: Hiervoor is al even kort besproken welke soorten gevels er zijn. Daarnaast is het nuttig om te weten uit welke onderdelen en materialen een gevel grofweg bestaat zodat duidelijk is hoe (als daar eventueel voor wordt gekozen) de zonnecollector geïntegreerd kan worden in de gevel van een gebouw, en waar dan precies rekening mee gehouden dient te worden. Bij de meeste huizen in Nederland worden gevels nog steeds gemetseld van bakstenen. Moderne gevels worden daarnaast uitgevoerd als spouwmuur waardoor de doorslag van vocht van de omgeving naar binnen voorkomen kan worden. Een gevel bestaat hierbij uit twee aparte stenen delen met daartussen een luchtspouw, die nog gevuld wordt met een thermisch isolerend middel om een betere warmte-isolatie te verkrijgen (over het onderdeel isolatie volgt zo direct meer). Naast deze standaard opbouw van stenen gevels worden steeds meer gevels voor een groot deel uitgevoerd in glas. Dit type moderne gevels is zeer interessant voor zonnecollectoren en PV panelen omdat deze mooi verwerkt kunnen worden in deze gevels. Door halfdoorzichtige PV panelen of collectoren te gebruiken kan een gevel naast het opvangen van warmte of het opwekken van elektriciteit ook toegepast worden als raam. De isolatie van daken en gevels zal nu besproken worden.



Figuur 3.9: PV panelen als dakpannen

e. Hoe zit het met de isolatie van de verschillende soorten dakbedekkingen / gevelwanden?

Isolatie van daken en gevels

U-Waarde: Bij toepassing van verschillende soorten dakconstructies en gevelwanden worden verschillende eisen gesteld aan de isolatie waaraan de woning moet voldoen. Bij nieuwbouwwoningen zijn deze eisen steeds strenger geworden om daarmee het warmteverlies van een woning naar buiten toe zo klein mogelijk te maken. Om dit warmteverlies uit te drukken wordt de zogenaamde U-waarde veel gebruikt (warmtedoorlatingscoëfficiënt). Deze waarde drukt de hoeveelheid warmte uit, die per seconde, per vierkante meter oppervlak, per graad temperatuurverschil tussen de ene en de andere zijde van een constructie doorgelaten wordt[22]. Deze waarde wordt gegeven in de grootheid $W/m^2/K$. Een lage U-waarde betekent dus een goede isolatie.

RC-Waarde: Een andere waarde die verder van belang is, wanneer gekeken wordt naar de isolatie-eigenschappen van een woning is de RC-waarde, die de warmteweerstand van een constructie representeert[23]. Deze waarde is de reciproke (inverse, oftewel omgekeerde waarde) van de U-waarde, verminderd met de overgangsweerstanden (de weerstand die optreedt bij het transport van warmte aan de binnen- respectievelijk de buitenkant van de woning)[24]. Hoe hoger deze waarde is, hoe beter het isolerend vermogen van de constructie is, en hoe minder warmteverlies er zal optreden. Een hoge RC-waarde, betekent dus (vanwege de reciprociteit) automatisch een lage U-waarde. Bij constructiedelen van een woning worden vaker RC-waarden gebruikt, omdat in dergelijke delen gemakkelijk isolatie verwerkt kan worden. Bij ramen wordt voornamelijk gekeken naar de verliezen, waardoor warmteverlies hierbij vaker in de U-waarde wordt uitgedrukt. In figuur 3.10 is een overzicht te zien van verschillende isolatiewaarden bij twee veelvoorkomend type woningen in Nederland; de tussenwoning (kleine verliezen) en de vrijstaande woning (grote verliezen).

In figuur 3.10 representeert de meest rechtse kolom de eisen zoals deze op dit moment worden gesteld aan de nieuwbouw. Er is een duidelijk verloop te zien naar steeds hogere RC-waarden, en lagere U-waarden (gewenst verloop!). Bij de nieuwbouw worden de eisen zo streng gesteld zodat aan een (al kort even aan bod gekomen) EPC-waarde van 0,8 voldaan moet worden volgens de wet. Deze lage waarde kan onder andere worden bereikt met het goed isoleren van het dak, de gevel en de vloeren in het huis. Een voorbeeld van veeltoegepaste isolatiematerialen is weergeven in figuur 3.11. Hierin staan zogenaamde lambda-waarden weergegeven die aangeven hoe goed een materiaal warmte geleidt. Hoe lager deze waarde is, hoe beter het materiaal isoleert. Nu de meeste bouwkundige aspecten van gevels en daken aan de orde zijn geweest kan gekeken worden naar de mogelijkheden voor het toepassen van producten die gebruik maken van zonne-energie.

f. Welke mogelijkheden geven daken en gevels voor de toepassing van zonnecollectoren en PV?

Locaties van de woning voor toepassing van zonneproducten

Efficiëntie of esthetica: Doordat er veel verschillende soorten woningen zijn die variëren qua dakoppervlakte, hellingsgraad, soort dakbedekking, type gevel, oppervlakte van de gevel, gebruik van beglazing, oriëntatie op de omgeving, etc. zijn er vele mogelijkheden voor het toepassen van zonnecollectoren en PV panelen. Hierbij is, wanneer gekeken wordt naar figuur 3.1 aan het begin van dit hoofdstuk, de meest effectieve methode om een zonnepaneel of collector zo te richten zodat deze optimaal gebruik maakt van de zonnestraling. Het meest rendabel is dus om een paneel te positioneren (of integreren) op of in een schuin dak, onder een helling van 36°, gericht is op het zuiden. Op deze manier kan de zonnetoepassing op een mooie manier verwerkt worden in de woning, zonder dat deze als een los component bovenop de woning geplaatst wordt. Uiteraard zal bij de bestaande bouw niet elk huis zo'n dak hebben met zo'n perfecte oriëntatie, en daarom moet ook gekeken worden naar andere (misschien minder rendabele) oplossingen.

	Waarde:	<1966	1966-1975	1976-1988	1989-2000	>2007 (nieuwbouw)
Tussenwoning						
Gevel	RC (m^2 K/W)	0,36	0,36	1,36	2,33	3,0
Dak	RC (m^2 K/W)	1,97	1,30	1,30	2,47	4,0
Vloer	RC (m^2 K/W)	0,15	0,15	0,65	2,4	3,0
Ramen	U ($W/m^2/K$)	3,1-5,1	3,1-5,1	3,1-4,1	3,1	1,8
Vrijstaande woning						
Gevel	RC (m^2 K/W)	0,36	1,36	1,36	2,33	4,0
Dak	RC (m^2 K/W)	1,97	1,30	1,30	2,47	5,0
Vloer	RC (m^2 K/W)	0,15	0,65	0,65	2,4	3,0
Ramen	U ($W/m^2/K$)	3,1-5,1	3,1-5,1	3,1-4,1	2,0	1,8

Figuur 3.10: RC-Waarden en U-Waarden van verschillende typen woningen in de huidige bouw en de nieuwbouw door de jaren heen (bron: Referentiewoningen bestaande bouw 2007, SenterNovem)

Geëxtrudeerd polystyreen XPS	λ = 0,034 W/mK
Polyuretaan PUR	λ = 0,027 W/mK
Polyisocyanuraat PIR	λ = 0,020 W/mK
Cement gebonden PS	λ = 0,130 W/mK
Fenolschuim PF	λ = 0,025 W/mK
Minerale Wol MWR	λ = 0,041 W/mK
Cellenglas CG	λ = 0,048 W/mK
Geëxpandeerd perliet EPB	λ = 0,055 W/mK
Geëxpandeerd polystyreen EPS	λ = 0,040 W/mK
Kurk ICB	λ = 0,050 W/mK
Vermiculiet	λ = 0,065 W/mK
Geëxpandeerd vermiculiet	λ = 0,090 W/mK

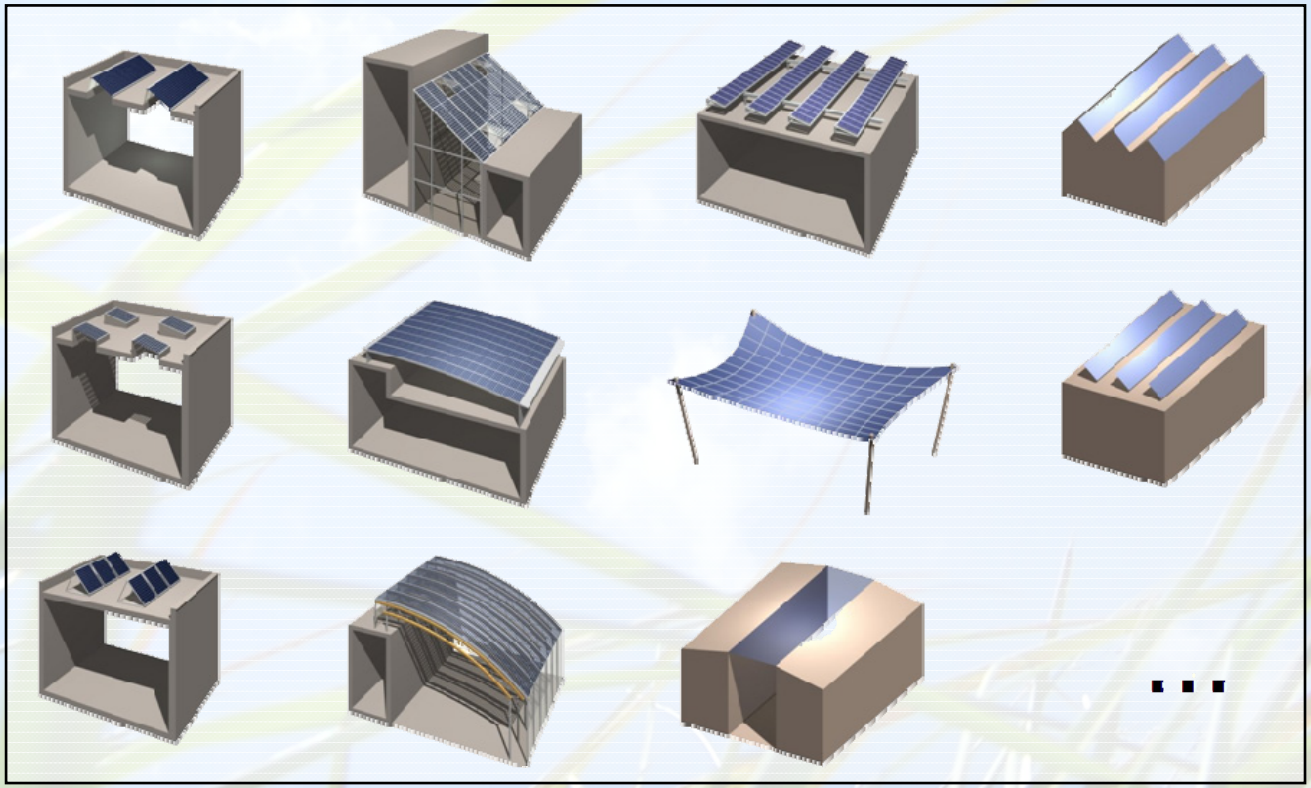
Figuur 3.11: Verschillende isolatiematerialen met daarbij aangegeven hoe goed deze warmte geleiden

Nieuwbouw: Bij grootschalige nieuwbouw kan echter bij de indeling van wijken al rekening gehouden worden met de oriëntatie ten opzichte van de zon, zodat het bij nieuwbouwprojecten relatief gemakkelijk is om op een mooie en efficiënte manier gebruik te maken van zonnecollectoren en PV panelen door deze te integreren in de nog nieuw te ontwerpen woning. In nieuwbouwwoningen is daarom bij het toepassen van zonne-energie op het gebied van integratie en esthetica zeer veel mogelijk. Voorbeelden die genoemd kunnen worden zijn volledige daken die bestaan uit PV panelen, complete dakconstructies met collectoren/panelen of hele gevels die bestaan uit zonenergetische toepassingen. De mogelijkheden zijn hierbij eigenlijk eindeloos. Omdat deze opdracht gericht is op energieneutraliteit in de *toekomst* is het daarom vooral nuttig om naar deze nieuwbouw in de toekomst te kijken. Deze keuze zal straks nog verder toegelicht worden.

In figuur 3.11 zijn verschillende mogelijkheden voor de toepassing van PV en collectoren weergegeven[26].

Huidige bouw: In de huidige bouw, waarbij er sprake is van woningen die er al staan en (enkele) jaren geleden gebouwd zijn, is het natuurlijk niet mogelijk om "even het huis rond te draaien" zodat de woning beter gebruikt kan worden voor het winnen van energie uit de zon. Daarom is het zaak om met de dingen die al aanwezig zijn, op een slimme manier, toch gebruik te kunnen maken van duurzame energie uit de zon. Bij platte daken kan ervoor gekozen worden de panelen onder een hoek te zetten, gericht op het zuiden, wat een grote instraling tot gevolg heeft, maar wellicht esthetisch gezien minder aantrekkelijk is. Door het paneel plat op de bovenkant van een plat dak te leggen, geeft dit minder afbreuk aan de architectuur van een huis, maar zal de opbrengst wel wat lager zijn (zoals in figuur 3.1 te zien was, is deze op deze manier 87% in plaats van de optimale 100%).

Wat betreft gevels kan ervoor gekozen worden deze in onderbroken panelen, schuin te gebruiken (voor optimale instraling), zodat een soort zonnewering gecreëerd wordt. De panelen kunnen echter ook geïntegreerd worden in ramen, of verticaal langs de gevel toegepast worden. Eigenlijk kan bijna elk onderdeel van een woning gebruikt worden voor het opwekken van zonne-energie. Hierbij kan gedacht worden aan schoorstenen, balkons, dakkapellen, zonnewering, dakpannen etc. Hierbij zijn veel mogelijkheden aanwezig, maar is het probleem dat het vaak lastig is om de producten aan te brengen, aan te sluiten en te installeren in de bestaande bouw. Het is hierbij bovendien steeds de vraag wat de makkelijkste, mooiste, en meest efficiënte manier is. Omdat bij de huidige bouw dergelijke barrières in de weg staan voor het ontwerpen van een nieuw product of systeem, en er bovendien naar de toekomst wordt gekeken (2015 en 2030) hoeft bij het ontwerpen van de woning niet gekeken te worden naar de mogelijke integratie van het nieuw te ontwerpen systeem in al bestaande woningen. Wel is het belangrijk om te kijken naar eventuele veranderingen die in deze nog te volgen toekomstige periode zouden kunnen plaatsvinden op het gebied van architectuur, bouwkundige aspecten van woningen, etc. Daarom is de volgende vraag van belang:



Figuur 3.11: Verschillende mogelijkheden voor de toepassing van PV en zonnecollectoren in nieuwbouwprojecten waarbij variatie in vorm, functie, etc. mogelijk is

g. In welke mate zal in de toekomst verandering optreden wat betreft de bouwkundige aspecten en architectuur van woningen?

Veranderingen van bouwkundige aspecten in de toekomst

Verandering woningaanbod in de toekomst: Omdat bij de opdracht gekeken zal worden naar de toekomst (2015 en 2030) is het interessant om iets te weten over de woningen die op dat moment op de markt aanwezig zijn en uiteraard de woningen die op dat moment gebouwd zullen worden. Een vuistregel hiervoor is dat per jaar ongeveer 1% van de woningen op de woningmarkt verandert[27]. Dat betekent dat in de komende 20 jaar, zo'n 20% van de woningmarkt zal veranderen met daarnaast een eventuele stijging van het aantal nieuwbouwwoningen die benodigd zijn voor de bevolkingsgroei die verder zal plaatsvinden. Dat betekent dat wanneer gekeken wordt naar het jaar 2030, toch nog steeds zo'n driekwart[28] van de woningen die nu reeds aanwezig zijn, nog steeds in gebruik zullen zijn. Deze 1% verandering per jaar lijkt misschien vrij weinig, maar dat is ook redelijk logisch gezien de lange levensduur van een woning.

Verandering bouwkundige aspecten: Wat betreft bouwkundige aspecten voor woningen door de jaren heen kan als grootste verandering aangegeven worden dat woningen wat betreft isolatie steeds verdergaand verbeterd worden zoals ook al te zien was uit het verloop van de isolatie-eigenschappen in figuur 3.10. Dit betekent dat er steeds energiezuinigere woningen komen, wat uiteraard gewenst is voor de doelstelling van dit project (energieneutraliteit). Verder is er relatief weinig verandering aanwezig wat betreft hoe een woning precies in elkaar zit. Dit is eigenlijk al een tijd lang hetzelfde gebleven als gevolg van de langzame aanpassingen die in de bouwwereld plaats kunnen vinden. Hoewel de opbouw van een woning dus ongeveer hetzelfde is gebleven, zijn er echter wel enkele veranderende trends te ontdekken in de Nederandse architectuur van de afgelopen 50 tot 60 jaar. Het is daarom interessant even kort te bestuderen wat het globale verloop is van deze architectuur door de jaren heen. Op deze manier kan een beeld geschetst worden van mogelijke veranderingen die zich ook zouden kunnen voordoen in de komende 20 tot 25 jaar. Deze trend van de afgelopen jaren kan dan gebruikt worden om enkele beelden te genereren

van de mogelijke veranderingen die de architectuur in het jaar 2030 heeft ondergaan. Dit zal worden gedaan door een gemaakte collage waarin dit verloop zo duidelijk mogelijk geprobeerd is weer te geven. Het analyseren van deze architectonische trends is belangrijk aangezien het te ontwerpen product op (nog onbekende) toekomstige woningen van toepassing zal zijn! Vanwege het feit dat er zeer veel verschillende typen woningen zijn, is gekozen om deze analyse te beperken tot de volgende drie typen *grondgebonden woningbouw*: *1) Rijwoningen 2) Twee-onder-één-kap woningen 3) Kleine vrijstaande woningen*. Uit de collage waarin 3 typen woningen uit 4 verschillende tijdsperioden zijn weergegeven kunnen enkele trends gehaald worden die mogelijkerwijs iets over de toekomstige gang van zaken wat betreft de ontwikkeling van de architectuur kunnen zeggen (figuur 3.12).

Figuur 3.13: Felle, lichte kleuren met een hoog contrast

Kleurgebruik: Ten eerste is duidelijk te zien dat qua kleurgebruik in de woningen vroeger voornamelijk gebruik werd gemaakt van roodoranje dakpannen, en dat de kleur van deze pannen door de tijd heen langzaam is verschoven van deze roodoranje kleur naar een meer donkerblauwe of zelfs zwarte kleur. De kleur van de muren is hierbij ook veranderd van lichtbruinig oranje naar donkeroranje en zeer populair zijn tegenwoordig de lichtere crèmekleurige muren zoals bij de afbeelding rechtsonder goed te zien is waarbij het contrast tussen een erg donker dak en de lichte gevels de woning een modern uiterlijk geven. Over de periode van 1966 tot 1988 kan verder gezegd worden dat het kleurgebruik van de woningen die in deze periode gebouwd werden zeer neutraal is. Het gebruik van een lichtbruine gemetselde muur van bakstenen overheerst, met bovenop het dak donkerbruin gekleurde dakpannen. Het globale kleurverloop is dus als volgt te beschrijven; van saai, donker en eenzijdig, naar feller, lichter en een hoger contrast (zie figuur 3.12).

Figuur 3.14: Lessenaardak

Figuur 3.12: Het architectuurverloop van grondgebonden woningbouw in de afgelopen 50-60 jaar

Dak: Qua dakgebruik is ook een verandering te beschrijven. Eerst werden vooral aan twee kanten aflopende schuine daken gebruikt als overkapping, met een relatief steile helling van ongeveer 45 graden. Tegenwoordig is meer variatie in daken zichtbaar, waarbij de hellingen over het algemeen wat minder stijl zijn (ongeveer 35°), en het dak hierbij ook slechts naar één kant helt; het zogenaamde lessenaardak. Dit is overigens een ontwikkeling die positief te gebruiken kan worden voor het toepassen van zonenergetische producten, aangezien dit de meest voordelige hoek is die gebruikt kan worden voor het opvangen van het meeste zonlicht. Een voorbeeld van een modern type woning met zo'n lessenaardak is in figuur 3.14 weergegeven.

Gevel: Wat ook zichtbaar is in de collage, is het veranderen van de vorm van de gevels van woningen. Naarmate de architectuur moderner wordt, is de gevel strakker en rechter van vorm. Aan het begin van de collage (links) is er nog enigszins sprake van versieringen en bepaalde

verspringingen in de vorm van de gevel terwijl deze bij de huidige woningbouw steeds meer toe gaan naar een rechte strakke vorm, waarbij het plaatsen van beglazing in een speels patroon zorgt voor een niet al te saai effect.

Beglazing: Overigens is over deze beglazing ook iets op te merken. Aan de linkerkant van de collage is te zien dat er veelal grote, rechthoekige ruiten van een bepaalde standaardafmeting geïntegreerd zijn in de woning terwijl wanneer rechts gekeken wordt, de afmetingen, plaatsing en vormgeving van de beglazing steeds meer varieert. Dit is uiteraard deels te wijten aan het feit dat tegenwoordig meer raamtypen op de markt zijn, maar dit is daarnaast ook een soort stijlkenmerk, wat eventueel iets kan zeggen over de toekomstige architectuur van woningen.

Materiaalgebruik: Wat betreft materiaalgebruik is een kleine ontwikkeling te zien van wat grovere, vaak eenkleurige bakstenen naar de tegenwoordig veelgebruikte kleinere, eventueel met reliëf en vaak iets in kleurtint verspringende bakstenen. Deze kleine kleurverschillen tussen de stenen geven de woning een wat moderner, strakker en speelser uiterlijk, wat vooral veel in grootschalige nieuwbouwwijken te zien is (zie figuur 3.15).

Vormen: Nog een aspect wat opvalt, is dat in vroegere woningen veel sprake is van kleine onderbrekingen in de volledige woning zoals kleine dakkapelletjes, balkonnetjes, grotere schoorstenen, etc. Bij de modernere woningen

Figuur 3.15: Voorbeeld van strakke, rechte gevel, waarin kleine bakstenen met licht verspringende kleur zijn toegepast

wordt veel meer gestreefd naar één strak geheel; de woning bestaat uit één bepaalde vorm die zo min mogelijk verstoord moet worden door andere, mogelijk onderbrekende vormen.

Symmetrie en herhaling: Ook is een zeer veelvoorkomend huidig architectonisch aspect het gebruik van symmetrie en herhaling. Vroeger was binnen een woonwijk meer variatie van de woningen aanwezig waarbij niet elke woning aan elkaar gespiegeld werd, terwijl tegenwoordig veelal langere straten ontstaan waarbij veel dezelfde typen woningen worden gebouwd en bepaalde symmetrische en geometrische vormen de overhand hebben en er meer een soort eenheid ontstaat in de wijk. Sommige mensen vinden dit juist eentonig, maar feit blijft dat het een stijlkenmerk is voor de huidige architectuur voor grondgebonden nieuwbouw in grootschalige nieuwbouwprojecten (figuur 3.16). Nu duidelijk is welke veranderingen er in de afgelopen 50 tot 60 jaar hebben plaatsgevonden, kan dit gebruikt worden voor het toekomstig te ontwerpen product. Hierbij komt de volgende vraag naar voren:

h. Welke van deze optredende veranderingen zijn belangrijk om rekening mee te houden bij het te ontwerpen product?

Zoals net al even kort werd besproken is over het algemeen eigenlijk vrij weinig dynamiek aanwezig op het gebied van de grondgebonden nieuwbouw. De reden hiervoor is waarschijnlijk de stugge bouwmarkt, waarin moeilijk nieuwe aanpassingen en veranderingen plaats kunnen vinden. Waarschijnlijk zal dit, wanneer wordt gekeken naar het jaar 2030 niet heel veel anders zijn, ook in acht nemende dat de levensduur van een woning relatief lang is. Toch zijn er net enkele veranderingen qua architectuur besproken die mogelijk invloed hebben op het ontwerp voor een zonenergetisch systeem voor de toekomst. Zoals gezegd zijn de grootste veranderingen die op het gebied van *isolatieverbetering* in de vorm van veel betere energieprestaties van nieuwbouwwoningen. Aangezien het de bedoeling is om uiteindelijk bij dit project een product te ontwerpen wat een woning in ieder geval energieneutraal maakt, en het liefst zelfs energieleverend, zal een systeem worden ontworpen voor nieuwbouwwoningen in het jaar 2030. Deze keuze zal in hoofdstuk 5 nog verder aan de orde komen.

Veranderingen architectuur: De net besproken (kleinschalige) veranderingen wat betreft architectuur moeten dus in het achterhoofd gehouden worden bij het ontwerpen van een nieuw zonenergetisch product. De veranderingen van kleuren, daken en gevels, de plaatsing van beglazing, het gebruik van materialen, vormen etc. zijn

Figuur 3.16: Voorbeeld van geometrische vormen, herhaling en symmetrie in een nieuwbouwwijk

allen van belang. Het is belangrijk om deze trends mee te nemen in het ontwerp van het product of systeem, zodat deze zo goed mogelijk op de toekomstige woningen aan kan sluiten. Eisen wat betreft kleur- en vormgebruik van het product zullen hieraan nauw gerelateerd zijn en hiermee zal rekening gehouden worden bij de uitwerking van de ontwerpen in hoofdstuk 9.

Veranderingen beleid: Bij nieuwbouwprojecten zijn zonnecollectoren en PV panelen relatief gezien gemakkelijk te integreren (in vergelijking met al bestaande woningen waarbij veel omgebouwd zal moeten worden) omdat er dan van tevoren al rekening mee gehouden kan worden in het ontwerp van de nieuwe woning door de architect. Je zou zeggen: "Waarom zit dan niet in elke nieuwbouwwoning een aantal collectoren en PV panelen verwerkt? Dit komt echter door de (nu nog) relatief hoge kosten. Deze kosten werden met een eerder beleid wel voor een deel gesubsidieerd, maar sinds oktober 2003 is deze zogenaamde Energiepremieregeling (EPR) vervallen[29]. In andere landen (zoals Duitsland) is de toepassing van zonnetoepassingen veel beter geregeld waardoor de markt wat betreft zonne-energie echt enorm aan het groeien is. Niet alleen in Duitsland maar ook in veel andere Europese landen (Italië en Spanje bijvoorbeeld) is er een grote transitie aan het plaatsvinden waarbij soms zelfs verplicht wordt gesteld dat in nieuwbouwwoningen PV panelen en zonnecollectoren geïntegreerd moeten worden, tenzij de bewoner kan aantonen dat dit niet mogelijk is vanwege bepaalde gegronde redenen. Dit zal ongetwijfeld in Nederland ook in de (nabije) toekomst plaatsvinden (in ieder geval voor 2030). Uiteindelijk zal Nederland zich toch realiseren dat het noodzakelijk is om mee te doen met de rest van Europa wat betreft de subsidiëring van zonne-energietoepassingen vanwege vele redenen zoals het milieu, de economie en natuurlijk ook om goed voor de dag te komen bij andere EU-landen.

Hoofdstuk 4: Marktonderzoek zonenergetische producten

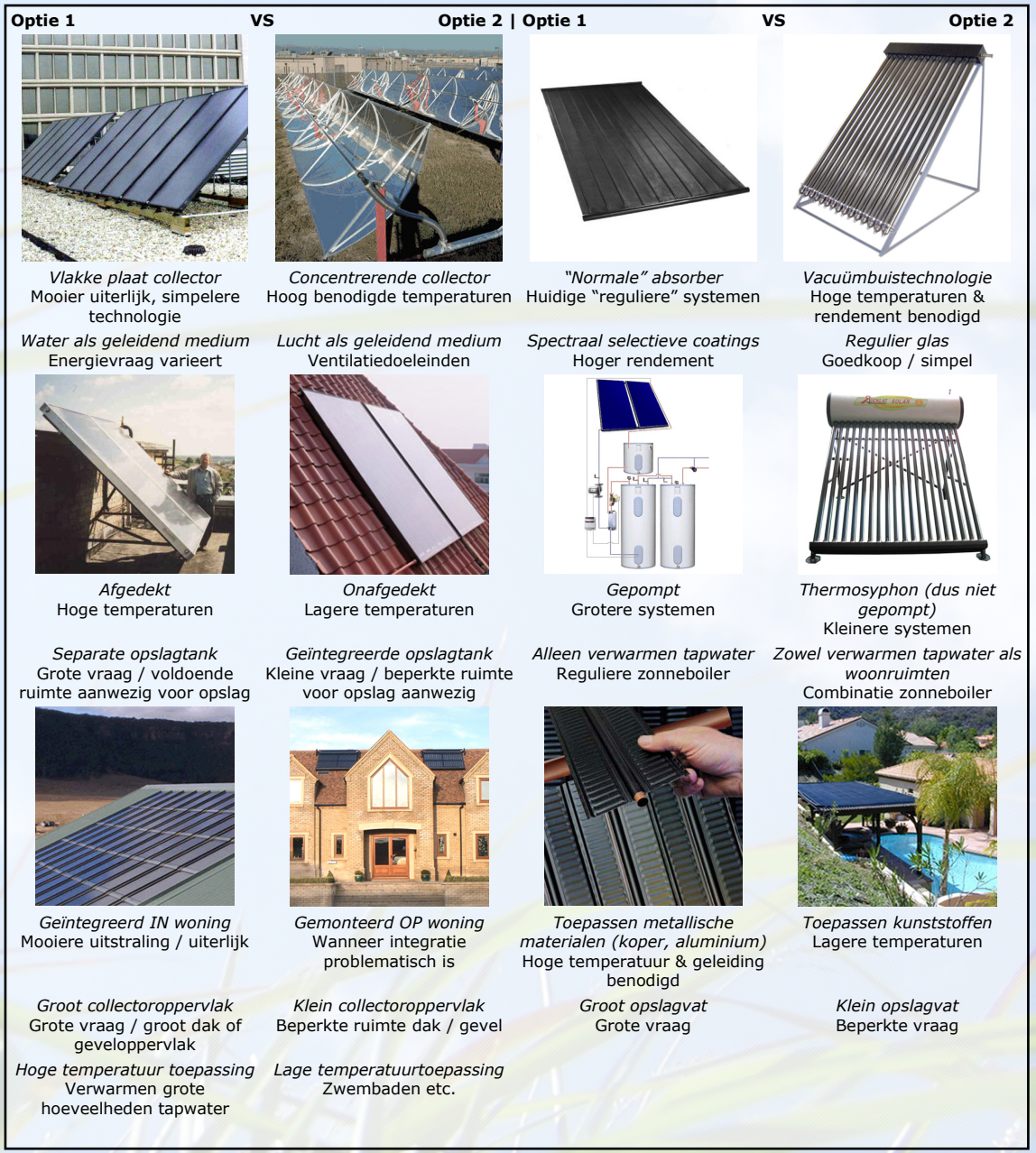
In de vorige hoofdstukken zijn verschillende typen zonnecollectoren, PV panelen en PVT collectoren en panelen besproken, maar er is nog geen duidelijk overzicht gemaakt van de verschillende producten die op dit moment op de markt zijn en de verschillende typen beschikbare technieken waar ze gebruik van maken. Dit is nuttige informatie over datgene wat uiteindelijk bij dit project ontworpen dient te worden. Daarom wordt in dit hoofdstuk een kleinschalig marktonderzoek gedaan waarin de verschillende producten die nu verkrijgbaar zijn worden samengevat in een duidelijk overzicht. Hierbij wordt aan het begin van het hoofdstuk de volgende vraag gesteld (welke vervolgens wederom is opgedeeld in verschillende deelvragen):

Welke producten zijn er nu op de markt op het gebied van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht?

a. Welke losse modules voor zonnecollectoren, PV en PVT zijn er?

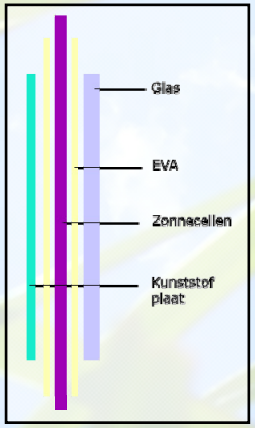
Verschillende collector, PV & PVT modules

Zonnecollector: Het aanbod voor zonnecollectoren is op te delen in verschillende typen collectoren met verschillende eigenschappen. Bij een collector is het namelijk zo dat er veel verschillende opties aanwezig zijn die samen één product vormen. Het hangt af van de toepassing waarvoor de collector wordt gebruikt welke keuze hierbij het meest voor de hand ligt. In figuur 4.1 is een overzicht gemaakt van de verschillende mogelijkheden bij het kiezen van een zonnecollector en de verschillende producten die nu op de markt zijn. De cursieve tekst geeft hierbij een bepaalde eigenschap van de zonnecollector weer, met daaronder de toepassing waarvoor het geschikt is.



Figuur 4.1: Overzicht van de verschillende keuzes van de onderdelen van een zonnecollector

PV: Er zijn verschillende typen PV modules op de markt die zich onderling onderscheiden in eigenschappen door de manier waarop ze zijn opgebouwd. Het eerste en belangrijkste aspect hierbij is uit welk type zonnecellen de PV module bestaat. Deze cellen zijn (zoals eerder werd uitgelegd) verkrijgbaar in verschillende typen (kristallijn, amorf), maten (de afmetingen van de cellen), vormen (rechthoekig, rond, achthoekig etc.), materialen, kleuren en prijsklassen. Afhankelijk van de vorm van de PV module kan bijvoorbeeld nuttig gebruik gemaakt worden van andere vormen zonnecellen, maar over het algemeen worden vierkante of rechthoekige cellen gebruikt. Naast het type zonnecellen is een module op te bouwen uit verschillende lagen materiaal die samen een stevig geheel moeten vormen dat aan de buitenkant van een gebouw geplaatst kan worden.

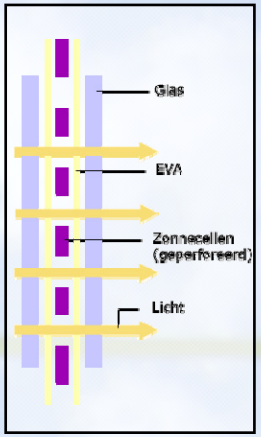


Figuur 4.2: Module met aan elkaar geschakelde cellen

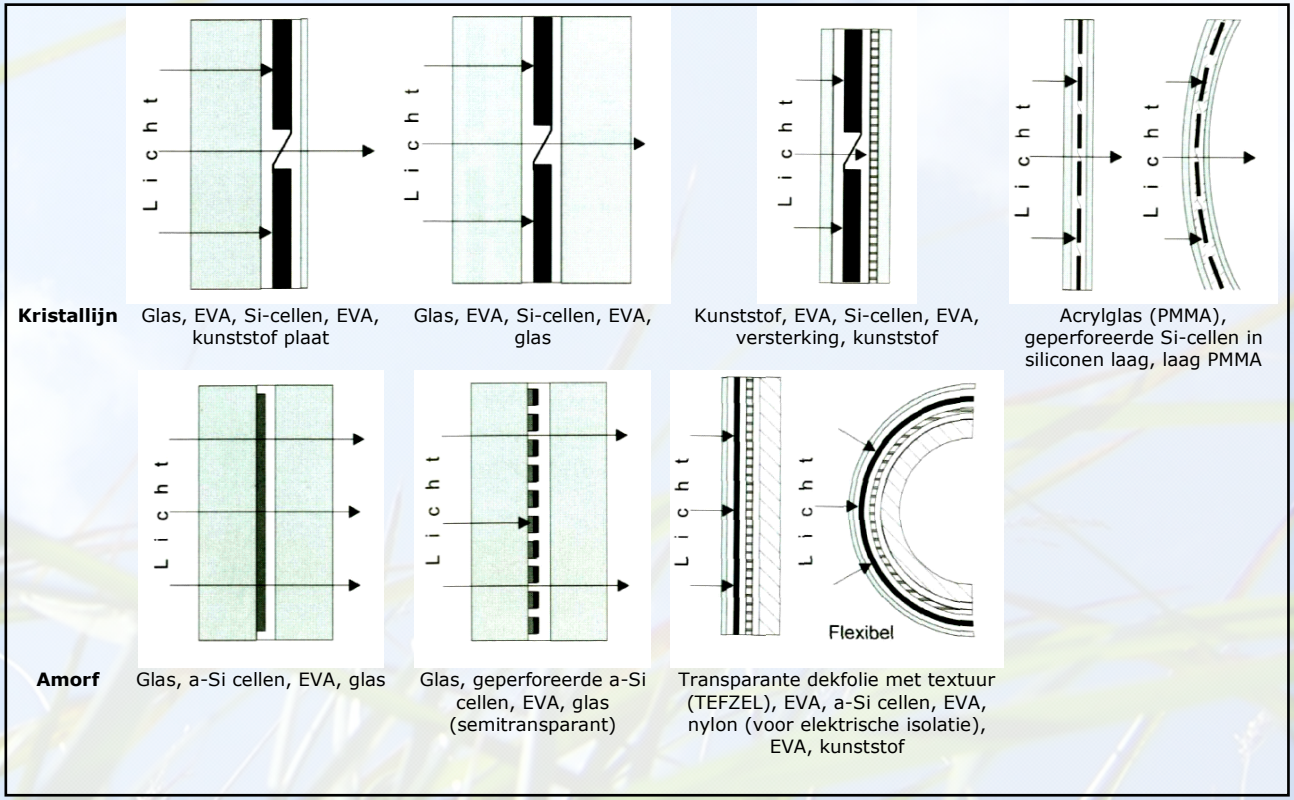
Opbouw van een module met kristallijn silicium cellen: Een module bestaat doorgaans uit een laag halfgehard ijzerarm glas (dit zorgt voor een grotere transparantie en dus betere transmissie van het licht) die de zonnecellen moet beschermen tegen omgevingsinvloeden. Daarna is er een laag transparante laminerende folie (zogenaamd EVA oftewel ethylvinylacetaat) aanwezig waarop zich de zonnecellen (bij dit type module zijn dat mono- of multikristallijn siliciumcellen) bevinden, opgevolgd door nog een laag EVA folie. Aan de binnenkant is ten slotte een (vaak transparante) kunststofplaat aanwezig waarop dit alles is bevestigd. Afhankelijk van het gewenste uiterlijk kan ervoor gekozen worden deze wel of niet lichtdoorlatend te maken zodat er eventueel enig licht tussen de cellen door kan vallen. Een schematische weergave van deze veelvoorkomende opbouw van een PV module is te zien in figuur 4.2.

Voor extra stevigheid kan de laag kunststof aan de binnenkant ook vervangen worden door een laag glas, maar hierdoor wordt het gewicht van de module uiteraard een stuk hoger (glas weegt namelijk het meeste van de totale module[30], gemiddeld zo'n 10 kg / m^2) Voor extra lichte toepassingen kan ook het glas wat gebruikt wordt in de modules volledig worden vervangen door een speciaal soort transparante kunststof. Dit type platen wordt dan wel extra verstevigd door een flexibele versterkingslaag aan te brengen. Wanneer gebruik gemaakt wordt van flexibele kunststof platen (zoals PMMA) kunnen ook lichtelijk gekromde oppervlakken gerealiseerd worden met kristallijn cellen. Het is hierbij wel nodig om de zonnecellen in te kapselen in een soort siliconen gietstructuur zodat ze bij elkaar blijven en niet gemakkelijk breken.

Opbouw van een module met a-Si-cellen: Dunne film amorf siliciumcellen hebben het voordeel dat ze (semi)transparant te integreren zijn in modules. Op deze manier kunnen ze tussen twee lagen glas ingekapseld worden (met daartussen nog een laag beschermende folie) zodat ze gebruikt kunnen worden als ruiten. Om dit te bereiken wordt een groot stuk amorf silicium geperforeerd zodat er genoeg licht doorheen kan vallen en het haast doorzichtig lijkt. Door gebruik te maken van doorzichtige geleidermaterialen kan dan een semitransparante ruit gemaakt worden. Dit is te zien in figuur 4.3. Daarnaast zijn ongeveer dezelfde opties aanwezig als bij kristallijn silicium cellen, met als extra voordeel dat het erg gemakkelijk is om gekromde oppervlakken te produceren vanwege de flexibiliteit van dit type zonnecellen. Bovendien is dit type flexibele modules erg robuust en slagvast. Nóg steviger zijn PV modules waarbij gebruik gemaakt wordt van speciaal veiligheidsglas, met daarin zeer klein geperforeerde dunne film zonnecellen waardoor een semitransparante ruit gefabriceerd kan worden. Een voorbeeld van de verschillende soorten opbouw van PV modules staat weergegeven in figuur 4.4. Hierin staat onder de afbeeldingen van links naar rechts weergegeven welke materialen er gebruikt zijn om de PV module op te bouwen.



Figuur 4.3: Module met onderling onderbroken cellen (semitransparant)



Figuur 4.4: Overzicht van enkele van de verschillende mogelijkheden van de opbouw van een PV module

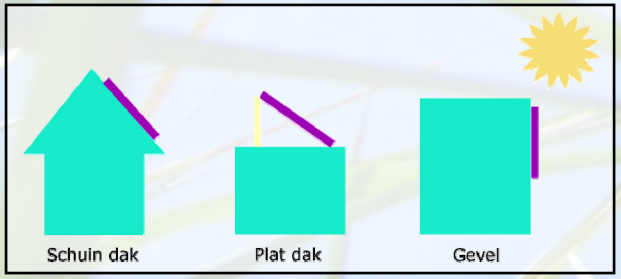
PVT: Wat betreft PVT toepassingen gelden een hoop van de keuzes die voor zonnecollectoren en PV modules ook gelden. De meeste PVT collectoren verschillen wat betreft de volgende opties: of er gebruik gemaakt wordt van vlakke plaat of concentrerende technologieën, of water of lucht als transportmedium wordt gebruikt en of de collector wel of niet afgedekt is. Daarnaast zijn de collectoren uiteraard verkrijgbaar in verschillende oppervlakten, en zijn sommigen gemakkelijk te integreren in een woning terwijl dat bij andere uitvoeringen lastiger is of zelfs helemaal niet mogelijk is. Ook is te variëren met de gebruikte PV modules binnenin het PVT product en de soort afdekking (indien deze aanwezig is) wat betreft soort glas. Daarnaast is het nuttig om gebruik te maken van speciaal ijzerarm glas in de afdekking van de collector wat ervoor zorgt dat de zonnecellen, die nu als absorber fungeren, zo efficiënt mogelijk gebruikt worden en er geen straling wordt afgevangen door de glaslaag die zich boven de cellen bevindt. Nu duidelijk is welke keuzes allemaal beschikbaar zijn wat betreft collectoren, PV en PVT, kan er gekeken worden naar de manieren waarop deze op een woning zijn te gebruiken, of nog beter; te integreren zijn:

b. Hoe zijn zonenergetische producten gemakkelijk op bestaande woningen te zetten / aan te bouwen (bevestiging- en installatietechnieken)?

c. Hoe zijn deze te integreren (inbouwen) in huidige woningen (integratietechnieken)?

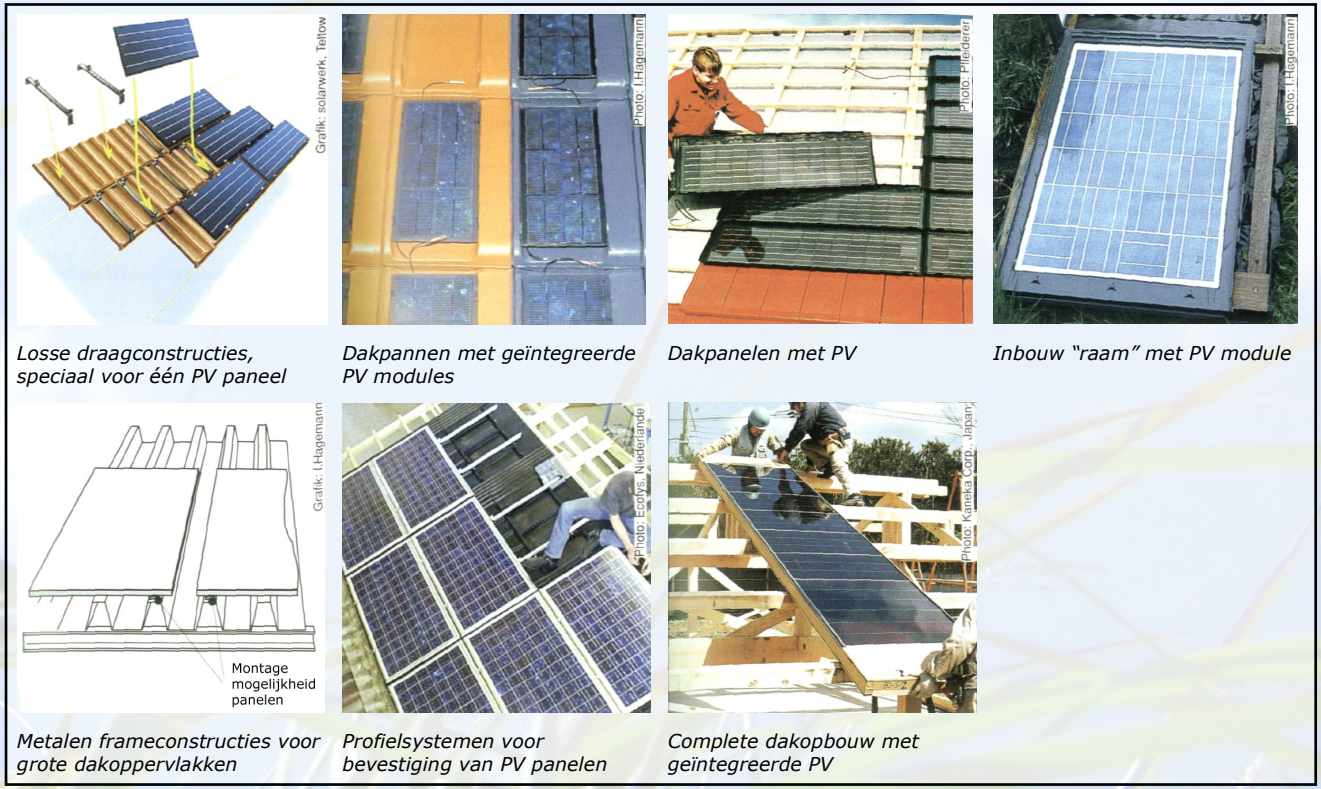
Opbouw, installatie en integratie in woningen

Verschillende mogelijkheden: Wat betreft de bevestiging van zonnecollectoren en PV modules is er een scala aan mogelijkheden op de markt verkrijgbaar. Bij dit project is het echter weinig interessant al deze mogelijkheden zeer nauwkeurig te bespreken aangezien voor de toekomst nieuwbouwwoningen een stuk interessanter zijn, en daarmee ook meer vrijheid wat betreft het ontwerp mogelijk is. Wanneer gekeken wordt naar de locatie van zonneproducten kan een grove opdeling gemaakt worden in drie beschikbare locaties: op een plat dak, op een schuin dak of langs de gevel. Dit zijn de drie belangrijkste verschillende locaties, waarbij de verdeling van krachten op het product zeer verschillend is en de oriëntatie van de panelen ook verschilt. Deze globale opdeling is weergegeven in figuur 4.5.



Figuur 4.5: De drie belangrijkste locaties voor het toepassen van zonenergetische producten

Schuin dak*:* Per type opbouw zal even kort besproken worden op welke manieren dit mogelijk is met de huidige technieken die op de markt aanwezig zijn. Bij schuine daken worden veel draagconstructies toegepast die bestaan uit stalen profielen, waartussen, of waarop de PV module wordt gemonteerd. Het vreemde is dat er nog niet echt één bepaalde standaard op de markt is, waar de meeste toepassingen gebruik van maken. Dit is echter misschien een ontwikkeling die in de komende tijd plaats kan vinden. Naast deze draagconstructies zijn er ook een zeer kleine soort zonnepanelen die erg lijken op dakpannen die op het dak geplaatst kunnen worden alsof het reguliere pannen zijn. Hierbij dienen ze uiteraard stevig gemonteerd te worden op het raamwerk van het dak. Daarnaast bestaan er grotere panelen (vanaf ongeveer 0,5 x 0,5 meter) die ook op deze manier een soort dakpannen vormen en op deze wijze eigenlijk op de woning liggen, maar toch een soort effect van integratie met het gebouw creëren. Ook zijn er complete metalen framewerken die bovenop een dak gezet kunnen worden en bijna het gehele dak in beslag nemen, waar vervolgens de panelen op geplaatst kunnen worden. Nog grootschaliger zijn complete dakopbouwconstructies waar de panelen al in de fabriek in zijn geassembleerd. Dit valt echter niet meer bij het opbouwen van PV modules, maar is eerder het integreren van panelen in de woning, aangezien bij een renovatie project bij deze optie het hele dak eraf zou moeten! In figuur 4.6 is een overzicht weergegeven van de verschillende mogelijkheden bij schuine daken.



Figuur 4.6: Overzicht van de verschillende mogelijkheden voor bevestiging van PV panelen op een schuin dak

Stellage van metalen profielen

Betonconstructie

Kuipvormige kunststof onderkant

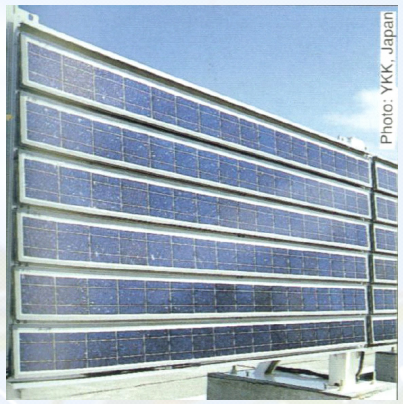
Figuur 4.7: Overzicht van de verschillende mogelijkheden voor bevestiging van PV panelen op een plat dak

Plat dak: Bij platte daken moeten de panelen onder een bepaalde hoek staan om optimaal gebruik te maken van de instraling van de zon. Dit vereist een bepaalde constructie die dat mogelijk maakt, en ook hiervoor zijn nog niet echt standaardconstructies op de markt. Elke module is anders, en heeft dus een verschillende soort constructie nodig. Veelgebruikte methoden zijn het toepassen van metalen profielen waarop de modules gemonteerd worden, maar soms worden ook betonnen onderstukken gebruikt waarop de panelen onder een hoek gemonteerd kunnen worden. Het gebruik van beton brengt echter het nadeel van een groot gewicht met zich mee, maar bij toepassing op grote daken van hoogbouw (flats e.d.) is dit geen probleem evenals op de begane grond, waar dit eerder een voordeel is en de benodigde stevigheid met zich meebrengt. Een andere methode is het gebruiken van een soort kuipvormige ondergrond voor de panelen, die gemaakt kan zijn uit zowel metalen, of in sommige gevallen bestaat uit kunststof zoals ook in figuur 4.7 goed te zien is.

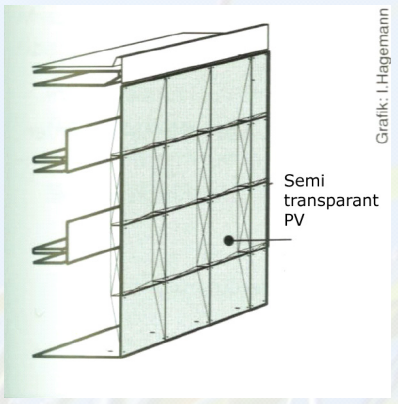
Gevel/buitenwand: Aan de zijkanten van een gebouw zijn ook talloze mogelijkheden om PV panelen en zonnecollectoren toe te passen. De meest simpele methode is het toepassen van een soort geraamte, waarin de panelen vastzitten, wat vervolgens aan de gevel van een gebouw wordt gemonteerd. Daarnaast is het (zoals ook eerder werd verteld) mogelijk om PV te verwerken als beglazing van gevels, of het functioneel toepassen van PV panelen als zonwering. Deze meest toegepaste methoden zijn overzichtelijk weergegeven in figuur 4.8. De nu behandelde afbeeldingen gingen steeds over de toepassing van PV op reeds bestaande gebouwen. Hierbij werkt de aanleg van collectoren op dezelfde manier, met het verschil dat hierbij nog enkele leidingen aangebracht moeten worden en dus een iets geavanceerdere installatiemethode is vereist. Voor de opdracht is het echter interessant te kijken naar de mogelijkheden voor integratie van een product in een nieuwbouwwoning. Daarom is de volgende vraag van belang:

d. Hoe gebeurt de integratie van zonnecollectoren en PV panelen in nieuwbouwwoningen?

Bij nieuwbouwwoningen kan door de architect vooraf al rekening gehouden worden met het integreren van zonnecollectoren en zonnepanelen. Dit betekent dat deze meestal volledig geïntegreerd kunnen worden in het gebouw, en er dus niet echt een vaste methode is wat betreft het aanbrengen van deze producten. Dit geeft daarmee extra veel vrijheid bij het ontwerpen van dergelijke producten omdat (vooral bij grote nieuwbouwprojecten) bij een goed ontwerp, de mogelijkheden eindeloos zijn en de extra kosten hierbij veel lager zijn omdat er vroeg in het constructieproces al rekening gehouden kan worden met de inbouw van dergelijke producten. Daarom zal bij deze opdracht ook gekeken worden naar een nieuw te ontwerpen product of systeem voor nieuwbouwwoningen in 2030. Dit vanwege het feit omdat hiermee meer mogelijk is, en omdat het bovendien gaat om de toekomst.



PV paneel gemonteerd langs de gevel



PV gebruikt als glas facade van een gebouw

PV als zonnewering

Figuur 4.8: Overzicht van de verschillende mogelijkheden voor bevestiging van PV panelen aan de gevel

Materiaalgebruik van zonenergetische producten

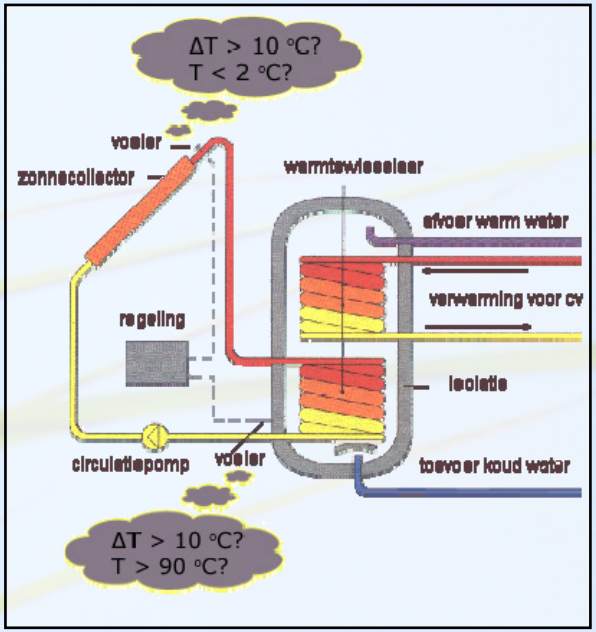
e. Welke materialen worden gebruikt bij de huidige producten die gebruik maken van zonne-energie?

De verschillende typen producten zijn opgebouwd uit onderdelen die elk uit een ander materiaal bestaan. Voordat aan een eigen ontwerp voor de toekomst begonnen kan worden, moet eerst wat meer inzicht verkregen worden in de huidige gebruikte materialen van dergelijke producten. Daarom is een inventarisatie van de meest toegepaste materialen gemaakt, welke in figuur 4.9 is weergegeven. Naast dit materiaalgebruik van de hoofdcomponenten, wordt uiteraard ook gebruik gemaakt van verschillende systeemcomponenten die benodigd zijn in bepaalde meet- en regelsystemen. In de volgende paragraaf zal ingegaan worden op dergelijke systemen en componenten.

Regelsystemen en elektronische componenten

f. Welke regelsystemen bevatten de huidige zonnecollectoren, PV en PVT systemen?

Zonnecollectoren: Bij de huidige producten op de markt zijn enkele regelsystemen beschikbaar die de producten door toepassing hiervan veiliger, efficiënter en gemakkelijker in het gebruik maken. Bij zonnecollectoren werd al kort even verteld over het zogenaamde



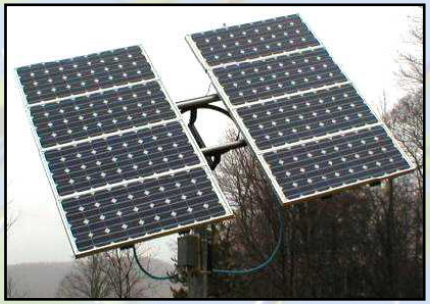
Figuur 4.10: Overzicht van het regelsysteem van een zonnecollector

Product:	Onderdeel:	Materiaal:
Vlakke plaat zonnecollector	Afdekplaat	Glas (met of zonder textuur en vaak ijzerarm) of een transparante kunststof zoals UV bestendig acryl
	Omkasting	Aluminium, of een ander metaal
	Onderplaat	Aluminium, of een ander metaal (met aangebrachte ventilatiemogelijkheden)
	Isolatie	Glaswol, speciale soorten foam
	Beschermende laag	Veelal aluminium folie of fiberglas
	Bevestiging	Metalen zoals aluminium
	Absorber	Koperen plaat met spectraal absorberende coating (hoge temperatuurtoepassing) of kunststoffen (lage temperatuurtoepassing)
	Leidingwerk	Koper
Vacuümbuis zonnecollector	Vacuüm buizen	Glas
	Spiegel	Vaak gepolijst aluminium
	Absorber	Koperen buis / staaf
PV module	Afdekplaat	Thermisch gehard, ijzerarm glas of transparante kunststoffen
	Beschermlaag (vochtbestendig)	EVA (ethylvinylacetaat)
	Achterplaat	Glas of kunststof plaat
	Kader	Meestal aluminium
	Bedrading	Gesoldeerde strips voor serieschakeling van de cellen
PVT module	Absorber	De zonnecellen

Figuur 4.9: De meest toegepaste materialen bij verschillende zonnetoepassingen

terugloopsysteem gesproken, wat bij toepassing bijvoorbeeld bevriezing van waterleidingen kan voorkomen wanneer in de winter de temperaturen onder het vriespunt komen. Dit systeem werkt erg simpel; wanneer de temperatuur in de collector lager wordt dan 2 °C, wordt de pomp van het systeem uitgeschakeld en stroomt het water dat zich in de collector bevindt terug naar een opslagpunt binnen de woning waar het niet kan bevriezen. Naast deze ingebouwde beveiliging wordt verder in een herhalend proces de temperatuur in de collector vergeleken met de temperatuur in de boiler. Wanneer dit temperatuurverschil groter is dan 10 °C (en uiteraard positief is), zal de pomp aangaan en het water door de collector laten stromen om de warmte te transporteren naar de boiler. Daarnaast is er nog een ingebouwde beveiliging wanneer de temperatuur van het water in de boiler boven de 90 °C komt, en het dus bijna zal gaan koken. Wanneer dit het geval is, treedt een zogenaamde maximaal temperatuurbeveiliging in werking. Bij deze situatie zal de pomp uitschakelen en zal er water teruglopen naar het terugloopvat, waar het vervolgens kan afkoelen.

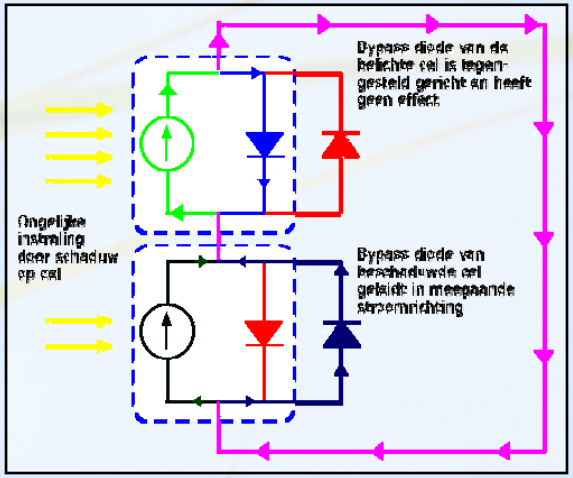
PV: Bij PV systemen zijn enkele toepassingen te noemen waarbij de PV modules meedraaien met de stand van de zon. Dit zijn echter weinig systemen omdat aan deze methode een hoop nadelen kleven. Het grootste voordeel waar het uiteraard voor bedoeld is, is dat de instraling op de panelen zo groot mogelijk wordt gehouden. Dit uit zich in een hoger rendement. Dergelijke systemen zijn er met één of twee assen, waarbij de stand ten opzichte van de zon met meerdere assen uiteraard nauwkeuriger geregeld kan worden. Bij toepassing van een enkele as, kan de opbrengst van een paneel al verbeterd worden met ongeveer 20%. Wanneer twee assen gebruikt worden zal dit zelfs een verbetering ten gevolge hebben van rond de 33%. Nadelen van dergelijke systemen zijn de complexiteit hiervan en de hogere kosten. Bovendien zijn panelen op deze manier minder gemakkelijk te integreren in gebouwen, hoewel met 1-assige systemen de toepassing in combinatie met zonneschermen een optie biedt.



Figuur 4.11: Voorbeeld van een met de zon meedraaiend PV paneel

Netgekoppelde PV systemen: De meeste PV systemen die tegenwoordig in de gebouwde omgeving aanwezig zijn, zijn zoals dat heet "netgekoppeld". Dit betekent dat ze direct op het elektriciteitsnet aangesloten zijn zodat er geen tussenkomst van een batterij of accu benodigd is. Dit werkt heel simpel door de toepassing van een omvormer, die van de gelijkspanning van de zonnecellen, een wisselspanning maakt die van dezelfde orde van grootte is als die van het elektriciteitsnet. De omvormer (ook wel invertor genoemd) zorgt naast deze omzetting naar de gewenste spanning ook voor een beveiliging van het systeem en voor optimalisatie van de gelijkspanning van de zonnecellen, zodat het moduleveld in de meest optimale vermogenscondities werkt[31]. Dit betekent dat op deze manier de het grootste gedeelte van de capaciteit van de zonnecellen gebruikt kan worden. Het plaatsen van de omvormer kan op verschillende manieren; per paneel kan een aparte omvormer worden toegepast, waardoor een aantal omvormers parallel met elkaar komen te staan, of er kan aan het einde één omvormer (zie figuur 4.12) worden geplaatst. Het meest voor de hand liggende is één omvormer aan het einde te gebruiken, omdat hiermee kosten bespaard kunnen worden en gebruik van meerdere invertors problematisch kan zijn omdat het onderdelen zijn die soms redelijk snel stuk kunnen gaan.

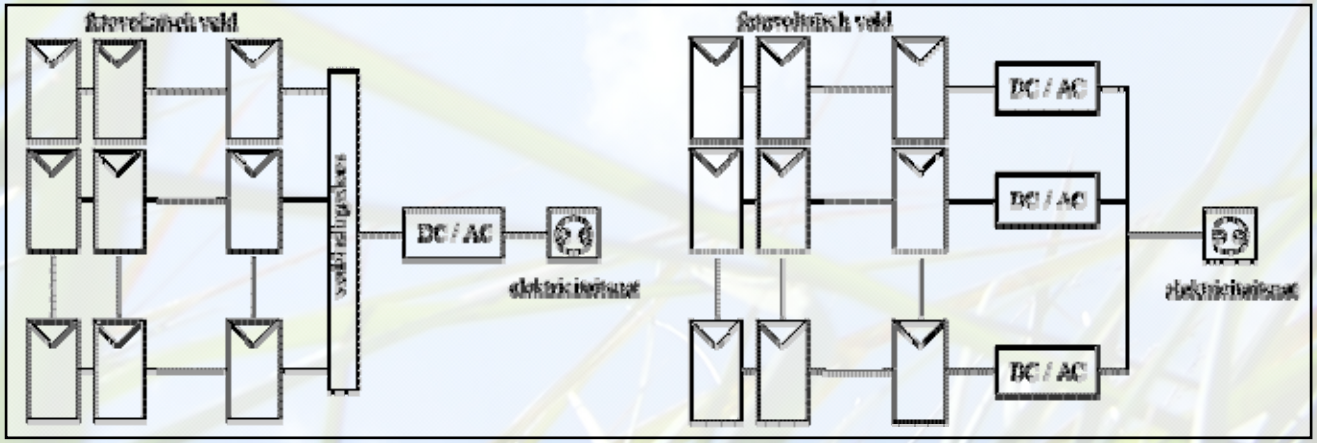
Voorkomen beschaduwingsproblematiek: Een probleem wat bij PV panelen voor komt is de beschaduwing van één of enkele cellen van een paneel. Aangezien de zonnecellen onderling in serie geschakeld zijn, zal de prestatie van de andere cellen hierdoor worden gelimiteerd tot de prestatie van die ene, niet goed belichte (of wellicht defecte) zonnecel. Dit is niet gunstig en problematisch voor de opbrengst van het systeem. Oplossingen binnen PV systemen zijn het toepassen van zogenaamde bypassdiodes die werken volgens een bepaald principe waarbij de gehinderde stroom uit de niet goed werkende cel, als het ware wordt omgeleid zodat de rest van de zonnecellen wel gewoon kunnen werken. Dit principe is weergegeven in figuur 4.13. Beschaduwing van enkele cellen kan bijvoorbeeld optreden wanneer zich een bepaald object bevindt tussen de zon en de cel wat er niet hoort en de reguliere instraling daarmee verstoort. Een probleem van PV panelen is daarom ook de vandalismegevoeligheid wanneer de panelen binnen handbereik zijn (zoals ook te zien is in figuur 4.14, waar kinderen stickers geplakt hebben op de zonnecellen).



Figuur 4.13: Schematische weergave van de werking van een bypass-diode

PVT: In de huidige PVT toepassingen wordt gebruik gemaakt van de standaardregelingen die ook in zonnecollectoren en PV panelen aanwezig zijn. Dat wil zeggen: de pompregeling die gebaseerd is op het verschil in temperatuur tussen de collector en de boiler, de elektriciteitsafgifte aan het net bij netgekoppelde systemen en de omzetting van gelijkspanning naar wisselspanning via de invertor. Ter afsluiting van dit marktonderzoek wordt als laatste gekeken naar alle problemen die aanwezig zijn bij de huidige generatie zonenergetische producten. Met behulp van dit overzicht kan dan duidelijk worden welke verbeterpunten mogelijk zijn in het nieuw te ontwerpen product voor de toekomst.

Figuur 4.14: Foto van stickers die door kinderen op PV panelen geplakt zijn en daardoor ongewenste beschaduwing van cellen veroorzaakt



Figuur 4.12: Schematische weergave van het plaatsen van één omvormer of meerdere omvormers

Problemen bij huidige producten

g. Welke problemen doen zich voor bij de huidige markt van zonne-energie die mogelijkerwijs verbeterd zouden kunnen worden met de ontwikkeling van een nieuw product?

Zoals nu duidelijk is zijn er al een hele hoop verschillende toepassingen van zonne-energie op de markt, die allemaal hun voor- en nadelen hebben. De belangrijkste problematieken van de huidige generatie zonnecollectoren (afkorting ZC in figuur 4.15), PV en PVT panelen, zijn hiernaast nog even overzichtelijk op een rijtje gezet, zodat duidelijk wordt wáár precies naar gekeken kan worden bij het ontwerpen en verbeteren van een systeem voor de toekomst.

Problemen:	**Mogelijke oplossing(en):**
Alle: Gebouwintegratie van producten in de huidige bouw lastig	Bij het ontwerp denken aan standaardisering van afmetingen, bevestiging, materiaalgebruik etc.
Alle: Toepassing zonne-energie vaak alleen in nieuwbouwprojecten	Installatiekosten omlaag brengen door de integratie van producten eenvoudiger en minder arbeidsintensief te maken
Alle: Nog geen sprake van standaardisering van bevestiging, installatie- en integratiesystemen	Meerdere partijen onderling laten samenwerken om tot bepaalde afspraken te komen wat betreft standaardisering van onderdelen en technieken
Alle: Geen algemene subsidie meer op het toepassen zonnecollectoren en PV in Nederland	Nieuw beleid van de overheid dat toepassing van duurzame energie van de zon bevordert
Alle: Instraling vd zon in Nederland relatief klein	Keuze van optimale hoek voor panelen, mee laten draaien met de zon, groter oppervlak toepassen
ZC: Veel dure materialen in de zonnecollector	Nieuwe materialen onderzoeken en toepassen
ZC: Toepassing nieuwe materialen (zoals kunststoffen) problematisch vanwege hoge temperaturen	Nieuwe technieken wat betreft het bieden van bescherming tegen hoge stagnatietemperaturen, onderzoeken van hoge kwaliteit kunststoffen
ZC: Huidige toepassing van kunststoffen is gebonden aan beperkingen	Geleiding van kunststoffen bevorderen door toepassen van metaal coatings, andere eigenschappen verbeteren door nieuwe technieken
ZC: Massaproductie van zonnecollectoren lastig	Meer toepassing van gemakkelijk te produceren materialen (vooral kunststoffen voor spuitgieten e.d.)
ZC: Opslag van warmte is nu nog onderhevig aan verlies (bij water als opslagmedium)	Toepassen van PCM's of TCM's om daarmee warmte opslag te realiseren zonder verlies
PV: Erg groot dakoppervlak benodigd voor volledige voorziening van elektriciteit van één woning	Onderzoek naar hogere rendementcellen, toepassen nieuwe typen cellen, effectief ontwerp van woningen met grote daken met goede helling en oriëntatie
PV: Verhouding terugverdientijd en levensduur van PV (nog) onredelijk	Verlengde levensduur panelen realiseren door toepassing van nieuwe, zeer stevige materialen
PV: kWh prijs nog relatief hoog	Toepassen goedkopere materialen, subsidie (her)invoering van overheid, meer marktconcurrentie tussen fabrikanten van zonnecellen
PV: Tekort aan zonnecellen in huidige marktsituatie	Verhoogde productie van fabrikanten, uitbreiden, etc.
PVT: Veel dubbele onderdelen bij de huidige producten	Effectiever ontwerp dat het gebruik van onderdelen verder optimaliseert
PVT: Bestaat nog kort dus nog weinig keuze	Verdere marktontwikkeling, ontwikkelen nieuwe producten, technieken etc.

Figuur 4.15: Overzicht van de problemen die in de huidige markt optreden bij zowel zonnecollectoren als PV en PVT systemen

Hoofdstuk 5: Toekomstige mogelijkheden & ontwikkelingen op technologisch gebied van zonne-energie

Nu het duidelijk is wat tegenwoordig allemaal mogelijk is op het gebied van zonne-energie is het tijd om een voorzichtige blik op de mogelijkheden van de toekomst te werpen. Omdat de opdracht inhoudt om een systeem of product te ontwerpen voor de toekomst (2015 en 2030) is het belangrijk om onderzoek te doen naar de nieuwe mogelijkheden op technologisch gebied die de toekomst met zich mee zou kunnen brengen. Bij het ECN wordt momenteel veel onderzoek gedaan naar nieuwe technologieën op het gebied van duurzame energie waarvan vele zich nu nog in een ontwikkelingsstadium bevinden. Deze (nu nog) markt onrijpe technologieën kunnen in een toekomstig product handig van pas komen. Daarom wordt geprobeerd om in dit hoofdstuk een antwoord te geven op de volgende vraag:

Welke nieuwe technologische mogelijkheden zijn er in het jaar 2030 op het gebied van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht?

a. Welke nieuwe technologieën zijn er op dit moment in ontwikkeling?

Nieuwe technologieën

Op het gebied van zonnecollectoren, PV-panelen en PVT systemen vinden de nodige ontwikkelingen plaats die voor verbetering van producten op het gebied van zonne-energie moeten zorgen. Sommige van deze onderzochte nieuwe technologieën zijn nog slechts in het ideestadium, terwijl anderen al verder uitgewerkt zijn en er testen mee gedaan worden in laboratoria. In sommige huidige producten worden deze technieken zelfs al nuttig toegepast, maar er is natuurlijk altijd ruimte voor verdere verbetering van de technologie! In figuur 5.1 worden enkele relatief nieuwe technologieën en methoden besproken en globaal toegelicht. Daarna zal in dit hoofdstuk, per technologie apart, iets dieper ingegaan worden op de nieuwe mogelijkheden die zouden kunnen ontstaan wanneer deze wordt toegepast in een zonenergetisch systeem voor de toekomst.

Het belang van nieuwe technieken: Doordat verdere ontwikkelingen van de huidige technologie in de loop van de tijd zullen plaatsvinden, zal steeds meer mogelijk worden op het gebied van zonne-energie. Zeker wanneer wordt gekeken naar het jaar 2030 (dit is redelijk ver in de toekomst) moeten bij het ontwerpen van een nieuw type zonnecollector of zonnepaneel eigenlijk nog geen ideeën worden uitgesloten. Er moet dus niet gedacht worden vanuit de mogelijkheidsvoorwaarden die op dit moment gelden, maar er mag best "out-of-the-box" gedacht worden, zodat revolutionaire concepten kunnen ontstaan. Om toch enigszins rekening te houden met de mogelijkheden die nu op dit moment, en waarschijnlijk ook in de toekomst nog zullen bestaan, zal in dit hoofdstuk gekeken worden naar nieuwe technologieën voor zonnetoepassingen, en wat daarmee allemaal mogelijk is, of in de toekomst mogelijk zal zijn. Op dit moment vormen vooral de hoge kosten nog een belangrijke drempel om geen of weinig gebruik te maken van deze technieken, maar wanneer naar de toekomst wordt gekeken, zal dit erg anders liggen. De prijs van de toepassingen voor zonne-energie zal namelijk als gevolg van de steeds verdergaande ontwikkelingen snel afnemen zodat de kosten slechts een kleine belemmering zullen vormen voor het ontwerp van de zonnecollector van de toekomst. Over het kostenverloop van zonenergetische systemen wordt overigens in het volgende hoofdstuk meer verteld.

Technologie	Wat houdt het in?
Nieuw type zonnecellen / verbeteren huidige zonnecellen	De cellen die benodigd zijn om zonlicht om te zetten in elektriciteit. Hierbij worden steeds hogere rendementen behaald
Vacuümbuis technologie	Methode waarbij een absorber in een vacuümruimte (glazen buis) wordt gebruikt waardoor zeer hoge temperaturen behaald kunnen worden
Lichtdoorlatende technieken => (Semi-)transparante zonnecollectoren / PV panelen	Doorzichtige zonnepanelen of collectoren die toe te passen zijn in gevels en daken om ook als beglazing te gebruiken
Fotonische kristallen	Kristallen die gebruikt kunnen worden om "licht op te sluiten op een nauwkeurig bekende plaats" => Licht concentreren naar een bepaald punt om een daarmee hogere intensiteit van licht te behalen op die plek
Spectraal selectief	Manier om bepaalde golflengten van het licht wel / niet door te laten of the absorberen en daarmee het zonlicht zo effectief mogelijk benutten
Hoogwaardige kunststoffen	Kunststoffen die voldoen aan strenge eisen wat betreft bijv.: hittebestendigheid, uitzettingsvermogen, waterdichtheid, vervormbaarheid, warmtegeleiding etc.
Variabel reflectiemateriaal (VAREM)	Schakelbare laag die kan variëren in de mate waarin deze licht reflecteert of opneemt (om bijvoorbeeld oververhitting van zonnecellen en andere materialen te voorkomen)
Schakelbare isolatie	Isolatie die bestaat uit meerdere lagen die onderling aangestuurd worden door de omgevingsinvloeden (bij warme omgeving –> betere afgifte van warmte, bij koude omgeving –> beter binnenhouden warmte)
Thermochemisch materiaal voor de opslag van warmte (TCM)	Methode om warmte van de zon op te slaan met behulp van een thermochemisch materiaal zodat deze warmte gebruikt kan worden wanneer deze het meest nodig is (bijv. seizoensopslag)
Faseovergangsmateriaal voor opslag warmte (PCM)	Methode volgens hetzelfde principe als een TCM, maar hierbij wordt nuttig gebruik gemaakt van de warmte die vrijkomt bij de faseovergang van bepaalde materialen

Figuur 5.1: Lijst met moderne technologieën die belangrijke bijdragen qua prestaties van zonnetoepassingen tot gevolg kunnen hebben

Verbeteren van zonnecellen / nieuwe typen zonnecellen: Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van zonnecellen zorgen voor steeds hogere rendementen. Daarnaast worden ook steeds nieuwe typen zonnecellen ontwikkeld die bestaan uit nieuwe materialen. Deze nieuwe typen kunnen vervolgens weer verbeterde typen PV of PVT toepassingen als gevolg hebben waarmee in de toekomst complexere en hoogwaardigere producten gemaakt kunnen worden. De ontwikkeling van het rendement van zonnecellen gaat volgens een bepaalde lijn en zal in de toekomst (2030) voor kristallijn silicium cellen zo rond de 22% liggen[32]. Het rendement van dunne film technologieën wordt verwacht naar de 15% te gaan. Er zijn verder veel exotische typen zonnecellen aanwezig waarbij in de toekomst rendementen behaald kunnen gaan worden tussen de 40 en 50%. Het probleem bij dergelijke cellen is echter dat ze heel erg duur zijn en gebruik maken van concentrator technieken die voor toepassingen in de gebouwde omgeving in Nederland over het algemeen weinig interessant zijn vanwege de beperkte instraling en het vele diffuse licht wat lastig te gebruiken is bij concentrerende technieken.

Vacuümbuistechnologie: Wat betreft zonnecollectoren is dit een techniek die relatief nieuw is en waarbij zeer hoge temperaturen en rendementen behaald kunnen worden. Dit

komt doordat er geen verlies is aan warmte als gevolg van convectie, omdat er sprake is van een vacuüm, waarbij dit type warmteverlies niet kan plaatsvinden. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van spiegels die zorgen dat de absorptie van het zonlicht door de vacuümbuizen zeer hoog ligt (zo rond de 96%[33]!). In de toekomst zal dit type zonnecollector verder ontwikkeld worden en naar verwachting meer toepassing krijgen, vooral vanwege de zeer hoge temperaturen die behaald kunnen worden (tot zo'n 350 °C!) en een rendement dat bij deze hoge temperaturen beter is dan bij vlakke plaat collectoren.

Licht doorlatende technieken: Zonnecellen zijn tegenwoordig zo te produceren dat ze semitransparant zijn (dunne film, kleurstof- en plasticzonnecellen) en daardoor een deel van het zichtbare licht doorlaten. Op deze manier kan PV ook (eventueel) gebruikt worden door ze toe te passen als beglazing in de gevels van woningen. Hierbij zou dus met behulp van integratie van zonnecellen in ruiten, elektriciteit opgewekt kunnen worden terwijl er ook naar buiten gekeken kan worden. Voorbeelden van dergelijke "PV-ruiten" zijn in figuur 5.2 te zien.

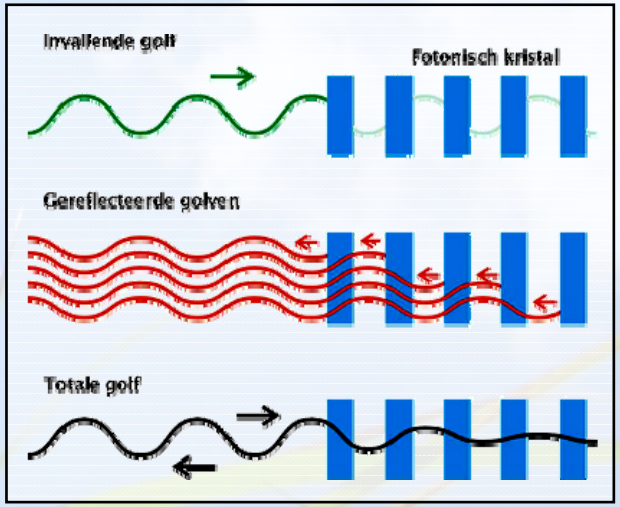
Wat betreft het opvangen van warmte kan gekeken worden naar de warme luchtstroom die ontstaat bij speciaal dubbel glas (HR++) waarbij coatings ervoor zorgen dat er een warm gedeelte in de ruit ontstaat als gevolg van het selectief doorlaten en reflecteren van de straling van het zonlicht. Door deze warme luchtstroom tactisch te verplaatsen en op een bepaalde manier op te slaan is het ook mogelijk om een soort semitransparante zonnecollectoren te maken. Het doorzichtig maken van collectoren en PV systemen blijft echter altijd nadelig voor het rendement van deze toepassingen omdat er een deel van het licht doorgelaten moet worden voor het creëren van

Figuur 5.3: Verwerking van semitransparante zonnepanelen in een gebouw

de transparantie. Dit licht kan dan uiteindelijk niet nuttig gebruikt worden voor het absorberen van warmte of het omzetten naar elektriciteit. Een andere mogelijkheid die overigens ook vaak aangeduid wordt als semitransparant bij het gebruik van PV-panelen, is het creëren van een zeer klein dambordeffect van zonnecellen op een paneel, waardoor het nog mogelijk is dat er licht tussen de paneeltjes heen kan vallen, en het andere deel gebruikt kan worden voor het genereren van zonnestroom. Dit effect creëert een zekere mate doorzichtigheid zoals te zien is in figuur 5.3.

Figuur 5.2: Voorbeeld van de buiten- (links) en binnenkant (rechts) van ruiten met daarin zonnecellen verwerkt (dunne film)

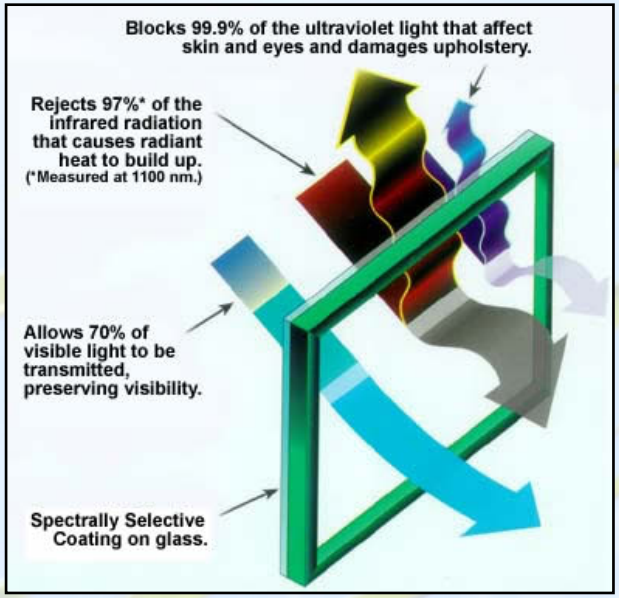
Fotonische kristallen: Deze kristallen werken eigenlijk als een soort piepkleine vergrootglaasjes die het licht zeer nauwkeurig concentreren naar één bepaalde plek. De achterliggende gedachte is, dat door toepassing van deze kristallen, het licht zo geconcentreerd kan worden op één kleine zonnecel, zodat er een veel kleiner oppervlak zonnecellen benodigd is. Door bij deze methode gebruik te maken van zeer hoge kwaliteit hoog rendementzonnecellen, kan op een goedkope manier bij toepassing van deze kristallen een hoge opbrengst behaald worden. Een nadeel aan de mogelijkheden van deze kristallen is dat het zonlicht dat op deze kristallen moet vallen, al een bepaalde mate van concentratie moet hebben bij inval. Dat betekent dat deze techniek voornamelijk bij hoge zoninstraling toe te passen is (locaties dicht bij de evenaar), waardoor deze technologie weinig interessant is voor landen waar de zonnestraling voornamelijk bestaat uit diffuus licht (zoals in Nederland het geval is). Een voorbeeld van de werking van dergelijke kristallen is te zien in figuur 5.4.



Figuur 5.4: Schematische weergave van de werking van fotonische kristallen

Spectraal selectief: Toepassing van spectraal selectieve lagen maakt het mogelijk om bepaalde golflengten wel of niet toe te laten in het materiaal waarop deze lagen (meestal als coatings) zijn aangebracht. Deze lagen kunnen er bijvoorbeeld voor zorgen dat warmte wel één kant op het materiaal naar binnen komt, maar dat deze, wanneer die eenmaal binnen het materiaal is, wordt weerkaatst zodat zo min mogelijk warmteverlies optreedt. Toepassing van dergelijke lagen is bijvoorbeeld te vinden bij HR++ glas, afdeklagen bovenop absorbers van zonnecollectoren en

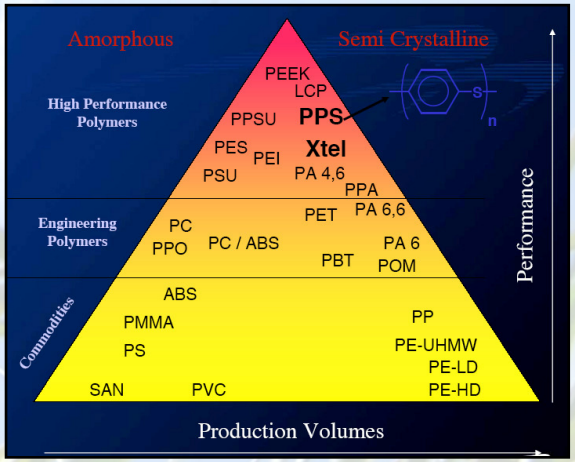
glazen afdekplaten bovenop PV panelen etc. Verdere ontwikkelingen van dergelijke lagen kunnen het mogelijk maken het rendement van deze toepassingen nog hoger te maken. De werking van een dergelijke spectraal selectieve coating is in figuur 5.5 te zien.



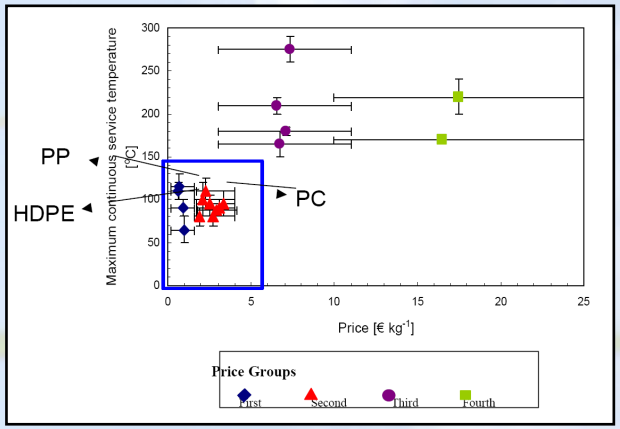
Figuur 5.5: Schematische weergave van de werking van spectraal selectieve coatings in beglazing

Hoogwaardige kunststoffen: Bij de huidige zonnecollectoren wordt veel gebruik gemaakt van relatief dure materialen zoals koper en aluminium (zie ook het materiaaloverzicht in hoofdstuk 4). Per vierkante meter worden er al gauw een aantal kilo's[34] van deze prijzige materialen verwerkt (vaak tussen de 2 en 6 kilo per vierkante meter oppervlak) wat de prijs (en trouwens ook het gewicht) van deze producten niet ten goede komt. Gemiddeld genomen is het zo dat in een vlakke plaatcollector, wanneer ook de leidingen en warmteopslag en wisselaars mee worden genomen, ongeveer 5 kg koper per vierkante meter benodigd is[36]. Daarom wordt onderzoek gedaan naar goedkopere materialen die toch de eigenschappen bezitten die benodigd zijn voor het absorberen van warmte met een hoog rendement. Hoogwaardige kunststoffen die bestand zijn tegen hoge temperaturen bieden hierbij een oplossing. De toepassing van dergelijke kunststoffen vindt echter nu nog niet plaats omdat het onderzoek naar de mogelijkheden hiervan nog in gang is. In figuur 5.6 is een indeling gemaakt van mogelijk toe te passen polymeren voor zonnetoepassingen, verdeeld naar opbouw (amorf of kristallijn), productievolume (mate waarin het geschikt is voor massaproductie) en sterkte (de mechanische eigenschappen van de kunststof).

Voor- en nadelen kunststofgebruik: Er is een heel scala voordelen van kunststof absorbers ten opzichte van metalen absorbers te noemen: Een lagere prijs, een lagere dichtheid (en dus lichter gewicht), een grotere mechanische sterkte, geen corrosiegevoeligheid, de geschiktheid voor massaproductie en de flexibiliteit voor verschillende vormen en afmetingen[34]. Enkele voorbeelden van dergelijke materialen zijn polypropyleen (PP), hoge dichtheid polyetheen (HDPE) en polycarbonaat (PC). Dit zijn allemaal kunststoffen die erg goedkoop zijn (de prijzen[34] liggen rond de 3€/kg) zoals te zien is in figuur 5.7. Het grootste probleem van het toepassen van kunststoffen in de absorbers van zonnecollectoren is het feit dat de temperatuur binnen een collector snel kan oplopen. Hierbij kunnen temperaturen ontstaan die, wanneer de kunststof er gedurende een langere periode aan blootgesteld wordt, schadelijk kunnen zijn voor het materiaal. Een nieuwe ontwikkeling die hierbij echter kan helpen is het aanbrengen van een soort schakelbare, selectieve laag op de buitenkant van de zonnecollector, die de absorber van het materiaal kan beschermen tegen al te hoge temperaturen (zogenaamd variabel reflectiemateriaal). Deze techniek zal zo dadelijk worden besproken. Kunststoffen worden overigens al veel toegepast in onafgedekte zonnecollectoren waarbij de temperaturen minder hoog zullen oplopen. (Voorbeelden hiervan zijn zonnecollectoren voor het verwarmen van zwembaden, en andere lage temperatuurstoepassingen).



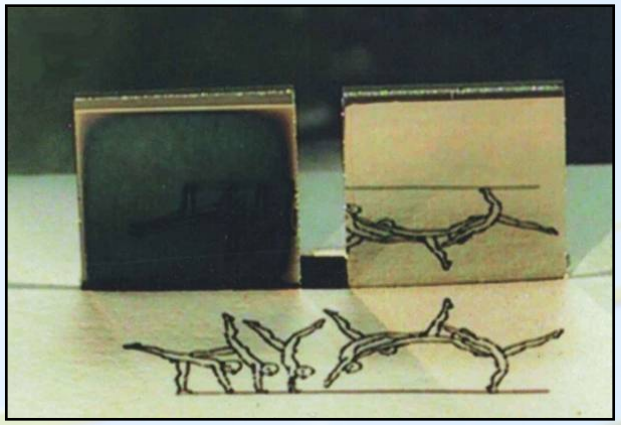
Figuur 5.6: Schema met daarin verschillende kunststoffen ingedeeld op basis van verschillende criteria



Figuur 5.7: Indeling van interessante kunststoffen voor toepassing bij zonnecollectoren, gerangschikt naar temperatuurbestendigheid en prijs per kg materiaal[36]

VAREM: Deze techniek (die hiervoor al even kort genoemd werd) werkt als een soort regelbare spiegel. De optische eigenschappen van het materiaal kunnen hierbij variëren van niet reflecterend zwart, naar volledig reflectief of een stand die ergens tussenin ligt. Dit principe werkt met behulp van een speciaal gas dat waterstofatomen bezit en wanneer dit toegevoegd wordt aan een actieve laag (bijvoorbeeld magnesiumnikkel), veranderende optische eigenschappen van het materiaal tot gevolg heeft. Bij afwezigheid van waterstof zal het materiaal zwart zijn, en bij toevoeging van H_2 verandert de samenstelling van de laag zodanig dat deze reflecterend wordt. Dit proces kan gestuurd worden door, bij bepaalde (te hoge) temperaturen van het systeem, een spanning door de laag heen te sturen, waardoor waterstofatomen vrijkomen en op deze manier de optische eigenschappen veranderen.

Dit principe kan in de praktijk zeer nuttig toegepast worden wanneer het opslagvat van een zonneboiler vol is. Bij deze situatie kan de collector zijn warmte niet kwijt en kunnen zeer hoge temperaturen ontstaan die schadelijk kunnen zijn voor de materialen die in het systeem gebruikt worden (vooral wanneer er sprake is van kunststoffen die binnen een bepaalde temperatuurrange moeten blijven). Wanneer het vat vol is, kan een spanningssignaal verstuurd worden door de variabele reflectieve laag die voor de absorber zit, zodat deze spiegelend gemaakt wordt en de temperatuur veel minder hoog oploopt (het licht wordt dan niet geabsorbeerd maar gereflecteerd). Een voorbeeld van het effect van VAREM is te zien in figuur 5.8 op de volgende bladzijde.



Figuur 5.8: De werking van variabel reflectie materiaal (links uitgeschakeld, en rechts ingeschakeld)

Schakelbare isolatie: Dit is eigenlijk meer een idee dat gericht is op de totale toekomstige woning als energieleverend systeem. Het kan echter ook gebruikt worden wanneer het collectoroppervlak van de woning zeer groot is, en dus ook de isolatie van de collector bijdraagt aan de isolatie van de totale woning. Het idee van schakelbare isolatie is dat er verschillende lagen / onderdelen / componenten in een systeem aanwezig zijn, die op verschillende manieren gecombineerd / geregeld / ingesteld kunnen worden, zodat deze precies aan de eisen wat betreft het intern gewenste klimaat binnen de woning voldoen. Bij een te koude omgeving zullen de isolatie-eigenschappen van het materiaal bijvoorbeeld verbeteren, terwijl bij een te warme omgeving de warmteafgifte eigenschappen van de isolatielaag juist verhoogd zullen worden. Hiervan zijn nog geen concrete voorbeelden uit de praktijk te noemen, maar met behulp van een intelligent regelsysteem en methoden die de mate van isolatie zouden kunnen regelen (bijvoorbeeld meer of minder toevoeging van lucht, of een regelbaar vacuüm als isolerende laag) behoort dit tot de opties van de toekomst.

De opslag van warmte

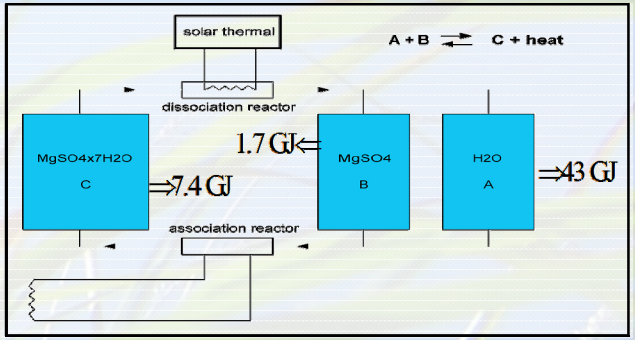
Thermochemisch materiaal als opslag voor warmte[37]: Dit is een van de belangrijkste onderzoeksvelden op dit moment. Wanneer men afhankelijk is van de zonnestraling betekent dit namelijk automatisch dat er op het ene moment een overschot aan energie kan zijn (de zon straalt volop) en er op een ander moment juist een tekort (de zon straalt niet). Er is een manier nodig om deze vraag naar, en aanbod van zonne-energie beter aan elkaar te koppelen of liever gezegd; te ontkoppelen! Het zou bijvoorbeeld mooi zijn om de overtollige warmte van de zomer (wanneer eigenlijk minder energie benodigd is aangezien het geen stookseizoen is) op te slaan, zodat dit voor het tekort in de winter gebruikt kan worden.

Een manier daarvoor is het gebruiken van thermochemische opslagmaterialen (afgekort: TCM's). Deze materialen bestaan uit twee componenten (A en B) die los van elkaar (wanneer ze niet met elkaar reageren) een bepaalde hoeveelheid energie in zich op kunnen slaan. Wanneer deze componenten echter samengevoegd worden, ontstaat een reactie waarbij een nieuw materiaal ontstaat (C) en bovendien een bepaalde hoeveelheid energie vrijkomt in de vorm van warmte: A + B => C + warmte. Het idee hierbij is om de materialen A en B los van elkaar op te slaan en deze pas samen te voegen wanneer er warmte benodigd is in de woning voor bijvoorbeeld het verwarmen van tapwater of woonruimten. Op deze manier zou het overschot aan warmte wat in de zomer opgevangen wordt in een collector, opgeslagen kunnen worden in een type TCM, die op deze manier in de winter toegepast kan worden voor het leveren van het tekort aan warmte wat dan optreedt voor energiebehoevende processen binnen de woning. Zouthydraten zoals magnesiumsulfaat zijn voorbeelden van mogelijke stoffen die voldoen aan deze reactie. Andere voorbeelden van mogelijk te gebruiken materialen zijn weergegeven in figuur 5.9. Daarnaast is een schematische weergave[38] van de reactie weergegeven.

Integratie in een systeem: De werking van een TCM is in theorie erg simpel, maar er zijn enkele problemen die in de praktijk nog lastig op te lossen zijn. Een mogelijke werking van een thermochemisch materiaal zou kunnen zijn door het volgende principe toe te passen: Wanneer in de zomer de warmte die wordt opgevangen bij een zonnecollector langs gehydrateerd magnesiumsulfaat (magensiumsulfaat waar watermoleculen "aan vast zitten") wordt geleidt ($MgSO_4 \cdot H_20$), zal het aanwezige water uit het magnesiumsufaat onttrokken worden doordat dit verdampt. De waterdamp kan vervolgens in een apart vat worden opgeslagen en vervolgens condenseren tot normaal water. Het droog verkregen magnesiumsulfaat kan eveneens in een apart vat worden opgeslagen. In de zomer is er voldoende instraling van de zon om dit proces een lange tijd door te laten gaan, zodat beide opslagvaten voldoende vol raken en er van beide stoffen (A en B) een flinke voorraad aanwezig is. Wanneer dan weer energie benodigd is, kan het droge magnesiumsulfaat (A) naar een speciale reactor geleid worden, en in contact gebracht worden met waterdamp (B) die uit het watervat in deze reactor wordt geleidt. Bij deze reactie komt dan de benodigde warmte vrij die gebruikt kan worden voor energiebehoevende processen in de woning. Hierbij ontstaat weer het gehydrateerde magnesiumsulfaat (C) ($MgSO_4 \cdot H_20$), wat later, wanneer er voldoende warmte in de collector aanwezig is, weer door middel van deze warmte van elkaar los gemaakt kan worden. Hierbij is het kringetje rond en kan zogenaamde seizoensafhankelijke warmteopslag mogelijk gemaakt worden. Dit systeem biedt de toekomst zeer grote mogelijkheden en heeft een aantal grote en belangrijke voordelen!

Voordelen TCM: Een voordeel van TCM's is de grotere opslagcapaciteit van warmte die mogelijk is (tussen de 500 en 3000 kJ / kg). Wanneer dit vergeleken wordt met de opslagcapaciteit van water kan dit een factor 10x zo groot zijn (water heeft een opslagcapaciteit van 334 kJ / kg). Het grootste voordeel is uiteraard dat, doordat er sprake is van twee aparte componenten, er helemaal geen verlies van warmte optreedt, wat wel het geval is bij de huidige methode van warmte opslaan in grote hoeveelheden water; dit koelt namelijk geleidelijk af. Bovendien biedt het een oplossing voor het belangrijkste probleem bij het toepassen van zonne-energie; het koppelt de vraag naar, en het aanbod van zonne-energie los van elkaar!

A <=>	B +	C	GJ/m^3	T(°C)
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgSO_4$	$7H_2O$	2.8	122
SiO_2	Si	O_2	37.9	4065
$FeCO_3$	FeO (wustite)	CO_2	2.6	180
$Fe(OH)_2$	FeO	H_2O	2.2	150
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaSO_4$	$2H_2O$	1.4	89
$MgSO_4 \cdot H_2O$	$MgSO_4$	H_2O	1.3	216
$ZnCO_3$	ZnO	CO_2	2.5	133
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	$CaCl_2 \cdot 1H_2O$	H_2O	0.6	174
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgSO_4 \cdot 1H_2O$	H_2O	2.3	105

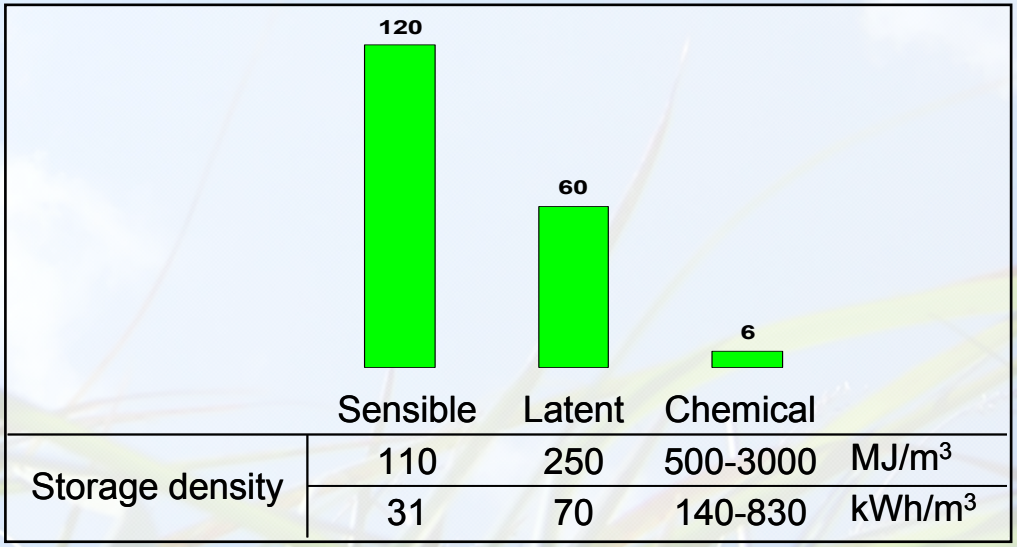


Figuur 5.9: Overzicht van verschillende thermochemische opslagmaterialen, de warmtecapaciteit en de temperatuur die benodigd is om de reactie tot stand te brengen

Nadelen: Zoals gezegd zijn er echter een paar problemen die nu nog optreden met de beperkte kennis van TCM's. Eén daarvan is onder andere het probleem van het ongecontroleerd verlopen van reacties, waarbij de hoeveelheid warmte die vrijkomt lastig te controleren is, en het feit dat er toch nog relatief grote hoeveelheden TCM nodig zijn voor de opslag benodigd voor een heel huis. Wat betreft $MgSO_4$ (magnesiumsulfaat) zal dit zo'n 5 m^3 per huishouden bedragen (dit is echter de inhoud van alleen het materiaal). Wanneer deze benodigde inhoud vergeleken wordt met de hoeveelheid water die benodigd zou zijn, is dit gelukkig een nadeel wat minder zwaar weegt. Dit wordt duidelijk uit figuur 5.10, waarbij te zien is wat de hoeveelheid benodigd materiaal (in m^3) zou zijn om de warmtevraag van een huishouden te kunnen regelen op drie verschillende methoden: 1) Sensible (de huidige manier met water), 2) Latent (met behulp van een fase overgangsmateriaal, hierover volgt zo meer) en 3) Chemisch (door toepassing van een TCM). Een ander probleem is verder dat het lastig is om de verschillende componenten precies samen te brengen wanneer dit benodigd is, evenals de mate waarin dit gebeurt (de hoeveelheden van de componenten A en B). Toch is deze technologie zeer veelbelovend en zeker waard om rekening me te houden. Vooral als we over het jaar 2030 praten wanneer alweer een heleboel meer mogelijk is wat betreft seizoensgebonden warmteopslag.

Faseovergangsmateriaal als opslag voor warmte (PCM)[37]: Een PCM (Phase Changing Material) werkt ongeveer hetzelfde als een TCM, maar hierbij vindt niet echt een chemische reactie plaats, maar alleen een overgang tussen verschillende fasen waarin de gebruikte stof zich kan bevinden. Een voorbeeld hiervan is het verwarmen van natriumacetaat (NaAc) tot een bepaalde temperatuur zodat deze in de vloeibare fase komt (dit gebeurt omstreeks de 55 ^oC). Er wordt op deze manier een bepaalde hoeveelheid energie toegevoegd aan het materiaal (in de vorm van warmte) die wordt gebruikt in het materiaal om van de vaste naar de vloeibare fase over te gaan. Wanneer de stof eenmaal in de nieuwe fase is, blijft deze daarin wanneer er niet intern iets met het materiaal gebeurt (er is sprake van een evenwicht). Bij het verstoren van het evenwicht (bijvoorbeeld het genereren van een bepaalde spanning) raakt het materiaal echter uit dit gevormde evenwicht en zal er een reactie plaatsvinden waarbij deze weer terug gaat naar zijn oude fase (in dit geval de vaste fase). Bij deze overgang komt energie vrij in de vorm van warmte. Door deze energie nuttig te gebruiken, kunnen PCM's een bijdrage leveren aan het opslaan van warmte energie en deze vervolgens gebruiken wanneer dit benodigd is binnenin een woning.

Voor- en nadelen PCM: Een probleem bij dergelijke reacties van PCM's is echter dat wanneer de reactie eenmaal bezig is (de stof gaat terug naar zijn oorspronkelijke fase), deze niet meer stopt voordat het oude evenwicht volledig is bereikt. Dit betekent dat wanneer dit in een grote tank van bijvoorbeeld 100 L zou gebeuren, het proces pas op zal houden wanneer de volledige inhoud van de tank is omgezet naar de nieuwe fase. Hierbij komt dus een grote hoeveelheid warmte vrij, die eigenlijk het liefst in kleinere hoeveelheden gesplitst zou moeten worden. Het idee is daarom om gebruik te maken van wat kleinere reactievaatjes, waarbij de vrijgekomen warmte beter regelbaar is, zodat de warmte die vrijkomt ook daadwerkelijk nuttig gebruikt kan worden voor de woning als energieleverend systeem. Een voordeel (net als bij TCM's) is dat op deze manier vraag- en aanbod van energie los van elkaar gekoppeld worden, en dat (in vergelijking met huidige methoden zoals warmteopslag met water) er relatief weinig materiaal nodig is voor het voorzien van een volledig huishouden (grofweg een factor 2 minder in vergelijking met warmteopslag in water). Toepassing van een TCM heeft ten opzichte van opslag met water grofweg een factor 10 vermindering (wanneer alle ruimte wordt meegerekend die ook gebruikt zal moeten worden voor reactoren etc.).



Figuur 5.10: Per type warmteopslag het aantal m^3 materiaal wat benodigd is om in een gemiddeld huishouden opslag van warmte tussen de seizoenen mogelijk te maken

Er zijn nu enkele technieken besproken die nu al worden onderzocht en waar de verdere ontwikkeling in de toekomst voordelig zou kunnen zijn voor eventuele toepassing in het te ontwerpen product of systeem. Er zouden echter ook volledig nieuwe technologieën kunnen worden verzonnen in de periode tussen nú en het jaar 2030:

b. Welke nieuwe technologieën zouden hun intrede in de toekomst nog kunnen doen?

In de toekomst zullen voornamelijk technieken betreffende het opslaan van warmte in thermochemische materialen (TCM's) zich verder gaan ontwikkelen. Er wordt verwacht dat er enkele werkende principes zullen zijn die in 2030 daadwerkelijk toegepast zouden kunnen worden in een systeem. Daarnaast moet bij het ontwerp van een zonenergetisch systeem voor de toekomst eigenlijk in eerste instantie weinig rekening gehouden worden met wat er allemaal mogelijk is, maar kan er beter gekeken worden naar wat er wenselijk is! Dus: wat het beste, handigste, prettigste en meest comfortabele zou zijn voor de gebruiker, zonder dat hierbij steeds wordt gekeken door een te technische bril "Kan-dat-wel?". Bovendien is het onmogelijk de toekomst te voorspellen en kan er dus moeilijk een opsomming gemaakt worden van nieuwe technologieën die mogelijkerwijs in de toekomst op zouden kunnen duiken. Daarom zullen eventuele nieuwe mogelijkheden of ideeën bij de conceptvorming (hoofdstuk 8) verder behandeld worden, als deze bij een bepaald idee aanwezig zijn. In de volgende paragraaf zal ter afsluiting van dit hoofdstuk een overzicht worden gegeven van de randvoorwaarden die gelden bij het toepassen van de besproken technologieën en daarmee antwoord gegeven worden op de deelvraag:

c. Aan welke randvoorwaarden zijn deze nieuwe technologieën gebonden?

Randvoorwaarden van de besproken technologieën

In figuur 5.11 is een inventarisatie gemaakt van de randvoorwaarden waaraan de besproken nieuwe technologieën gebonden zijn. Dit is belangrijk omdat dit mede bepaalt op welke manier deze technieken eventueel toegepast zouden kunnen worden in het nieuw te ontwerpen product of systeem. Verder is het volgende af te vragen:

d. Welke van deze nieuwe technologieën zijn mogelijk toe te passen in het te ontwerpen product?

Vooral de ontwikkelingen rondom TCM's die warmteopslag mogelijk maken zijn zeer interessant voor het ontwerpen van een zonneproduct voor de toekomst, evenals het gebruik van speciale hoogwaardige kunststoffen die nieuwe goedkope productietechnieken mogelijk maken. VAREM biedt ook interessante mogelijkheden, vooral in combinatie met in de toekomst nieuw toe te passen kunststoffen, zodat de opbrengst en temperatuur van een zonnecollector / PV paneel nauwkeurig gereguleerd kan worden. Verder is het idee van schakelbare isolatie en de toepassing van bepaalde spectraal selectieve technologieën, evenals de transparante mogelijkheden voor PV en zonnecollectoren erg nuttig voor eventuele toepassing in de te ontwerpen zonnecollector van de toekomst. Bij de conceptvorming zullen de behandelde technologieën toegepast worden in verschillende bedachte concepten voor de toekomst.

Technologie	Randvoorwaarden
Nieuwe typen zonnecellen	Deze werken vooral bij hoge concentratie van zonlicht, wat duurder is, en soms lastig te realiseren. Nieuwe typen moeten bovendien eerst goed getest worden op veiligheid, produceerbaarheid, etc. voordat ze daadwerkelijk te gebruiken zijn.
Vacuümbuis technologie	Maakt mooie integratie in de gebouwde omgeving lastig vanwege de vorm van de concentratoren (ze zijn niet mooi vlak). Ook maken de hoge temperaturen het gebruiken van goedkope(re) materialen (zoals kunststoffen) lastig.
Transparante toepassingen	De vereiste transparante zonnecellen (dunne film of organisch) hebben een lagere opbrengst en een kortere levensduur.
Fotonische kristallen	Hierbij is al een bepaalde concentratie van het ingaande zonlicht benodigd => Dit zorgt voor bepaalde eisen wat betreft het minder diffuus maken van licht bij plekken verder weg van de evenaar => lastig te realiseren!
Spectraal selectieve lagen	Deze zijn alleen aan te brengen in zeer dunne lagen en bovendien duur en kwetsbaar (mogen niet met de hand aangeraakt worden).
Hoogwaardige kunststoffen	Alleen toe te passen bij wat lagere temperaturen of er moet gebruik gemaakt worden van zeer hoogwaardige kunststoffen die bestand zijn tegen hogere temperaturen.
VAREM	Maakt temperatuurregulatie mogelijk, maar door toepassing van deze technologie verliest de toepassing aan rendement. Bevindt zich nog in experimentele fase.
Schakelbare isolatie	Hoog intelligentieniveau van het systeem benodigd (nauwkeurig meten van de omstandigheden rondom de woning).
TCM	Veilige locatie voor het samenvoegen van de componenten (reactoren), nauwkeurige sturing van de reactie, hoge veiligheidsrealisatie, etc.
PCM	Er zijn aparte reactoren benodigd en er moet hierbij gezorgd worden voor een juiste dosering van de componenten. Dit moet bovendien in kleine etappes gebeuren om de reacties sturende te houden.

Figuur 5.11: Overzicht van de randvoorwaarden die gelden bij de toepassing van de besproken technologieën

Hoofdstuk 6: Het mogelijke toekomstscenario van 2030

In het vorige hoofdstuk is gekeken naar de nieuwe technologieën die nu in onderzoek zijn en die zich verder zouden kunnen ontwikkelen in de toekomst. Het is natuurlijk niet voldoende alleen te kijken naar deze toekomstige technologieën. Er zullen ook andere variabelen betrokken moeten worden die op toekomstige termijn belangrijke parten zullen spelen bij het ontwerpen van een zonenergetisch product of systeem. Daarom wordt in dit hoofdstuk gekeken naar het toekomstscenario in 2030. Hierbij zullen verschillende aspecten aan de orde komen. Er zal gekeken worden naar de context waarin het product gebruikt zal moeten worden in de toekomst en het type woningen waarvoor deze geschikt moet zijn. Daarnaast zal de huidige en toekomstige energievraag en daarbij horende kostprijs van energie geanalyseerd worden en zullen bepaalde aannames en schattingen gedaan worden wat betreft het verwachte energieverbruik in 2030. Met behulp van deze schattingen zal dan een klein onderzoek naar de toekomstige haalbaarheid van de doelstelling gedaan worden en een overzicht worden gemaakt. Kort samengevat zal in dit hoofdstuk antwoord worden gegeven op de volgende vraag:

Wat is het toekomstscenario waarin het te ontwerpen product zal moeten gaan functioneren in de toekomst (2030)?

De toepassing van het product of systeem

a. In welke context zal het product gebruikt gaan worden?

Het nieuw te ontwerpen product zal een systeem zijn dat zich op een bepaalde locatie van de woning bevindt en op een duurzame manier gebruik maakt van de invallende zonnestraling door warmte op te vangen en elektriciteit op te wekken (eventueel in de combinatie PV-Thermisch) en deze warmte en elektriciteit nuttig gebruikt voor de energiebehoevende processen binnenin de woning. Met de toepassing van dit product is het dus de bedoeling een energieneutrale of zelfs energieleverende woning te creëren, zodat alle benodigde energie binnen het huishouden op een duurzame manier wordt opgewekt en de woning op zich, volledig autonoom zal zijn binnen de gebouwde omgeving. Het systeem zal hierbij zijn werk moeten doen zonder dat de bewoners van het huis hier hinder van ondervinden of veel contact met het product zullen hebben. Het product is moet dus eigenlijk als het ware "niet aanwezig" zijn (er is weinig gebruikersinteractie) en functioneert op zichzelf door beslissingen te nemen en de gehele energiehuishouding van de woning op een zo optimaal mogelijke manier te reguleren. Om dit te kunnen bewerkstelligen zullen eerst bepaalde schattingen en aannames gemaakt moeten worden over het gemiddelde energieverbruik in de toekomst, het type woning waarvoor het product geschikt is en de toekomstige ontwikkelingen die plaats zullen vinden in het jaar 2030, zodat duidelijk wordt waar het product aan moet gaan voldoen.

b. Voor welke woningen / gebouwen zal het nieuwe product geschikt moeten zijn?

Bij het ontwerpen van een nieuwe zonenergetisch systeem zal voornamelijk gekeken worden naar de geschiktheid voor nieuwbouwwoningen die in het jaar 2030 gebouwd worden. Deze keuze is gemaakt omdat ten eerste uitgegaan zal worden van de zogenaamde *energieneutraliteit* van dergelijke woningen die in de toekomst (2030) gebouwd zullen worden. Deze woningen zullen voldoen aan de strengst mogelijke eisen wat betreft energieverbruik en zullen door verbeterde isolatiemaatregelen en andere energiebesparende methoden de gewenste factor 4 vermindering aan energievraag hebben zoals deze is voorspeld door het ECN. Het nieuwe systeem zal toegespitst zijn op dergelijke toekomstige woningen zodat deze daarmee deel uit kan maken van de duurzame leefomgeving van de toekomst en hiermee kan bijdragen aan het scenario van energieneutraliteit in de gebouwde omgeving, of nog beter: de woning als energieleverend systeem (WAELS).

Wanneer gekozen zou zijn voor het ontwerpen van een product of systeem voor de bestaande bouw in 2030 (dat wil zeggen de nieuwbouwwoningen die op dit moment in 2007 gebouwd worden en andere oudere gebouwen die nu al aanwezig zijn), zal de energievraag van die woningen heel anders zijn (veel hoger) en worden er andere eisen gesteld wat betreft de opbrengst en mogelijkheden tot het aanbrengen van het product (zoals installatie en dergelijke). Bovendien kan er, wanneer naar nieuwbouwwoningen in 2030 gekeken wordt, rekening gehouden worden met de nieuwste technieken die op dat moment beschikbaar zouden kunnen zijn op de woningmarkt, waardoor in het ontwerp meer vrijheid aanwezig is. Er werd namelijk al even kort verteld over de moeilijkheden die het ombouwen van huidige woningen met zich mee kan brengen. Vanwege deze oogpunten is gekozen voor het woningtype: **nieuwbouw in 2030**.

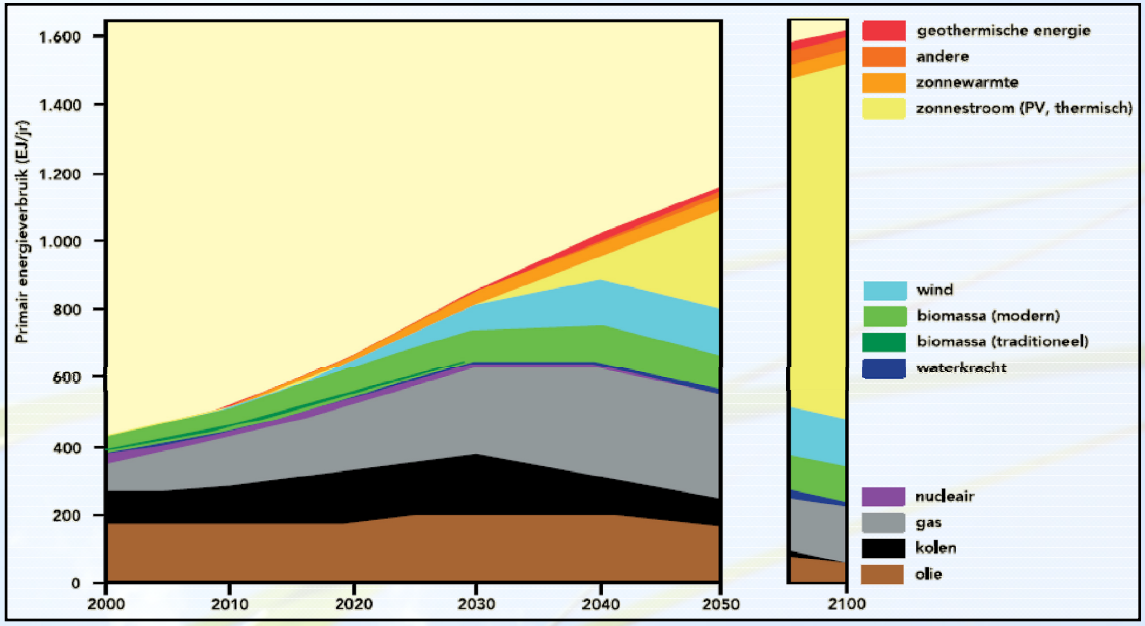
Het precieze type woning is bij het ontwerpen van het product nog niet echt heel strak gedefinieerd, maar het zal hierbij wel gaan om de zogenaamde "grondgebonden bouw", waaronder woningen vallen zoals tussen- en hoekwoningen, twee-onder-één-kap woningen en vrijstaande woningen etc. met een gemiddeld aantal inwoners van ongeveer drie mensen (vergelijkbaar met nieuwbouwwoningen die in figuur 6.1 staan weergegeven). Om te weten wat het nieuwe systeem zal moeten gaan leveren is verder een inventarisatie benodigd van de energievraag van dergelijke woningen. Daarom is gekeken naar de energievraag van huishoudens nú (in 2007), en zijn aannames en schattingen gemaakt voor de vraag en het verbruik in de toekomst. Hierover volgt straks meer.

Figuur 6.1: Voorbeelden van veelvoorkomende nieuwbouwwoningen in het jaar 2007

De toekomstige energievraag en het energiegebruik

c. Wat zal het verloop van de energievraag en het energiegebruik zijn wanneer gekeken wordt naar de toekomst?

Mondiaal niveau: Het energieverbruik is de afgelopen jaren flink gestegen en deze stijging zal de komende jaren ook door blijven zetten. Het huidige mondiale energieverbruik bedraagt ongeveer 500 EJ (Exajoule, 1 EJ = $1 \cdot 10^{18}$ Joule) per jaar. Het verwachte verbruik in 2030 zal wereldwijd bijna met een factor twee verdubbeld zijn naar zo'n 900 EJ. Het opwekken van deze energie gebeurt momenteel op veel verschillende methoden, waarbij zonnestroom nog slechts een zéér klein aandeel bezit van de totale energieproductie. Er wordt echter verwacht dat deze bijdrage in de toekomst steeds groter zal worden. In figuur 6.2 op de volgende bladzijde is het verloop van de verwachte, mondiale energievraag te zien volgens het WBGU[39] (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) voorbeeldscenario.



Figuur 6.2: Het verwachte verloop van de mondiale energievraag tot 2050 met de primaire bronnen waaruit deze energie wordt opgewekt

Huishoudelijk niveau: Voor het ontwerpen van een zonenergetisch systeem dat een woning energieneutraal of zelfs energieleverend moet maken is het interessant om te weten wat de energievraag in 2030 ongeveer zal zijn voor een gemiddeld huishouden in Nederland. Met deze informatie kan vervolgens worden bekeken hoeveel energie het product op jaarbasis moet leveren om te kunnen voldoen aan de energievraag van deze woning. Wanneer het verwachte rendement van het product (zowel zonthermisch als elektrisch) hierbij ook wordt beschouwd, kan vervolgens geschat worden wat ongeveer de benodigde oppervlakte is van de het toekomstige zonnesysteem. Het is duidelijk dat dit redelijk grove schattingen zullen zijn aangezien de toekomst zich niet laat voorspellen. Met deze berekeningen kan echter wel enig inzicht worden verkregen over wát het apparaat nou uiteindelijk moet kunnen leveren en waar het product verder aan moet voldoen wil het een woning energieleverend of neutraal maken. Dergelijke schattingen worden verderop in dit hoofdstuk besproken.

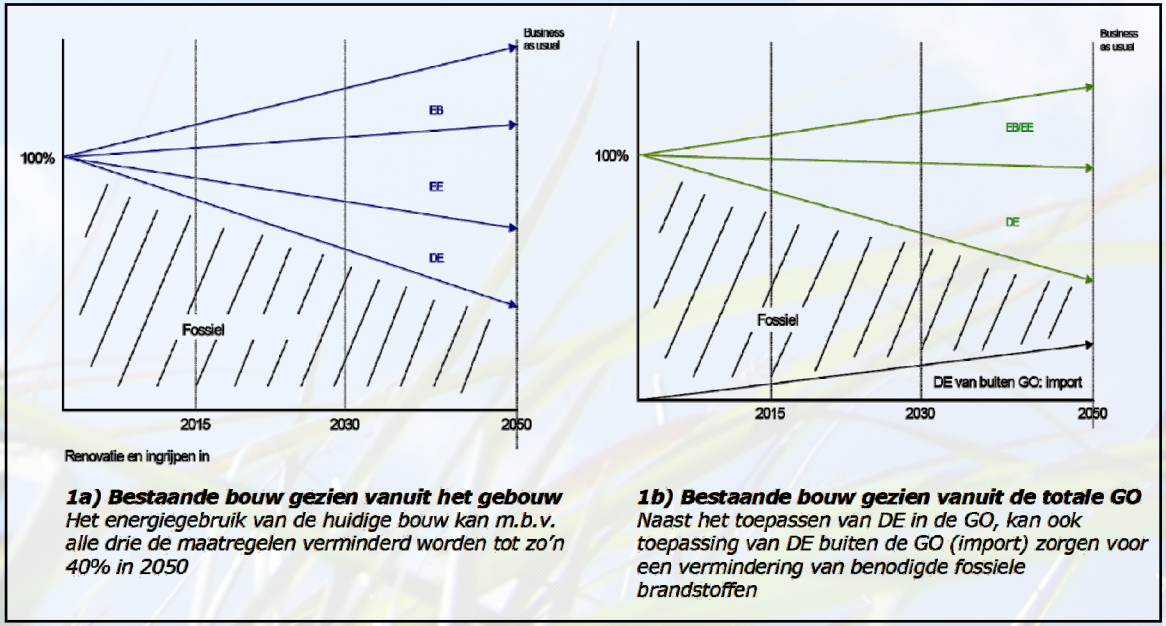
Het BuildingFuture scenario

Energiescenario's in de gebouwde omgeving in 2030: Er zijn verschillende visies op de toekomst met betrekking tot het energiegebruik van woningen en de manier waarop aan deze energievraag wordt voldaan. Een samenwerkingsverband tussen ECN en TNO, het zogenaamde BuildingFuture[40] (BF) houdt zich bezig met dergelijke toekomstvisies. De doelstelling van dit samenwerkingsverband is om de energievraag van de totale gebouwde omgeving (GO) in 2050 volledig energieneutraal te maken. Dit is mogelijk met behulp van de volgende maatregelen:

EB = Energiebesparing; de beperking van de energievraag door het zuiniger omspringen met energie binnen de gebouwde omgeving door het verbeteren van bijvoorbeeld de isolatie van woningen.

EE = Efficiënter gebruik van Energie; het inzetten van efficiëntere apparaten en installaties binnen de gebouwde omgeving (bijvoorbeeld het toepassen van energiezuinigere apparatuur binnen huishoudens).

DE = Duurzame Energie; het toepassen van bronnen van duurzame energie zoals het gebruik van zonne-energie bij woningen.



1a) Bestaande bouw gezien vanuit het gebouw
Het energiegebruik van de huidige bouw kan m.b.v. alle drie de maatregelen verminderd worden tot zo'n 40% in 2050

1b) Bestaande bouw gezien vanuit de totale GO
Naast het toepassen van DE in de GO, kan ook toepassing van DE buiten de GO (import) zorgen voor een vermindering van benodigde fossiele brandstoffen

Figuur 6.3: Het BuildingFuture scenario

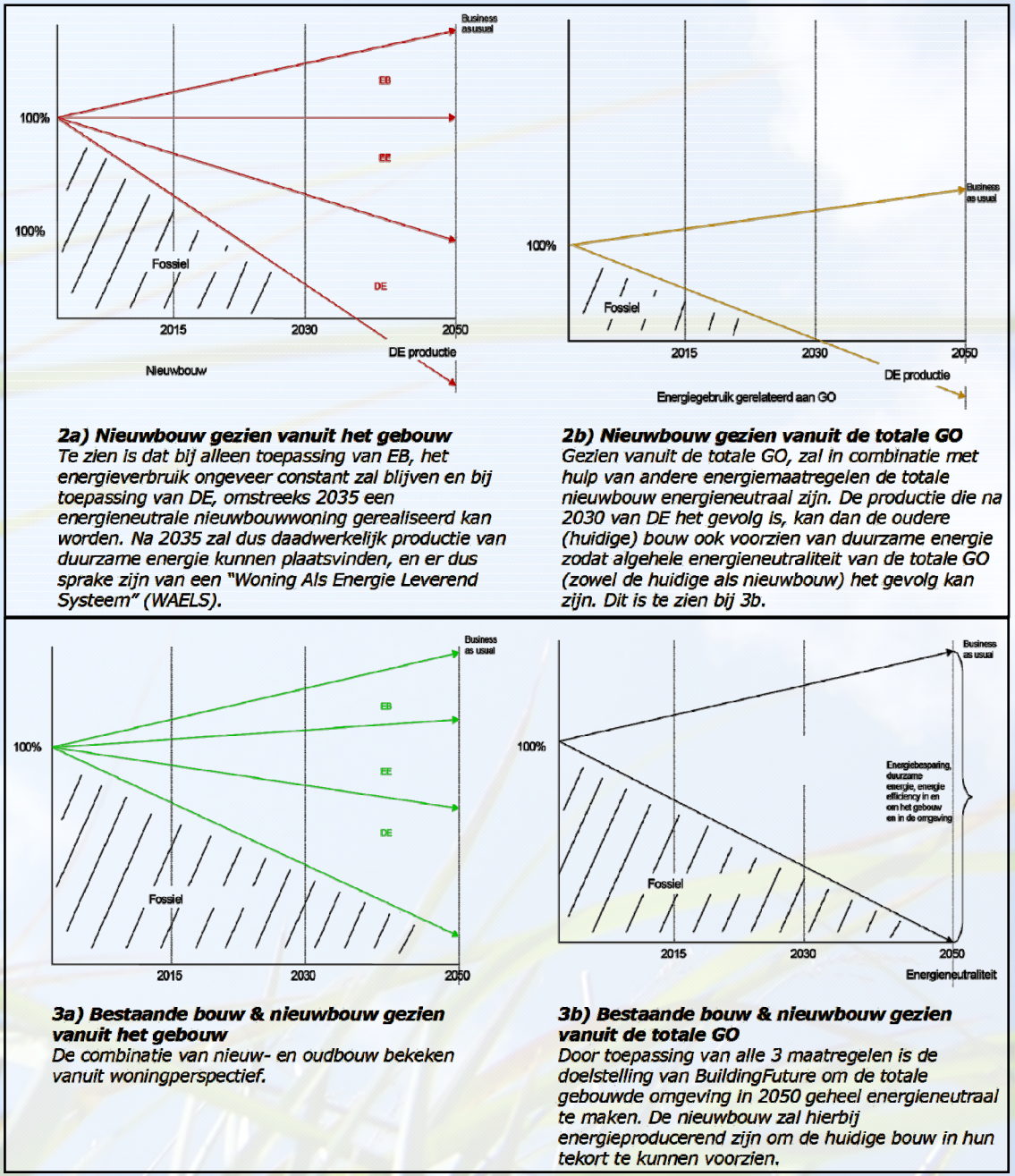
Het is duidelijk dat wanneer steeds meer van deze maatregelen toegepast worden, het energieverbruik sterker zal dalen. Dit is te zien in de trends die in figuur 6.3 zijn weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt in (verticaal ingedeeld in de figuur):

1) De huidige bouw
2) Nieuwbouw
3) De combinatie van huidige en nieuwbouw

Horizontaal ingedeeld in het figuur:

a) Het energiegebruik verbonden aan een gebouw apart
b) Het energiegebruik van de totale gebouwde omgeving (dat wil zeggen in en om het gebouw)

Figuur 2a is voor dit project het meest van belang. Hierbij ligt een doorkruising met de nullijn iets na 2035, maar bij het ontwerpen voor een systeem van zonne-energie voor 2030, kan bij dit project wel degelijk als eis gesteld worden dat binnen een nieuwbouwwoning energieneutraliteit bereikt kan worden. Dit omdat deze berekeningen al iets ouder zijn (ongeveer 1,5 jaar) en omdat het bovendien een uitdagender scenario is!



2a) Nieuwbouw gezien vanuit het gebouw
Te zien is dat bij alleen toepassing van EB, het energieverbruik ongeveer constant zal blijven en bij toepassing van DE, omstreeks 2035 een energieneutrale nieuwbouwwoning gerealiseerd kan worden. Na 2035 zal dus daadwerkelijk productie van duurzame energie kunnen plaatsvinden, en er dus sprake zijn van een "Woning Als Energie Leverend Systeem" (WAELS).

2b) Nieuwbouw gezien vanuit de totale GO
Gezien vanuit de totale GO, zal in combinatie met hulp van andere energiemaatregelen de totale nieuwbouw energieneutraal zijn. De productie die na 2030 van DE het gevolg is, kan dan de oudere (huidige) bouw ook voorzien van duurzame energie zodat algehele energieneutraliteit van de totale GO (zowel de huidige als nieuwbouw) het gevolg kan zijn. Dit is te zien bij 3b.

3a) Bestaande bouw & nieuwbouw gezien vanuit het gebouw
De combinatie van nieuw- en oudbouw bekeken vanuit woningperspectief.

3b) Bestaande bouw & nieuwbouw gezien vanuit de totale GO
Door toepassing van alle 3 maatregelen is de doelstelling van BuildingFuture om de totale gebouwde omgeving in 2050 geheel energieneutraal te maken. De nieuwbouw zal hierbij energieproducerend zijn om de huidige bouw in hun tekort te kunnen voorzien.

Figuur 6.3: Het BuildingFuture scenario

Schattingen van het verwachte energieverbruik van een huishouden in de toekomst

Het huidige energiegebruik van een woning is op te delen in drie onderdelen: De energie benodigd voor het verwarmen van woonruimten (1), tapwater (2) en de elektriciteit (3) die benodigd is om huishoudelijke apparaten te kunnen gebruiken. In figuur 6.4 zijn waarden gegeven van het gebruik van een gemiddeld huishouden (met een oppervlakte van ongeveer 100 m^2) en is er uitgegaan van de trend die volgens BuildingFuture globaal wordt beschreven. Alle gegeven waarden betreffende de toekomst zijn schattingen. De gegevens van het heden zijn grof afgerond omdat het gaat om indicatieve waarden.

Uitleg aannames: In figuur 6.4 worden enkele aannames gedaan met betrekking tot de toekomstige energievraag van woningen welke hieronder uitgelegd worden. Er zijn hierbij in de toekomst eigenlijk 2 scenario's mogelijk, waarover zelfs de specialisten bij het ECN zeer verschillende meningen hebben:

1) Het elektriciteitsverbruik stijgt; de consument past steeds meer huishoudelijke apparaatuur toe.
Het gebruik van warm tapwater stijgt; verkleining van huishoudens zorgt voor een minder efficiënt gebruik.
2) Het elektriciteitsverbruik daalt; er worden nieuwe besparende mogelijkheden bedacht en ingevoerd en de overheid voert verdergaande maatregelen in wat betreft energiebesparing.
Het gebruik van warm tapwater daalt lichtelijk; mede door deze energiebesparende maatregelen.

Daarnaast wordt hieronder uitgelegd hoe de in figuur 6.4 weergegeven waarden worden beïnvloed en welke achterliggende gedachten gebruikt zijn:

a) Bij de huidige nieuwbouw (vanaf 2007) is een grote reductie te zien bij de energievraag wat betreft ruimteverwarming, als gevolg van zeer verbeterde isolatiemogelijkheden in de woningbouw.
b) Wat betreft verwarming van tapwater is een kleine stijging zichtbaar in het gebruik bij nieuwbouwwoningen ten opzichte van de huidige bouw.
c) Het elektriciteitsgebruik van nieuwbouwwoningen stijgt in 2007 lichtelijk vanwege het toepassen van meerdere elektriciteitsbehoevende apparatuur binnen huishoudens.
d) De warmtehuishouding van woningen wordt op een dergelijke manier geregeld dat dit een zeer kleine post zal worden in de totale energiebalans (slechts 6,5 GJ per huishouden) => De waarde van 6,5 GJ aan ruimteverwarming is genomen volgens de zogenaamde passief huis standaard waarbij gerekend wordt met de best denkbare isolatie van dit moment.
e) De vraag naar warm tapwater zal *(bij scenario 1)* lichtelijk stijgen als gevolg van het verminderen van het aantal personen per huishouden, waardoor uiteindelijk minder efficiënt omgegaan wordt met water.
f) Door toepassing van WTW-systemen (warmte terugwin systemen waarbij de warmte uit leidingen nuttig hergebruikt wordt) zal de hoeveelheid energie aan tapwater in nieuwbouwwoningen in 2030 weer enigszins kunnen dalen.
g) De vraag naar elektriciteit zal (*bij scenario 1*) stijgen aangezien de gebruiker steeds meer apparaten in het huishouden zal inzetten om het zichzelf zo comfortabel te maken. Hierbij wordt wel rekening gehouden met de toenemende efficiëntie van deze apparatuur, maar zal uiteindelijk toch de vraag groter zijn dan nu het geval is.

Naast deze verwachtingen van het energieverbruik van huishoudens zijn er ook andere ontwikkelingen in de toekomst waarmee rekening gehouden dient te worden. In de volgende paragraaf zal worden besproken welke dit zouden kunnen zijn.

Type gebouwde omgeving:	Ruimteverwarming (GJ/jaar)	Tapwater (GJ/jaar)	Elektriciteit (GJ/jaar)	Elektriciteit (kWh/jaar)	Totaal GJ/jaar)
"Heden"					
Huidige bouw (tot 2000)	50	12,5	12	3300 kWh	74,5
Nieuwbouw vanaf 2007	30[a]	14[b]	12,5[c]	3500 kWh	56,5
"Toekomst" (2030)					
Huidige bouw (business as usual)	50	18[e]	16	4500[g] kWh	84
Nieuwbouw vanaf 2007 (EPC = 0,8)	30	14	16	4500 kWh	60
Nieuwbouw in 2030 (groei gebruik[1])	6,5[d]	15[f]	16	4500 kWh	37,5
Nieuwbouw in 2030 (daling gebruik[2])	6,5	12	9	2500 kWh	27,5

Figuur 6.4: Verwachte waarden van het energiegebruik van de huidige bouw en nieuwbouw, gekeken naar de periode nú en in de toekomst

Andere toekomstige ontwikkelingen

d. Welke andere ontwikkelingen en veranderingen zijn belangrijk wanneer wordt gekeken naar het jaar 2030?

Toekomstperspectief 2030: In een studie die gedaan is door Holland Solar (een Nederlands bedrijf dat zich bezighoudt met de duurzame opwekking van energie met zonlicht); de zogenaamde "Roadmap voor Zonnestroom in Nederland", ziet het toekomstbeeld voor het jaar 2030 er ongeveer als volgt uit:

De prijs van zonnestroom bedraagt in 2030 ongeveer € 0,10 / kWh; wat ruim lager is dan de kleinverbruikertarieven voor elektriciteit. Verder worden in de helft van alle nieuwbouw en renovatie zonnepanelen toegepast. Ook gaat een steeds groter aantal consumenten en bedrijven over tot integratie van zonnepanelen buiten de natuurlijke momenten (nieuwbouw en renovatie). Daarnaast zorgen geavanceerde lokale energie managementsystemen voor optimale benutting van de geproduceerde elektriciteit. Andere aspecten die bij het verwachte toekomstscenario wat betreft 2030 horen zijn dat in deze periode een zogenaamde "turn-key" prijs van zonnestroom van ongeveer 1 € bereikt zal worden, wat wil zeggen dat de prijs voor 1 Watt-Piek vermogen aan zonnestroom ongeveer 1 € zal gaan kosten. De huidige kosten voor 1 Wp bedragen nu nog ongeveer 5 € per Wp. Zoals bij het stuk over toekomstige technologieën werd besproken zal daarnaast het netto rendement van zonnepanelen rond de 20% gaan bedragen, wat een stijging is van 6 of 7% in vergelijking met het huidige rendement van de meeste PV panelen. Ook wordt verwacht dat de jaaropbrengst per paneel zal stijgen van ongeveer 0,75 naar 0,85 vanwege verbeterde technologieën en de gemiddelde opbrengst per jaar zal stijgen van zo'n 100 kWh / m^2 naar 150 kWh / m^2, wat een factor anderhalf verschil betekent!

Verder wordt verwacht dat er per jaar ongeveer 100.000 nieuwe daken worden gebruikt voor het monteren van zonnepanelen en is de verwachting dat de markt wat betreft de gebouwde omgeving en infrastructuur rond deze tijd een volwassen punt heeft bereikt. Grote zonnecentrales zullen nog in een ontwikkelingsstadium verkeren en laten volgens de verwachtingen, wat betreft toepassing op grote schaal op zich wachten tot ongeveer 2050. Economisch gezien zal bovendien een stijging van het aantal arbeidsplaatsen, gerelateerd aan het opwekken van duurzame energie uit zonlicht plaatsvinden van het huidige aantal van ongeveer 1000 naar 10.000 plaatsen. Wat betreft het totaal geïnstalleerde energievermogen worden voorspellingen gedaan voor 2030 die rond de 6 GWp liggen, wat meer dan 100x zoveel is als nu het geval is met 0,05 GWp. Het totale

aandeel van zonnestroom zal dan ongeveer 3% van de totale elektriciteitsvraag bedragen. Daarnaast zullen zonnepanelen een standaard bouwelement worden voor nieuwe woningen in de gebouwde omgeving. Deze toekomstige perspectieven zijn overzichtelijk weergegeven in figuur 6.5.

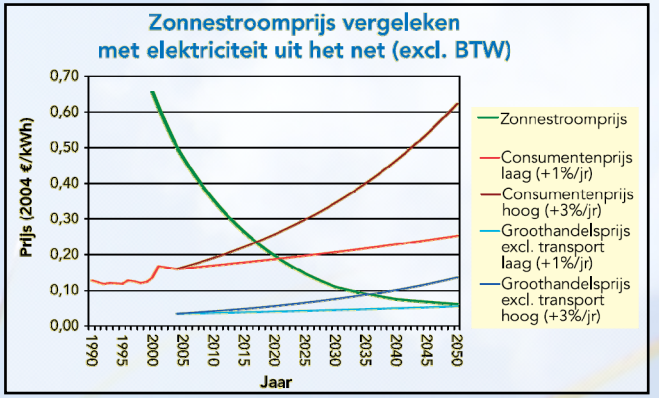
e. Wat zal het verloop van de prijs van zonne-energie en regulier opgewekte energie zijn voor de toekomst?

De prijs van zonne-energie: De huidige opwekking van zonnestroom met behulp van PV panelen is nog relatief prijzig wanneer deze wordt vergeleken met energie die op de "normale" manier wordt opgewekt door middel van verbranding van fossiele brandstoffen in grote energiecentrales. Er is echter een trend aanwezig waarbij de prijs van deze reguliere opwekking van energie duurder wordt (vanwege het steeds schaarser worden van fossiele brandstoffen, wat oplopende prijzen van aardolie en aardgas zal betekenen). Het type duurzame energie dat opgewekt wordt met behulp van zonlicht zal daarentegen steeds goedkoper worden als gevolg van de ontwikkelingen van nieuwe technologieën die de prijs van PV panelen zullen doen dalen en doordat steeds rendabelere manieren kunnen worden gebruikt om elektriciteit op te wekken met behulp van zonnecellen. Zoals eerder al even kort vermeld werd is de huidige situatie van de prijs van energie als volgt: regulier opgewekte energie kost per kWh in Nederland zo'n 20 € cent, in vergelijking met 50 € cent voor energie opgewekt door middel van PV panelen. Dit is nu uiteraard nog een erg groot verschil (een factor tweeënhalf), maar de toekomstige ontwikkelingen zijn hoopvol. Geschat wordt dat in 2020 de prijs van beide soorten opgewekte energie met elkaar kunnen concurreren. Dit betekent dat voor het jaar 2030 waarvoor een nieuwe zonnetoepassing moet worden ontworpen, ervan uitgegaan mag worden dat, wat betreft opwekking van elektriciteit in woningen er geen grote problemen overbrugd hoeven te worden wat betreft de verwachte kostprijs van dit type energie. De verwachte trends[39] zijn weergegeven in figuur 6.6. De kosten van een te ontwerpen zonnesysteem zullen hiermee dus niet het grootste probleem vormen. Het blijft eerder de vraag of het gemakkelijk te realiseren is om een woning volledig energieneutraal te krijgen. Daarom is het goed om in de volgende paragraaf een klein onderzoekje te doen naar de haalbaarheid van de doelstelling.

Systemen en prijsontwikkeling	Situatie 2004	Toekomstbeeld 2030
Prijs zonnestroom (in 2004 €/kWh)	0,50	0,10
Turn-key systeemprijs (in 2004 €/Wp)	5,00	1,00
Netto rendement zonnepanelen (dakvlak)	12%	18%
Jaaropbrengst systeem bij optimale oriëntatie (kWh/Wp)	0,75 van 0,7-0,8	0,85 van 0.7- 1.0
Typische gemiddelde jaar-opbrengst systeem (kWh/m2)	90	154
Volume van de marktsegmenten		
Nieuwbouw en renovatie in gebouwde omgeving (daken per jaar)	< 5.000	100.000
Andere momenten in de gebouwde omgeving	Zeer weinig	Volwassen markt
In infrastructuur	Zeer weinig	Volwassen markt
Zonnecentrales	-	In ontwikkeling
Vervangingsmarkt	-	Groeiend

Zonnestroom sector	2004	2030
Werkgelegenheid in Nederland (equivalente voltijdsarbeidsplaatsen)	800	10.000
Concurrentiepositie	Nederland / Europees	Mondiaal
Inpassing in de energie infrastructuur		
Totaal geïnstalleerd vermogen	0,05 GWp	6 GWp
Aandeel zonnestroom in elektriciteitsvraag	10.000 huishoudens	3%
Regelsystemen voor inpassing zonnestroom	Onderzoek	Geavanceerde - locale energie-management systemen voor optimale benutting geproduceerde zonnestroom
Ruimtelijke inpassing		
Zonnepaneel als bouwelement in de gebouwde omgeving	Ontwikkeling demonstratie	Standaard
Zonnepaneel als element in en aan infrastructuur	Veldtesten	Standaard

Figuur 6.5: Verwachte toekomstperspectief van zonnestroom in Nederland in het jaar 2030 volgens Holland Solar



Figuur 6.6: Grafiek van het verwachte prijsverloop (Holland Solar) van verschillende typen opgewekte energie tot 2050

Haalbaarheid

f. Is het haalbaar om met dit toekomstscenario energieneutraliteit van woningen te garanderen?

Net zijn enkele scenario's, trends, schattingen en andere aspecten wat betreft de toekomst gegeven die van belang zijn bij het ontwerpen van een product voor de toekomst. Aangezien nu enkele dingen over de toekomst aangenomen zijn (en daarbij ook het verwachte energiegebruik), kan gekeken worden of de doelstelling wat betreft energieneutraliteit ook enigszins haalbaar is. Dat is gedaan door enkele berekeningen te maken wat betreft het energiegebruik van woningen nu en in de toekomst en de daarbij behorende opbrengsten van verschillende zonenergetische producten. De uitkomsten van deze berekeningen zijn in figuur 6.7 weergegeven.

Uitleg aannames: Bij deze berekeningen zijn, net zoals bij het mogelijke toekomstscenario in 2030, enkele schattingen en aannames gemaakt die hieronder eerst nog even kort toegelicht zullen worden:

- Bij de huidige nieuwbouwwoningen is uitgegaan van een redelijk groot energieverbruik voor ruimteverwarming (30 GJ), zodat de schattingen in ieder geval niet onredelijk zullen zijn en in het veilige gebied liggen.
- De energie benodigd voor ruimteverwarming in de toekomst is in deze berekeningen op 6,5 GJ genomen. Deze waarde is de waarde die ook in zogenaamde "passieve huizen" van toepassing is en daarstraks al even kort aan bod is geweest.
- De energievraag voor het verwarmen van tapwater zal in de toekomst iets dalen, als gevolg van het toepassen van slimme toepassingen binnen het huis zoals warmteterugwinning, en andere besparende mogelijkheden. Deze verminderde energievraag is echter relatief klein, aangezien in de toekomst waarschijnlijk het verbruik van warm tapwater lichtelijk toe zal nemen, wat ervoor zorgt dat de energievraag niet zeer laag uit zal vallen (deze is nu geschat op ongeveer 12 GJ).
- Het elektriciteitsverbruik is in de berekeningen voor zowel nu als de toekomst gelijk gebleven met 3500 kWh per jaar. Hierbij is de achterliggende gedachte dat het gebruikersgebonden elektriciteitsverbruik in de toekomst toe zal nemen, maar dat door efficiëntere (zuinigere) apparaten, de totale energievraag ongeveer gelijk zal blijven. Er is dus eigenlijk gekozen voor de middenweg van de 2 scenario's die qua elektriciteit werden beschreven bij figuur 6.4.
- De schatting is dat in het jaar 2030 de opbrengst van elektriciteit van zowel PV en PVT modules zal verbeteren met een factor 1,5 en de opbrengst van warmte met een factor 1,25. De waarden voor 2015 liggen hier wat onder en zijn in de figuur rechts onderin te zien. Deze verschillende factoren zijn te wijten aan het feit dat de ontwikkelingen op het gebied van zonnecellen sneller gaan, en hierbij veel nieuwe technologieën bedacht worden, terwijl bij het gebruiken van warmte bij zonnecollectoren men tegen het probleem aan blijft lopen dat dit rendement bijna niet hoger kan (ook niet in de toekomst). Vandaar de wat lagere waarde voor de ontwikkeling van zonnecollectoren.
- Er zijn enkele standaard waarden gebruikt wat betreft de opbrengsten van warmte en elektriciteit in zowel zonnecollectoren, PV en PVT die op dit moment gemiddeld behaald kunnen worden door de meeste producten die nu op de markt zijn. Voor een collector wordt ongeveer 1,25 GJ / m^2 aan opgebrachte energie genomen en bij PV is 100 kWh / m^2 als waarde genomen. Bij PVT zijn deze waarden iets lager, aangezien het rendement van beide soorten energie iets lager is: ongeveer 1,1 GJ / m^2 warmte en 90 kWh / m^2 elektriciteit.
- Deze huidige waarden zijn vervolgens vermenigvuldigd met de factor waarmee verwacht werd dat de opbrengst verbeterd zal worden (en afgerond). De geschatte waarden wat betreft de elektriciteitsopwekking van PV komen overigens mooi overeen met het verwachte toekomstscenario van de Holland Solar PV Roadmap.
- Door nu de energievraag van de woning te delen door de energieopbrengst per m^2, kan vervolgens de benodigde oppervlakte berekend worden om de gehele woning energieneutraal te maken. Bij PV en collectoren apart zal het oppervlak dus groter zijn, dan bij de combinatie in PVT modules.

Energievraag woning (gemiddelden)		*Rendement (ongeveer)*		(ongeveer)	*Energieopbrengst product (rendement al meegenomen)*		*Benodigd oppervlak (ongeveer)*	
NU:		*NU:*			*NU:*		*NU:*	
Ruimteverwarming	30 GJ	Collector:		60 %	Warmte (collector)	1,25 GJ / m2	Collector:	36 m2
Tapwater	15 GJ	PV:		13 %	Elektriciteit (PV)	100 kWh / m2	PV:	35 m2
Elektriciteit	3500 kWh						Totaal (apart):	**71 m2**
		PVT:	Warmte:	40 %				
			Elektrisch:	12 %	Warmte (PVT)	1,1 GJ / m2	PVT warmte:	41 m2
					Elektriciteit (PV)	90 kWh / m2	PVT elektriciteit:	39 m2
							Totaal (PVT):	**41 m2**
TOEKOMST (2015 & 2030):		*Toekomst 2015:*			*Toekomst 2015:*		*Toekomst 2015:*	
Ruimteverwarming	6,5 GJ	Collector:		66 %	Warmte (collector)	1,4 GJ / m2	Collector:	13 m2
Tapwater	12 GJ	PV:		17 %	Elektriciteit (PV)	135 kWh / m2	PV:	26 m2
Elektriciteit	3500 kWh						Totaal (apart):	**39 m2**
		PVT:	Warmte:	43 %				
			Elektrisch:	16 %	Warmte (PVT)	1,35 GJ / m2	PVT warmte:	14 m2
					Elektriciteit (PVT)	115 kWh / m2	PVT elektriciteit:	30 m2
							Totaal (PVT):	**30 m2**
Gebruikte toekomstfactoren (ongeveer):		*Toekomst 2030:*			*Toekomst 2030:*		*Toekomst 2030:*	
Nu:	1	Collector:		75 %	Warmte (collector)	1,55 GJ / m2	Collector:	12 m2
		PV:		20 %	Elektriciteit (PV)	150 kWh / m2	PV:	23 m2
Warmte 2015:	1,1						Totaal (apart):	**35 m2**
Elektr. 2015:	1,2	PVT:	Warmte:	50 %				
			Elektrisch:	18 %	Warmte (PVT)	1,35 GJ / m2	PVT warmte:	14 m2
Warmte 2030:	1,25				Elektriciteit (PVT)	0 kWh / m2	PVT elektriciteit:	26 m2
Elektr. 2030:	1,5						Totaal (PVT):	**26 m2**

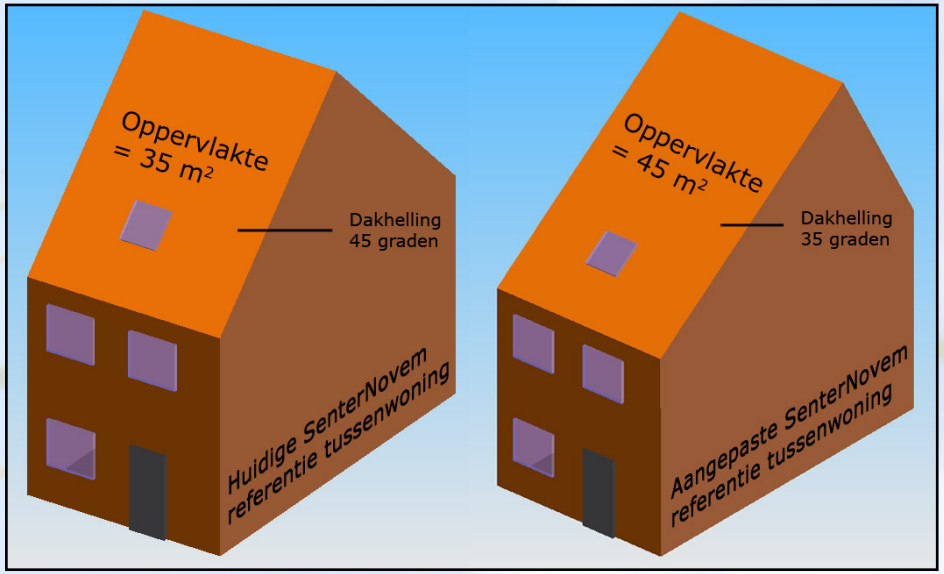
Figuur 6.7: Schattingen van de verwachte energievraag in de toekomst, de opbrengsten van collectoren, PV en PVT en de benodigde dakoppervlakte om een woning energieneutraal te maken

Bevindingen: Uit deze berekeningen zijn belangrijke gegevens te halen. Zo blijkt dat het gebruik van zonnecollectoren en PV panelen apart, bij huidige nieuwbouwwoningen een erg groot oppervlak behoeft (71 m^2) om deze energieneutraal te maken. Dit oppervlak is eigenlijk zo groot dat dit bijna niet mogelijk is. Het toepassen van PVT modules zou echter nu al wel een mogelijkheid kunnen zijn. Hierbij is namelijk slechts iets meer dan de helft van het oppervlak bij PV en collectoren apart benodigd (41 m^2), omdat elektriciteit en warmte met hetzelfde oppervlak opgewekt en opgevangen kunnen worden. Redenerend vanuit het feit dat het dus nú al enigszins mogelijk zou kunnen zijn om met een nieuwbouwwoning energieneutraliteit te bereiken, kan (zeer kort door de bocht) de conclusie getrokken worden dat dit voor de toekomst in 2030 zeker haalbaar moet zijn en dat waarschijnlijk zelfs *energielevering* mogelijk zal worden!

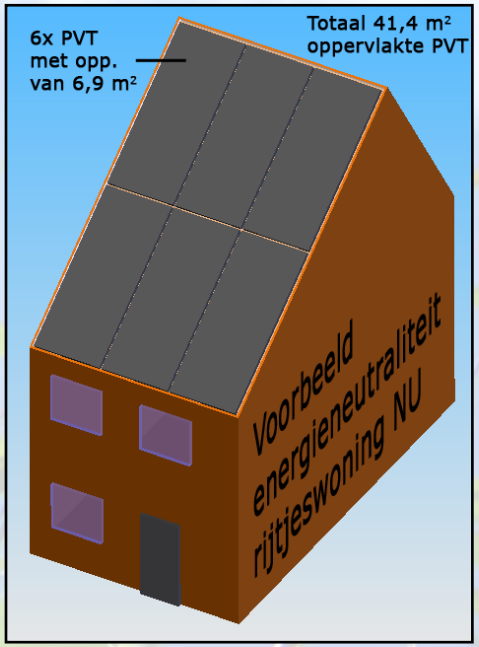
Voor de toekomst zal het verschil tussen de toepassing van PV en zonnecollectoren apart of het gebruiken van een combinatie (PVT), wat betreft benodigd dakoppervlak iets minder groot worden. Dit heeft te maken met het feit dat de warmtevraag als gevolg van verbeterde isolatie, warmteterugwinning en andere besparende mogelijkheden erg gedaald is, terwijl het elektriciteitsgebruik ongeveer gelijk zal blijven (zie ook de uitleg wat betreft de aannames die hierbij gemaakt zijn). Hiervoor geldt dus dat er een groter oppervlak voor elektriciteitsvoorziening benodigd is, wat betekent dat bij toepassing van PVT, het minimaal benodigde oppervlak voor de stroomvoorziening bepalend is voor het totale systeem. Bij het gebruiken van collectoren en PV apart in 2030, zal ongeveer een dakoppervlak van 35 m^2 benodigd zijn, in vergelijking met 26 m^2 bij toepassing van PVT. Het blijft op deze manier dus nog steeds efficiënter om gebruik te maken van de combinatie van PVT, hoewel dit verschil wel steeds kleiner wordt (het verschil is in de toekomst zo'n 9 m^2 in vergelijking met 30 m^2 voor het huidige geval!).

Toepassen op een woning: Om te kijken of de gevonden waarden bij de huidige woningen al enigszins iets te betekenen zouden kunnen hebben, is er gekeken naar de kleinste nieuwbouwwoning uit de lijst van referentiewoningen[41] van SenterNovem uit 2007; de tussenwoning. Deze woning is kort geanalyseerd door te kijken naar het dakoppervlak, de helling van het dak en de beschikbare ruimte voor het toepassen van zonenergetische producten. Dit is gedaan door de woning na te bouwen in SolidWorks met de exacte maatgevingen van de buitenkant van het huis. Op deze manier kan snel het beschikbare dakoppervlak bekeken worden, en eventueel de vorm en hellingshoek van het dak aangepast worden voor optimalisatie voor toepassing van zonnecollectoren en PV panelen.

Aanpassingen woning: Bij dit kleinste type nieuwbouwwoning uit 2007 is de hoek van het dak oorspronkelijk grofweg 45°. Zoals duidelijk werd uit voorgaande informatie is voor zonnecollectoren en PV panelen een hoek van ongeveer 36° het meest gewenst om de hoogst mogelijke opbrengst te realiseren. Bij het huidige ontwerp van de woning (45°) is het dakoppervlak ongeveer 35 m^2. Dit zou dus niet voldoende zijn om nu (in 2007) bij een dergelijke woning energieneutraliteit te verkrijgen aangezien de minimale benodigde oppervlakte hiervoor ongeveer 41 m^2 bedraagt volgens de uitgevoerde berekeningen. Wanneer de hoek van het dak echter wordt aangepast naar de gewenste 36°, neemt het dakoppervlak toe met 10 m^2, van 35 naar 45 m^2 (dit is weergegeven in figuur 6.8). Op deze manier zou het dus nú al mogelijk zijn; zelfs bij de nieuwbouwwoningen met één van de kleinste dakoppervlakken; om bij volledige bedekking van het dak met PVT panelen, energieneutraliteit te verkrijgen (zie ook figuur 6.9). Hierbij moet echter gezegd worden dat de beschikbare dakoppervlakte nog redelijk krap is, aangezien er ook nog enkele vierkante meters verloren gaan aan ramen, schoorstenen, etc. Toch geeft dit al een zeer positieve indicatie voor de mogelijkheid van het behalen van de doelstelling van dit project!



Figuur 6.8: Weergave van de aanpassingen die gemaakt zijn aan de SenterNovem referentietussenwoning voor dit project



Figuur 6.9: Totale dakbedekking van de aangepaste woning met PVT modules

Hoofdstuk 7: Waar moet het ontwerp aan voldoen?

In de voorgaande hoofdstukken is veel onderzoek uitgevoerd op verschillende gebieden die te maken hebben met het te ontwerpen product of systeem. Er is gekeken welke oplossingen er nu zijn, hoe deze werken, wat de voor- en nadelen van deze producten zijn, er is een analyse gemaakt van toekomstige aspecten waar rekening mee gehouden dient te worden bij het ontwerpproces, etc. Nu deze analyses zijn uitgevoerd zijn, kan er begonnen worden met het uitvoeren van de ontwerpprocessen. Deze processen zullen in dit hoofdstuk behandeld worden, waarbij allereerst een inventarisatie van de verschillende stakeholders van het te ontwerpen product zal plaatsvinden, gevolgd door de bepaling van de doelgroep en het uitvoeren van een probleemanalyse waarbij overzichtelijk samengevat wordt wat de verschillende punten zijn waar verbetering mogelijk is op het gebied van producten omtrent zonne-energie. Uiteindelijk zal in een functieanalyse beschreven worden welke functies het nieuw te ontwerpen product of systeem zal moeten vervullen, waarmee vervolgens een lijst met eisen opgesteld kan worden in een programma van eisen. In dit hoofdstuk wordt dus begonnen met het daadwerkelijke ontwerpproces. In dit hoofdstuk zal de volgende hoofdvraag geprobeerd beantwoord te worden:

Waar moet het nieuw te ontwerpen zonenergetische systeem aan voldoen voor de toekomstige consument?

Gebruikersonderzoek

a. Wat zijn de verschillende "stakeholders" die een rol spelen bij het uiteindelijke product (Gebruikersonderzoek)?

Om te analyseren wat alle verschillende belanghebbenden zijn bij het ontwerpen van het product zal per levensfase geanalyseerd moeten worden welke mensen of partijen er met het product in aanraking zullen komen. Dit is overzichtelijk gedaan in figuur 7.1. Er is hierbij een opdeling gemaakt in primaire en secundaire belanghebbenden. Primaire belanghebbenden komen direct met het product in aanraking, terwijl secundaire belanghebbenden via een omweg of indirect te maken hebben met het product. Bij deze analyse komt de hiermee samenhangende deelvraag naar voren:

b. Wat is de voornaamste doelgroep van het te ontwerpen product?

De doelgroep van de toekomstige zonnecollector zal bestaan uit bewoners van de zogenaamde "grondgebonden nieuwbouw" in het jaar 2030. Zoals eerder gezegd worden hiermee hoek- en tussenwoningen bedoeld, evenals twee-onder-een-kap woningen en vrijstaande woningen. Dit betekent dat er waarschijnlijk sprake is van huizen met een schuin dak, van ongeveer 3 etages hoog, met een inwoneraantal per huishouden van ongeveer 3 personen. Wat betreft het type bewoners van deze woningen zal niet echt een strikte indeling in een doelgroep worden gemaakt. De huishoudens kunnen dus bestaan uit zowel jonge gezinnen met kinderen, alleenstaanden van jongere of middelbare leeftijd, net getrouwde stellen, bejaarden etc. Dat betekent dat het product dus voor een zeer breed publiek bruikbaar moet zijn, en de doelgroep echter eerder te formuleren is naar het type woningen waarvoor deze geschikt moet zijn. Toch is het belangrijk om rekening te houden met een dergelijk brede doelgroep, wat betreft mensen die met het product te maken krijgen, aangezien deze allen verschillende gebruikerswensen hebben. Om uiteindelijk in de belangen van deze diverse groep gebruikers te kunnen voorzien is in de volgende paragraaf samengevat naar welke onderdelen van de in de doelstelling omschreven ontwerpaspecten, kritisch gekeken moet worden.

Levensfase	Belanghebbenden
1 Ontwerp	*Primair*: De ontwerper van het product *Primair*: De bouwer die enkele prototypes zal moeten vervaardigen *Primair*: De tester die prototypes zal moeten evalueren en beoordelen *Secundair*: Concurrerende producententen die zich binnen hetzelfde vakgebied bezighouden *Secundair*: Instanties die zich bezighouden met het ontwikkelen van duurzame energie *Secundair*: Energiebedrijven die geïnteresseerd zijn in het toepassen van duurzame energie uit zonlicht *Secundair*: De architect die beslist om het product toe te passen in een grootschalig nieuwbouwproject
2 Productie	*Primair*: Producent van de onderdelen van het totale product *Primair*: Producent van standaardcomponenten die in het product geïntegreerd zullen worden (zonnecellen, PV panelen, warmtepompen etc.) *Primair*: Assembleur van alle onderdelen van het totale product *Secundair*: Controledienst die moet toezien dat het productieproces volgens een veilige, milieuvriendelijke manier gebeurt
3 Distributie	*Primair*: Distributeur (bedrijf dat de producten vervoert met vrachtwagens, schepen, vliegtuigen, etc.) *Primair*: Groothandel vanwaar de producten gedistribueerd worden naar de klant (eindgebruiker) *Primair*: Eventuele detailhandels (waarschijnlijk niet van toepassing bij een dergelijk groot product) vanwaar het product naar de klant toe gaat
4 Gebruik	*Primair*: Bewoners van de woningen waarop het product geplaatst wordt *Primair:* Installateur die het product op de woning zal moeten plaatsen en het geheel werkende zal moeten maken *Primair*: Controleurs die eens in de zoveel tijd moeten checken of alles nog volgens werkt volgens behoren *Primair*: Reparateurs die bij een defect product deze kunnen repareren *Secundair*: Buren, en andere mensen die zich in de nabijheid van het product bevinden (bijv. voorbijgangers etc.) *Secundair*: Grote energiebedrijven die het product willen gebruiken om ook energie mee op te wekken *Secundair*: Energiebedrijven die een verminderd gebruik registeren van het huishouden waarbij het product gebruikt zal worden (concurrerende belanghebbende!) *Secundair*: De gehele omgeving waarin het product zich bevindt omdat het zorgt voor een milieuvriendelijke uitstraling *Secundair*: Vandalen die het product mogelijkerwijs kunnen beschadigen
5 Verwijdering	*Primair*: Transportbedrijf dat het afgedankte product naar het recyclebedrijf brengt *Primair*: Demontagebedrijf dat het product uit elkaar haalt in verschillende onderdelen *Primair*: Recyclebedrijf dat het product volgens milieuvriendelijke maatregelen afdankt *Secundair*: Controleurs die toezien dat de demontage / recycling en afdanking volgens een correct, veilig en milieuvriendelijk proces verlopen

Figuur 7.1: Overzicht van de belanghebbenden bij het te ontwerpen product

Probleemanalyse

c. Welke problemen treden op bij het kunnen vervullen van de doelstelling wat betreft de verschillende te behandelen ontwerpaspecten?

Energieopbrengst: De precieze energievraag van een gemiddelde woning in 2030 is nog onbekend, aangezien de toekomst zich niet laat voorspellen. Er zijn wel enkele aannames gedaan van het type nieuwbouw woningen dat rond deze tijd gebouwd zal worden wat betreft het energiegebruik en de warmtehuishouding. Deze aannames zullen niet zeer nauwkeurig zijn, maar zijn wel een soort indicatie die enige houvast kan bieden zodat ongeveer berekend kan worden wat de benodigde warmte- en elektriciteitsopbrengst van het product zal moeten zijn (en de daaraan gerelateerde benodigde oppervlakte die op de woning beschikbaar moet zijn) om de woning minimaal energieneutraal te krijgen en het liefst energieleverend. Dergelijke waarden worden straks ook gebruikt bij het opstellen van het programma van eisen, omdat dit van belang is voor het opstellen van enkele technische specificaties.

Flexibiliteit: Omdat de toepassing van het product voor een zeer breed scala aan mensen wordt vereist (de doelgroep die gesteld is bestaat eerder uit een bepaald type woningen, maar niet uit een selectieve groep mensen), is het lastig om aan al deze uiteenlopende gebruikerswensen te voldoen. Daarom zal een duidelijke interface benodigd zijn om de eventuele instellingen die bij het product te maken zijn, door de brede gebruikersgroep probleemloos uitgevoerd kan worden. Ook is het bij huidige producten die gebruik maken van zonne-energie vaak zo dat wanneer ze eenmaal in gebruik zijn, er weinig aan veranderd kan worden. Met het nieuwe product zou het handig zijn als gemakkelijk nieuwe, verbeterde of veranderde componenten toegevoegd zouden kunnen worden die daarmee de prestaties van het product kunnen verbeteren.

Gebouwintegratie: Het integreren van een zonenergetisch product kan vaak bij nieuwbouw relatief gemakkelijk bereikt worden. Problemen die hierbij echter nog wel vaak optreden zijn het ontbreken van "slimmere methoden" om dit te doen. Vaak is het gewoon een kwestie van een rechthoekig gat in een dak, waarin enkele panelen geschroefd worden. Dit kan efficiënter en beter en daarom is het nuttig om te kijken naar nieuwe, effectievere methoden om het te ontwerpen product zo te integreren in nieuwbouwwoningen in 2030.

Intelligentie: De producten van nu zijn nog niet intelligent genoeg om zogenaamd "mee te denken" met de veranderende eisen van de omgeving waarin ze zich bevinden, of in te springen op nieuwe gebruikerseisen en omstandigheden. Problemen hierbij zijn ten eerste hoe dergelijke veranderingen waar te nemen zijn en ten tweede hoe deze vervolgens door te geven zijn aan het systeem en hoe het systeem hierop uiteindelijk adequaat kan reageren.

Modulariteit: Bij modulariteit kan het lastig zijn om het product zo te ontwerpen dat dit uit aparte, onderlinge onderdelen bestaat die gemakkelijk los van elkaar te gebruiken zijn, te (ont)koppelen of naar wens toe te voegen zijn aan de omgeving. Het product is namelijk vaak gebonden aan een vaste opbouw, die meestal niet zo dynamisch is als hiervoor is beschreven. Toch kan bij een moderne omgeving deze modulariteit een optie zijn om de gebruiker in staat te stellen zijn of haar eisen snel te doen aanpassen.

Zelfstandigheid: Voor een woning is het in principe mogelijk om voldoende energie aan te leveren bij toepassing van een grote hoeveelheid collectoren en PV panelen. Het grootste probleem blijft echter de wisselende vraag/aanbodcurve van energie binnen de totale woning. Het meest lastige te realiseren is de mogelijkheid tot opslag van (grote hoeveelheden) warmte, wanneer deze niet benodigd is, om deze vervolgens later in te kunnen zetten wanneer dit wel benodigd is. (Compacte) warmteopslag is daarom een aspect dat meegenomen dient te worden bij het ontwerpen van het product om volledige autonomie van de woning waarop het product gebruikt zal worden, te kunnen bereiken.

Vormgeving: Wat betreft vormgeving is het vooral lastig om te voorspellen wat in 2030 als "mooi" gezien wordt. Bovendien blijft dit uiteraard altijd afhankelijk van de persoonlijke smaak van mensen. Wat nu als strak en modern gezien wordt, kan in de toekomst alweer ouderwets en achterhaald zijn. Het meest interessante aspect zal echter een mooie integratie in de totale architectuur van het gebouw zijn, om de totale stijl waarin de woning gebouwd is, niet te onderbreken.
naar dit aspect te kijken bij het ontwerp.

Gebruiksgemak en comfort: Eigenlijk is er bij een goed zelfstandig, onopvallende zonneproduct juist sprake van een soort "niet-gebruik" van het product, aangezien het product in de ideale situatie gewoon zijn werk moet doen zonder dat de gebruiker er naar om hoeft te kijken. Tegenwoordig is dit vaak al het geval, maar veeleisende gebruikers willen misschien in de toekomst wel de mogelijkheid hebben om bepaalde opties in te kunnen stellen bij dit product aangezien deze dan over meerdere moderne en nieuwe functies kan bezitten. Daarom moet goed gekeken worden naar de optimale manier waarop het product kan functioneren binnen het huishouden.

Kosten: Tegenwoordig zijn PV panelen en zonnecollectoren nog erg duur. Dit is een grote barrière die er nu nog voor zorgt dat slechts een zeer kleine groep mensen gebruik maakt van duurzame energieopwekking met behulp van zonenergetische producten, simpelweg omdat het nu nog niet kosteneffectief is. Een groot probleem hierbij is de toepassing van dure materialen in de huidige producten. Bij het nieuw te ontwerpen systeem kan daarom onderzocht worden welke mogelijkheden er zijn tot verlaging van deze totale kostprijs, zodat toepassing van een dergelijk systeem interessanter wordt voor de consument.

Technische haalbaarheid: Er wordt veel onderzoek gedaan naar nieuwe technologieën op het gebied van duurzame energie. De toepassing van deze technieken laat echter altijd lang op zich wachten omdat de nieuw onderzochte theorieën en technieken eerst uitvoerig getest dienen te worden. Omdat het bij dit project gaat om het ontwerpen van een zonenergetisch systeem voor de toekomst, is het echter mogelijk een heleboel technische aspecten te integreren die nu nog niet werkzaam zijn, maar met het oog op de toekomst (2015 en 2030) dat misschien op dat moment wel zijn.

In de volgende paragraaf zal gekeken worden welke functies het nieuwe systeem zal moeten vervullen wil het voldoen aan de beschreven ontwerpaspecten in de doelstelling.

Productfunctieanalyse

d. Welke functies zijn absoluut noodzakelijk te integreren in het ontwerp om de doelstelling te bereiken? (Productfunctieanalyse)

e. Welke functies zijn minder van belang maar zouden een nuttige bijdrage kunnen leveren?

In de tabel hieronder is een overzicht gegeven van alle functies die het product uiteindelijk zal moeten vervullen. Hierbij zijn niet alle functies absoluut noodzakelijk te verwerken in het uiteindelijke ontwerp (nevenfuncties), maar zou wel onderzoek gedaan kunnen worden naar hoe deze functies te integreren zijn in een mogelijk ontwerp. Deze functies zijn daarna om te zetten in eisen, zoals dat gedaan is in het programma van eisen in de volgende paragraaf.

Programma van eisen

f. Aan welke eisen moet het product voldoen om aan de doelstelling van het onderzoek te voldoen?

Nu de te vervullen functies van het product bekend zijn, kunnen deze gebruikt worden voor het opstellen van de eisen waaraan het product moet voldoen. Hierbij is het eigenlijk zo dat gebruik gemaakt moet worden van meetbare criteria, die toetsbaar zijn, en waarbij aldus gemakkelijk gekeken kan worden of het product aan de eis voldoet of niet. Bij het ontwerpen van een product voor de toekomst zijn deze waarden echter lastig vast te stellen, en is ervoor gekozen om van sommige benodigde specificaties een grove schatting te maken, omdat het zeer lastig is vast te stellen waar een product in 2030 aan moet voldoen. Bij andere aspecten is ervoor gekozen om woorden als "gemakkelijk" en "geschikt" te laten staan, zodat het in ieder geval duidelijk is dat eraan gedacht dient te worden bij het ontwerp. Hierbij is het voor deze opdracht namelijk minder van belang om te weten *in welke mate precies* aan de gestelde eisen voldaan moet worden. Het gaat er eerder om dat er in ieder geval aan gedacht is bij het maken van het ontwerp zodat uiteindelijk rekening gehouden kan worden met de eisen van het ontwerp en achteraf gekeken kan worden of daar aan is voldaan of niet, en op welke manier dit is gedaan.

Gebruiksfuncties totaal (Het gehele product):	**Gebruiksfuncties warmtegedeelte (Collector):**	**Gebruiksfuncties elektriciteitsgedeelte (PV):**
Zonlicht opvangen	Warmte absorberen	Zonlicht omzetten naar elektriciteit
Bescherming bieden tegen omgeving	Warmte isoleren	Elektriciteit geleiden
Stevigheid bieden	Warmte geleiden	Elektriciteit transporteren
Energieopbrengst leveren	Warmte transporteren	Elektriciteit omzetten (DC => AC)
Flexibiliteit bieden	Warmte opslaan	Elektriciteit toevoeren aan net
Integratiemogelijkheden bieden	Warmtestroom reguleren	Elektriciteit gebruiken voor woning
Intelligentie implementeren	Warmte gebruiken voor woning	Elektriciteitsopwekking/gebruik meten
Modulariteit bieden	Warmteopvang/warmtegebruik meten	Elektriciteitsopwekking/gebruik registreren
Zelfstandigheid realiseren	Warmteopvang/warmtegebruik registreren	Temperatuur reduceren (rendement cellen)
Vormgeving optimaliseren	Warmteopslag reguleren	
Productietechnieken verbeteren	Temperatuur reguleren	*Neven*: Elektriciteitsopwekking weergeven
Onderhoudsgemak bieden		*Neven*: Elektriciteitsgebruik weergeven
Installatie vergemakkelijken	*Neven*: Warmteopvang weergeven	
Gebruik veraangenamen	*Neven*: Warmtegebruik weergeven	
Comfort bieden	*Neven*: Reflectielaag reguleren	
Toepassing bij consument verbreden		
Neven: Informatie weergeven		
Neven: Meedraaien met zon		
Ondersteuningsfuncties*:*	**Bedrijfseconomische functies:**	**Maatschappelijke functies:**
Vervangende onderdelen mogelijk maken	Winst genereren	Het goede voorbeeld geven
Garantieperiode leveren	Continuïteit bedrijf verzorgen	Milieuvriendelijkheid uitstralen
Reparatieservice garanderen	Investeerders aantrekken	Mensen aan het denken zetten

Figuur 7.2: De productfunctieanalyse van het te ontwerpen product, opgedeeld in de verschillende typen functies

Levensfase	Eisen/wensen/bonussen:
0 Algemeen	*Ontwerpproces:* • Het product moet worden ontworpen in een tijdsbestek van 13 weken • Het product moet worden ontworpen voor de toekomst; hierbij zijn verschillende periodes waarvoor ontworpen kan worden: het jaar 2015, en het jaar 2030 • Het product moet geschikt zijn voor een zeer breed publiek (er is niet één bepaald type mensen waarvoor het product ontworpen wordt) • Het product moet ontworpen worden voor "grondgebonden nieuwbouw" in 2030 *Economisch:* • Het product moet winst genereren voor het bedrijf waarin het ontwikkeld wordt • Het product moet hiermee de continuïteit van het bedrijf waarin het is ontwikkeld, kunnen waarborgen • *Wens*: Het product moet nieuwe investeerders aantrekken en de markt van zonne-energie een nieuwe impuls geven
1 Ontwerp	• *Het product moet een gemiddeld huishouden in de toekomst (nieuwbouw) kunnen voorzien van de totale benodigde energie van deze woning, waardoor de woning als geheel energieneutraal wordt* • *Het product moet onafhankelijk zijn van de hoeveelheid en de intensiteit van de instraling van de zon (seizoenen, weersinvloeden, etc.) functioneren* • *Het product moet in staat zijn warmte op te slaan en deze opgeslagen warmte (nagenoeg) zonder verlies op elk willekeurig moment kunnen gebruiken voor energiebehoevende processen binnenin de woning waarop het product van toepassing is* • *Wens: Het product moet meer energie produceren dan door een gemiddeld huishouden in de toekomst wordt gebruikt, waardoor het systeem als energieleverend beschouwd kan worden* *Warmte (collectorgedeelte):* • Het product moet zonlicht kunnen opvangen • Het product moet warmte uit zonlicht kunnen absorberen (opvangen) • Het product moet geabsorbeerde warmte kunnen vasthouden (isoleren) • Het product moet de opgevangen warmte kunnen transporteren • Het product moet de opgevangen warmte kunnen opslaan • Het product moet de warmtestroom die plaatsvindt kunnen reguleren • Het product moet de opgeslagen warmte kunnen leveren aan het huishouden waarop deze van toepassing is • Het product moet de hoeveelheid opgevangen warmte meten, reguleren en registreren • Het product moet de temperatuur reguleren binnen aanvaardbare grenzen (verschillend per toepassing) *Elektriciteit (PV gedeelte):* • Het product moet zonlicht om kunnen zetten in elektriciteit • Het product moet de elektriciteit kunnen transporteren • Het product moet de opgewekte elektriciteit om kunnen zetten van gelijkspanning naar de gewenste wisselspanning die gebruikt wordt in huishoudens (50 Hz, 230 V) • Het product moet de opgewekte elektriciteit aan het net kunnen afgeven • Het product moet de opgewekte elektriciteit kunnen leveren aan het huishouden waarop deze van toepassing is • Het product moet de hoeveelheid opgewekte elektriciteit meten, reguleren en registeren • Het product moet de temperatuur rondom de zonnecellen reduceren om een zo hoog mogelijk rendement van de cellen te behouden *Geschiktheid woningen:* • Het product moet qua installatie geschikt zijn voor een nieuwbouwwoning in het jaar 2030 (wat betreft leidingen, kabels, isolatiegebruik etc.) • Het product moet gemakkelijk bevestigd kunnen worden op een nieuwbouwwoning in het jaar 2030 zonder dat hiervoor een verbouwing van het dak of de gevel benodigd is • Het product moet gemakkelijk geïntegreerd kunnen worden in een nieuwbouwwoning in 2030 *Vormgeving:* • Het product dient een vormgeving te hebben die past in de stijl van nieuwbouwwoningen in 2030 • De integratie van het product in een nieuwbouwwoning in 2030 moet op een "mooie" manier gebeuren • Het product moet een moderne, aantrekkelijke, strakke uitstraling hebben *Duurzaamheid:* • Het product moet stevig zijn • Het product moet beschermd worden tegen de omgevingsinvloeden • Het product moet stevig bevestigd kunnen worden aan de woning zonder dat deze gemakkelijk los komt als gevolg van de omgevingsinvloeden (bijvoorbeeld sterke windvlagen of stormen) *Veiligheid:* • Het product mag niet hinderlijk zijn voor zijn omgeving (reflectie, geluidsproductie etc.) • Het product mag geen gevaar opleveren voor de gebruikers alsmede andere mensen die om wat voor reden dan ook met het product in aanraking zouden komen • Het product moet voldoen de eisen die gesteld zijn in de wet *Maatschappelijk*: • Het product moet milieuvriendelijkheid uitstralen • Het product moet de toepassing van duurzame energie met behulp van zonlicht bekender maken bij de consument zodat dit meer toegepast zal gaan worden • Het product moet het goede voorbeeld geven aan de rest van de omgeving waarin deze zich bevindt • *Wens*: Het product moet mensen aan het denken zetten over verstandiger om leren gaan met hun omgeving

	Technische gegevens (effectiviteit): • Het product moet zo optimaal mogelijk gebruik maken van de zonnestraling • Het product mag niet meer dan 50% van het totale oppervlak van de woning in beslag nemen • Het product moet een minimale elektriciteitsopwekking van 3000 kWh per jaar genereren • Het product moet een hoeveelheid warmte-energie van minimaal 10 GJ per jaar genereren • Het product mag maximaal 10 kg / m^2 zwaar zijn (exclusief bouwmaterialen voor de woning) • Het product moet intern temperaturen tot zo'n 350 °C kunnen weerstaan (afhankelijk van de toepassing) • Het product moet extern temperaturen tot zo'n 100 °C kunnen weerstaan (afhankelijk van de toepassing) • Het product moet zichtbaar en infrarood licht doorlaten • Het product moet een elektrisch rendement hebben van minimaal 20% • Het product moet een warmterendement hebben van minimaal 60 % (tapwater) • Het product mag maximaal 2 % van het invallende zonlicht reflecteren • Het product moet een levensduur hebben van minimaal 40 jaar • Het product moet een terugverdientijd hebben van maximaal 40 jaar
2 Productie	*Produceerbaarheid*: • Het product moet goedkoop te produceren zijn • Het product moet gemaakt kunnen worden met zoveel mogelijk standaard productietechnieken • Het product moet bestaan uit zoveel mogelijk goedkope, stevige materialen die gemakkelijk te verwerken zijn • Het product moet geschikt zijn voor massaproductie • Het product moet gemakkelijk te assembleren zijn • Het product moet uit zoveel mogelijk standaardonderdelen opgebouwd worden • Voor reparatiedoeleinden moet een aantal kritieke onderdelen die een hoge kans op mogelijke defecten bezitten, extra geproduceerd worden en dus ook op voorraad zijn • *Wens*: Bij aanpassing van het ontwerp van het product is de productielijn eenvoudig aan te passen
3 Distributie	*Distribueerbaarheid:* • Het product moet in een veilige, beschermende verpakking gehuld worden tijdens het distributieproces • Het verpakte product moet bestand zijn tegen schokken, schuiven en andere invloeden die bij distributie kunnen plaatsvinden • Het product mag niet beschadigen tijdens de distributie naar de klant • Het verpakte product moet het gewicht van een daarbovenop gestapeld ander product kunnen verdragen Het product moet gemakkelijk in- en uit te laden zijn
4 Gebruik	*Gebruiksgemak*: • Het product moet gebruiksvriendelijk zijn • Het product moet voor 99% van de gebruikers van duidelijk te bedienen en gebruiken zijn, zonder dat hierbij een handleiding bij benodigd is • Het product moet gemakkelijk in te stellen zijn naar de wensen van de gebruiker (interface) • Het product dient wooncomfort te leveren aan de gebruiker *Onderhoud, reparatie en service:* • Het product moet gemakkelijk te controleren, onderhouden en repareren zijn • Het product moet geleverd worden met een garantie van minimaal 20 jaar • Het product dient geleverd te worden met een geavanceerde reparatieservice die 24 uur per dag beschikbaar is • *Wens*: Het product moet zich op een toegankelijke plek bevinden zodat controle, onderhoud en reparatie zonder problemen kunnen plaatsvinden *Flexibiliteit, zelfstandigheid, modulariteit en intelligentie*: • Het product moet 24 uur per dag aanstaan • Het product moet zelfstandig kunnen functioneren, zonder dat dit onder toezicht van gebruikers hoeft te gebeuren • Het product moet intelligent zijn en zelf beslissingen kunnen nemen • Het product moet zich gemakkelijk kunnen aanpassen aan de wensen van de gebruiker • Het product moet zich eenvoudig kunnen aanpassen aan een veranderende omgeving • *Wens*: Aan het product moeten gemakkelijk nieuwe componenten toegevoegd kunnen worden die daarmee de functionaliteit uitbreiden of verbeteren • *Wens*: Het warmte- en elektriciteitsgebruik van de woning kan worden opgevraagd door de gebruiker om inzicht te verkrijgen in de energiehuishouding van het gebouw • *Wens*: Het product moet een oproepbare database hebben met verschillende parameters die zijn geregistreerd
5 Verwijdering	*Recyclebaarheid:* • Het product moet gemakkelijk te demonteren zijn • Het product moet gemakkelijk te recyclen zijn • Het product mag zo min mogelijk schadelijke stoffen bevatten • Binnen het product moeten de verschillende gebruikte materialen aangegeven worden m.b.v. merkjes, codes etc. • Het product moet voldoen aan de regels die gelden voor de recycling van zware metalen

Hoofdstuk 8: Verschillende concepten

Nu in het vorige hoofdstuk de nodige ontwerpanalyses zijn uitgevoerd (er is een functieanalyse gemaakt en een programma van eisen opgesteld) kan gekeken worden naar de mogelijkheden voor een nieuw zonenergetisch product dat nieuwbouwwoningen in 2030 energieneutraal kan maken. Om een begin te maken met dit creatieve proces is eerst een soort brainstormsessie gehouden waarbij het woord zonne-energie midden op een vel A3 is geschreven met daaromheen allerlei aspecten geschreven die bij mij naar binnen schoten. Een scan van dit brainstormvel is weergegeven in figuur 8.1.

Bij deze brainstorm zijn zeer veel termen opgeschreven die mogelijkerwijs ook maar iets met zonne-energie te maken zouden kunnen hebben. Zoals duidelijk te zien is, betreft het een zeer uitgebreid schema met allemaal woorden waarvan bij sommige niet eens duidelijk is wat de relatie tot zonne-energie zou kunnen zijn. Het is echter gebruikt als een soort bron van inspiratie om daarmee concepten te bedenken die in eerste instantie niet heel erg voor de hand zouden liggen. Verder moet opgemerkt worden dat er geen logische ordening van de woorden aanwezig is, en dat de woorden dus volledig willekeurig woorden op het vel papier zijn neergeschreven. Deze methode heeft een hoop inspiratie geboden voor het generen van concepten, waarmee op de hierop volgende pagina's in dit hoofdstuk is begonnen. In dit hoofdstuk zal dan ook de volgende hoofdvraag behandeld worden:

Welke concepten zijn te bedenken voor zonenergetische systemen in de toekomst?

Figuur 8.1: Het gebruikte spindiagram met daarin allerlei termen die op wat voor manier dan ook zijn gerelateerd aan het onderwerp zonne-energie

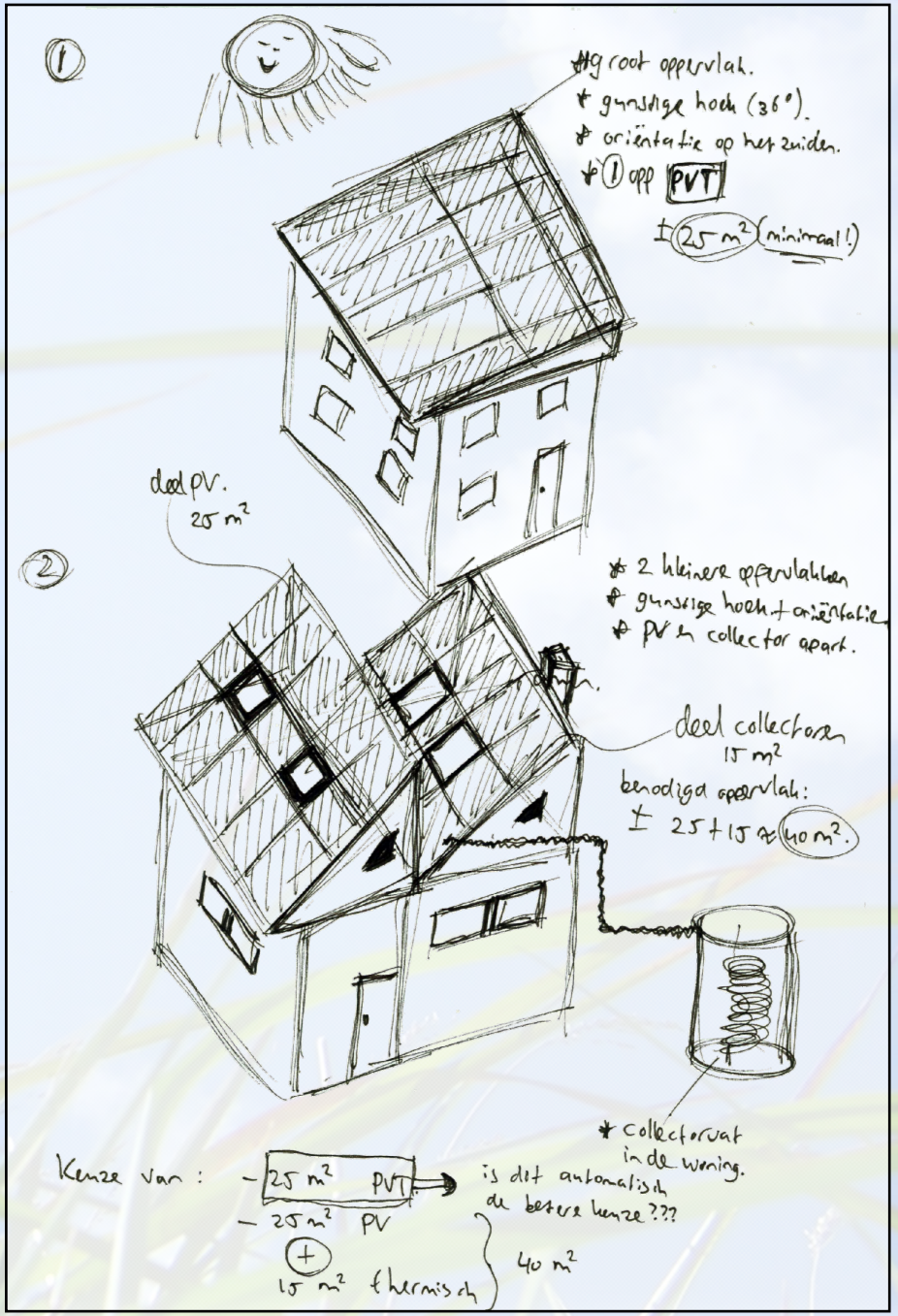
Concept A: Huidige technologie

De technologie die nu op dit moment al beschikbaar is, kan toegepast worden in één van de meest simpele concepten denkbaar; namelijk door het toepassen van de benodigde oppervlakte van een PV-thermisch systeem om de energieneutraliteit van een woning te bereiken. Dit is gedaan bij dit concept door bovenop een woning een oppervlak van 25 m^2 afgedekt PVT te plaatsen (zie ook de berekening van de geschatte benodigde oppervlakten in hoofdstuk 6), onder de meest voordelige hoek van 36 graden om daarmee de hoogst mogelijke instraling te garanderen. Uiteraard is er ook de mogelijkheid om niet te kiezen voor PVT, maar voor de toepassing van zonnecollectoren en PV apart naast elkaar. Hierbij geldt wel dat een groter oppervlak benodigd is: naast 25 m^2 PV voor het opwekken van de benodigde 3500 kWh elektriciteit voor de woning, is nog ongeveer 15 m^2 collector benodigd om aan de warmtevraag van woningruimten en tapwater te voldoen. Dit resulteert dus in een groter benodigd oppervlak van 40 m^2. Zoals gezegd komen de waarden van de gebruikte oppervlakken uit de berekeningen die in hoofdstuk 6 zijn uitgevoerd.

In eerste instantie lijkt het toepassen van een kleiner oppervlak PVT rendabeler, en qua oppervlak zal dit ook zeker zo zijn. Toch zijn er bepaalde voordelen te noemen voor het toepassen van collectoren en PV apart naast elkaar. Eentje hiervan is dat zonnecellen geen last hebben van verlies van rendement doordat ze niet blootgesteld worden aan hoge temperaturen in een afgedekte en geïsoleerde kast. Daarnaast kan bij aparte toepassing van beide technologieën, het materiaal van de absorber zo geoptimaliseerd worden dat er een hogere absorptie van warmte plaatsvindt. Dit is iets wat bij het toepassen van zonnecellen als absorber (bij PVT) minder gemakkelijk is omdat een laag zonnecellen nou eenmaal een mindere mate van warmteabsorptie tot gevolg heeft.

Wat betreft het gebruikte dakoppervlak, kan met de geschatte energiescenario's voor de toekomst met dit concept de woning gemakkelijk energieneutraal gemaakt worden. Er is echter een probleem wat optreedt bij dit (waarschijnlijk iets te simpele) concept; de warmteopslag. Deze vindt bij dit concept plaats in een groot collectorvat binnen de woning met daarin een grote hoeveelheid water (denk aan enkele duizenden liters). Dit vat kan in de zomer voldoende warmte opslaan om te gebruiken voor energiebehoevende processen in de woning, maar warmteopslag in de vorm van water voor toepassing in de winter (seizoensopslag) zal in dit concept maar in zeer beperkte mate mogelijk zijn. Bij volgende, meer geavanceerde en meer op moderne technieken toegespitste concepten zal dit probleem nader beschouwd worden.

Voordelen van dit concept zijn de toegankelijke technologie die nu al haalbaar is, en de relatief gemakkelijke toepassing op woningen. Daarnaast is er bij dit concept sprake van keuzevrijheid voor het toepassen van PVT enerzijds of het los gebruiken van PV panelen en zonnecollectoren anderzijds. Er zijn echter zwaarwegende nadelen zoals het ontbreken van een effectieve warmteopslag voor langere perioden tussen de seizoenen in. Het grootste probleem ligt hierbij in het feit dat water aan warmteverlies onderhevig is. Het totale concept is dan ook te simpel en te weinig vernieuwend om te voldoen aan de eisen van de gestelde energieneutraliteit in de toekomst.

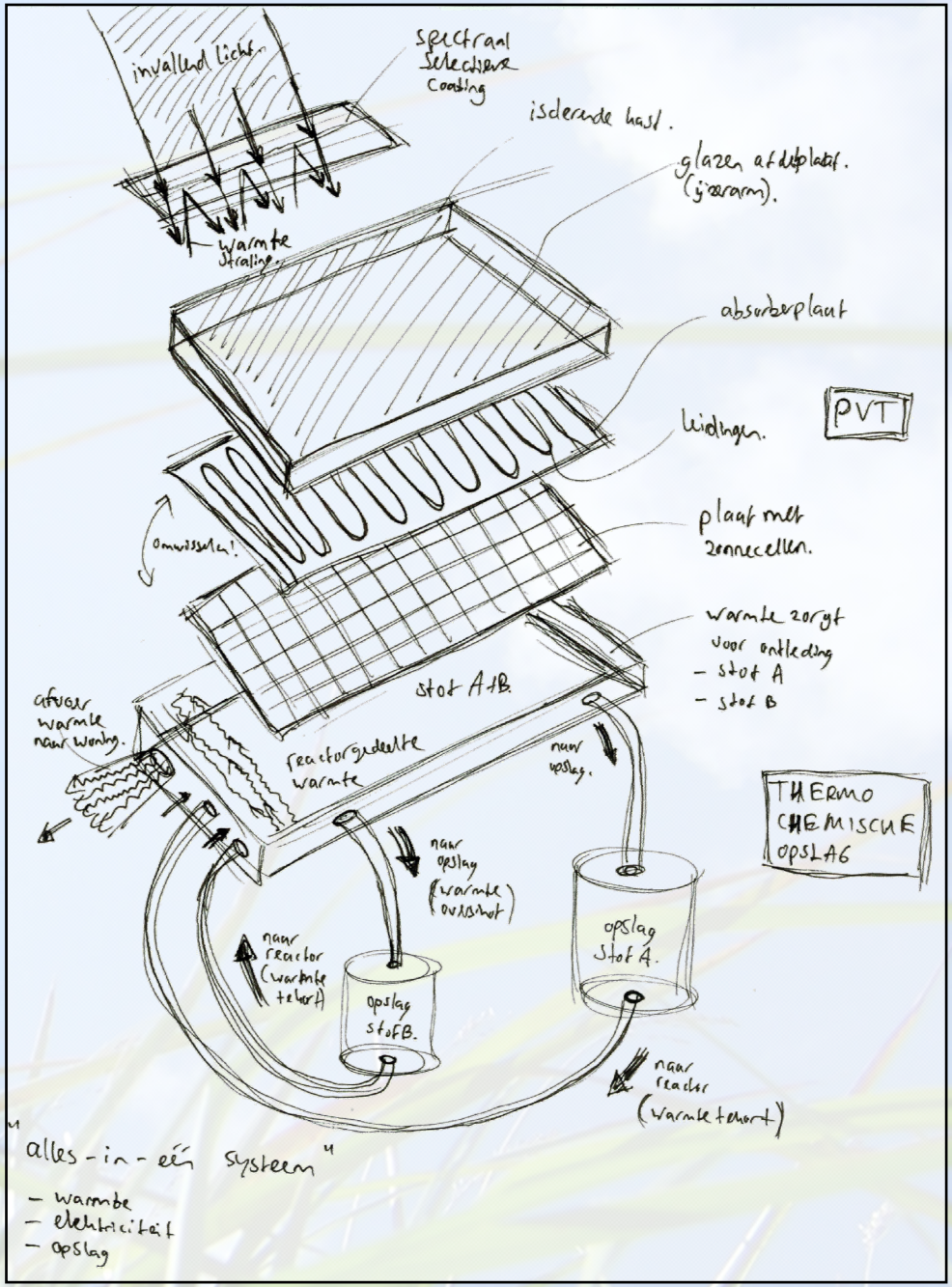


Concept B: PVT met warmteopslag in TCM

Waar het in concept A ontbrak aan de mogelijkheid tot het opslaan van warmte voor langere perioden, is hier bij concept B beter naar gekeken. In dit concept wordt uitgegaan van een systeem waarbij een thermochemisch opslagmateriaal (TCM) toegepast zal worden. Hiermee zal de extra beschikbare warmte die in de zomer beschikbaar is opgeslagen worden in een bepaald systeem, zodat deze warmte in de winter ingezet kan worden als er door een lagere omgevingstemperatuur en een lagere instraling op het systeem, warmte benodigd is voor de woning. Het idee hierbij is dat invallend zonlicht door een afdekkende, spectraal selectieve glaslaag van een PVT collector heengaat en op een absorber valt die is bedekt met zonnecellen, waardoor elektriciteit en warmte opgewekt wordt in de PVT collector. De spectraal selectieve glaslaag bovenop de isolerende kast van de collector zorgt hierbij voor het doorlaten van zonlicht naar binnen, maar voorkomt daarna (voor een deel) het naar buiten treden van straling met hogere golflengten (infrarood licht) zodat de opgevangen warmte binnen de isolerende kast blijft en kan worden gebruikt voor nuttige processen in de collector (bijvoorbeeld het verwarmen van de TCM).

De absorber (met daarop zonnecellen) vangt zoals uitgelegd de benodigde warmte op, en geeft deze warmte door aan de ruimte onder de absorber. Deze ruimte is een soort reactorvat, waar de opgevangen warmte wordt gebruikt voor het zogenaamde “droogstoken” van de TCM. Bij dit systeem is sprake van twee componenten van de TCM; de componenten A en B, die, wanneer deze samengevoegd worden, een nieuwe stof (C) vormen (dit is een samenstelling van A en B) waarbij warmte vrijkomt. De werking van thermochemische opslag is in hoofdstuk 5 nauwkeurig beschreven. Deze reactie vindt plaats in een apart reactorgedeelte, waarbij de warmte die vrijkomt, via een bepaald systeem wordt afgevoerd naar de woning (bijvoorbeeld een warmtewisselaar), waarna deze warmte gebruikt kan worden voor processen in de woning. De reactor onder de absorber wordt dus warm en deze warmte is benodigd voor het droogstoken van component C, zodat deze weer uiteenvalt in de losse componenten A en B. Deze cyclus is ook in de ontwerpschets van het concept te zien. Bij dit thermochemische opslagsysteem is component A meestal een vaste stof zoals magnesiumsulfaat, en component B meestal een stof als water of waterdamp. Wanneer deze twee componenten door de warmte in de reactor achter de absorber los van elkaar zijn gekomen, worden deze doorgevoerd naar hun eigen opslaggedeelten (in de tekening aangegeven met opslag A en B) waar ze blijven totdat ze benodigd zijn voor warmtebehoevende processen in de woning, wanneer de collectorwarmte niet voldoende is om hieraan te voldoen. Dit systeem heeft dus alles in één; zowel elektriciteit, warmte als de opslag hiervan is geregeld binnen één systeem.

De methode om warmteopslag te reguleren met behulp van een TCM is in dit concept globaal besproken, maar er zijn echter vele problemen die kunnen optreden bij de toepassing van een dergelijk systeem. Daarom wordt in een volgend concept op een schematische manier, nauwkeuriger gekeken naar de mogelijkheden van de toepassing van zo’n materiaal. Er zijn namelijk vele manier om een TCM systeem in te delen waardoor het interessant is om daar dieper op in te gaan met enkele schematische manieren in een concept. Het aantal reactoren, de manier waarop deze met elkaar verbonden zijn, hoe dit in de woning verwerkt is, etc. zijn allemaal aspecten die behandeld dienen te worden.



Concept C: Opslagsystemen met TCM's

In het vorige concept werd het idee van thermochemische opslag globaal uitgewerkt, maar zoals gezegd zijn er bij dergelijke systemen verschillende mogelijkheden om de opslag mogelijk te maken. Bij dit concept is onderzoek gedaan naar enkele van deze mogelijkheden door deze schematisch uit te tekenen en hier enkele kanttekeningen bij te maken. Bij dit concept is het de bedoeling om in een soort "warme bak" (een reactor) de TCM droog te stoken (oftewel de watermoleculen los van de niet-watermoleculen te halen) zodat componenten A en B los van elkaar opgeslagen kunnen worden in tank A en B zoals schematisch is getekend in concept C.

Wanneer warmte benodigd is in de woning, en deze niet aanwezig is via de collector, wordt aanspraak gemaakt op de TCM componenten A en B door deze samen te voegen in een reactor C; waar de reactie "A + B => C + warmte" kan plaatsvinden. De vrijkomende warmte kan naar een warmtewisselaar gevoerd worden, die vervolgens de distributie van de warmte binnen de woning reguleert. De gevormde component C (eigenlijk een soort "her te gebruiken" afvalproduct) zal vervolgens, wanneer deze volledig uitgereageerd is, opgeslagen worden in een volgende opslagtank D (in de figuur aangegeven als "tijdelijk vat"). Bij lage temperaturen van de collector (winter!) zal dit tijdelijke opslagvat van afvalproduct C dus steeds voller raken. Wanneer echter de temperatuur in de collector weer hoog genoeg is voor de reactie die benodigd is om C droog te stoken naar componenten A en B, zal het product naar de "warme bak" (de reactor) onder de absorber worden getransporteerd en is het totale kringetje rond! De vraag hierbij blijft hoeveel reactoren in totaal nodig zijn om de totale reactie probleemloos te laten verlopen. In dit concept is echter gekozen voor vijf reactoren, wat een veelgebruikte methode is bij dergelijke TCM opslagsystemen (ECN).

Wanneer een dergelijk systeem voor warmteopslag wordt gebruikt is er in totaal sprake van 3 onderdelen die in één systeem worden geïntegreerd:

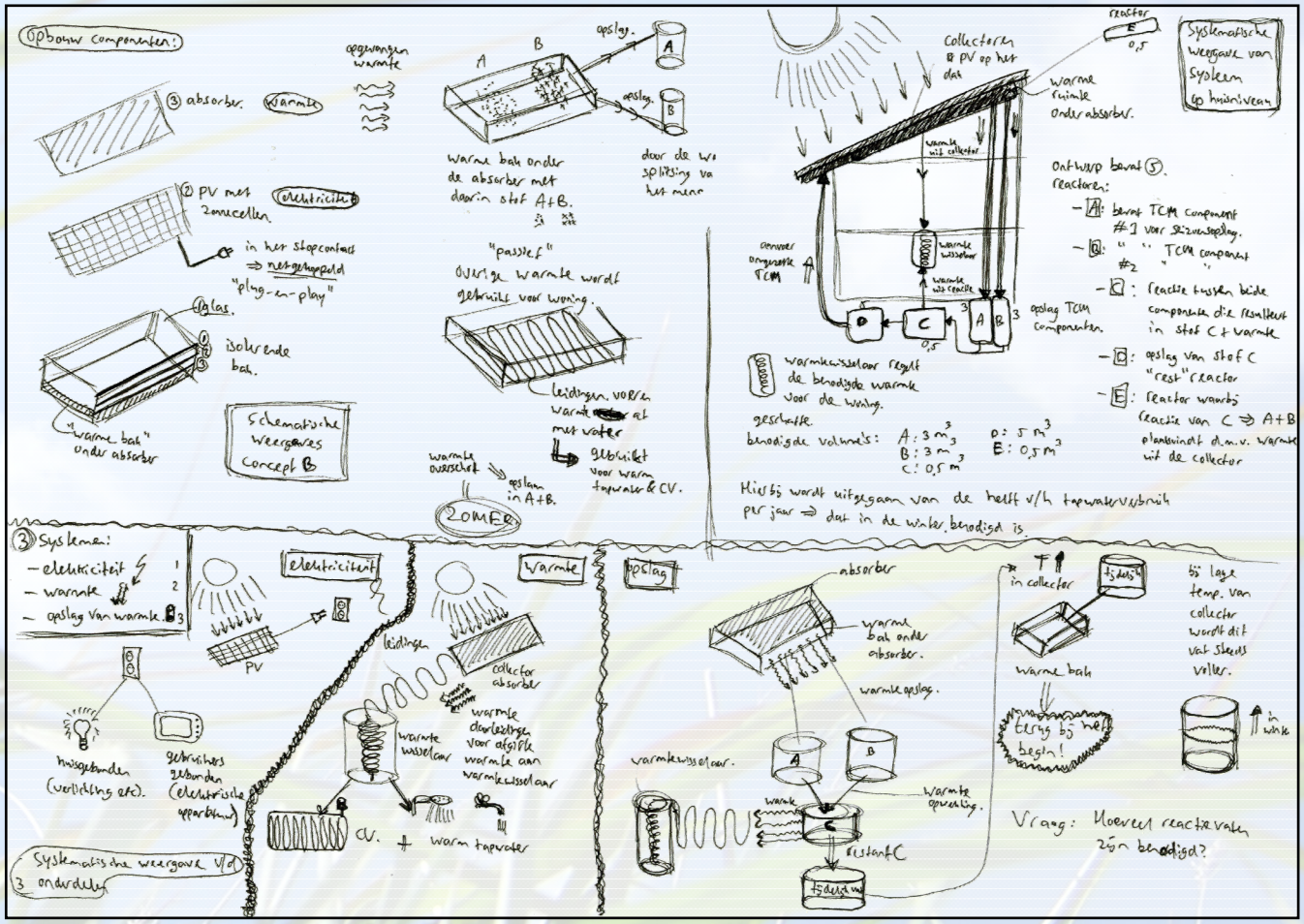
1) Elektriciteit die wordt opgewekt met PV panelen
2) Warmte die wordt opgevangen met zonnecollectoren
3) De opslag van de warmte die plaatsvindt met het hierboven beschreven systeem

De helft van het jaar zal echter totaal geen aanspraak gemaakt hoeven te worden op de TCM, en kan er simpelweg voldaan worden met de eerste twee principes; zoals deze tegenwoordig ook worden gebruikt. Elektriciteit kan met netgekoppelde PV modules simpelweg aan het net geleverd worden en de opgewekte energie kan daarna van het verbruik worden afgetrokken. Op deze manier loopt de meter in de meterkast als het ware terug. Wat betreft warmte is in de zomer voldoende warmte in de collector beschikbaar die ook gebruikt kan worden voor het verwarmen van woonruimten (CV) en het verwarmen van tapwater (naast het uitstoken van de TCM als voorbereiding op de winter). In de zomer wordt de warmte die beschikbaar is in de collector dus zowel gebruikt voor warmtebehoevende processen in de woning als voor het droogstoken van de TCM.

Op het niveau van een totale woning geeft dat een schema dat er zo uitziet als rechtsboven in de conceptschets is weergegeven. Hierbij zijn in totaal 5 tanks benodigd met de volgende functies:

A) Het opslaan van TCM component #1
B) Het opslaan van TCM component #2
C) Het laten plaatsvinden van de reactie "A + B => C + warmte"
D) Het opslaan van het "restproduct" C
E) Het droogstoken in de "warme bak", oftewel de reactor voor de omgekeerde reactie "warmte + C => A + B"

De groottes van deze tanks zijn aangegeven in de figuur en zijn in de orde grootte tussen de 5 en 0,5 m^3, wat betekent dat er nog aardig wat ruimte benodigd is om deze tanks kwijt te kunnen! Voor het kwijtraken van deze tanks is nu gekozen om dit in de kruipruimte onder de woning te doen.

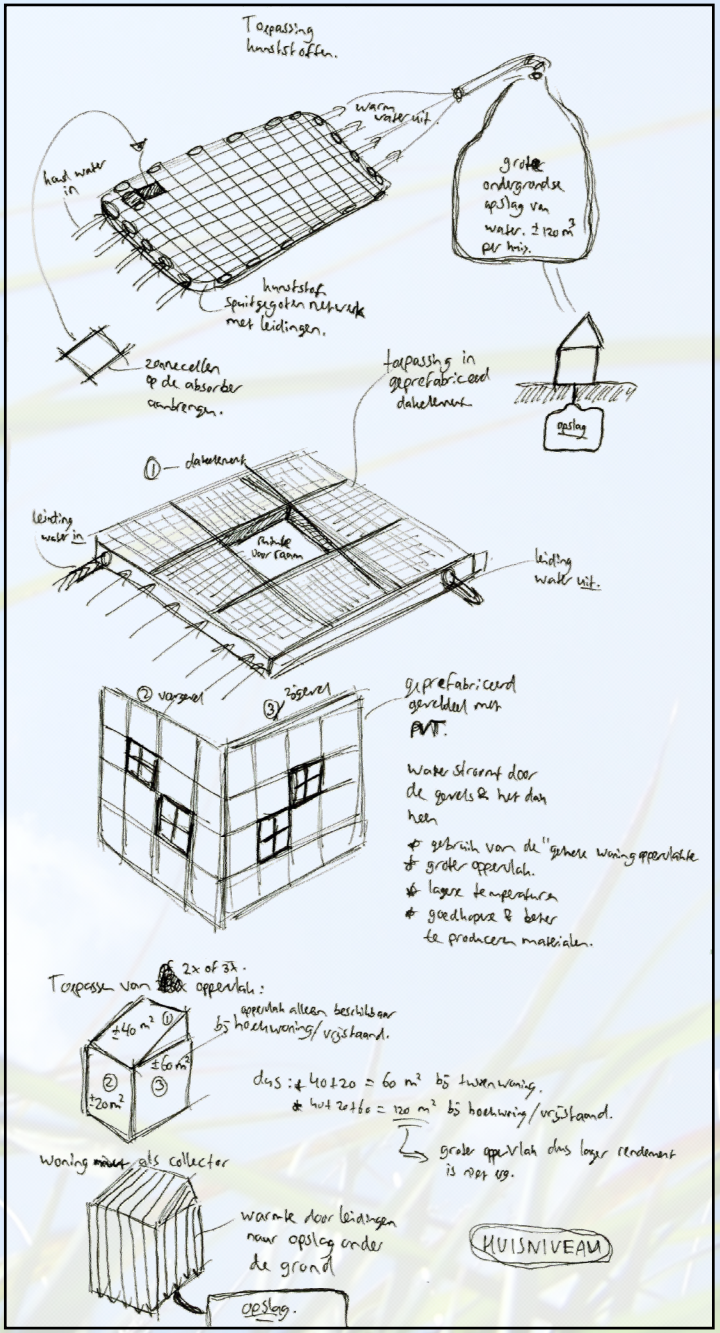


Concept D: Toepassing kunststoffen

Huidige zonnecollectoren gebruiken vaak dure materialen voor de absorbers en leidingen zoals koper, aluminium etc. Daarom is in dit concept nagedacht over de mogelijkheden van goedkopere materialen bij zonnecollectoren. Het idee hiervan wordt ook enigszins toegepast bij zwembadcollectoren. Een kunststof spuitgegoten absorber, met daarin standaard al een netwerk met leidingen verwerkt, is bedekt met zonnecellen die aangebracht zijn bovenop de absorberlaag. Door het leidingen netwerk stroomt koud water aan de ene kant de absorber in, wat vervolgens verwarmd wordt door de collector, waarna het verwarmde water er aan de andere kant weer uit kan en benut kan worden voor enerzijds warmte behoevende processen in de woning en anderzijds voor grootschalige opslag in een tank onder het huis waarin seizoensopslag mogelijk wordt gemaakt. Doordat deze tank zich diep onder de grond bevindt en goed geïsoleerd is, zal het water hierin lang dezelfde hoge temperatuur behouden aangezien omgevingsinvloeden hierbij weinig zullen optreden (de bodemtemperatuur zal ongeveer hetzelfde blijven).

Wat betreft deze opslagmethode is wel een zeer groot volume tank benodigd per huishouden; zo'n 120 m^3 water zal minimaal benodigd zijn om de woning volledig van energie te kunnen voorzien in de winter, wanneer de zon het grotendeels af laat weten (deze waarde is ook weergegeven in figuur 5.10 in hoofdstuk 5). Een nadeel ten opzichte van dit, overigens tegenwoordig al toegepaste principe (weliswaar op grotere schaal) is de groot benodigde opslagruimte, en het feit dat er warmteverlies optreedt, wat bij toepassing van bijvoorbeeld een thermochemisch materiaal niet zo zou zijn.

Dit grootschalige principe zal bovendien pas echt nut hebben wanneer het zonnesysteem toegepast wordt op een zo groot mogelijk buitenoppervlak van de woning, aangezien er zeer veel water verwarmd zal moeten worden, en de behaalde temperaturen hierbij relatief laag zullen zijn. Daarom is het idee bij dit concept om grote geprefabriceerde dak- en gevelelementen te maken waarin deze kunststof absorbers met daarbovenop een laag zonnecellen zitten "gebakken" en er dus als het ware warm water door de muren en het dak van de woning zal stromen. De toepassing van dergelijke grote bouwelementen zorgt hiermee voor een uitbreiding van het beschikbare oppervlak van een woning met zo'n 50% bij een tussenwoning (wanneer de zuidgevel wordt gebruikt) tot zo'n 100% bij een hoek- of vrijstaande woning (dit is ook weergegeven in de schets). Het lagere rendement als gevolg van de kunststof absorbers is hiermee dus minder op de voorgrond tredend zoals in de tekening ook duidelijk wordt gemaakt.



Concept E: Transparant PVT

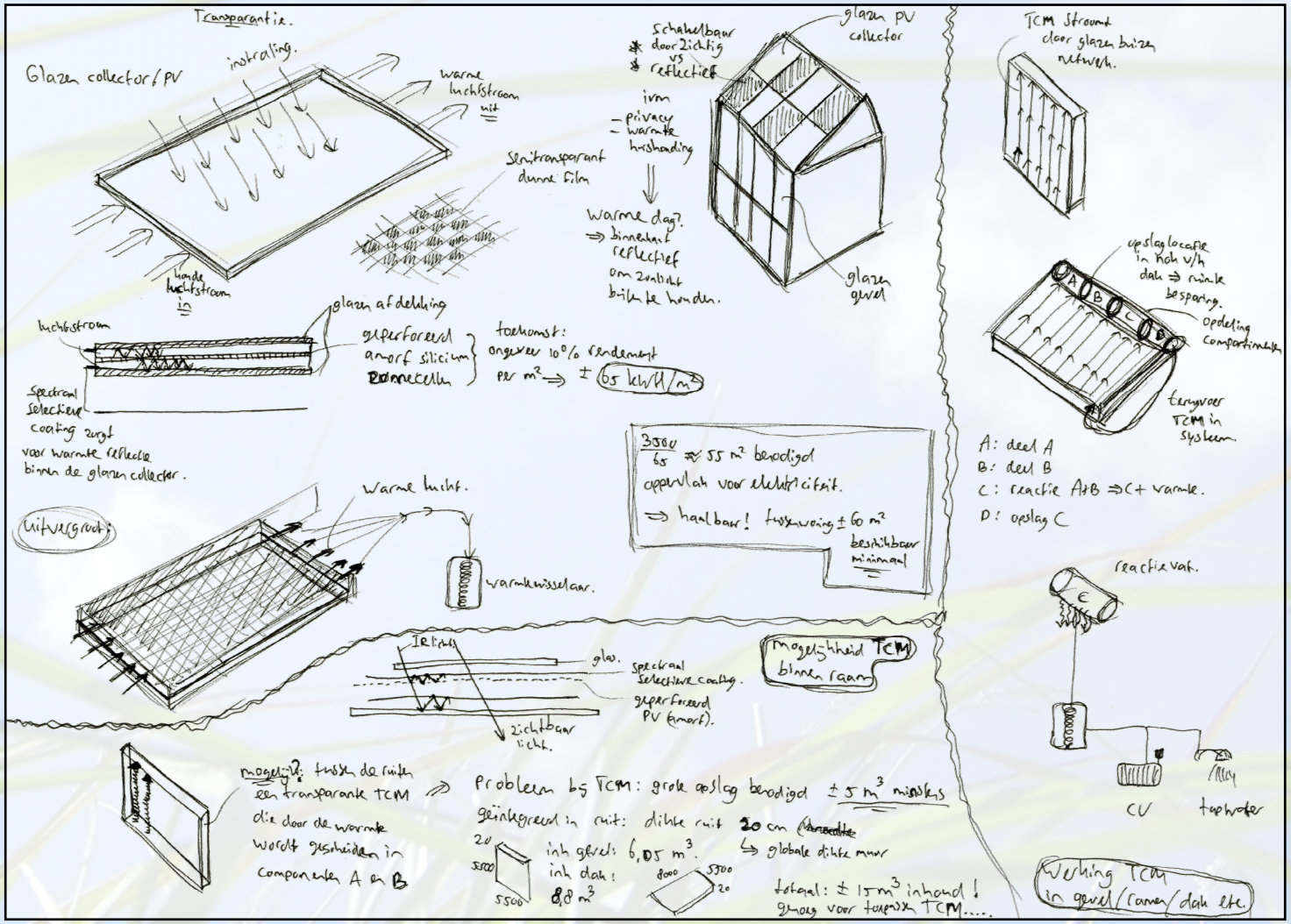
Het idee bij dit concept is om een geheel transparant product te verkrijgen, zodat deze gebruikt kan worden in de woning als beglazing in gevels of het dak. Door een laag dik glas aan de binnen- en buitenkant te plaatsen, waartussen zich een bepaald volume bevindt, kan binnen dit raam een soort langzaam verplaatsende luchtstroom plaatsvinden die, doordat er zonlicht door het glas heen valt, geleidelijk aan warmer wordt. Doordat aan de binnenkanten van beide glaslagen spectraal selectieve lagen zijn aangebracht, blijft een groot deel van de warmte binnen dit glazen circuit. Deze warme luchtstroom kan dan gebruikt worden voor ruimteverwarming in de woning, of andere processen die warmte nodig hebben door deze warmte naar een warmtewisselaar te geleiden.

Binnen de twee glazen platen zit ook een deel amorf silicium wat geperforeerd is zodat het raam (deels) doorzichtig is. Dit gebruikte dunne film PV heeft weliswaar een lager rendement (een grove schatting voor het jaar 2030 is ongeveer 10%), maar vanwege de doorzichtigheid, kan deze transparante PVT collector gebruikt worden voor zowel de gevel en het dak, waardoor toepassing van een groot oppervlak mogelijk is. Een snelle rekensom geeft aan dat een oppervlakte van 60 m^2 van dergelijke dunne film PV, voldoende zal zijn om aan de gemiddelde vraag van 3500 kWh te voldoen.

Een idee wat hierbij ook aan de orde komt is het toepassen van een soort schakelbare, lichtdoorlatende of reflectieve laag aan de binnenkant van de woning, waardoor de gebruiker kan kiezen of het gedeelte doorzichtig is of transparant. Dit is een optie die wenselijk is in verband met privacy, maar kan ook nuttig gebruikt worden bij zeer warme dagen als een soort zonnewering. Rechtsboven is te zien hoe deze glazen collectoren, onderling aan elkaar te schakelen zijn en te integreren zijn in één woning, zodat een soort glazen huis het resultaat is.

Nog verder gaat het idee om binnen deze glazen gedeelten, een (eveneens transparant) thermochemisch opslagmateriaal te laten lopen (bijvoorbeeld via een glazen buizen netwerk), welke gebruikt kan worden als buffer op momenten waar warmte benodigd is, maar de zon niet schijnt. De opslag van de verschillende TCM componenten zou bijvoorbeeld in de nok van het dak plaats kunnen vinden met daarin een netwerk van aan elkaar gekoppelde opslagvaten en reactoren (deze methode van TCM opslag in de nok komt in latere concepten nog aan de orde).

Het is echter de vraag of een dergelijk systeem haalbaar is. Ten eerste omdat de benodigde temperaturen bij TCM uitstook relatief hoog zijn, en ten tweede omdat er een grote inhoud van enkele kubieke meters benodigd is voor de opslag van het TCM materiaal. Een snelle rekensom geeft echter dat bij een ruimte tussen de glazen wanden van ongeveer 0,2 m, een gevelgedeelte van 5,5 x 5,5 m en een dakgedeelte van 8 x 5,5 m, er een totale inhoud van zo'n 15 m^3 wordt behaald wat theoretisch voldoende inhoud zou moeten zijn voor toepassing van thermochemische opslag. Er zijn echter bijna geen materialen te bedenken die een thermochemische reactie met zich meebrengen die transparant zijn, en aan de gestelde eisen voldoen voor toepassing binnen de doorzichtige gedeelten van woningen. Het idee van de doorzichtige gevel/dakdelen is realistischer, maar het inbrengen van een TCM zal zeer lastig zijn.

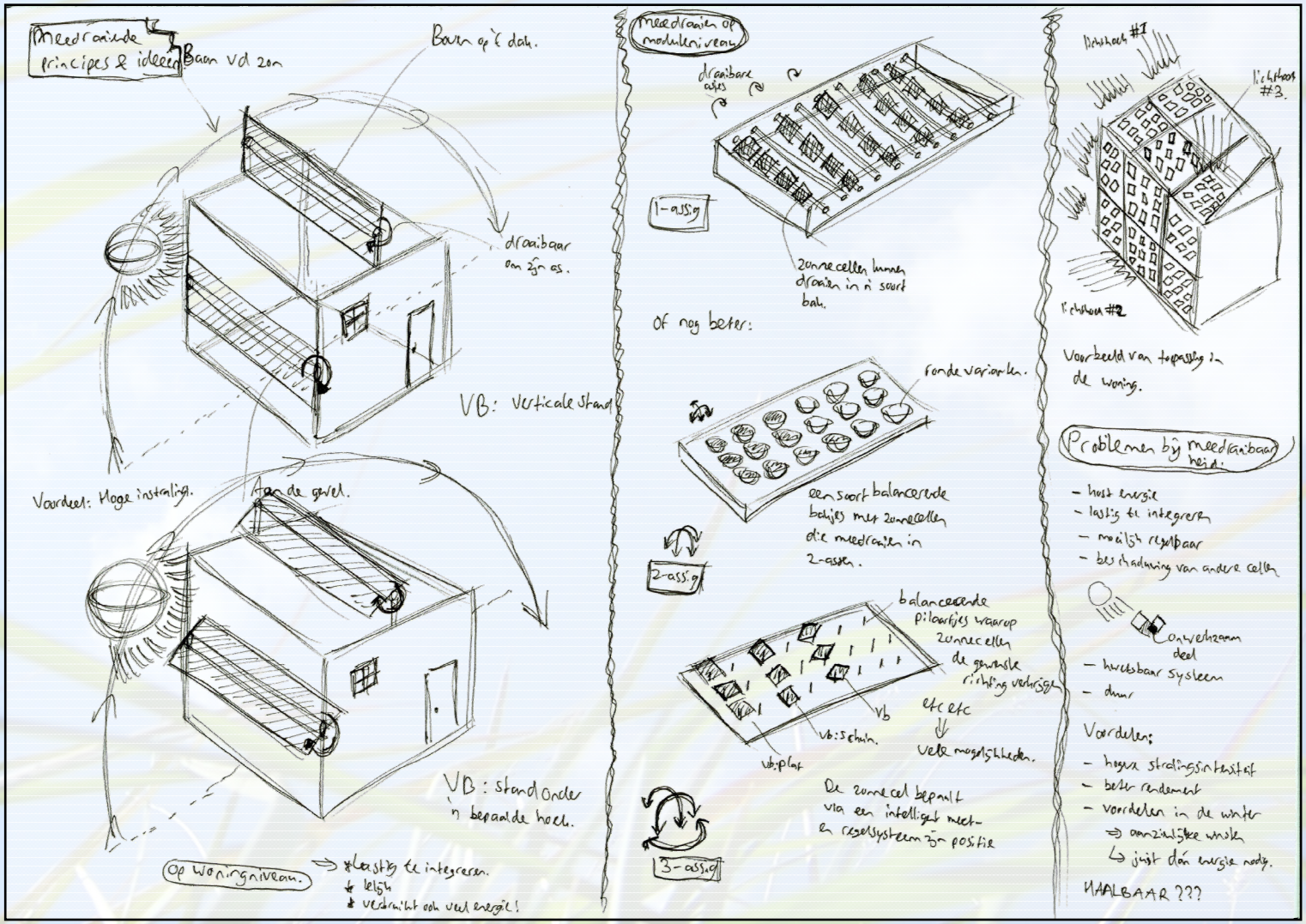


Concept F: Meedraaiende panelen

Bij dit concept wordt gekeken naar de mogelijkheden van het laten meedraaien van onderdelen van het zonenergetische product met de zon. Het doel hiervan is om met dit principe een hogere instraling per vierkante meter te verkrijgen. Allereerst kan het meedraaiende principe plaatsvinden op het niveau van de totale woning, waarbij complete modules meebewegen met de baan van de zon. Het gemakkelijkste om dit toe te passen is om slechts één draaibare as te maken, waarmee al een groot deel van de instraling (vooral in de winter) extra opgevangen kan worden. In de winter staat de zon namelijk erg laag, wat voor de panelen zal betekenen dat deze een (bijna) verticale stand zullen hebben. In vergelijking met vaste panelen onder een hoek, geeft dit een verbetering van instraling, juist op het moment dat deze instraling cruciaal is, aangezien in de winter de woning extra verwarmd zal moeten worden. Nadelen van dergelijke draaibare systemen zijn de lastige integratie in een woning, een niet zo'n mooie uitstraling (het product wordt zomaar op het dak gezet) en daarnaast het probleem dat het draaien van de panelen in de goede richting ook energie verbruikt en bovendien kwetsbaar is (er kunnen gemakkelijk dingen aan kapot gaan).

Het is daarom interessant om ook eens op moduleniveau te kijken naar enkele meedraaiende mogelijkheden. Hierbij zal het product zelf stil blijven staan, maar zullen de kleine componenten hiervan (in dit geval de zonnecellen) meebewegen. Hierbij kan gedacht worden aan verschillende, steeds geavanceerdere systemen met meerdere vrijheidsgraden voor de zonnecellen. Allereerst is een soort bak getekend waarbij de cellen bevestigd zijn aan een as die rond kan draaien. Op deze manier hebben de cellen één vrijheidsgraad. Een probleem dat bij zo'n systeem (en ook bij andere draaibare zonnecelletjes) kan optreden, is het probleem van beschaduwing van cellen door de cellen die daarvoor liggen. Dit betekent dat tussen de cellen een bepaalde afstand aanwezig moet zijn om deze beschaduwing zo min mogelijk te maken, waardoor een minder dicht oppervlak beschikbaar zal zijn.

Een andere manier die in dit concept bedacht is om de draaibaarheid van zonnecellen te verkrijgen is het maken van een soort "balancerende bakjes". Deze kunnen in 2 assen bewegen en zijn daarom wat flexibeler wat betreft de positie. In de tekening zijn deze cellen als rond weergegeven, maar deze kunnen uiteraard elke andere gewenste vorm aannemen. Een 3e mogelijkheid is om de zonnecellen op een soort balancerende pilaartjes te maken, waarbij de cellen in nog meer richtingen kunnen bewegen, en daarmee de volledige gang van de zon kunnen volgen en de instraling dus altijd optimaal gehouden kan worden. Het is echter problematisch hoe een dergelijk systeem aangestuurd zou moeten worden. In de kleine afbeeldingen rechts is ten slotte te zien hoe deze principes zouden werken op het niveau van de gehele woning. Hierbij zijn verschillende standen van de cellen getekend, waarbij de cellen optimaal worden ingesteld voor een bepaalde hoek van de lichtinval van de zon.

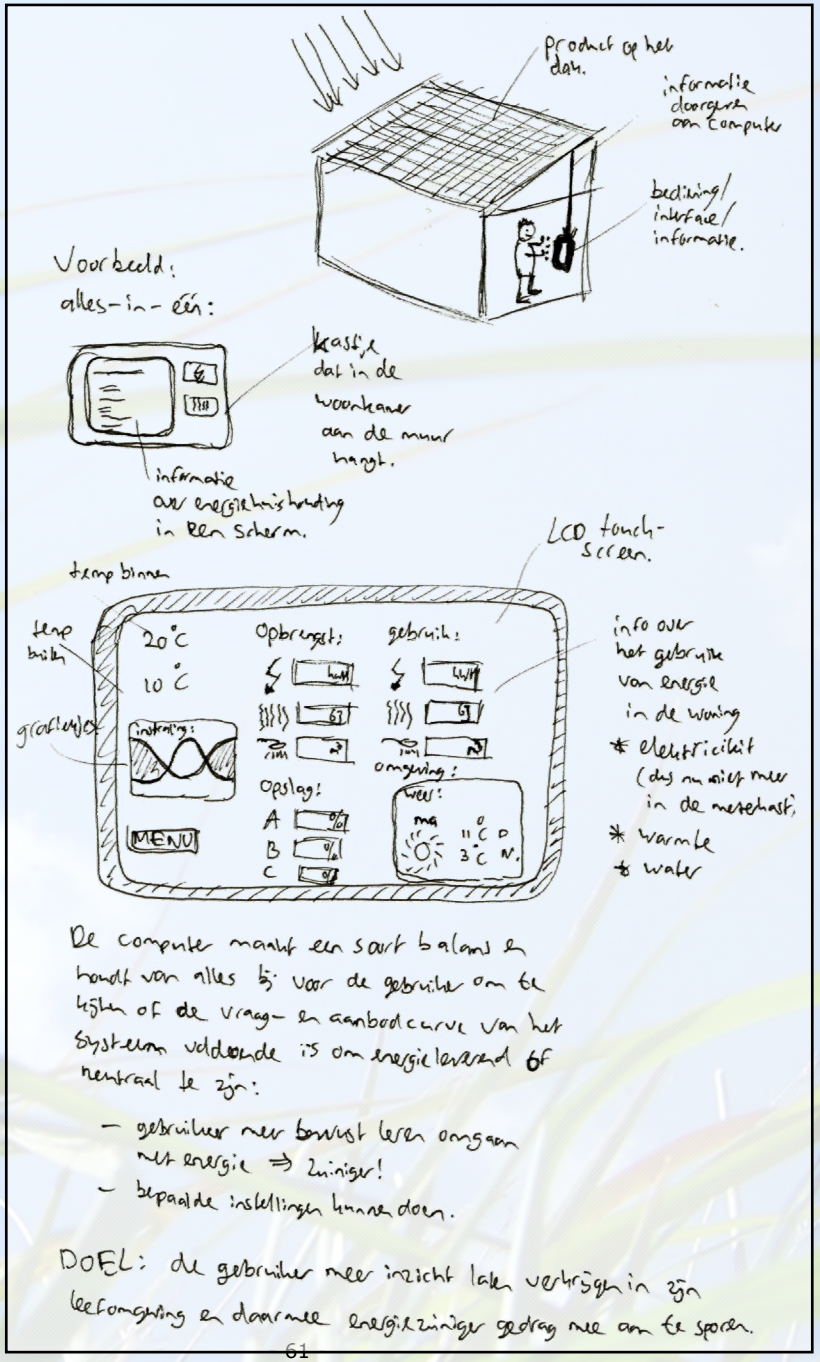


Concept G: Intelligent computersysteem

Bij dit concept werd geredeneerd vanuit de bewustmaking van de gebruiker van zijn of haar energiegebruik binnenin de woning. Het idee hierachter is dat wanneer een gebruiker precies kan zien hoeveel energie wordt verbruikt binnen de woning, de gebruiker bewuster wordt van zijn of haar energieverbruik en daardoor ook zuiniger wordt met het gebruiken van energie.

Het concept bestaat uit een geavanceerd computersysteem dat in de woonkamer (en eventueel op meerdere, andere locaties in het huis) komt te hangen aan de muur, waarop de energiehuishouding binnenin de woning nauwlettend in de gaten gehouden kan worden. Er zal daarbij informatie verstrekt worden over omgevingfactoren zoals het weer, de temperatuur, luchtvochtigheid, instraling van de zon, etc. Daarnaast is nauwkeurig te zien wat de opbrengst van het zonnesysteem is, zowel qua elektriciteit als warmte, en hoe het staat met (indien van toepassing) eventuele voorraden van thermochemische opslagmaterialen of andere opslagmogelijkheden die te maken hebben met de seizoensopslag van warmte. Naast de opbrengsten is daarnaast ook te zien wat het gebruik aan energie in de woning is, waarbij een opdeling gemaakt wordt in de 3 primaire soorten energievragen: elektriciteit, ruimteverwarming en verwarming van tapwater. Op deze manier kan de gebruiker zijn opwekking- en verbruikspatroon zien, en zich meer bewust worden van bepaalde processen die veel energie kosten, en daardoor misschien zuiniger gaan handelen wat betreft zijn energieverbruik binnenin het huishouden.

Naast het systeem waarbij allerhande informatie wordt bijgehouden en weergegeven, is het ook mogelijk bepaalde instellingen te doen voor andere processen in de woning. Het moet dus een soort integraal sturend systeem zijn waarmee alle processen binnen de woning aangestuurd kunnen worden; d.w.z. het instellen van de kamertemperatuur, luchtvochtigheid, belichting, zonnewering etc. Dit computersysteem kan bijvoorbeeld bestaan uit een kastje met een LCD touchscreen, waar vervolgens met behulp van aanraking van het scherm informatie opgevraagd kan worden en instellingen worden veranderd.



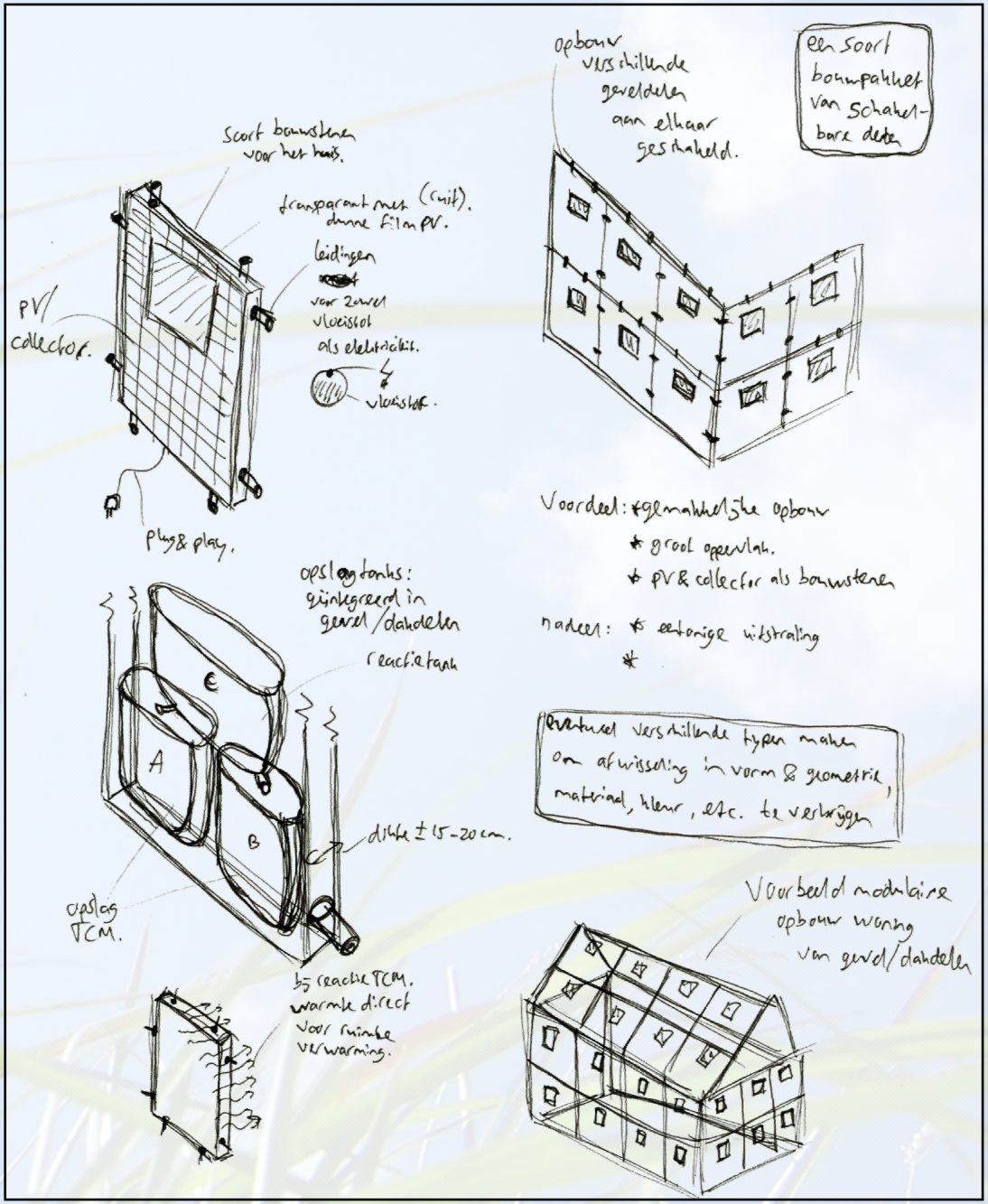
Concept H: Schakelbare dak/gevel delen

Vanuit het toekomstscenario van het jaar 2030 gedacht, is ook een concept bedacht met een soort "alles-in-1" functie wat betreft het opvangen van elektriciteit, warmte en het regelen van warmteopslag in één bouwelement voor een woning. Dit idee komt een beetje vanuit de voorspelling van het Holland Solar toekomstscenario waarin gezegd wordt dat in de toekomst onderdelen met PV erin als bouwstenen voor de woningen gebruikt kunnen gaan worden. Wanneer hiermee iets verder door wordt gedacht kan ook een bouwelement met, naast PV, ook collectoren en warmteopslag ontworpen worden. Dit idee is in dit concept verder uitgewerkt.

Het idee is om een soort standaard bouwstenen voor woningen te maken, waarbij het oppervlak bestaat uit een oppervlak bedekt met zonnecellen, waaronder zich een absorber bevindt die warmte uit zonnestraling kan opnemen. Deze warmte wordt dan direct gebruikt voor de verwarming van de woning, en eventueel doorgegeven aan een warmtewisselaar. Tussen de wanden van het bouwelement zijn opslagtanks gebouwd voor thermochemische opslag. In één bouwelement is dus zowel de absorptie van warmte geregeld in een collector, de opwekking van elektriciteit door het bekleden van de buitenwand met PV, en het creëren van warmteopslag door middel van toepassing van een TCM. Zoals te zien is, kunnen verschillende bouwonderdelen op elkaar aangesloten worden zodat een netwerk ontstaat, wat gemakkelijk modulair is uit te breiden. De leidingen fungeren hierbij zowel voor de doorvoer van warmte (via bijvoorbeeld water of de TCM), als een verbindingselement tussen de verschillende onderdelen. In deze leidingen loopt ook de elektrische bedrading van de PV panelen.

Ook is er de mogelijkheid om ramen in de elementen te integreren door gebruik te maken van dik dubbel glas, waarbinnen zich, om het oppervlak toch nog energetisch nuttig te gebruiken, geperforeerd dunne film PV bevindt. Op deze manier kunnen bouwelementen gemaakt worden die voldoen aan zowel isolatie- en gebruikerswensen zoals doorzichtigheid om naar buiten te kunnen kijken. Rechtsboven is een voorbeeld te zien van een mogelijke aaneenschakeling van dergelijke bouwelementen in een woning. Dit ziet er erg eentonig uit, maar door meerdere, variërende typen van deze bouwelementen te maken (met variatie in type, grootte, kleur, materiaal etc.), wordt de woning een soort "duurzaam energie bouwpakket".

Een voordeel van een dergelijk idee is de mogelijkheid om gemakkelijk verschillende onderdelen op elkaar aan te sluiten, en daarmee een modulaire opbouw van elementen mogelijk te maken. Daarnaast kan deze technologie gebruikt worden om grote oppervlakken mee te bedekken, aangezien zowel de gevel als het dak mogelijkheden bieden om opgebouwd te worden uit deze bouwstenen. Er zijn echter ook enkele optredende problemen te noemen, omtrent de temperaturen die behaald moeten worden voor het toepassen van TCM's en het reguleren van de stroom van TCM's, die dit concept twijfelachtig maken. Toch is het een idee dat voor de (misschien verdere) toekomst mogelijkheden zou kunnen bieden!



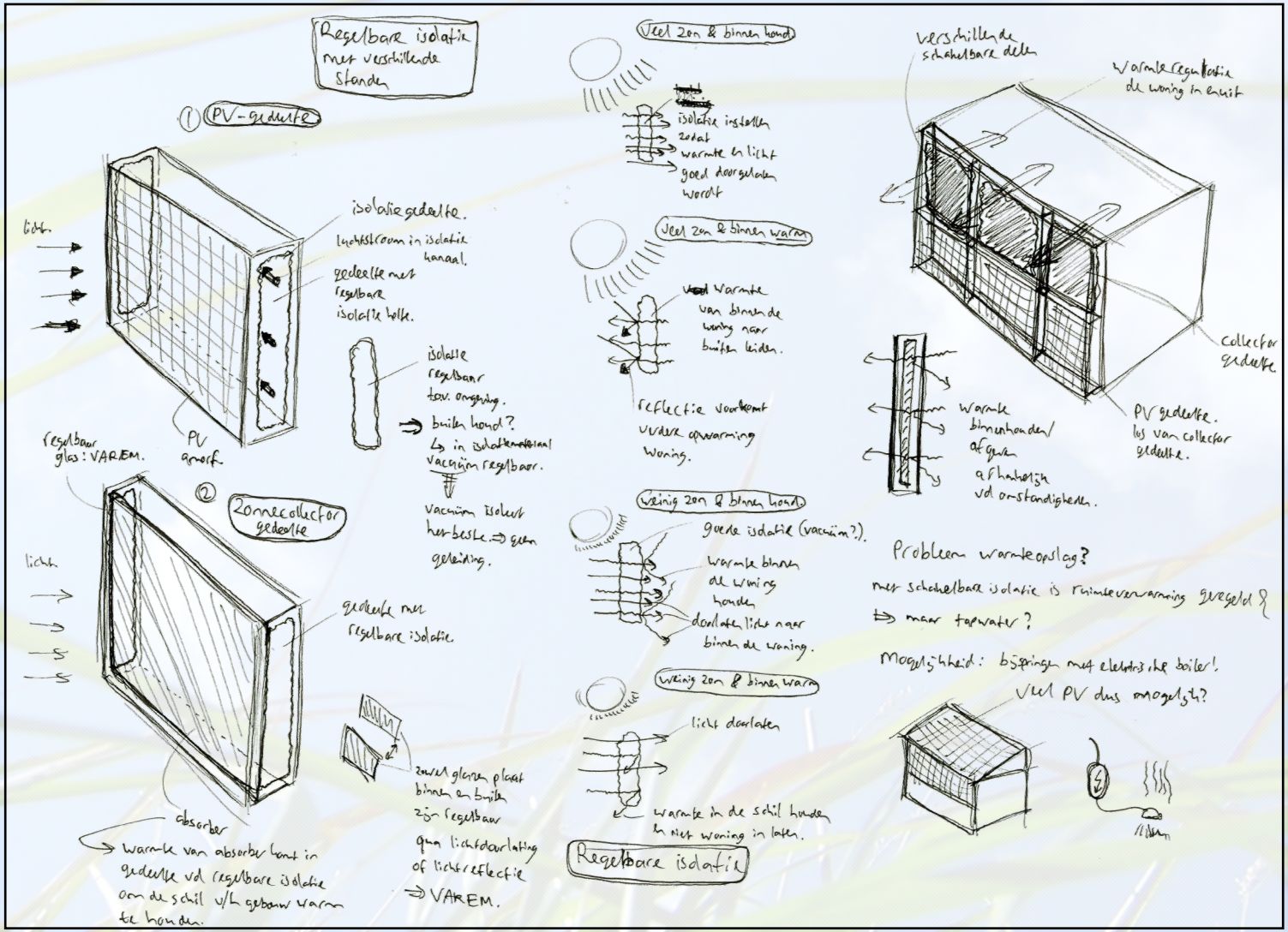
Concept I: Regelbare isolatie

Bij dit concept is het idee dat de buitenkant van de woning bestaat uit een gedeelte met daartussenin een ruimte, waarin de isolerende eigenschappen van het wandgedeelte geregeld kunnen worden door middel van het aanpassen van de eigenschappen van de lucht die door deze holte heen stroomt. Door de ruimte tussen deze schotten in, vacuüm te maken, zal een zeer goede isolatie gecreëerd worden die gewenst is wanneer de temperatuur binnen de woning goed is, en die aan de buitenkant veel hoger of lager. Wanneer de binnentemperatuur echter te hoog of te laag is, kan er lucht toegevoerd worden tussen de twee wanden zodat er uitwisseling tussen de binnen- en buitenkant van de woning kan plaats vinden door geleiding. Dit principe is een beetje te vergelijken met het wonen in een soort "thermoskan". Ook kunnen ventilerende mogelijkheden toegepast worden.

De binnen- en buitenkant van deze isolatiedelen bestaan uit glazen platen. Voor de totale woning zijn twee typen isolatiebouwstukken benodigd; isolatiestukken met geïntegreerd semitransparant PV waarmee elektriciteit opgewekt kan worden en stukken die werken als zonnecollectoren (deze zijn niet transparant aan de binnenkant vanwege de absorber die aanwezig is in het onderdeel). Bij beide typen is er sprake van een intelligent geregelde isolatie aan de binnenkant. In de ruimten tussen de schotten in stroomt lucht die wordt opgewarmd door de collectordelen. Deze warme lucht creëert een soort warme schil van het gebouw en zorgt ervoor dat er qua ruimteverwarming geen energie meer benodigd is voor de totale woning.

Rechtsboven is te zien hoe dit eruit kan zien bij toepassing in een gevelwand, waarbij zich aan de bovenkant collectoren bevinden, die dus niet transparant zullen zijn, en aan de onderkant een PV gedeelte, wat regelbaar transparant is met behulp van de zogenaamde VAREM technologie (zie ook hoofdstuk 5). Op deze manier kan bij warme dagen de gevelwand volledig donker of reflecterend geschakeld worden zodat er een vermindering van de opwarming van de woning optreedt doordat het zonlicht op deze manier de binnenvertrekken niet bereikt.

Een probleem bij dit systeem is dat er niet echt een warmteopslag mogelijk is vanwege de beperkte temperaturen die worden opgewekt door alleen de toepassing van een warme stroom in de isolatieonderdelen. Om warm tapwater te kunnen garanderen zijn echter temperaturen tussen de 60 en 70 graden benodigd, wat niet haalbaar is met dit concept. Daarom is het idee om met behulp van meerdere PV panelen (een zo groot mogelijk oppervlak), het overschot aan elektriciteit wat zo wordt opgewekt, toe te passen om hiermee warm tapwater te verkrijgen via een elektrische boiler. Dit is echter een minder efficiënte methode, maar zou in de toekomst best kosteneffectief kunnen zijn aangezien PV dan een veel lagere kostprijs heeft dan nu het geval is.



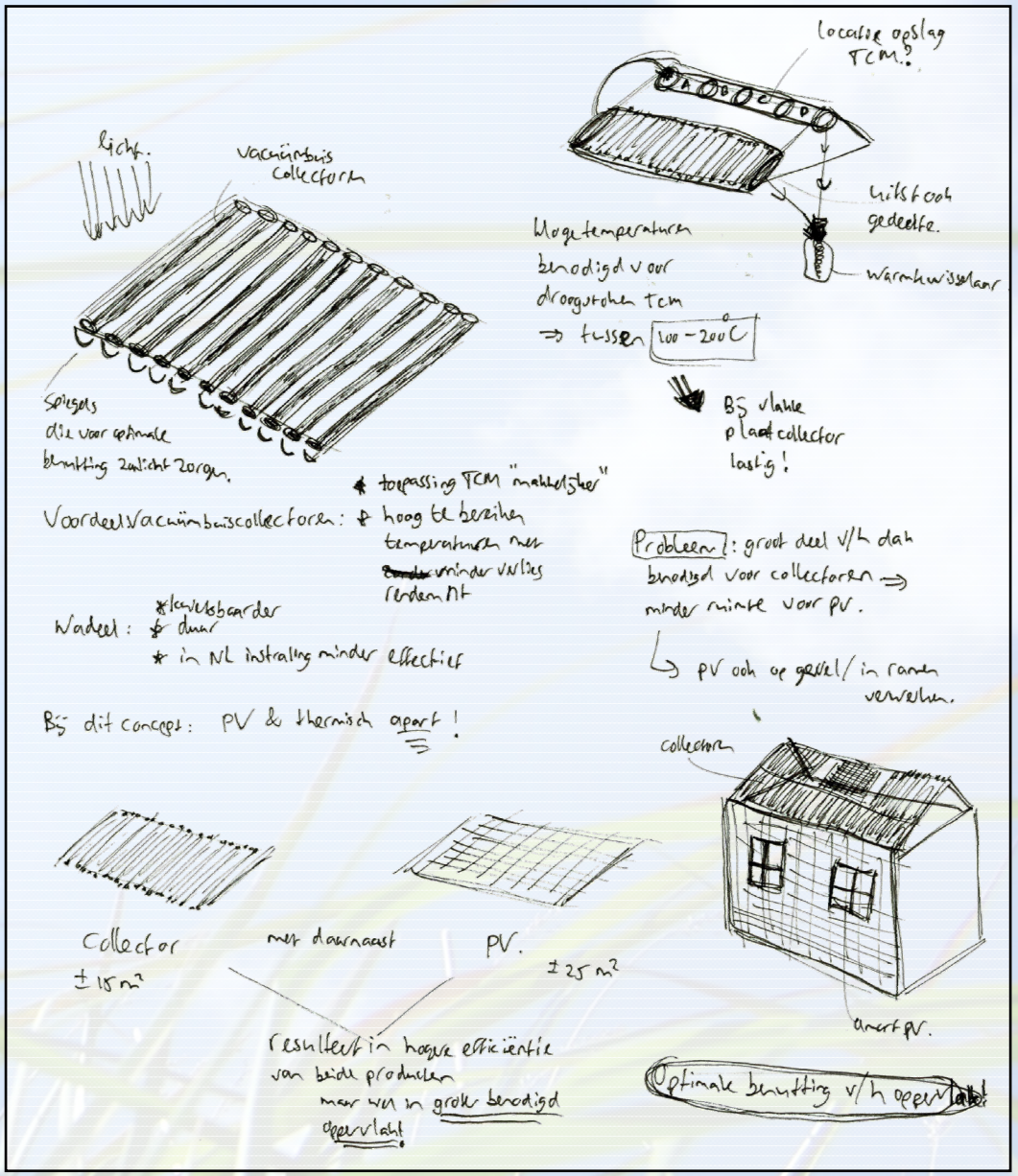
Concept J: Vacuümbuiscollectoren, PV en TCM opslag

In de vorige concepten is steeds uitgegaan van het meest voorkomende type zonnecollector in Nederland: de vlakke plaat collector. Dit type collector heeft echter enkele belangrijke, minder handige eigenschappen wanneer deze gecombineerd zal moeten worden met een thermochemische warmteopslag. Daarom wordt bij dit concept gekeken naar een ander, weliswaar duurder en complexer, maar ook geavanceerdere collector; de vacuümbuiscollector. Het grootste verschil tussen vlakke plaat collectoren en dit type collectoren is de veel hoger behaalde temperaturen. Bij vacuüm kan de stagnatietemperatuur (de temperatuur die bereikt wordt wanneer het opslagvat van de collector vol is en de warmte nergens heen kan) oplopen tot zo'n 350 °C (dit is uiteraard erg hoog en niet wenselijk). Deze hoge temperaturen kunnen echter nuttig gebruikt worden voor het droogstoken van TCM's. Bovendien hebben deze collectoren de eigenschappen dat bij deze hogere temperaturen, het rendement van de collector beter intact blijft dan wanneer dit gebeurt bij een vlakke plaat collector. Dit behoud van rendement is een interessante eigenschap en daarom is het nuttig om te kijken naar de mogelijkheden van vacuümbuiscollectoren in combinatie met het toepassen van de thermochemische opslag van warmte.

Het idee bij dit concept is dat er aparte onderdelen zijn die zorgen voor de opwekking van elektriciteit (PV panelen), het opvangen van warmte (collectoren) en het opslaan van deze warmte (TCM opslag). Dit vanwege het uitgangspunt dat op deze manier de hoogste rendementen per onderdeel apart behaald kunnen worden. Weliswaar is hierbij een wat groter oppervlak benodigd, maar er hoeft minder rekening gehouden te worden met negatieve eigenschappen die bij combinatie van deze 3 aspecten elkaar in de weg zouden zitten.

Warmteopwekking vindt zoals gezegd plaats door middel van vacuümbuizen met daarachter spiegels die op deze manier met relatief weinig instraling hoog behaalde temperaturen mogelijk maken. Wanneer aan de achterkant van deze buizen, de geconcentreerde warmte wordt gebruikt voor de regeneratie van de TCM, kunnen de hieruit vrijgekomen TCM componenten A en B vervolgens worden opgeslagen in de daarvoor bestemde opslagvaten, die zich bij dit concept bevinden in de nok van de woning. Deze locatie is een aantrekkelijke mogelijkheid omdat in dit deel veel loze ruimte aanwezig is voor de inwoners van het huis, die op deze manier toch nog nuttig besteed kan worden. In de lengterichting van het huis kan dan via compartimentering van verschillende TCM tanks, de benodigde hoeveelheid (reactie)vaten gemaakt worden voor de verdere benutting van het TCM materiaal. Dit gebeurt volgens het principe wat bij concept C is besproken.

Een nadeel aan dit systeem is dat er relatief veel oppervlak benodigd is wanneer dit wordt vergeleken met mogelijke PVT combinatieconcepten. Hierbij is echter wel sprake van een simpeler, en makkelijker te realiseren systeem waarbij vrij weinig compromissen gesloten hoeven te worden wat betreft de verschillende belangen van de onderlinge componenten. Bovendien is op woningniveau altijd wel voldoende ruimte voor toepassing van PV, aangezien deze langs gevels, in ramen en op de meest "gekke plekken" geïntegreerd kan worden. Ruimtegebrek is daarom een minder zwaarwegend probleem bij alle concepten. Daarom is dit een realistische mogelijkheid om tot energieneutraliteit te komen, ook wanneer wat meer naar de vroegere toekomst (vanaf 2015) gekeken zal worden.



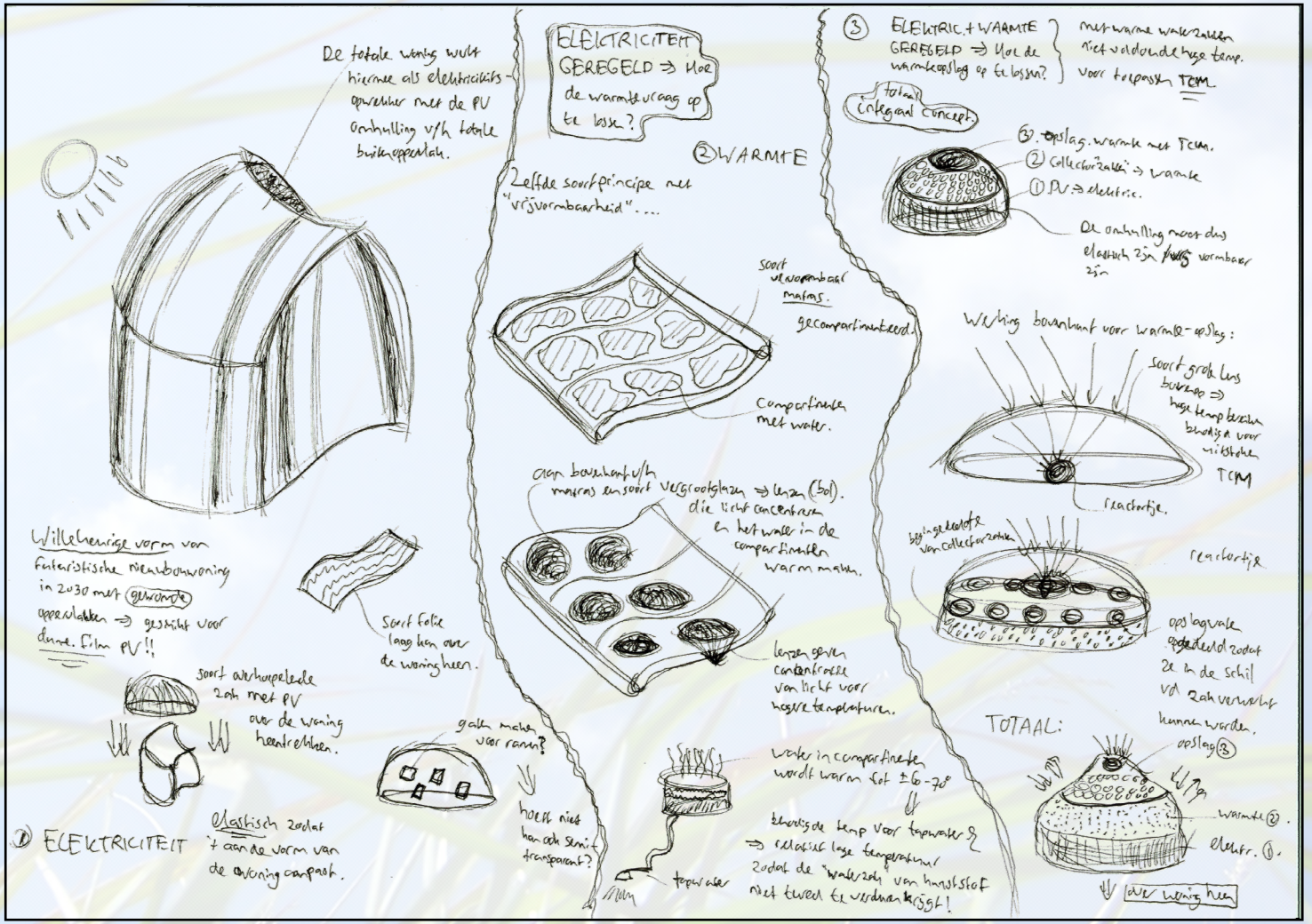
Concept K: Gekromde oppervlakken met dunne film PV

Bij de concepten die hiervoor aan de orde zijn gekomen is vooral gekeken naar vlakke oppervlakken van woningen, maar het is natuurlijk ook interessant om eens naar de mogelijkheden van minder simpele vormen te kijken bij woningen in de toekomst. Daarom is in dit concept een idee uitgewerkt met een soort vrij vormbare huls die als het ware over de woning heen gedaan kan worden, waarmee zowel elektriciteit, warmte als de opslag hiervan geregeld zijn. Hierbij wordt het totale buitenoppervlak van de woning benut, wat dus een grote opbrengst tot gevolg heeft.

Het concept bestaat uit een soort overkoepelende zak met daarin een soort PV-folie, wat de vrije vormen kan volgen. Eventueel zijn enkele gaten in deze zak benodigd zodat de ramen van een woning niet volledig afgedekt zullen worden, maar er kan eventueel ook voor gekozen worden om deze stukken semitransparant te maken zodat er een optimale benutting van het oppervlak plaatsvindt. Dit kan echter voor de gebruiker minder prettig zijn aangezien hierbij de lichtintensiteit van het doorgelaten licht van de beglazing van de woning een stuk minder is, wat het interieur een beetje aan de donkere kant kan laten lijken. Deze zak die over de woning heen getrokken wordt moet de vormen van het gebouw aan kunnen nemen en zal dus vrij vormbaar moeten zijn, en eventueel elastisch zodat een goede aansluiting gegarandeerd kan worden.

Naast elektriciteit heeft de woning uiteraard ook warmte nodig. Dat is bij dit concept gerealiseerd door in deze vormbare zak een gedeelte wat dikker gedeelte te maken zodat dit een soort matras vormt, waarin zich compartimenten bevinden met daarin water. Boven deze compartimenten zullen zich, in de bovenlaag van het doorzichtige matras verwerkt, een soort lichtconcentrerende (ook vervormbare) lenzen bevinden die het water in de compartimenten op zullen warmen. Deze lenzen werken als een soort vergrootglazen waarmee de temperatuur van het water hoog genoeg gemaakt kan worden om dit te gebruiken als warm tapwater. Dit water zal gebruikt worden om via een warmtewisselaar het tapwater (of woonruimten) mee op temperatuur te krijgen. Met een dergelijk idee is nu ook de warmtevraag voorzien.

Het derde element om volledige energieneutraliteit mogelijk te maken bestaat uit de mogelijkheid van het opslaan van warmte. Dit is ook geprobeerd te realiseren in deze zelfde "huls" die om de woning heen bevestigd zal worden. Zoals te zien is, zal deze huls bestaan uit 3 delen, met aan de bovenkant de warmteopslag, daaronder collectorzakken en helemaal onderaan de dunne film PV folie voor het opwekken van elektriciteit. Aan de bovenkant zit een soort grote concentrerende lens, die het licht wat hierop valt, concentreert naar een bepaald punt in deze lens, waaronder zich een klein reactortje bevindt voor het droogstoken van een bepaald type thermochemisch materiaal. In deze reactor zal door de hoog geconcentreerde lichtintensiteit, een hoge temperatuur ontstaan die de droogstook mogelijk maakt, waarna beide losse componenten A en B opgeslagen kunnen worden in een soort compartimentjes die ook in de totale huls aanwezig zijn; namelijk aan de zijkant van deze lensbovenkant. Rechtsonder is het totale idee van dit concept te zien met daarin aangegeven in welke delen de verschillende functies van het concept zijn geïntegreerd.



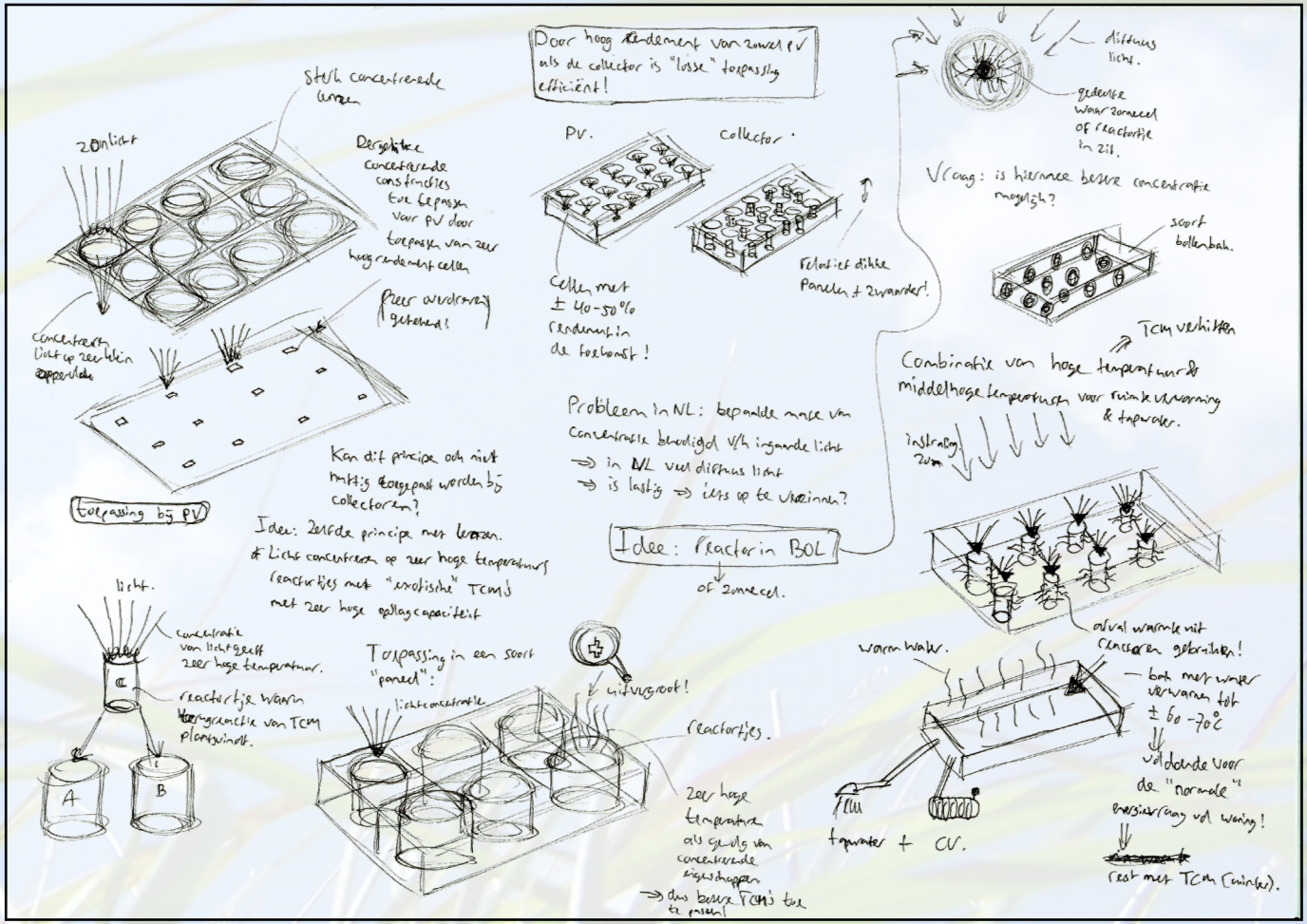
Concept L: Concentrerende effecten

In het vorige concept werd al even kort gebruik gemaakt van enkele methoden waarbij licht geconcentreerd werd naar een bepaald punt zodat in dit punt de hogere intensiteit nuttig gebruikt kan worden. In dit concept zijn enkele mogelijkheden onderzocht die mogelijkerwijs interessant zouden kunnen zijn bij het gebruiken van PV panelen en zonnecollectoren. Tegenwoordig worden dergelijke concentrerende methoden al veel gebruikt bij PV panelen waarbij zeer hoge rendementcellen worden toegepast met een erg klein oppervlak. Hierbij wordt het licht met behulp van lenzen op dit kleine oppervlak van het zonnecelletje geprojecteerd, zodat dit kleine oppervlak van de cel zeer goed benut wordt. Dergelijke concentratietechnieken zouden echter misschien ook interessant zijn om toe te passen bij zonnecollectoren!

Bovenaan is een soort "array" van concentrerende lenzen getekend die het licht wat erop valt concentreert naar een bepaald kleiner oppervlak, waaronder zich hoog rendement zonnecellen bevinden. De toepassing van dit concept bestaat al, maar kan uitgebreid worden naar het niveau van zonnecollectoren en de mogelijkheden van warmteopslag. Wanneer een dergelijk principe toegepast wordt om licht te concentreren op een soort kleine reactortjes die zich bevinden onder deze lenzen, kunnen bij de juiste, zeer hoge concentratie van het licht (een soort vergrootglaseffect) hoge temperaturen behaald worden. Hiermee zou dan een thermochemisch opslagmateriaal met een hoge warmteopslagcapaciteit toegepast kunnen worden. Dit is wenselijk aangezien bij dergelijke hoge capaciteiten een kleinere hoeveelheid van de TCM benodigd is, en hiermee ruimte wordt bespaard in het product (of de woning). De verdere toepassing van de TCM is verder ongeveer hetzelfde als beschreven werd bij concept C, waarin uitgebreid is behandeld hoe toepassing van thermochemische materialen gebruikt zou kunnen worden.

Bij dit concept worden dus hoogrendement zonnecellen apart gebruikt, naast collectoren met daarin verwerkte reactortjes die deze energie opslaan in een hoog rendement thermochemisch materiaal. Dit betekent dat niet hetzelfde oppervlak gebruikt kan worden voor zowel elektriciteit- als warmteopwekking. Hierbij is echter het zeer grote voordeel aanwezig dat met behulp van deze concentrerende technieken de efficiëntie van beide toepassingen hoger zal zijn, wat uiteindelijk resulteert in een kleiner benodigd oppervlak. Een nadeel is echter dat bij dergelijke concentratieprincipes een bepaalde inval van licht benodigd is die redelijk intens en parallel moet zijn (niet diffuus). In Nederland is dit lastig aangezien een groot deel van het jaar het grootste gedeelte van het licht diffuus zal zijn en hierdoor het concentrerende principe niet goed zal werken (het licht zal bijvoorbeeld naast de zonnecel vallen, of niet genoeg intens zijn om de benodigde temperaturen te halen voor het verwarmen van de reactortjes). Een idee daarbij om dit probleem te verminderen is om een soort bollen toe te passen als lenzen, waarbinnen de zonnecellen, of reactoren zich dan zullen bevinden. Diffuus licht zal hierbij misschien beter geconcentreerd kunnen worden naar het brandpunt binnenin de bolvormige lens (dit is te zien in de tekening).

Naast het opslaan van warmte is uiteraard ook warmte benodigd voor processen in de woning die op dat moment plaatsvinden. Deze warmte kan nuttig gehaald worden uit de "afvalwarmte" die uit de kleine reactortjes komt, waar de temperaturen hoog oplopen en dus een deel van deze warmte weg zal "lekken" naar de omgeving. Door deze kleine reactortjes te omringen met water, zullen de reactoren aan de buitenkant gekoeld worden, en dit water zal vervolgens een hogere temperatuur aannemen, wat daarmee nuttige te gebruiken is voor ruimteverwarming en warm tapwater.



Overzicht van de concepten

Overzicht concepten: Nu alle bedachte 12 concepten één voor één zijn besproken, is het nuttig om een soort samenvattend overzicht te maken waarin de belangrijkste eigenschappen en de voor- en nadelen van de aparte concepten staan beschreven. Aan de hand van deze voor- en nadelen kan vervolgens een indeling gemaakt worden van de concepten die het meest interessant zijn om verder mee te gaan, en deze daarna dieper uit te werken. Deze rangschikking zal op een schematische wijze (die later besproken wordt) gemaakt worden, waarbij verschillende criteria worden meegewogen in het eindoordeel. In figuur 8.2 staan de eigenschappen van de concepten en de daarbij horende voor- en nadelen opgesomd:

Figuur 8.2: Overzicht met de belangrijkste eigenschappen en de voor- en nadelen van de bedachte concepten (deel 1)

Concept:	*Eigenschappen:*	*Voordelen:*	*Nadelen:*
A Huidige technologie	- Toepassen van de huidige technologie - Combinatie PVT: 25 m^2 - PV & Collector apart: 25 m^2 + 15 m^2 = 40 m^2 - Ideale hoek van 36° - Warmteopslag via watervat => problematisch voor energieneutraliteit!	- Nu al haalbaar - Relatief gemakkelijke toepassing op woningen van nu én in de toekomst - Keuzevrijheid wat betreft combinatie PVT of PV & collector apart - Geen nieuwe technieken toegepast met mogelijke kinderziekten	- Ontbreken effectieve warmteopslag - Warmteopslag aan verlies onderhevig - Concept is te simpel - Qua oppervlak zijn de opbrengsten haalbaar, maar qua energievraag niet => warmtevraag 's winters problematisch
B PVT icm TCM	- Toepassing thermochemisch opslagmateriaal - Hiermee opslag voor langere periode (zonder verlies van energie) mogelijk - Bovenkant spectraal selectieve afdekking - Toepassing absorber met zonnecellen => PVT - Aanwezigheid verschillende "vaten" voor reacties van TCM - Droogstookreactor in gedeelte onder absorber - Losse opslagvaten voor TCM componenten A & B - Alles in één systeem	- Zowel elektriciteit, warmte & opslag zijn geregeld in één systeem - Toepassing TCM maakt seizoensonafhankelijke warmteopslag mogelijk - Energieneutraliteit gemakkelijk haalbaar (evt. zelfs energieleverend!) - Geen verlies van warmte - Binnenhouden warmte dmv isolerende kast rondom PVT collector & toepassing spectraal selectieve buitenlaag	- Toepassen combinatie PVT & TCM problematisch => voor TCM hoge temperaturen benodigd die met PVT moeilijk haalbaar zijn (PVT heeft groot rendementsverlies bij hoge temperaturen) - Lastig systeem benodigd voor distribueren juiste hoeveelheden TCM * - Grote tanks benodigd voor opslag van TCM componenten A & B (totaal minimaal ongeveer 10 m^3 benodigd) *
C Opslag-systemen TCM	- Systematisch uitgewerkt systeem met thermochemische opslag - Toepassing meerdere tanks voor optimale benuttig TCM materiaal - Benodigde 5 opslagtanks aanwezig in kruipruimte van de woning - Warmtedistributie naar woning via warmtewisselaar - Zomer: passief => warmte uit collector direct gebruiken - Winter: actief => warmte uit TCM halen	- Effectieve benutting warmte binnenshuis door regeling via warmtewisselaar - Aantal tanks geoptimaliseerd ter voorkoming problemen bij TCM reactie - Wegstoppen tanks in kruipruimte zorgt voor effectief ruimtegebruik binnen de woning - Optimaal benutten oppervlak door toepassen PVT - Systematisch opgebouwde regulatie van de opgevangen soorten energie	- Wederom hoog benodigde temperaturen icm PVT lastig - Over toepassing van TCM's is nog weinig bekend => mogelijk problemen die opduiken bij toepassing in een systeem * - Lastig om de juiste hoeveelheden reacties te reguleren voor de precieze warmtevraag binnen de woning * - Mogelijkheid van "vervuilen" opslagreactoren => componentenscheiding dient nauwkeurig te gebeuren! *
D Kunst-stoffen elementen	- Kunststof spuitgegoten absorber met leidingen (soort grote zwembadcollector) - Zonnecellen aangebracht bovenop absorber - Water stroomt door leidingennetwerk heen - Toepassen als geprefabriceerde bouwelementen - Bouwelementen aan elkaar te maken - Water stroomt door woninghuls heen - Warmteopslag door zeer grote tank onder het huis => minstens 120 m^3	- Goedkope materialen => enkele €/kg voor kunststoffen - Massaproductie materialen gemakkelijk - Door tank onder de grond te stoppen, warmteverlies relatief klein (weinig invloed omgevingstemperaturen) - Toepassing bouwelementen zorgt voor optimalisatie oppervlaktegebruik in woning (verdubbeling gebruiksoppervlak mogelijk)	- Toepassing grote tank onder huis lastig => kosten, ruimte, constructie, etc. - Optredend warmteverlies bij deze opslagmethode => water koelt af - Lage temperaturen mogelijk met kunststof collector => warm genoeg voor tapwater? - Lage temperaturen maken groot toe te passen oppervlak cruciaal => is dit benodigde oppervlak aanwezig?
E Transparant PVT	- Geheel transparant product - Twee lagen glas met daartussen een volume voor een warmte luchtstroom - Aanbrenging spectraal selectieve lagen voor binnenhouden warmte (infraroodstraling) - Tussen lagen glas geperforeerd amorf PV - Schakelbare binnenlaag glas mogelijk voor privacy / zonwering - Combinatie elementen geeft soort "glazen huis" - Eventueel toepassen transparante TCM tussen glaslagen?	- Door transparantie ook toe te passen als beglazing in woning => meer oppervlak beschikbaar - Transparantie geeft bewoners maximaal te benutten oppervlak => zowel dak als gevel - Privacybescherming door schakelbare laag - Effectieve zonwering door schakelbare laag - Invallend zonlicht kan nuttig gebruikt worden in woning => licht / warmte - Combinatie warmte + elektriciteit in één - Eventuele toepassing TCM maakt energieneutraliteit haalbaar	- Geperforeerd amorf PV heeft lager rendement (schatting ong. 10 %) => dus groter oppervlak benodigd - Transparant product is wat donkerder als gevolg van PV => niet zo helder als "normaal glas" - Warme luchtstroom relatief lage temperatuur => verwarming tapwater lastig - Toepassing transparante TCM zeer lastig => welke TCM is doorzichtig, hoe kan deze gereguleerd worden tussen glas, hoe worden hoge uitstook temperaturen behaald, etc.
F Mee-draaiende principes	- Meedraaiende modules / zonnecellen volgen baan van de zon - Bespreking van meerdere methoden - Toepassing enkele as vs. meerdere assen - Meedraaien op moduleniveau => groot - Meedraaien op celniveau => klein - Meerdere assen geven hoger rendement - Verschillende methoden; asjes, bakjes, pilaartjes, etc.	- Hogere instraling van het oppervlak - Daardoor hoger rendement product - In de winter lagere stand zon => dan juist meer warmte benodigd en dus voordeel van hogere instraling handig - Toepassing draaibaarheid op celniveau positief voor integratie woning, uiterlijk, etc. - Draaibare celletjes toe te passen in zowel gevel als dak van woningen	- Accuraat meet- en regelsysteem benodigd => complexiteit & kosten product nemen toe - Kwetsbaarheid door bewegende onderdelen - Meedraaien kost ook energie => verlies? - Integratie in woningen moeilijker - Draaibaarheid individuele zonnecellen zorgt voor onderling beschaduwde cellen => verlies - Reflectie cellen naar omgeving werkt mogelijk storend
* Deze nadelen zijn van toepassing bij elk concept waar gebruik gemaakt wordt van een thermochemische warmteopslag			

G Intelligent computer-systeem	- Integraal sturende computersysteem dat alles in de woning regelt (op energetisch niveau) - Meten en weergeven informatie vd omgeving - Meten en weergeven systeemparameters van het systeem => opbrengsten elektriciteit & warmte - Meten en weergeven energiegebruik in woning - Instellingen mogelijk maken voor processen in de woning (temperatuur, licht, etc.) - Kastje met LCD touchscreen voor weergave & instellingen met duidelijke interface	- De gebruiker wordt bewust van het energieverbruik binnen de woning - Bewustmaking van gebruiker van zijn/haar energiegebruik werkt (mogelijk) energiebesparend - Mogelijk maken van instellingen in één systeem voor alles werkt eenvoudiger - Optimalisatie interface zorgt voor gemakkelijk gebruik voor iedereen - "Moderne meterkast" in de woonkamer	- Extra systeemcomponenten benodigd => complexer, dus duurder - Nieuw onderdeel binnen het systeem dat nauwkeurig uitgewerkt dient te worden - Voor sommige gebruikers lastig te begrijpen
H Schakelbare delen gevel/dak	- Alles in één element: constructie + elektriciteit + warmte + opslag - Standaard "bouwstenen" voor de woning; soort zonne-energie bouwpakket - Oppervlak met zonnecellen bovenop absorber - Opgevangen warmte naar warmtewisselaar die warmteregulatie in woning regelt - Binnen de bouwelementen thermochemische opslagtanks => reactie + opslagtanks - Elementen koppelbaar via leidingen (incl. bedrading) - Elementen met ramen: dik glas met PV erin - Woning opbouwen uit verschillende elementen	- Alles zit in één element: duurzame bouwstenen - Flexibele methode om woning te voorzien van energie => kleine woning; minder energie benodigd, maar ook kleiner oppervlak beschikbaar => past zich aan - Modulariteit maakt het mogelijk zoveel toe te passen als wenselijk is - Plug-en-play: leidingen en bekabeling geïntegreerd in de bouwstenen - Toepassing voor zowel dak als gevel (vanwege elementen met beglazing) => groot te gebruiken oppervlak	- Opbouw van dergelijke aaneen gekoppelde modules eentonig => beperking vrijheid van de vormgeving van de woning - Lastig om met dergelijke absorbers hoge temperaturen voor TCM uitstook te bereiken - Allerhande problemen rondom toepassing TCM * => bijv. rondom distributie, combinatie, reactie, vervuiling, veiligheid, etc. - Erg futuristisch concept; heleboel aspecten nog redelijk vaag => verdere uitwerking benodigd voor specifiekere analyse?
I Regelbare isolatie	- Buitenkant woning bestaande uit laag met veranderende isolerende eigenschappen - Isolatie & ventilatie reageert op omgeving - Gedeelte met daartussen regelbaar vacuüm (dit is een erg goede methode voor isolatie => geen geleiding!) - Autonoom systeem => reageert automatisch - 2 typen onderdelen: Collectoren & PV - Regelbare lagen lichtdoorlating => VAREM	- Soort woning als regelbare "thermoskan" - Systeem optimaliseert de warmtehuishouding binnen de woning - Alle onderdelen zijn transparant - Losse toepassing van PV componenten werkt flexibeler qua energievraag v/d woning - Vacuümregulatie complex te realiseren - Nauwkeurig meet- en regelsysteem benodigd	- Lage temperaturen op te wekken als gevolg van de "doorzichtige collectoren" - Geen geavanceerde geïntegreerde warmteopslag (evt. "simpel" watervat) - Tapwater (hoge temperatuur!) moet misschien via andere weg worden verwarmd => elektrische boiler? => niet effectief - Transparantie mogelijk tot bepaalde grens; bij PV perforatie benodigd, bij collector donkere kleur nodig voor warmteopname => nooit zo helder als normale ruit!
J Vacuüm-collectoren icm TCM	- Vacuümbuiscollectoren gecombineerd met thermochemische opslag - Alle onderdelen voor energieneutraliteit allen apart: elektriciteit (PV), warmte (vacuümcollector), opslag (TCM tanks) - Droogstook TCM gebeurt achter de vacuümbuizen => hoge temperaturen! - TCM tanks in de nok van de woning - Eén compleet systeem voorziet in alles	- Bij hoge temperaturen (benodigd voor uitstook TCM) blijft het rendement van vacuümbuiscollectoren in vergelijking met vlakke plaat collectoren relatief hoog => opbrengst blijft intact - Opslaglocatie van TCM in nok van het huis is ruimte effectief - Relatief "simpel" en effectief systeem; elk onderdeel doet waar hij het beste in is!	- Groter benodigd oppervlak voor apart gebruik PV en collector naast elkaar - Niet echt sprake van één product (meer een gekoppeld systeem) - Lastiger te integreren in het dak => hoge temperaturen kunnen dakisolatie beschadigen (laten smelten)
K Huisom-hulling met "zak"	- Vrij vormbare huls die over de woning gedaan kan worden - Omhulsel benut totale oppervlak van de woning - Elektriciteit, warmte & opslag allen in de huls aanwezig - Elektriciteit dmv dunne film PV folie in de huls - Delen met semitransparant PV als ramen - Zak neemt de vormen van het gebouw aan - Warmte opvangen door licht te concentreren op compartimenten met water in de huls - Warmteopslag aan bovenkant van de huls dmv TCM opslagcompartimenten - Sterke licht concentrerende lens voor droogstookreactor	- "In principe" voor elke woning toe te passen: een soort ballon over het huis heen - Eén huls voorziet in alle energiebehoeften van een woning: elektriciteit, warmte (ruimten en tapwater) en warmteopslag - Op gekromde oppervlakken toepasbaar - Huls óm een woning heen benut het totale buitenoppervlak => hogere opbrengst - Zowel PV als collectorzakken doorzichtig dus voor de gebruiker als beglazing mogelijk	- Zeer futuristisch en redelijk onrealistisch concept - Licht concentreren met vervormbaar materiaal is (bijna) onmogelijk - De lichtelijk elastisch vereiste huls is zeer lastig te combineren in combinatie met dunne film PV folie => (nog) niet elastisch te krijgen - TCM in combinatie met kunststoffen (de huls) zeer twijfelachtig => hoge temperaturen en smelten van materialen - Zeer goede lenzen benodigd om licht zo te concentreren => bovendien in NL bijna onmogelijk ivm diffuus licht - Niet haalbaar concept => teveel problemen
L Concentre-rende effecten	- Concentreren van grote hoeveelheid licht op klein oppervlak - Kleine oppervlak met geconcentreerde licht gebruiken voor hoogwaardige zonnecel (rendement in toekomst rondom 50%) - Toepassen van soort "array" van lenzen - Concentratie van zonlicht ook voor collectoren! - Door concentratie (vergrootglaseffect) hoge temperaturen => toepassen TCM mogelijk - Reactortjes onder lens => droogstook van TCM - Bak rondom reactortjes gevuld met water - Water wordt warm door afvalwarmte => gebruiken voor processen in de woning	- Hoog te behalen temperaturen - Minder gebruik van dure materialen (zonnecellen) omdat dit slechts op de plekken gebeurt met grote lichtintensiteit - Warmteafgifte van de TCM reactortjes kan direct gebruikt worden voor warmtebehoevende processen in de woning - Lenzen zijn over het algemeen niet duur - Concept voorziet theoretisch gezien aan de benodigde warmtevraag => energieneutraliteit zou kunnen	- Enige mate van vooraf geconcentreerde lichtinval (geen diffuus licht gewenst) => in NL problematisch vanwege afstand tot de evenaar - Licht kan hierdoor als het ware "naast de cel of collector" vallen (Idee: reactor in bol?) - Kanttekeningen plaatsen bij dergelijke concentratie licht => is dit haalbaar? - Plausibel concept; vele dingen nog onduidelijk wat betreft haalbaarheid, mogelijkheden, etc.

Figuur 8.2: Overzicht met de belangrijkste eigenschappen en de voor- en nadelen van de bedachte concepten (deel 2)

Rangschikking van de concepten

In deze paragraaf zal een antwoord gegeven worden op de volgende deelvragen, die van belang zijn om uiteindelijk tot een weloverwogen conceptkeuze te komen:

a. Welke van deze concepten zijn haalbaar wat betreft de randvoorwaarden en de verwachte technologische mogelijkheden in de toekomst?

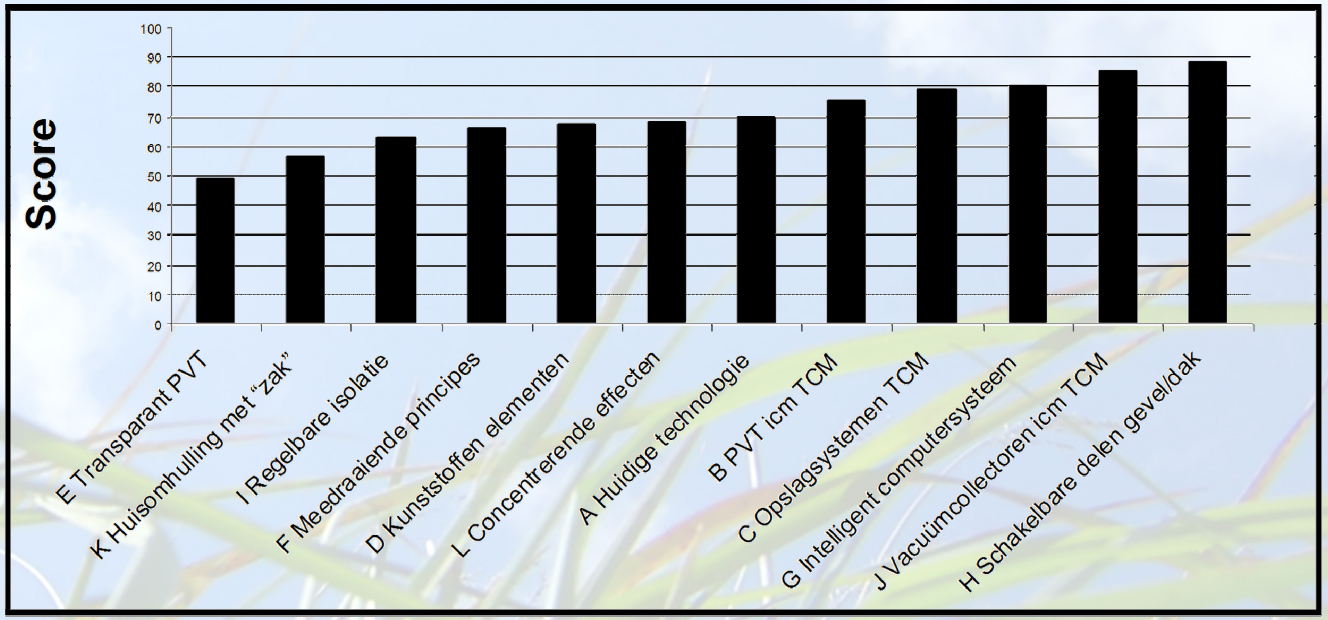
b. Welke van deze concepten zijn uiteindelijk het meest interessant om verder in detail uit te werken?

Nu duidelijk is wat de belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende concepten zijn, kan een rangschikking gemaakt worden van de concepten wat betreft de gewenste mogelijkheden voor toepassing in een nieuwbouwwoning in het jaar 2030. Dit mag uiteraard niet gebeuren volgens persoonlijke perspectieven, of volledig willekeurig plaatsvinden, en daarom is gebruik gemaakt van een schematische wijze, waarbij verschillende criteria aan de concepten toegekend worden. Per criterium is een cijfer toegekend tussen 1 en 10, waarbij 1 heel slecht is (negatief, niet wenselijk) en 10 heel goed is (positief, wenselijk). Door vervolgens alle criteria bij elkaar op te tellen kan een rangschikking gemaakt worden naar de meest gewenste concepten. Hierbij moet uiteraard opgemerkt worden dat concepten nog verder uitgebreid kunnen worden door deze te combineren met technieken van andere concepten. Door deze combinaties wordt een zo compleet mogelijk ontwerp bedacht, wat uiteindelijk kan resulteren in een zeer interessant product- of systeemontwerp. De bespreking over de mogelijke conceptcombinaties, en combinaties van de gebruikte technieken, volgt hierna.

Zoals te zien is heeft volgens de rangschikking, wat betreft de gestelde criteria, het concept H met schakelbare delen voor zowel de gevel als het dak van de woning, het meeste potentie. Ook vacuümcollectoren in combinatie met thermochemische opslag, een intelligent computersysteem en andere opslagsystemen met TCM's komen duidelijk naar voren om mogelijk verder uitgewerkt te worden. Zoals net al gezegd werd is het echter zo dat de meeste concepten niet helemaal "compleet" zijn, en er nog toevoegingen aan gedaan zouden kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is het intelligente computersysteem, wat eigenlijk toegepast kan worden bij elk ander concept. Daarom is op de volgende pagina gekeken naar de mogelijkheden voor het combineren van de onderlinge concepten.

Criteria:	Energieopbrengst / m2	Benodigde oppervlakte	Energetische haalbaarheid	Warmteopslag	Technische horizon	Duurzaamheid	Kosten	Productie	Flexibiliteit	Gebouwintegratie	Esthetica		Totaal
A *Huidige technologie*	7	7	7	2	10	6	9	5	2	8	7		**70**
B *PVT icm TCM*	7	8	10	9	5	8	5	4	6	7	6		**75**
C *Opslagsystemen TCM*	7	7	10	10	7	9	4	4	9	6	6		**79**
D *Kunststoffen elementen*	3	2	3	6	9	9	8	10	2	8	7		**67**
E *Transparant PVT*	2	2	1	6	2	7	4	3	2	10	10		**49**
F *Meedraaiende principes*	8	9	7	5	7	4	6	5	6	4	5		**66**
G *Intelligent computersysteem*	5	5	5	5	10	5	8	9	10	9	9		**80**
H *Schakelbare delen gevel/dak*	7	7	8	8	7	9	7	9	10	10	6		**88**
I *Regelbare isolatie*	2	4	2	1	6	8	7	6	8	10	9		**63**
J *Vacuümcollectoren icm TCM*	10	8	10	10	8	8	6	5	6	5	9		**85**
K *Huisomhulling met "zak"*	5	4	6	7	1	4	3	1	9	10	6		**56**
L *Concentrerende effecten*	9	10	7	8	7	7	2	3	6	4	5		**68**

Figuur 8.3: De concepten met daarbij de criteria en de toegekende waarden aan deze criteria



Figuur 8.4: De rangschikking van de concepten op basis van de uitkomsten van de optelling van alle gestelde criteria

De combinatie van verschillende concepten

De 12 concepten zijn één voor één aan bod gekomen en er is een overzicht gemaakt van de voor- en nadelen. Daarna is vervolgens een rangschikking gemaakt van de meest gewenste concepten. Het is nu zaak de beste concepten te kiezen en deze vervolgens verder uit te werken. Hierbij werd net al opgemerkt dat een boel concepten bestaan uit onderdelen die slechts één bepaald aspect van een zonenergetisch systeem kritisch uitwerken (bijv. alleen de opslag of het bijhouden van informatie voor de gebruiker). Het is daarom mogelijk om meerdere concepten met elkaar te combineren tot één groter, en wellicht zeer nuttig concept. Daarom is in figuur 8.5 gekeken welke concepten met elkaar te combineren zijn. Hierbij is overigens redelijk "vrij" gekeken naar de mogelijkheden; als het ook maar enigszins mogelijk is om twee concepten te combineren, is er een vinkje toegekend, omdat in dit proces van conceptvorming nog niet teveel naar de mogelijkheden en randvoorwaarden gekeken moet worden. Bovendien zal het ontwerp voor de toekomst (2030) zijn, waarbij dus waarschijnlijk al een heleboel meer mogelijk is.

Zoals in de figuur duidelijk wordt, is er een grote mogelijkheid voor onderlinge combinaties. Het kan dus nuttig zijn om enkele ideeën uit basisconcepten, tot nieuwe, beter uitgewerkte, grotere ontwerpen te combineren. Wat uit de figuur opvalt, is dat er enkele concepten zijn die zich wat minder goed laten combineren. Dit zijn de concepten met kunststoffen elementen, vacuümbuiscollectoren en de huisomhulling met zak. Hierbij is het wat betreft de kunststof elementen zo dat deze lastig te combineren zijn met toepassingen die hoge temperaturen behoeven. Bij vacuümcollectoren is de combinatie met zonnecellen (bijna onmogelijk) en is wederom het probleem van hoge temperaturen een voorwaarde waarbij bij combinatie met andere concepten moeilijk aan voldaan kan worden. Tot slot is de huisomhulling eigenlijk zo'n futuristisch concept, dat combinatie met nog meer functies eigenlijk bijna ondenkbaar is. De overige 9 concepten zijn, zoals te zien is in de figuur, over het algemeen prima te combineren.

Combineren principes: Bij de hiervoor besproken 12 concepten werd telkens gebruik gemaakt van één of enkele basisprincipes, technieken en toepassingen die met zonne-energie te maken hebben. Door deze onderling te combineren, waren 12 concepten gevormd. Het is ook nuttig om eens te analyseren welke principes dit waren en hoe deze eventueel nog meer te combineren zijn. Dat is hiernaast in een schema in figuur 8.6 weergegeven. Met dit schema kan gekeken worden welke aspecten samengevoegd kunnen worden in één product.

Combineren concepten:	**A** Huidige technologie	**B** PVT icm TCM	**C** Opslagsystemen TCM	**D** Kunststoffen elementen	**E** Transparant PVT	**F** Meedraaiende principes	**G** Intelligent computersyst.	**H** Schakelbare delen gevel/dak	**I** Regelbare isolatie	**J** Vacuümcollectoren icm TCM	**K** Huisomhulling met "zak"	**L** Concentrerende effecten
***A** Huidige technologie*												
***B** PVT icm TCM*	v											
***C** Opslagsystemen TCM*	v	v										
***D** Kunststoffen elementen*	v	x	x									
***E** Transparant PVT*	v	v	v	v								
***F** Meedraaiende principes*	v	v	v	v	v							
***G** Intelligent computersyst.*	v	v	v	v	v	v						
***H** Schakelbare delen gevel/dak*	v	v	v	v	v	v	v					
***I** Regelbare isolatie*	v	v	v	v	v	v	v	v				
***J** Vacuümcollectoren icm TCM*	v	x	v	x	x	v	v	v	x			
***K** Huisomhulling met "zak"*	x	v	v	x	v	x	v	x	v	x		
***L** Concentrerende effecten*	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	

Figuur 8.5: De mogelijkheden tot combinatie van de verschillende 12 concepten

Combineren principes:	PV kristallijn (plaat)	PV amorf (semitransparant)	Vlakke plaat collector	Vacuümbuis collector	Combinatie PVT	Thermochemische opslag	Kunststoffen	Transparantie	Variabele reflectielaag	Meedraaiend	Licht concentrerend	Computersysteem	Schakelbare bouwdelen	Regelbare isolatie
PV kristallijn (plaat)														
PV amorf (semitransparant)	x													
Vlakke plaat collector	v	v												
Vacuümbuis collector	x	x	x											
Combinatie PVT	v	v	v	x										
Thermochemische opslag	v	v	v	v	v									
Kunststoffen	v	v	v	x	v	x								
Transparantie	x	v	x	x	x	x	v							
Variabele reflectielaag	x	v	v	x	v	v	v	v						
Meedraaiend	v	v	v	v	v	v	v	x	v					
Licht concentrerend	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v				
Computersysteem	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			
Schakelbare bouwdelen	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		
Regelbare isolatie	v	v	v	x	v	v	v	v	v	x	v	v	v	

Figuur 8.6: Vergelijking van de combinaties van verschillende beschikbare technieken voor de zonnecollector van de toekomst

Conceptkeuze

Conceptkeuze: Op basis van de rangschikking van de concepten is uiteindelijk de keuze gemaakt om twee concepten verder uit te werken. Hierbij is een onderscheid gemaakt in de periode waarin deze concepten interessant zouden zijn om toe te passen. Concept J (vacuümbuiscollector icm TCM) is nuttig voor de wat "vroegere" toekomst (d.w.z. tussen 2015 en 2030) om verder uitgewerkt te worden. Daarnaast is het vanaf het jaar 2030 qua techniek interessant om concept H (schakelbare dak- en geveldelen) verder te onderzoeken vanwege de bredere technische horizon die dan waarschijnlijk beschikbaar is. Deze concepten zijn daarnaast te combineren met andere technieken, die met behulp van de combinatietabellen van de vorige pagina te selecteren zijn. Dat is in figuur 8.7 gedaan. In het volgende hoofdstuk zullen de gekozen ontwerpen verder uitgewerkt worden waarbij ze onderworpen worden aan de gestelde ontwerpaspecten die aan het begin van dit hoofdstuk genoemd zijn in de doelstelling.

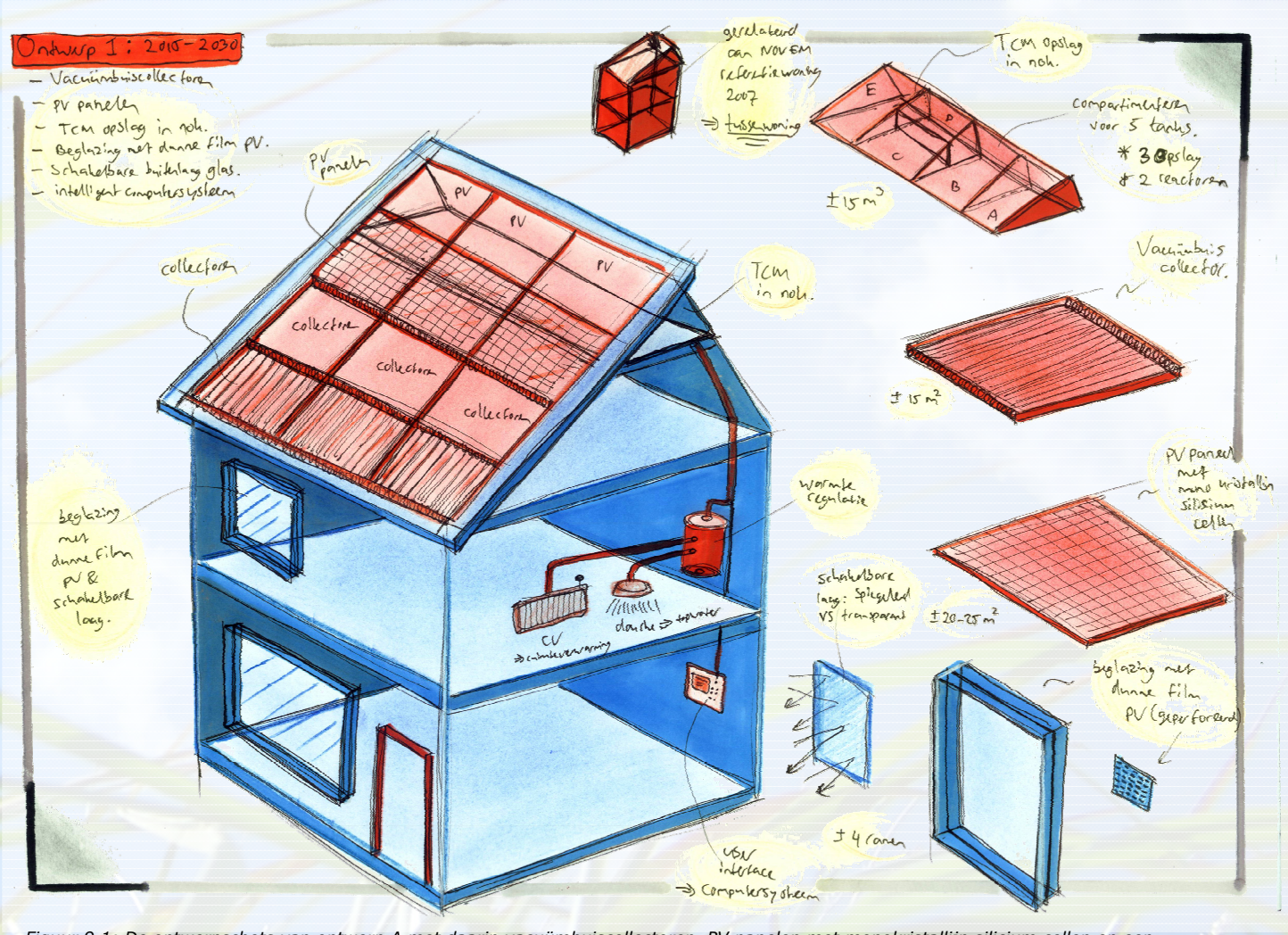
Toekomst:	***2015 - 2030***	***2030 en verder***
Concept #:	**Concept J**	**Concept H**
Naam concept:	*Vacuümcollectoren, PV & TCM in één systeemnetwerk*	*Schakelbare dak- en gevelelementen*
Eigenschappen:	- Vacuümbuiscollectoren - PV modules kristallijn - Thermochemische opslag	- Vlakke plaat collector - PV kristallijn - PV amorf (in raam) - Thermochemische opslag - Alles-in-één bouwelement
Combineren met:	- Computersysteem - PV amorf (ramen) - Transparantie (ramen) - Variabele reflectielaag	- Computersysteem - Lichtinval regulatie - Transparantie (ramen) - Variabele reflectielaag

Figuur 8.7: De 3 meest interessante concepten die verder uitgewerkt zullen gaan worden

Hoofdstuk 9: Uitwerking van ontwerp A voor 2015

Er is zoals werd uitgelegd uiteindelijk de keuze gemaakt om twee concepten verder uit te werken tot meer gedetailleerde ontwerpen. Deze gekozen ontwerpen worden in dit hoofdstuk kritisch geanalyseerd aan de hand van de doelstellingen die aan het begin van dit project zijn geformuleerd. Dit zal gebeuren door de ontwerpen (A en B genoemd) aan een aantal vragen te onderwerpen en deze vragen per ontwerp apart te beantwoorden, zodat duidelijk is op welke manier het ontwerp (in de meeste gevallen) voldoet aan deze doelstellingen. Deze vragen zijn hieronder weergegeven. Allereerst zal hierna ontwerp A besproken worden en in detail uitgelegd worden waaruit dit bestaat, hoe het werkt, etc.

a. Welke technologieën die toegepast worden in het ontwerp zijn nu al beschikbaar?
b. Welke toegepaste technologieën moeten eerst nog verder ontwikkeld worden?
c. Hoe hoog is de energieopbrengst bij het ontwerp?
d. Hoe wordt de flexibiliteit binnen het systeem geregeld?
e. Hoe wordt gezorgd voor een goede gebouwintegratie van het product?
f. Op welke manier wordt het systeem intelligent gemaakt?
g. Uit welke verschillende modules bestaat het product?
h. Hoe wordt een zekere mate van zelfstandigheid van het systeem geregeld?
i. Op welke manier kan het gebruiksgemak en geleverde comfort voor de consument zo goed mogelijk worden verzorgd?
j. Hoe ziet het ontwerp er qua vormgeving uit?
k. Welke materialen worden toegepast in het ontwerp?
l. Wat zijn mogelijke problemen die kunnen optreden bij het totale ontwerp?
m. Hoe zijn deze problemen mogelijk op te lossen?
n. Wat zijn de voor- en nadelen van het nieuwe, toekomstige ontwerp vergeleken met huidige, vergelijkbare producten in dezelfde categorie?
o. Wat zijn de verwachte kosten wanneer dit ontwerp in de toekomst toegepast zal worden?

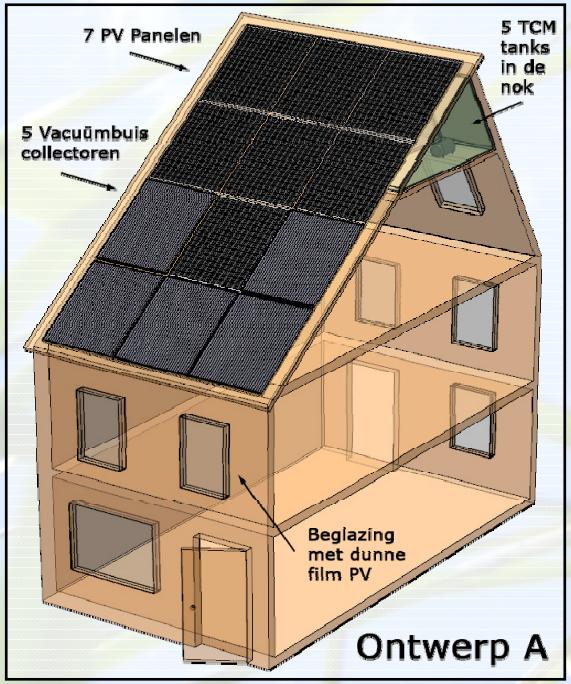


Figuur 9.1: De ontwerpschets van ontwerp A met daarin vacuümbuiscollectoren, PV panelen met monokristallijn silicium cellen en een thermochemisch warmte opslagsysteem in de nok van het huis

Ontwerp A: Vacuümbuiscollectoren, PV panelen en thermochemische warmteopslag (2015 – 2030)

Ontwerp A bestaat uit een systeem met verschillende componenten die onderling samenwerken om de gehele woning energieneutraal te maken. Het ontwerp is toegespitst op de wat vroegere toekomst (de periode 2015 – 2030) en daarom is in dit ontwerp gebruik gemaakt van een aantal technieken die nu al beschikbaar zijn en misschien weinig vernieuwend, maar wel erg effectief in de toepassing ervan zijn. Bovendien is er een bepaald perspectief gekozen van waaruit naar het ontwerp gekeken wordt. Bij dit ontwerp is gekozen voor technische haalbaarheid op de relatief korte termijn. In het ontwerp zijn 3 basiscomponenten verwerkt die met elkaar de hoofdfuncties voor het bereiken van een energieneutrale woning leveren:

- PV panelen met als functie het opwekken van elektriciteit
- Vacuümbuiscollectoren met als functie het opvangen van warmte
- Thermochemische opslag met als functie het opslaan van warmte



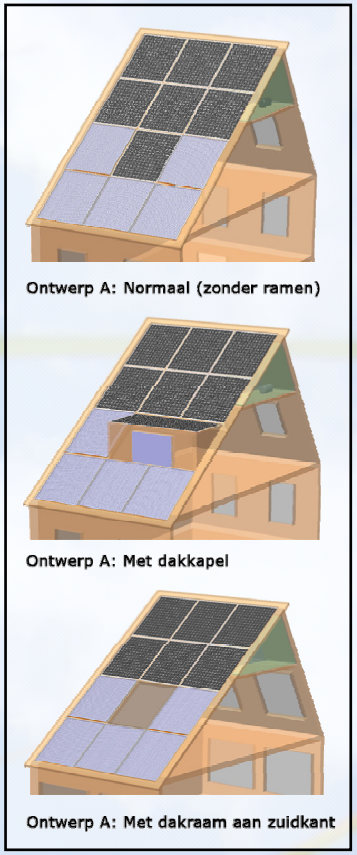
Figuur 9.2: Ontwerp A met hierin aangegeven de hoofdonderdelen van het systeem

Figuur 9.3: Voorbeeld van een huidige tussenwoning met een dak van 45 graden

(Opslag van elektriciteit is niet benodigd aangezien het een netgekoppeld systeem betreft).

De woning: De woning heeft hoofdafmetingen die overeenkomen met een huidig type nieuwbouwwoning (2007) die geldt als de SenterNovem referentie nieuwbouw woning voor de tussenwoningen van nu. Het betreft het kleinste type woning, zodat bij het ontwerp gecontroleerd kan worden of zelfs met het ongunstigste type woning met een klein buitenoppervlak (van zowel het dak als de gevel), energieneutraliteit te behalen is. In eerste instantie heeft het dak van de oorspronkelijke tussenwoning een zeer ongunstig beschikbaar oppervlak, doordat het een helling van 45 graden heeft (zie figuur 9.3). Om deze hoek voor het toepassen van zonnepanelen en collectoren gunstiger te maken, en gelijktijdig daarmee ook het dakoppervlak te vergroten, is het dakoppervlak van de woning aangepast naar de optimale hoek van 36 graden (ditzelfde "truukje" is in hoofdstuk 6 ook al uitgevoerd om de haalbaarheid van de doelstellingen te inventariseren). Dit geeft hiermee een totale dakoppervlakte van zo'n 50 m^2, wat ruim voldoende is om deze woning energieneutraal te krijgen en waarschijnlijk zelfs energieleverend als gekeken wordt naar de schattingen van het energiegebruik en de opbrengsten voor de toekomst (zie figuur 9.4). Deze geschatte waarden zijn overigens in hoofdstuk 6 ook al eens aan de orde gekomen.

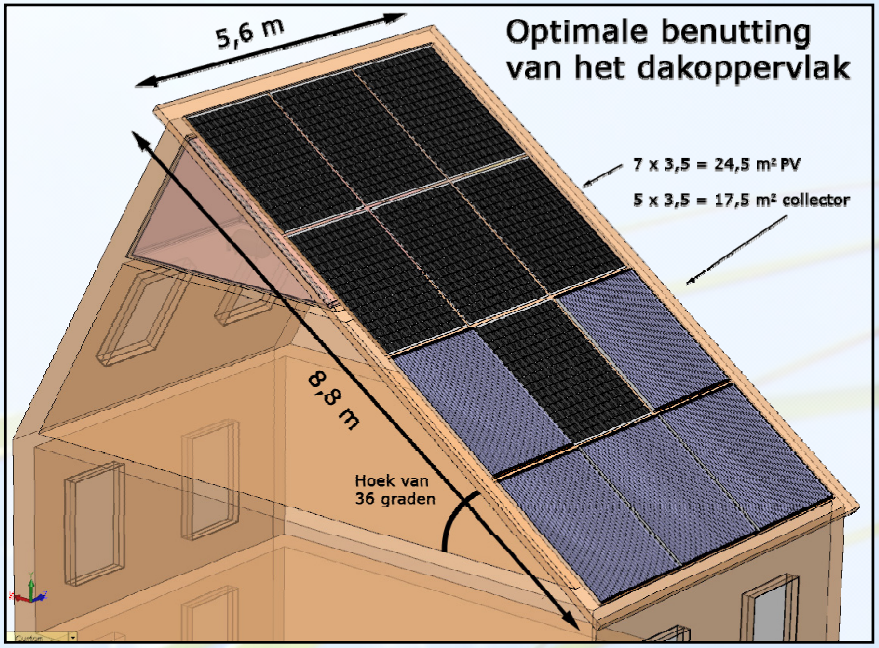
Oppervlak: Uit de schattingen die in eerdere hoofdstukken aan de orde kwamen, werd berekend dat een totaal benodigde oppervlakte (voor toepassing van PV en collectoren apart) van *13 m^2* zonnecollectoren en *26 m^2* PV toegepast moet worden in 2015. Bij deze schattingen is al uitgegaan van een hoger rendement voor zonnecellen in de toekomst en een hogere warmteopbrengst voor de collectoren. Hierbij moet opgemerkt worden dat bij de schattingen wat betreft warmteopbrengst in eerste instantie uitgegaan wordt van een vlakke plaat collector, terwijl bij dit ontwerp vacuümcollectoren toegepast worden. Dit is echter geen probleem aangezien de opbrengst van vacuümcollectoren alleen maar hoger is, en het benodigde oppervlak daardoor dus lager zal zijn (zo rond de *11 m^2*). Bij het ontwerp is het overigens mogelijk om te variëren in het gebruikte dakoppervlak zoals te zien is in figuur 9.5. Op deze manier kunnen de bewoners van de woning zelf beslissen hoe het dak ingedeeld wordt. Welke consequenties dit heeft voor de hoeveelheid opgeleverde energie van het systeem wordt later besproken wanneer alle ontwerpaspecten uitvoerig zullen worden behandeld.



Figuur 9.5: Weergave van de verschillende mogelijkheden bij ontwerp A

	Elektriciteit:	Ruimteverwarming:	Tapwater:	Totaal warmte:
Energiegebruik / jaar:	3500 kWh	6,5 GJ (passief huis)	12 GJ	18,5 GJ / jaar
Energieopbrengst / m^2:	135 kWh / m^2 kristallijn 65 kWh / m^2 dunne film	x	x	1,4 GJ / m^2 collector
Benodigde oppervlakte:	*26 m^2 PV kristallijn opp.*	x	x	*13 m^2 collector opp.*

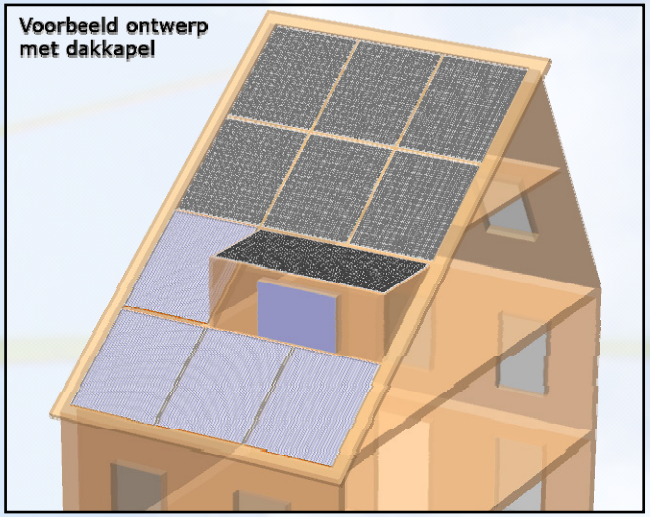
Figuur 9.4: Samenvatting van de globaal geschatte waarden voor het bereiken van energieneutraliteit in 2030



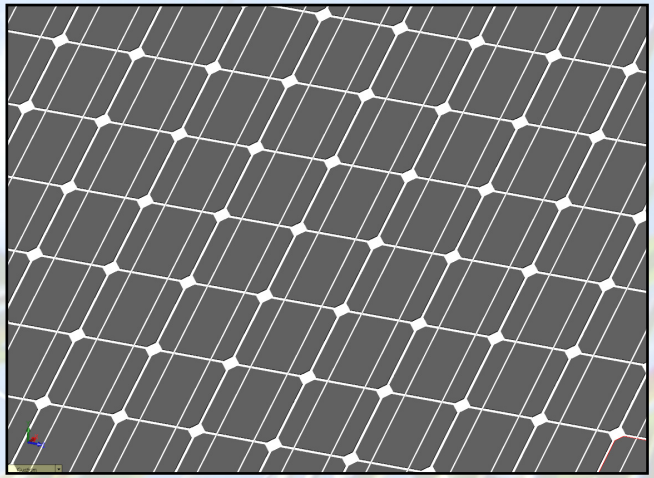
Figuur 9.6: Oppervlaktebenutting voor PV panelen en zonnecollectoren

Elektriciteit: In totaal zijn bij dit ontwerp 7 PV panelen op het dak geplaatst met elk een oppervlakte van ongeveer 3,5 m^2. Dit betekent dat er voor elektriciteitsopwekking met deze panelen 7 x 3,5 = 24,5 m^2 oppervlak beschikbaar is, wat nog net niet voldoende is om de geschatte benodigde 3500 kWh elektriciteit van een gemiddeld huishouden in de toekomst te kunnen leveren (door toepassing van dunne film PV beglazing wordt uiteindelijk wel genoeg elektriciteit geproduceerd). Er wordt hierbij gerekend met een gemiddelde opbrengst van 135 kWh per m^2: 24,5 x 135 = 3307 kWh. Op de panelen zijn monokristallijn siliciumcellen aanwezig met een geschat (toekomstig) rendement van rond de 17%. Deze cellen hebben afmetingen van 12 x 12 cm en zijn op een vlakke plaat kunststof gelijmd die als ondergrond dient. Deze plaat is bevestigd op het dak met een rails die vastgeschroefd zit aan het dakoppervlak. De cellen zijn onderling verbonden met een elektrisch geleidend zilverdraad om de opgewekte elektriciteit te geleiden naar het net. De panelen zijn netgekoppeld en hebben dus geen accu nodig.

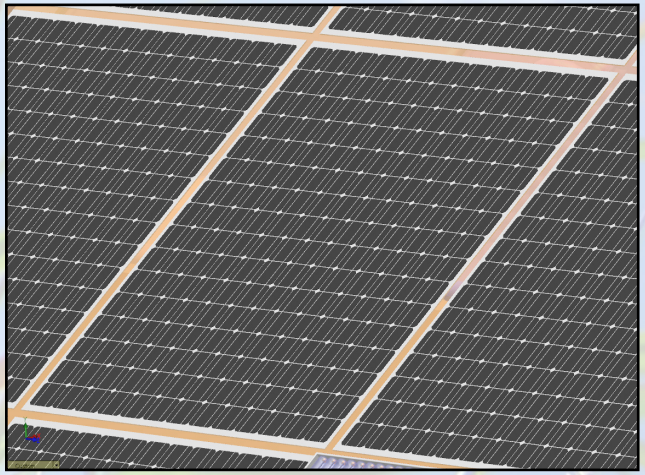
Beglazing*:* Naast de 7 PV panelen die op het dak liggen zijn in de zuidelijke gevel 3 ramen aanwezig waarin dunne film PV in de beglazing is geïntegreerd. Op deze manier wordt het beschikbare oppervlak van de woning zo nuttig mogelijk gebruikt. Dunne film PV heeft weliswaar een lagere elektriciteitsopbrengst, maar de toepassing ervan geeft de woning hiermee een nog groter en nuttiger gebruikt oppervlak waarmee elektriciteit opgewekt kan worden. Dit extra beschikbare oppervlak zou bijvoorbeeld nuttig van pas kunnen komen wanneer in de woning een kleiner beschikbaar dakoppervlak is, doordat men bijvoorbeeld een dakkapel op de zuidgevel wil (zie ook figuur 9.7) of een dakraam aan de zuidkant wil hebben. Door integratie van dunne film PV in de beglazing wordt nog weer een extra oppervlakte van 6 m^2 gebruikt; wat toch een extra opwekking van zo'n 6 x 65 kWh = 390 kWh betekent. Dit is eveneens een schatting. Met deze extra opgewekte 390 kWh wordt in totaal dus zelfs meer dan de benodigde 3500 kWh elektriciteit voor de woning geproduceerd.



Figuur 9.7: Door toepassing van een dakkapel is minder dakruimte beschikbaar en is integratie van dunne film PV in beglazing extra handig



Figuur 9.8: Monokristallijn siliciumcellen op het PV paneel

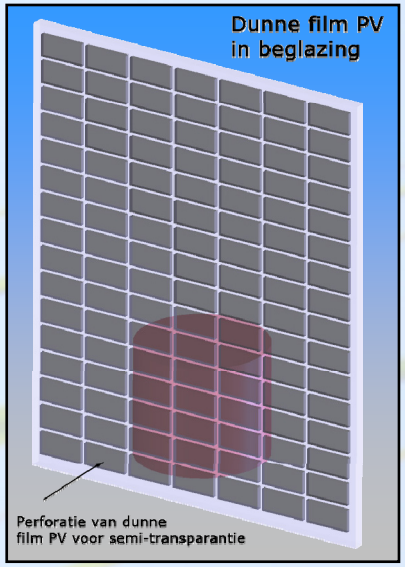


Figuur 9.9: PV paneel met monokristallijn silicium cellen

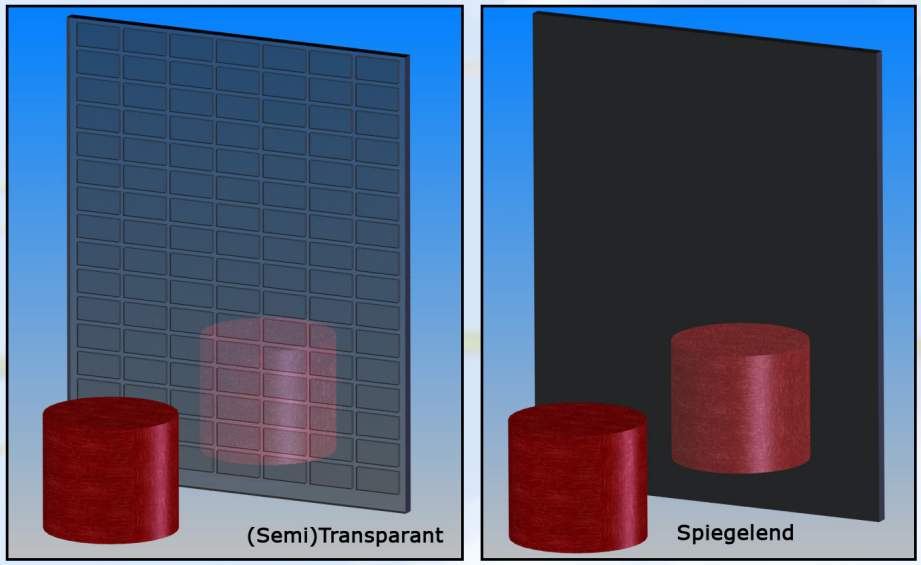
Schakelbare laag: In figuur 9.10 is te zien hoe deze dunne film PV in de beglazing verwerkt kan worden en welk effect dit heeft op de transparantie van het raam. Op de glaslaag is een stuk geperforeerd dunne film PV aangebracht (de rechthoekjes), waarbij door aanwezigheid van vrije banen tussen de cellen, door het raam gekeken kan worden. Hierdoor zal een dergelijk raam wel wat donkerder zijn dan normale beglazing, maar hier staat tegenover dat er wel elektriciteit mee opgewekt worden. Omdat de beglazing voor de zuidelijke gevel bestemd is, kan het daarnaast nuttig zijn om een soort zonwering te integreren met behulp van een schakelbare laag. Met deze laag kan de ruit transparant ingesteld worden, of, wanneer er teveel zon op staat, spiegelend gemaakt worden. Dit gebeurt met de al eerder besproken VAREM technologie en is grafisch weergegeven in figuur 9.11.

Warmte: Wat betreft het opvangen van warmte is bij dit ontwerp gekozen voor toepassing van 5 vacuümbuiscollectoren die aan de onderzijde van het dak liggen (onder het PV) en elk hetzelfde oppervlak als een PV paneel hebben met 3,5 m^2. Met deze 5 collectoren wordt in totaal meer dan genoeg warmte opgevangen voor het gemiddelde warmteverbruik in een huishouden van 18,5 GJ (zie de tabel met schattingen in figuur 9.4). In totaal wordt met een geïnstalleerd oppervlak van 5 x 3,5 = 17,5 m^2 namelijk zo'n 17,5 x 1,4 = 24,5 GJ aan warmte per jaar opgevangen. Dit is aanzienlijk meer dan de benodigde 18,5 GJ, zodat er enkele speling aanwezig is voor toepassing van deze warmte voor de thermochemische opslag van warmte die hierna besproken zal worden. Bij deze vorm van opslag is het namelijk nog niet bekend met welk rendement de opslag precies gebeurt, en of hierbij nog kans is op verliezen van energie. Daarom is voor de veilige kant gekozen en zijn in plaats van de in principe slechts 4 benodigde (4 x 3,5 = 14 m^2) collectoren, toch 5 collectoren geplaatst. In afbeelding 9.13 is de opbouw van de vacuümbuiscollectoren te zien.

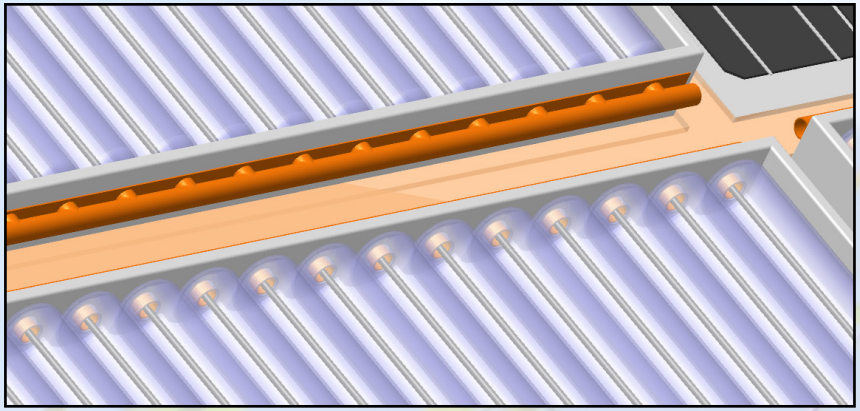
De collectoren: Per collector zijn 32 vacuümbuizen naast elkaar gemonteerd in een metalen frame wat op het dak bevestigd is. Ter versteviging zijn aan de achterkant van dit metalen frame nog enkele diagonale verstevigende profielen gelast om hiermee de stijfheid van de constructie te verbeteren (zie figuur 9.12). De collectoren worden namelijk aan weer en wind blootgesteld, dus een goede constructie is vereist. Per glazen buis in de collector loopt een zwart metalen gedeelte met daarop aangebracht een spectraal selectieve coating voor extra warmteabsorptie. Dit zwarte gedeelte fungeert als de absorber van de collector en vangt de warmte van de zon op. De absorber geeft deze opgevangen warmte vervolgens af aan water wat door een leidingensysteem stroomt dat ook door de buizen heen loopt. Aan de uiteinden van alle glazen buizen komt dit leidingennetwerk bijeen zodat aan de uiteinden een opeenhoping van heet water zal zijn. Deze leidingen lopen vervolgens naar de nok van het huis waar zich de thermochemische warmteopslag bevindt. Een gedeelte van dit water zal gebruikt worden voor het droogstoken van de TCM (hierover volgt zo meer). Een ander gedeelte van het warme water kan direct ingezet worden voor bepaalde processen in de woning zoals ruimteverwarming en verwarming van tapwater. Deze circulatie van warmte is schematisch weergegeven in figuur 9.14 op de volgende bladzijde.



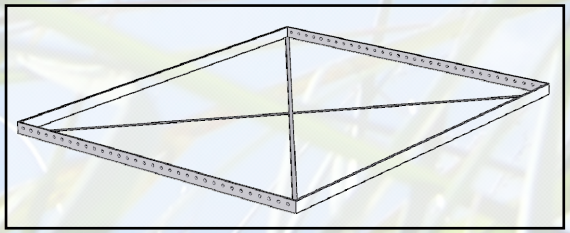
Figuur 9.10: Verwerking van dunne film PV in beglazing geeft een semi transparante laag



Figuur 9.11: Voorbeeld van werking van de schakelbare laag in transparante en spiegelende stand



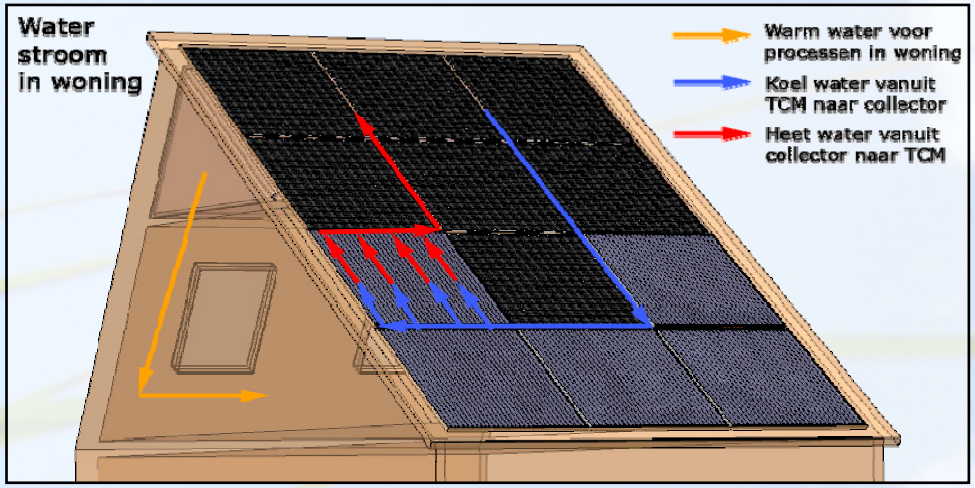
Figuur 9.13: Opbouw van de vacuümbuizen



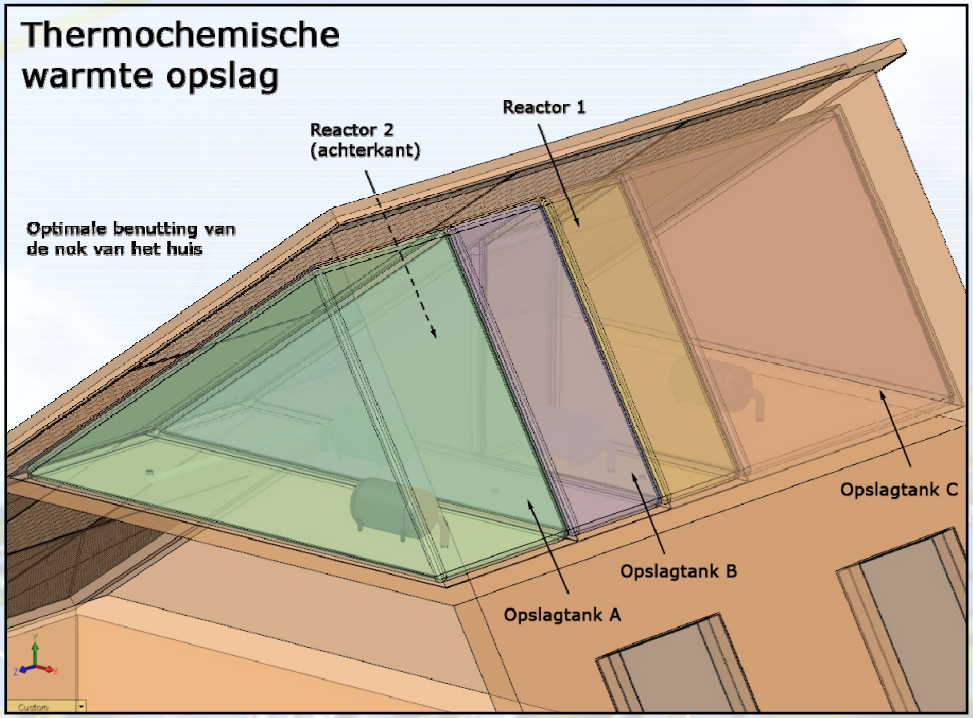
Figuur 9.12: Het frame waarin de vacuümbuizen zijn bevestigd

Warmte opslag: De opslag van de warmte die met de collectoren is opgevangen gebeurt in de nok van het huis. Hier bevinden zich 5 tanks die zorgen voor warmteopslag met behulp van een bepaald thermochemisch materiaal. Het type TCM dat toegepast wordt is in het ontwerp is verder niet nader geformuleerd en kan dus van alles zijn. Een voorbeeld van een dergelijke stof is magnesiumsulfaat. Omdat de opslag geschikt moet zijn voor de overbrugging van de koudere perioden van het jaar (winter en herfst), is een redelijk groot volume benodigd (zo'n 15 m^3). Daarom is ervoor gekozen om de opslag op een locatie in de woning te verwerken waar in eerste instantie een hoop ruimte beschikbaar is, maar deze ruimte veelal niet nuttig gebruikt kan worden vanwege de schuine wanden die het onmogelijk maken er iets "handigs" mee te doen. In de nok van de woning zitten op deze manier 3 opslagtanks en 2 reactoren verwerkt (zie figuur 9.15). Elke tank heeft een andere functie. De indeling van de verschillende tanks zal hieronder nader uitgelegd worden.

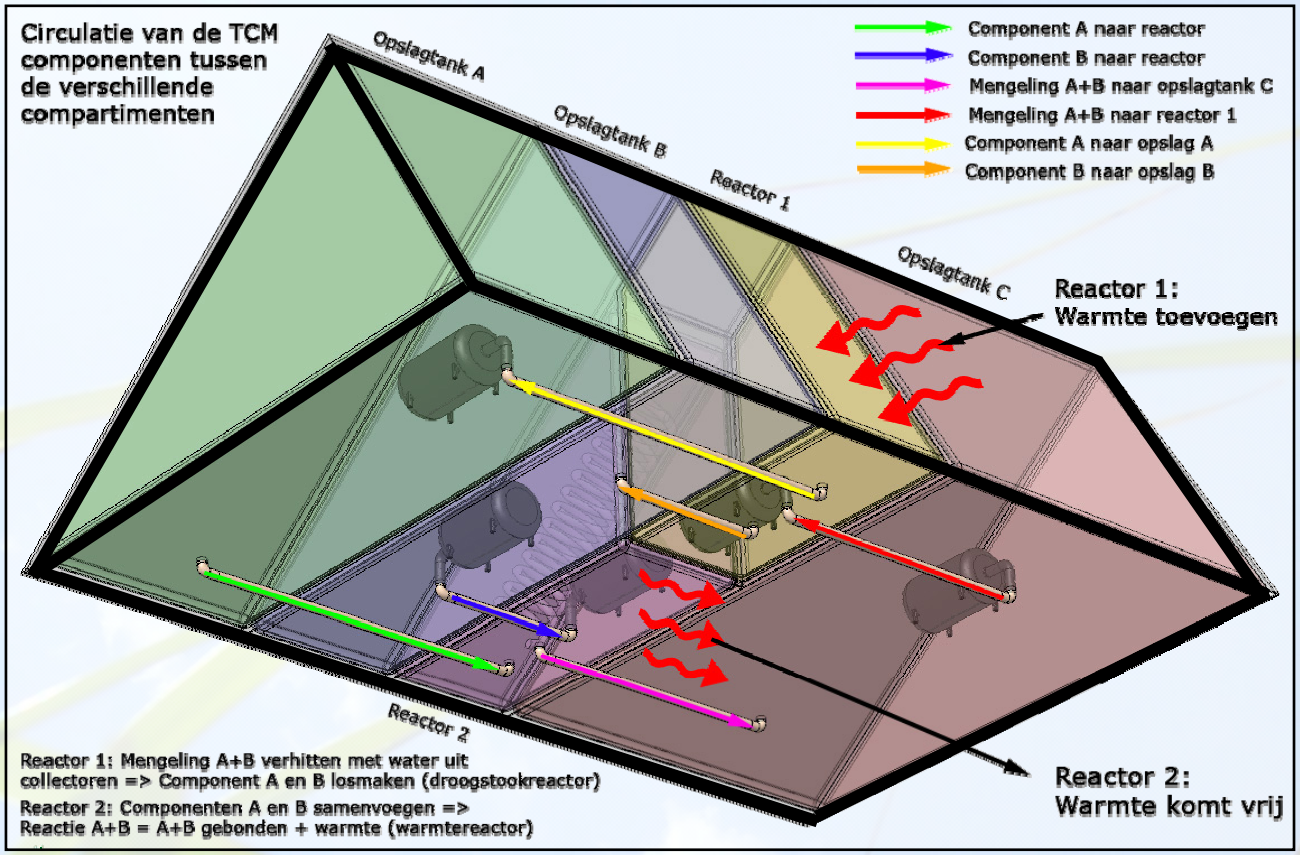
TCM tanks: Voor het mogelijk maken van warmteopslag in een TCM, is een bepaalde compartimentering in tanks benodigd om het principe werkende te krijgen. De eerste tank is opslagtank A (in de afbeelding groen). Deze is benodigd voor het opslaan van de werkende TCM component (de chemische stof zoals magnesiumsulfaat). De tweede tank, opslagtank B (blauw) is benodigd voor de andere component waarmee de stof in aanraking gebracht moet worden om een reactie op gang te brengen (in veel gevallen is dit water). Ten derde is er een reactor (1, geel) waarin de twee componenten samengebracht kunnen worden. Hierbij wordt vervolgens een combinatie van de twee samengebrachte stoffen gevormd, wordt waarbij warmte vrijkomt. De warmte die vrijkomt, wordt hierbij getransporteerd naar energiebehoevende processen in de woning. De samenstelling van de 2 stoffen die van deze reactie het resultaat is, wordt opgeslagen in de vierde tank; opslagtank C (rood). Deze tank wordt naarmate de TCM veel toegepast wordt (in de winter) steeds voller. Het is echter zo dat vanuit deze tank, wanneer genoeg warmte beschikbaar is vanuit de collectoren, de combinatie van de twee stoffen naar de vijfde tank; reactor (2, roze, op de afbeelding aanwezig achter de gele reactor) geleidt wordt. Hierin kan de TCM dan "drooggestookt" worden. Dit betekent dat de samenstelling van de twee componenten wordt verbroken (als gevolg van de toegevoegde warmte) en er weer twee losse componenten ontstaan die naar de eerste twee tanks; opslagtank A en B kunnen worden geleid. Hiermee is de totale cirkel van het proces van thermochemische opslag rond. Dit proces is schematisch weergegeven in figuur 9.16 op de volgende pagina.



Figuur 9.14: Schematische weergave van de circulatie van water van de collectoren naar de TCM opslag in de nok



Figuur 9.15: Weergave van de 5 tanks die aanwezig zijn in de nok van de woning voor thermochemische warmteopslag



Figuur 9.16: Schematische weergave van de werking van het TCM principe (onderaanzicht!)

Toelichting indeling van de tanks: Zoals in hoofdstuk 5 beschreven werd is thermochemische opslag ongeveer een factor 10 efficiënter dan de huidige manier van opslaan van warmte in water. Opslaan van warmte in een grote watertank heeft voor een gemiddelde woning ongeveer een inhoud van 120 m^3 nodig. Met grove benadering zal dit voor thermochemische opslagmaterialen dus zo'n 12 m^3 zijn. Deze inhoud is het totaal aan ruimte wat benodigd is voor het gehele circuit; met daarin de verschillende opslagtanks, reactoren, pompen en leidingen. In ontwerp A is vanwege het perspectief van technische haalbaarheid, en het feit dat het ontwerp voor de wat vroegere toekomst geschikt moet zijn (2015 – 2030) voor een ruimtebenutting van het totale TCM circuit van 15 m^3 gekozen zodat daarmee aan de veilige kant gerekend kan worden.

Afhankelijk van welk materiaal TCM toegepast wordt hebben TCM's een warmtecapaciteit van ongeveer 2 GJ per m^3. De schattingen die eerder uitgevoerd zijn geven voor een gemiddeld huishouden een warmtevraag van ongeveer 18,5 GJ. Hiervan is 12 GJ voor tapwater benodigd en ongeveer 6 GJ voor ruimteverwarming (de passief huis standaard). Dit is de totale warmtevraag van het gehele jaar, waarbij een groot deel van deze warmte direct uit de zon gewonnen kan worden, zonder tussenkomst van warmteopslag. Dit is vooral het geval in het voorjaar en de zomer. Grof gezegd valt dus de helft van de warmtevraag weg, waarbij een totale warmte vraag van zo'n 9 à 10 GJ voor de koudere perioden van het jaar overblijft.

Wanneer wordt geredeneerd met deze getallen resulteert dit in een effectief benodigde hoeveelheid van zo'n 5 m^3 netto TCM materiaal. Deze waarde is verder nog op te delen in de onderlinge componenten, waarbij component A de werkzame TCM component is, en component B water zal zijn. Bij de ideale reactie van de TCM component met het water zal de verhouding van de 2 stoffen ongeveer 1:1 zijn. Deze situatie is echter bijna alleen theoretisch haalbaar of er moeten zeer nauwkeurig gereguleerde condities en zeer hoge temperaturen aan te pas komen. Omdat dit in een woning lastig voor elkaar te krijgen is, wordt bij het ontwerp een verhouding van 3:2 gebruikt om aan de totale hoeveelheid TCM materialen van minimaal 5 m^3 te komen. Dit betekent dat tank A 3,5 m^3 is en tank B wat kleiner, met ongeveer 2,5 m^3. Er is hiermee dus wederom voor de veilige kant gekozen door de inhoud wat groter te nemen. De rest van de ruimte wordt gebruikt voor opslag van de reactieproducten en de 2 reactoren. In totaal is de verdeling van de totale inhoud van het TCM circuit als volgt opgedeeld:

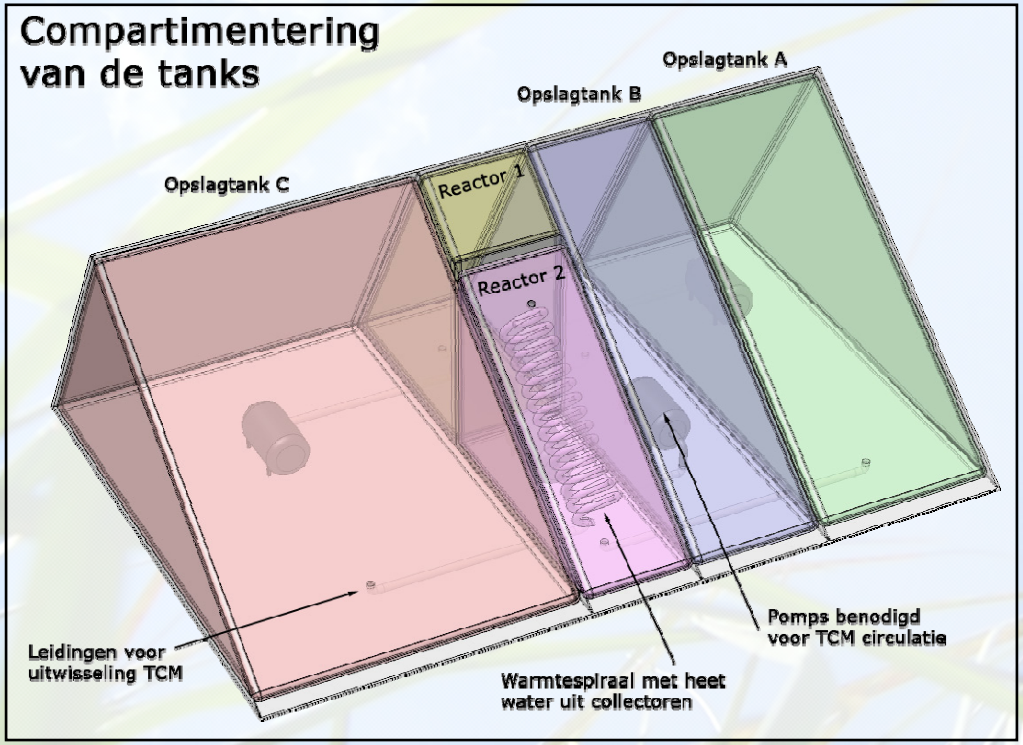
Tank:	**Inhoud:**
Opslagtank A	3,5 m^3
Opslagtank B	2,5 m^3
Opslagtank C	6 m^3
Reactor 1	1,5 m^3
Reactor 2	1,5 m^3
Totaal	*15 m^3*

Onderdelen TCM tanks: In de tanks zijn verschillende onderdelen aanwezig om het hiervoor beschreven proces mogelijk te maken. Per tank is een pomp benodigd om het thermochemische materiaal te laten circuleren. Om deze circulatie plaats te laten vinden is daarnaast ook een leidingennetwerk benodigd dat de tanks onderling met elkaar in verbinding brengt. Verder is in reactietank 1 (waar de droogstook van de TCM plaatsvindt), een warmtespiraal aangebracht, waardoor het hete water loopt dat uit de collectoren komt. Op deze manier wordt de warmte die opgevangen wordt in de vacuümcollectoren, overgebracht op de TCM, waardoor deze omgezet kan worden in de twee losse componenten die opgeslagen kunnen worden en benut kunnen worden in de winter wanneer de warmte het meest nodig is. Een voorbeeld van de inhoud van deze tanks is in figuur 9.17 weergegeven.

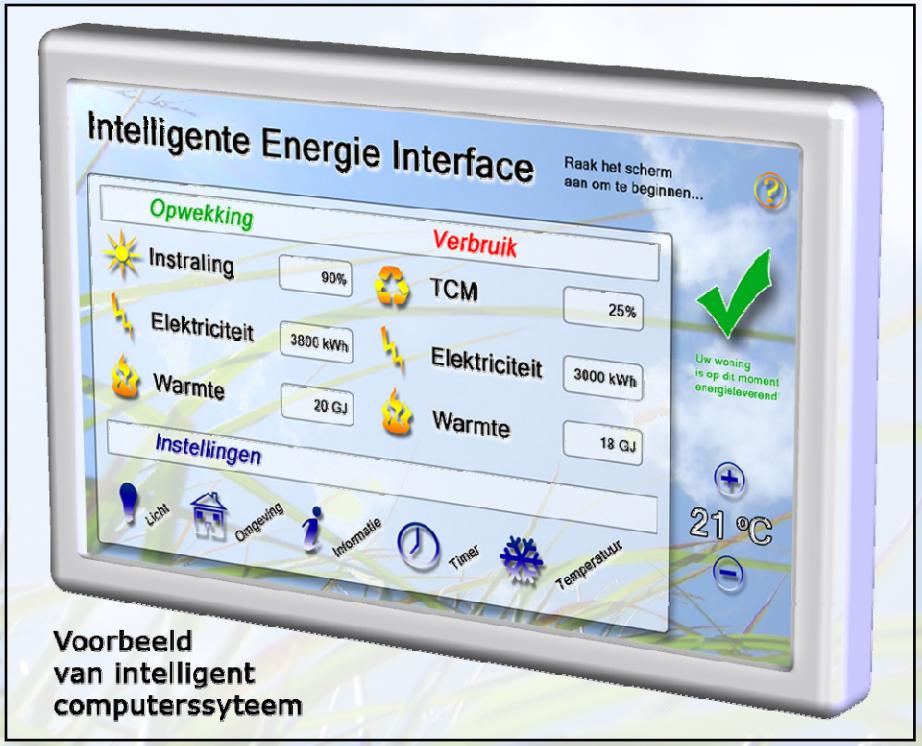
Intelligent computersysteem: Bij dit het totale ontwerp van dit systeem hoort een intelligent computersysteem dat met behulp van sensoren en actuatoren de meest prettige leefomgeving voor de gebruiker reguleert. Met dit systeem zijn voor de gehele woning instellingen te doen die te maken hebben met energie en leefcomfort. Dit wordt gedaan door in de woonkamer een kastje te hangen waarin verschillende instellingen te doen zijn die ten eerste informatie verschaffen over de energieopbrengst van de zonneproducten op het dak en in de beglazing. Hierbij wordt weergegeven hoeveel energie wordt opgewekt (opgedeeld in elektriciteit en warmte), wat de instraling op dat moment is, de temperatuur, en andere omgevingsparameters die de gebruiker van belang vindt. Naast de registratie van de opwekking wordt ook precies bijgehouden wat het verbruik in de woning is. Op deze manier kan de gebruiker zien of er sprake is van een energieneutrale of zelfs energieleverende woning. Naast deze verschaffing van informatie kunnen instellingen zoals de temperatuur, luchtvochtigheid, belichting, zonwering, etc. in de woning geregeld worden.

Het kastje is dus een soort "alleskunner". Besturing vindt plaats met behulp van een touch screen, maar ook stemcommando's of geluiden (klappen met handen om belichting te reguleren) zijn mogelijk. Omdat dit aspect van het ontwerp een soort leuke "plus" is, wordt dit onderdeel verder niet al te uitvoerig besproken. Bovendien zou het verder uitwerken van een dergelijk product alweer een hele bacheloropdracht op zich kunnen vormen! Een voorbeeld van hoe een dergelijk systeem aan de muur eruit zou kunnen zien is weergegeven in figuur 9.18.

In dit hoofdstuk is nu per onderdeel apart beschreven hoe ontwerp A in elkaar zit. Op de volgende pagina is dit in een overzicht samengevat.

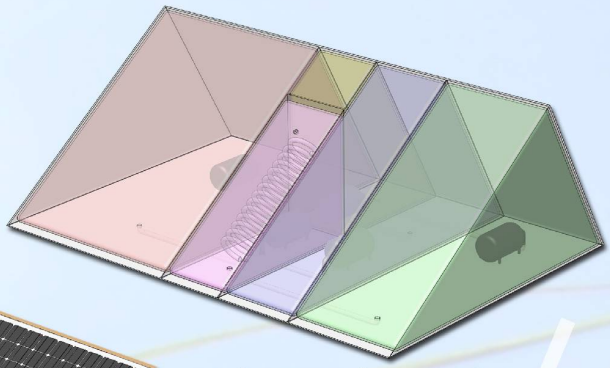


Figuur 9.17: Weergave van de verschillende onderdelen die in de tanks aanwezig zijn



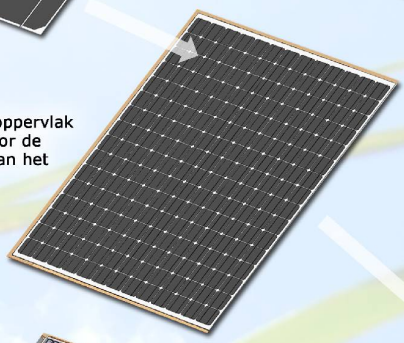
Figuur 9.18: Voorbeeld van een computersysteem met een zogenaamde "Intelligente Energie Interface"

Ontwerp A - 2015



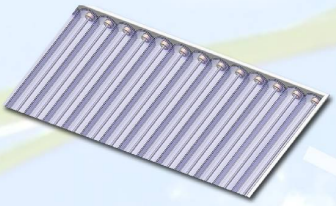
Monokristallijn PV panelen

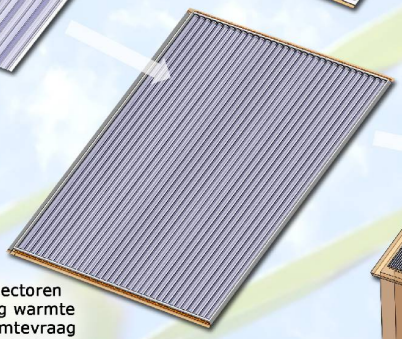
7 PV Panelen op het dakoppervlak van de woning zorgen voor de elektriciteitsopwekking van het huishouden.

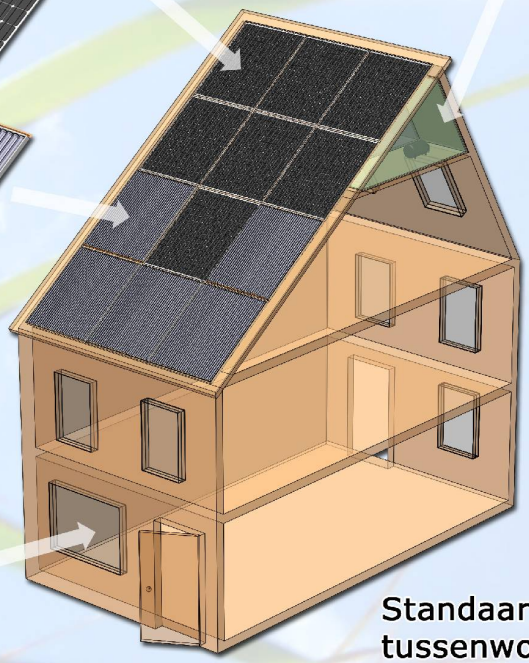


Thermochemische warmteopslag

Warmte wordt in een thermochemisch materiaal opgeslagen. Deze opslag kan in de winter aangesproken worden bij een lagere instraling van de zon en een hogere warmtevraag van de woning.

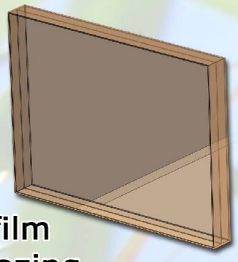






Vacuümbuis collectoren

5 Vacuümbuiscollectoren genereren genoeg warmte om de totale warmtevraag van de woning te dekken.



Standaard tussenwoning

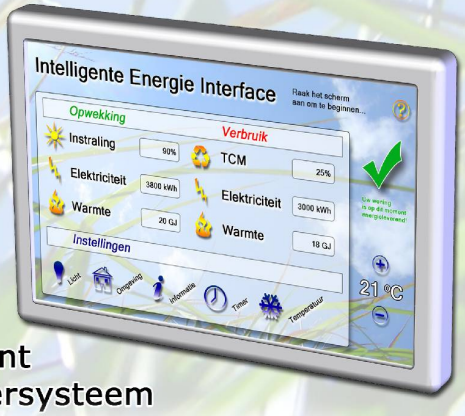
De woning is het kleinste type woning dat nu op de woningmarkt beschikbaar is om te onderzoeken of zelfs hiermee energie-neutraliteit tot de mogelijkheden behoort.

Dunne film PV beglazing

Dunne film PV zonnecellen zijn geïntegreerd in de beglazing zodat hiermee ook elektriciteit opgewekt kan worden.

Energieneutrale woning

- 3500 kWh elektriciteit
- 20 GJ warmte
- Seizoensopslag van warmte
- Schakelbare beglazing
- Computersysteem in woning



Intelligent computersysteem

Een intelligent computersysteem registreert het energieverbruik en de opbrengsten van het systeem.

De ontwerpaspecten

Nu ontwerp A uitvoerig besproken is, kan kritisch naar de doelstelling gekeken worden die aan het begin van dit project gesteld werd. Daarom is hieronder een tabel aanwezig met aan de linkerkant de verschillende punten waaraan het ontwerp op een bepaalde manier moet voldoen (ontwerpaspecten die afgeleid zijn van de vragen die aan het begin van dit hoofdstuk stonden beschreven). Aan de rechterkant staat dan uitgelegd op welke manier in dit ontwerp is voldaan aan deze doelstelling. Omdat bij deze bacheloropdracht in totaal twee ontwerpen in verder detail uitgewerkt zullen zijn, is er voor gekozen deze punten redelijk kort langs te gaan, en niet al te diep op elk onderdeel in te gaan. Dit is nodig omdat de opdracht anders niet binnen het tijdsbestek van 13 weken uitgevoerd kan worden.

-		**Ontwerpaspecten van ontwerp A**
a.	**Reeds beschikbare technologieën:**	- PV panelen met monokristallijn cellen - Vacuümbuiscollectoren - Dunne film PV beglazing - Techniek voor intelligent computersysteem is aanwezig => Alleen nog een slimme implementatie in een systeem nodig
b.	**Toekomstige technologieën:**	- Thermochemische warmteopslag - Variabel reflectiemateriaal (VAREM) voor de schakelbare laag van de beglazing
c.	**Energieopbrengst:**	Hieronder staan globale berekeningen van schattingen van de energieopbrengsten bij verschillende varianten van ontwerp A: **Ontwerp A normaal (zonder dakraam):** PV panelen met monokristallijn siliciumcellen: 7 x 3,5 m^2 x 135 kWh = 3300 kWh Dunne film PV in beglazing: 6 m^2 x 65 kWh = 390 kWh + *Totaal: 3600 kWh elektriciteit* Vacuümbuiscollectoren: 5 x 3,5 m^2 x 1,4 GJ = *24,1 GJ warmte* **Ontwerp A met dakkapel:** PV panelen met monokristallijn siliciumcellen (5 x 3,5 m^2 x 135 kWh) + (5 m^2 x 135 kWh) = 3040 kWh Dunne film PV in beglazing: (6 m^2+ 1,5 m^2) x 65 kWh = 490 kWh + *Totaal: 3530 kWh elektriciteit* Vacuümbuiscollectoren: 4 x 3,5 m^2 x 1,4 GJ = *19,6 GJ warmte* **Ontwerp A met dakraam aan zuidkant:** PV panelen met monokristallijn siliciumcellen: 6 x 3,5 m^2 x 135 kWh = 2835 kWh Dunne film PV in beglazing: (6 m^2+ 3,5 m^2) x 65 kWh = 620 kWh + *Totaal: 3455 kWh elektriciteit* Vacuümbuiscollectoren: 5 x 3,5 m^2 x 1,4 GJ = *24,5 GJ warmte* Uit deze berekeningen word duidelijk dat het niet eens benodigd is om het gehele dak te bedekken met PV of zonnecollectoren. Bewoners van een woning hebben dus nog de vrijheid om een dakraam te installeren, of een dakkapelopbouw te kiezen, zonder dat dit grote consequenties heeft voor de levering van de benodigde energie in de woning.

d.	**Flexibiliteit:**	Het ontwerp is flexibel want het speelt in op de omgeving (veranderende instraling, warmtevraag, temperatuur, etc.) op de volgende manieren: - Bij overproductie van elektriciteit (er wordt meer elektriciteit opgevangen dan verbruikt in de woning) wordt het overschot aan elektriciteit aan het net geleverd en loopt de elektriciteitsmeter terug - Bij overproductie van warmte wordt deze warmte gebruikt voor het "opladen" van de TCM - Bij tekort aan elektriciteit wordt het lichtnet aangesproken (bijv. 's nachts) - Bij tekort aan warmte wordt de TCM ingezet om warmte te produceren
e.	**Gebouwintegratie:**	De PV panelen zijn geïntegreerd in het dak doordat ze op een rails bevestigd zijn die vastgeschroefd zit aan het dak, wat op de plekken waar PV ligt, iets verlaagd is zodat deze op hetzelfde niveau komen te liggen als de rest van het dak. Ditzelfde geldt voor de zonnecollectoren, die overigens wat dieper in het dak moeten liggen omdat deze wat dikker zijn dan de PV panelen. Naast deze bovenlaag van het dak is er een bepaalde stevige constructie van het dak benodigd met daarbij een laag isolatie. Deze isolatie kan bestaan uit reguliere isolatiematerialen zoals geavanceerde PUR schuimen, maar er kan ook gebruik gemaakt worden van vacuümpanelen die met een zeer geringe dikte dezelfde isolatie eigenschappen kunnen hebben als een veel dikkere laag "normaal" isolatiemateriaal. De toegepaste isolatielaag moet hierbij ook hoge temperaturen kunnen weerstaan omdat de temperatuur bij vacuümbuizen nogal kan oplopen (200 – 300 ^{o}C). Deze keuze voor het type isolatie hangt af van het ontwerp van de nieuwbouwwoning en is niet van toepassing op het ontwerp. Integratie van de TCM opslag is gedaan door het benutten van de ruimte in de nok van het huis. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit een redelijk grote inhoud betreft (zo'n 15 m^3), waarbij uiteindelijk ook grote gewichten aan gekoppeld zijn. Er komt namelijk in totaal minimaal zo'n 20 tot 30.000 kg in de nok van het huis. Om dit te kunnen realiseren zijn wel enkele verstevigingen in het bouwskelet van de woning benodigd. Aangezien het gaat om nieuwbouwwoningen kunnen deze aanpassingen echter bij het ontwerp van de woning al gedaan worden zodat dit niet achteraf problemen oplevert.
f.	**Intelligentie:**	Het systeem past zich aan de omgeving en de wensen van de gebruiker aan op de volgende manieren: - Het systeem reguleert de opwekking van elektriciteit en het opvangen van warmte met behulp van de processen die bij onderdeel **d)** genoemd werden - Het leefklimaat van de woning wordt automatisch gereguleerd met behulp van het computersysteem dat zorgt voor de regulatie van de verwarming, koeling, luchtvochtigheid, belichting en zonwering van woonruimten - Het systeem reageert op de instellingen die door de gebruiker ingevoerd worden in het computersysteem via een grafische user interface - Het systeem weet of het buiten warmer of kouder is dan binnen de woning, wanneer en waar er warmte in de woning benodigd is, waar deze warmte vandaan te halen, etc.
g.	**Modulariteit:**	Het systeem is, wat betreft het opwekken van elektriciteit en het opvangen van warmte, redelijk modulair. Het aantal PV panelen en zonnecollectoren is bijvoorbeeld gemakkelijk uit te breiden, wanneer de gebruiker meer energie voor zijn woning wil (bij bijvoorbeeld bij een verbouwing). Ook kan bij uitbreiding van de woning gemakkelijk gekozen worden voor meerdere toepassing van PV beglazing. Dit uitbreidingsprincipe geldt echter niet voor de thermochemische warmteopslag. Dit heeft te maken met het feit dat het gaat om een complex en zwaar opslagsysteem met grote tanks, pompen en leidingen, waarvoor bij het ontwerp van de nieuwbouwwoning al een bepaalde locatie wordt vrijgegeven en de ruimte beperkend is (in dit geval de nok). Het is dus niet mogelijk om bij uitbreiding van het aantal zonnecollectoren, de warmteopslag mee te laten groeien. Het TCM opslagsysteem is echter al aan de veilige, ruime kant gekozen, zodat er altijd een bepaalde hoeveelheid speling aanwezig is wanneer gekozen wordt voor uitbreiding van het aantal collectoren. Bovendien is het voor uitbreiding van een systeem interessanter om PV panelen te kiezen in plaats van collectoren omdat de warmtevraag van een woning over het algemeen constanter is, en met het "standaard" aantal collectoren gedekt moet kunnen worden.
h.	**Zelfstandigheid:**	Het systeem van dit ontwerp is in principe (volgens de schattingen) volledig zelfstandig wat betreft gemiddelde energieopbrengst- en gebruik. Wanneer snel berekeningen gemaakt worden, gelden de volgende waarden van de **netto energieopbrengst** van de woning (dat wil zeggen, de hoeveelheid energie die nog over is wanneer het verbruik van de woning er vanaf wordt getrokken): **Standaard**: Energieneutraal qua elektriciteit 24,1 GJ – 18,5 GJ = *5,6 GJ warmte leverend* **Dakkapel**: Energieneutraal qua elektriciteit en warmte **Dakraam**: Energieneutraal qua elektriciteit 24,5 GJ – 18,5 GJ = *5,6 GJ warmte leverend* Omdat de hoeveelheden warmte die extra geproduceerd worden niet echt op een nuttige manier in de omgeving van de woning toegepast kunnen worden, en dit bovendien een zeer kleine hoeveelheid is, is bij dit ontwerp voor 2015 nog niet echt sprake van een energieleverende woning; wel wordt er genoeg energie opgewekt voor het eigen verbruik zodat er sprake is van een energieneutraal ontwerp.
i.	**Gebruiksgemak (comfort):**	Met behulp van het computersysteem dat in de woonkamer of in andere kamers van de woning aanwezig is, kan de gebruiker gemakkelijk verschillende instellingen doen wat betreft wooncomfort. Dit computersysteem is hiervoor al uitvoerig beschreven.

j.	**Vormgeving:**	Qua vormgeving is ontwerp A redelijk terughoudend. Er is sprake van een simpele, strakke vormgeving van de woning (erg rechttoe rechtaan) met een groot dakoppervlak dat door de volledige oppervlaktebenutting van zonenergetische producten een moderne uitstraling heeft. Hierbij is de vorm van het dak een zogenaamd "lessenaardak", wat in hoofdstuk 3 al genoemd werd als een soort moderne verandering qua architectuur. De beglazing in de zuidgevel met daarin dunne film PV en een schakelbare laag zorgt ook voor een futuristische uitstraling doordat het glas van zichzelf wat getint is, en eventueel spiegelend gemaakt kan worden wat daarmee een modern effect kan hebben. Het ontwerp is in totaal redelijk neutraal, niet te opvallend en daarmee gericht op de "vroege toekomst" (2015 – 2030). Het computersysteem is verder een klein onopvallend, glimmend en stijlvol kastje aan de muur wat goed bij een modern interieur past.
k.	**Materialen:**	**PV panelen**: monokristallijn siliciumcellen*, kunststof onderplaat (PP), metalen profielen voor bevestiging, zilveren contactlijnen, achterzijde aluminium contacten **Dunne film PV glas**: geperforeerde dunne film PV, glazen ruiten, speciale houten kozijnen, edelgas tussen de glaslagen, opgedampte spectraal selectieve coating, VAREM materialen (waterstof en schakelbare laag) **Vacuümbuiscollectoren**: metalen bevestigingsprofiel, glazen buizen, koperen absorber met spectraal selectieve coating, koperen leidingen, spiegels aan achterkant van de vacuümbuizen **TCM opslag**: metalen tanks en reactoren, koperen leidingen, pompen, koperen warmtespiraal **Computersysteem**: verschillende, niet nader gespecificeerde componenten => Sensoren, actuatoren, andere elektronische onderdelen etc. (te gedetailleerd voor de opdracht)
l.	**Problemen:**	Het grootste probleem is het gewicht van het TCM opslagsysteem in de nok van de woning. Een normaal gebouwde woning is namelijk niet berekend op deze extra krachten die op het dak, het plafond en de muren komen te staan. Andere problemen zijn de nu nog ontbrekende kennis over de technische mogelijkheden van thermochemische materialen; hoe deze gemakkelijk te laten circuleren en samen te brengen zijn in de juiste hoeveelheden, etc. Er wordt echter verwacht dat deze problemen in de toekomst (waarvoor dit ontwerp van toepassing is) opgelost zullen worden.
m	**Oplossingen:**	De oplossing voor het probleem van de zware TCM opslag in de nok kan opgelost worden door het verstevigen van het bouwskelet van de woning. Aangezien het gaat om een nieuwbouwwoning, kan bij het ontwerpen van de woning al rekening gehouden worden met dit extra gewicht. Het voordeel hiervan is dat de kosten ter voorkoming van dit probleem lager gehouden kunnen worden dan het geval zou zijn bij de versteviging van een al bestaande woning. Over de kosten van de versteviging van de woning volgt zometeen meer. Een andere eventuele mogelijkheid zou ook kunnen zijn om de TCM opslag te verplaatsen naar bijvoorbeeld de kruipruimte van de woning om hiermee een grote kostenbesparing te realiseren.
n.	**Voor- en nadelen t.o.v. huidige producten nu (2007):**	**Voordelen:** - Warmteopslag tussen seizoenen mogelijk met beperkt ruimtegebruik (factor 10 verbetering t.o.v. reguliere opslag met water) zonder warmteverliezen - Ieder component doet datgene waar hij goed in is (duidelijk opdeling): 1) PV => Elektriciteit 2) Vacuümbuiscollector => Warmte 3) Warmteopslag => TCM - Mogelijk overbelasting van het net wanneer elk huishouden energieproducerend is => Elektriciteitsopslag benodigd? - Multifunctionaliteit van de PV Beglazing => Constructie + uitzicht + elektriciteitsopwekking + zonnewering + privacy - Intelligent computersysteem maakt gebruiker bewust van het energiegebruik in de woning en daardoor waarschijnlijk ook zuiniger - Alles met één apparaat te regelen (het computerkastje) - Mogelijkheden tot variatie van het ontwerp => Dakkapel, dakraam, etc. **Nadelen:** - Groter oppervlak benodigd dan bij toepassing PVT - Aan de zuidkant getinte ramen => Minder lichtinval dus donkerder. Dit kan deprimerend werken voor bewoners - Thermochemische opslag erg groot, zwaar en duur
		* In principe kunnen bij dit ontwerp allerlei varianten van zonnecellen in de PV panelen toegepast worden. Er wordt voor het gemak nu rekening gehouden met monokristallijn siliciumcellen (vanwege de veelvoudige huidige toepassingen), maar dit zouden dus ook andere typen cellen kunnen zijn.

Kosten en opbrengsten

In deze paragraaf wordt een schatting gemaakt van de kosten om dit ontwerp uit te voeren. Wanneer gekeken wordt naar deze globaal geschatte kosten, moeten allereerst bepaalde kanttekeningen gemaakt worden. Allereerst gaat het bij dit ontwerp om bepaalde technologieën die nog niet op de markt aanwezig zijn, en waarvan nog niet eens precies bekend is hoe deze precies moet werken. Daarom is het zeer lastig om bepaalde schattingen te maken van hoe duur een dergelijk systeem zal worden. Daarnaast betreft het een ontwerp dat op de toekomst gericht is, wat nóg meer onzekerheden met zich meebrengt. Desondanks is toch geprobeerd iets te zeggen over het globaal verwachte kostenplaatje van dit ontwerp door enkele schattingen te maken van de prijzen van de verschillende onderdelen, en deze te corrigeren voor de toekomst. Dit is gedaan in figuur 9.19.

Allereerst is gekeken naar de vaste kosten van het systeem, die grotendeels bestaan uit de thermochemische opslag. Hierbij zijn de prijzen van verschillende componenten ingevuld en is voor het jaar 2015 een kostenreductie van 75% genomen en voor de verdere toekomst in het jaar 2030 een reductie van 50%. Opvallend is dat een groot deel van de kosten bestaat uit het thermochemische materiaal zelf, omdat hiervan een zeer grote hoeveelheid benodigd is. Voor de waarden omtrent de TCM opslag wordt gerefereerd naar Herbert Zondag (ECN), die een uitgebreide literatuurinventarisatie heeft gedaan naar het onderwerp Thermochemische Warmteopslag, en daar ook enkele kostenschattingen in verwerkt heeft. Verder heeft een groot aantal collega's op het ECN mij geholpen aan andere schattingen van kosten van verschillende onderdelen. De grootste kostenpost is echter die voor de versteviging van de woning die benodigd is wanneer de TCM opslag in de nok van de woning geïntegreerd zal worden. Omdat deze kostenpost eigenlijk te groot is, vergeleken met de andere kosten in het ontwerp, is ook onderzoek gedaan naar de "noodmogelijkheid" door de TCM opslag in de kruipruimte van de woning te verwerken. Hiervoor zijn veel minder aanpassingen benodigd, wat zich automatische uit in een veel lagere kostenpost. Overigens is in de tabel ook te zien dat niet alle posten zijn gecorrigeerd met de toekomstfactor, omdat bij bijvoorbeeld bouwkosten deze prijzen ongeveer hetzelfde zullen blijven. De meeste technologische componenten zijn echter wel aan deze prijsdaling onderhevig.

Deze analyse geeft ons, voor de periode waarvoor dit ontwerp gemaakt is (het jaar 2015) een totale kostprijs van 53.000 € wanneer gerekend wordt met het ontwerp zoals deze is gemaakt met de waarden van de NOVEM referentie tussenwoning, en het daarop bevestigde oppervlak aan zonnecollectoren, PV panelen en de geïntegreerde TCM opslag in de nok. Wanneer de opslag in de kruipruimte zal zijn, is de verwachte kostprijs veel aantrekkelijker met zo'n 35.500 €.

Het systeem heeft echter ook opbrengsten zoals in figuur 9.20 te zien is. In deze tabel is uitgegaan van het energiegebruik van de woning die bij het ontwerp is nagebouwd met 3500 kWh aan elektriciteit en 18,5 GJ warmte. De warmtevraag is hierbij omgerekend naar de benodigde hoeveelheid m^3 gas. Met de energieprijzen die nu gelden is verder op basis van het Holand Solar scenario (zie ook hoofdstuk 6) een schatting gemaakt van de energieprijzen in 2015 en 2030. Met behulp van deze waarden kan het totaal aan jaarlijkse besparingen worden berekend, wat in 2015 resulteert in zo'n 1.060 €. Wanneer dit wordt gerelateerd aan de hiervoor besproken geschatte kostprijs van het totale systeem, komt dit neer op een terugverdientijd van 46 jaar wanneer de TCM in de nok wordt geïntegreerd, en een veel gunstigere terugverdientijd van 31 jaar wanneer deze in de kruipruimte plaatsvindt. Dit is helemaal geen slecht resultaat gezien de lange levensduur van een woning. Na deze terugverdientijd wordt namelijk jaarlijks het eerder genoemde bedrag van 1.060 € per jaar verdiend!

Kosten ontwerp A	Factor 1,00	Factor 0,75	Factor 0,50	*
Onderdeel TCM opslag:	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	
Tanks	€ 1.000,00	€ 750,00	€ 500,00	
TCM component (1€ / kg) **	€ 7.000,00	€ 5.250,00	€ 3.500,00	
Absorptie warmtepomp	€ 4.000,00	€ 3.000,00	€ 2.000,00	
Bodem warmtewisselaar	€ 2.000,00	€ 1.500,00	€ 1.000,00	
Bekabeling, regeling, elektrische componenten:	€ 1.000,00	€ 750,00	€ 500,00	
Warmtewisselaar woning:	€ 1.000,00	€ 750,00	€ 500,00	
Intelligent computersysteem:	€ 500,00	€ 375,00	€ 250,00	
Installatiekosten nieuwbouw ***	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00	
Versteviging bouwwerk woning (nok) ****	€ 20.000,00	€ 20.000,00	€ 20.000,00	
Uitgraven bouwput (kruipruimte)	€ 2.500,00	€ 2.500,00	€ 2.500,00	
Totaal vaste kosten (TCM in nok):	**€ 37.000,00**	**€ 32.875,00**	**€ 28.750,00**	Optie 1
Totaal vaste kosten (TCM in kruipruimte):	**€ 19.500,00**	**€ 15.375,00**	**€ 11.250,00**	Optie 2
Andere onderdelen:	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	**Oppervlakte:**
Vacuümbuiscollectoren / m2:	€ 600,00	€ 450,00	€ 300,00	1 m2
Monokristallijn silicium PV panelen / m2:	€ 500,00	€ 375,00	€ 250,00	1 m2
Dunne film PV beglazing /m2:	€ 700,00	€ 525,00	€ 350,00	1 m2
Berekening kosten hoeveelheid oppervlakte:				
Totaal collectoren:	€ 10.500,00	€ 7.875,00	€ 5.250,00	17,5 m2
Totaal PV:	€ 12.250,00	€ 9.187,50	€ 6.125,00	24,5 m2
Totaal PV beglazing:	€ 4.200,00	€ 3.150,00	€ 2.100,00	6 m2
Totaal variabele kosten:	**€ 26.950,00**	**€ 20.212,50**	**€ 13.475,00**	
Totaal vaste + variabele kosten (nok):	**€ 63.950,00**	**€ 53.087,50**	**€ 42.225,00**	Optie 1
Totaal vaste + variabele kosten (kruipruimte):	**€ 46.450,00**	**€ 35.587,50**	**€ 24.725,00**	Optie 2
		*****		
* Er is gerekend met de globaal verwachte vermindering van kosten in de toekomst				
** Bij ontwerp A is een hoeveelheid van 3,5 m3 à 2000 kg / m3				
*** Sommige kosten zijn niet onderhevig aan prijsdalingen => in de bouwwereld blijven veel prijzen gelijk				
**** Er zijn twee mogelijkheden geanalyseerd voor toepassing van het TCM systeem: de nok en de kruipruimte				
***** Waarden die van toepassing zijn op de termijn waarvoor het ontwerp is bedacht				

Figuur 9.19: Overzicht van de verwachte kosten van ontwerp A

Besparingen ontwerp A	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	
Prijs 1 kWh:	€ 0,20	€ 0,25	€ 0,33	* Uitgaande van het Holand Solar scenario
Prijs 1 m3 gas:	€ 0,45	€ 0,54	€ 0,60	Gekoppeld aan ditzelfde scenario
Besparing / jaar elektriciteit:	€ 700,00	€ 875,00	€ 1.155,00	3500 kWh
Besparing / jaar gas:	€ 238,50	€ 286,20	€ 318,00	18,5 GJ **
Besparing totaal / jaar:	**€ 938,50**	**€ 1.161,20**	**€ 1.473,00**	
Terugverdientijd (jaar):	**68**	**46**	**29**	Optie 1: TCM in nok
Terugverdientijd (jaar):	**49**	**31**	**17**	Optie 2: TCM in kruipruimte
		***		
***Met een TCM in de nok is de terugverdientijd geschat op 46 jaar				** 1 m3 gas = 35 MJ
Bij een TCM systeem in de kruipruimte is dit 30 jaar				18,5 GJ = 530 m3 gas

Figuur 9.20: Overzicht van de besparingen die horen bij ontwerp A

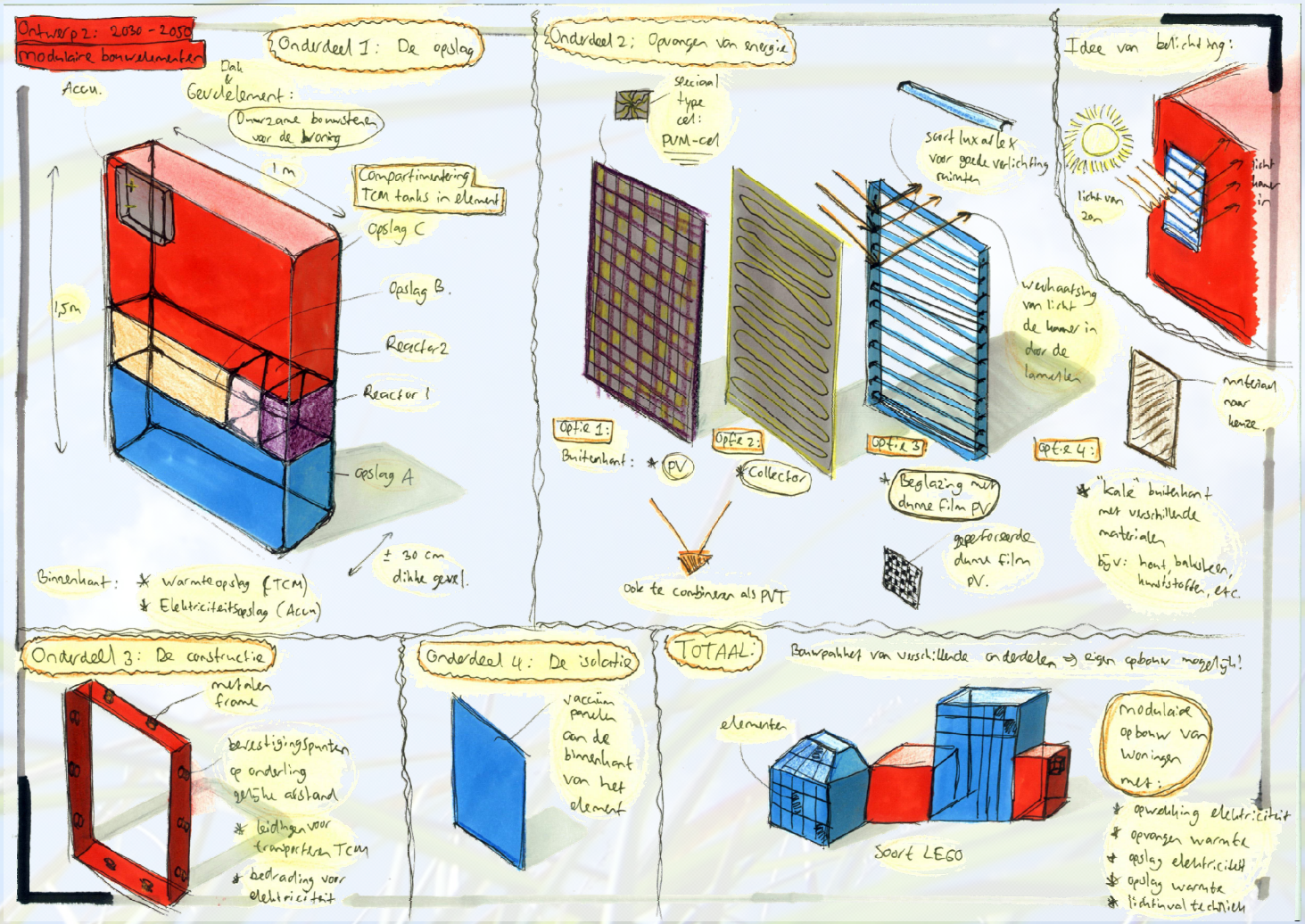
Hoofdstuk 10: Uitwerking van ontwerp B voor 2030

Schakelbare dak- en gevelelementen met geïntegreerde collectoren, PV en thermochemische warmteopslag

Het tweede ontwerp wat is gemaakt bij dit project is een ontwerp wat meer gericht is op de wat verdere toekomst. Het gaat hierbij om de periode vanaf 2030 waarbij qua techniek alweer een hoop meer haalbaar is dan bij ontwerp A. Dit ontwerp was namelijk voor de vroegere toekomst (het jaar 2015) uitgewerkt. In de afbeelding hiernaast is allereerst een grafische uitwerking te zien van het idee van dit ontwerp.

Bij ontwerp B is er sprake van verschillende modulaire bouwelementen, die onderling aan elkaar te bevestigen zijn. Per apart element zijn verschillende functies aanwezig die bijdragen aan de energielevering van de woning. Zo zijn er delen die zorgen voor de opwekking van elektriciteit, het opvangen van warmte, het efficiënt verdelen van zonlicht in woonruimten, het opslaan van warmte, etc. Doordat zelf gekozen kan worden welke elementen worden gebruikt, en waar deze precies in de woning terecht komen, kan naar eigen inzicht een woning ontworpen worden. Op deze manier is er sprake van een soort "duurzame energie bouwpakket". De bouwelementen hebben standaard afmetingen van 1 x 1,5 x 0,3 meter en hebben aan de zijkanten bevestigingspunten waarmee ze aan het aangrenzende element gekoppeld kunnen worden. Deze punten bestaan uit leidingen, die naast de belangrijke constructiefunctie ook nog gebruikt worden voor andere doeleinden. Hierover volgt later nog meer.

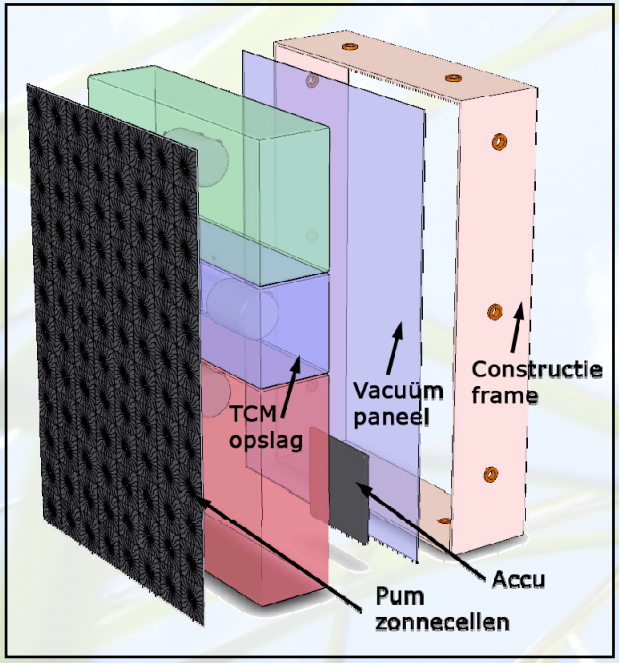
De elementen: De bouwelementen zijn grofweg verdeeld in 4 onderdelen, die ook duidelijk zijn weergegeven in de tekening. Ten eerste is binnenin het gevelelement een *thermochemische warmteopslag (1)* geïntegreerd, waarmee opgevangen warmte van de zon opgeslagen kan worden en vervolgens gebruikt kan worden wanneer dit nodig is. Ten tweede is er de *buitenkant (2)* van het element, welke gebruikt kan worden voor verschillende doeleinden zoals: (a) het opwekken van elektriciteit met PV panelen, (b) het opvangen van warmte met zonnecollectoren, (c) het fungeren als beglazing (met daarbij toegepast dunne film PV en een effectief lichtinvalsysteem) en (d) het hebben van een "standaard" buitenkant zoals hout, steen of beton. Deze 4 verschillende typen buitenkanten zullen straks verder toegelicht worden. Naast de opslag en de buitenkant bestaat elk element verder uit een derde onderdeel, namelijk het *constructieframe* (3) met daaraan verschillende bevestigingspunten. Ten slotte is de binnenkant van elk element uitgerust met een goede isolatie door toevoeging van een *vacuümpaneel (4)*. Nu de opbouw van de elementen zeer kort aan de orde is geweest, zal op de volgende pagina in dieper detail op de verschillende aspecten van het ontwerp ingegaan worden.



Figuur 10.1: Ontwerptekeningen bij ontwerp B, wat gericht is op modulaire bouwelementen die verschillende functies hebben

Opbouw van een element: Zoals gezegd zijn er verschillende typen bouwelementen bij dit ontwerp mogelijk, waarbij elk type zich onderscheidt door het hebben van bepaalde specifieke functies. In figuur 10.2 is te zien welke verschillende bouwelementen er bij dit ontwerp zijn, welke functies ze hebben, en uit welke onderdelen deze bouwelementen bestaan. Na dit overzicht zullen vervolgens de verschillende elementen één voor één besproken worden waarbij belangrijke details nader toegelicht zullen worden.

1) PV element: Dit element, waarvan een exploded view te zien is in figuur 10.3, wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken met behulp van zonlicht dat op het buitenoppervlak valt. Het heeft net als alle andere bouwelementen een oppervlakte van 1 x 1,5 = 1,5 m^2. Hiermee kan (met de verwachte schattingen van de opbrengst per m^2, zie ook ontwerp A) in totaal zo'n 1,5 x 150 = 225 kWh aan elektriciteit opgewekt kan worden. Er wordt gebruik gemaakt van een nieuw speciaal type zonnecellen; de zogenaamde PUM cel (zie figuur 10.4). Dit nieuwere type zonnecel heeft enkele zeer grote voordelen die de kristallijn siliciumcellen van tegenwoordig niet hebben.

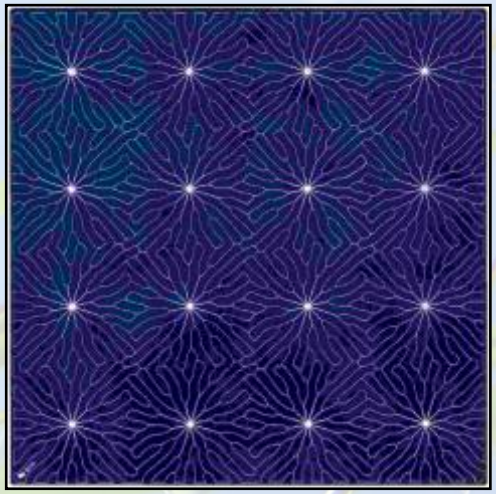


Figuur 10.3: Exploded view van het modulaire PV bouwelement

#	Type bouwelement:	Functies:	Onderdelen:
1	*PV*	Elektriciteit opwekken Elektriciteit opslaan Warmte opslaan Isolatie bieden	PV paneel met PUM cellen Accu TCM opslag Vacuümisolatie
2	*Collector*	Warmte opvangen Warmte opslaan Elektriciteit opslaan Isolatie bieden	Absorber TCM opslag Accu Vacuümisolatie
3	*PVT*	Elektriciteit opwekken Warmte opvangen Elektriciteit opslaan Warmte opslaan Isolatie bieden	PUM zonnecellen (bovenop de absorber) Absorber (met daarop PUM zonnecellen) Accu TCM opslag Vacuümisolatie
4	*Beglazing met PV en lichtinvalsysteem*	Elektriciteit opwekken Doorzichtig zijn & isolatie bieden Lichtinval optimaliseren	Opgedampt geperforeerde dunne film PV Vacuümglas Lichtinvalsysteem met lamellen
5	*Beglazing "normaal"*	Doorzichtig zijn & isolatie bieden	Vacuümglas
6	*Materiaal buitenkant met TCM en accu*	Constructie mogelijk maken Esthetica verzorgen Isolatie bieden Warmte opslaan Elektriciteit opslaan	Buitenkant met materiaaltype X Vacuümisolatie TCM opslag Accu
7	*Materiaal buitenkant "normaal"*	Constructie mogelijk maken Esthetica verzorgen Isolatie bieden	Buitenkant met materiaaltype X Vacuümisolatie
** Functies die voor alle typen elementen gelden zijn: stevigheid verzorgen, bescherming bieden tegen de omgeving en (bijna) geluidsdichtheid bieden.*			

Figuur 10.2: Overzicht van de verschillende typen bouwelementen die beschikbaar zijn bij ontwerp B

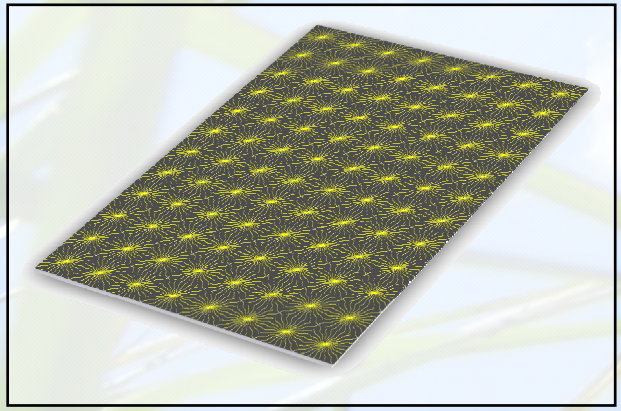
PUM zonnecel: Bij de huidige generatie kristallijncellen vindt elektrische geleiding plaats via een verbindingsstrip (meestal van zilver) die over de cellen heen ligt. Hier treedt al een eerste probleem op: er is op deze manier sprake van beschaduwing van de cel waardoor de totale opbrengst van het paneel minder is. Een ander nadeel van deze manier is dat deze verbindingsstrips op een dergelijke manier bevestigd worden die zeer lastig te fabriceren is, waarbij vele stappen benodigd zijn en vaak zelfs nog gebruik gemaakt wordt van handwerk. Dit zorgt voor hoge kosten. De PUM (Pin-Up Module) heeft deze nadelen niet. Er wordt bij deze cel namelijk gebruik gemaakt van een andere soort stroomgeleiding. Deze geleiding gaat namelijk via kleine gaatjes in de zonnecel naar de achterkant van de cel. Omdat de stroom naar de achterkant geleid wordt via deze gaatjes is het mogelijk om de elektrische contacten te integreren in een geleidende folie. Op deze manier is er geen verbindingsstrip benodigd die nadelen zoals een dure fabricage en een gedeeltelijke beschaduwing van cellen met zich meebrengt. In totaal resulteert dit bij toepassing van



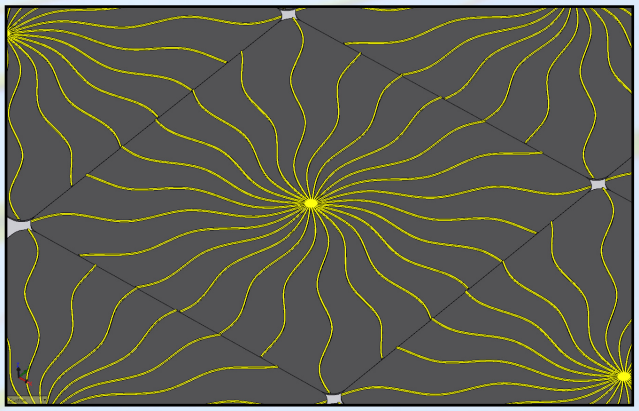
Figuur 10.4: Het lijnenpatroon dat aan de voorkant van een PUM zonnecel zichtbaar is

PUM cellen in een vermindering van tweederde van de componenten: bij een zonnepaneel met 36 cellen zijn bij kristallijncellen 120 componenten benodigd, en bij PUM cellen slechts 40. Dit zorgt voor een veel gemakkelijker en daardoor goedkoper productieproces met daarnaast ook nog een hogere opbrengst per cel. Bovendien is er een zeer goed perspectief voor het groter en dunner maken van deze cellen in de toekomst, zonder dat het rendement hierbij aangetast wordt.

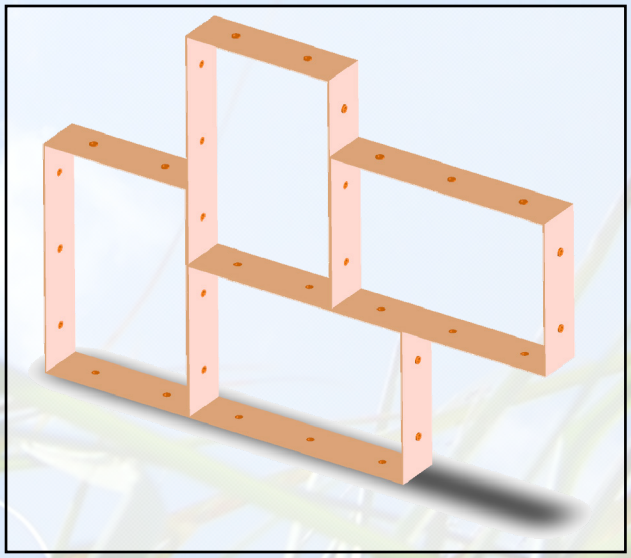
Opbouw van het buitenpaneel (PV): De PUM zonnecellen zijn op een kunststof onderplaat gelijmd, waarop een geleidende folie zorgt voor het transport van de opgewekte stroom. Deze stroom wordt vervolgens via dit folie naar de uiteinden van de plaat geleidt, waar de elektriciteitsstroom verder zal verlopen in de bedrading naar de accu van het bouwelement toe (deze komt straks aan de orde). Op de plaat bevinden zich 8 x 12 = 96 zonnecellen die elk 12 x 12 cm groot zijn (zie figuur 10.5 en 10.6). Omdat dit een erg groot aantal cellen is om aan één stuk met elkaar te verbinden is er een verdeling in 3 gedeelten gemaakt (niet te zien in de panelen, dit gebeurt aan de achterkant) waarmee een handigere verdeling ontstaat van 3x32 cellen (dit is voordelig voor het voltage dat naar de accu gaat). De PV plaat is gemonteerd in het basisframe van het bouwelement. Dit frame bestaat uit een rechthoekig stalen profiel wat fungeert als de bescherming van de binnenkant van het paneel en bovendien stevigheid aan de constructie biedt aangezien het in de woning als bouwelement toegepast wordt. In dit frame zijn aan alle kanten ronde gaten aanwezig die op een vaste afstand van 0,5 m van elkaar liggen. In deze ronde gaten zitten de bevestigingspunten waarmee de bouwelementen aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Aan de boven- en onderkant van het frame bevinden zich 2 van deze punten, en aan beide zijkanten 3. Dankzij de gelijke afstand tot de zijden van het frame, en de afstand tussen de punten in, kunnen de bouwelementen zowel rechtop, als dwars op elkaar geplaatst worden. Op deze manier is meer variatie in vormen mogelijk. Dit is ook weergegeven in figuur 10.7.



Figuur 10.5: De voorkant van het PV element met daarop PUM zonnecellen

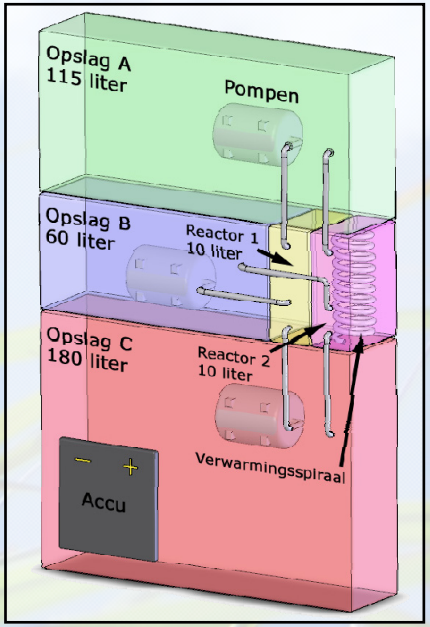


Figuur 10.6: Zoom-in van een gemodelleerde PUM cel



Figuur 10.7: Voorbeeld van de bouwmogelijkheden van de verschillende elementen

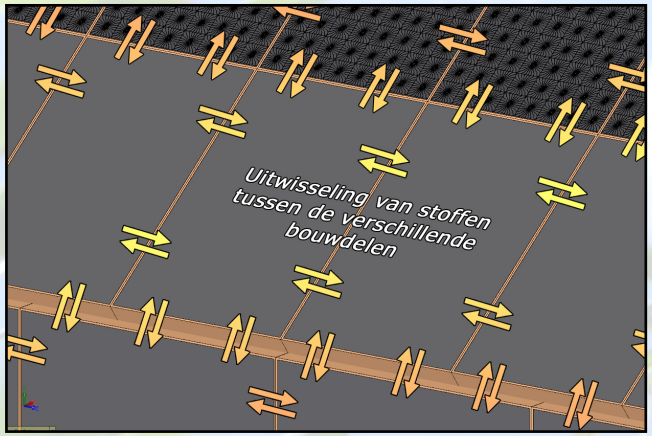
TCM opslag: In bijna elk beschikbaar bouwelement van het ontwerp is een thermochemische warmteopslag geïntegreerd (figuur 10.8). De reden hiervoor is voornamelijk het feit dat er een grote inhoud nodig is om de gehele warmteopslag mogelijk te maken om de warme en koude perioden in het jaar te kunnen overbruggen. Zoals bij ontwerp A werd gesteld bedraagt de inhoud voor een gemiddelde woning hiervoor zo'n 15 m^3 (er wordt wederom voor de veilige kant gekozen). In het bouwelement is een opslag geïntegreerd met daarin 5 compartimenten die de indeling hebben die ook in ontwerp A aan de orde is gekomen: 3 opslagtanks en 2 reactoren. Aangezien in ontwerp A tot in detail is ingegaan op het nut en de werking van de opdeling in 5 gedeelten, zal dit hier niet meer behandeld worden. In het element is een ruimte van 0,25 x 1 x 1,5 = 0,375 m^3 gebruikt voor de opslag van warmte in een thermochemisch materiaal. Wanneer uitgegaan wordt van de geschatte 15 m^3 benodigde inhoud, kan geconcludeerd worden dat er dus zo'n 40 panelen met geïntegreerde TCM opslag benodigd zijn, om de overbrugging tussen de seizoenen in een jaar plaats te laten vinden. Verder terug gerekend betekent dit een oppervlakte van 40 x 1,5 = 60 m^2 die gebruikt moet worden in de woning aan de zuidkant in de gevel en het dak. De gebruikte NOVEM tussenwoning van ontwerp A had alleen al een dakoppervlakte van grofweg 40 m^2, dus dit is qua capaciteit gemakkelijk haalbaar (de gevel heeft namelijk een oppervlak groter dan 20 m^2 beschikbaar). Bovendien kan er altijd nog voor gekozen worden om bouw-elementen van type 6 (met een materiaal als buitenkant, maar met TCM opslag en accu) te gebruiken in de noordkant van de woning om hiermee aan het benodigde volume te komen.



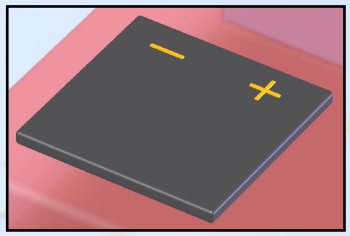
Figuur 10.8: Indeling van de TCM tanks binnenin het bouwelement

Transport van stoffen: Tussen de verschillende tanks zorgt een leidingensysteem voor het transport van het thermochemische materiaal. Kleine pompjes reguleren deze stroom nauwkeurig zodat het materiaal op de verschillende plekken van bestemming terecht komt. Een spiraal in de droogstookreactor zorgt voor de verhitting van de TCM zodat de losse componenten opgeslagen kunnen worden in de desbetreffende tanks. Door deze spiraal heen stroomt heet water dat afkomstig is uit de bouwelementen met collectoren (deze elementen worden zo direct behandeld). Het kan dus zijn dat een gevelelement dat zelf geen collector heeft, wel ingeschakeld wordt voor het opslaan van warmte, doordat het hete water uit de collector van een ander element wordt gebruikt voor het TCM proces. Dit is mogelijk omdat alle bouwelementen met elkaar in verbinding staan via de bevestigingspunten waarmee ze zijn vastgemaakt (zie figuur 10.9). Deze punten fungeren naast de mogelijkheid voor inter-connectie dus ook voor het uitwisselen van heet water, thermochemisch materiaal en elektriciteit. De regulatie van deze stromen wordt met een intelligent meet- en regelsysteem gedaan en wordt verder niet uitgewerkt.

Opslag van elektriciteit: De opgewekte elektriciteit kan net als de warmte, opgeslagen worden binnenin het gevelelement. Dit gaat bij elektriciteit echter wat gemakkelijker dan bij warmte, namelijk simpelweg door het toepassen van een accu. De reden voor het aanwezig zijn van een elektrische opslag is het feit dat bij een toepassing van een groot oppervlak met PV, een netgekoppeld systeem op een gegeven moment zijn opgewekte elektriciteit niet meer goed kwijt kan. Wanneer namelijk meerdere huizen meer energie gaan produceren dan leveren, zal deze energie uiteindelijk ergens naartoe moeten gaan. Het elektriciteitsnet is hier niet op berekend en daarom was het idee (in eerste instantie; deze keuze is later toch weggelaten) om in elk element waarin een TCM opslag zit, ook een kleine accu te integreren (figuur 10.10) zodat beide vormen van energie hand in hand altijd beschikbaar zijn in de woning die uit deze bouwelementen bestaat. Zoals aangegeven is achteraf echter op deze keuze van het toevoegen van een accu teruggekomen, vanwege het feit dat deze dit veel te duur gaat worden. De kosten voor het opslaan van 1 kWh aan elektriciteit met een accu kost namelijk al enkele honderden euro's. Het mag duidelijk zijn dat bij een opslagcapaciteit van 3500 kWh dit niet rendabel is om op deze manier te regelen. Om het oorspronkelijke idee van het ontwerp echter aan te houden staan op de afbeeldingen in dit hoofdstuk, de accu's ook nog aangegeven in de exploded view's.



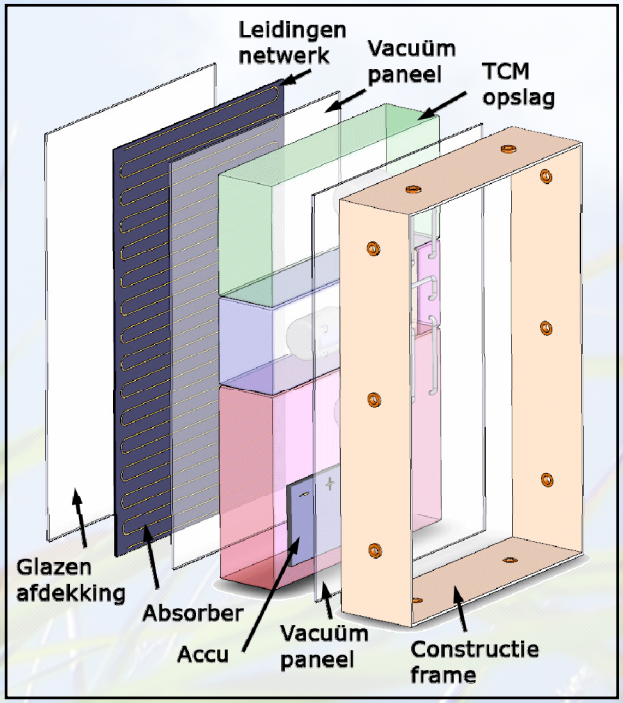
Figuur 10.9: Schematische weergave van de uitwisselingsmogelijkheden van de verschillende elementen. Bij elke verbindingslocatie is uitwisseling met het daaraan verbonden element mogelijk



Figuur 10.10: Weergave van de (zeer simpel) gemodelleerde accu die zich in eerste instantie in de elementen zou gaan bevinden

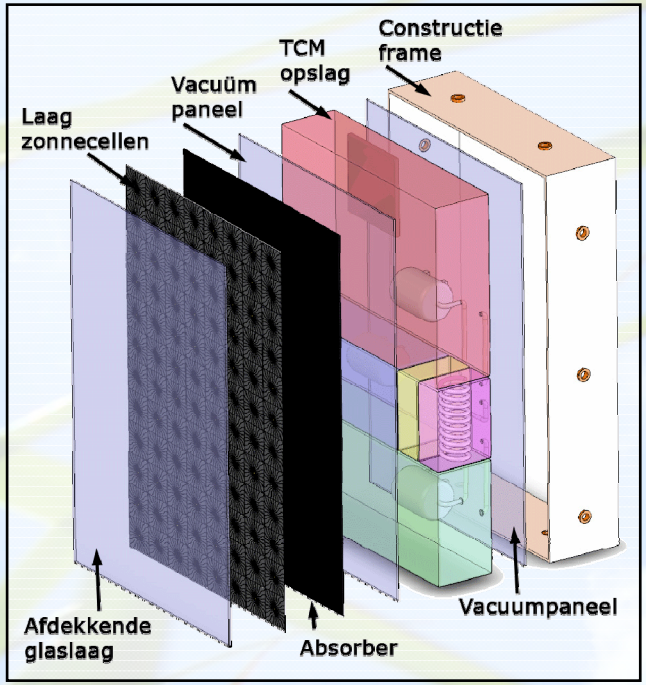
Vacuümisolatie: Om de bouwelementen goed te isoleren is aan de binnenkant van de elementen een vacuümpaneel met een dikte van 10 mm bevestigd (zie ook de exploded view in figuur 10.3). Deze vacuümpanelen zijn zeer dun, maar hebben (zelfs tegenwoordig al) zeer goede isolatie eigenschappen. Ter vergelijking: de isolatiewaarde van vacuümpanelen is 20 keer zo groot als die van (standaard) glasvezel isolatie van dezelfde dikte[53].

2) Collector element: Het collectorelement (zie de exploded view in figuur 10.11) is eigenlijk precies hetzelfde opgebouwd als het PV element, met het verschil dat deze geen licht omzet in elektriciteit met behulp van zonnecellen, maar warmte van de zon opvangt met een absorber, en deze warmte aan water overdraagt via een buizenstelsel dat zich achter de absorber bevindt. Een deel van dit warme water kan direct gebruikt worden in de woning voor het verwarmen van woonruimten of tapwater. Een ander deel wordt gebruikt voor het droogstoken van de TCM. Dit proces is bij ontwerp A al uitvoerig behandeld en zal dus niet meer aan de orde komen. Verder is bij dit type element een iets andere opbouw benodigd omdat er meerdere isolatielagen (door het aanbrengen van vacuümpanelen) benodigd zijn voor het efficiënt opvangen van warmte. Dit is vereist aangezien de warmte die opgevangen wordt zo goed mogelijk behouden dient te worden, en de temperaturen die behaald moeten worden, redelijk hoog zijn, omdat er een thermochemisch materiaal mee verhit dient te worden waarbij temperaturen omtrent de 100 graden geen uitzondering zullen zijn. Aan de bovenkant van de absorber bevindt zich een laag vacuümglas, waardoor de warmte tussen deze laag en de absorber goed wordt vastgehouden in een soort "broeikas". De absorber bestaat uit een dunne zwarte plaat met een spectraal selectieve coating die daarmee zoveel mogelijk warmte absorbeert. Aan de onderkant van deze absorber loopt een leidingennetwerk waar water doorheen stroomt die de warmte van de absorber afneemt, en deze transporteert naar het TCM opslagsysteem dat zich in het element bevindt. Omdat de temperaturen van de absorber erg hoog kunnen worden en deze de rest van het element zouden kunnen beschadigen is een laag extra isolatie tussen de TCM tanks en de absorber aangebracht door middel van een extra vacuümpaneel. Achter dit paneel bevinden zich de onderdelen die ook bij het PV element aan de orde zijn gekomen: het gedeelte met de thermochemische warmteopslag, de accu* en een laatste vacuümpaneel om het element goed isolerend te maken. Verder is de opbouw van het frame, de bevestigingspunten, etc. hetzelfde.



Figuur 10.11: Exploded view van het collectorelement met daarin aangegeven uit welke onderdelen deze bestaat

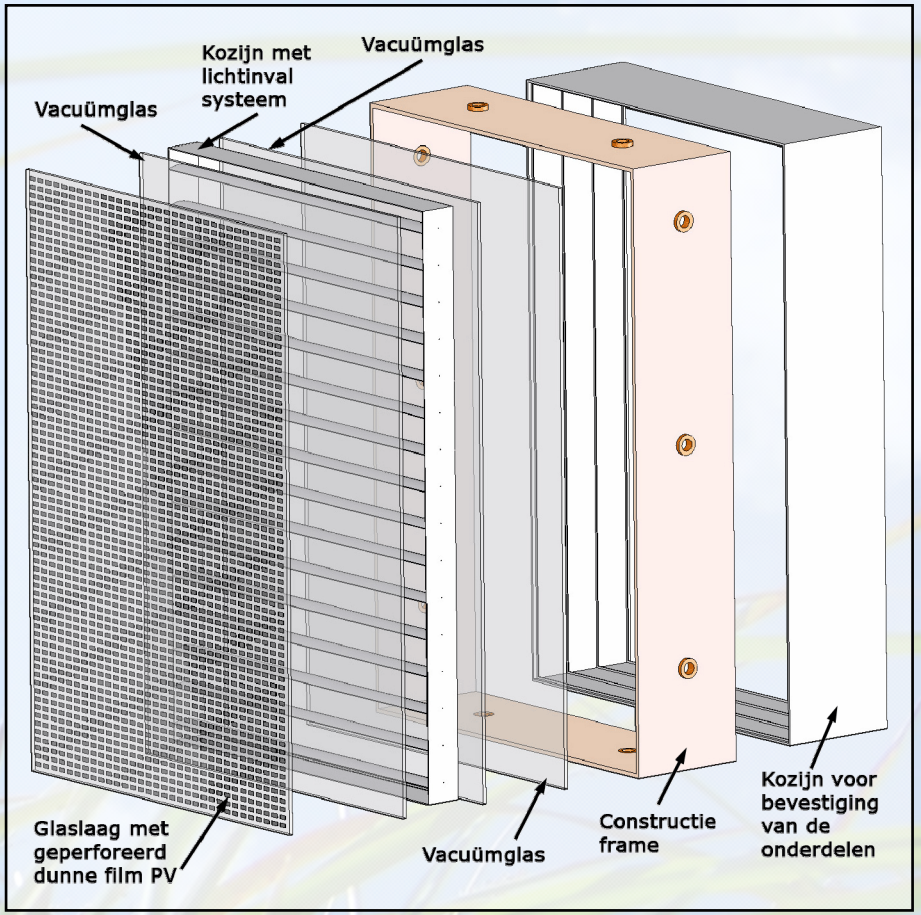
3) PVT element: Dit type element is een combinatie van de hiervoor beschreven 2 bouwelementen met zowel de functie van opwekking van elektriciteit als het opvangen van warmte en is in figuur 10.12 in een exploded view weergegeven. Door bovenop de absorber van de collector als het ware zonnecellen te "plakken", kan zowel elektriciteit als warmte, met hetzelfde oppervlak worden opgevangen. Dit element bezit alle eigenschappen van de hiervoor uitgebreid behandelde elementen en zal dus niet nader besproken worden. In de exploded view is te zien hoe het PVT element in elkaar zit.



Figuur 10.12: Exploded view van een PVT element en de componenten die zich in dit element bevinden

4) Beglazing met PV en lichtinval systeem: Een duurzaam bouwpakket is heel handig, maar er moeten natuurlijk ook elementen zijn waar doorheen gekeken kan worden. Want in een huis zonder ramen wil niemand wonen. Daarom zijn er bouwelementen ontworpen die fungeren als beglazing, zodat bewoners van het uitzicht naar buiten kunnen genieten, maar bovendien ook dienen voor de opwekking van elektriciteit doordat in de beglazing dunne film PV cellen zijn verwerkt. Naast deze twee hoofdfuncties heeft dit element nog een derde zeer handige functie: het zorgt voor een effectieve lichtinval in de woonruimten waarin dit element is geïntegreerd. Op deze manier wordt de kamer op een natuurlijke wijze zo goed mogelijk verlicht, wat prettig is voor de bewoner, en daarnaast nog eens energie bespaart omdat overdag geen kunstverlichting benodigd is om de vertrekken van voldoende licht te voorzien. Het systeem biedt ook de mogelijkheid om even helemaal géén zonlicht door te laten door de lamellen naar beneden te kantelen waardoor het werkt als een soort luxaflex. Hoe dit beglazingselement eruit ziet is hiernaast weergegeven in een exploded view in figuur 10.13.

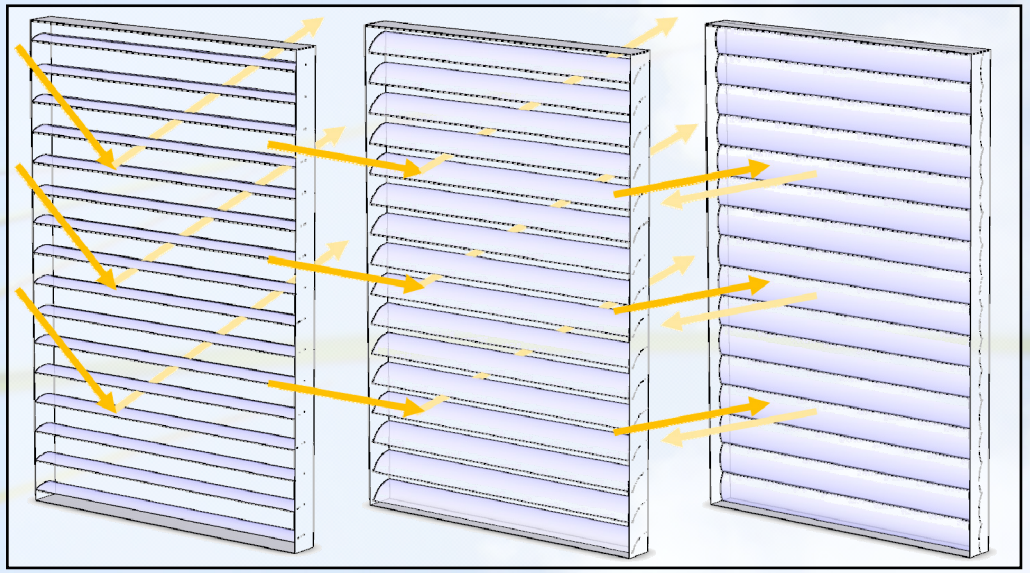
Onderdelen van het raamelement: Allereerst zit aan de voorkant van het element een glaslaag met een dikte van 10 mm waarop een patroon van dunne film PV cellen is opgedampt. Dit patroon verzorgt het semitransparante effect waarover bij ontwerp A ook al over is gesproken. Door deze voorste glaslaag kan dus elektriciteit opgewekt worden, terwijl er nog wel naar buiten gekeken kan worden. Na deze voorste glaslaag zit een gedeelte "niets" zoals in de exploded view ook te zien is. In het middelste gedeelte van het element bevindt zich het systeem waarmee de lichtinval in de woonruimte die achter het element ligt, te reguleren valt. Dit gedeelte bestaat uit twee glaslagen, waartussen een soort luxaflex is bevestigd in een aluminium kozijn. Deze luxaflex bestaat uit heel licht gebolde, dunne, spiegelende oppervlakken, waarop het licht van de zon valt en deze oppervlakken dit licht vervolgens weerkaatsen, omhoog de aanliggende kamer in. Deze draaiende spiegels (we noemen ze even lamellen), passen zich automatisch aan de stand van de zon en de intensiteit van het licht aan. Daarnaast zijn ze handmatig te bedienen via eenzelfde soort computersysteem wat bij ontwerp A is toegelicht. De werking van dit intelligente lichtinvalsysteem is in figuur 10.14 in een verduidelijkende afbeelding weergegeven op de volgende pagina.



Figuur 10.13: Exploded view van het element dat als ruit fungeert met daartussenin een geavanceerd lichtinval systeem

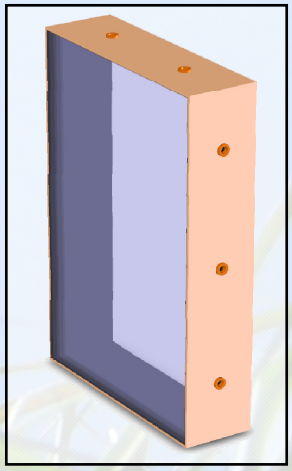
Oriëntatie van de beglazing: Eerder werd verteld dat de elementen op twee manieren op elkaar te "stapelen" zijn, waarmee dus meer vormvrijheid geldt voor de woning die ermee gebouwd kan worden. Ditzelfde principe werkt ook met de raamelementen, wat leidt tot twee verschillende typen raamelementen: eentje die rechtop wordt toegepast, zoals op de vorige pagina al werd weergegeven, en een ander type dat dwars gebruikt kan worden. Op deze manier zijn ruiten te creëren van verschillende afmetingen, en vormen. Bij dit type elementen is het bovendien de bedoeling dat er een scala aan verschillende maten beschikbaar is, zodat met de grootte van de beglazing gevarieerd kan worden. In figuur 10.16 is een glasmodule te zien die uitgerust is met een systeem dat in de dwarsrichting werkt. Voor de duidelijkheid is in deze afbeelding de laag geperforeerd amorf PV weggelaten zodat de binnenkant van het element beter zichtbaar is.

5) Beglazing "normaal": De hiervoor besproken elementen hebben allemaal verscheidene eigenschappen waarmee energie opgewekt kan worden. Bij het totale ontwerp van deze "catalogus" aan bouwelementen zijn echter ook delen beschikbaar waarin geen sprake is van dergelijke energieopwekkende functies. Aan de zuidkant van een woning is het nuttig om aan energieopwekking te doen aangezien hier de grootste instraling van de zon optreedt. Bij de noordkant is deze instraling echter veel geringer waardoor het niet rendabel is om aan deze kant van de woning bouwelementen te gebruiken met functies waar weinig opbrengsten mee behaald kunnen worden. Voor de beglazing aan de noordkant, en andere delen van het huis waar de instraling gering is, zijn er daarom bouwelementen met "normale" beglazing te gebruiken. Deze elementen hebben dezelfde afmetingen als de rest van de elementen, maar verschillen in hun simpele opbouw. Het geheel bestaat alleen uit een frame met daaraan de bevestigingselementen, en aan de buitenkant van dit frame een driedubbele laag vacuümglas, waarmee een goede isolatie behaald kan worden. Deze lagen zijn naar aan de buitenkant van het element geplaatst, zodat de binnenkant beschikbaar is als vensterbank in de woning (zie figuur 10.15).

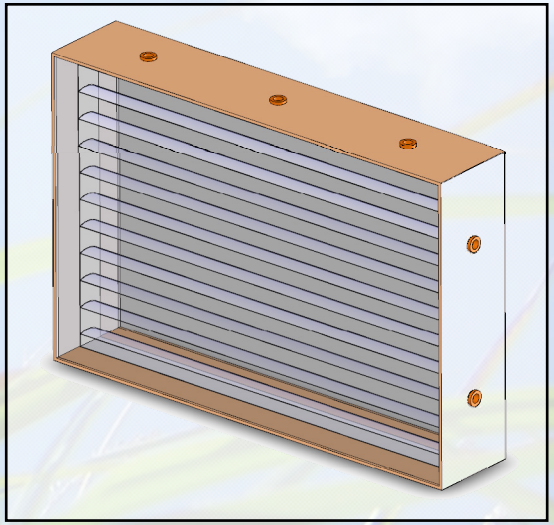


Figuur 10.14: Weergave van de werking van het lichtinval systeem

Links: *Zonnestraling wordt weerkaatst de kamer in bij zonnestraling in het middaguur (hoge stand van de zon)*
Midden: *Zonnestraling van een lage zon (avond) wordt weerkaatst de kamer in*
Rechts: *Het systeem kan ook werken als zonnewering, het licht wordt hierbij gereflecteerd en de kamer niet binnengelaten*

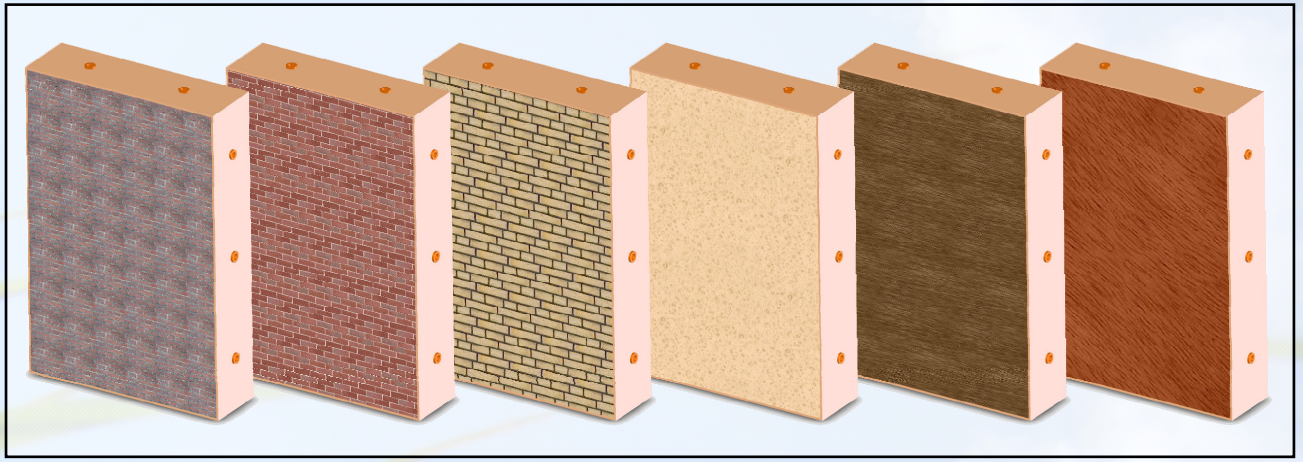


Figuur 10.15: Voorbeeld van een element met beglazing zonder PV en lichtinval systeem



Figuur 10.16: Voorbeeld van een "dwarse" module met het lichtinvalsysteem zodat de bouwelementen zowel rechtop als liggend kunnen worden gebruikt in de woning

6) Materiaal aan de buitenkant met binnenin TCM opslag: Zoals net werd aangegeven is het weinig rendabel de gehele woning op te bouwen uit energiewinnende elementen omdat bij de helft van de plekken de instraling van de zon te laag zal zijn om hoge rendementen te behalen. Daarom zijn er voor deze locaties van de woning, bouwelementen met aan de buitenkant geen zonnepanelen, collectoren, glassystemen, etc. maar gewoon een simpele laag materiaal beschikbaar, die daarmee het uiterlijk van de woning vorm kan geven. Op deze manier kan de woning een eigen soort stijl behouden door te kiezen voor ouderwets hout, moderne bakstenen, excentriek marmer, etc. De buitenlaag bestaat dus uit een laag materiaal die daarmee kan bijdragen aan de architectonische aspecten van de woning, maar in de binnenkant van het element zit een TCM opslag geïntegreerd. Aan de buitenkant lijkt het dus een gewoon geprefabriceerd bouwelement, maar aan de binnenkant zit geavanceerde techniek. Er is gekozen voor deze optie van TCM opslag omdat met alleen de oppervlakte van de zuidgevel (die bestaat uit PV, collector of PVT elementen) er misschien niet genoeg volume beschikbaar zou kunnen zijn voor de totale hoeveelheid thermochemische warmteopslag. In figuur 10.17 is een scala aan dergelijke materiaalelementen te zien, waarbij aan de binnenkant dus nog wel een aantal componenten aanwezig zijn zoals deze hiervoor zijn beschreven (onderdelen voor TCM opslag, en vacuümisolatie). Bouwelement type 7 zal geen TCM opslag bevatten.

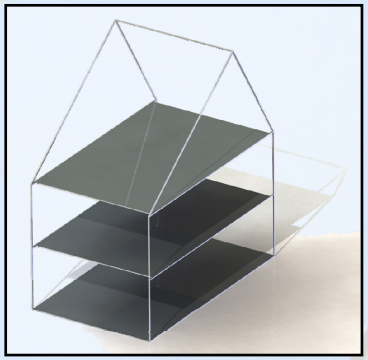


Figuur 10.17: Voorbeelden van verschillende materialen die toegepast zouden kunnen worden bij de bouwelementen

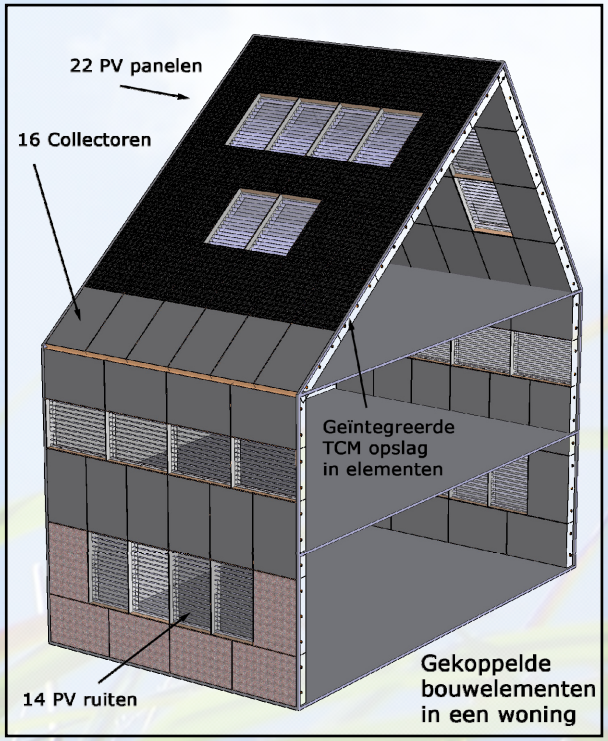
7) Materiaal aan de buitenkant, binnenin isolatie: Dit type bouwelement is eigenlijk dezelfde als het type dat hiervoor besproken is, met het verschil dat hierbij aan de binnenkant geen techniek aanwezig is. Deze ruimte kan dan gebruikt worden voor plaatsing van extra veel isolatie, waardoor de warmteverliezen in de woning nog lager zullen zijn. In figuur 10.17 is een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden van de elementen met aan de buitenkant een verschillend toegepast materiaaloppervlak.

De opbouw van een (mogelijke) woning

Wanneer alle gevelelementen aan elkaar gekoppeld worden, kunnen deze samen een totale woning vormen. Het is echter niet zo dat de elementen zonder enige basis op elkaar "gestapeld" kunnen worden aangezien dit voor een heel huis niet al teveel stevigheid zal bieden. Daarom is het nodig om te beginnen met een soort bouwskelet, waar de bouwelementen vervolgens in vast gezet kunnen worden zodat er een dragende basis is die de hoofdconstructie van het huis vormt. Hoe deze basisconstructie precies in elkaar zit is niet uitgewerkt, maar dit zou bijvoorbeeld uit grote stalen profielen kunnen bestaan, zoal nu in de bouw ook veelvuldig voorkomt. In SolidWorks is een totale woning gebouwd van een aantal verschillende elementen. Hiervoor is eerst een simpel raamwerk van enkele balken en een aantal vloeren gebruikt om de hoofdvorm van de constructie aan te geven (hierbij is verder niet gekeken naar versteviging en gaat het puur om het 3D model waarin de elementen geplaatst zullen worden). Deze hoofdvorm is in figuur 10.18 weergegeven. Wederom is uitgegaan van een bepaald type basiswoning uit 2007; de Novem referentie tussenwoning, net zoals deze aan bod is gekomen bij ontwerp A. De reden hiervoor is weer dezelfde als bij het vorige ontwerp: als dit kleinste type woning energieleverend gemaakt kan worden, dan zal het voor andere woningen, die veelal groter zijn, al helemaal geen probleem zijn! Uiteraard is het bij de toepassing van deze gevelelementen helemaal niet benodigd om van deze vorm van de woning uit te gaan. Er is immers een zeer uitgebreid aantal mogelijkheden om de bouwelementen aan elkaar te koppelen zodat allerhande opbouwen mogelijk zijn! Een voorbeeld van een hele andere opbouw van een woning is ook weergegeven in figuur 10.20 op de volgende pagina. Zoals te zien is, zijn saaie vormen van huizen met dit

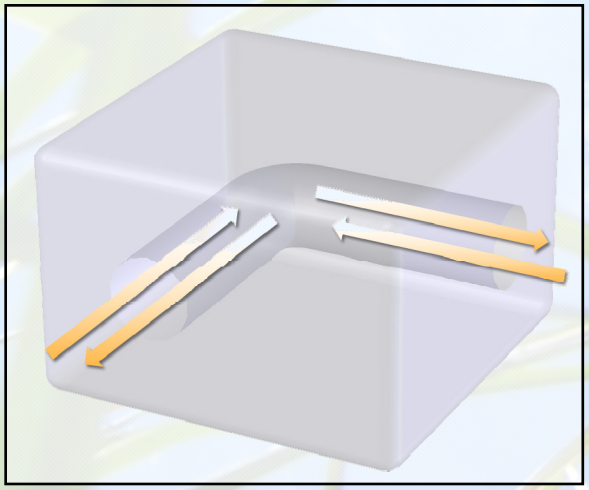


Figuur 10.18: Het gebruikte bouwskelet in SolidWorks (uiteraard moet het bouwskelet in de echte woning veel dikker en steviger zijn)

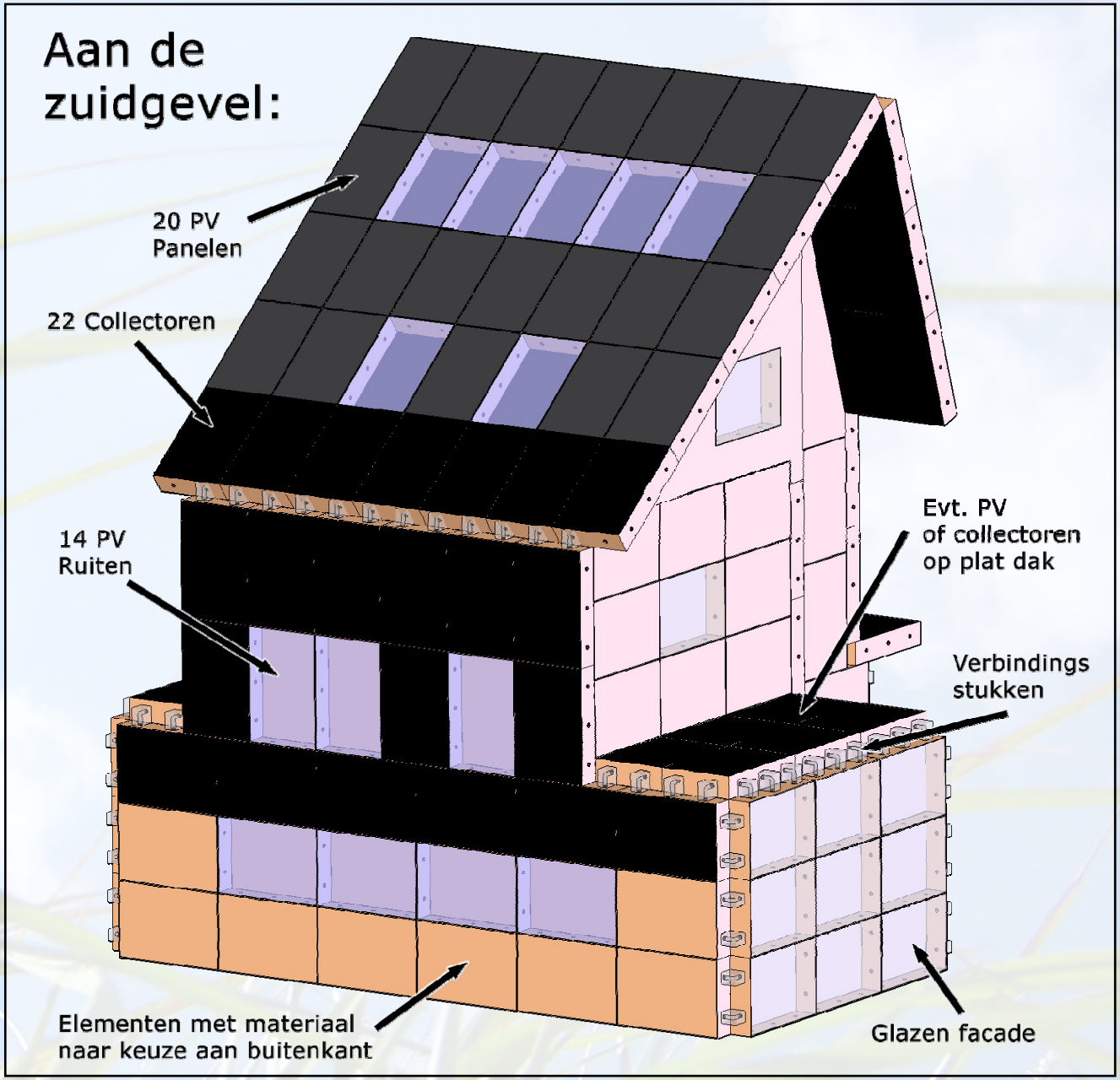


Figuur 10.19: Voorbeeld van de opbouw van een mogelijke woning uit de verschillende elementen (wederom een NOVEM referentie tussenwoning)

duurzame bouwpakket volledig verleden tijd. Zoals in figuur 10.20 te zien is kan met het koppelen van de verschillende elementen een woning gecreëerd worden met daarin veel variatie in vorm, materiaal, beglazing, etc. Het is mogelijk om de elementen zo te ordenen als de gebruiker zelf wil. Dit voorbeeld is gemaakt om aan te geven dat er niet alleen een saaie rechthoekige woning van de elementen gebouwd hoeft te worden, maar dat de mogelijkheden zeer uitgebreid zijn. Om elementen die haaks op elkaar staan, onderling met elkaar te kunnen verbinden zijn een soort kleinere verbindingselementjes gemaakt die zowel voor bevestiging dienen als voor het uitwisselen van informatie en materialen (zoals de TCM, water of warme / koude luchtstromen) tussen de verschillende bouwdelen. Op deze manier kunnen de bouwdelen warmte en elektriciteit met elkaar uitwisselen en werken alle delen samen om de woning zo energie efficiënt mogelijk te krijgen. Zoals te zien is in de afbeelding zijn de verbindingselementen nu transparant gekozen, maar deze kunnen uiteraard eenzelfde buitenkant materiaal hebben zoals ook de bouwelementen met het materiaal naar keuze dat aan de buitenkant hebben (figuur 10.17). De woning kan zo in een bepaalde stijl gehouden worden. Hoe deze verbindingselementen verder bevestigd worden is een onderdeel wat verder niet meer is uitgewerkt (zie ook de aanbevelingen). Deze elementen zijn nu een soort kleine kubusjes, maar dit zouden ook langere balken kunnen zijn zodat er geen onderbrekingen in de vorm van de woning plaatsvinden zoals nu het geval is. Daarentegen heeft het wel iets futuristisch om de verschillende delen op deze manier weer te geven omdat hiermee de uitstraling van het duurzame energetische bouwpakket benadrukt wordt!



Figuur 10.21: Verbindingselement waardoor zowel elektriciteit, water en TCM kunnen stromen



Figuur 10.20: Voorbeeld van de mogelijkheden van de opbouw van een woning uit verschillende typen elementen

Mogelijkheden van koeling bij de bouwelementen

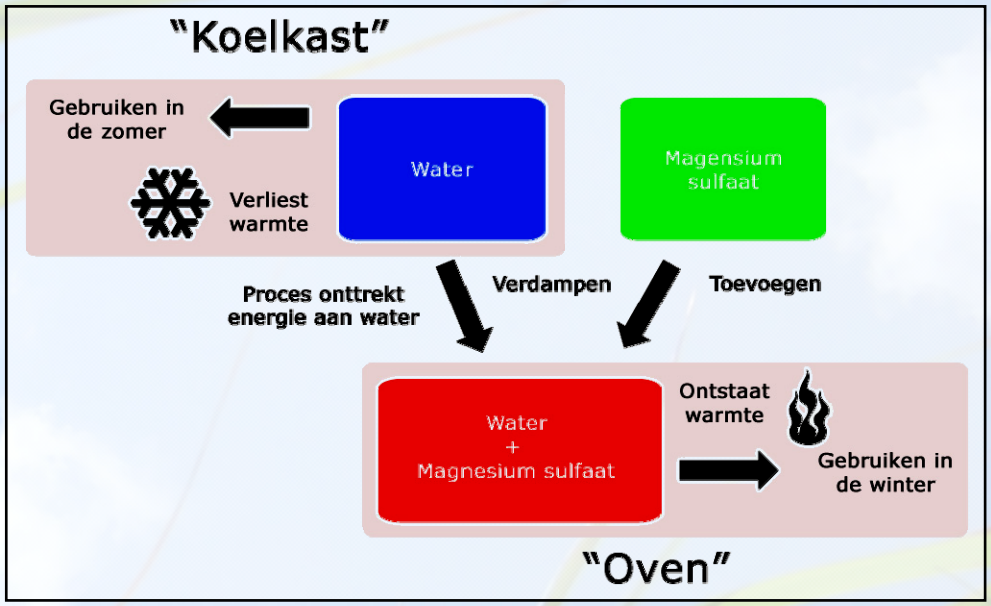
Een voordeel bij de toepassing van gevelelementen waarin een TCM opslag is verwerkt is dat deze niet alleen in de winter te gebruiken zijn voor verwarming, maar ook in de zomer voor koeling. Dit heeft te maken met het reactieproces wat tussen de TCM tanks in de bouwelementen plaatsvindt. Deze reactie kan namelijk ook als het ware "omgekeerd" gebruikt worden om de binnenkant van een woning koel te houden in de zomer. Hoe dit werkt is geprobeerd in figuur 10.22 weer te geven.

In deze figuur is een schematische weergave gemaakt van de reactie van een thermochemische component (bijvoorbeeld magnsiumsulfaat) en een hydraat (in dit geval water). De vrijkomende warmte bij de reactie die tussen deze twee plaatsvindt werd bij ontwerp A en B gebruikt om in de winter verwarming van tapwater en woonruimten te realiseren. Dit is het rode gedeelte onderin de figuur en werkt dus als een soort "oven". Nu is het zo dat water niet simpelweg bij de werkende TCM component "gegooid" kan worden. Dit moet gebeuren in de gasfase, waarbij water als waterdamp naar de magnesiumsulfaat moleculen toe wordt "getrokken". Dit trekken aan de watermoleculen zorgt ervoor dat er een heleboel energie aan het water wordt onttrokken. Deze onttrokken energie uit zich in een verlies van warmte, oftewel een verlaging van de temperatuur in de opslagtank van het water (in de TCM modules is dit opslagtank A).

Normaliter wordt alleen de warmte die bij de reactie in de reactor vrijkomt gebruikt binnen de woning. Wanneer echter de koude kant van dit proces wordt gebruikt (het blauwe gedeelte bovenin het figuur), en langs dit koude gedeelte een luchtstroom wordt geleid, kan in de zomer dankzij dit "omgekeerde" gebruik van een TCM reactie, ook zeer effectief koeling van de woning verkregen worden. Hiermee werkt een gevelelement met geïntegreerde TCM opslag dus naast "oven" in de winter, ook als "koelkast" in de zomer. Hiervoor is het wel benodigd de luchtstroom die in contact staat met de binnenvertrekken die aan deze bouwelementen grenzen, langs het gewenste gedeelte (warm of koud) van de TCM module te geleiden. Hoe dit precies kan is in dit ontwerp niet uitgewerkt. Er is echter op deze manier wel aangegeven dát het kan en dat dit een groot voordeel is ten opzichte van en grote TCM osplag zoals deze verwerkt is in de nok of kruipruimte van de woning bij ontwerp A.

In principe zou dit omgekeerde proces ook bij een grote TCM opslag toegepast worden, maar vanwege de modulariteit en de gunstigere locatie van de kleinere, opgedeelde TCM opslagjes in de gevel of het dak, is hierbij het voordeel dat de verwarming, of koeling al zeer dicht bij de plaats van bestemming aanwezig is (de aanliggende woonvertrekken). Bij ontwerp A zou deze luchtstroom eerst een grote omweg moeten maken, en hierbij zullen veel meer verliezen plaatsvinden.

Per onderdeel is nu behandeld hoe het totaal van ontwerp B in elkaar zit. Dit ontwerp is op de volgende pagina nog eens samengevat in één totale afbeelding.

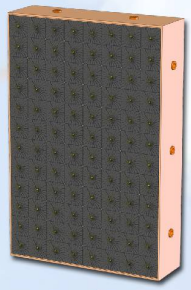


Figuur 10.22: Schematische weergave van de TCM reactie die in de reactor zorgt voor opwarming ("oven"), en in de opslagtank van het water voor verkoeling ("koelkast")

Ontwerp B - 2030

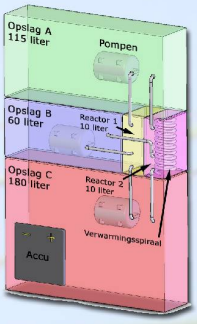
Woning opgebouwd uit duurzame energie bouwelementen

Door het koppelen van verschillende elementen met verschillende functies kan een woning naar wens opgebouwd worden.



PV element met PUM-zonnecellen

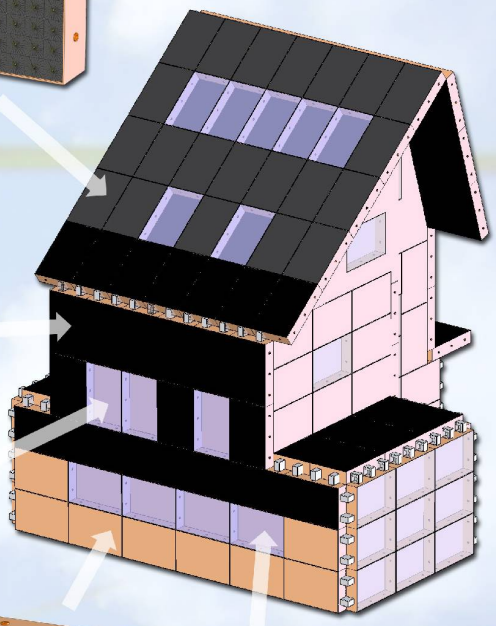
Zorgt voor elektriciteitsopwekking doordat een PV paneel op de voorkant van het element zonlicht omzet in elektriciteit.

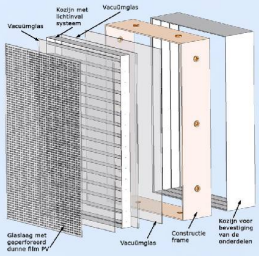


Thermochemische warmteopslag

Collector element

Vangt warmte op uit zonlicht en slaat deze warmte op in de geïntegreerde thermochemische warmteopslag binnen het element.



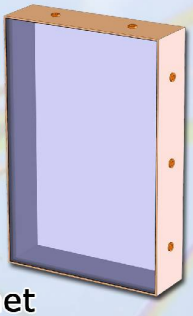


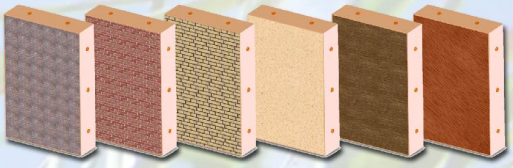
Element met beglazing en lichtinvalsysteem

Heeft aan de buitenkant dunne film PV zonnecellen en zorgt voor een effectieve lichtinval binnen de woning.

Element met bouwmateriaal

De buitenkant van dit element kan verschillende oppervlakken hebben. Aan de binnenkant kan een thermochemische warmteopslag geïntegreerd worden.





Element met vacuümbeglazing

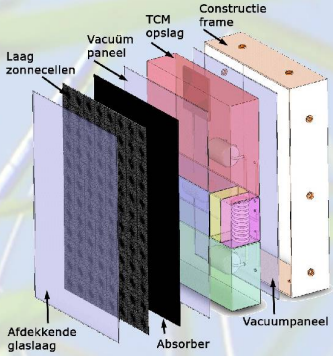
Zorgt voor goede isolatie en wordt verder niet gebruikt voor energieopwekking.

Energieleverende woning

- Verschillende typen elementen
- 6000 kWh elektriciteit
- 40 GJ warmte
- Warmteopslag in de elementen
- Lichtinval systeem in beglazing
- Computersysteem in woning

Opbouw van een element

Een element bestaat standaard uit een constructieframe en een vacuümpaneel voor goede isolatie.



De ontwerpaspecten van ontwerp B

Net zoals bij ontwerp A werd gedaan zal in deze paragraaf gekeken worden naar de verschillende ontwerpaspecten zoals deze in de doelstelling van dit project beschreven zijn. Dit is hieronder in een duidelijk overzicht gedaan.

a.	**Reeds beschikbare technologieën:**	- PV panelen met PUM zonnecellen (technologie al beschikbaar, maar nog niet op de markt) - Vlakke plaat zonnecollectoren - Combinatie van PV en collector in PVT - Dunne film PV beglazing - Lichtinvalsysteem (techniek in principe beschikbaar, maar er is een slimme besturing van het systeem benodigd voor het automatisch sturen van de lamellen) - Vacuümpanelen voor isolatie - Techniek voor intelligent computersysteem (hiervoor is ook nog een slimme implementatie in een systeem benodigd om hiermee alle sensoren en actuatoren aan elkaar te koppelen)
b.	**Toekomstige technologieën:**	- Thermochemische warmteopslag - Combinatie van PV PUM panelen & zonnecollector in PVT - Mogelijkheden om alle techniek in een dergelijk klein volume te verwerken - Mogelijkheden voor nauwkeurige uitwisseling van informatie en stoffen tussen de bouwelementen
c.	**Energie-opbrengst:**	Hieronder zijn de verschillende energieopbrengsten berekend voor 3 verschillende typen woningen. Allereerst is gekeken naar de SenterNovem referentie tussenwoning die is opgebouwd uit de verschillende bouwelementen zoals deze ook in figuur 10.19 te zien is. Daarnaast is gekeken naar de "vrije vorm" woning die wat groter is en een voorbeeld was om de mogelijkheden van de verschillende bouwmanieren van de elementen te illustreren (figuur 10.20). Als laatste is nog gekeken naar de mogelijkheid van het opbouwen van dezelfde, eerst behandelde NOVEM tussenwoning, volledig uit PVT bouwelementen zodat gekeken kan worden wat de hoogst haalbare opbrengst is in de toekomst bij een dergelijke woning. **Ontwerp B, type SenterNovem referentie tussenwoning:** PV panelen met PUM cellen: 22 x 1,5 m^2 x 150 kWh = 4950 kWh Dunne film PV in beglazing: 14 x 1,5 m^2 x 75 kWh = 1575 kWh + *Totaal: 6525 kWh elektriciteit* Vlakke plaatcollectoren gevel (74%): 0,74 x 10 x 1,5 m^2 x 1,55 GJ = 17,2 GJ (de 74% is genomen vanwege de niet optimale oriëntatie verticaal langs de gevel) Vlakke plaatcollectoren dak (100%): 1,00 x 6 x 1,5 m^2 x 1,55 GJ = 14 GJ + *Totaal: 31,2 GJ warmte* **Ontwerp B, type "Vrije vorm woning":** PV panelen met PUM cellen: 20 x 1,5 m^2 x 150 kWh = 4500 kWh Dunne film PV in beglazing: 14 x 1,5 m^2 x 75 kWh = 1575 kWh + *Totaal: 6075 kWh elektriciteit* Vlakke plaatcollectoren gevel (74%): 0,74 x 15 x 1,5 m^2 x 1,55 GJ = 25,8 GJ Vlakke plaatcollectoren dak (100%): 1,00 x 7 x 1,5 m^2 x 1,55 GJ = 16,3 GJ + *Totaal: 42,1 GJ warmte* **Toepassing PVT bij type SenterNovem referentie tussenwoning:** Elektriciteit dakelementen PVT: (22 + 6) x 1,5 m^2 x 135 kWh = 5670 kWh (PVT heeft een iets lagere opbrengst aan elektriciteit; ipv 150 nu 135 kWh / m^2) Elektriciteit gevelelementen PVT: 0,74 x 10 x 1,5 m^2 x 135 kWh = 1500 kWh Elektriciteit PV beglazing: 14 x 1,5 m^2 x 75 kWh = 1575 kWh

		+ *Totaal: 8745 kWh elektriciteit* Warmte dakelementen PVT: (22 + 6) x 1,5 m^2 x 1,35 GJ = 56,7 GJ Elektriciteit gevelelementen PVT (74%): 0,74 x 10 x 1,5 m^2 x 1,35 GJ = 15 GJ + *Totaal: 71,7 GJ warmte* Met deze berekeningen wordt al gauw duidelijk dat beide woningen (in zeer hoge mate) energieleverend zijn wanneer uit wordt gegaan van de energieschattingen die in hoofdstuk 6 in figuur 6.7 zijn gedaan. Hierbij is het afhankelijk van de gebruikte typen bouwelementen, welk type energie (warmte of elektriciteit) het meest beschikbaar zal zijn. Ook is te zien dat wanneer PVT gebruikt wordt, de hoeveelheid beschikbare energie nog veel hoger zal worden.
d.	**Flexibiliteit:**	Het ontwerp is flexibel want het speelt in op een veranderende omgeving, op de volgende manieren: - Bij overproductie van elektriciteit wordt deze extra elektriciteit aan het elektriciteitsnet geleverd (netgekoppeld systeem), in eerste instantie zou deze opgeslagen worden in een accu* maar vanwege de zeer hoge kosten is hiervan afgezien (zie ook de conclusies en aanbevelingen aan het einde van dit verslag) - Bij overproductie van warmte wordt deze warmte gebruikt voor het "opladen" van de TCM - Bij tekort aan elektriciteit wordt aanspraak gemaakt op het elektriciteitsnet - Bij tekort aan warmte wordt de TCM ingezet om warmte te produceren - Bij een (te) hoge binnentemperatuur van de woning kan het TCM proces als het ware "omgekeerd" gebruikt worden om op deze manier koeling van de bouwelementen te verkrijgen
e.	**Gebouw-integratie:**	Bij dit ontwerp is het zo dat het product zelf óók meteen het gebouw vormt. Er is dus sprake van een zeer goede gebouwintegratie. Zoals gezegd is er een bepaald bouwskelet van stevige metalen profielen benodigd om de basisopbouw van de woning te vormen, waarna de elementen onderling aan elkaar gekoppeld kunnen worden en ook verbonden kunnen worden met het bouwskelet voor extra stevigheid. Deze verbinding vindt plaats door stevige schroefverbindingen, zodat bij een defect van een element, het element te vervangen is.
f.	**Intelligentie:**	Het systeem past zich aan de omgeving en de wensen van de gebruiker aan op de volgende manieren: - Het systeem reguleert de opwekking van elektriciteit en het opvangen van warmte met behulp van de processen die bij onderdeel **d)** genoemd werden - Het leefklimaat van de woning wordt automatisch gereguleerd met behulp van eenzelfde soort computersysteem dat ook bij ontwerp A werd beschreven en zorgt voor de regulatie van de verwarming, koeling, luchtvochtigheid, belichting en zonwering van woonruimten - Het systeem reageert op de instellingen die door de gebruiker ingevoerd worden in het computersysteem via een grafische user interface - Het systeem weet of het buiten warmer of kouder is dan binnen de woning, wanneer en waar er warmte in de woning benodigd is, waar deze warmte vandaan te halen, etc. - Het systeem kan tussen de verschillende bouwelementen stoffen uitwisselen zoals thermochemisch materiaal, water en elektriciteit zodat energie op de plek terecht komt waar het benodigd is - Bij verandering van de stand van de zon reageren de lamellen automatisch door hun positie aan te passen en zo de lichtinval van de woonvertrekken te optimaliseren
g.	**Modulariteit:**	Het systeem is erg modulair omdat het gaat om bouwelementen die onderling te koppelen zijn. Omdat in één element eigenlijk alle benodigde componenten zijn geïntegreerd voor zowel het opwekken van energie als het opslaan daarvan, kunnen aan het totale systeem gemakkelijk nieuwe elementen toegevoegd worden.
h.	**Zelfstandig-heid:**	Het systeem van dit ontwerp is volgens de schattingen volledig zelfstandig wat betreft de gemiddelde energieopbrengst- en het gebruik. Wanneer berekeningen gemaakt worden wat betreft de twee typen gebouwde woningen die zijn opgebouwd uit de verschillende typen bouwelementen, gelden de volgende waarden van de *netto energieopbrengst*: **Referentie tussenwoning**: 6525 kWh – 3500 kWh = *3025 kWh elektriciteit leverend* 31,2 GJ – 18,5 GJ = *12,7 GJ warmte leverend* **"Vrije vorm" woning:** 6075 kWh – 3500 kWh = *2575 kWh elektriciteit leverend* 42,1 GJ – 18,5 GJ = *23,6 GJ warmte leverend* **PVT bij referentie tussenwoning:** *8745 kWh – 3500 kWh = 5245 kWh elektriciteit leverend* 71,7 GJ – 18,5 GJ = *53,2 GJ warmte leverend* Dit betekent dat er inderdaad sprake is van een zogenaamde WAELS-woning: Een "Woning Als Energie Leverend Systeem"! Met de waarden die hierboven berekend zijn, kan grofweg gezegd worden dat een nieuwbouwwoning in 2030, die is opgebouwd uit deze elementen, met gemak zichzelf en daarnaast een andere (bijvoorbeeld een ouder type) woning in energie kan voorzien. Dit is zeer gunstig gezien de gewenste energieneutraliteit van de gebouwde omgeving omtrent het jaar 2030 (zie ook hoofdstuk 6, figuur 6.3 over het BuildingFuture scenario).
i.	**Gebruiks-**	Met behulp van het computersysteem dat in de woonkamer of in andere kamers van de woning aanwezig is, kan de gebruiker gemakkelijk verschillende instellingen doen wat betreft

	gemak (comfort):	wooncomfort. Dit computersysteem is bij ontwerp A al uitvoerig beschreven. Daarnaast zorgt het lichtinvalsysteem voor een prettigere leefomgeving door het efficiënt gebruiken van daglicht.
j.	**Vormgeving:**	Bij dit ontwerp is sprake van een heel scala aan mogelijkheden qua opbouw van een woning. Met behulp van de verschillende typen materialen aan de buitenkant kan de woning in een bepaalde stijl opgebouwd worden. Op deze manier is het voor de toekomstige bewoners van een woning mogelijk om uit een soort catalogus te kiezen welke elementen waar precies moeten komen. Hiermee kan dan een eigen, op maat gemaakte woning samengesteld worden. Dit geeft de bewoners inspraak in de vormgeving van een plek waar ze een zeer groot deel van hun leven door zullen brengen. Tegenwoordig komen woningen veelal in standaard typen en is weinig persoonlijke smaak van de bewoners in hun nieuwe huis te verwerken, wat betreft de buitenkant en precieze indeling van een huis. Deze keuzevrijheid is een zeer groot voordeel van dit ontwerp. Daarnaast geven de gebruikte PUM cellen in de PV panelen het geheel een moderne look, en zorgt de toepassing van het lichtinvalsysteem voor een modern uiterlijk van de beglazing.
k.	**Materialen:**	**Bouwelement zelf**: Metalen frame, koperen leidingen en bevestigingspunten, **PV module**: PUM zonnecellen, kunststof onderplaat (PP), elektriciteitsgeleidende folie aan achterkant van de cellen, bedrading **Collector module:** dunne koperen plaat met zwarte spectraal selectieve coating, koperen leidingen **Isolatie:** 10 mm vacuümpaneel **Beglazing "normaal":** Speciaal vacuümglas, aluminium kozijn **Dunne film PV beglazing**: glazen platen, aluminium kozijnen, vacuüm tussen glaslagen, opgedampte spectraal selectieve coating, geperforeerde dunne film PV cellen **TCM Opslag**: metalen reactoren, kunststof tanks, koperen leidingen, pompen, koperen warmtespiraal en leidingen **Computersysteem**: verschillende, niet nader gespecificeerde componenten => Sensoren, actuatoren, andere elektronische onderdelen etc. (te gedetailleerd voor de opdracht)
l.	**Problemen:**	- Het koppelen van verschillende elementen in de lengterichting (parallel) aan elkaar is erg gemakkelijk doordat de bevestigingspunten hiervoor op een universele afstand van elkaar zitten. Het haaks verbinden (of onder een andere bepaalde hoek bij het dak) verbinden van de elementen is echter een stuk lastiger. Zoals werd aangegeven zijn hier extra componenten voor benodigd (de kort omschreven verbindingselementjes) die dienen als een soort "tussen"-verbindingsstukken voor het garanderen van de vormvrijheid van het plaatsen van de verschillende elementen. De mogelijkheden van deze verbindingen moeten eigenlijk nog verder onderzocht worden (zie ook de aanbevelingen), want: - Er zijn nu verbindingsstukken nodig voor verschillende hoeken - De isolatie van de elementen zelf is zeer goed als gevolg van de toegepaste vacuümpanelen, maar overgang tussen de blokken is er een soort "onderbreking" van dit vacuüm, waardoor hier grotere warmteverliezen op kunnen treden - De esthetica van dergelijke verbindingsblokken is lastig => hoe kunnen deze er het beste uitzien? - Een ander probleem is dat er alsnog voor de woning een goede basisconstructie benodigd in de vorm van een stalen basisframe waar de bouwelementen tussen vastgezet kunnen worden => met alleen het stapelen van verschillende elementen is de stevigheid van de woning niet voldoende
m.	**Oplossingen:**	- Er zouden extra verbindingspunten gemaakt kunnen worden aan de voor- of achterkant van het paneel zodat hiermee geen extra verbindingsblokken nodig zijn - Voor het creëren van verschillende hoeken zouden een soort verstelbare tussenverbindingen ontworpen kunnen worden zodat niet standaard een heleboel verschillende soort verbindingselementen nodig zijn - De bouwelementen zouden uitgebreid kunnen worden met extra verstevigende constructiemogelijkheden zodat de opbouw van de woning nu wel met alleen het stapelen van elementen zou kunnen plaatsvinden (dit blijft echter lastig!)
n.	**Voor- en nadelen t.o.v. huidige producten nu (2007):**	**Voordelen:** - Er is sprake van een zeer modulair en gemakkelijk uitbreidbaar systeem - De mogelijkheden voor energielevering van woningen opgebouwd uit deze elementen zijn zeer hoopgevend: globaal kan gezegd worden dat met één woning opgebouwd uit deze elementen, in principe 2 woningen van energie voorzien kunnen worden (zie ook de berekeningen bij het onderdeel "zelfstandigheid" in deze tabel) - De mogelijkheden voor het uiterlijk zijn zeer divers door toepassing van verschillende soorten materialen aan de buitenkant => de gebruiker kan zelf kiezen hoe, waar en welke elementen toegepast worden - Het ontwerpen van een woning wordt een toegankelijker proces waarbij de uiteindelijke bewoners nauwer betrokken raken - De mogelijkheden qua vormgeving zijn redelijk divers - De elementen zijn ook uiterst geschikt voor de utiliteitsbouw in bijvoorbeeld kantoorgebouwen - Een optimale benutting van het zonlicht door middel van het lichtinvalsysteem zorgt voor een prettigere leefomgeving binnen de woning **Nadelen:** - De opbouw kan voor sommige mensen overkomen als een soort "blokkendoos" - Er zitten een hoop dure technologische componenten in de wand van de woning die gevoelig kunnen zijn voor defecten - Er moet een hele hoop techniek in een klein volume gestopt worden => Dit is misschien lastig om in het jaar 2030 volledig te bereiken

Kosten en opbrengsten

Bij de schatting van de kosten voor ontwerp B kan dezelfde opmerking gemaakt worden die ook gedaan werd bij de kostenschatting van ontwerp A. Bij dit ontwerp is het namelijk zo dat er gekeken wordt naar een nog verdere toekomst (2030) en er sprake is van een ontwerp waarbij nog meer onbekende componenten en technologieën geïntegreerd zijn in een klein volume in één bouwelement. Dit geeft een grotere onzekerheid wat betreft het doen van kostenanalyses. Er zijn echter wat belangrijke voordelen die dit ontwerp heeft ten opzichte van ontwerp A. In figuur 10.23 is een kostenschatting te zien van de vaste kosten (voor de meest besproken elementen van het ontwerp).

Zoals te zien is, is wederom gebruik gemaakt van de factoren die de prijzen in de toekomst doen verlagen. Hierbij is een inventarisatie gemaakt van de verschillende onderdelen van de binnenkant van het element (waar de TCM opslag zich bevindt), en enkele andere vaste componenten die in bijna elk element hetzelfde zijn (met uitzondering van enkele elementen, hiermee wordt later rekening gehouden). Op deze manier worden de vaste kosten van de binnenkant van een bouwelement met hierin een TCM opslag geschat op zo'n 460 € in 2030. Een kanttekening met betrekking tot het toepassen van een accu heeft te maken met een onverwachte zéér grote kostenpost van dit onderdeel. Het blijkt dat wanneer elektriciteitsopslag met accu's plaats zal moeten vinden, en er een totale hoeveelheid van minstens 1000 kWh opgeslagen dient te worden, dit zo duur gaat worden dat het niet realistisch is om deze methode aan te houden. Daarom is ervoor gekozen deze optie te laten vervallen en de elektriciteitsopslag via het elektriciteitsnet plaats te laten vinden door bijvoorbeeld een kleine wijkopslag locatie. Tijdens de opdracht was er echter geen tijd meer om verder na te denken over de mogelijkheden van een dergelijke manier van elektriciteit opslaan. In figuur 10.24 is een verdere analyse gemaakt van verschillende componenten die in het verschillende typen elementen aanwezig zijn (in de linkerkolom staat in welke elementen de desbetreffende onderdelen aanwezig zijn). Hierbij is meteen de prijs van het totale oppervlak van één element genomen van 1,5 m^2.

In figuur 10.25 is vervolgens gekeken naar de totale kosten van elke element (1 t/m 7), die afhankelijk is van de componenten die in deze elementen in het ontwerp verwerkt zijn. Door de kosten van deze onderlinge componenten op te tellen (hierbij is rekening gehouden met sommige dubbele componenten zoals extra vacuümpanelen), is de geschatte prijs van elk type bouwelement benaderd. Deze waarden zijn in figuur 10.25 weergegeven.

Kosten ontwerp B	Factor 1,00	Factor 0,75	Factor 0,50	*
Onderdeel TCM opslag (in bouwelementen):	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	
Tanks	€ 200,00	€ 150,00	€ 100,00	
TCM component (1€ / kg)	€ 230,00	€ 172,50	€ 115,00	
Pompjes in module:	€ 250,00	€ 187,50	€ 125,00	
Bekabeling, regeling, elektrische componenten:	€ 100,00	€ 75,00	€ 50,00	
Constructieframe element: **	€ 20,00	€ 20,00	€ 20,00	
Vacuümpaneel à 1,5 m2:	€ 100,00	€ 75,00	€ 50,00	
Accu: ***	n.v.t	n.v.t	n.v.t	
Totaal vaste kosten:	**€ 900,00**	**€ 680,00**	**€ 460,00**	
* Er is gerekend met de globaal verwachte vermindering van kosten in de toekomst				
*** Sommige kosten zijn niet onderhevig aan prijsdalingen => in de bouwwereld blijven veel prijzen gelijk				
*** Vanwege de zeer hoge prijs van accu's is besloten om opslag van elektriciteit toch via het net te regelen, met bijv. een wijkoplossing				

Figuur 10.23: Overzicht van de geschatte vaste kosten van ontwerp B, die grotendeels afhangen van de geïntegreerde TCM opslag in de bouwelementen

Type element:	**Onderdelen:**	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	**Oppervlakte:**
1)	PUM PV paneel à 1,5 m2: *	€ 750,00	€ 562,50	€ 375,00	1,5 m2
2)	Vlakke plaat collector à 1,5 m2:	€ 600,00	€ 450,00	€ 300,00	1,5 m2
3)	PV thermische collector à 1,5 m2:	€ 1.200,00	€ 900,00	€ 600,00	1,5 m2
4)	Dunne film PV beglazing à 1,5 m2:	€ 700,00	€ 525,00	€ 350,00	1,5 m2
4)	Lichtinvalsysteem:	€ 200,00	€ 150,00	€ 100,00	1,5 m2
4 + 5)	Kozijn ***	€ 100,00	€ 100,00	€ 100,00	1,5 m2
4 + 5)	Vacuümglas à 1,5 m2: **	€ 450,00	€ 337,50	€ 225,00	1,5 m2
6 + 7)	Buitenmateriaal: ***	€ 20,00	€ 20,00	€ 20,00	1,5 m2
* Omdat de prijs van PUM panelen nog niet bekend is, is uitgegaan van dezelfde prijs per vierkante meter van monokristallijn siliciumcellen					
** Genomen waarde: 2x zo duur als HR++ glas van ongeveer 150 € / m2					
*** Sommige kosten zijn niet onderhevig aan prijsdalingen => in de bouwwereld blijven veel prijzen gelijk					

Figuur 10.24: Overzicht van de kosten van verschillende onderdelen per type element

Prijs v/d elementen in ontwerp B:	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	**Aantal:**	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**
1) PV element:	€ 1.650,00	€ 1.242,50	€ 835,00	22	€ 36.300,00	€ 27.335,00	€ 18.370,00
2) Collector element:	€ 1.600,00	€ 1.205,00	€ 810,00	16	€ 25.600,00	€ 19.280,00	€ 12.960,00
3) PVT element: *	€ 2.300,00	€ 1.730,00	€ 1.160,00	0	0	0	0
4) Beglazing met PV en lichtinvalsysteem element:	€ 1.370,00	€ 1.057,50	€ 745,00	14	€ 19.180,00	€ 14.805,00	€ 10.430,00
5) Beglazing "normaal" element:	€ 570,00	€ 457,50	€ 345,00	12	€ 6.840,00	€ 5.490,00	€ 4.140,00
6) Materiaal buitenkant met TCM + accu element:	€ 920,00	€ 700,00	€ 480,00	22	€ 20.240,00	€ 15.400,00	€ 10.560,00
7) Materiaal buitenkant "normaal" element:	€ 340,00	€ 265,00	€ 190,00	n.v.t. **	0	0	0
* Niet toegepast in de Novem tussenwoning bij ontw. B				Totaal:	**€ 108.160,00**	**€ 82.310,00**	**€ 56.460,00**
** Even duur als andere bouwmaterialen dus n.v.t in berekening							

Figuur 10.25: Overzicht van de prijzen van de verschillende typen bouwelementen en de totale kosten bij toepassing in het model van de SenterNovem referentie tussenwoning

Zoals te zien is zal de prijs van een bouwelement met daarin PV of een collector rond de 800 € komen te liggen in 2030. Ditzelfde geldt voor het speciale beglazingselement met daarin het lichtinvalsysteem, wat op zo'n 745 € geschat wordt. Het duurste element is uiteraard die met zowel PV als een collector in de vorm van PVT. Dit type wordt geschat zo'n 1160 € te kosten. De "simpelere" bouwelementen met daarin normale beglazing, alleen een TCM opslag of een "normaal" element met aan de buitenkant regulier materiaal zoals hout of stenen, zullen allen onder de 500 € zijn. In de middelste kolom is verder het aantal elementen aangegeven dat toegepast is in ontwerp B, waarin de NOVEM referentiewoning is nagebouwd zodat deze vergeleken kan worden met de kosten en opbrengsten van ontwerp A.

Hiermee is het totale kostenplaatje te berekenen zodat duidelijk wordt hoe duur het toepassen van deze aantallen en verschillende typen bouwelementen zal worden (die 3 meest rechtse kolommen van figuur 10.25). Hierbij zijn overigens niet de kosten van de "normale" bouwelementen zonder technologische componenten meegenomen, omdat deze te vergelijken zijn met de normale kosten van materialen waaruit een woning is opgebouwd en deze dus tegen elkaar weggestreept kunnen worden. De totale kosten van een woning opgebouwd uit de elementen zoals deze zijn weergegeven in figuur 10.25 bedragen in 2030 zo'n 56.000 €. Wanneer dit wordt vergeleken met de kosten van ontwerp A (ongeveer 25.000 € in 2030), lijkt dit hoog, maar er zijn zoals al werd aangegeven enkele dingen waar nog geen rekening mee is gehouden. Er is namelijk bij de opbouw van ontwerp B een veel groter oppervlak collectoren en PV gebruikt, waarmee de woning in aanzienlijke mate energieleverend wordt. De opbrengsten van het systeem zullen dus hoger zijn dan die van ontwerp A, zoals is weergegeven in figuur 10.26.

Zoals te zien is wordt bij ontwerp B van de NOVEM tussenwoning een extra 3000 kWh elektriciteit bovenop de 3500 kWh die voor het verbruik van de woning nodig is, geproduceerd. Dit resulteert per jaar in een extra verdienste van rond de 1000 € in 2030. Daarnaast is er nog een extra 12,5 GJ die geproduceerd wordt naast de 18,5 GJ die binnen de woning zelf verbruikt wordt. Dit levert nog een kleine 200 € op waardoor in totaal zo'n 1200 € extra wordt verdiend per jaar, wat bijna een verdubbeling is van de totale opbrengsten van het systeem. Dit is ook niet zo gek aangezien de complete gevel + het dak opgebouwd zijn uit elementen die energie uit de zon winnen. Wanneer deze extra opbrengsten worden meegenomen in de berekening resulteert dit in een terugverdientijd van zo'n 21 jaar. Wanneer deze extra verdiensten niet mee worden genomen, en het teveel aan energie dus niet geleverd wordt aan de omgeving waarin de woning aanwezig is (het teveel aan energie gaat als het ware verloren en er kan dus dan geen geld mee worden verdiend) dan is de terugverdientijd een stuk langer met zo'n 38 jaar. Uit deze waarden kan geconcludeerd worden dat het opbouwen van een woning uit de ontworpen "duurzame bouwstenen" dus wel degelijk rendabel is. Het gaat in dit ontwerp zelfs nog om een relatief kleine woning, en wanneer deze duurzame bouwelementen bij een groot vrijstaand huis toegepast zouden worden, kunnen de extra opbrengsten per jaar aanzienlijk oplopen.

Opbrengsten ontwerp B	**Prijs nu:**	**Prijs 2015:**	**Prijs 2030:**	**Hoeveelheid energie:**
Prijs 1 kWh:	€ 0,20	€ 0,25	€ 0,33	
Prijs 1 m3 gas:	€ 0,45	€ 0,54	€ 0,60	
Besparing / jaar elektriciteit:	€ 700,00	€ 875,00	€ 1.155,00	3500 kWh verbruik *
Besparing / jaar gas:	€ 238,50	€ 286,20	€ 318,00	18,5 GJ verbruik *
Besparing totaal / jaar:	**€ 938,50**	**€ 1.161,20**	**€ 1.473,00**	***
Verdiensten / jaar extra elektriciteit:	€ 600,00	€ 750,00	€ 990,00	3000 kWh netto opbrengst **
Verdiensten / jaar extra warmte:	€ 160,71	€ 192,86	€ 214,29	12,5 GJ verbruik **
Verdiensten totaal / jaar:	**€ 760,71**	**€ 942,86**	**€ 1.204,29**	
Totaal besparing + verdiensten:	**€ 1.699,21**	**€ 2.104,06**	**€ 2.677,29**	***
*** Terugverdientijd energieneutraal (jaar):**	**115**	**71**	**38**	Getallen in de periode waarvoor
**** Terugverdientijd energieleverend (jaar):**	**64**	**39**	**21**	het ontwerp bestemd is ***

Figuur 10.26: Overzicht van de opbrengsten bij ontwerp B en de uiteindelijke terugverdientijd die daarbij hoort, opgedeeld in energieneutraliteit enerzijds, en energielevering anderzijds

Conclusies

Nu de resultaten van de bacheloropdracht uitvoerig in dit verslag aan de orde zijn geweest kunnen enkele belangrijke conclusies getrokken worden betreffende het onderwerp van dit project. Deze conclusies zijn hieronder weergegeven en opgedeeld in 3 verschillende typen; algemeen, ontwerp A en ontwerp B:

Algemeen

- Een energieneutrale woning is tegenwoordig (2007) al haalbaar bij toepassing van een volledig dakoppervlak met PVT, maar is nog niet rendabel vanwege de zeer hoge kosten en het ontbreken van een effectieve methode voor warmteopslag
- In 2015 is het mogelijk om zelfs het kleinste type woning energieneutraal te maken en daarmee zichzelf het gehele jaar in warmte en elektriciteit te voorzien
- In 2030 zou het mogelijk kunnen zijn om een complete woning op te bouwen uit duurzame bouwelementen die daarmee warmte opvangen, opslaan en elektriciteit opwekken
- De toepassing van dergelijke bouwelementen in het dak en de gevel van een woning kan ervoor zorgen dat de woning meer energie opwekt dan deze zelf verbruikt en daarmee kan worden gezien als een WAELS-woning (Woning Als Energie Leverend Systeem)
- De opbrengst van een dergelijke WAELS woning is in staat om naast de eigen woning nog één andere (weliswaar kleine) woning van energie te voorzien
- Gezien deze mogelijkheden van energieproductie van een dergelijke woning zou energieneutraliteit van grootschalige nieuwbouwwijken in 2030 mogelijk moeten zijn
- Kosteneffectief gezien is de toepassing van beide ontwerpen interessant te noemen; ontwerp A heeft een terugverdientijd tussen de 30 en 40 jaar (afhankelijk van de locatie van de thermochemische opslag) en ontwerp B is vanwege de potentie voor energielevering aan andere woningen binnen 20 jaar terug te verdienen
- Bij beide ontwerpen is het niet nodig het volledige dak en/of de gevel te bedekken met collectoren en PV panelen, er is ook nog plek voor beglazing of eventuele uitbouwen zoals een dakkapel, etc.
- Het intelligente computersysteem dat alle energetische processen binnen de woning nauwkeurig registreert en weergeeft zorgt voor een hoge mate van gebruiksgemak en comfort
- Aan de vormgeving van beide ontwerpen is nog veel aandacht te besteden omdat hier vanwege tijdgebrek niet meer aan toegekomen is (zie ook de aanbevelingen)

Ontwerp A

- Ontwerp A is met het oog op de vroege toekomst (2015) technisch haalbaar, wanneer enkele ontwikkelingen op het gebied van thermochemische warmteopslag de komende jaren plaats zullen vinden
- Integratie van een thermochemische warmteopslag in de nok is (te) duur voor de vroege toekomst (2015) vanwege de hoge verstevigingkosten die benodigd zijn van het bouwskelet van de woning, maar kan vervangen worden door een goedkopere oplossing zoals de kruipruimte onder een woning
- Dankzij benutting van dunne film PV in de beglazing van de zuidgevel van de woning kan in totaal net genoeg elektriciteit opgewekt worden om de woning energieneutraal te maken
- De schakelbare laag die in de beglazing van de zuidgevel aanwezig is zorgt voor mogelijkheden van privacy, zonwering, en een futuristische uitstraling van de buitenkant van de woning
- De totale oppervlakte aan vacuümbuiscollectoren en PV panelen en de TCM opslag die zich in het dak bevindt, zou in de fabriek al geïntegreerd kunnen worden in een geprefabriceerd dakelement zodat hiermee een soort standaard huisoverkapping gecreëerd wordt en installatiekosten laag kunnen worden gehouden

Ontwerp B

- Bij toepassing van bouwelementen werd aangetoond dat het mogelijk is om de woning zelf van energie te voorzien, en dat er genoeg energie beschikbaar was om een andere woning in energie te voorzien, waarmee een totale energieneutrale omgeving in 2030 tot de mogelijkheden behoort
- Toevoeging van een accu aan de bouwelementen in ontwerp B is een niet goed overwogen ontwerpkeuze geweest (zeer hoge kosten) en daarom is van deze optie afgezien
- Ontwerp B is erg modulair en heeft dankzij de mogelijkheden tot onderlinge aansluiting van de elementen de potentie om een intelligente gebouwhuls te vormen die verschillende energetische processen in de woning reguleert
- Door de mogelijkheden van verschillende typen elementen met daarin verschillende functies geïntegreerd, zijn er vele mogelijkheden voor toepassingen in toekomstige woningen
- Een productcatalogus van verschillende typen duurzame bouwelementen is interessant voor de bouwwereld omdat hiermee een standaardisatie van duurzame energie componenten wordt verkregen (nu moet alles nog op elkaar aan gepast worden)
- Door integratie van verschillende functies op energiegebied in één element is er meer sprake van een totaal product in plaats van een systeem (dit is gunstig)
- Voor de totale opbouw van een woning uit dergelijke elementen is nog wel een verstevigend bouwskelet benodigd omdat simpelweg opstapelen van de elementen te weinig constructiestijfheid geeft
- Integratie van een lichtinvalsysteem in de zuid (en eventueel ander georiënteerde) gevel(s) zorgt voor energiebesparing door vermindering van kunstlicht, verwarming van de woonvertrekken door omgevingslicht en een natuurlijkere leefomgeving voor de gebruiker omdat daglicht prettiger is dan kunstlicht
- Het stapelbare principe is uitermate geschikt om ook toe te passen in de utiliteitsbouw bij bijvoorbeeld grote kantoorgevels

Aanbevelingen

In dit verslag is besproken wat precies tijdens de 3 maanden van de bacheloropdracht bij het ECN is gedaan. Drie maanden is echter een relatief korte tijd en omdat de opdracht van redelijk grote omvang was, zijn er een hoop aspecten waar helaas in mindere mate aandacht aan besteed kon worden. Daarom zijn hieronder enkele aanbevelingen gedaan voor bepaalde aspecten waar nog naar gekeken moet worden wanneer verder gewerkt zou worden bij dit project.

- Er zou beter gekeken kunnen worden naar de vormgeving van de beide ontwerpen. Nu is voornamelijk technisch uitgewerkt welke componenten onderling met elkaar samenwerken om samen een energieneutraal systeem te vormen, zonder dat hierbij heel erg veel rekening is gehouden met de buitenkant van het product. Dit is echter een aspect wat bij Industrieel Ontwerpen erg van belang is en mag dus niet vergeten worden

- Graag zou ik zelf nog enkele renderingen van beide ontwerpen hebben gemaakt in 3D modelleerprogramma's zoals Rhinoceros of 3dsMax maar vanwege tijdgebrek (en computercapaciteit) ben ik hier aan het einde van de opdracht niet meer aan toegekomen. Dit zouden echter wel zeer waardevolle afbeeldingen kunnen zijn om iets meer te kunnen zeggen over het uiterlijk van de ontwerpen, waarbij materiaaluitdrukkingen, lichtinval etc. meegenomen zouden kunnen worden

- Wat betreft het maken van fotorealistische renderingen, zijn in eerste instantie nog enkele pogingen gedaan deze renderingen te creëren halverwege de opdracht. Hierbij liep ik echter tegen de restricties van de capaciteit van mijn laptop aan. Deze kon de grote 3D modellen die gemodelleerd waren in SolidWorks namelijk bijna niet meer aan. Het gaat bij dergelijke modellen namelijk om een totale woning, waarbij enkele PV panelen en collectoren op het dak gelegd worden toch honderden zonnecellen en vacuümbuizen gerenderd moeten worden. Mijn laptop kon dit niet aan waardoor ik na een aantal verwoede pogingen de moed heb opgegeven en me er maar bij heb neergelegd dat dit helaas niet zou lukken

- In ontwerp B is sprake van onderling aan elkaar te bevestigen elementen die met behulp van een soort buisverbindingen aan elkaar vastgemaakt kunnen worden. Deze manier van verbinden is echter in de praktijk wat lastiger te realiseren dan nu, in het kort werd uitgelegd. Er zou verder gekeken kunnen worden naar de mogelijkheden van deze verbindingsmogelijkheden tussen de elementen. Ditzelfde geldt ook voor het "verbindingsblok" wat werd besproken aan het einde van hoofdstuk 10

- Een ander probleem wat de nu gebruikte bevestigingsmethode met zich meebrengt is het feit dat de elementen als het ware "onderbroken" worden doordat de frames op elkaar worden gezet, en eigenlijk op deze plek geen sprake meer is van isolatie (de werking van de vacuümpanelen gaat zo deels verloren). Daarom kan nog kritisch gekeken worden naar de voorkoming van dergelijke gaten in de isolatie en andere mogelijkheden voor een nauwe aaneensluiting van de bouwelementen

- Bij beide ontwerpen is nu gebruik gemaakt van een hoop technieken die nu al bestaan, maar is ook gekeken naar de mogelijkheden van nieuw toe te passen technologieën in de toekomst. Bij beide ontwerpen is echter gebruik gemaakt van tegenwoordig ook al veel toegepaste (soms dure) materialen, en het zou interessant zijn om bij een verdere inventarisatie van de ontwerpen meer onderzoek te doen naar hoogwaardige, goed produceerbare en goedkope materialen zoals kunststoffen die interessant zouden zijn om te gebruiken

- In zowel ontwerp A als B is een thermochemische warmteopslag geïntegreerd. Om deze werkende te maken is een keuze benodigd voor een bepaald type thermochemisch materiaal dat in het systeem ervoor zal zorgen dat warmte opgeslagen kan worden en weer toegankelijk gemaakt kan worden op elk moment. Er is bij beide ontwerpen echter nog geen keuze gemaakt voor dit type materiaal, mede omdat hierover nu nog weinig te zeggen is en omdat dit eigenlijk buiten het vakgebied van Industrieel Ontwerpen valt. Daarom zou het zeer nuttig zijn meer onderzoek te doen naar de perfecte TCM die voor de beschreven toepassingen in het ontwerp optimaal zou kunnen functioneren

- In beide ontwerpen is een zogenaamd intelligent computersysteem verwerkt dat de energieopwekking en het energieverbruik in de woning registreert, en waarin de gebruiker bepaalde instellingen kan doen. Nu is dit redelijk simpel weergegeven als een kastje met een mogelijke interface met wat knoppen etc. Het ontwerp hiervan zou echter ook verder uitgewerkt kunnen worden. Dit zou zelfs een hele bacheloropdracht apart kunnen zijn!

- Omdat de ontworpen systemen bepaalde componenten bevatten die defect kunnen raken in de loop der jaren is het ook geen overbodige luxe om te kijken naar de mogelijkheden van vervanging en onderhoudsgemak. Over dit ontwerpaspect is nu weinig verteld, en hier zou ook verder onderzoek naar gedaan kunnen worden

- In ontwerp A werd bij de opslag van elektriciteit aanspraak gemaakt op het lichtnet via de zogenaamde "netgekoppeldheid" van PV panelen. Dit is tegenwoordig geen probleem aangezien het net de capaciteit heeft om kleine fluctuaties in de vraag en het aanbod te kunnen hebben, maar wanneer in de toekomst een heleboel woningen gebruik van het net zouden maken om het teveel aan elektriciteit te leveren, zou dit problemen op kunnen leveren (de elektriciteit moet immers ergens heen!). Daarom zou verder onderzoek naar de mogelijkheden van een goedkope manier van energieopslag in bijvoorbeeld een wijkoplossing erg nuttig zijn. Opslag in accu's is namelijk niet rendabel aangezien de kosten hiervan zeer hoog zijn (enkele honderden euro's per kWh), daarom werd dit bij ontwerp B uiteindelijk ook uit het ontwerp verwijderd

Bronvermelding

1) Wim van Helden, *Renewable Energy in the Built Environment*, Thermo Fluids Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2006
2) http://www.woningbouwwijzer.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=40&Itemid=64, geraadpleegd op 13-04-2007
3) http://www.senternovem.nl/kompas/utiliteitsbouw/technieken/HR_glas.asp, geraadpleegd op 13-04-2007
4) http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Dubbele%20beglazing, geraadpleegd op 13-04-2007
5) http://nl.wikipedia.org/wiki/Koudebrug, geraadpleegd op 13-04-2007
6) http://www.lage-energierekening.nl/pagina?onderwerp=Isoleren-LE, geraadpleegd op 19-04-2007
7) http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#Bulk, geraadpleegd op 20-04-2007
8) ECN en andere instanties, *A European guide for the development and market introduction of PV-thermal technology,* PVT Roadmap, 2006
9) http://www.ecn.nl/nwsbrf/article/0016.html, geraadpleegd op 17-04-2007
10) http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_water_heater, geraadpleegd op 18-04-2007
11) Informatiecentrum duurzame energie, *Zonneboilers op maat voor projectontwikkelaars*, 2003
12) http://www.vrom.nl/pagina.html?id=7543#3, geraadpleegd op 18-04-2007
13) www.energy.gov/news/4503.htm, geraadpleegd op 18-04-2007
14) Wim Sinke, Presentatie *"WG3: Science, Technology & Applications"*, Strategic Research Agenda, 2006
15) http://www.energieplatform.nl/nl/energieopties/zonnecellen/achtergrond/potentieel/, geraadpleegd op 19-04-2007
16) http://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnepaneel geraadpleegd op 18-04-2007
17) http://www.olino.org/articles/2007/04/09/potentie_zonne-energie_nederland#efficiency_pvt , geraadpleegd op 19-04-2007
18) www.pvtwins.nl, geraadpleegd op 19-04-2007
19) http://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnepaneel, geraadpleegd op 25-04-2007
20) Jacobs e.a., *Daken en Kappen*, Algemene Bouwkunde, blz. 315, 1972
21) http://nl.wikipedia.org/wiki/Gevel, geraadpleegd op 25-04-2007
22) http://nl.wikipedia.org/wiki/U-waarde, geraadpleegd op 26-04-2007
23) http://www.ecotherm.nl/rc_waarde.asp, geraadpleegd op 26-04-2007
24) http://senternovem.nl/kompas/utiliteitsbouw/technieken/schilisolatie.asp, geraadpleegd op 26-04-2007
25) Wim van Helden, *Zonnecollectoren*, Dictaat Blijvende Energiebronnen, Faculteit Werktuigbouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, 1997
26) Ernst-Jan Bakker, Presentatie *"Inpassing duurzame energie: ZON"*, 2007
27) Wim van Helden, ECN, 2007
28) VROM, *Een visie op de woningmarkt* , Brochure "Ruimte geven, bescherming bieden", 2006
29) http://www.energie.nl/index2.html?evn/2004/evn04-073.html, geraadpleegd op 26-04-2007
30) Ingo B. Hagemann, *Gebäudeintegrierte Photovoltaik*, Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle, 2002
31) PV Forum, *Fotovoltaïsche systemen en toepassingen*, Handboek zonne-energie, 2000
32) PV-TRAC, *A Vision for Photovoltaic Technology*, 2005
33) http://www.greenonetec.com/cms/front_content.php?idart=60&lang=4, geraadpleegd op 27-04-2007
34) Fulvio Ardente et al., *Life cycle assessment of a solar thermal collector*, Renewable Energy 30, blz. 1031-1054, 2005,
35) Wim van Helden, *Photovoltaic conversion*, Thermo Fluids Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2006
36) Bernard Dam, Presentatie *"VAREM on PVT and Thermal Collectors"*, 2005
37) Wim van Helden, Presentatie *"Heat Storage"*, ECN, 2006
38) Herbert Zondag e.a., Poster *"Magnesium Sulfate as Thermochemical Material for compact thermal energy storage"*, 2006
39) Holland Solar, *Transitiepad zonnestroom,* Roadmap van Holland Solar, 2005
40) TNO & ECN, *Visie op de Ontwikkelingen naar een Energie-neutrale Gebouwde Omgeving*, Building Future, 2004
41) SenterNovem, *Referentiewoningen nieuwbouw 2007*, 2007
42) http://www.vrom.nl/pagina.html?id=9291#20, geraadpleegd op 18-04-2007
43) John Schermer, Presentatie *"Hoogrendement III-V zonnecellen terug naar Aarde"*, Applied Materials Science, Radboud Universiteit Nijmegen, 2006
44) AlterElectra NV, *Warmte uit zonlicht*, Informatiebrochure "Thermische Installaties", 2006
45) SenterNovem, *De zonneboiler*, Informatiebrochure "Warm water van de zon", 2002
46) A. van Tol, *Jellema Bouwkunde 3 voor Opleiding en Praktijk*, 1984
47) SenterNovem, *Voorbeeldwoningen bestaande bouw 2007*, 2007
48) Lars Andrén, *Solar Installations: Practical applications for the built environment*, 2003
49) Organisatie voor Duurzame Energie Vlaanderen, *Elektriciteit uit zonlicht*, 2005
50) John Rekstad, *The solar thermal energy project*, Presentatie over hoogwaardige kunststoffen, 2006
51) VROM, Rapport *"Energie en gedrag in de woning"*, 2003
52) Arthur Eger e.a., *Product Ontwerpen*, 2004
53) www.vacuuminsulate.org geraadpleegd op 27-04-2007

Bijlage A: Plan van aanpak

1. Originele opdrachtomschrijving TeleTop

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) is het grootste onderzoeksinstituut in Nederland op energiegebied. Momenteel werken ongeveer 600 mensen bij het ECN, dat is gevestigd in het Noord-Hollandse Petten. ECN ontwikkelt hoogwaardige kennis en technologie voor de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Het onderzoek bij ECN vindt plaats in het overgangsgebied tussen het fundamentele onderzoek van universiteiten en de toepassing van kennis in de markt.

De opdracht

Binnen de groep Energieopslag wordt onderzoek verricht naar opslagsystemen voor elektriciteit en warmte in de gebouwde omgeving. Het doel hiervan is duurzame energiebronnen waar mogelijk te kunnen toepassen door de vraag naar en het aanbod van energie los te koppelen. De omvang van de groep is momenteel 6 medewerkers. Het onderzoek naar energieopslag is in opbouw. Het is de bedoeling dat de groep in de komende jaren groeit. Voor de ondersteuning van het onderzoekswerk aan toekomstige zonnecollectoren zijn wij op zoek naar iemand die industrieel ontwerpen studeert en zijn bacheloropdracht bij ons zou kunnen doen met als onderwerp: "Concepten voor de zonnecollector van de toekomst".

De werkzaamheden

Eén van de uitdagingen in het onderzoek naar duurzame energie in de gebouwde omgeving is het ontwikkelen van een volgende generatie zonnecollectoren. Naarmate duurzame energie steeds vaker toegepast wordt in de gebouwde omgeving, zullen zonnecollectoren aan steeds meer en strengere eisen moeten voldoen: eisen aan prestatie en duurzaamheid, maar belangrijker nog, aan uiterlijk, gebouwintegratie, en installatie- en onderhoudsgemak. In een onderzoeksproject wordt in samenwerking met TNO en de Technische Universiteit Eindhoven een studie verricht naar de zonnecollector van de toekomst. Hierin wordt gekeken naar de veranderende eisen die aan een zonnecollector gesteld zullen worden; aan de hand hiervan wordt een schets gemaakt van de zonnecollector in 2030. Binnen dit onderzoek wordt een industrieel ontwerper gezocht om deze schetsen uit te werken tot concrete productideeën.

Je profiel

Je bent student aan een (technische) universiteit en bent op zoek naar een uitdagende bacheloropdracht. Industrieel ontwerpen is een belangrijk onderdeel van je vakkenpakket. Je bent geïnteresseerd in duurzame energie, bent communicatief vaardig, en kunt zowel zelfstandig als in teamverband werken.

Ons aanbod

Wij bieden je een interessante bacheloropdracht in een informele sfeer op een hoog kennisniveau. Daarnaast wordt een stagetoelage geboden. Tevens wordt een verblijfsvergoeding geboden indien tijdelijke huisvesting in de regio nodig is.

2. Kennismakingsgesprek met het ECN

Datum gesprek: dinsdag 23 januari 2007
Aanwezig bij het gesprek: Marco Bakker en Wim van Helden

Omdat ik geïnteresseerd ben in de bacheloropdracht van het Energieonderzoek Centrum Nederland die op TeleTop stond, heb ik gebeld naar de contactpersoon bij dit bedrijf om te vragen of de opdracht nog beschikbaar was. Nadat dit zo bleek te zijn heb ik een sollicitatiebrief, samen met mijn CV en portfolio naar hem toe gemaild (zie ook bijlage B). Dit leidde tot een uitnodiging voor een kennismakingsgesprek waarvan in dit document een verslaggeving (volgens de checklist die op TeleTop stond) te lezen is.

Fase 1: Introductie ("Waarom")

- Waarom vindt dit gesprek tussen het bedrijf en mij plaats?

Van alleen een opdrachtomschrijving op TeleTop krijg je uiteraard niet voldoende informatie over wat deze opdracht precies inhoudt. Met e-mailen en bellen kan al wel meer informatie vergaard worden, maar je krijgt natuurlijk pas echt een goede indruk wanneer je daadwerkelijk bij het bedrijf zelf langsgaat en praat met de mensen die er werken. Voor het bedrijf geldt hetzelfde; zij willen ook weten waarom juist deze student de mogelijkheid zou moeten krijgen om enkele maanden een opdracht voor hen uit te voeren.

- De positionering van de deelnemers tijdens het gesprek is als volgt:

- Opdrachtgever: het bedrijf (in dit geval het ECN)
- Opdrachtuitvoerder: de student
- Intermediair: de begeleiders van de student (zowel op de UT als bij het ECN)

- Achtergrondinformatie over het bedrijf staat in de "actoranalyse", verderop in dit document beschreven
- Achtergrondinformatie over mijzelf is in mijn Curriculum Vitae te vinden (bijgevoegd in bijlage B)

Fase 2: De opdracht ("Wat")

- Wat is de aanleiding?

De laatste tijd is de verhoogde CO_2 uitstoot weer in het nieuws en het is duidelijk dat er meer onderzoek gedaan moet worden naar duurzame energie. Hierbij is het zo dat de huishoudens in Nederland een flinke verbruiker van energie zijn voor doeleinden zoals ruimteverwarming en het verzorgen van warm tapwater. Bij elkaar is dit ongeveer 15% van het energiegebruik in heel Nederland. Een groot deel van dit energiegebruik kan worden gereduceerd door het toepassen van energiebesparende maatregelen. Het ECN is opgedeeld in verschillende programma units, waarbij de unit EGON (Energie in de Gebouwde Omgeving & Netten) zich bezighoudt met de mogelijkheid om "comfortabel, gezond en duurzaam te werken en leven in de gebouwde omgeving met minimale energie- en milieubelasting."

- Wat is het onderwerp?

Binnenin de unit EGON is er een Research & Development programma dat zich bezighoudt met Thermische Systemen. Het doel van dit programma is om uiteindelijk de warmte- en elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving volledig duurzaam in te vullen en op deze manier energieneutraliteit binnen de gebouwde omgeving te verkrijgen (dat de gebouwen zichzelf voorzien van de benodigde energie). Nog mooier zou het zijn om meer energie te produceren dan benodigd is. Het teveel aan energie kan dan gebruikt worden voor oudere woningen die nog niet bezitten over de moderne technologie om zichzelf duurzaam van energie te voorzien.

Binnen het R&D programma van de groep Energieopslag is in maart 2006 het project WAELS (Woningen Als Energie Leverend Systeem) gestart. Bij dit project wordt gekeken naar mogelijkheden om in de toekomst woningen energieleverend te maken en op deze manier zichzelf duurzaam van energie te voorzien. Bij een onderdeel hiervan wordt gekeken naar de zonnecollector van de toekomst (in het jaar 2030). Het grootste doel van zo'n toekomstige zonnecollector is om de vraag naar en het aanbod van energie volledig van elkaar los te koppelen. Zo

zou het bijvoorbeeld mooi zijn wanneer na een warme zomer, de energie opgeslagen kan worden en in een daaropvolgende koude winter gebruikt kan worden. Het onderwerp van deze bacheloropdracht is op dit gebied gericht en als volgt beschreven: "Concepten voor het zonenergetische systeem van de toekomst".

- Wat is het belang en de urgentie?

De laatste eeuwen is de vraag naar energie explosief gestegen en de komende tijd zal deze stijging naar verwachting alleen maar meer worden. Dit grotere aandeel aan benodigde energie werd voornamelijk opgewekt door verbranding van fossiele brandstoffen. Het grote probleem van deze manier van energieopwekking is de vervuiling van de verbrandingsproducten van deze brandstoffen waardoor het CO_2 gehalte in de atmosfeer stijgt. De daarmee gepaarde klimaatveranderingen kunnen op termijn een serieuze bedreiging vormen voor het leven op aarde. Daarom is het erg belangrijk om onderzoek te doen naar manieren die niet schadelijk zijn en zo kunnen bijdragen aan een betere toekomst. Een manier om dit te bereiken is het onderzoek doen naar duurzame energievoorziening door middel van het onderzoeken van de mogelijkheden van zonnecollectoren, PV panelen en de integratie van deze producten in een gekoppeld zonenergetisch systeem dat de warmte- en elektriciteitsvraag afstemt op de bewoners van een huis.

- Wat zijn de input, de randvoorwaarden en de mogelijke relaties?

Het project is ongeveer een jaar bezig wanneer ik in april zal beginnen met de bacheloropdracht. De input voor het doen van deze opdracht bestaat uit alle kennis, informatie en ideeën die de projectgroep (bestaande uit ongeveer 6 tot 8 mensen) het afgelopen jaar heeft opgedaan. Deze kennis zal worden samengevat in documenten, waarmee ik vervolgens kan kijken wat de mogelijkheden zijn voor een nieuw ontwerp, welke technologie toegepast kan worden, etc. Uiteraard zullen er nog een hoop vragen rondom de toekomst en het onderwerp blijven bestaan, en daarom ben ik ook in de gelegenheid om vragen te stellen aan de mensen die zich bezighouden met de onderwerpen van het project waarover ik onduidelijkheden tegenkom.

Randvoorwaarden van de opdracht zijn dus dat ik omringd zal worden door mensen die beschikken over de juiste kennis en informatie op het gebied van duurzame energievoorziening in de gebouwde omgeving, thermische systemen, energieopslag etc. Omdat een werkplek beschikbaar is bij het ECN in het gebouw waarin het project plaatsvindt, zal dit echter geen enkel probleem zijn.

- Wat zijn de output en de focuspunten?

Aangezien de input een zeer grote stroom aan kennis, informatie en ideeën zal zijn, is het voor de output belangrijk om tot wat concretere punten te komen over hoe de beschikbare kennis en technologieën geïntegreerd zouden kunnen worden in producten zoals zonnepanelen en zonnecollectoren. Omdat al ruim een jaar onderzoek is gedaan naar de toekomstmogelijkheden van dit onderwerp door medewerkers van het ECN, zijn ze bovendien op zoek naar iemand met een frisse blik op de toekomst en een andere visie op de dingen die mogelijk zouden kunnen zijn in de toekomst.

Er wordt nu vooral gekeken naar hoe de huidige generatie zonnecollectoren verbeterd kan worden om aan de toekomstige eisen te kunnen voldoen, maar het zou misschien ook nuttig kunnen zijn om met compleet andere ideeën ergens te komen waar eerder nog niet aan werd gedacht. Nu wordt vooral gekeken vanuit de "kop", maar het is misschien interessant om eens bij de "staart" te beginnen. Voorbeelden waar ik me mee bezig zou moeten houden zijn de gebouwintegratie van het systeem, de verhoging van het leefcomfort in de woning, het uiterlijk van de collector, etc.

- Wat zijn de mogelijke activiteiten bij deze opdracht?

Omdat de opdrachtomschrijving erg breed is zou bij deze opdracht bijna het volledige ontwerpproces doorlopen kunnen worden. Het vooronderzoek is grotendeels gedaan en daarom zal de nadruk bij deze opdracht liggen op het ontwerpen zelf. In het plan van aanpak wat ook in dit verslag te zien is, zal worden beschreven welke activiteiten precies plaats zullen vinden in het proces van de bacheloropdracht met een tijdsduur van 13 weken. De mogelijkheden zijn bij deze opdracht erg uitgebreid omdat het voordeel is dat binnen deze opdracht een eigen methodiek gebruikt mag worden en op die manier veel aspecten van het vakgebied van een IO-er aan de orde kunnen komen.

- Wat zijn belangrijke mijlpalen?

Belangrijke mijlpalen bij deze opdracht zullen onder andere zijn: een overzichtelijke lijst met beschikbare technologieën die gebruikt kunnen worden voor de zonnecollector van de toekomst en een concreet programma waarin de eisen van een toekomstig ontwerp geformuleerd zijn. Ook zal het van belang zijn na de conceptgeneratie een keuze te maken in de ontwerpen die uitgewerkt worden, waarna uiteindelijk de uitwerking van een ontwerp in de vorm van een concreet model (3D-CAD) een belangrijk resultaat zijn in het proces. Ook zal een belangrijke mijlpaal bij de opdracht het vaststellen van de technieken in het ontwerp en de vormgeving van het product zijn. De uiteindelijke mijlpaal zal de presentatie van een concreet product zijn, wat gepresenteerd kan worden in een schets / afbeelding / model waarbij de nieuwe mogelijkheden van de toekomst op het gebied van duurzame energie in een zonenergetisch systeem op een nuttige manier zijn toegepast.

- Wat is de precieze opdrachtformulering?

De precieze opdrachtformulering is in dit vroege stadium (het kennismakingsgesprek) nog redelijk algemeen, maar deze is ongeveer als volgt te formuleren:

"Het ontwerpen van een zonenergetisch systeem van de toekomst (in het jaar 2030). Aan de hand van de beschikbare kennis en informatie die binnen het project reeds is opgedaan zullen de mogelijkheden van de een dergelijk systeem van de toekomst uitgewerkt moeten worden tot concrete productideeën, waarmee uiteindelijk een daadwerkelijk gedetailleerd ontwerp voor het systeem in het jaar 2030 gemaakt kan worden."

Fase 3: De overeenkomst ("Hoe, wie, wanneer, waar")

- Wat is de periode (start en einde) waarin de opdracht zal plaatsvinden?

De opdracht zal plaatsvinden in de maanden april, mei, juni en een klein deel van juli (de periode zoals deze ook aangegeven staat in het rooster voor het jaar Bachelor 3 van IO). De start zal zijn op dinsdag 10 april (na 2^{e} paasdag) en de periode van de bacheloropdracht zal eindigen op vrijdag 6 juli. Deze periode beslaat in totaal 13 weken (3 maanden), waartussen enkele feestdagen vallen waardoor in totaal precies 12 weken aan de bacheloropdracht gewerkt wordt.

- Wat zijn de werktijden en de regelingen voor aan- en afwezigheid?

Een normale werkdag is van ongeveer 8:30 's ochtends tot 17:00 's middags waarbij een periode van 8 uur gewerkt wordt. Het is hierbij de bedoeling dat er ongeveer 8 uur per dag gewerkt wordt, waarbij de indeling van deze tijd zelf gemaakt mag worden. Het is bijvoorbeeld ook mogelijk om vroeger te beginnen en dan eerder te stoppen; als er maar ongeveer 8 uur op een dag gemaakt wordt. Bij aanwezigheid zal 's ochtends een pasje gescand worden zodat duidelijk is dat je aan het werk bent. Bij vertrek dient dit pasje opnieuw gescand te worden zodat het duidelijk is wanneer je wel of niet aanwezig was. Wat betreft afwezigheid zijn er 2 dagen per volle werkmaand

beschikbaar voor verlof. Voor de totale tijdsduur van de bacheloropdracht zijn dit dus 6 verlofdagen die gebruikt kunnen worden om vrij te nemen.

- Wat is de werklocatie?

De werklocatie zal een kantoortje zijn in het gebouw waarin het desbetreffende project van het ECN plaatsvindt (gebouw nr. 3 op het ECN terrein). Het ECN terrein bevindt zich vlakbij Petten, een dorpje in Noord-Holland aan de kust. Dit kantoor zal gedeeld worden met drie andere werknemers van het ECN, zodat er gemakkelijker geïntegreerd kan worden binnen het bedrijf en er een betere informele sfeer ontstaat die prettiger is en tot betere resultaten zal leiden.

- Wat zijn de faciliteiten en tools die tot je beschikking zijn?

Er is een bureau met daarop een computer met toegang tot het internet beschikbaar. Daarnaast zullen er veel specialisten rondlopen die beschikken over uitgebreide kennis over het onderwerp waarvoor ontworpen dient te worden. Ook is er een kleinschalige bibliotheek aanwezig waar informatie kan worden opgezocht. Verder is het gebruik van mijn eigen laptop toegestaan, zodat er ook ontwerpsoftware zoals SolidWorks en Rhinoceros toegepast kan worden.

- Wie is de contactpersoon en begeleider?

De contactpersoon en begeleider bij het ECN zal Dhr. Marco Bakker zijn. Hij is werkzaam in onderdeel B van project WAELS met als onderwerp: "De efficiënte omzetting van zonlicht". Daarnaast zijn er andere projectteams die zich bezighouden met andere onderdelen van dit project zoals "Compacte warmteopslag" en "Bouwsystematiek".

- Is er sprake van bepaalde rechten en geheimhouding?

Het doel van dit project is juist om zoveel mogelijk kennis en informatie openbaar te maken zodat hier in de toekomst nuttige dingen mee gedaan kunnen worden. Het project wat nu loopt is ook van belang voor een rapport van de Europese Unie en er zal dus geen sprake zijn van geheimhouding, maar juist het tegenovergestelde: zoveel mogelijk informatie openbaar maken betreffende het onderwerp.

- Hoe wordt de opdracht afgestemd tussen het bedrijf, jou, en de universiteit en wanneer gebeurt dit?

De precieze afstemming van de opdracht zal moeten gebeuren voordat het begin van de bacheloropdracht plaatsvindt op 10 april. Daarom zal het nodig zijn om een goed plan van aanpak te maken bij het vak ITO en van tevoren de dingen duidelijk op een rijtje hebben staan wat ik zelf wil, wat er moet van de UT (de eisen aan een bacheloropdracht) en wat het ECN wil (wat ze graag als resultaat van mij zien). De eerste week van de bacheloropdracht bij het ECN zal ik bezig gaan met het plan van aanpak om dit zo goed mogelijk in overeenstemming te laten verlopen met alle betrokken partijen.

- Is er sprake van een beloning voor je werkzaamheden (stagetoelage, verblijfsvergoeding)?

Omdat tijdelijke huisvesting in de regio benodigd is (ik heb een kamer geregeld voor 3 maanden in Petten) kan er als vergoeding van de kamerhuur een maximum van 200€ per maand van het ECN worden gekregen. Daarnaast wordt nog een stagetoelage geboden van 400€ bruto per maand als beloning voor de geleverde prestaties voor het bedrijf.

- Wat is de overeenkomst die afgesloten dient te worden?

Er dient een contract ondertekend te worden waarbij ik bij ondertekening, voor een periode van 3 maanden (10 april t/m 10 juli) werkzaam zal zijn als stagiair bij het ECN.

- Hoe wordt het plan van aanpak opgesteld?

Het opstellen van een plan van aanpak zal gebeuren in de eerste week van de bacheloropdracht. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van de theorie die is aangereikt bij het vak Inleiding Technologisch Onderzoek dat recent voor het begin van de opdracht gegeven zal zijn. Dit plan van aanpak zal uiteindelijk rond vrijdag 13 april ingeleverd worden bij zowel de begeleider op het ECN als de begeleider bij de UT en de coördinator studentenmobiliteit die over de bacheloropdrachten gaat.

- Is er sprake van betrokkenheid van derden?

Bij het project WAELS waarbinnen deze opdracht valt wordt ook samengewerkt met de Technische Universiteit Eindhoven en het TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek).

- Wat zijn de informatie en kennis kanalen?

De informatie en kenniskanalen zullen hoofdzakelijk binnen het bedrijf plaatsvinden omdat de mensen die bij het ECN rondlopen zeer veel verstand van zaken hebben omtrent het doen van energieonderzoek. Per dag zal ik standaard met ongeveer 3 à 4 mensen te maken hebben waar ik mee moet samenwerken om tot een goed resultaat te komen. Daarnaast zal het totale aantal mensen wat enigszins invloed heeft op mijn werkzaamheden zo'n 8 tot 10 man bedragen. Deze vallen dus ook onder de informatie en kennis kanalen die ik tot mijn beschikking heb.

Fase 4: Exit ("Acties")

- Wie onderneemt welke acties en op welke termijn en wat is de afspraak die gemaakt is over het vervolgcontact?

Er is afgesproken dat ik op de UT met de coördinator studentenmobiliteit (Wieteke de Kogel-Polak) de gang van zaken zou bespreken wat betreft het kennismakingsgesprek en eventueel al een begeleider toegewezen zal krijgen (dit zal Angèle Reinders worden). Als daarna voor mij duidelijk is wat er verder ondernomen moet worden, neem ik contact op met het ECN waar vervolgens de laatste dingen geregeld kunnen worden voor de bacheloropdracht.

3. Actoranalyse

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) dat gevestigd is in het Noord-Hollandse Petten, is het grootste onderzoeksinstituut in Nederland op het gebied van energie. Bij dit bedrijf werken momenteel ongeveer 600 mensen. Het ECN voert onderzoek uit op het gebied van energie, waarbij de onderzoekers zich bevinden in het overgangsgebied tussen het fundamentele onderzoek van universiteiten en de toepassing van deze kennis in de markt. Het energieonderzoek vindt voornamelijk plaats naar een duurzame energievoorziening: een veilige, efficiënte, betrouwbare en milieuvriendelijke wijze voor het voorzien in energie.[1]

De doelstelling[2] van het ECN is het ontwikkelen van hoogwaardige kennis en technologie voor de transitie naar deze duurzame energiehuishouding. Het ECN richt zich hierbij op de kennis- en informatiebehoefte van de overheid om het bereiden, realiseren en evalueren van het beleid op het gebied van energie, milieu en technische innovaties goed te laten verlopen. Daarnaast is het ECN een partner van het bedrijfsleven bij de ontwikkeling en implementatie van producten, processen en technologieën die van belang zijn voor de transitie naar een duurzame energiehuishouding. Ook werkt het ECN intensief samen met Nederlandse en buitenlandse universiteiten en kennisinstellingen door het vervullen van "brugfunctie" tussen het technologisch onderzoek en de implementatie van nieuwe technologieën op energiegebied. Hiermee oefent het ECN een belangrijke functie uit voor de maatschappij van vandaag en morgen.

Het ECN zal binnen deze bacheloropdracht de positie van opdrachtgevende partij vervullen. Daarnaast zal samenwerking plaatsvinden met TNO evenals de TU Eindhoven. Omdat de opdracht niet een marktgebonden doel heeft, is er verder niet echt sprake van concurrentie. Het belang van het ECN is dat er met dit onderzoek gekeken wordt naar de toekomstmogelijkheden van (vernieuwde) producten die gerelateerd zijn aan een duurzame energievoorziening. De waarde hiervan is dat er op deze manier een bijdrage geleverd wordt aan de toepassing van belangrijke basiselementen van het ECN, namelijk: (a) het terugdringen van de energievraag door energiebesparing en (b) het opwekken van energie met behulp van duurzame energiebronnen. Het ECN kijkt hierbij vanuit een technisch oogpunt tegen het probleem van de nog steeds explosief stijgende vraag naar energie aan en de hieraan gerelateerde, verergerende milieuproblematiek.

Binnen het bedrijf is er een opdeling in verschillende units die zich allen met een bepaalde expertise op energiegebied bezighouden. De unit waar ik terecht kom is die van "Energie in de Gebouwde Omgeving en Netten" (EGON). Deze unit houdt zich bezig met de mogelijkheid om comfortabel, gezond en duurzaam werken en leven in de gebouwde omgeving met minimale energie- en milieubelasting mogelijk te maken.[3] Binnenin EGON is er verder een Research & Development programma dat zich bezighoudt met zogenaamde "Bouwenergetica". Het doel van dit R&D programma is om de warmtevraag van de gebouwde omgeving volledig duurzaam in te vullen en op deze manier energieneutraliteit binnen de gebouwde omgeving te verkrijgen (dat gebouwen zichzelf kunnen voorzien van de benodigde energie). In maart 2006 is hierbij het project WAELS (Woningen Als Energie Leverend Systeem) gestart. Bij dit project wordt gekeken naar de mogelijkheden om in de toekomst de woningen ook daadwerkelijk energieleverend te maken. Een onderdeel van dit project is de zonnecollector van de toekomst in het jaar 2030 (zie ook de opdrachtomschrijving).

De derde actor die zich binnen deze bacheloropdracht bevindt is die van de intermediair, oftewel de begeleidster van de student vanuit de Universiteit Twente gezien. Deze begeleidster is Dr. Angèle Reinders. Zij richt zich met haar onderzoek op de integratie van duurzame energiesystemen in producten en in de gebouwde omgeving. Er wordt door haar in verschillende projecten aandacht besteed aan productontwikkeling op basis van duurzame energie. Met ECN bestaat een recente samenwerking op het gebied van de ontwikkeling van photovoltaïsche (PV) modules. In het SenterNovem project "Exergetische Analyse van de Gebouwde Omgeving worden verschillende energiebesparingopties en duurzame energiesystemen in gebouwen zowel energetisch als financieel geëvalueerd. Daarnaast wordt productontwerpen met duurzame energie (systemen) in verschillende projecten in het onderwijs van de opleidingen Industrieel Ontwerpen en Sustainable Energy Technology (de master SET) toegepast. Dit resulteert in vernieuwende productconcepten voor geïntegreerde duurzame energiesystemen in consumentenproducten, vervoerstoepassingen en bouwelementen.

4. Projectkader

De laatste eeuwen is de vraag naar energie explosief gestegen[8]. Doordat de benodigde energie vooral werd opgewekt door de verbranding van fossiele brandstoffen, nam de vervuiling van lucht, bodem en water hiermee eveneens toe. Het meest recente en ook meest grootschalige probleem vormt de stijging van het CO_2-gehalte in de atmosfeer. Op lange termijn heeft dit namelijk zeer grote nadelige effecten op het klimaat en dit kan uiteindelijk een serieuze bedreiging voor het leven op aarde betekenen (het broeikaseffect)[9]. Het vinden van een structurele oplossing voor dit probleem is dan ook essentieel. Op een verantwoorde manier omgaan met energie is dan ook een zeer belangrijk onderdeel van deze oplossing. Om methoden voor dit probleem te ontwikkelen is daarom energieonderzoek nodig.[4]

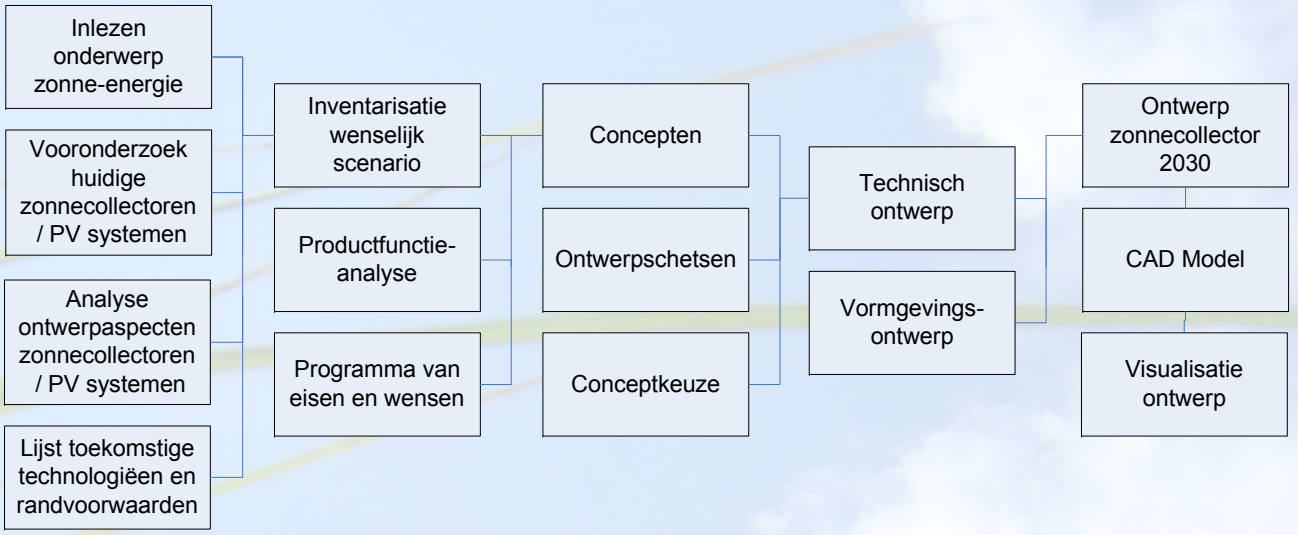
Eén van de achtergronden van dit probleem is de hoeveelheid energie die door de Nederlandse huishoudens wordt verbruikt. Huishoudens zijn namelijk een grootgebruiker van energie: Alle Nederlandse huishoudens samen gebruiken voor ruimteverwarming en het produceren van warm tapwater 15% van het totale energiegebruik in Nederland.[5] Daarom is het zeer nuttig om methoden te ontwikkelen die ervoor zorgen dat huizen op een duurzame manier van warmte voorzien kunnen worden. Op de lange termijn kan dit energieverbruik nog met behulp van energiebesparende maatregelen met een factor 4 verkleind worden. De resterende vraag zal echter op een duurzame manier ingevuld moeten worden met behulp van de toepassing van zonnewarmte en omgevingswarmte. De oplossing voor dit maatschappelijke milieuprobleem wordt hierbij gezocht in de richting van het toepassen en implementeren van nieuwe technieken en processen in producten die deze duurzame manier van energievoorziening mogelijk maken binnen de gebouwde omgeving.

Een manier om dit te doen is het toepassen van zonnecollectoren om de warmte van de zon efficiënter te gebruiken. Het probleem waar het bij project WAELS om draait is dat de huidige zonnecollector (2007) niet efficiënt genoeg is als wordt gekeken naar de hoeveelheid energie die wordt verkregen per geïnvesteerde euro. De prijs die mensen moeten betalen is nog te hoog, waardoor het toepassen van deze milieuvriendelijke manier van energiegebruik nog te weinig wordt toegepast bij de consument. De achtergrond van dit probleem is dat de evolutie wat betreft de ontwikkeling van zonnecollectoren eigenlijk de laatste tijd onvoldoende is en er een soort "revolutie"[10] nodig is om het grootschalig toepassen van collectoren op daken een impuls te geven.[6] Om oplossingen voor dit probleem te zoeken zal bij dit project gekeken worden naar bepaalde visies van de zonnecollector in 2030 om deze vervolgens uit te werken tot een innovatief product dat aantrekkelijker is dan de huidige techniek die beschikbaar is. Hierbij vormen de verwachte ontwikkelingen in omliggende vakgebieden in de toekomst een belangrijk uitgangspunt.

5. Doelstelling

Het doel van de opdracht is om enkele concepten van zonenergetische systemen uit te werken voor de toekomst (2015 en 2030) waarbij toekomstige nieuwbouwwoningen energieneutraal of energieleverend gemaakt kunnen worden. Hierbij zal gekeken worden naar de belangrijke ontwerpaspecten energieopbrengst, flexibiliteit, gebouwintegratie, intelligentie, modulariteit, zelfstandigheid, gebruiksgemak en comfort, vormgeving, het kostenplaatje en de technische haalbaarheid op termijn, zodat hiermee de toepassing van een dergelijk zonenergetisch systeem interessanter wordt voor de toekomstige consument.

Dit doel kan gerealiseerd worden door eerst een globaal inzicht te verkrijgen in de huidige typen zonenergetische systemen zoals zonnecollectoren en PV panelen. Het doen van vooronderzoek naar het onderwerp door middel van het (in)lezen van de literatuur over dit onderwerp zal hierbij de eerste stap zijn. Met deze kennis en de huidige resultaten van project WAELS kan dan een overzichtelijke lijst opgesteld worden met beschikbare technologieën en randvoorwaarden die van toepassing zijn op zonnecollector, PV panelen, warmteopslag, etc. voor de toekomst. Door een inventarisatie te maken van het wenselijke scenario waarin de zonnecollector zal moeten worden toegepast, kunnen de functies van het product opgesteld worden in een productfunctieanalyse. Aan de hand van deze functies kan een programma van eisen en wensen worden opgesteld. Hiermee kunnen enkele concepten gegenereerd worden door het maken van enkele ruwe schetsen. Uit deze concepten zullen vervolgens de beste alternatieven verder uitgewerkt worden waarbij kritisch gekeken wordt naar zowel het technische aspect als de vormgeving van het ontwerp. Uiteindelijk kan hiervan een gedetailleerd ontwerp van een zonenergetisch systeem in 2030 gemaakt worden om vervolgens met behulp van een 3D CAD model een duidelijke visualisatie van het eindproduct te maken. Dit alles zal plaatsvinden in een tijdsbestek van 13 weken.



Figuur 1: Schematische weergave van de realisatie van de doelstelling

6. Vraagstelling

Analysegedeelte:

1. **Welke rol speelt de passieve benutting van zonne-energie bij de benodigde energetische vraag binnen een huishouden?**
   a. Waaruit bestaat de energievraag van de gebouwde omgeving voornamelijk?
   b. Hoe werkt passieve benutting van zonne-energie binnen de gebouwde omgeving?
   c. In welke mate kan door passieve benutting van energie de energievraag verminderd worden?
   d. Welke van de besproken technieken van passieve benutting van zonne-energie zijn van toepassing op een nieuw te ontwerpen zonenergetische systeem?

2. **Welke manieren van het duurzaam opwekken van energie met behulp van zonlicht zijn mogelijk?**
   a. Op welke principes berusten deze manieren van energieopwekking?
   b. Hoe werken deze manieren van energieopwekking precies?
   c. Welke verschillende methoden worden het meest toegepast in producten op het gebied van zonne-energie?
   d. Uit welke aspecten bestaan deze verschillende toegepaste methoden?
   e. Wat zijn de voor- en nadelen van deze methoden?
   f. Hoe efficiënt zijn zonenergetische producten tegenwoordig qua rendement van de energieopbrengst?
   g. Hoe efficiënt zijn deze producten als gekeken wordt naar de verhouding van de prijs en de opbrengst?

3. **Welke bouwkundige aspecten van een woning zijn van belang met betrekking tot het ontwerpen van de zonnecollector voor de toekomst?**
   a. Op welke locaties van een woning kunnen zonnecollectoren en PV-panelen het best geïntegreerd worden om zo efficiënt mogelijk gebruikt te worden?
   b. Aan welke eisen moet een dak / gevel voldoen?
   c. Wat voor soorten daken / gevels zijn er?
   d. Hoe zit een dak / gevel precies in elkaar?
   e. Hoe zit het met de isolatie van de verschillende soorten dakbedekkingen / gevelwanden?

f. Welke mogelijkheden geven daken en gevels voor de toepassing van zonnecollectoren en PV?
g. In welke mate zal in de toekomst verandering optreden wat betreft de bouwkundige aspecten en architectuur van woningen?
h. Welke van deze optredende veranderingen zijn belangrijk om rekening mee te houden bij het te ontwerpen product?

4. Welke producten zijn er nu op de markt op het gebied van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht?
a. Welke losse modules voor zonnecollectoren, PV en PVT zijn er?
b. Hoe zijn zonenergetische producten gemakkelijk op bestaande woningen te zetten / aan te bouwen (bevestiging- en installatietechnieken)?
c. Hoe zijn deze te integreren (inbouwen) in reeds bestaande woningen (integratietechnieken)?
d. Hoe gebeurt de integratie van zonnecollectoren en PV panelen in nieuwbouwwoningen?
e. Welke materialen worden gebruikt bij de huidige producten die gebruik maken van zonne-energie?
f. Welke regelsystemen bevatten de huidige zonnecollectoren en PV(T) systemen?
g. Welke problemen doen zich voor bij de huidige markt van zonne-energie die mogelijkerwijs verbeterd zouden kunnen worden met de ontwikkeling van een nieuw product?

5. Welke nieuwe technologische mogelijkheden zijn er in het jaar 2030 op het gebied van duurzame energieopwekking met behulp van zonlicht?
a. Welke nieuwe technologieën zijn er op dit moment in ontwikkeling?
b. Welke nieuwe technologieën zouden hun intrede in de toekomst nog kunnen doen?
c. Aan welke randvoorwaarden zijn deze nieuwe technologieën gebonden?
d. Welke van deze nieuwe technologieën zijn mogelijk toe te passen in het te ontwerpen product?

Ontwerpgedeelte:

6. Wat is het toekomstscenario waarin het te ontwerpen product zal moeten gaan functioneren in 2030?
a. In welke context zal het product gebruikt gaan worden?
b. Voor welke woningen / gebouwen zal het nieuwe product geschikt moeten zijn?
c. Wat zal het verloop van de energievraag en het energiegebruik zijn wanneer gekeken wordt naar de toekomst?
d. Welke andere ontwikkelingen en veranderingen zijn belangrijk wanneer wordt gekeken naar het jaar 2030?
e. Wat zal het verloop van de prijs van zonne-energie en regulier opgewekte energie zijn voor de toekomst?
f. Is het haalbaar om met dit toekomstscenario energieneutraliteit van woningen te garanderen?

7. Aan welke functies, eisen en ontwerpaspecten moet het systeem voldoen wil deze aantrekkelijk worden voor de toekomstige consument?
a. Wat zijn de verschillende "stakeholders" die een rol spelen bij het uiteindelijke product (Gebruiksonderzoek)?
b. Wat is de voornaamste doelgroep van het te ontwerpen product? (Doelgroepanalyse)
c. Welke problemen treden op bij het kunnen vervullen van de doelstelling wat betreft de verschillende te behandelen ontwerpaspecten? (Probleemanalyse)
d. Welke functies zijn absoluut noodzakelijk te integreren in het ontwerp om de doelstelling te bereiken? (Productfunctieanalyse)
e. Welke functies zijn minder van belang maar zouden een nuttige bijdrage kunnen leveren?
f. Aan welke eisen moet het product voldoen om aan de doelstelling van het onderzoek te voldoen? (Programma van Eisen)

8. Welke concepten zijn te bedenken die aan de belangrijkste eisen voldoen?
a. Welke van deze concepten zijn haalbaar wat betreft de randvoorwaarden en de verwachte technologische mogelijkheden in de toekomst?
b. Welke van deze concepten zijn uiteindelijk het meest interessant om verder in detail uit te werken?

9. Hoe kan aan de verschillende gestelde ontwerpaspecten die in de doelstelling zijn geformuleerd worden voldaan?
a. Welke technologieën die toegepast worden in het ontwerp zijn nu al beschikbaar?
b. Welke toegepaste technologieën moeten eerst nog verder ontwikkeld worden?
c. Hoe hoog is de energieopbrengst bij het ontwerp?
d. Hoe wordt de flexibiliteit binnen het systeem geregeld?
e. Hoe wordt gezorgd voor een goede gebouwintegratie van het product?
f. Op welke manier wordt het systeem intelligent gemaakt?
g. Uit welke verschillende modules bestaat het product?
h. Hoe wordt een zekere mate van zelfstandigheid van het systeem geregeld?
i. Op welke manier kan het gebruiksgemak en geleverde comfort voor de consument zo goed mogelijk worden verzorgd?
j. Hoe ziet het ontwerp er qua vormgeving uit?
k. Welke materialen worden toegepast in het ontwerp?
l. Wat zijn mogelijke problemen die kunnen optreden bij het totale ontwerp?
m. Hoe zijn deze problemen mogelijk op te lossen?
n. Wat zijn de voor- en nadelen van het nieuwe, toekomstige ontwerp vergeleken met huidige, vergelijkbare producten in dezelfde categorie?
o. Wat zijn de verwachte kosten wanneer dit ontwerp in de toekomst toegepast zal worden?

7. Begripsbepaling

Zonenergetisch systeem: De te ontwerpen (vernieuwde) installatie met zonnecollectoren en PV panelen die ervoor zorgt dat de totale energievraag van de woning geleverd kan worden met behulp van een duurzame, omzetting van zonlicht naar warmte en elektriciteit en hiermee de woning zogeheten energieneutraal maakt.

Scenario: De veronderstelde en geplande loop van gebeurtenissen waarmee het product in aanraking zal komen tijdens de toepassing ervan in de toekomst.

Visualisatie: Grafische weergave van het beeld van de toekomstige zonnecollector in 2030.

Concept: Een voorlopige formulering en globale uitwerking van mogelijke ideeën voor de zonnecollector die schetsmatig en met behulp van steekwoorden is weergegeven.

Energieopbrengst: De hoeveelheid energie uit het zonlicht die door middel van omzetting van het systeem uiteindelijk nuttig gebruikt kan worden binnen de woning in de vorm van warmte enerzijds en elektriciteit anderzijds.

Flexibiliteit: De mate waarin zowel het gebouw waarin de zonnecollector is geïntegreerd, als de installatie waarin de zonnecollector zich bevindt, zich eenvoudig aan kan passen aan gewijzigde of nieuw toegevoegde componenten in het

totale systeem of veranderende wensen van de gebruiker en de interfaces.

Gebouwintegratie: Mate waarop de zonnecollector is geïntegreerd en "verwoven" met de woning waarop deze zich bevindt, zodat deze samen een passend geheel vormen.

Intelligentie: De mate waarin het gebouw en de installatie zichzelf én zijn gedrag, zelfstandig aan de wensen en het gedrag van de gebruiker, het weer, en de gebruiksomstandigheden aan kan passen.

Modulariteit: Wijze waarop componenten van de installatie enerzijds, of het gebouw anderzijds, eenvoudig onderling toe te voegen of uit te wisselen zijn.

Zelfstandigheid (autonomie): De conditie waarin het gebouw zichzelf kan voorzien in zijn eigen energiebehoefte. Dat wil zeggen: het deel van de energiebehoefte wat niet meer afhankelijk is van energiebronnen die van "buitenaf" moeten komen zoals het elektriciteitsnet of de gastoevoer.

Gebruiksgemak en geleverd comfort: Mate waarin de gebruiker, zonder dat het veel moeite of inspanning kost, de installatie naar behoeve kan gebruiken. Dit kan ook andersom gezien worden; namelijk dat de gebruiker niet het product bedient, maar dat het product de gebruiker bedient.

8. Onderzoeksstrategie

Het onderzoek zal een casestudy zijn waarbij met diepgang en voornamelijk kwalificerende informatie gekeken gaat worden naar de beste mogelijkheden omtrent nieuwe technologieën voor het ontwerpen van een nieuwe zonnecollector van de toekomst. Hierbij zal een deel bureauonderzoek zijn, aangezien in literatuur geanalyseerd moet worden welke mogelijkheden in de technologie betreffende zonne-energie er nu zijn en welke in de toekomst mogelijkerwijs beschikbaar zullen zijn voor het doen van een nieuw ontwerpvoorstel. Daarnaast zal ook in de empirie gekeken moeten worden naar wat nu de meest toegepaste oplossingen met betrekking tot zonne-energie zijn. Met behulp van een groot aantal specialisten dat in mijn werkomgeving aanwezig is, kan ik gemakkelijk over deze informatie beschikken.

Ten eerste zal er begonnen moeten worden met het inlezen in het onderwerp van de opdracht. Hierbij zal gekeken moeten worden naar wat een zonnecollector en PV paneel precies is, hoe deze in elkaar zitten en met behulp van welke technologieën deze allemaal werkzaam zijn. Wanneer dat bekend is zal een analyse van de meest toegepaste producten op het gebied van duurzame energieopwekking met zonlicht informatie verschaffen over wat er nu allemaal mogelijk is. Daarna zal gekeken moeten worden naar de toekomstige mogelijkheden die de technologievooruitgang mogelijkerwijs kan brengen in het jaar 2030. Hierbij zal een lijst opgesteld moeten worden met dingen die mogelijk in het nieuwe ontwerp toegepast zouden kunnen worden. Door vervolgens naar het wenselijke gebruiksscenario te kijken van de toepassing van een nieuw zonenergetisch systeem in de toekomst kunnen de absoluut noodzakelijke functies worden gedefinieerd in een functieanalyse.

In een programma van eisen en wensen kunnen deze functies omgezet worden naar concrete eisen die zich toespitsen op de belangrijkste aspecten van de doelstelling: de energieopbrengst, flexibiliteit, gebouwintegratie, intelligentie, modulariteit, zelfstandigheid, het gebruiksgemak en comfort, de vormgeving, het kostenplaatje en de technische haalbaarheid van het systeem op termijn. Deze eisen geven houvast waardoor enkele concepten geformuleerd kunnen worden. Door enkele concepten zorgvuldig uit te kiezen kan het ontwerp hiervan daarna in detail uitgewerkt worden. Hierbij moet zorgvuldig gekeken worden naar zowel de technische aspecten die de doelstelling moeten ondersteunen en daarnaast mag de vormgeving ook niet uit het oog verloren worden. Uiteindelijk zal een totaal ontwerp het resultaat zijn waarbij een 3D CAD model zal zorgen voor een duidelijke grafische visualisatie van een mogelijk eindproduct van een zonenergetisch systeem van de toekomst.

9. Planning

De planning staat op de volgende pagina in figuur 2 weergegeven als Gantt-Chart met daaronder aangegeven wat de mogelijke knelpunten kunnen zijn bij deze planning en daarbij mogelijke oplossingen die hiervoor gegeven zijn.

10. Bronnen voor het PVA

1) ECN, *Welkom bij ECN*, 2007, http://www.ecn.nl/corp/, geraadpleegd op 04-04-2007

2) ECN, *Missie*, 2007 http://www.ecn.nl/corp/missie/, geraadpleegd op 04-04-2007

3) ECN, *Missie van EGON*, 2007, http://www.ecn.nl/egon/missie/, geraadpleegd op 04-04-2007

4) ECN, *Waarom energieonderzoek?*, 2007, http://www.ecn.nl/corp/ geraadpleegd op 04-04-2007

5) ECN, *Thermische systemen*, 2007, http://www.ecn.nl/egon/rd-programma/thermische-systemen/ geraadpleegd op 04-04-2007

6) ECN, *Efficiënte omzetting van zonlicht*, Project WAELS B, Marco Bakker, 2006

7) ECN, *Uitwerking workshop zonnecollector 2030 op dinsdag 14 november 2006*, Project WAELS B, Deelnemers workshop, Amsterdam, 2006

8) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change and Biodiversity*, Genève, Zwitserland, 2002

9) United Nations Environment Programme (UNEP), *Introduction to Climate Change*, 1999, http://climatechange.unep.net/index.cfm?issue=climate_intro, geraadpleegd op 18-04-2007

10) Greenpeace, Samenvatting van het artikel: De *Nederlandse Energierevolutie: Het scenario voor een schone energietoekomst*, 2006, http://www.greenpeace.nl/reports/energyrevolutionscenario-neder-2, geraadpleegd op 18-04-2007

Stageweek:		Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6	Week 7	Week 8	Week 9	Week 10	Week 11	Week 12	Week 13
Week v/h jaar:		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Datum:		9-apr	16-apr	23-apr	30-apr	7-mei	14-mei	21-mei	28-mei	4-jun	11-jun	18-jun	25-jun	2-jul
	Af?													
Onderzoekstraject:														
Plan van aanpak schrijven					Ma Koning									
Inlezen onderwerp zonnecollectoren					innedag	Di Cursus								
Vooronderzoek huidige zonnecollectoren						ECN	Do Hemel-							
Vaststellen toekomstige technologieën & randvoorwaarden							vaart							
Inventarisatie wenselijke scenario toekomst							Vr Vrij		Ma 2e Pink					
Productfunctieanalyse opstellen									sterdag					
Programma van eisen en wensen opstellen														
Concepten genereren														
Ontwerpschetsen maken														
Technisch ontwerp uitwerken														
Vormgevingsontwerp uitwerken														
Totale ontwerp zonnecollector 2030 vastellen														
3D CAD Model maken														
Visualisatie ontwerp maken (presentatie)														
Schrijftraject:														
Indeling verslag maken														
Conceptverslag schrijven														
Eindverslag schrijven														
Marco & Wim afwezig i.v.m. congressen in het buitenland														
Geplande tijd														
Uitlooptijd (week 14 eventuele uitloopweek)														
Bijzondere dagen														

Figuur 2: Gantt-Chart van de planning van de bacheloropdracht bij het ECN

Knelpunten & oplossingen

- Er wordt gewerkt in een periode waarin relatief veel vakantiedagen vallen waardoor eventueel minder werk verricht kan worden. De oplossing hiervoor is van tevoren goed te anticiperen op de verplichte vrije dagen: Daarom heb ik deze ook in de planning opgenomen.
- In de planning is nog geen rekening gehouden met 2 tussenbesprekingen die tussen Angèle en mij plaats zullen vinden en waarvoor ik 2 dagen kwijt ben om naar Enschede te reizen. Een mogelijke oplossing hiervoor is dat tijdens de treinreis er het een en ander gedaan kan worden zodat er toch nog iets gedaan kan worden deze dagen.
- Zelf mag ik tijdens deze 3 maanden dat ik bij het ECN werk ook nog 6 dagen vrij nemen. Deze dagen zijn uiteraard nu nog niet bekend en deze zijn daarom dus ook nog niet opgenomen in de planning. Hiervoor geldt eigenlijk ook gewoon dat er rekening gehouden moet worden met het feit dat het eindresultaat van de opdracht niet in het geding komt en er naar eigen inzicht dagen gebruikt kunnen worden voor vrijetijdsbesteding. Dit zal naar mijn inziens echter geen groot knelpunt zijn.

Bijlage 2: Sollicitatiebrief & CV

ECN, Energieonderzoek Centrum Nederland
Postbus 1
1755 ZG Petten

Betreft: Vacature student industrieel ontwerpen

Enschede, 10 januari, 2007

Geachte heer Bakker,

Via een docent op de Universiteit Twente werd ik gewezen op de mogelijkheid van het doen van een bacheloropdracht bij het ECN. De omschrijving van de activiteiten van dit onderzoeksinstituut op energiegebied spreken mij erg aan. Daarom solliciteer ik hierbij naar de vacature voor het doen van een bacheloropdracht bij uw bedrijf.

Met het huidige toekomstperspectief is het van zeer groot belang dat een duurzame energiehuishouding een groter aandeel moet krijgen in onze manier van leven. Omdat uw bedrijf op dit gebied hoogwaardige kennis en technologie ontwikkelt, lijkt het mij zeer interessant om als student mee te werken aan een betere toekomst op het gebied van schonere energievoorziening.

U vraagt naar een student industrieel ontwerpen die concepten voor de zonnecollector van de toekomst wil uitwerken. Ik heb na tweeënhalf jaar studie Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente geleerd om veel samen te werken. Onder andere door het doorlopen van een aantal projecten in teamverband. Zelfstandig kan ik ook goed functioneren. Dit bleek bij de uitvoering van mijn vrije opdracht.

Verder ben ik communicatief vaardig en ligt mijn interesse vooral bij de technische kant van het ontwerpen. Het lijkt mij een uitdaging om bij het genoemde onderzoeksproject van de zonnecollector voor het jaar 2030 een product te ontwikkelen dat aan de veranderende eisen voor de toekomst zal kunnen voldoen.

Door mijn technische interesse en belangstelling voor het ontwerpen denk ik de geschikte kandidaat te zijn voor deze functie. Voor mijn persoonlijke gegevens verwijs ik u naar bijgesloten Curriculum Vitae en mijn portfolio op internet: http://portfolio.io.utwente.nl/student/nijsjc/. Uiteraard ben ik bereid om in een mondeling gesprek het een en ander nader toe te lichten.

Met vriendelijke groet,

Jochem Nijs
Lipperkerkstraat 61a
7511 CV Enschede
j.c.nijs@student.utwente.nl
06-41615497

Bijlage: Curriculum Vitae

Naam	Jochem Christiaan Nijs
Adres	Lipperkerkstraat 61a
Postcode	7511 CV Enschede
Telefoonnummer	06-41615497
E-mail	j.c.nijs@student.utwente.nl
Portfolio	http://portfolio.io.utwente.nl/student/nijsjc/
Geboortedatum	11-02-1986
Geboorteplaats	Curaçao
Geslacht	Man
Nationaliteit	Nederlands
Burgerlijke staat	Ongehuwd

Opleidingen

2004 – heden	Bachelor Industrieel Ontwerpen, Universiteit Twente Minor: Sportfysica (deels aan de Vrije Universiteit te Amsterdam)
2004 – 2005	Propedeuse Industrieel Ontwerpen, Universiteit Twente
1998 – 2004	VWO, Zuyderzee College te Emmeloord Profiel: Natuur & Gezondheid Keuzevakken: Wiskunde B2, Natuurkunde 2 en Economie 1

Werkervaring

2006 – heden	Horecawerkzaamheden bij project buro Mise en Place te Enschede Werkzaam in de bediening en bij evenementen
2006	Student-assistentschappen aan de Universiteit Twente Assisteren bij het Wiskunde Herstelonderwijs: opgaven uitleggen Begeleiden van de practica CADCAM (Computer Aided Design & Manufacturing): het programma SolidWorks aan studenten uitleggen
2000 – 2005	Vakantiewerk bij verschillende agrarische bedrijven in de Noordoostpolder

Overige vaardigheden en interesses

Talen	Nederlands: vloeiend (moedertaal) Engels: goed Duits: matig Frans: matig
Rijbewijs	B
Computer	Word, PowerPoint, Excel, Frontpage, Photoshop, SolidWorks, Rhinoceros
Hobby's	Films kijken, gitaar spelen
Sport	Fitness, hardlopen, spinning

Bijlage 3: Zelfreflectie

Na 3 maanden gewerkt te hebben bij het ECN aan een bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen, is het tijd om eens te evalueren hoe deze werkzaamheden eigenlijk zijn verlopen. Daarbij zal eerst besproken worden welke verwachtingen ik had van de organisatie waarbij ik ging werken, de begeleiding die ik tijdens het doen van deze opdracht zou krijgen en de inhoudelijke werkzaamheden die ik zou moeten verrichten. Er zal daarna besproken worden of deze verwachtingen ook voldeden aan de werkelijkheid, of dat deze er heel anders uitzagen. Daarnaast zal worden gekeken of er nieuwe vaardigheden opgedaan zijn wat betreft planning en gestructureerd werken en zal gereflecteerd worden op de communicatieve en sociale aspecten die bij deze opdracht aan de orde kwamen. Ook zal geanalyseerd worden welke kennis ik heb opgedaan tijdens deze opdracht, en de mate van zelfstandigheid waarbij dit gebeurde. Uiteindelijk zal gecontroleerd worden of de persoonlijke doelstellingen die aan het begin van dit verslag gesteld zijn, na afronding van deze opdracht ook daadwerkelijk behaald zijn. De reflectie kan uiteindelijk afgesloten worden door te behandelen welke verbeterpunten in de toekomst plaats zouden kunnen vinden.

De organisatie
Het ECN is een groot bedrijf waar veel mensen werkzaam zijn. Daarom dacht ik dat ik elke dag met een heleboel mensen zou moeten samenwerken en ook veel bij vergaderingen en overleggen aanwezig zou zijn. Ik verwachtte verder dat er een redelijk formele sfeer binnen de organisatie zou zijn en dat alles volgens strikte regels en volgens een bepaalde manier zou moeten gebeuren. Het gaat immers om een grote organisatie waar veel mensen werken die allemaal een hoog opleidingsniveau hebben en er wordt veel in het bedrijf geïnvesteerd omdat het zich bezig houdt met belangrijke zaken omtrent een onderwerp dat steeds actueler wordt. Deze verwachtingen waren echter wat overdreven nu ik er een tijd gewerkt heb. Er is juist sprake van een erg informele sfeer tussen de collega's, en het viel erg mee met het aantal mensen waar ik direct mee in aanraking kwam wat betreft mijn werkzaamheden. Dit kwam omdat ik in een relatief kleine unit werd geplaatst, waar iedereen elkaar redelijk goed kent. Dit zorgde er ook voor dat ik het onderling met collega's goed kon vinden. Daarnaast viel het in werkelijkheid ook heel erg mee hoe "streng", en "professioneel" ik alles had verwacht. Er werd erg flexibel gewerkt, en je wordt erg vrijgelaten in de methoden die je toepast. Ik kon precies mijn eigen tijd indelen (hoe laat ik begon en wegging), vrije dagen inplannen wanneer ik wilde (uiteraard met een maximum aantal), etc. Uiteindelijk ben ik erg blij dat ik heb gekozen om een BO bij het ECN te doen want er wordt op een prettige manier gewerkt die mij zeer goed is bevallen.

De begeleiding
Qua begeleiding had ik verwacht dat er een soort "vast en verplicht tijdstip" ingepland zou worden om tussendoor te bespreken hoe het staat met mijn werkzaamheden van de opdracht. Ook dit was in de praktijk veel informeler en losser, en het kwam erop neer dat mijn begeleider van het ECN en ik af en toe even een bakje koffie dronken als ik wat vragen had, wat dingen doorspraken en ik vervolgens weer een paar dagen verder kon met de opdracht. Deze begeleiding verliep ook op een prettige, informele manier waardoor ik prima door heb kunnen werken en tussendoor bijvoorbeeld niet extra werk moest doen om tussentijdse mijlpalen te presenteren. Als ik vragen had, of iets wilde laten zien kon ik gewoon naar de kamer naast mij lopen om er dan over te praten. Dit beviel mij erg goed. Ook de begeleiding via de UT was wat mij betreft prima. Tussendoor ben ik tweemaal naar Enschede gekomen om de resultaten van mijn werkzaamheden kort te bespreken. Hiervoor moest ik wel een middag vrij nemen, omdat het natuurlijk een stuk reizen is, maar het gaf ook een hoop voldoening wanneer je tussendoor iets presenteert wat bij de begeleider in goede aarde valt.

De inhoudelijke werkzaamheden
Aan het begin was het voor mij niet heel erg duidelijk wat precies de bedoeling van de opdracht was. Het was allemaal nog wat vaag en ik wist niet precies wat ik er nou mee moest. Dit kwam mede omdat het begrip "Bacheloropdracht" voor het ECN nog niet echt duidelijk was, en omdat ik niet precies wist wat het ECN van mij wilde en wat de UT daarnaast van mij eiste. Uiteindelijk is dit echter goed verlopen. Na het maken van een overzichtelijk plan van aanpak, en dit doorgesproken te hebben met beide begeleiders is tot een duidelijk omschreven opdracht gekomen, die gaandeweg nog iets is bijgesteld. Van de verwachte problemen is dus geen sprake geweest en ik heb 3 maanden lang elke dag goed kunnen doorwerken aan de opdracht die ik zelf heb opgesteld, binnen een project wat loopt bij het ECN. Zoals gezegd had ik van tevoren verwacht dat ik veel samen zou moeten werken met andere mensen, maar in de praktijk viel dit erg mee. Ik kon de opdracht grotendeels zelfstandig uitvoeren, waarbij ik af en toe collega's bepaalde vragen kon stellen die van toepassing waren op hun expertise. Daarnaast was ik een beetje bang dat ik dag in, dag uit alleen maar achter de computer zou zitten en me op een gegeven moment wel zou gaan vervelen met deze dagbesteding. In werkelijkheid heb ik inderdaad veel achter mijn laptop gezeten, maar omdat de werkzaamheden die ik moest uitvoeren over het algemeen dagelijks redelijk gevarieerd waren, werd het niet eentonig. Voorbeelden van dergelijke variërende werkzaamheden zijn het werken in Word, Adobe Photoshop, SolidWorks, PowerPoint, Excel, en het zoeken op Internet naar informatie.

Planmatig en gestructureerd werken
Met de planning die ik aan het begin van de opdracht gemaakt heb, kon ik elke week even controleren of ik nog op schema liep. Mijn verwachting was dat ik redelijk snel kon beginnen aan het ontwerpen van concepten en het uitwerken van deze concepten, maar uiteindelijk had ik toch de uitloopweken nodig die in de planning waren meegerekend. Hierbij heb ik van mezelf geleerd dat sommige dingen op papier veel minder tijd in beslag lijken te gaan nemen dan in de praktijk. Zo dacht ik dat ik aan 2 weken wel genoeg had om een goed 3D model te maken, maar hier bleek achteraf minstens het dubbele voor benodigd. Dit kwam overigens mede door beperkingen van de hardware van de laptop omdat deze het (te) grote 3D model van een compleet gemodelleerd huis niet meer aankon. Ik verwachtte ook dat het maken van een verslag niet al teveel tijd in beslag zou nemen. Vanaf het begin heb ik elke dag de werkzaamheden die ik deed, meteen vastgelegd in documenten zodat ik niet de laatste weken van mijn opdracht vanuit het niets aan een verslag moet beginnen. Daarmee dacht ik aan het einde genoeg te hebben aan ongeveer 2 a 3 weken, maar dit bleek toch redelijk krap. Ik heb hiermee geleerd dat ik van mezelf van tevoren eigenlijk té hoge doelen stel, die vaak niet reëel zijn wanneer wordt gekeken naar de mogelijkheden ter uitvoering van deze doelen. Ik had namelijk halverwege het project verscheidene plannen tot zeer gedetailleerde uitwerking van bepaalde onderdelen, waar ik achteraf helemaal niet meer aan toegekomen ben, simpelweg vanwege tijdgebrek. Dit is jammer, maar uiteindelijk leer je hier dus wel van.

Wat betreft gestructureerd werken heb ik geleerd om aan het begin van de dag een klein lijstje voor mezelf te maken met dingen die ik wil doen, zodat ik weet waar ik die dag aan kan werken. Het fijne aan zo'n lijstje is dat je dan een beetje houvast hebt, en niet in het wilde weg met 10 dingen tegelijk bezig gaat. Deze manier van werken verliep bij mij prettig, en het grootste gedeelte van de dagen kreeg ik dit lijstje ook helemaal af zodat ik om 5 uur naar huis kon gaan met een voldaan gevoel. Af en toe plande ik echter ook teveel, waardoor ik soms door mijn eigen planning in de stress kon schieten, wat natuurlijk niet de bedoeling is. Daarom maak ik nu altijd het "to-do" lijstje expres iets korter en realistischer om deze ongewilde stress te voorkomen.

Communicatieve en sociale vaardigheden
Tussendoor waren er de nodige contactmomenten met collega's waarbij onderling informatie werd uitgewisseld over bepaalde dingen van de opdracht. Zoals ik al zei verwachtte ik dat dit binnen een groot bedrijf erg formeel zou verlopen, maar het tegendeel bleek werkelijkheid te zijn. De sociale contacten binnen het bedrijf verliepen op een erg formele wijze. Zo had ik van tevoren niet gedacht dat een vergadering bij het ECN soms net zo rommelig zou kunnen verlopen als een vergadering van een projectgroep bij IO! Dit heeft me in doen zien dat de wereld waarin ik straks ná mijn studie IO een baan zal moeten gaan vinden, helemaal niet zo "eng en onbekend" is als ik had verwacht. Dit heeft me wat meer zelfvertrouwen gegeven waardoor ik nu minder onzeker ben over de nog onbekende wereld van bedrijven waarin ook ik straks over enkele jaren terecht zal komen. De contacten met andere ECN collega's verliepen erg goed en ik vond het altijd erg gezellig om in de pauze met z'n allen te gaan lunchen in de kantine. Ik heb geleerd dat werk- en vrienden bovendien ook goed te combineren zijn, want ik ben nog een keer op een feest van een collega geweest waar veel andere ECN-ers waren en ik me erg vermaakt heb! Tussendoor heb ik verder informatie kunnen vergaren bij collega's, waardoor ik genoeg aan mijn communicatieve en sociale vaardigheden heb kunnen werken.

Opgedane kennis
Aan het begin was ik een beetje onzeker over de plek waar ik terecht zou komen. Ik was bang dat ik te weinig van het onderwerp af zou weten en dat de rest van de mensen in het bedrijf veel meer kennis zouden hebben dan ik waardoor ik me een beetje "dom" zou voelen. Deze onzekerheid bleek echter onnodig want binnen een paar weken heb ik geleerd dat je erg snel, erg veel kunt leren over een bepaald onderwerp als je er elke dag 8 uur mee bezig bent. Zo wist ik na een maand ineens best veel over zonnecollectoren, PV panelen, en thermochemische warmteopslag, terwijl ik een maand hiervoor van sommige dingen nog niet eens gehoord had. Ik heb dus op het gebied van duurzame energie in de gebouwde omgeving een heleboel kennis opgedaan, en deze kennis ook toegepast op het vakgebied van het Industrieel Ontwerpen. Zoals te lezen is in de eerste 5 hoofdstukken van het verslag heb ik eerst goed gekeken naar het onderwerp waarvoor iets ontworpen diende te worden. Ik kan zeggen dat ik zelf verbaasd ben hoe snel je in een toch relatief korte periode van 3 maanden, ineens kennis krijgt op een gebied waar bij IO over het algemeen weinig aandacht aan is besteed en deze kennis dan toch weet toe te passen door binnen dit gebied iets te ontwerpen. Het onderwerp vond ik ook erg interessant en ik had niet verwacht dat het zo ontzettend uitgebreid en divers is.

Mate van zelfstandigheid
Voordat ik aan de opdracht begon had ik niet echt een idee wat de verhouding tussen het "samenwerken" met anderen binnen de organisatie zou zijn en het "zelfstandig" bezig zijn met werkzaamheden. Ik wist dat de nadruk meer zou liggen op zelfstandigheid, omdat dit expliciet in de opdrachtomschrijving van een BO wordt geformuleerd, maar ik wist niet in welke mate dit in het bedrijf toegelaten zou worden. Mijn verwachting was daarom dat ik veel dingen op mezelf zou doen, maar dat ik vragen kon stellen aan mensen bij het ECN die veel over een bepaald onderwerp wisten waar ik iets voor moest ontwerpen. Dit is ook uiteindelijk de gang van zaken geweest en ik heb 90% van de tijd zelfstandig gewerkt aan verschillende onderdelen van de opdracht zoals bijvoorbeeld het maken van een plan van aanpak, het doen van literatuuronderzoek naar het desbetreffende onderwerp, het opstellen van een programma van eisen, het schetsen van concepten, het uitwerken van een 3D model, etc. Wanneer ik echter vragen had kon ik bij verschillende mensen terecht zodat ik altijd wist wat ik moest doen. Dit is een groot voordeel van het doen van een BO bij een bedrijf waarbij je ook daadwerkelijk ín het bedrijf zit en hiervan heb ik veel kunnen leren. Ik heb geleerd efficiënt zelfstandig te functioneren binnen een bedrijf zonder dat iemand mijn handje vast hoeft te houden. Hierbij was het zelfs zo dat ik 3 van de eerste 4 weken van de BO voor een groot deel volledig zelfstandig geweest ben, omdat mijn begeleider op het ECN bij verschillende conferenties in het buitenland moest zijn. Dit verliep zonder problemen.

De persoonlijke doelstellingen
Wanneer de informatie in dit verslag aandachtig wordt doorgenomen kan geconcludeerd worden dat er is voldaan aan de doelstelling van dit project. Er zijn namelijk enkele concepten voor zonenergetische systemen in de toekomst uitgewerkt, waarmee het doel van energieneutraliteit bereikt wordt, en bij één van de ontwerpen zelfs voldaan wordt aan energielevering. Hierbij is succesvol gekeken naar de verschillende ontwerpaspecten die zijn verwerkt in de doelstelling en is voldaan aan de gestelde tijdsduur van 13 weken. Dit is gebeurd door gebruik te maken van een duidelijke en georganiseerde werkwijze, waarmee een (voor mij in ieder geval) voldoende resultaat is bereikt en ik met tevredenheid kan terugkijken naar het uitvoeren van deze afsluitende opdracht van de bachelor van de studie IO.

Hoe vind je dat je voldaan hebt aan de opdracht
Wanneer ik terug kijk naar de resultaten van deze opdracht van 3 maanden vind ik dat ik goed heb voldaan aan de eisen die zijn gesteld rondom het doen van een dergelijk BO. Zo heb ik ten eerste op zelfstandige wijze kennis en vaardigheden van Industrieel Ontwerpen toegepast. Ik ben erin geslaagd om deze kennis te verdiepen en toe te passen op het deelgebied duurzame energievoorziening in de gebouwde omgeving. Dit heb ik gedaan in een vooraf opgesteld plan van aanpak, op een systematische wijze met tussendoor bepaalde gestelde mijlpalen. Tussendoor heb ik tweemaal bij de begeleider van de UT mijn werk gepresenteerd, waarbij beide keren de begeleider tevreden was over de resultaten. Ook het ECN, die in dit geval de opdrachtgever is, was erg tevreden over de uitgevoerde werkzaamheden omdat binnen dit bedrijf er over het algemeen geen mensen zijn die op deze manier bepaalde aspecten van het onderwerp duurzame energie kunnen uitwerken en ook grafisch weergeven in bijvoorbeeld schetsen, afbeeldingen en 3D ontwerpen. Hiermee heb ik aangetoond dat ik in het beroepsveld kan functioneren en daarmee voldoe aan de eisen die gesteld zijn rondom het doen van een bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen.

Zaken waaraan gewerkt moet worden
Eén van de dingen waar ik de komende tijd goed aan wil leren werken is het leren omgaan met stress en deadlines. Zo was het voor mij de laatste 2 weken wat minder plezierig om een planning te hebben waarin eigenlijk stond aangegeven dat er *3 ontwerpen* uitgewerkt zouden worden, terwijl ik nog maar net tijd had voor *2 ontwerpen*. Hier ergerde ik mezelf aan omdat ik van tevoren toch echt dacht dat er tijd genoeg zou zijn voor uitwerking van een 3e concept. Doordat ik eigenlijk de planning wilde aanhouden en in eerste instantie het 3e ontwerp wilde afleveren, bezorgde ik mezelf een hele hoop werkdruk en stelde ik dus eigenlijk wat te hoge eisen aan mezelf door de lat te hoog te leggen. Dit is iets waar ik voortaan wat meer op moet letten, omdat het niet prettig is om jezelf in de stress te werken vanwege een deadline van een doel dat je jezelf gesteld hebt! Ik zal dus beter moeten inschatten wat haalbaar is qua tijd, planning en mogelijkheden zodat ik de lat niet te hoog leg. Een ander aspect waar ik naar kan kijken is het beter verdelen van de verhouding tussen de hoeveelheid vooronderzoek die gedaan moet worden om jezelf in te lezen in een bepaald onderwerp, en de tijd die je besteedt aan het daadwerkelijke ontwerpen van het product voor dit onderwerp. Wanneer achteraf namelijk naar deze opdracht gekeken wordt, zou het misschien beter zijn geweest wat minder vooronderzoek te doen, en sommige ontwerpaspecten wat dieper uit te werken. Dit is natuurlijk mede het gevolg van een beperkte tijdsduur van 3 maanden, maar toch kan een efficiëntere verdeling van het werk hier misschien uitkomst bieden. Verder ben ik wel redelijk tevreden over de dingen zoals ze gegaan zijn bij het doen van deze opdracht.