

AANVULLENDE OPDRACHT

"DE TOEPASSING VAN DE POWERWINDOW
BINNEN DE WONINGEN VAN VORM"



Student:
Kübra Senyürek
0849835

Docent:
Peter Budde

Bedrijfsbegeleider:
Cora Jongenotter

Datum:

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	1
Voorwoord.....	2
Energieopbrengst PowerWindow.....	3
o Transparantie.....	4
Factoren die van invloed zijn op zontoetreding.....	5
o Glasoppervlak.....	5
o Oriëntatie / Zontoetreding.....	5
o Zonuren.....	5
Rekenmodel.....	6
Testcase.....	7
o Scenario's.....	7
o Energieopbrengst.....	8
o Energieopbrengst PV-paneel.....	8
Conclusie & Aanbevelingen.....	9
Gevolgen aanbevelingen.....	10
Bibliografie.....	12
Bijlage.....	13
1. Energieprestatie berekening PowerWindow TU.....	13
2. Rekenmodel.....	20
▪ Casus A.....	20
▪ Casus B.....	21
▪ Casus C.....	22
▪ Casus D.....	23
▪ Casus E.....	24
3. EPC-berekeningen.....	25
▪ Huidige woning zonder PowerWindow.....	25
▪ Huidige woning met PowerWindow.....	25
▪ Woning zonder schaduw met PowerWindow.....	25
▪ Woning met verdubbeld glasoppervlak.....	25

Voorwoord

Voor u ligt het herkansingsrapport over: ' de Toepassingsmogelijkheden van de PowerWindow binnen VORM'. Een onderzoek dat zich richt op de implementatiemogelijkheden van een nieuw product binnen de woningen van VORM Bouw B.V. (hierna VORM).

Het eerste eindrapport is met een onvoldoende beoordeeld. Er mistte diepgang op een aantal onderdelen die in dit rapport worden uitgewerkt. In dit rapport leest u over de toegevoegde waarde van een PowerWindow binnen een woning, wat het product oplevert, aan welke randvoorwaarde een woning moet voldoen wil het de gewenste resultaat behalen en welke gevolgen dit met zich mee brengt. Er zijn verschillende scenario's bedacht waaronder een woning zich kan bevinden. De scenario's zijn gecreëerd om aan te tonen wat voor effect de veranderingen aan een woning kan hebben op de energieopbrengst van de PowerWindow.

Dit verslag dient als adviesrapport voor VORM dat een helder beeld geeft over wat de PowerWindow daadwerkelijk betekend binnen de nieuwbouwwoningen, waar VORM in staat moet zijn wil het een hogere energieopbrengst bereiken en uiteindelijk wat deze veranderingen betekenen voor de woning in zijn geheel.

Er zijn berekeningen gemaakt aan de hand van de scenario's. Hieruit volgen een aantal opbrengsten die te behalen zijn met bouwkundige ingrepen vanuit VORM. En als laatst wordt er gekeken of de ingrepen aan de hand van de aanbevelingen wel realistisch zijn of niet en welke gevolgen deze ingrepen met zich mee kunnen brengen. Zo wordt VORM geholpen bij het maken van een keuze over de toepassing van de PowerWindow binnen de woningen.

Energieopbrengst PowerWindow

Voor de energieopbrengst is door studenten van de TU een berekening gemaakt dat aantoont dat de energieopbrengst van de PowerWindow kan variëren tussen de 20 – 40 W/m². In de berekening zijn 3 onderdelen opgenomen, namelijk:

- Het rendement van de coating onder bepaalde golflengtes.
De golflengtes zijn de factoren die de zoninstraling bepalen. De coating absorbeert het best bij een straling met een golflengte tussen de 1000 – 1200 nm. Hiervoor hebben de studenten gebruik gemaakt van de grafiek van 'the Reference AM 1.5 Spectra'. De totale berekening is terug te vinden in bijlage 1.
- De zoninstraling in W/m²
De zoninstraling dat de studenten hebben aangenomen zijn de twee uiterste waarden waarbij de coating van de PowerWindow het best werkt. Dat is tussen de 90-342 [W/m²]
- Het rendement van de zonnecellen

De studenten hebben 3 berekeningen gemaakt met 2 verschillende zoninstralingen en 2 verschillende kwaliteiten zonnecellen.

Table 14: Efficiencies and power output of the first generation PW.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
E_{in}	342 W/m ² Based on 38% of the AM 1.5 900 W/m ² incoming solar energy	[109]
η_{opt}	0.21 As calculated above in Table 13	
$\eta_{PV(\lambda)}$	0.61 Cell power efficiency of CIGS solar cells for 1140 nm. This is considered as a fair efficiency for a PV module working at a specific emission wavelength. The EQE of CIGS is reported to reach 0.90 for a specific NIR wavelength and the normal efficiency of CIGS can reach 0.20, hence an efficiency of 0.50-0.65 should be reasonable.	[2, 112]
E_{out}	44.2 W/m ² $E_{out} = E_{in} \eta_{opt} \eta_{PV(\lambda)} = 342 * 0.21 * 0.61 = 44.2$	[113]

Table 16: Efficiencies, power output and power gain of NG – PW.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
E_{in}	342 W/m ² Based on 38% of the AM 1.5 900 W/m ² incoming solar energy	[109]
η_{opt}	0.23 As calculated above in Table 15	
$\eta_{PV(\lambda)}$	0.61 Cell power efficiency of CIGS solar cells for 1140 nm. This is considered as a fair efficiency for a PV module working at a specific emission wavelength. The EQE of CIGS is reported to reach 0.90 for a specific NIR wavelength and the normal efficiency of CIGS can reach 0.20, hence an efficiency of 0.50-0.65 should be reasonable.	[2, 112]
E_{out}	48.8 W/m ² $E_{out} = E_{in} \eta_{opt} \eta_{PV(\lambda)} = 342 * 0.23 * 0.61 = 48.8$	[113]
ΔE	4.6 W/m ² (=10.5%) $\Delta E = 48.8 - 44.2 = 4.6$ Power gain compared to PW	

Table 17: Efficiency and power output NIR reflected sunlight and total power output with power gain.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
E_{in}	90 W/m ² Based on 10% of the AM 1.5 900 W/m ² incoming NIR solar energy (spectrum range of 1000-1200 nm)	[109]
η_{opt}	0.39 $\eta_{opt} = \eta_{trap} \eta_{ref} \eta_{WC} (1 - R) = 0.81 * 0.6 * 0.8 * 0.99 = 0.39$	
$\eta_{PV(\lambda)}$	0.61 Cell power efficiency of CIGS solar cells for 1140 nm. This is considered as a fair efficiency for a PV module working at a specific emission wavelength. The EQE of CIGS is reported to reach 0.90 for a specific NIR wavelength and the normal efficiency of CIGS can reach 0.20, hence an efficiency of 0.50-0.65 should be reasonable.	[2, 112]
$E_{out, NIR}$	21.2 W/m ² $E_{out} = E_{in} \eta_{opt} \eta_{PV(\lambda)} = 90 * 0.39 * 0.61 = 21.2$	[113]



=
zoninstraling uit de
AM 1.5 Solar
Spectrum Irradiance



=
Energieoutput van
twee uiterste
zoninstralingen
waarbij de
PowerWindow de
meeste zonnestralen
absorbeert werkt.

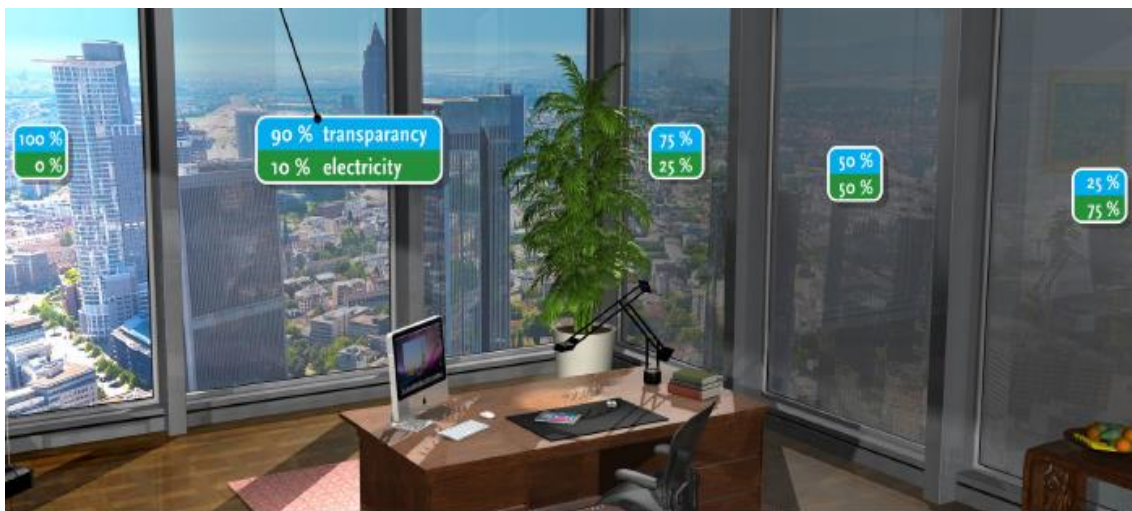
De energieopbrengst
dat PHYSEE beloofd
te leveren met de
eerste PowerWindow
is 20 W/m². Deze
waarde wordt ook
aangehouden binnen
de berekeningen.

○ Transparantie

Het rendement van de PowerWindow is afhankelijk van een aantal punten. Hierbij spelen de transparantie en de oriëntatie een belangrijke rol. De invloed van de transparantie is in onderstaande afbeelding opgenomen. Een 100% transparantie geeft geen rendement. In de praktijk komt een 100% transparantie niet voor omdat dit onvoldoende comfort geeft voor de ogen. Een afname van de transparantie geeft een evenredige toename in het rendement van het raam. Dit is gerelateerd aan de samenstelling van de coating. De coating krijgt een andere samenstelling afhankelijk van de transparantie. Hoe donkerder het glas, hoe meer zonnestralen het glas kan absorberen en hoe hoger het rendement.

Ten aanzien van de oriëntatie. De PowerWindow zet opgevangen zonnestralen om in energie. Als het raam georiënteerd is in de noordelijke richting zal het aantal zonuren relatief lager zijn dan een raam dat zuid georiënteerd is. Zonder de werking te belemmeren is de oriëntatie wel erg van belang voor wat het product uiteindelijk oplevert. Het rendement zoals PHYSEE dat momenteel inschat voor de PowerWindow 2.0 is dat 20 W/m².

De transparantie is een belangrijk onderdeel en zeker bepalend voor de energieopbrengst, maar is in dit geval verwaarloosbaar. De rede hiervoor is dat in de woningbouw gevraagd wordt voor een bepaalde transparantie en om de energieopbrengst te verhogen kan hier niet op worden ingespeeld. Voor de PowerWindows binnen de woningbouw blijven we 70% doorlating en 30% absorptie behouden net als het commercieel glas wat momenteel wordt gebruikt voor onze ramen. En daar belooft PHYSEE een energieopbrengst van 20W/m² op te leveren.



Figuur 1: verhouding transparantie & het geabsorbeerde licht

Bron: www.kennisbeeld.nl

Factoren die van invloed zijn op zontoetreding

○ Glasoppervlak

De PowerWindows zijn energieopwekkende ramen en bestaan uit glas. Het kan dus alleen toegepast worden op glazen oppervlak binnen een woning. Dit is een van de belangrijkste aspecten voor de energie berekening, omdat glas oppervlak de hoeveelheid PowerWindows bepaald. Hoe meer glas, hoe meer PowerWindow, hoe meer energie er kan worden omgezet.

Om het glasoppervlak nauwkeurig te kunnen meten zijn kozijn tekeningen van de Kievit bestudeerd en is het glasoppervlak in m² opgenomen in de berekeningen.

○ Oriëntatie / Zontoetreding

Oriëntatie en zontoetreding zijn de belangrijkste twee onderdelen voor de energieberekening van de PowerWindow. De PowerWindow zet de zonnestrallen die op het raam schijnen om in energie, echter moet de zon dan wel schijnen.

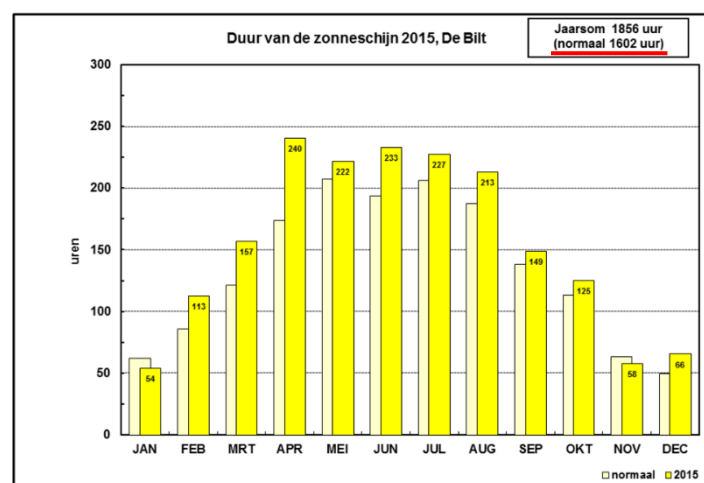
De zontoetreding is afhankelijk van de verschillende jaargetijden binnen een jaar en van de oriëntatie van een woning. Een woning moet voldoen aan de daglichteisen van het Bouwbesluit en is dus verplicht ramen toe te voegen aan een woning. Waar je de ramen plaatst is naast de eisen een eigen keuze. Ook bepaald de aannemer/opdrachtgever zelf hoe hij zijn woningen wilt oriënteren. De zontoetreding kan niemand aanpassen als het gaat om vermeerderen, maar de oriëntatie is wel in eigen handen.

Het is bekend dat woningen die zuid georiënteerd staan het meest kunnen profiteren van de zonnestrallen. Met de kennis over de oriëntatie in het achterhoofd zijn in dit rapport een aantal berekeningen gemaakt met betrekking op de oriëntatie en zontoetreding. En uiteraard wat hiervan het effect is op de energieprestatie van de PowerWindow.

Echter is de zontoetredingsfactor in dit rekenmodel te verwaarlozen, omdat in de energieprestatieberekening van de Powerwindow die door PHYSEE is gemaakt een gemiddelde zoninstraling is aangenomen. In Nederland absorbeert de coating van de Powerwindow het meest tussen de 1000 – 1200 nm. En uit de berekening hierboven is aangetoond dat de energieopbrengst voor de PowerWindow 20 W/m² is. Dit zal in warmere landen uiteraard hoger zijn, omdat de golflengte en de zoninstraling anders zullen zijn dan in Nederland. Hoe hoger de zoninstraling hoe hoger het rendement.

○ Zonuren

Voor de zonuren is er gekeken naar de gemiddelde zonuren van het jaar 2015 die is aangetoond door het KNMI. In de figuur hiernaast is te zien dat de zonuren van 2015, **1602** zonuren zijn.



Figuur 2: De zonschijnduur in De Bilt, 2015 (KNMI, 2016)

Rekenmodel

Energie opbrengst PowerWindow

Om op de juiste manier een berekening te maken voor de energieopbrengst van de PowerWindow binnen de woningen is een aantal gegevens van belang, namelijk:

- Het aantal zonuren
- De afmetingen van de ramen
- Het indirecte lichtinval

Bovengenoemde punten zijn in de berekening opgenomen. Dit leidt tot de volgende formule:

$$\text{Energieopbrengst op jaarbasis [kWh/jaar]} = \text{gem. zonuren} \times \left(\left(A_{\text{nut, zuidwest}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}} \right) + \left(A_{\text{nut, noordoost}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}} \right) \right) \times \text{Energieopbrengst PW}$$

Toelichting Formule:

1. De gemiddelde zonuren op jaar basis = **1602** (volgens KNMI 2015) [zonuren/jaar]

2. $A_{\text{nut, zuidwest}}$ staat voor het glasoppervlak op de voorgevel dat zuidwest georiënteerd is. [m²] $A_{\text{nut, zuidwest}} = A_{\text{tot}} - \text{schaduw}$

Schaduw: Het rendement van de schaduw dat bestaat uit een optelsom van twee schaduwsoorten, namelijk:

Verticale schaduw: is niet te achterhalen of te berekenen i.v.m. te weinig kennis. De verticale schaduw verandert de hele dag door, waardoor er geen getal aan verbonden kan worden. Om de berekening toch te kunnen maken wordt het rendement 100% aangenomen, met 0 % verticale schaduw. = 1

Horizontale schaduw: Schatting gemaakt aan de hand van schaduwval op afbeelding bij toelichting van de casus. Uiteraard verandert de horizontale schaduw ook continue. In de berekening is de maximale schaduw aangehouden.

3. Staat voor het rendement voor indirect lichtinval, dit omdat de zon niet direct schijnt op deze ramen.

Een raam die wel licht binnenlaat, maar niet te maken heeft met directe zontoetreding. Er is geen sprake van zontoetreding maar wel licht. Er zijn nog geen meetresultaten die aangeven wat de verschil is in de opbrengst is van de PowerWindow met direct en indirect zonlicht. Daarom wordt ook hier een aanname gedaan en wordt het energieopbrengst bij **indirect lichtinval = 5% = 1,05**

4. $A_{\text{nut, noordoost}}$ staat voor het glasoppervlak op de voorgevel die noordoost georiënteerd is. Omdat de zontoetreding en de intensiteit van de zonnestrallen op beide gevels gevarieerd zijn, wordt er in dit rekenmodel een onderscheid gemaakt. Voor de zuidgeoriënteerde ramen rekenen we met 100% van het glasoppervlak – schaduw.

Voor de noord georiënteerde wordt 20% van dit glasoppervlak aangehouden. [m²] $A_{\text{nut, noordoost}} = A_{\text{tot}} * 0,2$

5. De energie opbrengst die is aangehouden is **20W/m²**, uitgaande van het gegeven dat het een PowerWindow is met coating en zonnecellen. [W/m²] = berekend door PHYSEE die bijlage voor verdere toelichting

Testcase

- Scenario's

Casus A

In casus A is de huidige woning van VORM uitgewerkt in de afmetingen waarop hij daadwerkelijk wordt gebouwd. Dit om in kaart te brengen wat VORM kan opleveren aan energie met de PowerWindows zonder wijzigingen aan te brengen aan de woning en om een aan te tonen of dit voldoende is.

Casus B

In casus B wordt dezelfde woning berekend, maar dan zonder overstekken. In het ontwerp van de huidige woning van VORM is veel gebruik gemaakt van overstekken wat leidt tot schaduwwerking op de ramen. Die heeft een nadelige werking op de PowerWindow, omdat de zontoetreding wordt belemmert. Om aan te tonen wat dit daadwerkelijk doet met de energieopbrengst is deze casus opgesteld.

Casus C

In casus C is de ontwerp weer iets aangepast en is het glasoppervlak verdubbeld. PowerWindows zijn eenmaal ramen en hoe meer we van de PowerWindows in een woning kunnen toepassen hoe meer zonnestralen er kunnen worden omgezet. Om aan te tonen wat het verdubbelen van het glasoppervlak als effect heeft op de energieprestatie is deze casus opgesteld.

Casus D

In casus D veranderen we niets aan de woning wat betreft het ontwerp. Echter wordt de woning anders georiënteerd om aan te tonen wat het belang is van de oriëntatie op de energieprestatie van de PowerWindow.

Casus E

In casus E wordt totaal niets veranderd aan de woning. In de berekening wordt gebruik gemaakt van dezelfde waardes als in casus A, maar dan in verschillende seizoenen. De zontoetreding is afhankelijk van de jaargetijden en om in kaart brengen wat het verschil is van de energieopbrengst per seizoen worden 3 berekeningen gemaakt, namelijk is maart, augustus en december.

○ Energieopbrengst

Tabel 1: Energieopbrengst PowerWindow onder verschillende condities.

	Glas oppervlak	Oriëntatie	Energieopbrengst		% t.o.v. jaarlijks energieverbruik voorzien
			Uur	Jaaropbrengst	
Casus A (huidige casus)	14,33 m ²	Zuidwest	286 [Wh]	458 [kWh]	14,20 %
Casus B (zonder schaduw)	18,06 m ²	Zuidwest	361 [Wh]	506 [kWh]	15,69 %
Casus C (glasopp. verdubbeld)	28,68 m ²	Zuidwest	574 [Wh]	918 [kWh]	28,46 %
Casus D (oriëntaties)	13,90 m ²	Noordoost	278 [Wh]	445 [kWh]	13,80 %
Casus E (maanden)	14,33 m ²	Zuidwest	286 [Wh]	68,64 [kWh]	2,13 %
• APRIL				42,61 [kWh]	1,32 %
• SEPTEMBER				18,80 [kWh]	0,58 %
• DECEMBER					

Volgens de uitkomsten van de berekeningen kan er worden geconcludeerd dat **Casus C** het hoogste energieopbrengst levert. VORM zal het glasoppervlak kunnen verdubbelen om de energieopbrengst te verhogen.

○ Energieopbrengst PV-paneel

HEK is de installatiebedrijf waar VORM mee samenwerkt. Zij leveren en monteren de PV-panelen voor de woningen. 1m² PV-paneel van HEK levert 160 W op. De energieprestaties van PV-panelen verschillen tussen de 100 – 160 W. Voor een reële vergelijking wordt aangenomen dat 1m² PV-paneel gemiddeld **120 W** oplevert.

De PowerWindow levert 20 W/m². Om aan te tonen wat deze twee energieopwekkende installatie systemen opleveren t.o.v. elkaar wordt in het tabel hieronder de energieopbrengst van beide aangetoond.

	PV-paneel	PowerWindow
Energieopbrengst / m ²	Gemiddeld 120 W	20 W
Jaaropbrengst	0.12 x 1602 = 192 kWh	0.02 x 1602 = 32 kWh

192 : 32 = 6. Dat wil zeggen dat je 6m² PowerWindow nodig hebt om evenveel energie op te leveren als 1m² Pv-paneel. Zonder te letten op je EPC-waarde is het verdubbelen van het glasoppervlak (Casus C) de meest gebruikelijke manier om de energieopbrengst van de PowerWindow te verhogen. In de niet reële maar meest ideale situatie, zoals in casus C levert de PowerWindow ongeveer 918 kWh energie op. Dat kan dezelfde woning behalen met 5m² PV-panelen, zonder de EPC-waarde te verlagen.

Conclusie & Aanbevelingen

De energieopbrengst van een PowerWindow is afhankelijk van een aantal factoren, zoals: coating, oriëntatie, glasoppervlak en zontoetreding. Niet alle factoren zijn in eigen handen en kunnen beïnvloed worden. Wel zijn er een aantal punten die de energieopbrengst van de PowerWindow kan verhogen.

VORM is niet verantwoordelijk voor de werking van de coating en beschikt niet over de expertise die nodig is voor de ontwikkeling van een betere coating en kan dus in deze omstandigheden een PowerWindow toepassen dat 20W/m² beloofd op te leveren.

Conclusie t.a.v. het rekenmodel

Uit de berekeningen kan worden geconcludeerd dat overstekken een grote belemmering zijn voor de energieopbrengst. In casus B is aangetoond dat zonder schaduwwerking de energieopbrengst van dezelfde woning van 286Wh stijgt naar 468 Wh. Zo zien wij in casus C dat het verdubbelen van het glasoppervlak de energieprestatie ook verdubbeld.

Aan de zonnestand en afhankelijk daarvan de zontoetreding valt niet door VORM, maar ook geen ander een verandering aan te brengen als we het hebben over het verhogen van de zonnestralen. Uiteraard kunnen we de zoninstraling verminderen, maar dat is het laatste wat er gewild wordt bij een raam dat deze zonnestralen nodig heeft om energie op te wekken.

Oriëntatie en glasoppervlak zijn daar in tegen onderdelen wel onderdelen waar VORM zich aan kan aanpassen. Ik raad VORM aan om anders te gaan ontwerpen willen ze gebruik blijven maken van de PowerWindow. De aanpassingen zullen vooral gericht moeten zijn op het vermeerderen van het glasoppervlak en het verminderen van overstekken en elementen die zorgen voor schaduwwerking.

Zonder aanpassingen binnen de woning blijft de energieopbrengst erg laag en zal VORM moeten overwegen of zij bereid zijn dingen aan te passen om samen aan een duurzamere woning te werken of niet.

Conclusie t.a.v. VORM

Als er puur gekeken wordt naar de uitkomsten van het rekenmodel is snel te zeggen dat VORM kan beginnen met anders ontwerpen en vooral veel glas kan toepassen binnen de woningen. Die geeft de woning een hogere esthetische waarde wat uiteraard persoonsgebonden is en zal er voor zorgen dat je meer PowerWindows binnen een woning kwijt kan zonder in te leveren op huidig comfort en het belangrijkste; je krijgt er meer energie uit.

Echter is het ook van belang om tijdens deze veranderingen een bouwfysicus te raadplegen over het feit dat er bij meer glasoppervlak andere problemen kunnen voorkomen, zoals het oververhitting bij teveel glas oppervlak dat zonnestralen absorbeert. Samen met de bouwfysicus Jeffrey Koole van IOB die samenwerkt met VORM zijn er een aantal berekeningen gemaakt om na te gaan wat het anders ontwerpen voor gevolgen heeft op de EPC van de woning. Het doel van VORM is net als meerdere aannemersbedrijven de EPC van een woning verlagen. Dat is de reden waarom VORM ook vooral investeert in duurzame innovaties.

In het hoofdstuk gevolgen van aanbevelingen zal worden toegelicht of de aanbevelingen die leiden tot een hoger energieopbrengst ook daadwerkelijk een positief effect hebben op de EPC van de woningen van VORM.

Gevolgen aanbevelingen

Samen met Jeffrey Koole zijn er een aantal berekeningen gemaakt waarmee wordt aangetoond wat de bouwkundige ingrepen binnen de standaard woningen van VORM kan betekenen voor de EPC. In het vorige rapport is vermeld dat de PowerWindow niet opgenomen kan worden in de EPC-berekening, omdat het nog niet bekend is in het rekenmodel. Dat is begrijpelijk, omdat de benodigde gegevens en informatie nog niet bekend is over de PowerWindow. Het product moet eerst getoetst en gemonitord worden wil het opgenomen kunnen worden in het rekenmodel.

Dit obstakel was bij ons bekend, maar met een paar aannames en wijzigingen hebben we toch een aantal EPC-waardes kunnen aantonen die in het tabel hieronder zijn vermeld. Om een EPC-berekening te kunnen maken is er uitgegaan van een pv-paneel, met als wijziging dat het een energieprestatie van 20 W/m² heeft (i.p.v. 160 W/m²) en niet horizontaal maar verticaal is georiënteerd. Dit is niet de meest nauwkeurige berekening, maar het geeft zeker een beeld over het effect van de bouwkundige ingrepen op de woning. De rapporten met de gegevens zijn terug te vinden in bijlage 3.

Tabel 2: verandering in de EPC bij bouwkundige ingrepen.

	Energieopbrengst		Energieverbruik voorzien	EPC
	Uur	Jaaropbrengst		
Huidige woning zonder PowerWindow	-	-	-	0.39
Casus A (huidige casus)	286 [Wh]	458 [kWh]	14,20 %	0.37
Casus B (zonder schaduw)	468 [Wh]	748 [kWh]	23,19 %	0.36
Casus C (glasopp. verdubbeld)	574 [Wh]	918 [kWh]	28,46 %	0.46
Casus D (oriëntaties)	278 [Wh]	445 [kWh]	13,80 %	-
Casus E (maanden)				
• APRIL		68,64 [kWh]	2,13 %	
• SEPTEMBER	286 [Wh]	42,61 [kWh]	1,32 %	
• DECEMBER		18,80 [kWh]	0,58 %	

Uit het tabel hierboven is te zien dat niet alles is zoals het lijkt. Het verdubbelen van het glasoppervlak zal er inderdaad toe leiden dat VORM meer energie opwekt binnen de woning, maar zal door de oververhitting die ontstaat binnen de woning ook meer moeten koelen. Dit zorgt ervoor dat de EPC van de huidige woning van 0.39 stijgt naar 0.46 en dat is zeker niet het gewenste eindresultaat. VORM investeert in de PowerWindow omdat het product op een duurzame manier energie opwekt zonder in te leveren op de dagelijkse luxe, echter zorgt meer glasoppervlak binnen de woningbouw voor een te hoge energieverbruik.

De energieopbrengst van de PowerWindow is minimaal, waardoor het effect op de EPC ook erg laag is. VORM zal moeten overwegen wat de investering zal kosten op dit product en wat je ervoor terug krijgt. VORM kan ervoor kiezen om PowerWindows toe te passen in de huidige woningen zonder er iets aan te wijzigen. Dit zal een positief effect hebben op de EPC, maar dan wel met 0.1 of 0.2 dus erg laag. Hier is VORM zelf vrij in om een keuze te maken. Voor het creëren van

bewustwording op het gebied van duurzaamheid is het een aanrader, echter wat je er voor terug krijgt als energieopbrengst is minimaal.

Al lijkt het verdubbelen van het glasoppervlak de oplossing te zijn voor een hoge energieopbrengst is het juist de slechtste keuze die VORM kan maken, je levert inderdaad meer op, maar je verhoogt je energieverbruik ook enorm in plaats van het te verminderen. Dus dat is een absolute NO GO.

De PowerWindow is een sterk en goed product, maar zeker niet voor de woningbouw. De woningbouw heeft strenge bouwbesluiten en moet hieraan blijven voldoen. Wil VORM dit bereiken is het toepassen van méér PowerWindows geen oplossing. Voor utiliteitsbouw, waar enorme panden al volledig uit glas bestaan en erg energie slurpend zijn, zal de PowerWindow een beter effect hebben dan de woningbouwsector.

Het is erg belangrijk met welke intentie VORM gebruik wil maken van de PowerWindow.

Een **GO** indien:

- VORM bewustwording wilt creëren bij de bewoners
- Tevreden is bij een minimale verbetering van de EPC-waarde

Een absolute **NO GO** indien:

VORM investeert in de PowerWindow om de energieopbrengst te verhogen
De EPC-waarde in grote mate verbeteren.

De nadelige gevolgen van de toepassing van méér PowerWindows wegen in dit geval zwaarder mee dan de energieopbrengst. Je kunt meer energie opwekken met meer glasoppervlak, terwijl dezelfde ingreep leidt tot meer energieverbruik. De ideale situatie zal een combinatie zijn van PV-panelen en PowerWindows. Zoals in de vergelijking met een PV-paneel is aangeduid, levert een PV-paneel meer energie op.

Een standaard woning heeft ongeveer 15m² nuttig glasoppervlak. Dat levert grof genomen 480 kWh/jaar ($15 \times 20 = 300 \text{ W} \rightarrow 0,3 \times 1602 = 480 \text{ kWh/jaar}$). Dat betekent dat dezelfde woning 2,5 m² ($480 : 192 = 2,5$) minder PV-panelen nodig heeft, omdat dezelfde energie nu via het raam wordt opgewekt. Ik adviseer VORM om alleen gebruik te maken van de PowerWindow in de gevallen die hierboven zijn opgesomd en als er een combinatie van PV-panelen en PowerWindows worden toegepast.

Bibliografie

Websites

Daglicht DAKDIDAK. (2016, november 20). *Daglicht en milieu-aspecten*. Opgehaald van dakdidak: <http://www.dakdidak.nl/daglicht-en-milieu-aspecten/>

DAKDIKDAK. (2016, November 10). *Daglicht vuistregels*. Opgehaald van dakdidak: <http://www.dakdidak.nl/daglicht-vuistregels/>

Ho, M. v. (2006). *Onderzoek Daglicht*. Rottredam: MSC 4, Bouwtechniek.

Installatieprofs. (2016, november 15). *Invloed van grote ramen op de isolatie*. Opgehaald van installatieprofs: <https://www.installatieprofs.nl/kennisbank/invloed-van-grote-ramen-op-de-isolatie>

Kennisbank isso. (2016, November 14). *Ruimtelijk ontwerp*. Opgehaald van kennisbank: <http://kennisbank.isso.nl/docs/overig/energievademecum/2015/4>

KNMI. (2016, augustus 8). *Jaar 2015 Warm, zeer zonnig en normale hoeveelheid neerslag*. Opgehaald van knmi: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2015/jaar>

Plazilla. (2016, November 14). *De invloed van de zon op de aarde*. Opgehaald van plazilla: <http://plazilla.com/page/4294987919/de-invloed-van-de-zon-op-de-aarde>

SOLAR-drenthe. (2016, November 25). *Zonne-energie in Nederland*. Opgehaald van SOLAR-drenthe: <http://www.solar-drenthe.nl/informatie/zonne-energie-in-nederland/>

Tabellen

Tabel 1: Energieopbrengst PowerWindow onder verschillende condities..... 8

Tabel 2: verandering in de EPC bij bouwkundige ingrepen. 10

Bijlage

1. Energieprestatie berekening PowerWindow TU

6 PRODUCT ELECTRICITY GENERATING POTENTIAL: MODEL DEVELOPMENT

Regarding the modelling of the wave guiding in the glass and coating(s), first a schematic representation of the emitted light pathway will be given and subsequently explained. Second, in order to be able to quantitatively assess the added value of NG - PW compared to the first generation PW, in the next section the efficiencies and final power output for the first generation PW without additional coatings will be calculated. This is referred to as the 'Base case scenario'. Afterwards then, the same numerical evaluation will also be conducted for NG - PW (referred to as 'NG - PW scenario') and the added value will be quantified and discussed. During the relaxation from the excited state, Tm^{2+} emits the specific NIR light into all directions (all possible angles). In Figure 13 and 14, the schematic representations of the light beam modelling for the 'Base case scenario' and 'NG - PW scenario' are depicted, a legend is provided to indicate the meaning of the colours and arrows. The calculation of the percentages of the trapped light will be explained in the numerical evaluation. In the figures the depicted angles are only proportional to their real values, to keep the size of the figure reasonable.

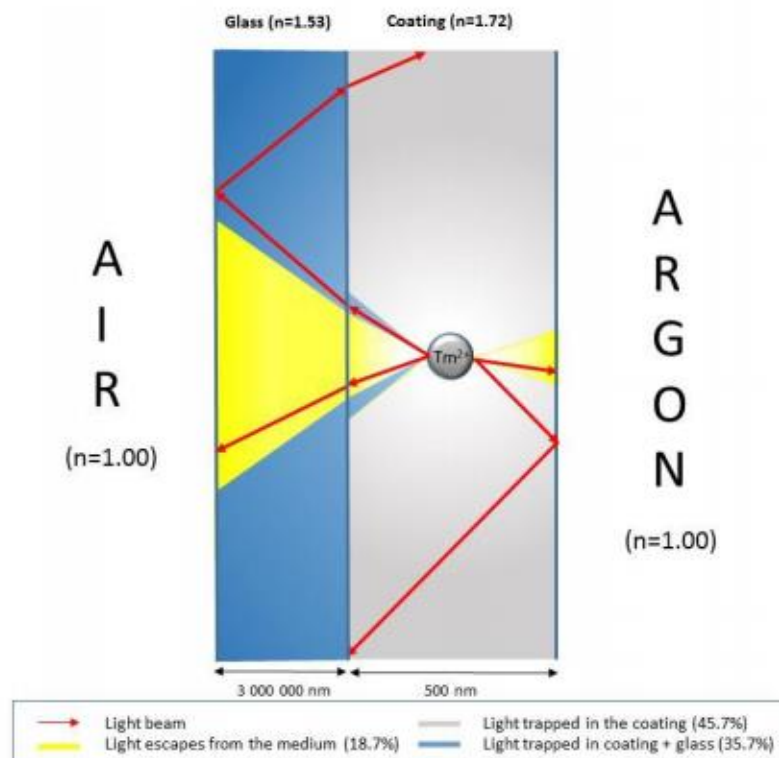


Figure 13: Schematic model of Base case scenario first generation PW.

In Figure 13 all of the light beams that reach the luminescent coating-glass interface under an angle that is larger than the critical angle (60.7°) will be total internal reflected (grey area), while the rest exits from the coating and refracts (blue and yellow area). The portion of the refracted light with a refraction angle larger than 40.8° is reflected from the glass-air interface and re-enters the luminescent coating (blue

area). The remaining part of the refracted light goes through the glass-air interface, refracts again and is lost (yellow area). At the luminescent coating-argon interface the critical angle is 35.6° . Rays with an incident angle greater than this critical angle cannot leave the coating and are total internal reflected, while the remaining rays go into the argon media after refraction and thereof is lost through the escape cone.

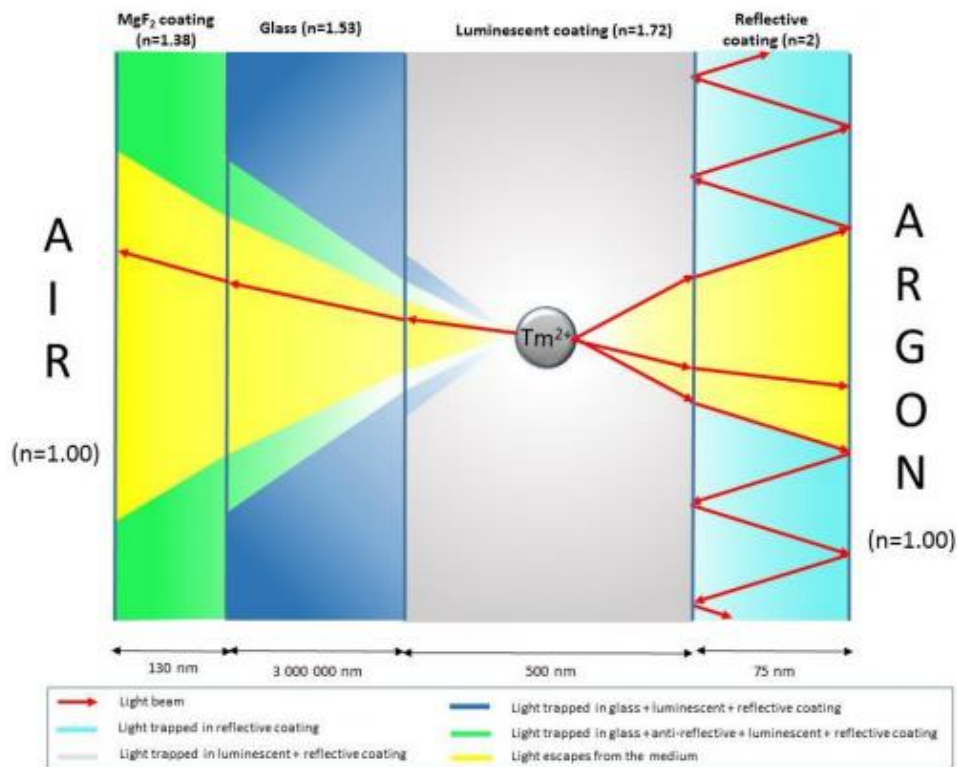


Figure 14: Schematic model of NG - PW scenario with anti-reflective coating (MgF₂) and silver reflective coating.

In case of the NG – PW scenario (Figure 14) the optical pathway is more complicated compared to the Base case scenario (Figure 13). Since the NIR silver reflective layer has the highest refractive index ($n=2.0$), most of the total internal reflection will take place in this coating. The critical angles corresponding to the different interfaces are listed in Table 11.

Table 11: Critical angles of the interfaces in NG - PW.

Interface	Critical angle*
Anti-reflective (MgF ₂) coating – Air	46.4°
Glass – Anti-reflective (MgF ₂) coating	65.2°
Luminescent coating – Glass	62.8°
Reflective coating – Luminescent coating	59.3°
Reflective coating – Argon	30°

* Critical angles were calculated using Eq.10

In Figure 14 the light blue area represents the portion of the light which will be totally internally reflected in the NIR reflective coating, while the yellow area corresponds to the small amount of emitted rays that can actually escape from the NG – PW through the escape cone. The fractions of light that are depicted by the grey, dark blue and green areas will eventually end up in the reflective coating and will be wave guided to the edges of the window by total internal reflection. The only difference between these rays is the location where they are reflected. The light beams represented by the grey area reflect from the luminescent coating-glass interface, while the rays depicted by the deep blue and green fractions reflect from glass-anti-reflective coating and anti-reflective coating-air interfaces respectively.

6.1 Numerical evaluation

For the simplified numerical evaluation of the light modelling for the first generation PW and the NG - PW several heuristics and assumptions have been applied, which are listed in Table 12.

Table 12: Heuristics and assumptions used in the numerical model.

Heuristics and assumptions	Ref.
• The power density of the incoming solar radiation is 900 W/m ² , as is defined for the AM 1.5 direct (+circumsolar) spectrum for a solar concentrator.	[109]
• The calculations are based on the special case of normal incidence (0 degrees), one ray entering at the air/glass or air/MgF ₂ coating interface. This is assumed to be a fair estimate. Including the angle dependence would make the model rather complicated.	[72, 110]
• The refractive indices are taken as constant and the standard reported value are used.	-

6.1.1 Base case scenario

For the base case scenario of the first generation PW, Table 13 gives the values of the various efficiencies used to calculate the optical efficiency of the LSC (η_{opt}) along with a descriptive and/ or quantitative explanation. More information regarding the LSC, efficiencies and loss factors is supplied in the technical background (Appendix A).

Table 13: Efficiencies of the first generation PW.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
η_{LHE} 0.63	Tm ²⁺ inherent property: full absorption up to 900 nm, based on absorption spectra of thulium doped in halides	[2]
η_{LQE} 1	Assumption: the luminescent quantum yield is assumed to be 1	
η_{Stokes} 0.54	Tm ²⁺ inherent property: emitted light at a lower wavelength (1140 nm)	[2]
η_{trap} 0.81	$F_{lost} = 1 - \sqrt{\frac{n_{coating}^2 - n_{air}^2}{n_{coating}^2}} = 1 - \sqrt{\frac{1.72^2 - 1^2}{1.72^2}} = 0.186$ Escape cone loss $F_{coating} = \sqrt{\frac{n_{coating}^2 - n_{glass}^2}{n_{coating}^2}} = \sqrt{\frac{1.72^2 - 1.53^2}{1.72^2}} = 0.457$ Trapped in coating	[111]

$F_{\text{coating+glass}} = \frac{1}{n_{\text{coating}}} \left(\sqrt{n_{\text{coating}}^2 - n_{\text{air}}^2} - \sqrt{n_{\text{coating}}^2 - n_{\text{glass}}^2} \right) =$ $\frac{1}{1.72} \left(\sqrt{1.72^2 - 1^2} - \sqrt{1.72^2 - 1.53^2} \right) = 0.357 \quad \text{Trapped in coating+glass}$		
η_{SA}	1	Tm ²⁺ inherent property: no self-absorption [2]
η_{WG}	0.8	Assumption: losses due to parasitic absorption by the host lattice and glass impurities (such as iron oxide), and scattering losses account for 0.2 [111]
$(1-R)$	0.96	$R = \left(\frac{n_{\text{glass}} - n_{\text{air}}}{n_{\text{glass}} + n_{\text{air}}} \right)^2 = \left(\frac{1.53 - 1}{1.53 + 1} \right)^2 = 0.044$ Reflectance from air to glass, for special case of normal incidence [110]
η_{opt}	0.21	$\eta_{\text{opt}} = \eta_{\text{LHE}} \eta_{\text{LQE}} \eta_{\text{Stokes}} \eta_{\text{trap}} \eta_{\text{SA}} \eta_{\text{WG}} (1 - R) =$ $0.63 * 1 * 0.54 * 0.81 * 1 * 0.8 * 0.96 = 0.21$ [111]

Subsequently, using the optical efficiency of the LSC (η_{opt}) and the efficiency of the CIGS solar cells ($\eta_{\text{PV}(\lambda)}$) at the specific NIR wavelength emission wavelength of thulium, the total power output (E_{out}) generated by 1 m² PW can be calculated. Table 14 summarizes the outcome of that calculation with a descriptive and/ or quantitative explanation.

Table 14: Efficiencies and power output of the first generation PW.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
E_{in}	342 W/m ²	Based on 38% of the AM 1.5 900 W/m ² incoming solar energy [109]
η_{opt}	0.21	As calculated above in Table 13
$\eta_{\text{PV}(\lambda)}$	0.61	Cell power efficiency of CIGS solar cells for 1140 nm. This is considered as a fair efficiency for a PV module working at a specific emission wavelength. The EQE of CIGS is reported to reach 0.90 for a specific NIR wavelength and the normal efficiency of CIGS can reach 0.20, hence an efficiency of 0.50-0.65 should be reasonable. [2, 112]
E_{out}	44.2 W/m ²	$E_{\text{out}} = E_{\text{in}} \eta_{\text{opt}} \eta_{\text{PV}(\lambda)} = 342 * 0.21 * 0.61 = 44.2$ [113]

As it is apparent from Table 13 and 14, the efficiencies and power output are dependent on many factors. The final total power output (E_{out}) for 1 m² PW is approximated as 44.2 W/m².

6.1.2 NG – PW scenario

Next, the same calculation steps are followed for the NG – PW, which comprises two additional coatings, which will increase the light capture efficiency and furthermore enhance the light to electricity conversion. Specifically, the addition of the anti-reflective layer will increase the transmission of entering solar light and reduce the reflection (R). Second, the addition of the NIR reflective coating will reduce the escape losses from the coating-argon interface and consequently increase the trapping efficiency (η_{trap}).

Table 15 gives the values of the various efficiencies for NG – PW along with a descriptive and/ or quantitative explanation.

Table 15: Efficiencies of NG – PW.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
η_{LHE} 0.63	Tm ²⁺ inherent property: full absorption up to 900 nm, based on absorption spectra of thulium doped in halides	[2]
η_{LQE} 1	Assumption: the luminescent quantum yield is assumed to be 1	
η_{Stokes} 0.54	Tm ²⁺ inherent property: emitted light at a lower wavelength (1140 nm)	[2]
	$F_{lost} = 1 - \sqrt{\frac{n_{coating}^2 - n_{air}^2}{n_{coating}^2}} = 1 - \sqrt{\frac{1.72^2 - 1^2}{1.72^2}} = 0.186$	Escape cone loss
η_{trap} 0.87	$R_{NIR} = \left(\frac{F_{lost}}{2}\right) * 0.60 = 0.0559$	Reflected NIR emitted light [111]
	$F_{lost,new} = 0.186 - 0.0559 = 0.13$	Escape cone loss corrected for reflected NIR light
η_{SA} 1	Tm ²⁺ inherent property: no self-absorption	[2]
η_{WG} 0.8	Assumption: losses due to parasitic absorption by the host lattice and glass impurities (such as iron oxide), and scattering losses account for 0.2	[111]
	$A_1 = \frac{(n_{coating} - n_{air})}{(n_{coating} + n_{air})} = \frac{(1.38 - 1)}{(1.38 + 1)} = 0.160$	Reflectance from air to anti-reflection coating, for special case of normal incidence. [110, 114]
(1-R) 0.99	$A_2 = \frac{(n_{glass} - n_{coating})}{(n_{glass} + n_{coating})} = \frac{(1.53 - 1.38)}{(1.53 + 1.38)} = 0.052$	
	$R = (A_1 - A_2)^2 = (0.160 - 0.052)^2 = 0.012$	Reflections are 180° out of phase
η_{opt} 0.23	$\eta_{opt} = \eta_{LHE} \eta_{LQE} \eta_{Stokes} \eta_{trap} \eta_{SA} \eta_{WG} (1 - R) =$ $0.63 * 1 * 0.54 * 0.87 * 1 * 0.8 * 0.99 = 0.23$	[111]

Subsequently, the total power output (E_{out}) generated by 1 m² NG - PW can be calculated. Table 16 describes this calculation and gives the total power output, as well as the gain in power compared to the Base case scenario. In addition to that, not only the NIR radiation emitted by thulium will be wave guided towards the CIGs solar cells by the silver reflective coating, but also the NIR light from the AM 1.5 solar spectrum itself can be captured by the CIGS cells. The NIR range from 1000-1200 nm of the solar spectrum is taken into account and represents 10% of the AM 1.5 direct + circumsolar spectrum [109]. This can increase the final power output of NG – PW even more significantly. In Figure 15 the NIR 1000-1200 nm solar radiation part is indicated in red.

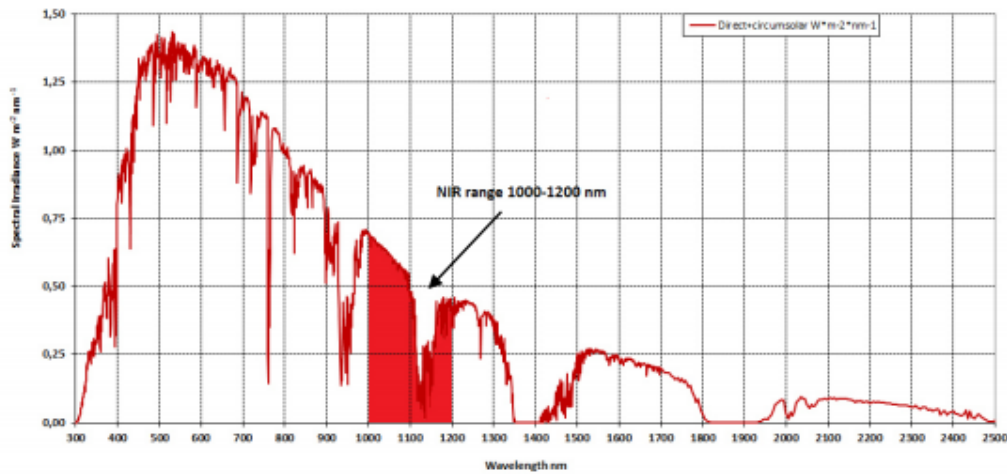


Figure 15: NIR range 1000-1200 nm AM 1.5 direct + circumsolar spectrum.

Table 17 describes the calculation for the additional power output and gives the final power output of NG – PW according to the outlined heuristics and assumptions.

Table 16: Efficiencies, power output and power gain of NG – PW.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
E_{in}	342 W/m ² Based on 38% of the AM 1.5 900 W/m ² incoming solar energy	[109]
η_{opt}	0.23 As calculated above in Table 15	
$\eta_{PV(\lambda)}$	0.61 Cell power efficiency of CIGS solar cells for 1140 nm. This is considered as a fair efficiency for a PV module working at a specific emission wavelength. The EQE of CIGS is reported to reach 0.90 for a specific NIR wavelength and the normal efficiency of CIGS can reach 0.20, hence an efficiency of 0.50-0.65 should be reasonable.	[2, 112]
E_{out}	48.8 W/m ² $E_{out} = E_{in} \eta_{opt} \eta_{PV(\lambda)} = 342 * 0.23 * 0.61 = 48.8$	[113]
ΔE	4.6 W/m ² (=10.5%) $\Delta E = 48.8 - 44.2 = 4.6$ Power gain compared to PW	

Concluding from Table 16, the addition of the anti-reflective and NIR reflective coating increases the total power output with 10.5% (4.6 W/m²). Hence, the total power output (E_{out}) for 1 m² of the NG – PW with additional coatings is approximated as 48.8 W/m².

Table 17: Efficiency and power output NIR reflected sunlight and total power output with power gain.

Efficiency	Description and/ or calculation	Ref.
E_{in}	90 W/m ² Based on 10% of the AM 1.5 900 W/m ² incoming NIR solar energy (spectrum range of 1000-1200 nm)	[109]
η_{opt}	0.39 $\eta_{opt} = \eta_{trap} \eta_{ref} \eta_{WG} (1 - R) = 0.81 * 0.6 * 0.8 * 0.99 = 0.39$	

$\eta_{PV(\lambda)}$	0.61	Cell power efficiency of CIGS solar cells for 1140 nm. This is considered as a fair efficiency for a PV module working at a specific emission wavelength. The EQE of CIGS is reported to reach 0.90 for a specific NIR wavelength and the normal efficiency of CIGS can reach 0.20, hence an efficiency of 0.50-0.65 should be reasonable. [2, 112]	
$E_{out,NIR}$	21.2 W/m ²	$E_{out} = E_{in} \eta_{opt} \eta_{PV(\lambda)} = 90 * 0.39 * 0.61 = 21.2$	[113]
$E_{out,total}$	70.0 W/m ²	$E_{out,total} = E_{out} + E_{out,NIR} = 48.8 + 21.2 = 70.0$	
ΔE_{total}	25.8 W/m ² (=58.4%)	$\Delta E = 70.0 - 44.2 = 25.8$	Power gain compared to PW

Additionally, by adding the power output of the reflecting NIR radiation of the entering sunlight the power output of NG – PW can be increased with a total of 58.4% compared to the Base case scenario (Table 17). Hence, the final total power output of 1 m² NG - PW is then approximated as 70 W/m².

2. Rekenmodel

▪ Casus A

De oppervlakte die is berekend is als volgt voor de woning met bouwnummer 22

Glasoppervlak voorgevel = 12,13 m²

Glasoppervlak achtergevel = 10,15 m²

Totale glasoppervlakte = 22,28 m²

Energieopbrengst = $\text{gem. zonuren} \times ((A_{\text{nutz, zuidwest}} \times \eta_{\text{indirect lichtinval}}) + (A_{\text{nutz, noordoost}} \times \eta_{\text{indirect lichtinval}})) \times \text{Energieopbrengst PW op jaarbasis [kWh/jaar]}$

Energieopbrengst [kWh] = $((8,575 \times 1,05) + (5,075 \times 1,05)) \times 20 =$

Energieopbrengst[Wh]= $(9,003) + (5,328) \times 20 =$

Energieopbrengst [kWh] = $14,331 \times 20 = \mathbf{286,62 [Wh]}$
o.286[kWh]

Jaaropbrengst

Jaaropbrengst [kWh/jaar] = $\text{gem. zonuren (2015) [h]} \times \text{Energieopbrengst [kWh]}$
 $1602 \times 0.286 = 458,17 \text{ kWh/jaar}$

Uit de toetsing bouwbesluit 6D wonen van het Raadhuispark blijkt dat de woning bnr. 22 een energieverbruik heeft van 3.225 kWh/jaar.

Jaarrendement % = $\text{jaaropbrengst [kWh]} : \text{jaarlijks elektriciteitsverbruik [kWh]} \times 100 =$
 $458,17 : 3225 = 0.1420 \times 100 = \mathbf{14,20 \%}$

Dit betekent dat bnr. 22 voorzien met de PowerWindow een rendement oplevert van 14,20% van het jaarlijks

▪ **Casus B**

De oppervlakte die is berekend is als volgt voor de woning met bouwnummer 22

Glasoppervlak voorgevel = 12,13 m²

Glasoppervlak achtergevel = 10,15 m²

Totale glasoppervlakte = 22,28 m²

Energieopbrengst op jaarbasis [kWh/jaar] = $\text{gem. zonuren} \times ((A_{\text{nut, zuidwest}} \times \eta_{\text{indirect lichtinval}}) + (A_{\text{nut, noordoost}} \times \eta_{\text{indirect lichtinval}})) \times \text{Energieopbrengst PW}$

Energieopbrengst [kWh] = $((12,13 \times 1,05) + (5,075 \times 1,05)) \times 20 =$

Energieopbrengst [Wh] = $(12,73 + 5,328) \times 20 =$

Energieopbrengst [kWh] = $18,058 \times 20 = \mathbf{361,16 [Wh]}$
 $0,361 [kWh]$

Jaaropbrengst

Jaaropbrengst [kWh/jaar] = gem. zonuren (2015) [h] x Energieopbrengst [kWh]
 $1602 \times 0,361 = 506,23 \text{ kWh/jaar}$

Uit de toetsing bouwbesluit 6D wonen van het Raadhuispark blijkt dat de woning bnr. 22 een energieverbruik heeft van 3.225 kWh/jaar.

Jaarrendement % = jaaropbrengst [kWh] : jaarlijks elektriciteitsverbruik [kWh] x 100 =
 $506,23 : 3225 = 0,1569 \times 100 = \mathbf{15,69 \%}$

Dit betekent dat bnr. 22 voorzien met de PowerWindow een rendement oplevert van 15,69 % van het jaarlijks elektriciteitsverbruik.

■ Casus C

De oppervlakte die is berekend is als volgt voor de woning met bouwnummer 22

$$\begin{aligned}\text{Glasoppervlak voorgevel} &= 24,26 \text{ m}^2 \\ \text{Glasoppervlak achtergevel} &= 20,30 \text{ m}^2 \\ \text{Totale glasoppervlakte} &= 44,56 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Energieopbrengst op jaarbasis [kWh/jaar]} = \text{gem. zonuren} \times \left(\left(A_{\text{nut, zuidwest}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}} \right) + \left(A_{\text{nut, noordoost}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}} \right) \right) \times \text{Energieopbrengst PW}$$

$$\text{Energieopbrengst op jaarbasis [kWh/jaar]} = \left(17,15 * 1,05 \right) + \left(10,15 * 1,05 \right) \times 20 =$$

$$\text{Energieopbrengst [Wh]} = \left(18,00 + 10,68 \right) \times 20 =$$

$$\text{Energieopbrengst [kWh]} = 28,68 \times 20 = 573,60 \text{ [Wh]} \\ 0.573 \text{ [kWh]}$$

Jaaropbrengst

$$\text{Jaaropbrengst [kWh/jaar]} = \text{gem. zonuren (2015) [h]} \times \text{Energieopbrengst [kWh]} \\ 1602 \times 0.573 = 917,9 \text{ kWh/jaar}$$

Uit de toetsing bouwbesluit 6D wonen van het Raadhuispark blijkt dat de woning bnr. 22 een energieverbruik heeft van 3.225 kWh/jaar.

$$\text{Jaarrendement \%} = \text{jaaropbrengst [kWh]} : \text{jaarlijks elektriciteitsverbruik [kWh]} \times 100 = \\ 917,9 : 3225 = 0.2846 \times 100 = 28,46\%$$

Dit betekent dat bnr. 22 voorzien met de PowerWindow een rendement oplevert van 28,46 % van het jaarlijks elektriciteitsverbruik.

▪ **Casus D**

Huidige casus NO georiënteerd

De oppervlakte die is berekend is als volgt voor de woning met bouwnummer 22

Glasoppervlak voorgevel = 12,13 m²

Glasoppervlak achtergevel = 10,15 m²

Totale glasoppervlakte = 22,28 m²

Energieopbrengst op jaarbasis [kWh/jaar] = $\text{gem. zonuren} \times ((A_{\text{nut, zuidwest}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}}) + (A_{\text{nut, noordoost}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}})) \times \text{Energieopbrengst PW}$

Energieopbrengst op jaarbasis [kWh/jaar] = $((7,176 * 1,05) + (6,065 * 1,05)) \times 20 =$

Energieopbrengst[Wh]= $(7,534 + 6,368) \times 20 =$

Energieopbrengst [kWh] = $13,902 \times 20 = 278,04[\text{Wh}]$
 $0.278 [\text{kWh}]$

Jaaropbrengst

Jaaropbrengst [kWh/jaar] = $\text{gem. zonuren (2015) [h]} \times \text{Energieopbrengst [kWh]}$
 $1602 \times 0.278 = 445,35 \text{ kWh/jaar}$

Uit de toetsing bouwbesluit 6D wonen van het Raadhuispark blijkt dat de woning bnr. 22 een energieverbruik heeft van 3.225 kWh/jaar.

Jaarrendement % = $\text{jaaropbrengst [kWh]} : \text{jaarlijks elektriciteitsverbruik [kWh]} \times 100 =$
 $445,35 : 3225 = 0.1380 \times 100 = 13,80 \%$

Dit betekent dat bnr. 22 voorzien met de PowerWindow een rendement oplevert van 13,80 % van het jaarlijks elektriciteitsverbruik.

▪ Casus E

De oppervlakte die is berekend is als volgt voor de woning met bouwnummer 22

Glasoppervlak voorgevel	= 12,13 m ²
Glasoppervlak achtergevel	= 10,15 m ²
Totale glasoppervlakte	= 22,28 m²

Energieopbrengst = $\text{gem. zonuren} \times ((A_{\text{nut, zuidwest}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}}) + (A_{\text{nut, noordoost}} * \eta_{\text{indirect lichtinval}})) \times \text{Energieopbrengst PW}$
 op jaarbasis [kWh/jaar]

MAART

Energieopbrengst = $(8,575 * 1,05) + (5,075 * 1,05) \times 20 = 286,64 \text{ [Wh]}$
 op jaarbasis [kWh/jaar] 0.286 [kWh]

AUGUSTUS

Energieopbrengst = $(8,575 * 1,05) + (5,075 * 1,05) \times 20 = 286,64 \text{ [Wh]}$
 op jaarbasis [kWh/jaar] 0.286 [kWh]

DECEMBER

Energieopbrengst = $(8,575 * 1,05) + (5,075 * 1,05) \times 20 = 286,64 \text{ [Wh]}$
 op jaarbasis [kWh/jaar] 0.286 [kWh]

Jaaropbrengst

Jaaropbrengst [kWh/jaar] = gem. zonuren (2015) [h] x Energieopbrengst [kWh]

APRIL	240	x	0.286	= 68,64 kWh/jaar
SEPTEMBER	149	x	0.286	= 42,61 kWh/jaar
DECEMBER	66	x	0.286	= 18,8 kWh/jaar

Uit de toetsing bouwbesluit 6D wonen van het Raadhuispark blijkt dat de woning bnr. 22 een energieverbruik heeft van 3.225 kWh/jaar.

Jaarrendement % = jaaropbrengst [kWh] : jaarlijks elektriciteitsverbruik [kWh] x 100 =

MAART	68,64	:	3225	= 0.0213	x 100	= 2,13 %
AUGUSTUS	42,61	:	3225	= 0.0132	x 100	= 1,32 %
DECEMBER	18,80	:	3225	= 0.0058	x 100	= 0,58 %

3. EPC-berekeningen

- Huidige woning zonder PowerWindow
- Huidige woning met PowerWindow
- Woning zonder schaduw met PowerWindow
- Woning met verdubbeld glasoppervlak