

## **PVT in collectieve zonthermische systemen**

M.J. Elswijk (ECN)  
K.J. Strootman (ECN)  
M.J.M. Jong (ECN)  
E.T.N. de Lange (Eneco Energie)  
W.F. Smit (Eneco Energie)



## Verantwoording

Dit project "PVT in collectieve zonthermische systemen" is mede mogelijk gemaakt door ondersteuning van het programma Duurzame Energie in Nederland, dat wordt uitgevoerd door Novem in opdracht van het ministerie van Economische Zaken,

Het project is uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen ECN en ENECO Energie Noord-Holland. Het project staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.4941 en bij NOVEM onder het projectnummer 2020-02-13-22-002.

# INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	5
SAMENVATTING	6
1. INLEIDING	8
1.1 Doel	8
2. INVENTARISATIE	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Omschrijving complexen	9
2.2.1 Tesselschadecomplex te Haarlem	9
2.2.2 Complex 33 te Haarlem	10
2.3 Verwarmingsinstallatie van de complexen	10
2.4 Keuze van de casestudies.	12
2.5 PVT-collectoren	12
2.5.1 Marktpotentieel PVT in collectieve zonthermische systemen	13
2.5.2 Thermisch rendementen PVT collector en zonnecollector	13
2.5.3 Elektrisch rendement PVT collector versus PV paneel	14
3. WERKWIJZE EN ONTWERP SYSTEEMCONFIGURATIES	15
3.1 Vergelijking van de zonne-energiesystemen	15
3.2 Bepaling basis warmtevraag	16
3.2.1 Ruimteverwarmingsvraag van de woningen	16
3.2.2 Het tapwaterpatroon	17
3.2.3 Gebouwgebonden elektriciteitsverbruik	18
3.2.4 Warmteverliezen	18
3.2.5 Basis warmtevraag	19
4. SIMULATIERESULTATEN	20
4.1 Resultaten Tesselschade blok B	20
4.2 Resultaten Complex 33	22
4.3 Resultaten Tesselschade blok D	23
4.4 Analyse & Conclusie	24
5. TECHNISCHE HAALBAARHEID	25
5.1 Ontwerpspecificaties	25
5.1.1 Bouwvergunning en esthetische eisen	25
5.1.2 Afmetingen, oriëntatie, hellingshoek en beschaduwing	26
5.1.3 Bereikbaarheid en technische aspecten	28
5.2 Haalbaarheid dakplaatsing van de zonne-energiesystemen	29
5.2.1 Tesselschade blok B	30
5.2.2 Tesselschade blok D	31
5.2.3 Complex 33 blok 3	32
5.2.4 Analyse & Conclusies	33
6. FINANCIËLE HAALBAARHEID	34
6.1 Kosten zonne-energiesysteem	34
6.2 Fabricagekosten PVT-collector	35
6.3 Kostenoverzicht zonne-energiesystemen	36
CONCLUSIE	38
AANBEVELINGEN & DISCUSSIE	39
REFERENTIES	40

BIJLAGE A	ATAG ZONNECOLLECTOR	41
BIJLAGE B	BESCHRIJVING INSTALLATIE	42
BIJLAGE C	PROCESFLOWDIAGRAM INSTALLATIE	49
BIJLAGE D	LENGTE RINGLEIDING TESSELSCHADE BLOK B	51
BIJLAGE E	AFMETINGEN ZONNE-ENERGIE COMPONENTEN	53
BIJLAGE F	OVERZICHTSTEKENING HAALBAARHEID DAKPLAATSING ZONNE-ENERGIE SYSTEMEN	54
BIJLAGE G	GEDETAILEERD KOSTENOVERZICHT	58



## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht aantal woningen en zonnecollectoroppervlak Tesselschade complex.....	10
Tabel 2: Overzicht van gekozen gebouwen in de simulaties.....	12
Tabel 3 : Overzicht van de gesimuleerde zonne-energie systeemconfiguraties .....	15
Tabel 4 : Warmtapwatergebruik in de woningen.....	17
Tabel 5: Gebouwgebonden elektriciteitsverbruik voor de verschillende gebouwen in primaire energie .....	18
Tabel 6: Leidingverliezen warm tapwater .....	18
Tabel 7: Leidingverliezen verwarmingssysteem .....	18
Tabel 8: Boilerverliezen voor de verschillende complexen .....	19
Tabel 9: De totale basis energievraag van de gebouwen.....	19
Tabel 10: Simulatieresultaten Tesselschade blok B .....	20
Tabel 11: Simulatieresultaten Complex 33.....	22
Tabel 12: Simulatieresultaten Tesselschade blok D .....	23
Tabel 13: Energetische opbrengst per aanwezig dakoppervlak .....	24
Tabel 14: Oppervlakten zonne-energie componenten .....	26
Tabel 15: Haalbaarheid dakplaatsing zonne-energie systeem Tesselschade Blok B.....	30
Tabel 16: Haalbaarheid dakplaatsing zonne-energie systeem Tesselschade Blok D .....	31
Tabel 17: Haalbaarheid dakplaatsing zonne-energie systeem Complex 33.....	32
Tabel 18: Overzicht gewenst en mogelijk te plaatsen zonnensysteem op de gebouwen.....	33
Tabel 19: Kostenonderverdeling zonne-energiesystemen .....	34
Tabel 20: Fabricagekosten 3 moduuls PVT-collector .....	35
Tabel 21: Kostenoverzicht voor de verschillende zonne-energiesystemen .....	36

## LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Artist Impression Tesselschade complex Te Haarlem .....	9
Figuur 2: Artist impression Complex 33 te Haarlem.....	10
Figuur 3: Proces flowdiagram installatie voor Tesselschade complex en Complex 33 .....	11
Figuur 4: Links: twee 1 moduuls PVT-collectoren in een testopstelling; rechts: voor- en achterzijde van een PVT-paneel.....	13
Figuur 5: Thermische rendement ATAG zonnecollector en PVT-collector als functie van de gereduceerde temperatuur .....	14
Figuur 6: Zonbeschaduwingshoek voor een zonnecollector en PV paneel.....	26
Figuur 7: Minimale afstand tussen arrays in relatie met de hellingshoek, de afmetingen collector en de zonbeschaduwingshoek .....	27
Figuur 8: Percentage zonne-instraling op tweede/achterliggende array in relatie met de zonbeschaduwingshoek van de eerste array indien afstand arrays constant is voor een hellingshoek van 17° en 37°.....	27
Figuur 9: Kostenallocatie verschillende zonne-energiesystemen voor Tesselschade blok B.....	39

## SAMENVATTING

In de gestapelde bouw is het dakoppervlak per woning kleiner dan bij de laagbouw. Dit betekent dat per woning in de gestapelde bouw minder duurzame energie opgewekt kan worden dan in de laagbouw. Beschikbare technologieën voor op het dak zijn zonne-energie systemen zoals fotovoltaïsche (PV) panelen en zonnecollectoren. Op het dak is een combinatie van separate systemen vrijwel niet mogelijk door het tekort aan dakoppervlak. PVT-panelen hebben per m<sup>2</sup> oppervlak een hoger duurzaam energierendement dan een combinatie van de separate systemen per m<sup>2</sup>. PVT-panelen zijn dus een oplossing om de 'concurrentie op het dak' te verminderen.

In dit project zijn drie casestudies uitgevoerd naar de technische en economische haalbaarheid van PVT collectoren in collectieve thermische systemen ten opzichte van een 'conventioneel' zonthermisch systeem en een gecombineerd systeem van PV-panelen en zonnecollectoren.

Op basis van de drie onderzochte casestudies kan worden geconcludeerd dat de energetische opbrengst ( $G_{\text{prim}}/\text{jaar}$ ) per m<sup>2</sup> zonne-energiesysteem van een PVT collector gemiddeld 0,45  $G_{\text{prim}}/\text{m}^2$  hoger dan de opbrengst met een 'conventioneel' zonnecollectorsysteem. Een PVT-collector oogst met deze installatie 0,3  $G_{\text{prim}}/\text{m}^2\cdot\text{jr}$  minder thermische energie dan een conventionele zonnecollector maar 80 kWh/m<sup>2</sup>·jr extra groene elektriciteit produceert. In vergelijking met een separaat systeem is de energetische opbrengst 0,41  $G_{\text{prim}}/\text{m}^2$  hoger voor het PVT-collectorsysteem. Het separate systeem vereist ca. 36% meer zonnesysteemoppervlak om dezelfde hoeveelheid energie te genereren als het PVT-collectorsysteem. De toepassing van PVT-collector verhoogt in de onderzochte casestudies het systeemrendement respectievelijk met 45,0% en 39,5% en 33,4% t.o.v. de zonnecollectorvariant. De totale duurzame dekking van een PVT-collectorsysteem is gemiddeld een factor 1,40 hoger t.o.v. een collectorsysteem en een factor 1,37 hoger ten opzichte van een separaat systeem. Daarnaast levert een vierkante meter PVT-collector gemiddeld € 12/m<sup>2</sup>·jr en stoot 26,2 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·jr minder uit op ten opzichte van een zonnecollector.

De zonbeschaduwingshoek, de hellingshoek in relatie tot de afstand tussen de arrays en het beschikbare dakoppervlak met de daarbij behorende wettelijke - en veiligheidseisen voor *bouwvergunningvrij* plaatsen van zonne-energiesystemen zijn belangrijke (beperkende) parameters in de bepaling van het maximale aantal m<sup>2</sup> te plaatsen zonnecomponent. Als gevolg van deze eisen is in de onderzochte gevallen op Tesselschade blok B niet dezelfde hoeveelheid m<sup>2</sup> PVT-collectoren als het ATAG zonnecollectorsysteem mogelijk. Voor complex 33 en Tesselschade blok D is dit wel het geval. Uit de vergelijking tussen een PVT-collectorsystemen en een separaat systeem blijkt dat voor Tesselschade blok B, Complex 33 en Tesselschade blok D respectievelijk 46 m<sup>2</sup>; 83 m<sup>2</sup> en 69m<sup>2</sup> tekort dakoppervlak aanwezig is om hetzelfde energetische rendement te behalen. Qua elektrische opbrengst komt dit respectievelijk overeen met 4900 kWh/jr; 5900 kWh/jr en 7500 kWh/jr minder elektriciteitsproductie op jaarbasis. In percentage uitgedrukt is dit 44%; 45% en 49% minder elektriciteitsproductie. In de onderzochte configuraties was het in geen van de gevallen mogelijk een PVT-collectorsysteem te plaatsen wegens ruimte gebrek dat thermisch gezien dezelfde opbrengst zou hebben als de referentiesituatie met zonnecollectoren.

Een collectief PVT-collectorsysteem mag gemiddeld maximaal € 720/m<sup>2</sup> gaan kosten vergeleken met de investering voor een separaat systeem met dezelfde energetische opbrengst. In deze benadering zijn de kosten voor het separate systeem gedeeld door het PVT-collectoroppervlak. In deze kostprijs is installatie, productprijs en overige onderdelen inbegrepen. Dit betekent dat de kosten voor een geïnstalleerd PVT-collectorsysteem ca. €190/m<sup>2</sup> zal moeten zakken. Een andere mogelijkheid is het energetisch rendement van de PVT-collector te verbeteren.

Het toepassen van een zonnecollectorsysteem is goedkoper dan een PVT-collectorsysteem. Daarentegen is de energetische opbrengst per m<sup>2</sup> zonnecollectorsysteem van de zonnecollectorsysteem lager dan de die van het PVT-collectorsysteem. Hierbij moet worden vermeld dat de kostenbepaling van PVT-collectoren een zekere onnauwkeurigheid bevat door het ontbreken van praktijkervaring in tegenstelling tot de kostenbepaling van een collectief zonnecollectorsysteem en een separaatsysteem.

## **Aanbevelingen & Discussie**

### *Energetisch*

In de onderlinge vergelijking van de drie casestudies is de randvoorwaarde dat de 'aanhangende' installatie gelijk blijft, gehanteerd. In feite zou voor elk onderzocht zonne-energiesysteem een optimale collectieve installatie kunnen worden ontworpen waarmee een maximale systeemopbrengst zou moeten worden gegenereerd. Echter, in deze studie is niet gekozen voor deze benadering. Daarentegen is het zeker aan te bevelen de energetische en economische vergelijking vanuit dit perspectief te benaderen.

### *Gebouwintegratie*

De haalbaarheidsstudie heeft alleen gekeken naar de aanwezige ruimte op het platte dak. Dat is, zo blijkt, een beperkende factor in de toepassing van separate systemen die dezelfde energetische opbrengst hebben als een PVT-collectorsysteem. Met name voor de PV-panelen was geen plaats meer op het beschikbare dakoppervlak. Een oplossing zou kunnen zijn om de PV-panelen in de gevel te integreren met het daarbij behorende kostenplaatje. Het is daarom aan te bevelen in toekomstige haalbaarheidsstudie gevelintegratie mee te nemen.

In de haalbaarheidstudie is uitgegaan van 'bouwvergunningvrij' ontwerpen. Het kan zijn dat indien men zich instelt om een bouwvergunning aan te vragen meer zonnecollectorsysteemoppervlak op de daken kan worden geplaatst.

### *Financieel*

De bepaalde kosten voor een PVT-collectorsysteem zijn gebaseerd op prototype batchproducties kosten. De systeemkosten zijn voornamelijk hoger in vergelijking met een separaat systeem dat dezelfde energetische opbrengst heeft. Gezien de kostenallocatie in figuur 9 is de meeste kostprijsreductie te behalen in kostprijsverlaging van het PVT-product zelf. Een kostprijsdaling door productieopscaling wordt verwacht voor alle onderdelen van de PVT collector. De verkregen kostprijzen bevatten door het ontbreken van een leertraject een bepaalde onnauwkeurigheid. Het is aan te bevelen om de kostenreductiemogelijkheden in de productketen beter in kaart te brengen.

## 1. INLEIDING

In de bestaande gestapelde bouw is het dakoppervlak per woning kleiner dan bij de laagbouw. Dit betekent dat per woning in de gestapelde bouw minder duurzame energie opgewekt kan worden dan in de laagbouw. Beschikbare technologieën voor op het dak zijn zonne-energie systemen zoals fotovoltaïsche (PV) panelen en zonnecollectoren. Op het dak is een combinatie van separate systemen vrijwel niet mogelijk door het tekort aan dakoppervlak. De keuze zal gemaakt moeten worden tussen PV-panelen of een collectief zonthermisch systeem.

PVT-panelen hebben per m<sup>2</sup> oppervlak een hoger duurzaam energierendement dan een combinatie van de separate systemen per m<sup>2</sup>. PVT-panelen zijn dus een oplossing om de 'concurrentie op het dak' te verminderen.

Het potentieel van PVT systemen is reeds aangetoond maar bouwprojecten zijn nog niet gerealiseerd. Praktische (ontwerp)gegevens betreffende systeemspecificaties, kosten en bouwkundige integratie zijn daardoor nog niet in voldoende mate voorhanden. Deze tekortkoming belemmert de marktintroductie en het is daarom ook moeilijk een gefundeerde keuze te maken tussen:

- \* PV-panelen
- \* Zonthermisch collectoren
- \* Een combinatie van PV-panelen en zonthermische collectoren
- \* PVT-panelen

### 1.1 Doel

Dit rapport is het resultaat van een haalbaarheidsonderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van PhotoVoltaïsch/Thermische panelen (PVT-panelen) in collectieve zonthermische systemen in de Nederlandse gebouwde omgeving. Het onderzoek heeft zich gericht op de technische (bouwkundig en installatie) en economische haalbaarheid van PVT systemen als collectief systeem t.o.v. een 'conventioneel' zonthermisch systeem en een gecombineerd systeem van PV-panelen en zonnecollectoren.

Deze studie heeft ontwerpgegevens opgeleverd waarmee kan worden aangegeven of de toepassing van PVT-panelen zinvol is. Bovendien heeft de studie meer duidelijkheid verschaft over de maximale kosten en het marktpotentieel van PVT-panelen. Daartoe zijn drie case studies waarin collectieve zonnecollector systemen zijn toegepast nogmaals geanalyseerd door fictief een systeem met PVT-panelen en een separaat zonthermisch / PV systeem te installeren in plaats van de zonnecollectoren. De gekozen projecten zijn aangedragen door projectpartner Eneco Energie. Dit zijn de projecten Complex 33 te Haarlem en het Tesselschadecomplex, tevens te Haarlem.

## 2. INVENTARISATIE

### 2.1 Inleiding

In de inventarisatiefase zijn ontwerpgegevens verzameld van de gekozen projecten Tesselschadecomplex en Complex 33. Hierbij is aandacht besteed aan de bouwkundige, energetische, installatietechnische, financiële en organisatorische aspecten van de zonne-energie systemen. Bovendien is in deze fase aandacht besteed aan de verzameling van de kostprijs en de installatiekosten van PVT-panelen.. Dit hoofdstuk beschrijft alleen de bouwkundige en de installatie aspecten van de complexen. De overige ontwerpgegevens zijn in de overige hoofdstukken verwerkt.

### 2.2 Omschrijving complexen

#### 2.2.1 Tesselschadecomplex te Haarlem

In 1994 is begonnen met de stedelijke herstructurering van de Tesselschadestraat in Haarlem. De bestaande woningen en de omringende woonomgeving is vervangen door woningen met een betere kwaliteit. In 2001 was de uitplaatsing van de bewoners voltooid en zijn de 212 oude woningen gesloopt. In december 2002 werd gestart met de bouw van het complex dat bestaat uit 5 verschillende gebouwen met in totaal 203 woningen en één winkel. Er worden zowel appartementen als eengezinswoningen gebouwd, bestaande uit huur- en koopwoningen. De eigenaar en opdrachtgever van het Tesselschade complex is woningbouwvereniging Pré Wonen. De architect van dit project is het Amsterdamse bureau Duinker-van der Torre Samenwerkende Architecten. Naar verwachting zullen in 2004 de eerste woningen worden opgeleverd.



Bron: bureau Duinker-van der Torre Samenwerkende Architecten.

Figuur 1: Artist Impression Tesselschade complex Te Haarlem

In figuur 1 is het Tesselschade complex weergegeven. De eerste vier blokken A, B, C en D bestaan uit een combinatie van hoogbouw en laagbouw woningen (eengezinswoningen). De grijze vierkanten stellen de positie van de zonnecollectoren voor. De zonnecollectoren staan onder een hoek van 17°. Blok E bevat alleen eengezinswoningen en heeft geen zonnecollectoren.

Tabel 1: Overzicht aantal woningen en zonnecollectoroppervlak Tesselschade complex

	Aantal woningen (waarvan appartementen)	Totaal oppervlakte aan collectoren (m <sup>2</sup> )
Blok A	34 (20)	136.2
Blok B	32 (20)	136.2
Blok C	40 (24)	170.3
Blok D	78 (68)	183.9
Blok E	19 (0)	-

### 2.2.2 Complex 33 te Haarlem

In 2002 is in opdracht van woningbouwvereniging Pré Wonen gestart met de nieuwbouw ter vervanging van het complex 033. Vier portieketage blokken aan de Charivariusstraat, de Du Perronstraat en de P.C. Boutensstraat met in totaal 128 woningen, worden vervangen door drie appartementengebouwen met 144 appartementen en 6 luxe patiowoningen op de bovenste verdieping. De zonnecollectoren zijn geïntegreerd in het dak van de patiowoningen. De hellingshoek op dit complex is 10°.

De appartementen bestaan uit huur- en koopwoningen. Onder elk gebouw wordt een half verzonken parkeergarage met bergingmogelijkheden aangelegd. Architect van dit project is het bureau HM Architecten Amsterdam. De geplande oplevering vindt stapsgewijs plaats vanaf het voorjaar van 2004.



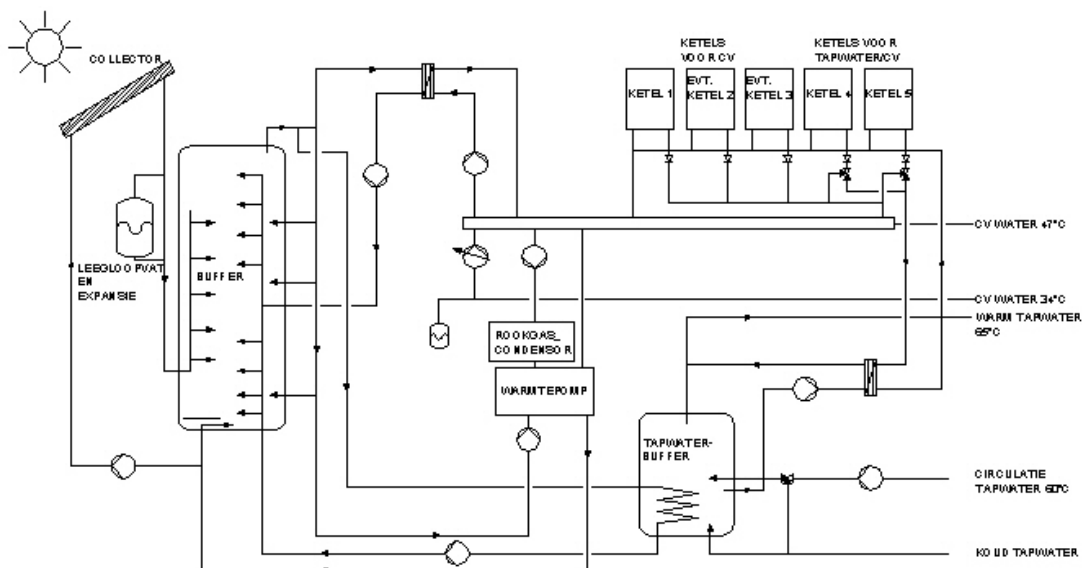
Bron: HM Architecten Amsterdam

Figuur 2: Artist impression Complex 33 te Haarlem

## 2.3 Verwarmingsinstallatie van de complexen

### *Energieproductie en levering Tesselschade complex*

Eneco Energie installeert en exploiteert een warmtecentrale met distributienet voor de blokken A, B, C en D. De doelstelling is om 30% van het totale energiegebruik voor warm tapwater en ruimteverwarming te leveren middels duurzame energie. In figuur 3 is de technische installatie weergegeven. De duurzame energie is volledig afkomstig van ATAG zonnecollectorenboxen. De standaard maat van deze zonnecollectorbox is 6.8 m<sup>2</sup>. Een bouwtechnische tekening van de ATAG zonnecollector is toegevoegd in bijlage A.



Figuur 3: Proces flowdiagram installatie voor Tesselschade complex en Complex 33

De gehele installatie bestaat uit zonnecollectoren, HR-ketels, voorraadvaten en de warmtepomp. Een uitgebreide beschrijving van de installatie is weergegeven in bijlage B. Een uitgebreid proces flowdiagram is weergegeven in bijlage C. In het kort functioneert het systeem als volgt: Als het temperatuurniveau vanuit de zonnecollectoren te laag is, wordt een gasgestookte warmtepomp ingezet om het temperatuurniveau te verhogen. De warmtepomp haalt hierbij de benodigde bronwarmte uit de retourwarmte van de zonnecollectoren en levert de opgewaardeerde warmte aan de CV-installatie. Als de zonnecollectoren niet genoeg warmte kunnen leveren voor de warmtepomp, nemen cascade geschakelde Hr-ketels de ruimteverwarming volledig over. De zonnecollectoren zorgen eveneens voor voorverwarming van het tapwater. De naverwarming van tapwater gebeurt via de Hr-ketels. De tappunten in de woningen zijn in het bad, de douche en de keuken. Via twee ringleidingen wordt tapwater en ruimteverwarming naar de woningen gebracht. De woningen zijn verder voorzien van een goede isolatie, HR++ glas, vloerverwarming, en een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinunit.

#### *Energieproductie en levering Complex 33*

Complex 33 heeft vrijwel dezelfde installatie als het Tesselschade complex. De drie gebouwen worden voorzien van een collectieve verwarmingsinstallatie voor warm tapwater en ruimteverwarming. De zonnecollectoren zijn geïntegreerd in het dak van de patiowoningen. De hellingshoek op dit complex is 10°. In technische ruimte op het dak is een warmtepomp geplaatst voor de ruimteverwarming en zijn cascade geschakelde Hr-ketels aanwezig voor naverwarming van warm tapwater en ruimteverwarming. Via ringleidingen wordt het warm tapwater en CV-water getransporteerd naar de appartementen. Naast verwarming van de woningen is in het ontwerp van complex 33 ook de mogelijkheid geboden om de woningen in de zomer te koelen met bodemkoude. Met de warmtepomp, een aquifer en een derde ringleiding voor koeling wordt koude in de zomer aan de vloerverwarming van de woningen geleverd. De koeling optie is niet in dit project geanalyseerd. De tappunten in de woningen zijn in het bad, de douche en de keuken. Verder zijn de 3- en 4-kamerwoningen voorzien van goede isolatie en HR++ glas, lage temperatuur vloerverwarming en een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinunit.

## 2.4 Keuze van de casestudies.

In dit project zijn de zonnecollectoren op de complexen fictief vervangen ofwel door een systeem met PVT-collectoren met hetzelfde oppervlak als de zonnecollectoren en met een fictief separaat systeem bestaande uit zonthermische systemen en PV-panelen, dit systeem is zo gekozen dat dit systeem dezelfde energetische opbrengst zou opleveren als het PVT-systeem. In de analyse is niets in de 'aanhangende' verwarmingsinstallatie gewijzigd. Om variatie in te brengen in de drie verschillende casestudies zijn uit de twee complexen drie gebouwen gekozen die verschillen in zonnecollectoroppervlak, beschikbaar dakoppervlak en vatgrootte. In de onderstaande tabel zijn de gekozen gebouwen gearceerd weergegeven.

Tabel 2: Overzicht van gekozen gebouwen in de simulaties

	Appartementen	Eengezinswoningen	Totaal	Acol werkelijk	Pketelwp werkelijk	Tapwater Vbuffer	Vvat coll
<b>Tesselschade</b>	st.	st.	st.	m2	kW	l	l
Blok A	20	14	34	136	176	800	4000
Blok B	20	12	32	136	176	800	4000
Blok C	24	16	40	170	176	800	4000
Blok D	68	10	78	197	342	1400	6000
<b>Complex 33</b>							
Blok 1	0	41	41	163	176	800	5000
Blok 2	0	41	41	163	176	800	5000
Blok 3	0	61	61	163	176	800	5000

## 2.5 PVT-collectoren

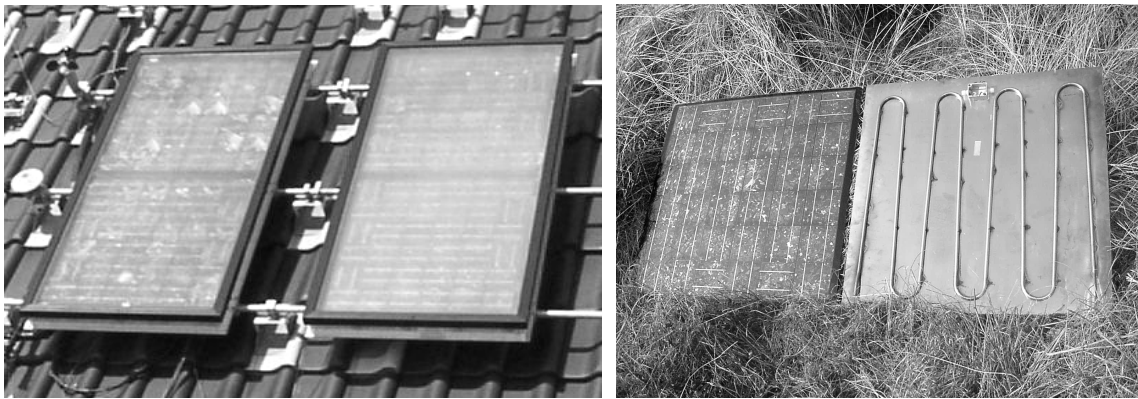
Met een fotonvoltaïsch/thermisch of PVT-module kan zonlicht gelijktijdig worden omgezet in elektriciteit en warmte, door een combinatie van PV-cellen met een zonthermische absorber.

In grote lijnen kunnen twee soorten PVT worden onderscheiden worden: PVT-panelen en PVT-collectoren.

- Het PVT-paneel bestaat uit PV-cellen die tussen een glasplaat en een koperen absorberplaat zijn bevestigd, met behulp van een lijmfolie. Aan de achterzijde van de absorber zijn watervoerende koperen buizen gesoldeerd. Een PVT paneel heeft dezelfde elektrische opbrengst als een PV paneel.
- De PVT-collector bestaat uit enkele PVT panelen in een geïsoleerde aluminium omkasting voorzien van een afdekkende glasplaat. De PVT-collector levert een hoge temperatuur maar een lager elektrische opbrengst dan het PVT-paneel als gevolg van de extra glasplaat.

PVT-panelen lijken in constructie meer op PV-panelen, waarbij aan de achterzijde van het paneel een absorber en leidingen zijn aangebracht. Ze worden typisch in grotere oppervlakken (eventueel dakvullend) in een dak geïntegreerd. Omdat ze zonder afdekking toegepast worden, zijn de temperaturen relatief laag; onafgedekte PVT-panelen worden dus bij voorkeur in combinatie met een warmtepomp en/of lage-temperatuurverwarming toegepast. De belangrijkste voordelen van onafgedekte PVT-panelen zijn de lagere kosten en betere esthetiek (ze zijn eenvoudiger in een dak te integreren, en eventueel te combineren met PV-panelen, die eenzelfde uiterlijk hebben). Daarentegen is het thermisch rendement iets lager door de hogere verliezen met name bij lage buitentemperatuur of sterke wind.





Figuur 4: Links: twee 1 moduuls PVT-collectoren in een testopstelling; rechts: voor- en achterzijde van een PVT-paneel.

Een PVT-collector heeft een hoger energetisch rendement per vierkante meter dan de combinatie van separate PV- en zonthermische systemen. Er kan dus effectiever gebruik worden gemaakt van de beschikbare ruimte op de gebouwschil, zodat de toepassing van PVT-collector voor de hand ligt in toepassingen waar zowel elektriciteit als warmte opgewekt moet worden, en waar weinig dak- of geveloppervlak beschikbaar is, zoals bijvoorbeeld bij op meergezinswoningen. Omdat in PVT-collector warmte- en elektriciteitsopwekking gecombineerd worden in één paneel, is het mogelijk om een dak waarop een PVT-systeem geïnstalleerd is, een meer uniform uiterlijk te geven dan een dak met twee separate systemen. [Bakker, 2003]

In deze haalbaarheidsstudie is alleen met PVT-collectoren gesimuleerd.

### 2.5.1 Marktpotentieel PVT in collectieve zonthermische systemen

Het plaatsingspotentieel in 2010 voor thermische collectieve systemen op bestaande meergezinswoningen en nieuwbouw meergezinswoningen in de woningbouw is respectievelijk cumulatief 623 TJ en 63 TJ. Voor het marktsegment "Utiliteit" is dit potentieel cumulatief 717 TJ in 2010. In dit marktsegment is het potentieel op verzorgingshuizen en verpleeghuizen het grootst namelijk 166 TJ en 138 TJ. Het grootste 'kosteneffectieve' potentieel ligt in de categorie 'verzorgingshuizen' [Warmerdam-Zegers-Voskens, 2002]. Het plaatsingspotentieel is circa 119 GJ per complex (ongeveer 100 m<sup>2</sup>/per complex). In feite kan overal waar een thermische collectief systeem kan worden geplaatst, een PVT collectief systeem worden geplaatst.

### 2.5.2 Thermisch rendementen PVT collector en zonnecollector

Op de complexen is nu de ATAG collector toegepast. Een verschil tussen het PVT-paneel en de ATAG collector is het thermische rendement. Het thermische rendement van een PVT collector is lager als gevolg van de aanwezigheid van de PV-cellen die een gedeelte van het zonlicht omzetten in elektriciteit. In een ATAG-collector wordt het zonlicht alleen omgezet in warmte.

Het thermisch rendement  $\eta$  van een collector wordt doorgaans uitgedrukt in een rendementsvergelijking met daarin het nulrendement  $\eta_0$  en de warmteverliescoëfficiënt  $U_L$ :

$$\eta = \eta_0 - U_L \left( \frac{T_{in} - T_a}{I} \right)$$

met  $T_{in}$  en  $T_a$  respectievelijk als de temperatuur aan de ingang van de collector en de omgevingstemperatuur gedeeld door de totale zoninstraling op de collector ( $I$ ). De term wordt

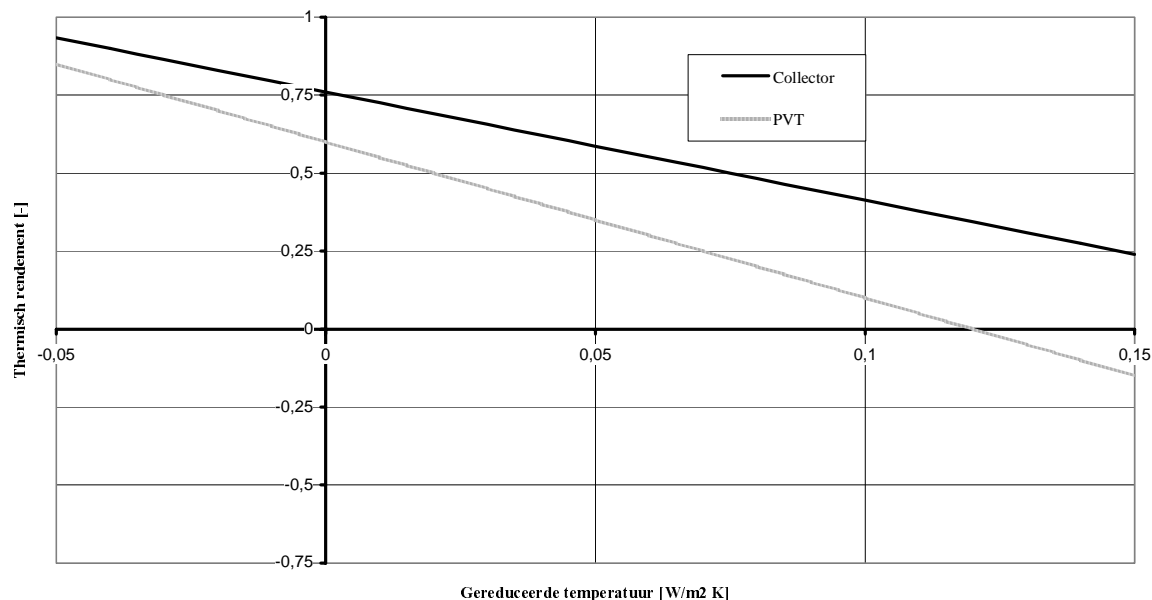
de 'gereduceerde temperatuur' genoemd. Het thermische rendement wordt altijd uitgezet als functie van de gereduceerde temperatuur. In figuur 5 zijn de thermische rendementen van de ATAG collector en de PVT-collector uitgezet tegen de gereduceerde temperatuur.

De thermische rendementsvergelijking van de ATAG collector [TNO, 2002] is:

$$\eta_{therm} = 0.76 - 3.47 \frac{T_{in} - T_a}{I}$$

De thermische rendementsvergelijking van de PVT-collector indien gelijktijdig elektriciteit wordt geproduceerd is [Zondag, 2001][Jong, 2002]:

$$\eta_{therm} = 0.6 - 5 \frac{T_{in} - T_a}{I}$$



Figuur 5: Thermische rendement ATAG zonnecollector en PVT-collector als functie van de gereduceerde temperatuur

### 2.5.3 Elektrisch rendement PVT collector versus PV paneel

Het elektrische rendement van een PVT-collector is 8 % lager dan PV-paneel als gevolg van de aanwezige afdekkende glasplaat. De vergelijking voor het elektrische rendement is als volgt:

$$\eta_{el} = 0.092 - 0.00045(T_{pv} - 25).$$

Voor de PV-panelen is de onderstaande elektrische rendementvergelijking gebruikt in de simulaties.

$$\eta_{el} = 0.10 - 0.00045(T_{pv} - 25)$$

### 3. WERKWIJZE EN ONTWERP SYSTEEMCONFIGURATIES

In de ontwerpfase zijn de huidige zonnecollector systemen, de PVT systeemconfiguraties en de systeemconfiguraties van de combinatie van zonnecollectoren en PV-panelen voor drie verschillende cases energetisch gesimuleerd met behulp van het dynamische simulatiesoftwareprogramma TRNSYS. In dit hoofdstuk zijn de uitgangspunten van de simulaties en de simulatieresultaten beschreven.

#### 3.1 Vergelijking van de zonne-energiesystemen

De thermische opbrengst van een zonthermische component is voornamelijk afhankelijk van de configuratie waarin het zich bevindt. Een goede energetische vergelijking tussen de zonnecomponenten in een bepaalde systeemconfiguratie is daardoor beter uit te voeren indien de 'aanhangende' verwarmingsinstallatie in het gebouw en de hellingshoek niet verandert. Voor de vergelijking is eerst een referentiesituatie met collectieve verwarming zonder een zonthermisch systeem, zonder WP en zonder collectorvat gesimuleerd. Deze simulatie 'ketelvariant' levert de basiswarmtevraag op van het gebouw.

Vervolgens is een hoeveelheid  $A \text{ m}^2$  zonnecollectoren op het gebouw gesimuleerd met als resultaat de warmtebijdrage door de zonnecollectoren ( $Q_1$ ). A staat voor de werkelijke hoeveelheid vierkant meter collector. Ter vergelijking is dezelfde hoeveelheid  $A \text{ m}^2$  PVT ingevoerd als configuratie. Dit levert een kleinere zonnewarmtebijdrage ( $Q_2$ ) en een hoeveelheid opgewekte elektriciteit ( $E_1$ ) op.

Aan de hand van de bovenstaande resultaten is een separaat systeem (zonnecollectoren en PV) bepaald en gesimuleerd dat energetisch hetzelfde moet opbrengen als de  $A \text{ m}^2$  PVT-configuratie ( $Q_2 + E_1$ ).

Na deze simulaties is bepaald hoeveel de  $A \text{ m}^2$  PVT configuratie zou moeten worden vergroot om dezelfde hoeveelheid warmte te verkrijgen als de  $A \text{ m}^2$  zonnecollectorenvariant. Hiertoe is stapsgewijs het PVT oppervlak vergroot, de hellingshoek aangepast en de vatgrootte gevarieerd om de optimale PVT-installatie te ontwerpen. Dit levert warmtebijdrage ( $Q_1$ ) en een grotere hoeveelheid opgewekte elektriciteit ( $E_2$ ) op. In tabel 3 is een overzicht van de gesimuleerde zonne-energiesysteem configuraties gepresenteerd.

Tabel 3 : Overzicht van de gesimuleerde zonne-energie systeemconfiguraties

Configuratie	Energetische bijdrage
Ketelvariant	Basis warmtelast
$A \text{ m}^2$ zonnecollector	$Q_1$
$A \text{ m}^2$ PVT	$Q_2 + E_1$
$C \text{ m}^2$ zonnecollectoren + $D \text{ m}^2$ PV	$Q_2 + E_1$
Optimale $\text{m}^2$ PVT / groter vat / optimale hellingshoek	$Q_1 + E_2$

## 3.2 Bepaling basis warmtevraag

Voordat de beschreven systeem configuraties kunnen worden gesimuleerd is als eerste de basis warmtevraag van het gebouw gesimuleerd. Daarvoor zijn de volgende gegevens belangrijk:

- De warmtevraag van de appartementen/eengezinswoningen
- Het tapwaterpatroon
- Warmteverlies in de leidingen en boilers
- Meteorologische omstandigheden
- De regeling en het procesflowdiagram van de verwarmingsinstallatie

Voor de meteorologische gegevens is gebruik gemaakt van het KNMI referentie jaar 'De Bilt'. De gesimuleerde regeling en de processchema van de verwarmingsinstallatie zijn beschreven in bijlage B en bijlage C.

Daarnaast is het gebouwgebonden elektriciteitsverbruik (verlichting, pompen & ventilatie) in kaart gebracht.

### 3.2.1 Ruimteverwarmingsvraag van de woningen

De hoeveelheid warmte die nodig is voor ruimteverwarming is sterk afhankelijk van het type woning. In het model is voor de complexen gebruik gemaakt van 2 typen woning, te weten een portiekwoning en een eengezinswoning. Het warmte afgifte systeem bestaat uit alle vloerverwarmingsystemen. Omdat het gehele systeem dynamisch wordt gesimuleerd, kan niet worden volstaan met een jaarlijkse warmtevraag zoals in de EPN wordt berekend.

Ieder type woning (portiekwoning en eengezinswoning) is apart gesimuleerd in TRNSYS met een tijdstap van 1 uur. Rekening houdend met de interne warmtelast (apparatuur, verlichting en personen), invloeden van buitenaf (temperatuur en zoninstraling) en het ingestelde gewenste temperatuurprofiel in de diverse vertrekken van de woning, berekent het simulatie programma de hoeveelheid warmte die nodig is om de temperatuur volgens het temperatuurprofiel te kunnen behalen. De jaarlijkse warmtevraag volgens de simulaties voor de portiekwoning en de eengezinswoning (uit de Tesselschadestraat) is respectievelijk 9.0 en 14.9 GJ per jaar. De totale warmtevraag van het hele complex voor blok D komt hierdoor uit op 358 GJ per jaar voor blok B en 759 GJ per jaar voor blok D.

Met betrekking tot de woningen voor blok 3 van complex 33 is een onderscheid gemaakt tussen de flatwoningen en de penthouses. Ook deze woningen zijn gesimuleerd in TRNSYS. De jaarlijkse warmtevraag van een portiekwoning en een penthouse is op eenvolgend 6.5 en 10.7 GJ per jaar. De totale warmtevraag van het hele Complex 33 is 411 GJ per jaar.

### 3.2.2 Het tapwaterpatroon

Voor de bepaling van de hoeveelheid benodigde warmte voor het warme tapwater is gebruik gemaakt van de onderstaande tabel. Voor de gebouwen is uitgegaan van een bezettingsgraad van 1,5 persoon voor de appartementen en 3,0 personen voor de woningen. Eneco Energie rekent met deze waarden. De bezettingsgraad van 1,5 is geïnterpoleerd.

Tabel 4 : Warmtapwatergebruik in de woningen

Bezettingsgraad (# personen)	WTW behoefte (60 °C)		
	Douche (l)	Bad (l)	Extra bad (l)
1	35	65	30
2	70	100	30
2.5	88	118	30
3	105	135	30
4	140	170	30
5	175	205	30
1.5	52.5	82.5	30

Bron: ISSO publicatie 55 "Tapwaterinstallaties voor woon- en utiliteitsgebouwen".

De hierboven genoemde hoeveelheden zijn daghoeveelheden. Aangezien dynamisch wordt gemodelleerd, zal deze hoeveelheid over de dag worden verdeeld. Hieruit volgt een tappatroon. Uitgangspunt van dit patroon is dat indien vele woningen aanwezig zijn het tappatroon gelijkmatiger is in vergelijking met één woning. Het volgende tappatroon is opgesteld.

- Tussen 6 en 9 uur en tussen 20 en 23 uur is de warm tapwater afname voor een appartement 1.5 liter per kwartier. Voor een woning is dit 3 liter per kwartier.
- Tussen 9 en 20 uur is de warm tapwater afname (temperatuur 60 °C) voor een appartement 0.375 liter per kwartier. Voor een woning is dit 0.75 liter per kwartier.
- Indien een woning eveneens is voorzien van een bad, dan is er gedurende de uren 6 en 9 en 20 en 23 uur een toeslag van 1.25 liter per kwartier.

In het model is het bovenstaande tappatroon rechtevenredig opgeschaald met het aantal woningen. Dit is een aanzienlijke versimpeling van de werkelijkheid, aangezien in werkelijkheid op verschillende tijden steeds verschillende hoeveelheden warm water worden afgetapt. Om te kunnen beoordelen of de vorm van het tappatroon invloed heeft op de prestaties van het systeem is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze test is beschreven in bijlage B. Het blijkt dat rechtevenredig kan worden opgeschaald.

De gesimuleerde warmtapwatervraag voor Tesselschade Blok B, Complex 33 en Tesselschade Blok D is respectievelijk 178,3; 273 en 354 GJ/jaar.

### 3.2.3 Gebouwgebonden elektriciteitsverbruik

Het gebouwgebonden elektriciteit is onderverdeeld in elektriciteit die nodig is voor de motoren van de ventilatie, de verlichting en de pompen van de verwarmingsinstallatie. De waarden voor het gebouwgebonden elektriciteitsverbruik voor de verlichting en de ventilatie zijn overgenomen uit de EPC-rapporten. Het elektriciteitsverbruik voor de pompen is in TRNSYS gesimuleerd.

Tabel 5: Gebouwgebonden elektriciteitsverbruik voor de verschillende gebouwen in primaire energie

	# woningen	Ventilatoren [GJprim/jaar]	Verlichting [GJprim/jaar]	Pompen [GJprim/jaar]	Totaal [GJprim/jaar]	Per woning [GJprim/jaar]
Tesselschade blok B	32	136	180	5,0	321	10,0
Complex 33	61	225	327	8,3	561	9,2
Tesselschade Blok D	78	308	435	8,4	751	9,6

Bron: EPC berekeningen voor de complexen (HM architecten, 2001)

### 3.2.4 Warmteverliezen

#### *Leidingverliezen*

De systemen voor blok B en D van de Tesselschadestraat en blok C van complex 33 hebben een collectief systeem voor ruimteverwarming en warm tapwater. Vanuit de technische ruimte zijn leidingen naar iedere woning aangelegd om de woning te voorzien van warmte en warm tapwater. Vanwege het feit dat de leidingen lang zijn, kan sprake zijn van relatief grote warmteverliezen. In de simulaties die van de complexen zijn uitgevoerd, zijn de leidingverliezen meegenomen, zodat de grootte van deze verliezen kan worden bepaald.

In tabel 6 zijn de leidingverliezen voor de verschillende gebouwen weergegeven. In de daaropvolgende tabel zijn de leidingverliezen voor de ruimteverwarming gepresenteerd.

Tabel 6: Leidingverliezen warm tapwater

Complex	Leidingverliezen tapwater [GJ/jaar]	Aantal woningen	Leidingverlies tapwater per woning (GJ/jaar)
Tesselschade Blok B	94	32	2,94
Complex 33 Blok 3	234	61	3,84
Tesselschade Blok D	206	78	2,64

Tabel 7: Leidingverliezen verwarmingssysteem

Complex	Leidingverliezen verwarming [GJ/jaar]	Aantal woningen	Leidingverlies VW per woning (GJ/jaar)
Tesselschade Blok B	10	32	0,31
Complex 33	18	61	0,30
Tesselschade Blok D	23	78	0,29

Vergelijking tussen beide leidingverliezen leert dat de leidingverliezen van het verwarmingssysteem ca. 90 % lager zijn dan de leidingverliezen van het warm tapwater systeem. Dit wordt verklaard door het feit er door de ringleiding van het warm tapwater systeem continue water stroomt, terwijl er door de ringleiding van het verwarmingssysteem alleen water stroomt als er vanuit de woningen warmtebehoefte is.

Niet alleen de leidingen veroorzaken verliezen. Ook vanuit de boilers lekt warmte weg naar de omgeving. Ieder collectief systeem heeft 2 boilers, 1 voorraadvat voor de collectoren en 1 boiler voor warm tapwater. De boilerverliezen worden door TRNSYS berekend. Hiervoor moet een aantal kenmerken van de boiler worden ingevoerd. In bijlage B zijn deze kenmerken weergegeven.

De berekende waarden voor de boilerverliezen zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Boilerverliezen voor de verschillende complexen

Complex	Verliezen boiler collectoren [GJ/jaar]	Verliezen boiler tapwater [GJ/jaar]
Tesselschade blok B	6,9	3,2
Tesselschade blok D	7,9	4,5
Complex 33 blok 3	7,5	3,0

### 3.2.5 Basis warmtevraag

In tabel 9 zijn de simulatieresultaten van de totale basisenergievraag voor de drie verschillende gebouwen gepresenteerd.

Opvallend is dat de totale leidingverliezen een grootdeel van de totale warmtevraag vertegenwoordigen. Voor de blok B, complex 33 en blok D is deze respectievelijk 11,5%; 17,7% en 11,6%. De verhouding tussen de warmtevraag en de gebouwgebonden elektriciteitsvraag is ongeveer 2:1.

Tabel 9: De totale basis energievraag van de gebouwen

	Tesselschadeblok B	Complex 33	Tesselschade blok D
Aantal woningen	32	61	72
<b>Warmtevraag</b>			
Ruimteverwarmingsvraag woningen [GJ/jaar] (zie 3.2.1)	358	411	759
Leidingverliezen [GJ/jaar] (zie 3.2.4)	10	18	23
Totale warmtevraag (incl. verliezen) [GJ/ jaar]	368	429	783
Primaire energie ruimtewarmtevraag [GJprim./jaar] $\eta_{ketel} = 0,97$	379,6	442	807
<b>Tapwatervraag</b>			
Tapwatervraag woningen [GJ/jaar] (zie 3.2.2)	178,3	273	354
Tapwaterleidingverliezen [GJ/jaar] (zie 3.2.4)	94,2	234	206
Tapwaterboilerverlies [GJ/jaar] (zie 3.2.4)	3,2	3	5
Totale warm tapwater vraag [GJ/jaar]	275,7	510	564
Primaire energie tapwatervraag [GJprim./jaar] $\eta_{ketel} = 0,9$	306,4	567	627
<b>Totale warmtevraag[GJprim./jaar]</b>	<b>686,0</b>	<b>1008,9</b>	<b>1433,6</b>
<b>Elektriciteit gebouwgebonden</b>			
Elektriciteitsgebruik verlichting en ventilatie [GJprim/jaar] (zie 3.2.3)	315,8	552,4	742,7
Primair elektriciteitsgebruik pompen[GJprim/jaar] (zie 3.2.3)	5,0	8,3	8,4
Primaire energie elektriciteit [GJprim/jaar] $\eta_{centrale} = 0,39$	320,8	560,7	751,1
<b>Totale energievraag [GJprim/jaar]</b>	<b>1006,8</b>	<b>1569,7</b>	<b>2184,6</b>

## 4. SIMULATIERESULTATEN

In dit hoofdstuk zijn de simulatieresultaten van de vier verschillende systeemconfiguraties (zie tabel 2) beschreven. De energetische opbrengsten van de zonnecomponenten zijn onder ideale omstandigheden gesimuleerd. In dit geval betekent dit dat de zonne-energie componenten elkaar niet beschaduen. In het volgende hoofdstuk zal dieper worden gegaan op het effect van de beschaduwng.

### 4.1 Resultaten Tesselschade blok B

In tabel 10 zijn de uitgewerkte simulatieresultaten voor Tesselschade blok B gepresenteerd. Uit de tabel blijkt dat 136 m<sup>2</sup> PVT-collectoren 36,3 GJ/jaar minder warmte genereren dan dezelfde hoeveelheid m<sup>2</sup> zonnecollectoren; maar 11129 kWh/jaar meer elektriciteit produceren. De energetische opbrengst (GJ<sub>prim</sub>/jaar) per m<sup>2</sup> zonnestelsysteem is hierdoor voor de PVT-collector 45.3% hoger ten opzichte van een zonnecollector en 36.5% hoger t.o.v. het separate systeem.

Tabel 10: Simulatieresultaten Tesselschade blok B

<b>Tesselschade blok B</b> Dakoppervlak 408 m <sup>2</sup>	Ketelvariant	136 m2 collectoren	136 m2 PVT	68 m2 collectoren, 117 m2 PV	PVT 172 m2, 12 m3, 37 graden
	Qbasis	Q1	Q2 + E1	Q2 + E1	Q1 + E2
<b>Warmtevraag</b>					
Primaire energie warmte [GJprim/jaar]	686,0	686,0	686,0	686,0	686,0
Primaire energie elektriciteit [GJprim/jaar]	320,8	325,4	325,5	324,0	326,4
Totale vraag primaire energie (warmte + elektriciteit) [GJprim/jaar]	1006,8	1011,4	1011,5	1010,0	1012,4
<b>Zonne-energie opbrengst</b>					
Besparing door collectoren primaire energie [GJprim/jaar]	--	146,6	110,3	110,1	146,2
Elektrische opbrengst primair [GJprim/jaar] na inverter	--	0,0	102,7	102,6	133,3
Energetische opbrengst per m2 zonnestelsysteem [GJ <sub>prim</sub> /jr·m <sup>2</sup> ]	--	1,08	1,57	1,15	1,62
<b>Systeemrendement</b>					
Thermisch	--	29,9	22,5	16,5	23,6
Elektrisch	--	0,0	8,2	6,0	8,4
Totaal	--	29,9	43,5	31,9	45,1
<b>Duurzame dekking (%)</b>					
Duurzame warmte dekking (primaire energie)	0	21,4	16,1	16,0	21,3
Duurzame elektriciteitsdekking (prim. Energie)	0	0,0	31,6	31,7	40,8
Totale duurzame dekking warmte en elektriciteit (primaire energie)	0	14,5	21,1	21,1	27,6
<b>Aardgas</b>					
Aardgasgebruik warmtepomp [m3(0)/jaar]	0	719	659	585	1123
Aardgasgebruik bijstook [m3(0)/jaar]	19173	14357	15432	15511	13964
Totaal aardgasgebruik [m3(0)/jaar]	19173	15076	16091	16096	15087
Besparing aardgas [m3(0)/jaar] t.o.v. ketelvariant	0	4096	3082	3076	4085
Besparing aardgas [m3(0)/jaar] t.o.v. collectorvariant	---	---	-1014	-1020	-11
Besparing aardgas [€]/jaar t.o.v. collectorvariant	---	---	-467	-469	-5
<b>Elektriciteit</b>					
Netto bruikbare elektriciteitsproductie [kWh/jaar]	--	--	11129	11120	14439
Opbrengst elektriciteit [€]/jaar	--	--	2140	2138	2777
Opbrengst (€)/jaar (aardgas/kWh) t.o.v. collectorvariant	---	---	1673	1669	2772
<b>CO2 besparing</b>					
CO2 uitstoot [kg/jaar] door aardgasverbruik	34604	28014	29821	29622	28173
Besparing CO2 door gasverbruik [kg/jaar] t.o.v ketelvariant	---	6589	4783	4981	6430
Besparing CO2 door E-productie [kg/jaar] t.o.v ketelvariant	---	0	5531	5526	7176
Totale CO2 uitstootvermindering [kg/jaar] t.o.v ketelvariant	---	6589	10347	10538	13627

Prijzen: kWh = 0,192 € en m3 aardgas = 0,46 €

Als gevolg van de lagere thermische opbrengst verbruikt het PVT-collectorsysteem meer aardgas dan de zonnecollectorvariant. Daarentegen kan de extra pompenergie die nodig is voor het zonnestelsysteem geheel worden gecompenseerd door de elektrische opbrengst van het PVT-collector systeem. Dit is niet mogelijk met het zonnecollectorsysteem. De PVT-collector en het gecombineerde systeem leveren als gevolg van de extra elektrische opbrengst beide €1670 extra op.



Het systeemrendement van de zonnecollectorvariant is de 'geoogste' zonne-energie gedeeld door de totaal ingevallen zonne-energie nl.  $146.6 \text{ GJ} / (136 \text{ m}^2 * 3,6 \text{ GJ/m}^2) = 30\%$ . Het elektrische systeemrendement is de hoeveelheid geproduceerde energie gedeeld door de ingevallen zonne-energie. Voor het PVT-systeem met hetzelfde oppervlak en het gecombineerde systeem is het systeemrendement respectievelijk 43.5% en 32.0%. Voor de optimale PVT-configuratie is het systeemrendement 45.1 %.

In de tabel is de term 'duurzame dekking' geïntroduceerd. De term '*duurzame warmte dekking*' is de quotiënt van de collectoropbrengst en de totale warmtevraag. Voor de '*duurzame elektriciteitsdekking*' is de totale hoeveelheid opgewekte elektriciteit (in primaire energie) gedeeld door de totaal vraag van de gebouwgebonden elektriciteitsgebruik. Uiteindelijk is de '*totale duurzame dekking warmte en elektriciteit*' de quotiënt van de som van de geproduceerde primaire zonne-energie en de totale gebouwgebonden vraag naar primaire energie.

De totale duurzame dekking van een PVT-collectorsysteem is 21,1% en dat van het collectorsysteem 14,5%. In feite zou het PVT-collectorsysteem een 1,46 (21,1/14,5) meer mogen kosten dan het zonnecollector systeem.

Het PVT-collectorsysteem stoot 3750 kg/jaar minder CO<sub>2</sub> uit dan het zonnecollectorsysteem. Om dezelfde hoeveelheid warmte te produceren als de zonnecollectorvariant met PVT-collectoren is 36 m<sup>2</sup> meer PVT oppervlak nodig mits de hellingshoek veranderd wordt naar 37° en het collectorvat driemaal wordt vergroot. Daarentegen levert deze variant een hoeveelheid elektriciteit van 14439 kWh/jaar. Dit komt ongeveer overeen met een bedrag van € 2772.

## 4.2 Resultaten Complex 33

In tabel 11 zijn de uitgewerkte simulatieresultaten voor Complex 33 gepresenteerd. Uit de tabel blijkt dat 163 m<sup>2</sup> PVT-collectoren 48,7 GJ/jaar minder warmte genereren dan dezelfde hoeveelheid m<sup>2</sup> zonnecollectoren maar 13127 kWh/jaar meer elektriciteit produceren. De energetische opbrengst (GJ<sub>prim</sub>/jaar) per m<sup>2</sup> PVT-collector is hierdoor 39.8% hoger ten opzichte van een zonnecollector en 37.4% t.o.v. het separate systeem.

Om dezelfde hoeveelheid warmte te produceren als de zonnecollectorvariant met PVT-collectoren is 29 m<sup>2</sup> meer oppervlak nodig, mits de hellingshoek veranderd wordt naar 37° en het collectorvat driemaal wordt vergroot. Daarentegen levert deze variant een hoeveelheid elektriciteit van 17066 kWh/jaar. Dit komt ongeveer overeen met een bedrag van € 3282/jaar. De PVT-collector en het gecombineerde systeem leveren beide €1898/jaar op a.g.v. de extra elektriciteitsproductie.

De totale duurzame dekking van een PVT-collectorsysteem is 16,3% en dat van het collectorsysteem 11.7%. In feite zou het PVT-collectorsysteem een 1,39 meer mogen kosten dan het zonnecollector systeem.

Tabel 11: Simulatieresultaten Complex 33

<b>Complex 33</b>		Ketelvariant	163 m2 collectoren	163 m2 PVT	80 m2 collectoren, 142 m2 PV	PVT 192 m2, 15 m3, 37 graden
Dakoppervlak 216 m <sup>2</sup>		Qbasis	Q1	Q2 + E1	Q2 + E1	Q1 + E2
<b>Warmtevraag</b>						
Primaire energie warmte [GJprim/jaar]		1008,9	1008,9	1008,9	1008,9	1008,9
Primaire energie elektriciteit [GJprim/jaar]		560,7	566,8	566,4	564,5	567,5
Totale vraag primaire energie (warmte + elektriciteit) [GJprim/jaar]		1569,7	1575,7	1575,4	1573,5	1576,4
<b>Zonne-energie opbrengst</b>						
Besparing door collectoren primaire energie [GJprim/jaar]		0	184,3	135,6	134,6	184,3
Elektrische opbrengst primair [GJprim/jaar] na inverter		0,0	0,0	121,2	120,9	157,5
Energetische opbrengst per m2 zonnecosysteem [GJ <sub>prim</sub> /jr-m <sup>2</sup> ]		0,0	1,13	1,58	1,15	1,78
<b>Systeemrendement</b>						
Thermisch		--	31,4	23,1	16,8	31,4
Elektrisch		--	0,0	8,1	5,9	8,9
Totaal		--	31,4	43,8	32,0	58,3
<b>Duurzame dekking (%)</b>						
Duurzame warmte dekking (primaire energie)		0	18,3	13,4	13,3	18,3
Duurzame elektriciteitsdekking (prim. Energie)		0	0,0	20,6	20,7	26,7
Totale duurzame dekking <b>warmte en elektriciteit</b> (primaire energie)		0	11,7	16,3	16,2	21,7
<b>Aardgas</b>						
Aardgasgebruik warmtepomp [m3(0)/jaar]		0	752	668	655	1454
Aardgasgebruik bijstook [m3(0)/jaar]		32306	22296	23740	23780	21592
Totaal aardgasgebruik [m3(0)/jaar]		32306	23047	24408	24436	23046
Besparing aardgas [m3(0)/jaar] t.o.v. ketelvariant		0	9259	7898	7871	9260
Besparing aardgas [m3(0)/jaar] t.o.v. collectorvariant		---	---	-1361	-1388	1
Besparing aardgas [€]/jaar t.o.v. collectorvariant		---	---	-626	-639	1
<b>Elektriciteit</b>						
Netto bruikbare elektriciteitsproductie [kWh/jaar]		--	--	13127	13093	17066
Opbrengst elektriciteit [€]/jaar		--	--	2524	2518	3282
Opbrengst [€]/jaar (aardgas/kWh) t.o.v. collectorvariant		---	---	1898	1879	3282
<b>CO2 besparing</b>						
CO2 uitstoot [kg/jaar] door aardgasverbruik		58330	42776	45136	44924	42866
Besparing CO2 door gasverbruik [kg/jaar] t.o.v. ketelvariant		---	15554	13194	13406	15464
Besparing CO2 door E-productie [kg/jaar] t.o.v. ketelvariant		---	0	6524	6507	8482
Totale CO2 uitstootvermindering [kg/jaar] t.o.v. ketelvariant		---	15554	19727	23950	23950

Prijzen: kWh = 0,192 €t en m3 aardgas = 0,46 €t

## 4.3 Resultaten Tesselschade blok D

In tabel 12 zijn de uitgewerkte simulatieresultaten voor Tesselschade blok D gepresenteerd.

Tabel 12: Simulatieresultaten Tesselschade blok D

Tesselschade blok D Dakoppervlak 488 m <sup>2</sup>	Ketelvariant	184 m <sup>2</sup> collectoren	184 m <sup>2</sup> PVT	98 m <sup>2</sup> collectoren, 161 m <sup>2</sup> PV	PVT 234 m <sup>2</sup> , 18 m <sup>3</sup> , 37 graden
	Qbasis	Q1	Q2 + E1	Q2 + E1	Q1 + E2
<b>Warmtevraag</b>					
Primaire energie warmte [GJprim/jaar]	1433,6	1433,6	1433,6	1433,6	1433,6
Primaire energie elektriciteit [GJprim/jaar]	751,1	758,4	758,0	755,9	759,8
Totale vraag primaire energie (warmte + elektriciteit) [GJprim/jaar]	2184,6	2192,0	2191,5	2189,5	2202,1
<b>Zonne-energie opbrengst</b>					
Besparing door collectoren primaire energie [GJprim/jaar]	0,0	239,7	178,7	178,1	239,7
Elektrische opbrengst primair [GJprim/jaar] na inverter	0,0	0,0	141,2	141,1	184,6
Energetische opbrengst per m <sup>2</sup> zonnepaneel [GJ <sub>prim</sub> /m <sup>2</sup> ·jaar]	0,0	1,30	1,74	1,23	1,81
<b>Systeemrendement</b>					
Thermisch	--	36,2	27,0	19,1	28,5
Elektrisch	--	0,0	8,3	5,9	8,5
Totaal	--	36,2	48,3	34,5	50,4
<b>Duurzame dekking (%)</b>					
Duurzame warmte dekking (primaire energie)	0,0	16,7	12,5	12,4	16,7
Duurzame elektriciteitsdekking (prim. Energie)	0,0	0,0	18,6	18,7	24,3
Totale duurzame dekking <b>warmte en elektriciteit</b> (primaire energie)	0,0	10,9	14,6	14,6	19,3
<b>Aard gas</b>					
Aardgasgebruik warmtepomp [m <sup>3</sup> (0)/jaar]	0	1109	1105	977	2047
Aardgasgebruik bijstook [m <sup>3</sup> (0)/jaar]	44518	32258	33966	34111	31319
Totaal aardgasgebruik [m <sup>3</sup> (0)/jaar]	44518	33367	35071	35089	33366
Besparing aardgas [m <sup>3</sup> (0)/jaar] t.o.v. ketelvariant	0	11151	9447	9429	11152
Besparing aardgas [m <sup>3</sup> (0)/jaar] t.o.v. collectorvariant	---	---	-1704	-1722	1
Besparing aardgas [€/jaar] t.o.v. collectorvariant	---	---	-784	-792	0
<b>Elektriciteit</b>					
Netto bruikbare elektriciteitsproductie [kWh/jaar]	--	--	15295	15283	19996
Opbrengst elektriciteit [€/jaar]	--	--	2941	2939	3845
Opbrengst (€/jaar (aardgas/kWh) t.o.v. collectorvariant	---	---	2157	2147	3846
<b>CO<sub>2</sub> besparing</b>					
CO <sub>2</sub> uitstoot [kg/jaar] door aardgasverbruik	79953	61236	64190	63939	61425
Besparing CO <sub>2</sub> door gasverbruik [kg/jaar] t.o.v. ketelvariant	---	18717	15763	16014	18528
Besparing CO <sub>2</sub> door E-productie [kg/jaar] t.o.v. ketelvariant	---	0	7602	7596	9938
Totale CO <sub>2</sub> uitstootvermindering [kg/jaar] t.o.v. ketelvariant	---	18717	23377	35501	28473

Prijzen: kWh = 0,192 €ct en m<sup>3</sup> aardgas = 0,46 €ct

Uit de tabel blijkt dat 184 m<sup>2</sup> PVT-collectoren 61 GJ/jaar minder warmte genereren in vergelijking met dezelfde hoeveelheid m<sup>2</sup> zonnecollectoren maar 15295 kWh/jaar meer elektriciteit produceren. De energetische opbrengst (GJ<sub>prim</sub>/jaar) per m<sup>2</sup> PVT-collector is hierdoor 33,8% hoger ten opzichte van een zonnecollector en 41,5% t.o.v. het separate systeem. Het PVT-collectorsysteem stoot minder CO<sub>2</sub> uit dan de zonnecollectorvariant. De PVT-collector en het gecombineerde systeem leveren beide €2157/jaar op a.g.v. de extra elektriciteitsproductie.

Om dezelfde hoeveelheid warmte te produceren als de zonnecollectorvariant met PVT-collectoren is 50 m<sup>2</sup> meer oppervlak nodig, mits de hellingshoek veranderd wordt naar 37° en het collectorvat zou driemaal wordt vergroot. Daarentegen levert deze variant een hoeveelheid elektriciteit van 17066 kWh/jaar. Dit komt ongeveer overeen met een bedrag van € 3846/jaar.

De totale duurzame dekking van een PVT-collectorsysteem is 14,6% en dat van het collectorsysteem 10,9%. In feite zou het PVT-collectorsysteem een 1,34 meer mogen kosten dan het zonnecollector systeem.

## 4.4 Analyse & Conclusie

De energetische opbrengst ( $GJ_{\text{prim}}/\text{jaar}$ ) per  $m^2$  zonne-energiesysteem van een PVT collector gemiddeld  $0.45 GJ_{\text{prim}}/m^2$  hoger dan de opbrengst met een 'conventioneel' zonnecollectorsysteem. Een PVT-collector oogst met deze installatie  $0.3 GJ_{\text{prim}}/m^2 \cdot \text{jr}$  minder thermische energie dan een conventionele zonnecollector maar produceert  $80 kWh/m^2 \cdot \text{jr}$  extra groene elektriciteit. In vergelijking met een separaat systeem is de energetische opbrengst  $0,41 GJ_{\text{prim}}/m^2$  hoger voor het PVT-collectorsysteem.

Het separate systeem vereist ca. 36% meer zonnensysteemoppervlak om dezelfde hoeveelheid energie te genereren als het PVT-collectorsysteem. In tabel 16 is een overzicht van de energetische opbrengst per zonne-energiesysteem gepresenteerd. De toepassing van PVT-collector verhoogt in de onderzochte casestudies het systeemrendement respectievelijk met 45,0% en 39,5% en 33,4% t.o.v. de zonnecollectorvariant.

De totale duurzame dekking van een PVT-collectorsysteem is gemiddeld een factor 1,40 hoger t.o.v. een collectorsysteem.

Tabel 13: Energetische opbrengst per aanwezig dakoppervlak

	Tesselschade blok B (408 m <sup>2</sup> )					Complex 33 (216 m <sup>2</sup> )				Tesselschade blok D (488 m2)				
	Hellings					Hellings				Hellings				
	hoek	m2	Vat (l)	GJ <sub>p</sub> /m <sup>2</sup>		hoek	m2	Vat (l)	GJ <sub>p</sub> /m <sup>2</sup>		hoek	m2	Vat (l)	GJ <sub>p</sub> /m <sup>2</sup>
Aanwezig dakoppervlak	--	408				--	408	--			--	408	--	
Zonnecollector	17°	136	4000	1,05		10°	163	5000	1,12		17°	184	6000	1,28
PVT-collector	17°	136	4000	1,54		10°	163	5000	1,56		17°	184	6000	1,70
Zonnecollector	17°	68	4000	1,13		10°	80	5000	1,14		17°	95,3	6000	0,91
PV-panelen	17°	117	4000			10°	142	5000			17°	94,6	6000	
PVT-collector - volume boiler 3x	37°	171	12000	1,78		-	-	15000	--		37°	138	18000	1,02

Daarnaast levert een vierkante meter PVT-collector gemiddeld  $\text{€ } 12/m^2 \cdot \text{jr}$  en stoot  $26,2 kgCO_2/m^2 \cdot \text{jr}$  minder uit op ten opzichte van een zonnecollector.

## 5. TECHNISCHE HAALBAARHEID

In dit hoofdstuk is de technische haalbaarheid beschreven van de vier verschillende zonnestelsysteem configuraties

### 5.1 Ontwerpspecificaties

Voor het bepalen van het maximaal beschikbare oppervlak voor een zonne-energiesysteem op de hoogbouw zijn de volgende aspecten van belang:

- Locatie: bouwvergunning en esthetische eisen;
- Opbrengst: afmetingen, hellingshoek, oriëntatie en beschaduwing;
- Bereikbaarheid & technische aspecten.

#### 5.1.1 Bouwvergunning en esthetische eisen

Zonne-energie systemen zijn van buitenaf zichtbaar en daarvoor gelden door VROM opgestelde regels voor het aanbrengen van deze systemen [VROM, 2003]. Indien aan deze regels voldaan wordt, mogen zonne-energiesystemen bouwvergunningsvrij aangebracht worden op of aan bouwwerken. De collectoren, PV-panelen en/of PVT-collectoren moeten voldoen aan de volgende voorwaarden:

- De collectoren en/of panelen moeten op of aan een bouwwerk worden geplaatst.
- De collectoren en/of panelen moeten bedoeld zijn voor de energie- of warmtevoorziening van het bouwwerk waarop of waaraan het is geplaatst.
- Collectoren en/of panelen moeten een geheel vormen met de installatie voor het opslaan van warmte respectievelijk het opwekken van elektriciteit.
- Komt de zonnecollector of het zonnepaneel op een schuin dak, dan geldt dat:
  - de collector of het paneel niet mag uitsteken en dus aan alle kanten binnen het vlak van het dak moet blijven,
  - de collector of het paneel in of direct op het dakvlak moet worden geplaatst,
  - de hellingshoek van de collector of het paneel hetzelfde moet zijn als die van het dakvlak waarop het staat.
- Komt de zonnecollector of het zonnepaneel op een plat dak, dan geldt dat:
  - de collector of het paneel tenminste net zo ver verwijderd moet blijven van de dakrand als die hoog is.
  - de hellingshoek van de collector of het paneel niet meer dan 35° mag zijn.
- De collector of panelen mogen niet geplaatst worden bij een monument of in een door het Rijk aangewezen beschermd stads- of dorpsgezicht.

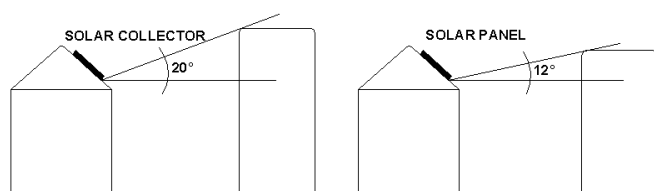
Naast de regels opgesteld door de overheid, zijn aan de dakinstallaties van de gekozen complexen aanvullende esthetische eisen opgelegd. Zo is besloten om geen daksysteem boven op de technische ruimte te plaatsen en om de damwandbeplating en de technische ruimte onopvallend te kleuren.

### 5.1.2 Afmetingen, oriëntatie, hellingshoek en beschaduwing

De maximale hoeveelheid vierkante meters zonne-energiesysteem is naast de regelgeving en esthetische aspecten grotendeels ook afhankelijk van de afmetingen, de hellingshoek, de oriëntatie en de beschaduwing.

De oriëntatie op de zon en hellingshoek is van belang voor de opbrengst van een zonne-energiesysteem. De optimale opbrengst ligt bij een hoek van  $37^\circ$  tussen het oppervlak en het horizontale vlak en een exacte oriëntatie op het zuiden. Kleine afwijkingen ten opzichte van deze ideale positie, leiden slechts tot geringe afname van de opbrengst. Lage hellingshoeken met het horizontale vlak kunnen wel leiden tot een aantal problemen. Zo wordt bij oververhitting of bevriezing het leeglopen van een collector met een lage hellingshoek bemoeilijkt en kan bij PV-panelen het rendement achteruit gaan doordat er onvoldoende schoonspoeling van het paneel door regenwater plaatsvindt.

Beschaduwing moet vooral bij PVT-collectoren en PV-panelen worden vermeden. Bij serie geschakelde panelen kan beschaduwing van één paneel tot onderbreking van de stroom leiden en levert het hele systeem geen stroom meer. De schaduw kan veroorzaakt worden door andere PV-panelen of collectoren, gebouwen, schoorstenen, dakkapellen en dakdoorvoeren of beplanting. In de Novempublicatie 'Zon en Architectuur' zijn maximale zonbeschaduwingshoeken beschreven die gelden voor de verschillende zonnepanelen; zie figuur 6 [Hoiting, 2000]. Voor de PVT collectoren en PV-panelen geldt een minimale beschaduwingshoek van  $12^\circ$ , voor zonnecollectoren is deze hoek  $20^\circ$ .



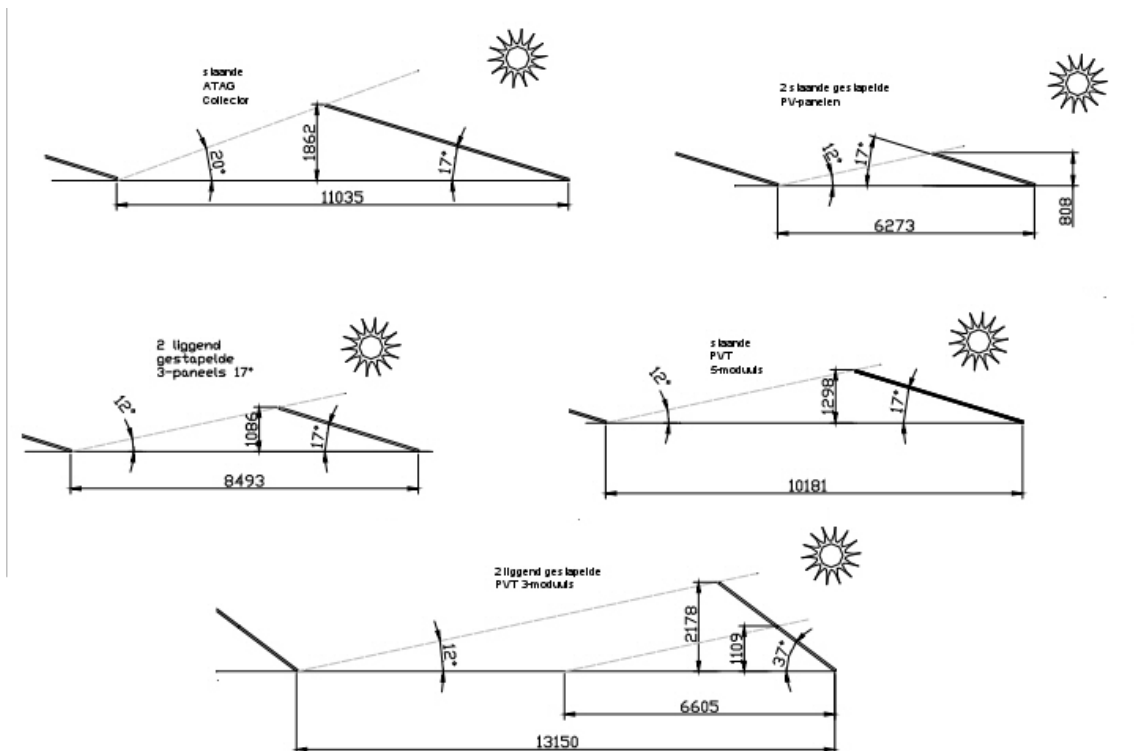
Figuur 6: Zonbeschaduwingshoek voor een zonnecollector en PV paneel

Indien zonnecomponenten achter elkaar worden gezet in een zaagtand configuratie dan speelt de afmeting van de componenten in het bijzonder de hoogte in relatie met de beschaduwingshoek en de hellingshoek een belangrijke rol in de berekening van de minimale afstand tussen de componenten (zie figuur 7) en de zoninstraling c.q de opbrengst (zie figuur 9). Deze afstand is bepalend voor de opbrengst, de maximale hoeveelheid te plaatsen array's en daarmee de maximale hoeveelheid vierkante meter zonnecomponent.

Voor de bepaling van de hoeveelheid maximale te plaatsen vierkante meters PVT collector is gebruik gemaakt van 3 moduuls - en 5 moduuls PVT-collectoren. Een 3 en 5 moduuls PVT-collectoren bevatten respectievelijk 6 en 10 PVT-panelen. Qua afmeting komt een 5-moduuls PVT-collector het meest in de buurt van de ATAG collector. In een later stadium bleek dat het maken van een optimale PVT dakconfiguratie makkelijker was met een 3-moduuls collector. De afstand tussen de arrays is 3m korter voor 3-moduuls PVT collectoren. De afmetingen van de toegepaste ATAG collectoren, PVT-collectoren en PV-panelen zijn weergegeven in bijlage E. De oppervlaktes staan in onderstaande tabel weergegeven.

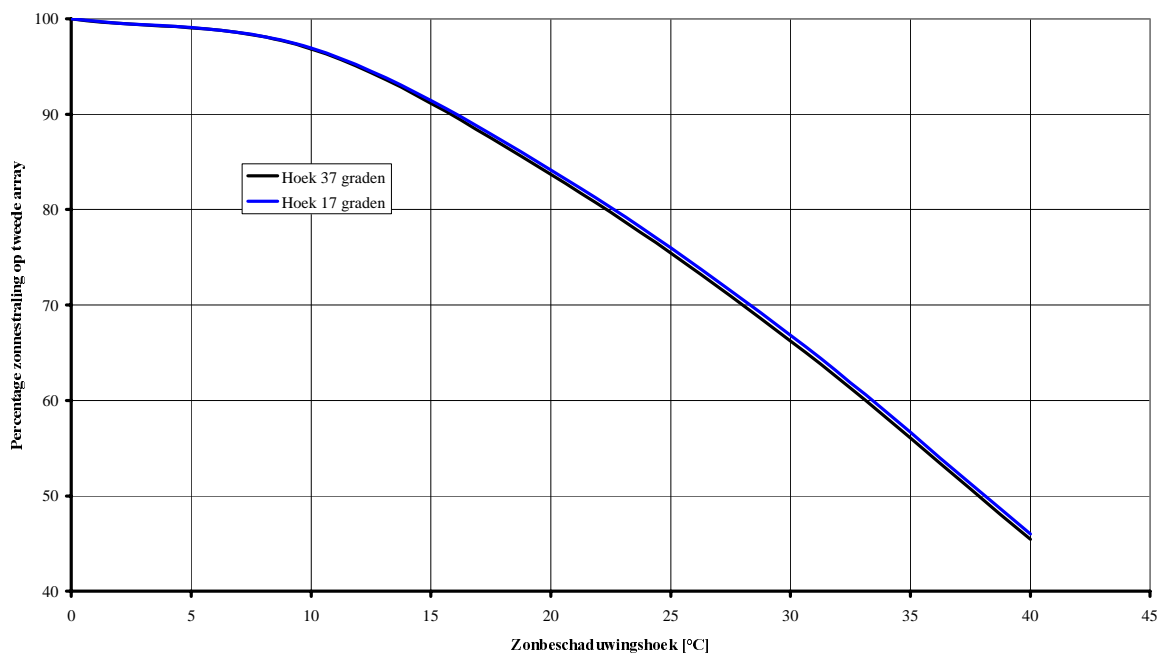
Tabel 14: Oppervlakten zonne-energie componenten

	ATAG collector	PVT-collector (3-moduuls)	PVT-collector (5-moduuls)	PV-paneel
Oppervlakte ( $\text{m}^2$ )	6.81	3.84	6.40	0.91



Figuur 7: Minimale afstand tussen arrays in relatie met de hellingshoek, de afmetingen collector en de zonbeschaduwingshoek

Percentage van de zoninstraling (Zuid,  $37^\circ$  graden) bij beschaduwning vanaf een bepaalde hoek met het horizontale vlak



Figuur 8: Percentage zonne-instraling op tweede/achterliggende array in relatie met de zonbeschaduwingshoek van de eerste array indien afstand arrays constant is voor een hellingshoek van  $17^\circ$  en  $37^\circ$ .

De curven vallen samen.

#### *Effect schaduw op ATAG zonnecollectorensysteem*

De ATAG zonnecollectoren op de daken van het Tesselschadecomplex staan onder een hellingshoek van 17° op het zuid/zuidoosten gericht. Op Tesselschade blok B zijn in totaal 20 collectoren verdeeld over vier collectorvelden gemonteerd op stalen H-frames. De zonbeschaduwingshoek van twee collectorvelden is 29.4°, het derde collectorveld heeft een beschaduwingshoek van 22.7°. Onder deze omstandigheden beschaduwen de arrays elkaar.

Na een extra simulatie voor blok B bleek dat de thermische bijdrage van het zonnecollectorsysteem van 146.6 GJ<sub>prim</sub> daalt naar 137 GJ<sub>prim</sub> in vergelijking met de simulatie onder ideale omstandigheden (zie hoofdstuk 2). Dit komt overeen met een daling van het systeemrendement van 30% naar 28%.

De 27 ATAG zonnecollectoren op het platte dak van Tesselschade blok D staan in een rij naast elkaar. Op dit complex zal ook geen beschaduwing optreden, hetgeen gunstig is voor de opbrengst.

Op complex 33 zijn 24 zonnecollectoren in vier collectorvelden geïntegreerd op het schuine dakvlak van de patiowoningen onder een hellingshoek van 10°. De zonbeschaduwingshoek is eveneens 10°.

#### 5.1.3 Bereikbaarheid en technische aspecten

De collectoren en de technische ruimte worden voor alle drie onderzochte gebouwen op het dak geïnstalleerd. Op de daken ondervinden de collectoren als gevolg van de windbelasting druk- en trekkrachten. De ondersteuningsconstructie zal hiertegen bestand moeten zijn zodat de collectoren op het dak blijven staan. De dakconstructie moet voldoende berekend zijn op het zware gewicht van de zonne-energie opstelling en de dakopbouw (incl. buffervat). Bij uitvoering van de montage van de collectoren en/of panelen betekent dit dat de beoogde plaats moeten worden gecontroleerd op details als dakbalken, dakdoorvoeren van ventilatielucht, etc.

#### *Thermische aspecten*

Een zonthermisch systeem moet worden beschermd tegen schade door bevriezing en oververhitting van het warmtetransportmedium en schade ag.v. van onder- en overdruk. De zonthermische systemen in de drie onderzochte cases hebben een terugloopsysteem. Dit betekent dat de warmtetransportvloeistof bij uitschakeling van de pomp uit het collectorcircuit terug loopt in een vat dat vorstvrij is opgesteld. Het terugloopvat moet altijd lager zijn opgesteld dan het laagste punt van de collectoren.

Lange leidingen over het dak vereisen een aangepaste opstelling met voldoende hoogte onder de collectoren [ISSO publicatie 59]. De leidingloop van terugloopsystemen vereist een minimaal afschot van leidingen van 2 cm/m. De opstelling van de collector moet dus voldoende hoog zijn om dit afschot te realiseren tussen collectorveld en de dakdoorvoer. Ten behoeve van de waterdichte afwerking aan de onderkant van de collectoren zal bij schuine daken voldoende ruimte onder de collectoren moeten overblijven om loodslabben goed te kunnen bevestigen.

Onnodige warmteverliezen worden voorkomen door de collectorleidingen goed te isoleren. De isolatie moet bestand zijn tegen hoge temperaturen en invloeden van buitenaf (UV, regen en dieren)



### *Elektrische aspecten*

Bij PVT-collectoren is een veilige afscheiding tussen het leidingnet van warmtetransportvloeistof en de elektrische bekabeling via aparte kabelgoten een zeer belangrijk aandachtspunt. Dit geldt natuurlijk ook wanneer een separaat systeem van zowel zonnecollectoren als PV-panelen samen op het dak zijn toegepast. De kabelgoot moet ook bij voorkeur goed bereikbaar blijven voor inspectie en/of reparatie. Aan de andere kant moeten de geïsoleerde leidingen en elektrische bekabeling onbereikbaar zijn voor dieren.

Bij PV-panelen op een schuin dak is een luchtspouw voor natuurlijke ventilatie benodigd achter het paneel vanwege de warmteontwikkeling in het paneel. Warmteontwikkeling vermindert de opbrengst van het PV-paneel. Voor PVT-collectoren is ventilatie geen aandachtspunt. PVT-collectoren oogsten juist deze warmte.

De inverter moet op een afgeschermd locatie met voldoende ventilatiemogelijkheden gemonteerd zijn. In deze studie is ervoor gekozen om bij alle complexen één centrale inverter toe te passen voor de gehele installatie. Dit scheelt in kosten voor materiaal en onderhoud, echter enig spanningsverlies is wel aanwezig door de langere kabellengte tussen PV(T)-paneel en inverter. De inverter wordt in de technische ruimte geplaatst, zodat geen vocht of regen binnendringt en de inverter goed bereikbaar is.

## 5.2 Haalbaarheid dakplaatsing van de zonne-energiesystemen

Met behulp van de beschreven ontwerpspecificaties is voor de gebouwen de haalbaarheid van plaatsing van de vier verschillende zonnestelsel configuraties onderzocht.

De vier verschillende zonne-energieconfiguraties:

1. Oorspronkelijke oppervlak aan zonnecollectoren
2. PVT-collectoren met een hetzelfde oppervlak als de zonnecollectoren
3. Separaat systeem van zonnecollectoren en PV-panelen met dezelfde thermische en elektrische opbrengst als configuratie 2.
4. PVT-collectoren met dezelfde thermische opbrengst als de zonnecollectoren

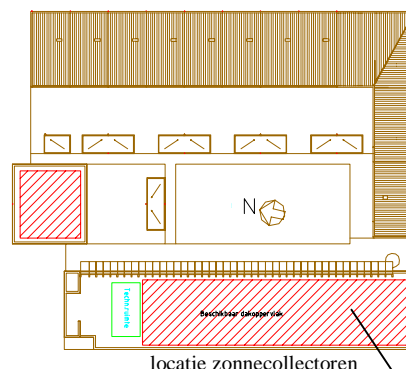
De volgende ontwerpvoorwaarden zijn aangehouden voor het bepalen van het maximaal te plaatsen oppervlak aan PVT-collectoren of PV-panelen op het platte dak van het Tesselschade complex blok B en D:

- minimale afstand dakrand tot panelen is gelijk aan de hoogte van de panelen
- Er is geen rekening gehouden met de minimale afstand tussen de dakrand en de technische ruimte of de positie van het dakluik.
- Er worden geen collectoren of zonnepanelen op het dak van de technische ruimte geplaatst vanwege esthetische aspecten.
- Direct naast de technische ruimte worden geen collectoren of zonnepanelen geplaatst vanwege beschaduwning. De dakinstallatie wordt aan de zuidkant zo direct mogelijk tegen de technische ruimte aan geplaatst.
- Alleen het dak van de hoogbouw waar de zonnecollectoren in het oorspronkelijke ontwerp zijn gepland, wordt gebruikt voor toepassing van PVT-collectoren en PV-panelen.
- De oriëntatie van de PVT-collectoren en PV-panelen is gelijk aan de oriëntatie van de oorspronkelijke zonnecollectoren
- Zonbeschaduwingshoek: zonnecollectoren 20°, PVT-collectoren en PV-panelen 12°.

De zonne-energiesystemen op Complex 33 zijn geïntegreerd in het dak en hebben reeds een vastgelegde positie en hellingshoek.

### 5.2.1 Tesselschade blok B

De hoogbouw van Tesselschade complex blok B waar de oorspronkelijke zonnecollectoren gepland zijn heeft een oppervlakte van 408 m<sup>2</sup> (10.5 x 38.8 meter) en een hoogte van 11.6 meter. Vier meter verwijderd van deze hoogbouw is een tweede gebouw met gelijke hoogte aanwezig met een dakoppervlak van 107 m<sup>2</sup> (10.0 x 10.7 meter). Hier kan ook eventueel een dakinstallatie geplaatst worden, echter vanuit kostentechnisch oogpunt is besloten om alleen de hoogbouw waar de zonnecollectoren gepland zijn te gebruiken.



De overzichtstekeningen van het maximaal aantal te plaatsen oppervlak per zonniesysteem configuratie zijn toegevoegd in bijlage F. In de onderstaande tabel is het resultaat van de haalbaarheidsanalyse weergegeven.

Tabel 15: Haalbaarheid dakplaatsing zonne-energie systeem Tesselschade Blok B

		ATAG collectoren	PVT	Collectoren + PV.	PVT
Simulaties	Gewenst oppervlak (#m <sup>2</sup> )	136.2	136.2	68.1 coll. 117.0 PV	172
	Hellingshoek (°)	17	17	17	37
	Vatgrootte (m <sup>3</sup> )	4.0	4.0	4.0	12.0
	Zonbeschaduwings-hoek (°)	<i>ideaal</i>	12	20° (coll) 12° (PV)	12
	Thermische opbrengst (GJ <sub>prim</sub> /jr)	146.6	110.3	110.1	146.2
	Elektrische opbrengst (MWh/jr)	0	11.1	11.1	14.4
Praktijk	max. te plaatsen oppervlakte aan coll. of PV (#m <sup>2</sup> )	136.2	115.2	68.1 coll. 71.0 PV	76.8
Gewenst oppervlak haalbaar? (simulaties vs. praktijk)		☺	☹	☹	☹

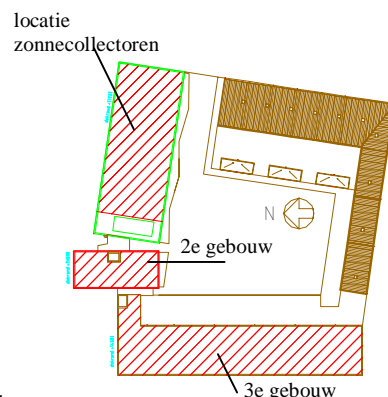
Uit de tabel blijkt dat voor Tesselschade blok B het gewenste oppervlakte aan PVT-collectoren niet geplaatst kan worden. Er is onvoldoende ruimte beschikbaar voor PVT-collectoren (115.2 m<sup>2</sup>) in tegenstelling tot de zonnecollectoren (136.2 m<sup>2</sup>) vanwege de eis van een kleinere beschaduwingshoek voor de PVT-collector en de afwijkende afmetingen. Bij een separaat systeem van zonnecollectoren en zonnepanelen zijn de volgens de simulaties gewenste oppervlakten 68 m<sup>2</sup> collector en 117 m<sup>2</sup> PV-panelen om een gelijk thermisch en elektrisch rendement te halen als 136 m<sup>2</sup> PVT. Op het dak is echter te weinig ruimte voor het PV beschikbaar nl 71 m<sup>2</sup> PV. Voor een gelijke thermische opbrengst ten opzichte van 136 m<sup>2</sup> zonnecollectoren is 172 m<sup>2</sup> PVT gewenst. Echter voor deze optimaal berekende PVT configuraties is slechts 76.8 m<sup>2</sup> PVT mogelijk onder een hellingshoek van 37°.

Indien alle platte hoogbouw op het dak van Tesselschade blok B benut wordt, is meer oppervlakte beschikbaar. Er kan dan 140 m<sup>2</sup> PVT onder een hellingshoek van 17° geplaatst worden, hetgeen overeenkomt met het oorspronkelijke oppervlak (136 m<sup>2</sup>) aan zonnecollectoren. Bij een hellingshoek van 37° is dan 100 m<sup>2</sup> PVT mogelijk. Ook is dit in deze situatie te weinig om thermisch evenveel op te brengen als de oorspronkelijk hoeveelheid

geplande zonnecollectoren (136 m<sup>2</sup>). Voor het separate dakvullend systeem kan in dit geval 68 m<sup>2</sup> collector en 109 m<sup>2</sup> PV geplaatst worden. Dit is nog steeds te weinig PV om een gelijke elektrische opbrengst te genereren als 136 m<sup>2</sup> PVT.

### 5.2.2 Tesselschade blok D

De hoogbouw van Blok D waar de zonnecollectoren op staan heeft een oppervlak van 488 m<sup>2</sup> (33.0 x 14.8 meter) en een hoogte van 17 meter. Dicht naast dit gebouw staat een tweede hoogbouw met een oppervlakte van 144 m<sup>2</sup> (18.7 x 7.7 meter). Het 3<sup>e</sup> gebouw is het laagste gebouw met 14.3 meter en heeft een dakoppervlakte van 570 m<sup>2</sup> (10.5 x 54 meter). De zonnecollectoren in het oorspronkelijke ontwerp staan naast elkaar opgesteld en hebben daardoor geen last van beschaduwing van elkaar.



De overzichtstekeningen van het maximale aantal te plaatsen oppervlak per zonnestelsel configuratie zijn toegevoegd in bijlage F. In de onderstaande tabel is het resultaat van de haalbaarheidsanalyse weergegeven.

Tabel 16: Haalbaarheid dakplaatsing zonne-energie systeem Tesselschade Blok D

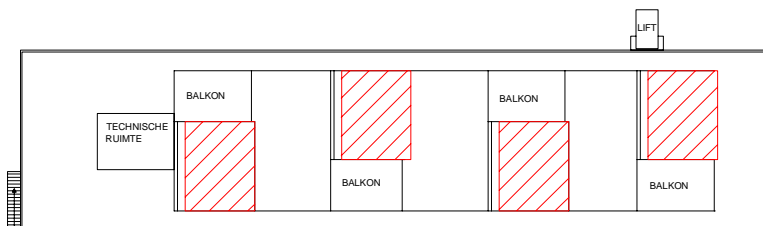
		ATAG collectoren	PVT	Collectoren + PV.	PVT
Simulaties	Gewenst oppervlak (#m <sup>2</sup> )	183.9	183.9	98.0 coll. 161.0 PV	234
	Hellingshoek (°)	17	17	17	37
	Vatgrootte (m <sup>3</sup> )	6.0	6.0	6.0	18.0
	Zonbeschaduwings-hoek (°)	n.v.t.	12	20 coll 12 PV	12
	Thermische opbrengst (GJ <sub>prim</sub> /jr)	239.7	178.4	178.1	239.7
	Elektrische opbrengst (MWh/jr)	0	15.3	15.3	20.0
Praktijk	max. te plaatsen oppervlakte aan coll. of PV (#m <sup>2</sup> )	183.9	188.2	95.3 coll. 94.6 PV	138.2
Gewenst oppervlak haalbaar? (simulaties vs. praktijk)		😊	😊	😞	😞

Tesselschade blok D heeft een groter dakoppervlak dan blok B. Er is voldoende plaats om een gelijk oppervlak aan PVT neer te zetten als het oppervlak aan zonnecollectoren. Er is tekort oppervlakte beschikbaar voor het separate systeem veld. Voor het optimale PVT-systeem waarbij de thermische opbrengst gelijk is aan de thermische opbrengst van de zonnecollectoren is eveneens te weinig oppervlakte aanwezig. Slechts 138 m<sup>2</sup> PVT is mogelijk, terwijl 234 m<sup>2</sup> gewenst is.

Voor Tesselschade blok D kan wel voldaan worden aan het gewenste oppervlak aan PVT en het separate systeem van zonnecollectoren en PV-panelen indien het totale dakoppervlak van alle hoogbouw van blok D benut wordt. Vanwege hoge kosten van lange leidingen/ bekabeling en mogelijk terugloopp problemen is echter gekozen om alleen de hoogbouw van de oorspronkelijke collectoren te benutten.

### 5.2.3 Complex 33 blok 3

De vier schuine daken à 54 m<sup>2</sup> op de patiowoningen van complex 33 worden benut voor de dakinstallatie. Deze daken hebben een vaste hellingshoek van 10° met de horizon waardoor voor deze hellingshoek het maximaal te plaatsen oppervlak bekeken wordt. Door een schuinere optimale hellingshoek van 37° worden de daken erg hoog (5.5 meter) en puntig. Dit is vanuit architectonische afwegingen niet gewenst en daarom wordt deze variant niet meegenomen in de studie. De daken waarop de dakinstallatie geplaatst worden liggen ca. 7.2 meter verspringend uit elkaar. De collectoren en /of panelen worden hierdoor voor ca. 40% beschaduwd onder een zonbeschaduwingshoek van maximaal 10°. De verlaging van het systeemrendement als gevolg van de beschaduwing is niet gesimuleerd.



De overzichtstekeningen van het maximale aantal te plaatsen oppervlak per zonnestelsysteem configuratie zijn toegevoegd in bijlage F. In de onderstaande tabel is het resultaat van de haalbaarheidsanalyse weergegeven.

Tabel 17: Haalbaarheid dakplaatsing zonne-energie systeem Complex 33

		ATAG collectoren	PVT	Collectoren + PV.	PVT
Simulaties	Gewenst oppervlak (#m <sup>2</sup> )	163.4	163.4	80.0 coll. 142.0 PV	192.0
	Hellingshoek (°)	10	10	10	37
	Vatgrootte (m <sup>3</sup> )	5.0	5.0	5.0	15.0
	Thermische opbrengst (GJ <sub>prim</sub> /jr)	182.1	132.3	131.2	181.3
	Elektrische opbrengst (MWh/jr)	0	13.1	13.1	17.1
Praktijk	max. te plaatsen oppervlakte aan coll. of PV (#m <sup>2</sup> )	163.4	161.3	68.1 coll. 71.0 PV	-
Gewenst oppervlak haalbaar? (simulaties vs. praktijk)		☺	☺	☹	-

Uit deze tabel blijkt dat maximaal 161.3 m<sup>2</sup> PVT geplaatst kan worden op de daken van de patiowoningen van complex 33 blok 3. Er is te weinig ruimte om het gescheiden systeem van de zonnecollectoren en de PV-panelen op de daken te plaatsen.

## 5.2.4 Analyse & Conclusies

De zonbeschaduwingshoek, de hellingshoek in relatie tot de afstand tussen de arrays en het beschikbare dakoppervlak met de daarbij behorende wettelijke - en veiligheidseisen voor bouwvergunningvrij plaatsen van zonne-energiesystemen zijn belangrijke (beperkende) parameters in de bepaling van het maximale aantal m<sup>2</sup> te plaatsen zonnecomponent. Als gevolg van deze eisen is in de onderzochte gevallen op Tesselschade blok B niet dezelfde hoeveelheid m<sup>2</sup> PVT-collectoren als het ATAG zonnecollectorsysteem mogelijk. Voor complex 33 en Tesselschade blok D is dit wel het geval (zie tabel 18).

Tabel 18: Overzicht gewenst en mogelijk te plaatsen zonnestelsel op de gebouwen

	Hellings hoek	schaduw hoek	Tesselschade blok B			Complex 33			Tesselschade blok D		
			Gewenst m2	Mogelijk m2	Result	Gewenst m2	Mogelijk m2	Result	Gewenst m2	Mogelijk m2	Result
Zonnecollector	17°	20°	136	136	+	163	164	+	184	184	+
PVT-collector	17°	12°	136	115,2	--	163	163	+	184	184	+
Zonnecollector	17°	20°	68	68	--	80	68	--	98	95,3	--
PV-panelen	17°	12°	117	71	--	142	71	--	161	94,6	--
PVT-collector - volume boiler 3x	37°	12°	171	76,8	--	192	-	--	234	138	--

Uit de vergelijking tussen een PVT-collectorsystemen en een separaat systeem blijkt dat voor Tesselschade blok B, Complex 33 en Tesselschade blok D respectievelijk 46 m<sup>2</sup>; 83 m<sup>2</sup> en 69m<sup>2</sup> tekort dakoppervlak aanwezig is om hetzelfde energetische rendement te behalen. Qua elektrische opbrengst komt dit respectievelijk overeen met 4900 kWh/jr; 5900 kWh/jr en 7500 kWh/jr minder elektriciteit productie op jaarbasis. In percentage uitgedrukt is dit 44%; 45% en 49% minder elektriciteitsproductie.

In de onderzochte configuraties was het in geen van de gevallen mogelijk een optimaal PVT-collectorsysteem te plaatsen dat thermisch gezien dezelfde opbrengst zou hebben als de referentiesituatie met zonnecollectoren.

De resterende vraag die overblijft is 'Hoeveel kost het?'.

## 6. FINANCIËLE HAALBAARHEID

In dit hoofdstuk is de financiële haalbaarheid van de verschillende configuraties beschreven. In de financiële analyse is alleen gekeken naar de kosten die direct kunnen worden toegeschreven aan de dakinstallatie. De overige componenten, zoals de warmtepomp en de HR-ketels, blijven in de verschillende varianten hetzelfde en worden daardoor niet meegenomen in het kostenoverzicht. In dit hoofdstuk is alleen geschreven over het verschil in meerkosten van de dakinstallatie.

### 6.1 Kosten zonne-energiesysteem

De kostenonderverdeling voor de verschillende configuraties is gepresenteerd in tabel 19.

Tabel 19: Kostenonderverdeling zonne-energiesystemen

	ATAG collectoren	PVT- collectoren	ATAG collectoren + PV panelen	PVT-collector
<b>Zonne-component</b>				
ATAG collector	*		*	
PVT-collector		*		*
PV panelen			*	
<b>Thermisch</b>				
Isolatie	*	*	*	*
Pompen	*	*	*	*
Frame collector/PVT		*		*
Aanpassing frame		*		*
Appendages	*	*	*	*
Extra buffervaten collectoren				*
Vertikaal transport	*	*	*	*
Inbedrijfstelling th. Systeem	*	*	*	*
Montage collectorsysteem	*	*	*	*
<b>Elektrisch</b>				
Inverter		*	*	*
El. montagekasten		*	*	*
El. bekabeling		*	*	*
Monteren elektrisch systeem		*	*	*
Inbedrijfstelling el. systeem		*	*	*
Frame PV panelen			*	

De materiaal- en montagekosten voor het zonnecollectorsysteem van de drie onderzochte complexen zijn achterhaald via bestekken en offertes van installateurs. De onderhoudskosten zijn niet meegenomen. Deze offertes hebben ook als input gediend voor de bepaling van de kosten voor installatie met PVT-collectoren en PV-panelen. Met een fabrikant van zonnecollectoren zijn de kosten voor het frame voor PVT collectoren doorgesproken. Voor PVT-collectoren bestaat nog geen standaard frame en dit zal dus apart moeten worden gefabriceerd. De extra buffervatkosten voor een drievoudige vatvergroting zijn bij een fabrikant achterhaald. De benodigde montage-uren zijn geschat op basis van de offertes van de oorspronkelijke zonnecollectoren.

## 6.2 Fabricagekosten PVT-collector

Begin 2003 zijn voor een Europees project de allereerste 5 moduuls PVT-collectoren gefabriceerd [Helden van, 2002]. Deze PVT-collectoren zijn geplaatst bij het nieuwe hoofdkantoor van het duurzame energie consultancybureau 'RES' nabij Londen. De PVT-panelen zijn bij ECN gelamineerd en vervolgens zijn de panelen geassembleerd in zonnecollectorboxen bij ZEN. De gehanteerde fabricagekosten zijn op dit productieproces gebaseerd. De materiaalkosten zijn nogmaals opgevraagd. De arbeidskosten zijn geschat op een efficiënt productieproces waarbij geen rekening is gehouden met een in werkelijkheid benodigd leertraject. De fabricagekosten voor een PVT-collector zijn weergegeven in de onderstaande tabel 20.

Tabel 20: Fabricagekosten 3 moduuls PVT-collector

			3moduuls
	Prijs		~ 4 m2
Glas *	15	€/m2	60
Folies *	30	€/m2	120
PV-cellen *	200	€/m2	800
Koperen absorber	70	€/m2	280
Junctionbox *	10	€/st.	60
Arbeidskosten Lamineren	100	€/m2	400
Collectorbox 3moduuls (incl glas en isolatie)	550	€/st.	550
Arbeidskosten Assembleren	200	€/st.	200
<b>Totaal</b>			<b>2470</b>

\*Bron: Paul D. Maycock, PV Technology, performance, and costs 1995-2010

De kostenbepaling van PVT-collectoren bevat een zekere onnauwkeurigheid door het ontbreken van praktijkervaring in tegenstelling tot de kostenbepaling van een collectief zonnecollectorsysteem. Offertes voor zonnecollectoren zijn gebaseerd op jarenlange ervaring.

### 6.3 Kostenoverzicht zonne-energiesystemen

De kosten voor toepassing van de verschillende zonne-energiesystemen zijn weergegeven in de onderstaande tabel. In bijlage G is een gedetailleerd kostenoverzicht opgesteld voor de kosten voor de zonne-energiesystemen. De meerkosten, de energetische opbrengst per m<sup>2</sup> zonnestelsysteem en de investering per energetische opbrengst per jaar voor de technisch haalbare configuraties en de gewenste configuraties zijn gepresenteerd in de onderstaande tabel.

Tabel 21: Kostenoverzicht voor de verschillende zonne-energiesystemen

Tesselschade blok B (408 m <sup>2</sup> )						
		Q	E	kosten		
	m <sup>2</sup>	(GJ <sub>prim</sub> /jr)	(kWh/jr)	k€	€/m <sup>2</sup>	GJ <sub>pr</sub> ·jr/m <sup>2</sup>
Zonnecollector	136	147	0	43	319	1,08
PVT-collector	136	110	11129	125	922	1,57
PVT-collector	115,2	95	9571	109	942	1,59
Zonnecollector	68	110	--	98	531	1,15
PV-panelen	117	--	11120			
Zonnecollector	68	110	--	69	494	1,25
PV-panelen	71	--	6806			
PVT-collector - volume boiler 3x	171	146	14439	--		1,63
PVT-collector - volume boiler 3x	76,8	--	--	--		--
Complex 33 (216 m <sup>2</sup> )						
		Q	E	kosten		
	m <sup>2</sup>	(GJ <sub>prim</sub> /jr)	(kWh/jr)	k€	€/m <sup>2</sup>	GJ <sub>pr</sub> ·jr/m <sup>2</sup>
Zonnecollector	163	184	0	55	339	1,13
PVT-collector	161,3	136	13127	147	914	1,59
PVT-collector	--	--	--	--		
Zonnecollector	81,7	136	--	119	547	1,16
PV-panelen	135	--	12447			
Tesselschade blok D (488 m <sup>2</sup> )						
		Q	E	kosten		
	m <sup>2</sup>	(GJ <sub>prim</sub> /jr)	(kWh/jr)	k€	€/m <sup>2</sup>	GJ <sub>pr</sub> ·jr/m <sup>2</sup>
Zonnecollector	184	240	0	52	280	1,30
PVT-collector	184	179	15295	164	892	1,74
Zonnecollector	95	179	0	132	517	1,25
PV-panelen	161	0	15295			
Zonnecollector	95	179	0	98	517	1,38
PV-panelen	95	0	8932			
PVT-collector - volume boiler 3x	234	240	19996	221	944	1,81
PVT-collector - volume boiler 3x	138	144	11994	136	984	1,84

De gearceerde cellen geven de systemen weer die technisch haalbaar zijn op de platte daken.

De meerkosten voor een PVT-collectorsysteem zijn gemiddeld € 96.000 hoger in vergelijking met een zonnecollectorsysteem met hetzelfde systeemoppervlak. Daarentegen liggen de meeropbrengsten van het PVT-collector t.o.v. de zonnecollector €1900/jaar hoger (zie hoofdstuk 4). Het meerkostenverschil tussen de PVT-collector en een separaat systeem van PV-panelen en zonnecollectoren met dezelfde energetische opbrengst is gemiddeld €20.000. In de onderzochte casestudies was het twee maal technisch niet mogelijk een separaat systeem met dezelfde energetische opbrengst op het dak te installeren.



Het toepassen van een zonnecollectorsysteem is goedkoper dan een PVT-collectorsysteem. Daarentegen is de energetische opbrengst per m<sup>2</sup> zonnensysteem van de zonnecollectorsysteem lager dan de die van het PVT-collectorsysteem. De meerkosten en de energetische opbrengst per m<sup>2</sup> zijn voor een separaat systeem ook lager in vergelijking met een PVT-collector.

Hierbij moet worden vermeld dat de kostenbepaling van PVT-collectoren een zekere onnauwkeurigheid bevat door het ontbreken van praktijkervaring in tegenstelling tot de kostenbepaling van een collectief zonnecollectorsysteem en een separaatsysteem.

Een collectief PVT-collectorsysteem mag gemiddeld maximaal € 720/m<sup>2</sup> gaan kosten vergeleken met de investering voor een separaat systeem met dezelfde energetische opbrengst.

In deze benadering zijn de kosten voor het separate systeem gedeeld door het PVT-collectoroppervlak. In deze kostprijs is installatie, productprijs en overige onderdelen inbegrepen. Dit betekent dat de kosten voor een geïnstalleerd PVT-collectorsysteem ca. €190/m<sup>2</sup> zal moeten zakken. Een andere mogelijkheid is het energetisch rendement van de PVT-collector te verbeteren.

## CONCLUSIE

Op basis van de drie onderzochte casestudies kan worden geconcludeerd dat de energetische opbrengst ( $\text{GJ}_{\text{prim}}/\text{jaar}$ ) per  $\text{m}^2$  zonne-energiesysteem van een PVT collector gemiddeld  $0,45 \text{ GJ}_{\text{prim}}/\text{m}^2$  hoger dan de opbrengst met een 'conventioneel' zonnecollectorsysteem. Een PVT-collector oogst met deze installatie  $0,3 \text{ GJ}_{\text{prim}}/\text{m}^2\cdot\text{jr}$  minder thermische energie dan een conventionele zonnecollector maar produceert  $80 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{jr}$  extra groene elektriciteit. In vergelijking met een separaat systeem is de energetische opbrengst  $0,41 \text{ GJ}_{\text{prim}}/\text{m}^2$  hoger voor het PVT-collectorsysteem. Het separate systeem vereist ca. 36% meer zonnensysteemoppervlak om dezelfde hoeveelheid energie te genereren als het PVT-collectorsysteem. De toepassing van PVT-collector verhoogt in de onderzochte casestudies het systeemrendement respectievelijk met 45,0% en 39,5% en 33,4% t.o.v. de zonnecollectorvariant. De totale duurzame dekking van een PVT-collectorsysteem is gemiddeld een factor 1,40 hoger t.o.v. een collectorsysteem en een factor 1,37 hoger ten opzichte van een separaat systeem. Daarnaast levert een vierkante meter PVT-collector gemiddeld  $\text{€ } 12/\text{m}^2\cdot\text{jr}$  en stoot  $26,2 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{jr}$  minder uit op ten opzichte van een zonnecollector.

De zonbeschaduwingshoek, de hellingshoek in relatie tot de afstand tussen de arrays en het beschikbare dakoppervlak met de daarbij behorende wettelijke - en veiligheidseisen voor bouwvergunningvrij plaatsen van zonne-energiesystemen zijn belangrijke (beperkende) parameters in de bepaling van het maximale aantal  $\text{m}^2$  te plaatsen zonnecomponent. Als gevolg van deze eisen is in de onderzochte gevallen op Tesselschade blok B niet dezelfde hoeveelheid  $\text{m}^2$  PVT-collectoren als het ATAG zonnecollectorsysteem mogelijk. Voor complex 33 en Tesselschade blok D is dit wel het geval (zie tabel 18).

Uit de vergelijking tussen een PVT-collectorsystemen en een separaat systeem blijkt dat voor Tesselschade blok B, Complex 33 en Tesselschade blok D respectievelijk  $46 \text{ m}^2$ ;  $83 \text{ m}^2$  en  $69 \text{ m}^2$  tekort dakoppervlak aanwezig is om hetzelfde energetische rendement te behalen. Qua elektrische opbrengst komt dit respectievelijk overeen met  $4900 \text{ kWh}/\text{jr}$ ;  $5900 \text{ kWh}/\text{jr}$  en  $7500 \text{ kWh}/\text{jr}$  minder elektriciteitsproductie op jaarbasis. In percentage uitgedrukt is dit 44%; 45% en 49% minder elektriciteitsproductie. In de onderzochte configuraties was het in geen van de gevallen mogelijk een PVT-collectorsysteem te plaatsen wegens ruimte gebrek dat thermisch gezien dezelfde opbrengst zou hebben als de referentiesituatie met zonnecollectoren.

Het toepassen van een zonnecollectorsysteem is goedkoper dan een PVT-collectorsysteem. Daarentegen is de energetische opbrengst per  $\text{m}^2$  zonnensysteem van de zonnecollectorsysteem lager dan de die van het PVT-collectorsysteem. Hierbij moet worden vermeld dat de kostenbepaling van PVT-collectoren een zekere onnauwkeurigheid bevat door het ontbreken van praktijkervaring in tegenstelling tot de kostenbepaling van een collectief zonnecollectorsysteem en een separaatsysteem.

Een collectief PVT-collectorsysteem mag gemiddeld maximaal  $\text{€ } 720/\text{m}^2$  gaan kosten vergeleken met de investering voor een separaat systeem met dezelfde energetische opbrengst. In deze benadering zijn de kosten voor het separate systeem gedeeld door het PVT-collectoroppervlak. In deze kostprijs is installatie, productprijs en overige onderdelen inbegrepen. Dit betekent dat de kosten voor een geïnstalleerd PVT-collectorsysteem ca.  $\text{€ } 190/\text{m}^2$  zal moeten zakken. Een andere mogelijkheid is het energetisch rendement van de PVT-collector te verbeteren.

## AANBEVELINGEN & DISCUSSIE

### *Energetisch*

In de onderlinge vergelijking van de drie casestudies is de randvoorwaarde dat de 'aanhangende' installatie gelijk blijft, gehanteerd. In feite zou voor elk onderzocht zonne-energiesysteem een optimale collectieve installatie kunnen worden ontworpen waarmee een maximale systeemopbrengst zou moeten worden gegenereerd. Echter, in deze studie is niet gekozen voor deze benadering. Daarentegen is het zeker aan te bevelen de energetische en economische vergelijking vanuit dit perspectief te benaderen.

### *Gebouwintegratie*

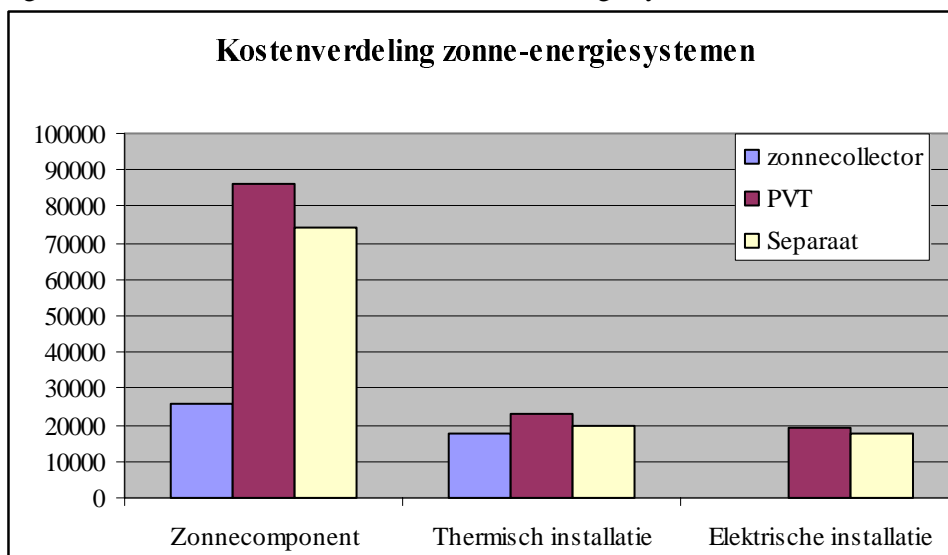
De haalbaarheidsstudie heeft alleen gekeken naar de aanwezige ruimte op het platte dak. Dat is, zo blijkt, een beperkende factor in de toepassing van separate systemen die dezelfde energetische opbrengst hebben als een PVT-collectorsysteem. Met name voor de PV-panelen was geen plaats meer op het beschikbare dakoppervlak. Een oplossing zou kunnen zijn om de PV-panelen in de gevel te integreren met het daarbij behorende kostenplaatje. Het is daarom aan te bevelen in toekomstige haalbaarheidsstudie gevelintegratie mee te nemen.

In de haalbaarheidsstudie is uitgegaan van 'bouwvergunningsvrij' ontwerpen. Het kan zijn dat indien men zich instelt om een bouwvergunning aan te vragen meer zonnesysteemoppervlak op de daken kan worden geplaatst.

### *Financieel*

De bepaalde kosten voor een PVT-collectorsysteem zijn gebaseerd op prototype batchproducties kosten. De systeemkosten zijn voorsnog hoger in vergelijking met een separaat systeem dat dezelfde energetische opbrengst heeft. Gezien de kostenallocatie in figuur 9 is de meeste kostprijsreductie te behalen in kostprijsverlaging van het PVT-product zelf. Een kostprijsdaling door productieopscaling wordt verwacht voor alle onderdelen van de PVT collector. De verkregen kostprijzen bevatten door het ontbreken van een leertraject een bepaalde onnauwkeurigheid. Het is aan te bevelen om de kostenreductiemogelijkheden in de productketen beter in kaart te brengen.

Figuur 9: Kostenallocatie verschillende zonne-energiesystemen voor Tesselschade blok B



## REFERENTIES

Bakker M.; Strootman K.J.; Jong M.J.M.; Elswijk M.J.; PVT BODEMREGENERATIE - Haalbaarheidsstudie naar bodemregeneratie met behulp van een dakvullend PVT-systeem; ECN-rapport ECN-C-03-103, Petten, 2003.

Helden, W.G.J. van; Zondag, H.A.; 'Photovoltaic thermal panels: on the brink of demonstration', ECN publication ECN-RX--02-048, Petten, 2002.

Hoiting H.; Boer F. "Zon en Architectuur" Novem, oktober 2000, blz 131.

ISSO publicatie 55; 'Tapwaterinstallaties voor woon- en utiliteitsgebouwen' stichting ISSO, Rotterdam, september 2001.

ISSO publicatie 59; "Grote zonneboilers – initiatief, ontwerp, uitvoering en beheer", Rotterdam, maart 2001.

Jong, M.J.M., H.A. Zondag, W.G.J. van Helden, *Systeemstudies PV combi*, ECN-rapport ECN-I-02-003, 2002.

Novem; 'De Zon bij renovatie- Zonne-energie in de na-oorlogse gestapelde bouw' Novem brochure DV 1.1.135.99.06, Utrecht, 1999.

Onbekend; "Veilig werken op daken", Arbo Informatie AI-15, SDU Uitgevers, Den Haag, 1998

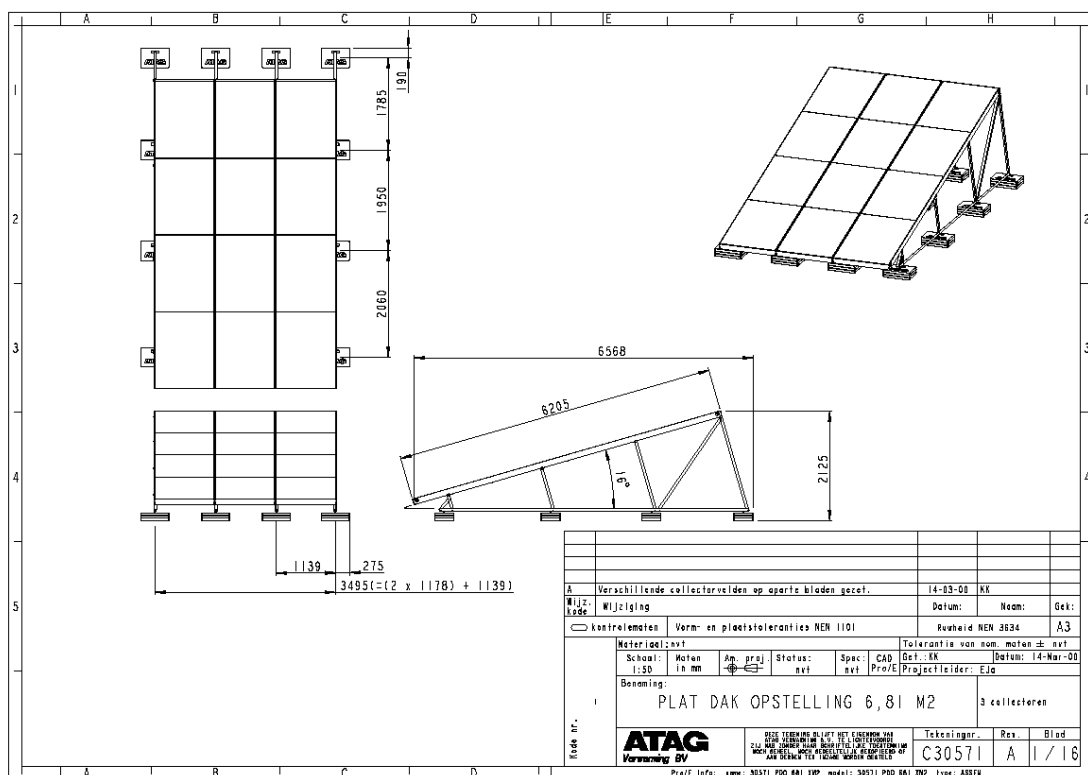
TNO; "----" TNO-rapport 2002-DEG-R023, blz 47, 12 november 2002

VROM, "Zonnecollectoren en zonnepanelen - Wanneer bouwvergunningsvrij, wanneer een bouwvergunning nodig?", VROM 020994/b/03-03 23280/211

Warmerdam; Zegers; Voskens; 'Overzicht potentieel Actieve zonne-energie 2010' Ecofys- concept rapport, 2002.

Zondag, H.A., M.J. Elswijk, *3<sup>e</sup> prototype combi-paneel fase 1*, ECN-rapport ECN-C-01-0134, Petten, 2001.

## BIJLAGE A ATAG ZONNECOLLECTOR



De thermische rendementsvergelijking van de ATAG collector [TNO, 2002]:

$$\eta_{therm} = 0.76 - 3.47 \frac{T_{in} - T_a}{I}$$

## BIJLAGE B    BESCHRIJVING INSTALLATIE

Het hele verwarmingsysteem (zie bijlage C) bestaat uit een warmte opwek- en een warmteafgifte systeem. Het warmte opweksysteem (voor de ruimteverwarming en warm tapwater) bestaat uit:

- Zonnecollectoren
- Opslagtank zonnecollectoren
- Opslagtank warm tapwater
- Warmtepomp
- Verwarmingsketels
- Pompen
- Leidingen

Het warmte afgifte systeem bestaat uit de vloerverwarmingsystemen in alle woningen en het warm tapwater systeem.

### *Warmte opwek systeem*

Hieronder volgt een beschrijving van alle componenten die bij het warmte opweksysteem horen.

#### *Zonnecollectoren*

Het model heeft voor het simuleren van de zonnecollectoren gegevens over de rendementskromme van de zonnecollector nodig. De gegevens van de ATAG collectoren, die op alle 3 complexen zijn geïnstalleerd, zijn ingevoerd. Aan de hand van gegevens uit een TNO rapport is een rendementskromme opgesteld. De gebruikte collectoren hebben een nulrendement van 0.76, met een bijbehorende richtingscoëfficiënt van  $-3.47 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

#### *Opslagtank zonnecollectoren*

Het water dat circuleert door de zonnecollectoren komt terecht in de opslagtank. Het water vanuit de zonnecollectoren kan, afhankelijk van de temperatuur, de opslagtank binnentreden op 4 niveaus. Het systeem is zodanig gemodelleerd dat het water dat de collectoren verlaat op die plaats de opslagtank binnentreedt waar het temperatuurverschil tussen het uittrekkende water uit de zonnecollectoren en het water in de opslagtank het kleinst is.

De opslagtank is aan de bovenzijde uitwendig geïsoleerd met 15 cm isolatie; de overige delen van de opslagtank zijn geïsoleerd met 10 cm isolatie.

De opgeslagen warmte in de opslagtank wordt op 3 manieren gebruikt, te weten

- Voor verwarming van warm tapwater
- Voor de verdampers van de warmtepomp (voor ruimteverwarming)
- Rechtstreeks voor ruimteverwarming

Het water uit de opslagtank voor de zonnecollectoren kan de tank op 4 niveaus verlaten, afhankelijk van de temperatuur. Voor verwarming van warm tapwater wordt altijd water uit het bovenste gedeelte van de tank gebruikt (dit water heeft immers de hoogste temperatuur).

De warmtepomp wordt ingezet ten behoeve van ruimteverwarming. De warmtepomp kan worden gebruikt bij temperaturen van het water in de opslagtank tussen 6 en 45 °C. Voor de warmtepomp kan water van verschillende niveaus worden gebruikt.

Het water uit de opslagtank voor zonnecollectoren kan ook rechtstreeks worden gebruikt voor ruimteverwarming. In dit geval wordt alleen water uit het bovenste niveau gebruikt. Via een warmtewisselaar (rendement 90 %) wordt de warmte vanuit de opslagtank overgedragen aan het circulerende water ten behoeve van de verwarming van de woningen.

De warmte uit de opslagtank voor de zonnecollectoren wordt rechtstreeks voor ruimteverwarming gebruikt als de temperatuur in de bovenste laag van de opslagtank hoger is dan de retourtemperatuur (vermeerderd met 4 ° C) van het water dat gebruikt wordt voor ruimteverwarming

### ***Opslagtank warm tapwater***

Ten behoeve van het warm tapwater wordt eveneens een opslagtank gebruikt. In het model is deze tank gemodelleerd in 3 segmenten. Het onderste segment wordt verwarmd met behulp van warmte uit de opslagtank van de zonnecollectoren. Als de temperatuur van het water in de opslagtank voor zonnecollectoren 4 K hoger is dan het water in het onderste segment van de opslagtank voor warm tapwater wordt de pomp ingeschakeld. Indien het temperatuurverschil 2 K is schakelt wordt de pomp uitgeschakeld.

Het bovenste segment van de opslagtank warm tapwater heeft een aansluiting met een warmtewisselaar waarmee met behulp verwarmingsketels de temperatuur wordt geregeld op 68 °C. De dode band is 5 °C.

Het bovenste segment van de opslagtank is aangesloten op de ringleiding voor warm tapwater. Deze ringleiding voorziet alle woningen van warm tapwater. Het retourwater uit de ringleiding wordt aan het onderste segment toegevoerd. Als een woning warm tapwater gebruikt, wordt het retourwater aan het middelste segment van de tank toegevoerd. De temperatuur van het koude water varieert tussen ca. 5 en 15 °C volgens een cosinus functie.

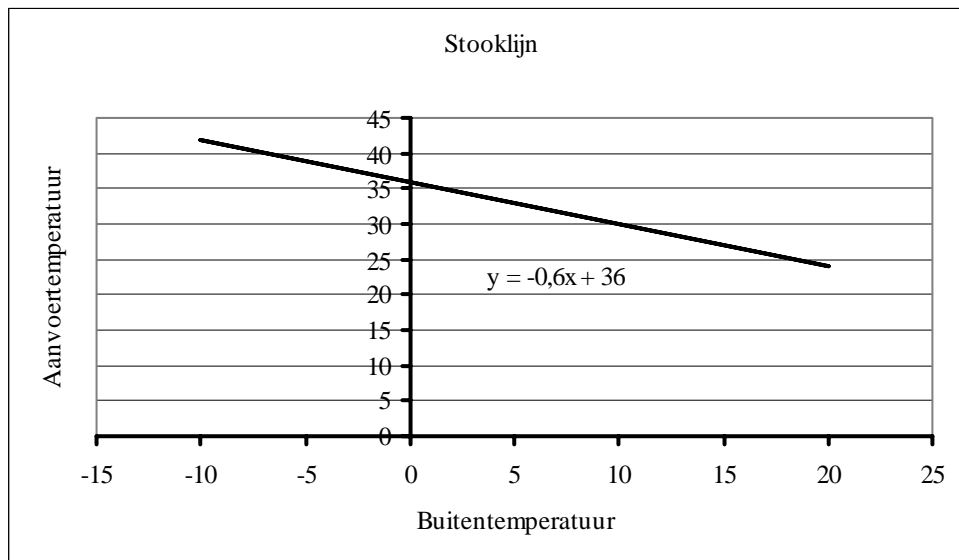
In verband met legionella ontsmetting wordt het onderste segment van de opslagtank, als de temperatuur van het water gedurende 150 aaneengesloten uren niet hoger is geweest dan 45 °C, kortstondig verwarmd tot 60 °C. In dit geval wordt de spiraal die normaal wordt gebruikt voor verwarming van het tapwater door het water uit de opslagtank voor de collectoren nu aangesloten op de verwarmingsketels.

### ***Warmtepomp***

De warmtepomp wordt ingezet voor ruimteverwarming. Het betreft hier een gasabsorptie warmtepomp met rookgascondensor. De warmtepomp heeft een thermisch vermogen van 36.6 kW, terwijl er uit de rookgassen nog eens 3.3 kW kan worden teruggewonnen. De verdamper van de warmtepomp gebruikt water uit de opslagtank voor de collectoren als bron.

### ***Verwarmingsketels***

Met de warmte die wordt gegenereerd met de zonnecollectoren kan niet de gehele vraag voor ruimteverwarming en warm tapwater worden ingevuld. Om altijd de gevraagde warmte te kunnen leveren, zijn verwarmingsketels aanwezig. De ketels kunnen zowel voor ruimteverwarming als voor warm tapwater worden ingezet. Met betrekking tot ruimteverwarming, verwarmen de ketels het water volgens een stooklijn, waarbij de warm water temperatuur afhankelijk is van de buitentemperatuur volgens de onderstaande grafiek.



### ***Pompen***

Om het water door de collectoren en leidingen te laten stromen, zijn pompen noodzakelijk. De aanwezige pompen in het systeem zijn (tussen haakjes staat aangegeven water het vermogen van de ingeschakelde pomp is):

- Pomp voor water door collectoren (450 W)
- Pomp voor verwarming door de zon (490 W)
- Pompen voor verdampers en condensator warmtepomp (490 W)
- Pomp voor verwarming warm tapwater door water uit opslagtank collectoren (45 W)
- Pomp voor circuleren water in verband met legionella ontsmetting (250 W)
- Pomp voor circuleren warm tapwater door circulatieleiding (45 W)
- Pomp voor circuleren water voor vloerverwarming (200 W)
- Pomp voor verwarming warm tapwater met ketels (250 W)

### ***Leidingen***

De woningen worden collectief verwarmd en van warm tapwater voorzien. Daarvoor zijn lange leidingen nodig om het water te transporteren. Lange leidingen geven relatief hoge leidingverliezen, dus het dimensioneren van het leidingnet verdient in het model de nodige aandacht.

Voor het leidingnet zijn 4 zaken van belang om de leidingverliezen te bepalen. Deze zaken zijn:

- De lengte van de leidingen
- De diameter van de leidingen
- De dikte van de isolatie rondom de leidingen
- De temperatuur rondom de leidingen

De lengte van de leidingen is bepaald aan de hand van de tekeningen. Er is gerekend met twee diameters.

Voor de dikte van de isolatie rondom de leidingen zijn 2 waarden gebruikt, afhankelijk van het feit of de leidingen zich ondergronds of bovengronds bevinden. Bij bovengrondse leidingen is een isolatiedikte van 2.5 cm aangehouden, bij ondergrondse leidingen is dit 3.2 cm.



Voor de temperatuur rondom de leidingen is een onderscheid gemaakt tussen onder- en bovengrondse leidingen. Voor ondergrondse leidingen varieert de omgevingstemperatuur tussen 5 en 15 °C volgens een cosinus functie.

Voor bovengrondse leidingen is een zogenaamde zoldertemperatuur aangehouden. Dit is een (gesimuleerde) temperatuur op een zolder van een woonhuis. De minimum temperatuur is 5 °C en de maximum temperatuur is 27 °C.

### ***Warmte afgifte systeem***

Het warmte afgifte systeem bestaat uit alle vloerverwarmingsystemen in de woningen en door het warm tapwater gebruik wordt eveneens warmte onttrokken aan het systeem.

De hoeveelheid warmte die nodig is voor ruimteverwarming is sterk afhankelijk van het type woning. In het model is voor de complexen van de Tesselschadestraat gebruik gemaakt van 2 typen woning, te weten een flatwoning en een eengezinswoning. Omdat het gehele systeem dynamisch wordt gesimuleerd, kan niet worden volstaan met een jaarlijkse warmtevraag zoals in de EPN wordt berekend.

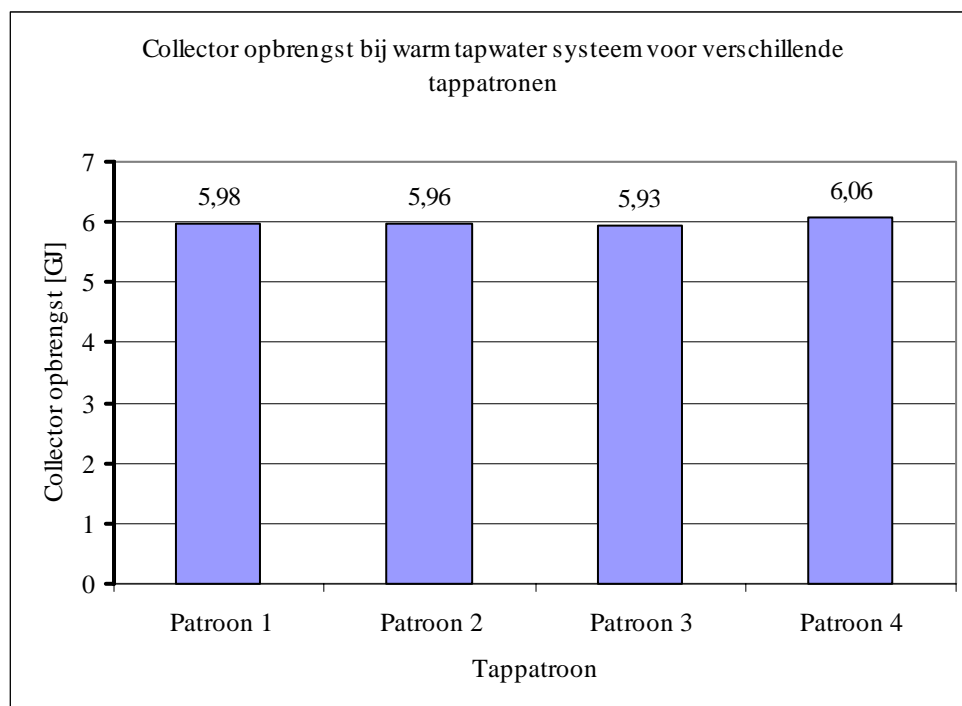
## Gevoeligheidstest vorm tapwaterpatroon

De invloed van de vorm van het tapwaterpatroon op het collectorendement is bepaald met 4 verschillende tappatronen. In alle 4 gevallen is de totale dagelijkse hoeveelheid te gebruiken warm tapwater gelijk (160 liter per dag van 60 °C). Er is een systeem gemodelleerd met een collector oppervlakte van 4 m<sup>2</sup>, met een volume van het opslagvat van 400 liter.

De patronen zijn als volgt:

- Patroon 1: Alle warm water taps vinden verspreid over de dag plaats (dus niet 's nachts).
- Patroon 2: Gedurende de hele dag (overdag en 's nachts) wordt er een constante hoeveelheid water afgetapt.
- Patroon 3: Er wordt alleen overdag (tussen 07:00 en 23:00 uur) een constante hoeveelheid water afgetapt.
- Patroon 4: Er wordt alleen 's nachts (23:00 en 07:00 uur) een constante hoeveelheid water afgetapt.

In de onderstaande grafiek is voor de hierboven beschreven tappatronen de collector opbrengst te zien. Uit de grafiek volgt dat het grootste verschil tussen de collector opbrengsten 0.13 GJ is voor een klein systeem, oftewel maximaal 2.2 %. De invloed op de prestatie van de zonnecollector systeem is meer afhankelijk van de daghoeveelheid tapwater in plaats van het tappatroon. Dit toont aan dat de opgestelde verdeling van het tappatroon over de dag in de simulatie kan worden toegepast en rechtevenredig kan worden opgeschaald.



Jaarlijkse collectoropbrengst bij verschillende warm tapwater patronen

## Leidingverliezen warmtapwater

Vanuit een boilervat waarvan het bovenste segment met behulp van verwarmingsketels op een temperatuur van minimaal 65 °C wordt gehouden is een ringleiding aangelegd. Iedere woning wordt vanuit de ringleiding voorzien van warm water. De afstand van de ringleiding tussen het boilervat voor warm tapwater en de woningen, is lang. Lange leidingen verliezen relatief grote verliezen, door de relatief hoge water temperatuur. Bovendien circuleert het warme water continue door de ringleiding, ook op de momenten dat er geen warm tapwater wordt gebruikt.

Aan de hand van tekeningen is een schatting gemaakt van de lengte van de ringleiding voor ieder complex (zie bijlage D). De lengte van de ringleiding voor blok B en D aan de Tesselschadestraat en blok 3 van Complex 33 is respectievelijk ca. 160, 310 en 350 meter. Iedere woning heeft een aansluiting op de ringleiding en gebruikt direct het water uit deze ringleiding (dus niet via een warmtewisselaar). Om deze reden heeft de ringleiding vele verschillende diameters. In de simulatie is het gebruik van de ringleiding vereenvoudigd door twee aannamen. Er is verondersteld dat de afname van warm water voor het gehele complex halverwege de leiding plaats vindt. De ringleiding heeft een vaste diameter.

Voor de berekening van het warmteverlies door een buis is de onderstaande vergelijking gebruikt:

$$\Phi = \frac{2\pi l (T_1 - T_2)}{\frac{1}{\alpha_i r_i} + \frac{1}{\alpha_u r_u} + \sum \frac{\ln r_u / r_i}{\lambda}}$$

Hierin is:

- l: De lengte van de buis [m]
- T<sub>1</sub>: De temperatuur van het medium dat door de buis stroomt [°C]
- T<sub>2</sub>: De omgevingstemperatuur van de buis [°C]
- α<sub>i</sub>: De warmteoverdrachtscoëfficiënt aan de binnenzijde van de buis [W/m<sup>2</sup> K]
- r<sub>i</sub>: De inwendige straal van de buis [m]
- α<sub>u</sub>: De warmteoverdrachtscoëfficiënt aan de buitenzijde van de buis [W/m<sup>2</sup> K]
- r<sub>u</sub>: De uitwendige straal van de buis [m]
- λ: Warmtedoorgangscoefficiënt buismateriaal [W/m K]

De waarden achter het sigma teken (Σ) moeten voor zowel het buismateriaal als de isolatie worden ingevuld.

Als voorbeeld is het leidingverlies van de ringleiding voor warm tapwater voor complex B van de Tesselschadestraat berekend. Hierin is onderscheid gemaakt tussen het gedeelte van de leiding dat zich bovengronds en ondergronds bevindt.

Bovengrondse leiding:

Lengte leiding: 68 meter

- T<sub>1</sub>: 65 °C
- T<sub>2</sub>: 15 °C
- α<sub>i</sub>: Verwaarloosbaar klein en derhalve niet meegenomen in de berekening.
- r<sub>i</sub>: 0,0325 m
- α<sub>u</sub>: 10 W/m<sup>2</sup> K
- r<sub>u</sub>: 0,0625 m
- λ<sub>koper</sub>: 390 W/m K
- r<sub>i</sub> buis: 0,0325 m
- r<sub>u</sub> buis: 0,0375 m
- λ<sub>isolatie</sub>: 0,04 W/m K
- r<sub>i</sub> isolatie: 0,0375 m
- r<sub>u</sub> isolatie: 0,0625 m

De warmtestroom is berekend op ca. 2,2 kW. Rekening houdend met een massadebiet van 3500 kg per uur door de ringleiding voor warm tapwater is de afkoeling aan het einde van de leiding ca. 0,5 °C.

Een dergelijke berekening is eveneens gemaakt voor het gedeelte van de leiding dat zich ondergronds bevindt. De lengte van deze leiding is ca. 96 meter. De omgevingstemperatuur van de leiding ( $T_2$ ) is aangenomen op 10 °C. De ondergrondse buis is zwaarder geïsoleerd, de waarde van  $r_{u \text{ isolatie}}$  is 0,07 m. Eveneens is beter isolatiemateriaal gebruikt, de  $\lambda$ -waarde van de isolatie is 0,028 W/m K. Rekening houdend met een ingaande temperatuur van het water  $T_1$  van 65 – 0,5 (afkoeling in bovengrondse buis) = 64,5°C is de warmtestroom ca. 1,5 kW. De afkoeling van het water in deze leiding is, uitgaande van een debiet van 3500 kg/hr, ca. 0,4 °C.

De werkelijke leidingverliezen zijn in de simulatie met de bovenstaande formules berekend. Echter voor de omgevingstemperatuur rondom de leidingen (zowel de bovengrondse als de ondergrondse leiding) zijn formules gebruikt die de omgevingstemperatuur in de tijd varieert. Bovendien is de temperatuur van het water dat de leiding ingaat niet constant. Deze temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het water in het bovenste gedeelte van het boilervat voor warm tapwater. Deze temperatuur wordt geregeld op 68 °C, maar de regeling heeft een dode band van ca. 5 °C, daardoor varieert deze temperatuur in de tijd. Deze effecten zijn in de simulatie meegenomen. De uiteindelijke leidingverliezen kunnen dus niet precies statisch berekend worden, maar kunnen alleen dynamisch worden gesimuleerd. Dit is in de simulaties van de systemen gebeurd.

## Leidingverliezen ruimteverwarming

Voor het verwarmingssysteem is ook een ringleiding aangelegd. De engte van deze leiding is voor Blok B en D van de Tesselschadestraat en blok 3 van Complex 33 respectievelijk 260, 370 en 200 meter. Een gedeelte van deze leidinglengte loopt onder de grond. In tegenstelling tot het leidingsysteem voor warm tapwater, stroomt het water niet continue door de leidingen. Alleen tijdens de periodes dat er warmtevraag is, stroomt water door deze leidingen..

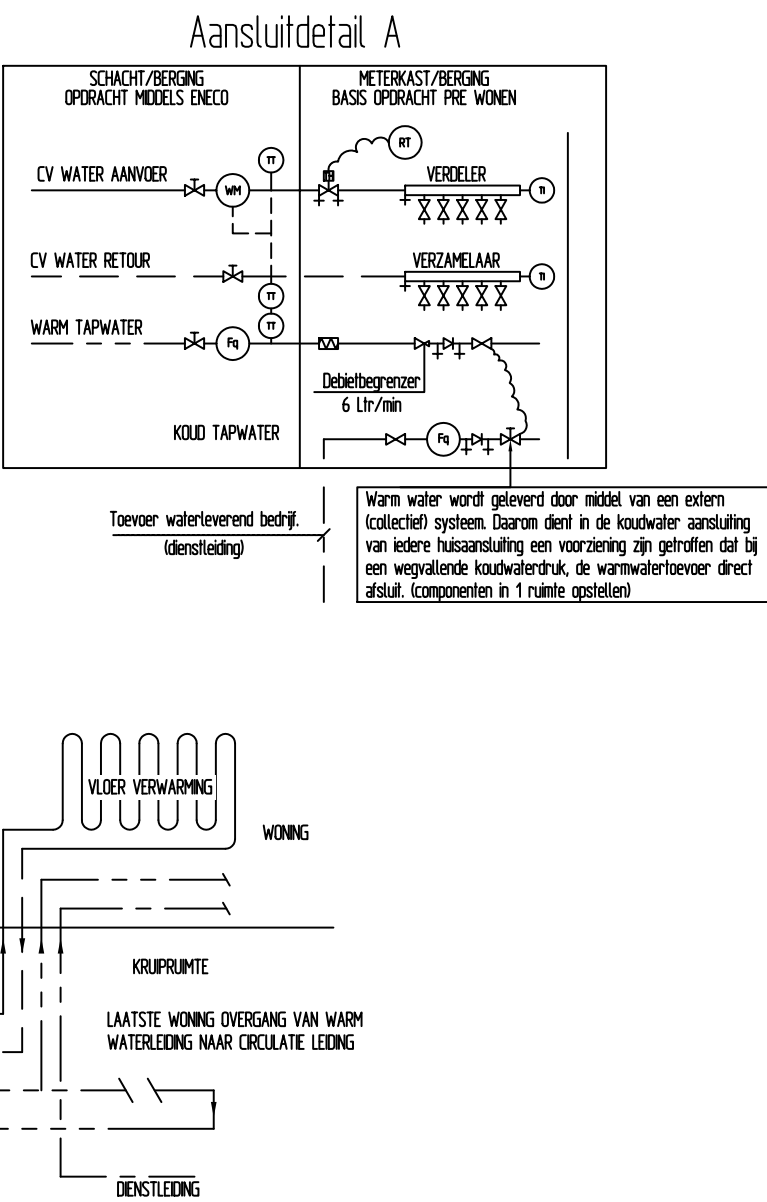
## Boilerverliezen

*Boilergegevens van de verschillende gebouwen.*

	Tesselschade blok B	Tesselschade blok D	Complex 33 blok 3
Inhoud boiler collectoren [liter]	4000	6000	5000
Aantal lagen i.v.m. stratificatie [-]	4	4	4
Dikte isolatie rondom boiler [cm]	10 - 15	10 - 15	10 - 15
Inhoud boiler tapwater [liter]	800	1400	1000
Aantal lagen i.v.m. stratificatie [-]	3	3	3
Dikte isolatie rondom boiler [cm]	10	10	10

Voor het kunnen berekenen van de warmtestroom die vanuit de boiler weglekt naar de omgeving, is natuurlijk de temperatuur van het water in de boiler en de omgevingstemperatuur van belang. De temperatuur van het water in de boiler wordt door TRNSYS berekend. Voor de omgevingstemperatuur is een profiel gebruikt uit een eerdere simulatie van een zolder. De minimale en maximale temperatuur uit dit profiel zijn 5 en 28 °C. Het gemiddelde is 15 °C. Met deze zijn de boilerverliezen met TRNSYS berekend.

## BIJLAGE C PROCESFLOWDIAGRAM INSTALLATIE



Ketel 1	CV-ketel
Ketel 2	CV-ketel
Ketel 3	CV-ketel
Ketel 4/5	tapwater; ketel
CV 1	midren op zonbuffer, op 20 % (waterinhoud) van onderzijde
CV 2	midren op zonbuffer, op 40 % (waterinhoud) van bovenzijde
CV 3	midren op zonbuffer, op 20 % (waterinhoud) van bovenzijde
CV 4	50 mm onder LA2 (hoogste punt buffer)
CV 5	mengventiel in verdampercircuit van de warmtepomp(en)
CV 6	omschakelklep ketel 4
CV 7	omschakelklep ketel 5
CV 8	CV 8 in de warmtapwater-circuletoleiding

BINNEN OPSTELLING IN DAKCENTRALE	INSTALLATE IN WONINGEN
----------------------------------	------------------------

projectnr. : 02066W

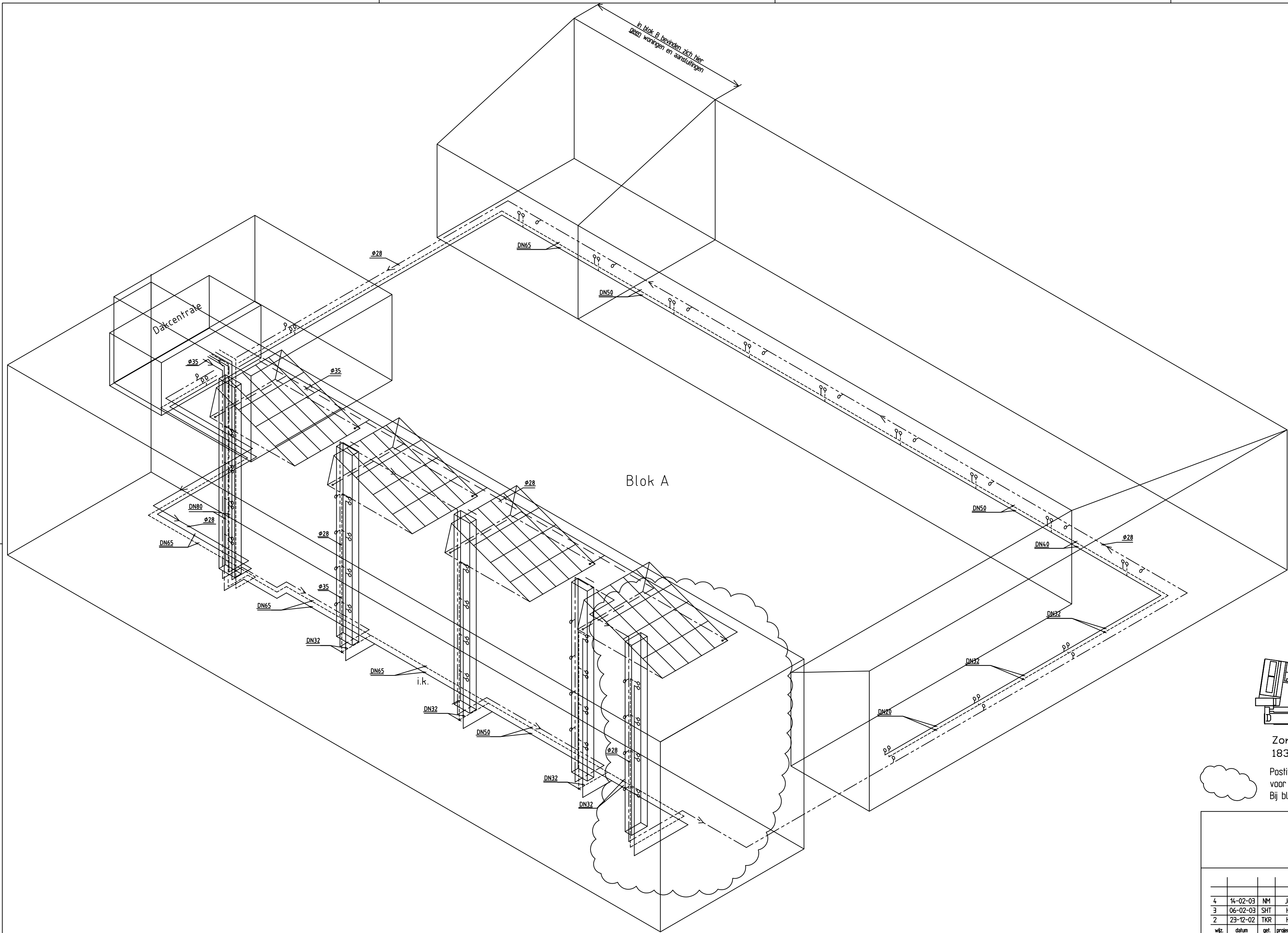
---

bladnr. : WB-314

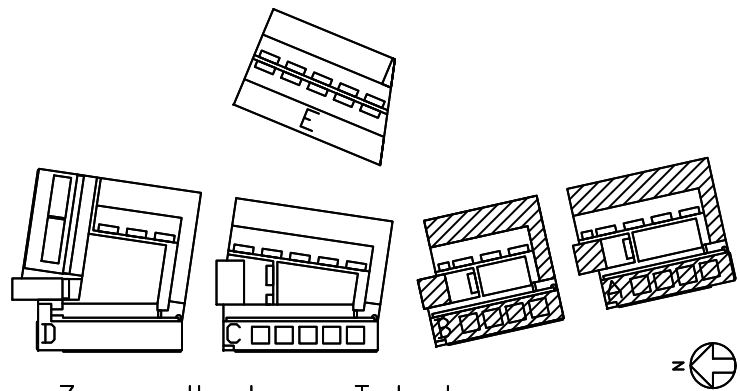
formaat : A1+

schaal : NVT

## BIJLAGE D LENGTE RINGLEIDING TESSELSCHADE BLOK B



- i.b. in berging  
o.d./i.d.i. op dak/in dakisolatie  
i.g. in grond  
i.k. in kruipruimte
- woning aansluiting C.V. aanvoer  
- - -○ woning aansluiting C.V. retour  
- - -○ woning aansluiting warmtapwater
- DN20 onderstreping=isolatie



Zonnecollectoren Totaal:  
183,2 m² 170 m² 136 m² 136 m²

Positie van de omwolkte schacht en zonnecollector geldt alleen voor blok A.  
Bij blok B is de opstelling gelijk aan die van de 3 linker panelen.



4	14-02-03	NM	JdV	DEFINITIEF
3	06-02-03	SHT	HS	DEFINITIEF
2	23-12-02	TKR	HS	DEFINITIEF
wfz.	datum	get.	projectleider	omschrijving

opdrachtgever : Eneco energie Noord-Holland  
Pre wonen Haarlem

VALKENBERG  
raadgevend  
ingenieursburo

Lid Organisatie van Nederlandse  
Raadgevende Ingenieursbureaus



Velsenstraat 25  
2023 EA Haarlem  
telefoon : 023 527 34 03  
telefax : 023 527 54 33  
e-mail : vni@tiscali.nl

werk : Tesselschadesstraat  
Haarlem

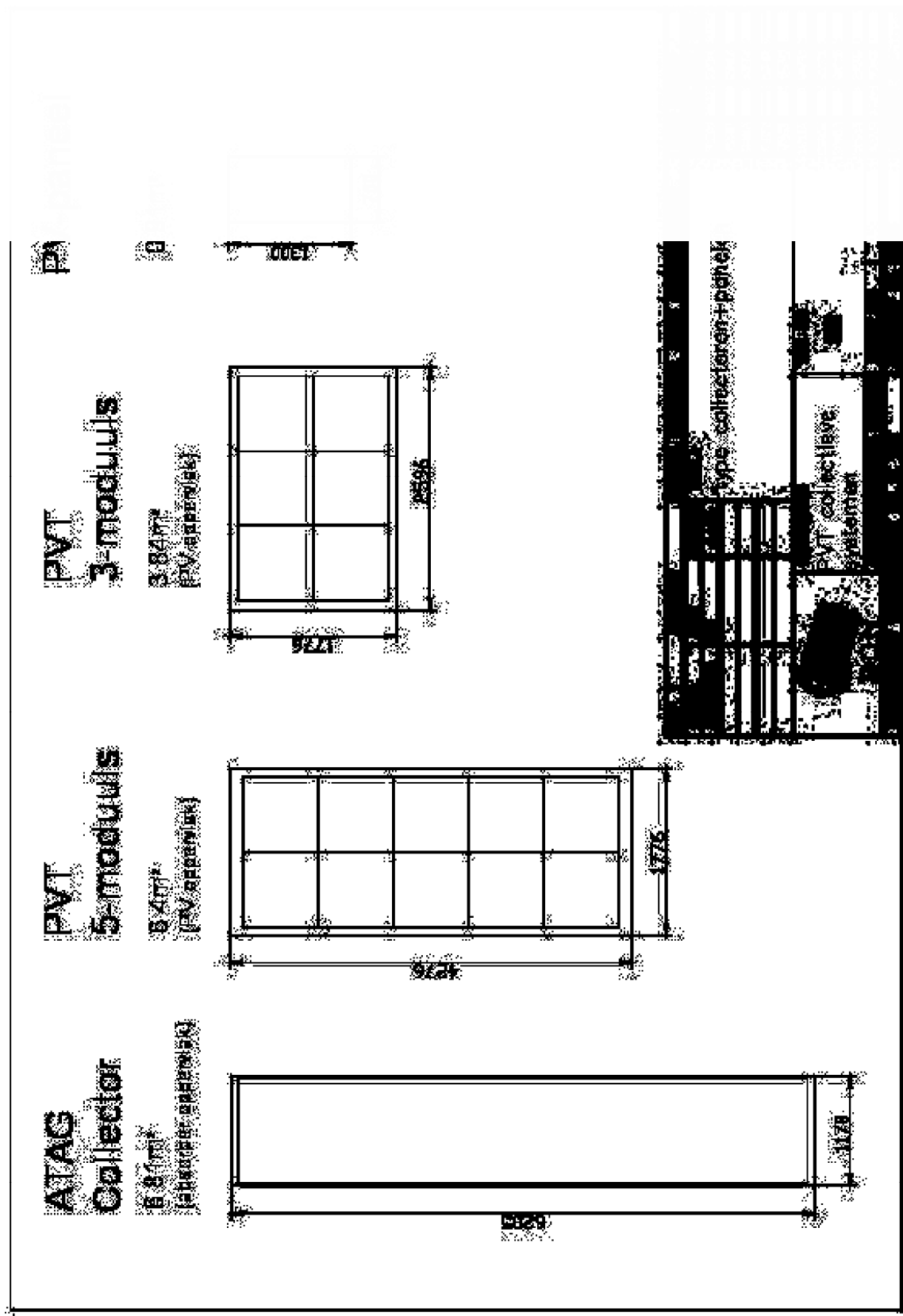
projectnr. : 02066W

onderwerp : Zonnecollectoren Blok A&B  
Warmtapwaterleidingen en  
CV-leidingen isometrisch

bladnr. : WB-305  
formaat : A1  
schaal : 1:125



BIJLAGE E    AFMETINGEN ZONNE-ENERGIE COMPONENTEN



BIJLAGE F    OVERZICHTSTEKENING HAALBAARHEID  
                 DAKPLAATSING ZONNE-ENERGIE SYSTEMEN







## BIJLAGE G GEDETAILEERD KOSTENOVERZICHT

	Tesselschade B					Tesselschade D					Complex 33 blok 3			
	136,2 m2 collectoren	134,4 m2 PVT-panels *	115,2 m2 PVT-panels	68 m2 zonnecollectoren + 116m2 PV-panels *	183,87 m2 collectoren	185,6 m2 PVT-collectoren	95,3m2 zonnecollectoren + 162m2 PV panelen *	230,4 m2 PVT-collectoren *	138,2 m2 PVT-collectoren	163 m2 collectoren	161,3 m2 PVT-collectoren	81,7m2 zonnecollectoren + 135m2 PV panelen		
Thermische opbrengst (G <sub>p,um</sub> /jrt)	146,6	110,3	94,8	110,3	110,3	240	179	179	144	184	136	136		
Elektrische opbrengst (kWh/jrt)	0	11129	9571	11120	6806	0	15295	15295	11994	0	13127	12447		
Helingshoek	17	17	17	17	17	17	17	37	37	10	10	10		
Zonbeschadingshoek	20	12	12	20/12	20/12	20	20/12	12	12	10	10	20/12		
Aanwezig dakoppervlak	408	408	408	408	408	488	488	488	488	216	216	216		
Energieopbrengst per aanwezig dakoppervlak (G <sub>p,um</sub> /m²)	0,36	0,52	0,45	0,52	0,42	0,49	0,66	0,87	0,52	0,85	1,19	1,16		
Zonnecollector	€ 25.958													
PVT-collector (3moduls)		€ 82.950	€ 71.100	€ 12.979	€ 12.979	€ 33.452	€ 17.345	€ 142.200	€ 85.320	€ 29.112	€ 99.540	€ 14.556		
PV panelen				€ 43.500	€ 26.625		€ 66.750					€ 58.500		
Thermisch														
Isolatie	€ 111	€ 155,40	€ 111,00	€ 50	€ 50,00	€ 111	€ 241	€ 56	€ 42,6	€ 259	€ 3.200	€ 1.600		
Pompen	€ 395	€ 395	€ 395	€ 197	€ 197,21	€ 830	€ 830	€ 415	€ 1.660	€ 1.050	€ 500	€ 250		
Frame collector/PVT		€ 4.078	€ 3.500				€ 5.616		€ 7.020	€ 4.200	€ 3.000	€ 2.800		
Aanpassing frame		€ 1.043	€ 895				€ 562		€ 702	€ 420				
Appendages	€ 1.167	€ 1.634	€ 1.167	€ 525	€ 525,00	€ 1.393	€ 3.250	€ 697	€ 5.340	€ 3.250	€ 2.800	€ 1.400		
Extra buffervaten collectoren									€ 12.427	€ 12.427				
Vertikaal transport	€ 700	€ 875	€ 875	€ 350	€ 350	€ 700	€ 1.400	€ 350	€ 2.100	€ 2.100	€ 1.500	€ 500		
Inbedrijfstelling th. Systeem	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640	€ 640		
Montage collectorsysteem	€ 14.400	€ 14.400	€ 12.267	€ 7.307	€ 7.307	€ 14.400	€ 16.000	€ 8.000	€ 20.000	€ 1.600	€ 14.400	€ 7.200		
Subtotaal thermisch	€ 17.415	€ 23.220	€ 19.849	€ 9.070	€ 9.070	€ 18.074	€ 28.559	€ 10.157	€ 50.314	€ 25.946	€ 26.040	€ 14.390		
Elektrisch														
Inverter**		€ 7.600	€ 7.600	€ 7.600	€ 4.652		€ 10.000	€ 6.000	€ 13.000		€ 8.500	€ 8.500		
El. montagekasten		€ 2.400	€ 2.044	€ 2.400	€ 1.469		€ 2.400	€ 2.400	€ 2.400		€ 2.000	€ 2.000		
El. bekabeling		€ 800	€ 681	€ 1.200	€ 734		€ 700	€ 650	€ 1.150	€ 661	€ 1.125	€ 1.050		
Monteren elektrisch systeem		€ 8.000	€ 6.866	€ 11.200	€ 6.855		€ 8.000	€ 9.600	€ 11.200	€ 8.000	€ 9.600	€ 11.200		
Inbedrijfstelling el. systeem		€ 480	€ 409	€ 640	€ 392		€ 640	€ 640	€ 640		€ 640	€ 640		
Frame PV panelen				€ 9.600	€ 5.876		€ 13.350	€ 7.800			€ 640	€ 7.800		
Subtotaal elektrisch	€ -	€ 19.280	€ 17.600	€ 32.640	€ 19.978	€ -	€ 21.740	€ 38.240	€ 28.390	€ 24.701	€ -	€ 21.865		
												€ 31.190		
Totaal	€ 43.371	€ 125.450	€ 108.550	€ 98.189	€ 68.652	€ 51.526	€ 164.039	€ 132.492	€ 98.152	€ 135.967	€ 55.252	€ 147.445		
												€ 118.636		