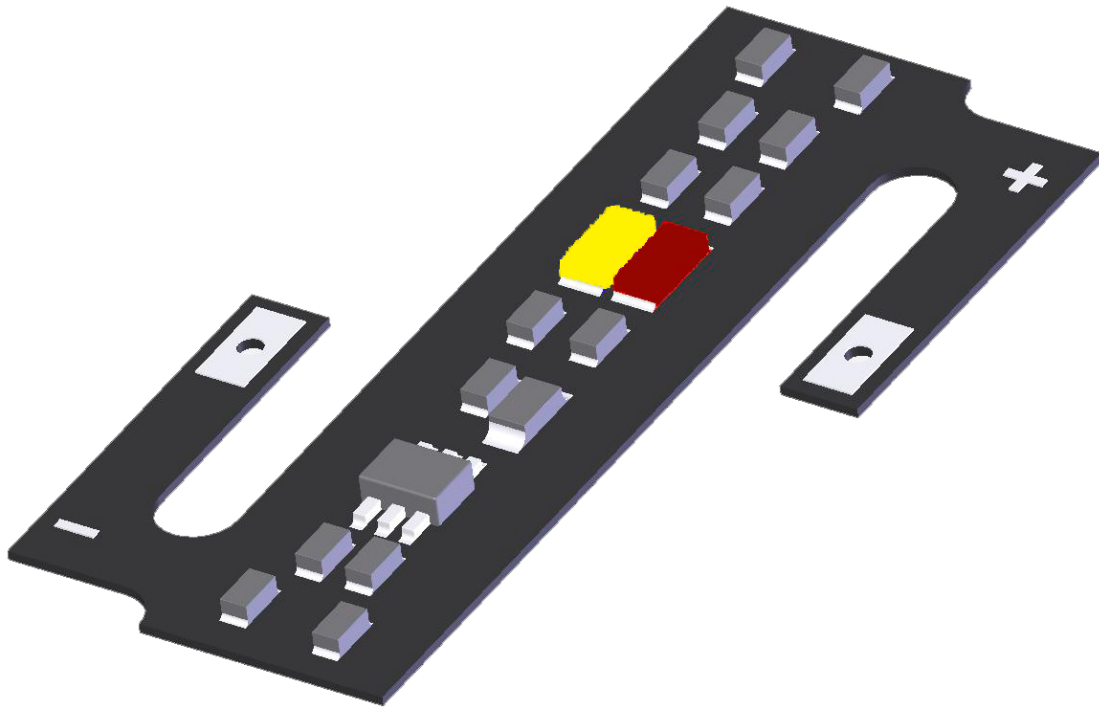


Haalbaarheidsstudie visuele indicator voor functioneren pv-modules

1 november 2005



OKE-SERVICES
Keizerstraat 121, 2584 BD Den Haag



Colofon

Dit rapport bevat de resultaten van de haalbaarheidsstudie naar een visuele indicator voor het functioneren van PV-modules, de PV-watchdog. Het project is door de Nederlandse overheid financieel ondersteund vanuit het BSE-DEN programma (projectnummer 2020-03-13-21-001), dat wordt uitgevoerd door SenterNovem, Postbus 8242, 3503 RE Utrecht.

Projectpartners

- Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
- OJA-Services (OJA).
- OKE-Services (OKE)

Auteurs

- Irene de Jong, Henk Oldenkamp

Eindredactie

- Irene de Jong

Informatie

- OKE-Services, Keizerstraat 121, 2584 BD Den Haag
- Email: oke@euronet.nl
- Website: www.pv-watchdog.com

Voorwoord en samenvatting

In 2002 hoorde ik van Jaap Eikelboom (ECN) dat uit een door hem verricht praktijkexperiment met een infrarood camera was gebleken dat veel PV-systemen niet functioneren zoals het zou moeten, terwijl de PV-systeem-eigenaren dit zich niet eens realiseren. Hij durfde op dat moment geen concrete "getallen", of beter gezegd percentages te geven, maar uit zijn praktijkexperiment was gebleken dat dat dit wel eens veel meer zou kunnen zijn dan wij ooit hadden willen weten. In die tijd werd ik ook steeds vaker geconfronteerd met emails van PV-systeem-eigenaren die vermoedden dat hun OK4-tjes, en dus hun PV-systeem mogelijk niet goed werkte, doch zij waren niet in staat om te controleren of dit wel of niet zo was. Met name door dit laatste – natuurlijk – was ik getriggered. Hoe zou ik een eenvoudige maar vooral zeer goedkope monitoringfaciliteit kunnen maken, zodat voor iedereen duidelijk is of hun PV-systeem of PV-module goed werkt, dat wil zeggen optimaal werkt gezien de externe omstandigheden, zoals instraling en omgevingstemperatuur?

In die tijd was ik druk bezig met PV-wirefree; het doel van PV-wirefree is de BOS-kosten te minimaliseren. Dit doen we door het integreren van functies in componenten – en daarmee minimaliseren we het aantal BOS-componenten tot slechts drie. Maar het PV-wirefree concept wil ook de installatiekosten zoveel als mogelijk beperken. Met name het "doormeten" van een geïnstalleerd PV-systeem kost veel tijd, vooral als blijkt dat er ergens een "kink in de kabel zit".

Deze twee invalshoeken, eigenlijk problemen, brachten me op het idee van een "visuele indicator": gewoon een LED die aangeeft of de PV-installatie, beter gezegd of elke PV-module, goed werkt of juist niet. Dat maakt het werk van de PV-installateur eenvoudig – hij hoeft alleen te kijken of de LED aangeeft of alles "OK" is – en bovenal geeft het PV-systeem-eigenaren uitsluitel of hun PV-systeem "goed" of "niet goed" werkt.

Tegen de tijd dat ik de subsidie-aanvraag voor de "Haalbaarheidsstudie visuele indicator voor functioneren PV-modules" in september 2003 bij SenterNovem – toen nog Novem – indiende had ik het natuurlijk al een beetje in mijn hoofd. Zo'n PV-module-indicator hoefde helemaal niet zo moeilijk te zijn. Immers, een PV-cel is niet meer dan een silicium diode, aangezien we spreken over P-N-overgangen. Dus door de PV-module-indicator te integreren in de PV-module – waardoor deze dezelfde temperatuur en instraling voelt als de PV-cellen – zou het toch eenvoudig moeten zijn na te gaan – en dus via een LED weer te geven - of de spanning in de PV-module zeg meer dan 5% afwijkt van de MPP-spanning. En dus zou het mogelijk moeten zijn de kosten van zo'n PV-module indicator bijzonder laag te houden.

Maar zo simpel als ik het toen in gedachten had, bleek het niet te zijn. Het prototype van de PV-watchdog, gebaseerd op het idee dat ik toen in gedachten had bleek slechts binnen bepaalde grenzen "goed aan te geven" wanneer de PV-module wel/niet goed werkte. Na een nadere verkenning van dit probleem, konden we niet anders dan twijfelen aan onze aanname en belangrijkste uitgangspunt, namelijk dat een PV-cel zich gedraagt als een diode en/of transistor.

Dit heeft geresulteerd in een uitgebreide analyse van het gedrag van diodes, transistoren alsmede van PV-cellen. Om de theorie te vergelijken met de praktijk zijn een groot aantal metingen verricht. En succesvol, want de resultaten hebben het gewenste inzicht opgeleverd, en op basis van deze nieuwe inzichten heb ik een ontwerp gemaakt van een PV-module-indicator, die precies doet wat ervan verwacht wordt: aangeven of de PV-module wel/niet goed werkt. Nadrukkelijk wil ik erop wijzen dat in dit rapport slechts een fractie van alle verrichte metingen wordt besproken.

Maar het uiteindelijk ontwerp is anders geworden dan ik in eerste instantie in gedachten had. Helaas met meer componenten en ingewikkelder, en dus een hogere kostprijs, toch wel een domper. Echter, gezien de grote behoefte – mede gezien de emails die we nog wekelijks krijgen – aan een simpele eenduidige indicator die aangeeft of een PV-systeem werkt, denk ik dat de PV-module indicator nog steeds (commerciële) kans van slagen heeft, ondanks de ietwat hogere prijs.

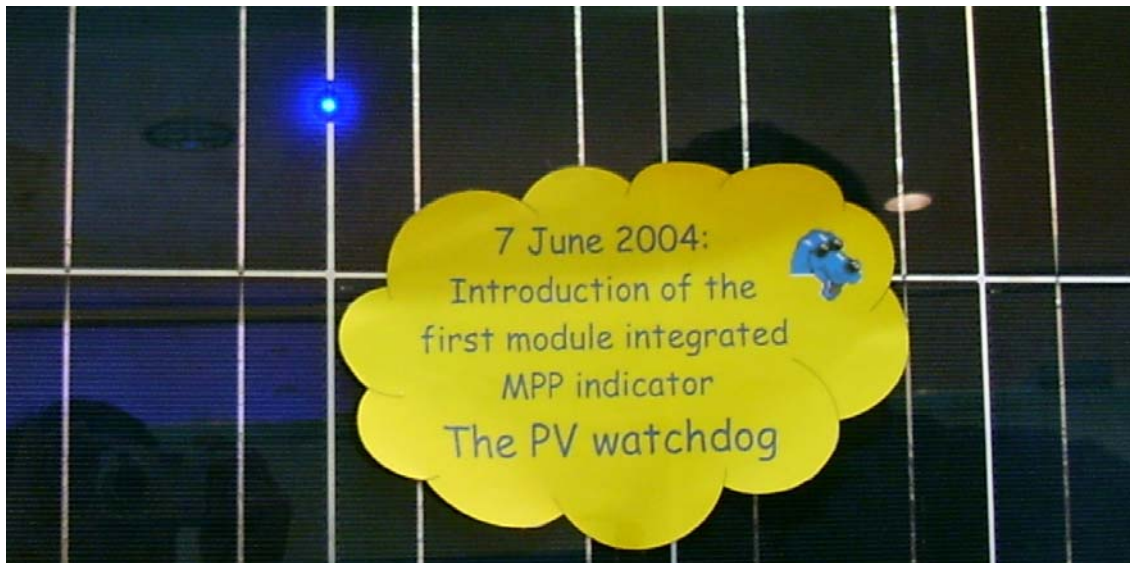
Een van de redenen dat de kostprijs van de uiteindelijke PV-module-indicator hoger uitvalt, is dat – anders dan voorzien – deze nu ook een infrarode LED bevat. Het besluit om deze toe te voegen is gebaseerd op vragen uit de markt. Uit intensieve gesprekken met representanten verantwoordelijk voor de monitoring van zeer grootschalige PV-systemen blijkt dat er behoefte is aan een minder ingewikkelde, minder gedetailleerde wijze van monitoring. De infrarode LED biedt beheerders van grootschalige PV-systemen om in "één oogopslag" te zien of alle PV-modules nog goed werken, dan wel welke PV-modules niet meer goed functioneren.

Het zal duidelijk zijn dat het ontwerpen van de PV-module-indicator heel wat meer voeten in de aarde heeft gehad dan in bij het begin van het project gedacht. Met name de niet voorziene theoretische analyse en verificatie van de theorie heeft veel tijd gekost. Niet in de laatste plaats omdat hiervoor vele metingen – zowel aan diodes als PV-cellen – verricht moesten worden. Mijn grote dank gaat dank ook uit naar ECN, die bereid zijn geweest meerdere cellen – zowel multi- als monokristallijn – en zelfs hele PV-modules door te meten.

De samenwerking met ECN was dan ook perfect. Met name wil ik Mark Jansen en Andries Tip danken voor hun grote inzet bij het nog "even heel snel" maken – dit is definitely een understatement – van een PV-module met geïntegreerde PV-module indicator voor de 19th EPSEC in juni 2004. Ook dank aan Nico van de Borg voor de veldmetingen; dat verliep weer als vanouds bijzonder soepel. En tenslotte natuurlijk Paul de Jong, die gedurende het gehele project steeds nieuwe inzichten – en meetresultaten – inzake PV-cel-gedrag is blijven aandragen. Alleen daardoor was het mogelijk om inzicht te krijgen in het "diode-gedrag" van PV-cellen, en dus een PV-watchdog te maken, die daadwerkelijk weergeeft of het "OKE" of "niet-OKE" is.

Tenslotte natuurlijk grote dank aan SenterNovem, die - weliswaar na enige aarzeling – bereid was deze haalbaarheidsstudie financieel te ondersteunen.

Henk Oldenkamp
maart 2005



PV-wirefree laminaat met PV-watchdog zoals getoond op de gezamenlijke Holland Solar stand tijdens de 19th EPSEC [Foto: John van Roosmalen, ECN]

Inhoudsopgave

Voorwoord en samenvatting	3
Inhoudsopgave	5
1. Achtergrond en doelstelling	7
1.1. Achtergrond	7
1.2. Doelstellingen haalbaarheidsstudie	7
1.3. Uitgebreide beschrijving van de doelstelling en detailvragen	7
2. Samenwerking met andere partijen	9
2.1. Wijze van samenwerking	9
2.2. Octrooi	9
2.3. Een pakkende naam: PV-watchdog	9
3. Werkzaamheden en resultaten	11
3.0. Inleiding	11
A. Inventariseren van eisen en een eerste prototype	12
3.1. Kosten	12
3.2. Inventariseren eigenschappen PV-cellen	12
3.3. Meelamineren	13
3.4. Betrouwbaarheid	14
3.5. Visuele aspecten	14
3.6. Pakket van eisen: beoogde specificaties	15
3.7. Voorlopig ontwerp: hoe het werkt	16
3.8. Maken van het prototype	17
B. Evaluatie van het prototype	18
3.9. Metingen aan prototype	18
3.10. Visuele aspecten en functionaliteit	18
3.11. Betrouwbaarheid en levensduur	20
3.12. Meelamineren van sensor	20
C. Herbezinning: studie naar gedrag van halfgeleiders en zonnecellen	21
3.13. Gedrag van halfgeleiders	Error! Bookmark not defined.
3.14. Gedrag van zonnecellen	Error! Bookmark not defined.
3.15. Matchen van de PV-watchdog met het celgedrag	Error! Bookmark not defined.
D. Een nieuw ontwerp	Error! Bookmark not defined.
3.16. Specificaties nieuw ontwerp	Error! Bookmark not defined.
3.17. Definitief ontwerp PV-watchdog	Error! Bookmark not defined.
E. Evaluatie	22
3.18. Kost- en verkoopprijs PV-watchdog	22
3.19. Is een PV-watchdog zinvol en haalbaar?	24
4. Beoordeling van de resultaten	25
4.0. Inleiding	25
4.1. Beoordelingsaspecten	25
4.2. Resultaten	27
5. Publiciteit	29
5.1. 19th EPSEC	29
5.2. Nominatie voor ID-NL prijs	29
6. Hoe verder?	Error! Bookmark not defined.

1. Achtergrond en doelstelling

1.1. Achtergrond

Directe aanleiding voor het idee van de PV-module indicator was een door ECN uitgevoerde verkennende studie waaruit bleek dat veel PV-systemen niet optimaal functioneren, terwijl dit niet wordt opgemerkt [1, 2]. Hoewel uit deze studie niet bleek waarom de betreffende PV-systemen niet goed functioneren, was wel duidelijk dat PV-systeem-eigenaren het "simpelweg niet weten". Redenen voor het niet goed functioneren van een PV-systeem kan aan vele zaken liggen, zoals een niet goede installatie, een niet (meer) werkende inverter, etc. Indien de eigenaren of gebruikers zouden weten dat hun PV-systeem niet of niet optimaal functioneert, dan zouden zij hoogstwaarschijnlijk actie ondernemen. Kortom, er gaan veel zonnestroom-kilowatturen verloren, terwijl dit niet hoeft.

In die tijd was ik druk bezig met PV-wirefree; het doel van PV-wirefree is de BOS-kosten te minimaliseren. Dit doen we door het integreren van functies in componenten – en daarmee minimaliseren we het aantal BOS-componenten tot slechts drie. Maar het PV-wirefree concept wil ook de installatiekosten zoveel als mogelijk beperken. Met name het "doormeten" van een geïnstalleerd PV-systeem kost veel tijd, vooral als blijkt dat er ergens een "kink in de kabel zit".

Deze twee invalshoeken, eigenlijk problemen, brachten me op het idee van een "visuele indicator": gewoon een LED die aangeeft of de PV-installatie, beter gezegd of elke PV-module, goed werkt of juist niet. Dat maakt het werk van de PV-installateur eenvoudig – hij hoeft alleen te kijken of de LED aangeeft of alles "OK" is – en bovenal geeft het PV-systeem-eigenaren uitsluitel of hun PV-systeem "goed" of "niet goed" werkt.

1.2. Doelstellingen haalbaarheidsstudie

Het doel van het project is na te gaan of een PV-module indicator, die een visuele indicatie – door middel van één of meerdere LEDs - geeft over het wel of niet optimaal functioneren van een PV-module, kan worden ontwikkeld tegen een aanvaardbare kostprijs.

Hiermee kan een bijdrage worden geleverd aan het oplossen van de volgende praktijkproblemen:

1. De installatie wordt sterk vereenvoudigd; de installateur hoeft nog slechts naar de PV-module indicator te kijken om na te gaan of de installatie succesvol is afgerond. Dit betekent dat (extra) metingen niet meer nodig zijn en dit bespaart waardevolle tijd.
2. Indien een PV-systeem niet optimaal functioneert is op basis van de indicatoren eenvoudig af te leiden waar het probleem in het PV-systeem zich voordoet. Ook dit bespaart waardevolle analyse- en meettijd.
3. De indicator maakt met name voor "particulieren" een eenvoudige monitoring mogelijk. De PV-module indicator geeft immers aan of het systeem werkt zoals het moet, of dat er problemen zijn. Nadrukkelijk zij vermeld dat de beoogde PV-module indicator "nauwkeuriger" zal zijn dan "echt meten".

1.3. Uitgebreide beschrijving van de doelstelling en detailvragen

Kortom, zo'n visuele indicator voor PV-modules lijkt grote voordelen te bieden. Maar de vraag is of deze ook haalbaar is, zowel in technische als economische zin.

Laten we daarom eerst kort ingaan op hoe – aan het begin van het project – vorm gegeven zou kunnen worden aan zo'n PV-module indicator. Het idee is de visuele indicator – met LEDs - te integreren in de PV-module, met andere woorden deze zal meegelamineerd dienen te worden met de PV-cellen. Hierdoor voelt de visuele indicator dezelfde temperatuur als de zonnecellen, zodat mag worden verwacht dat door alleen de spanning, temperatuur en instraling te meten – dus niet de

stroom - toch over een breed temperatuurbereik een voldoende betrouwbare indicatie kan worden gegeven over het functioneren van de betreffende PV-module. Ten tijde van de aanvraag van de subsidie voor onderhoudig project werd gedacht aan de volgende indicatie: rode LED betekent $V > V_{mpp}$, groene LED betekent $V \approx V_{mpp}$, geen indicatie betekent $V < V_{mpp}$.

Maar is dit technische haalbaar en realistisch? Daarvoor moet immers de PV-module indicator voldoen aan een aantal eisen inzake meelamineren, levensduur en bovenal accuraatheid van de LED-indicatie. In deze projectrapportage wordt derhalve ingegaan op de volgende detailvragen:

- Is het mogelijk een sensor te ontwikkelen die op basis van het meten van de spanning van enkele cellen bepaalt of de gehele PV-module functioneert in de buurt van het Maximum Power Point (MPP)?
- Kan de sensor – inclusief de LEDs - meegelamineerd worden, en zo ja, aan welke eisen dient de sensor dan te voldoen (hoogte, breedte sensor, etc.)?
- Wat is de verwachte levensduur van de sensor mede op basis van de eindige levensduur van de LED? Ligt deze in dezelfde orde van grootte als van een PV-module?

Daarnaast wordt mede ingegaan op de kosten van de PV-module-indicator, alsmede visuele eisen die aan de PV-module-indicator worden gesteld.

Voor elk van deze aspecten zijn de eisen – dan wel vanuit de markt, dan wel vanuit technisch opzicht – geïnventariseerd. Vervolgens is op basis daarvan een prototype van een PV-module indicator gemaakt. Deze is getest en naast de oorspronkelijke eisen gelegd. Discrepancies tussen eisen en resultaat hebben geleid tot een herbezinning en een definitief ontwerp van de PV-module indicator.

2. Samenwerking met andere partijen

2.1. Wijze van samenwerking

Het project is uitgevoerd door OKE-Services, ondersteund door OJA-Services, in nauwe samenwerking met het Energieonderzoek Centrum Nederland. OKE heeft het idee aangedragen en de elektronica van de PV-module indicator ontworpen, en ECN heeft de daarvoor noodzakelijke data aangeleverd op basis van metingen aan PV-systemen, aan PV-modules en aan de PV-module met geïntegreerde PV-module indicator. Ook heeft ECN "het prototype", dat wil zeggen de op de 19th EPSEC getoond PV-module met geïntegreerde PV-module indicator gemaakt. De samenwerking is uitstekend verlopen.

2.2. Octrooi

Ten tijde van de subsidie-aanvraag voor onderhavig project waren alle betrokken partijen, te weten ECN, OJA en OKE, van mening dat het aanvragen van een octrooi zinvol zou zijn. Een door het ECN uitgevoerde octrooi-search had immers aangegeven dat er mogelijkheden lagen, en bovenal had het er alle schijn van dat het hier ook een "echte vinding" betrof. Gezien de expertise die ECN heeft op dit gebied was er in de project-aanvraag ervan uitgegaan dat ECN de meeste werkzaamheden in deze zou doen, en OKE en OJA alleen "ondersteunend" zouden zijn. Uitgangspunt was dan ook dat ECN de formele aanvrager zou zijn – en ook de kosten verbonden aan de aanvraag zou dragen – en Henk Oldenkamp als "uitvinder" zou worden genoemd.

Bij nader inzien – mede in het licht van het nieuwe ECN-beleid inzake octrooi-aanvragen – besloot ECN gezien de verwachte beperkte revenuen – dat het toch beter was geen octrooi op het idee aan te vragen. Alleen indien – aldus het advies van ECN – er sprake zou kunnen zijn van een octrooi-aanvraag voor "PV-indicatoren" – dus meer breder getrokken – zou ECN haar perceptie in deze willen bijstellen. Aangezien op een dergelijke "brede PV-indicator" reeds octrooien zijn gevestigd, was dit laatste niet haalbaar.

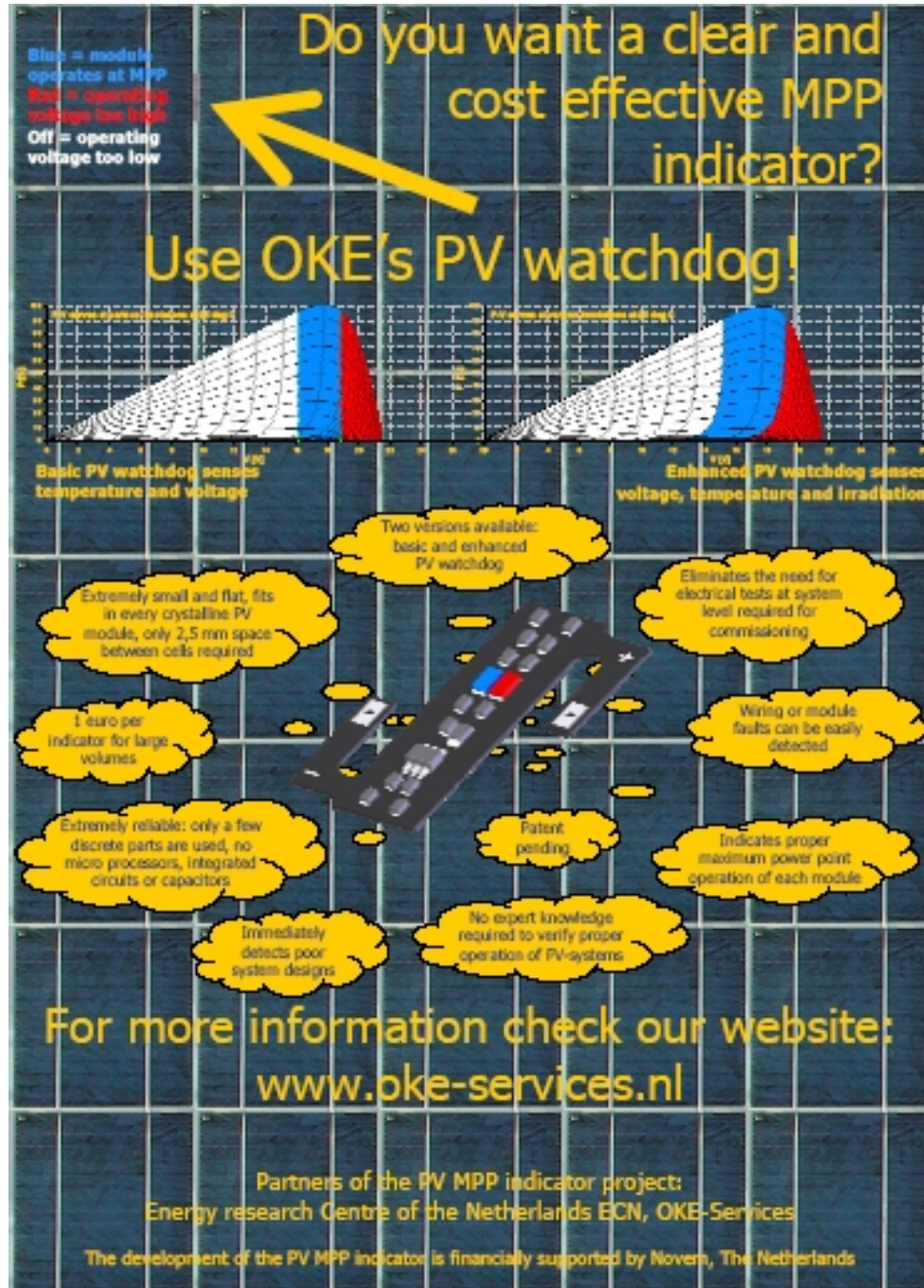
Omdat OKE-Services niet over veel financiële middelen beschikt hebben OKE en OJA – de twee andere partners in het project – lang getwijfeld over wat te doen. Uiteindelijk hebben zij – in overleg met de octrooigemachtigde – toch besloten een octrooi aan te vragen, doch in eerste instantie alleen voor Europa, om zoveel mogelijk de kosten te drukken. In een latere fase – tot 18 maanden na de initiële aanvraag – kan immers dan alsnog worden besloten tot een wereldwijde octrooi-aanvraag op basis van de oorspronkelijke aanvraag. Aldus is besloten en de octrooi-aanvraag is ingediend op 4 juni 2004.

2.3. Een pakkende naam: PV-watchdog

Hoewel niet voorzien ten tijde van de subsidie-aanvraag, besloten we – aangezien het eerste prototype van de PV-module indicator in mei 2004 prima functioneerde – deze te presenteren op de 19th European Photovoltaic Conference, die van 7 tot 11 juni in Parijs, Frankrijk werd gehouden. Niet alleen bood ons dit de kans om te peilen of de "PV-wereld" een dergelijke indicator wel "zag zitten", maar bovendien konden we verifiëren of de kleurkeuze van de LEDs om aan te geven of de PV-module goed/fout functioneert aansloot bij de wensen van (toekomstige) gebruikers.

Wel stonden we ineens voor een nieuwe uitdaging: het vinden van een goede naam voor de indicator. "PV-indicator" dekt namelijk de lading niet, en "MPP-indicator" leek ons toch wel erg "technisch" te klinken. Native English speakers – goede bekenden van Irene de Jong – werden geraadpleegd, en een van hen – Greg Watt uit Australië – kwam met "PV-watchdog". Precies wat het is, en nog met een leuke woordspeling. Zonder enige twijfel hebben we deze naam gelijk geïntroduceerd en hebben we de naam gedeponeerd.

Het indienen van een abstract voor de conferentie behoorde niet meer tot de mogelijkheden, maar wel een presentatie "real life" in de gezamenlijke Holland Solar stand. Hiervoor moest ECN wel even alle zeilen bijzetten – met grote dank aan Andries Tip en Mark Jansen – om de sensor mee te lamineren in een nieuwe PV-module. Tevens werd nog een opvallende poster gemaakt, alsmede een folder, waarin op de voorzijde in algemene termen de PV-watchdog wordt toegelicht, en op de achterzijde het werkingsprincipe. De reacties waren zonder meer positief (zie paragraaf 5.1).



Figuur 2.1: PV-watchdog poster gepresenteerd op de 19th EPSEC in gezamenlijke Holland Solar stand. Let op de "gewijzigde" kleurindicatie voor werking van de PV-watchdog: rood = $V > V_{mpp}$, blauw = $V \approx V_{mpp}$, geen indicatie = $V < V_{mpp}$

3. Werkzaamheden en resultaten

3.0. Inleiding

De werkzaamheden kunnen in hoofdlijnen als volgt worden onderscheiden:

- A. Inventariseren van eisen en een eerste prototype
- B. Evaluatie van het prototype
- C. Herbezinning
- D. Een nieuw ontwerp
- E. Evaluatie

Deze indeling wijkt af van de voorziene werkzaamheden in de subsidie-aanvraag van september 2003. Met name het onderdeel "herbezinning" was niet voorzien, doch zoals zal blijken in onderdeel B – evaluatie van het prototype – zeer noodzakelijk.

Met name voor het inventariseren van eisen waren in de subsidie-aanvraag een aantal concrete vragen geformuleerd, waarop in het kader van deze haalbaarheidsstudie antwoord gegeven diende te worden. In mindere mate geldt dat ook voor deel B. In dit hoofdstuk worden voor deze hoofdlijnen zo goed als mogelijk deze vragen en de gevonden antwoorden daarop gepresenteerd.

Aangezien – helaas – uit metingen aan het prototype van de PV-watchdog is gebleken dat er "fundamenteel" uitgegaan was van verkeerde veronderstellingen wordt in deel C – herbezinning – een theoretisch model voor het gedrag van diodes/transistoren en PV-cellen gepresenteerd, dat op basis van vele metingen is geverifieerd. Op basis hiervan heeft het ontwerp van de PV-watchdog een grote wending moeten nemen. Afsluitend wordt het definitieve ontwerp geëvalueerd, zowel in technische als economische zin.



Figuur 3.1: PV-wirefree laminaat met geïntegreerde visuele indicator - de PV-watchdog – gereed voor de 19th EPSEC dankzij snelle actie van Mark Jansen en Andries Tip (ECN).

A. INVENTARISEREN VAN EISEN EN EEN EERSTE PROTOTYPE

3.1. Kosten

De vraag die beantwoord diende te worden is duidelijk: wat mag de PV-module indicator – hierna te noemen PV-watchdog - kosten?

Hiertoe is een inventarisatie gemaakt op basis van correspondentie met PV-eigenaren dan wel representanten daarvan, en een verkenning van de interesse (en prijs) in gesprekken met potentieel geïnteresseerden, met name consumenten die niet weten dan wel twijfels hebben of hun PV-systeem wel goed functioneert. Daarnaast zijn ook gesprekken met PV-fabrikanten gevoerd, met name tijdens de 19th EPSEC in juni 2004.

Op basis van de verkennende studie van ECN – alsmede op basis van bijna “noodkreten” uit de markt – is het niet de vraag of de consument, de kopers van een PV-systeem, behoefte hebben aan een PV-watchdog; die kan zonder meer bevestigend worden beantwoord. De vraag is wel hoeveel zij hiervoor willen betalen. Gezien de “noodkreten” uit de markt, is een meerprijs van een PV-module met PV-watchdog van € 5 zeker haalbaar (1% van PV-systeemprijs). Consumenten – dat wil zeggen eigenaren van PV-systemen – hebben behoefte aan een eenvoudige monitoring tool. Zij zijn bereid – zonder meer 1% meer te betalen voor hun PV-systeem als dit systeem een dergelijke monitoringvoorziening biedt, al is deze eenvoudig.

Maar nog belangrijker is of PV-module-fabrikanten deze willen implementeren en hiervoor ook willen betalen, en zo ja hoeveel. Hoewel in eerste instantie PV-module-fabrikanten ons nauwelijks te woord wilden staan over het idee, werd deze horde wel genomen tijdens de 19th EPSEC. Een inkoopprijs voor de PV-watchdog van € 1-2 wordt niet als probleem gezien.

Opvallend resultaat van de presentatie van de PV-watchdog op de 19th EPSEC was dat de PV-module-fabrikanten en de PV-huizen het weliswaar ook wel als een handig hulpmiddel zien bij de installatie, doch voor de PV-watchdog vooral een rol zien weggelegd als “monitoring” tool voor grote systemen, geheel anders dan door ons was verwacht. Zij zien het dus als vervanger voor de bestaande monitoring tools die nu worden gebruikt. Dit bleek ondermeer uit de enthousiaste reactie van JRC die de PV-watchdog zien als vervanger van ingewikkelde monitoring tools van EU-projecten. Daarom hebben zij aangegeven de PV-watchdog te willen gaan testen om te bezien of deze voldoet om toegepast te worden in EU-projecten. De kosten – zeg € 2 per stuk – zien zij niet als probleem; zij hebben een groter probleem op te lossen: monitoring van grootschalige PV EU-projecten. Op dit moment zijn er problemen met de monitoring van grootschalige EU projecten. Om dit probleem op te lossen is een meerinvestering van 1% op een project evenmin een probleem.

Echter voor grootschalige implementatie – dat wil zeggen dat fabrikanten bereid zijn de PV-watchdog in hun PV-modules te implementeren - is de maximum verkoopprijs € 2 per stuk kort na introductie en op termijn zal deze dalen naar € 1 per stuk.

Kort samengevat zijn de resultaten inzake de verkoopprijs:

- Korte termijn verkoopprijs: € 5 (verkoopprijs aan consumenten)
- Middellange lange termijn verkoopprijs (2 -5 jaar in dit geval): € 2
- Lange termijn verkoopprijs – grote aantallen: € 1 (verkoopprijs aan PV-modulefabrikanten)

3.2. Inventariseren eigenschappen PV-cellen

Celfabrikanten houden een zorgvuldige kwaliteitscontrole bij van de zonnecellen voordat ze tot een module worden samengesteld. De twee belangrijkste selectiecriteria zijn rendement en uiterlijk.

Vanuit technisch oogpunt is het celrendement de belangrijkste parameter. Voor een hogere kwaliteit mag een hogere prijs gevraagd worden. Daarom worden cellen geselecteerd op performance. De

spreiding in de celrendementen is typisch 0,3 - 0,4%; dit betekent dat celrendementen $\pm 0,3 - 0,4\%$ kunnen afwijken van het gemiddelde celrendement. Het proceswindow van celfabrikanten heeft typisch 7-8 bins, met derhalve een typische binbreedte van 0,1%. Dit betekent dat celrendementen binnen één bin maximaal 0,1% van elkaar kunnen verschillen.

Vanuit esthetisch oogpunt is het belangrijk dat een klant dezelfde kleuren cellen – in een PV-module - geleverd krijgt. Over het algemeen blijken de geproduceerde zonnecellen nogal wat variatie te vertonen voor wat betreft hun blauwe kleur. Dit varieert van helder blauw tot grijs-grijs. Hier worden cellen meestal naar 4-5 kleurvarianties geselecteerd. Voor de meeste doeleinden (daktoepassingen) is kleurselectie, vanuit technisch perspectief gezien althans, irrelevant. Desondanks heeft de kleur een bepaalde gevoelswaarde die niet onderschat mag worden. Vermoedelijk heeft dit er ook mee te maken dat zonnepanelen veel door architecten worden meegenomen in gebouwwontwerpen. Celfabrikanten realiseren zich dat terdege, en voeren daarom ook een kleurselectie uit.

Ook voor de PV-module die in Parijs gepresenteerd is geldt dat is geselecteerd op kleur en performance. Voor een showroom module geldt zelfs dat de kleurselectie belangrijker is dan de rendementsselectie; een uniforme uitstraling is heel belangrijk.

De vraag is echter of de eigenschappen van de aldus geselecteerde cellen voor een PV-module zo dicht bij elkaar liggen dat het inderdaad mogelijk is een PV-module indicator te ontwikkelen die op basis van het meten van de spanning, temperatuur en instraling – dus niet de stroom - van enkele cellen bepaalt of de gehele PV-module al dan niet in de buurt van het MPP werkt.

Voor het verkrijgen van inzicht in de temperatureigenschappen van een PV-module zijn door Nico van de Borg van ECN temperatuursensoren aangebracht in de PV-wirefree opstelling, die werd gebruikt voor het meten van mismatch-verliezen (parallel versus serieschakeling, PV-wirefree project). Hiermee kon worden nagegaan of deze een zodanig gedrag vertonen dat een sensor kan worden gemaakt, die hetzelfde temperatuurgedrag heeft, en dus inderdaad alleen de spanning, temperatuur en instraling – dus niet de stroom - over een reeks van cellen behoefde te worden gemeten om te verifiëren of een PV-module goed functioneert. Vervolgens zijn deze metingen door Henk Oldenkamp geanalyseerd. De resultaten waren positief, in die zin dat de uitgangspunten – voor het maken van de sensor – werden bevestigd. Kort gezegd betekent dit dat een PV-module eenzelfde gedrag – dus qua spanning, temperatuur en instraling – vertoont als een PV-cel.

3.3. Meelamineren

De vraag was of de PV-watchdog ook daadwerkelijk bij het lamineren van de PV-module "meegelamineerd" kan worden en zo ja, aan welke eisen de PV-watchdog dan dient te voldoen (hoogte, breedte sensor, etc.).

Op de vraag of de sensor meegelamineerd zou kunnen worden, en zo ja, aan welke eisen deze dient te voldoen is antwoord gegeven door ECN, met name op basis van praktijkervaring met het maken van PV-modules. Hiervoor heeft niet het beoogde overleg met PV-fabrikanten plaatsgevonden, mede omdat deze in eerste instantie niet geïnteresseerd waren. Echter, de door Andries Tip van ECN aangeleverde detailinformatie over waaraan de sensor dient te voldoen qua afmetingen was voldoende om een prototype van een sensor te maken, die "past" op vrijwel elke PV-module die op dit moment commercieel wordt verhandeld. Op de 19th EPSEC is dit door diverse PV-fabrikanten, waaronder Shell Solar, Evergreen en SunPower, bevestigd.

Het blijkt dat de afmetingen van de sensor alleen beperkt wordt door de breedte en de hoogte. De tussenruimte tussen twee cellen is slechts 3 mm, terwijl de hoogte niet meer dan 0,5 mm mag zijn voordat deze in dezelfde orde komt als de dikte van de cellen, metallisatie (gezamenlijk circa 350µm) en tabs (circa 100-150µm). De sensor-elektronica kan in principe net zo lang zijn als een zonnecel (125-150mm).

3.4. Betrouwbaarheid

De vraag was: Wat is de verwachte levensduur van de PV-watchdog mede gezien de eindige levensduur van LEDs? Is een levensduur van 20-30 jaar, de verwachte levensduur van een PV-module, wel haalbaar?

LEDs hebben, voor zover op dit moment bekend is, in principe geen beperking qua levensduur. Een lamp overlijdt na enkele 1000-en branduren. LEDs gaan alleen stuk na elektrische overstress (te veel spanning of te veel stroom). Er is wel enige degradatie van enkele procenten na gebruik van meer dan 10.000 – 100.000 uren; Philips garandeert 5% uitval over 50 000 uur. Met een gemiddelde 10 uur belichting per dag resulteert dit in een levensduur van 13,7 jaar.

Indien uitgegaan wordt van de statistische data, te weten $\pm 4\sigma$, hetgeen overeenkomt met 99,97% zekerheid, dan komt 5% uitval overeen met een gemiddelde levensduur van 185 000 uur ($3,7 \sigma$, immers $2^{-3.7} = 5\%$). Echter onderkend moet worden dat deze verwachte levensduur wordt gegeven bij een maximale temperatuur van 60°C; de temperatuur van een zonnepaneel komt daar enkele uren per jaar boven. Dit is zo weinig, dat dit nauwelijks invloed zal hebben op de levensduur, en daarom is – ook volgens experts van ECN - een levensduur van 20-30 jaar realistisch.

3.5. Visuele aspecten

De vraag was met name welke kleurstelling voor de LEDs van de visuele indicator gehanteerd moest worden, zodat deze ook het juiste "signaal" aan mensen afgeeft, en bovenal zonder dat mensen hiervan hinder ondervinden.

Hiertoe is "het idee" van de PV-watchdog voorgelegd aan zowel "experts uit het veld" (professionelen, respondentengroep 1), aan eigenaren van PV-installaties (consumenten bekend met het product c.q. het probleem, respondentengroep 2) en aan "potentiële kopers" (potentiële toekomstige consumenten, respondentengroep 3). Aan hen is gevraagd wat zij van het idee vonden – meer als inleiding – en vervolgens naar eventuele "voorkeuren" voor kleurstelling en wel in de vorm van een open vraag, waarbij ze dus zelf hun kleurkeuze konden aangeven. Vervolgens is voorgelegd wat zij van de volgende combinaties van kleuren en indicaties vonden:

1. groen = OK, rood = spanning te hoog, geen LED brandt = spanning te laag
2. blauw = OK, rood = spanning te hoog, geen LED brandt = spanning te laag

Allereerst bleek dat de ten tijde van de inventarisatie nog veel gebruikte aanduiding voor de PV-watchdog van "sensor" veel verwarring opriep, met name bij respondentengroep 3. Het voorstellingsvermogen dat een LED-indicator in de PV-module een functie zou kunnen hebben, was ook wel "te veel gevraagd" voor respondentengroep 3; deze groep wil – blijkt uit deze kleine enquête – gewoon in de meterkast uit kunnen lezen of het PV-systeem goed werkt. Ook indien werd aangegeven dat dat kostbaar is, werd daar nogal "lauw loene" op gereageerd. Kortom, bij deze respondentengroep ontbreekt het "gevoel van een probleem".

Dat was heel anders bij respondentengroep 2, die enthousiast reageerde op het idee van de PV-watchdog en ook gelijk begreep wat de functie was, alsmede wat het aan zou geven. Wel bleek dat de behoefte aan een "specificatie" van het probleem gering was. Nee, wat vooral belangrijk was dat zichtbaar zou zijn of het PV-systeem "wel werkt zoals het moet". Er bleek geen duidelijke voorkeur voor de kleurstelling, hoewel "rood = fout" wel als duidelijk werd ervaren.

Ook experts uit het veld – respondentengroep 1 – begrepen direct de functie en hoe het zou werken. Zij vonden een "specificatie van de fout" wel belangrijk, doch vroegen zich af of "geen LED brandt = spanning te laag" wel voldoende duidelijk zou zijn. Dit leidde tot diverse suggesties zoals "sneller en minder snel knipperen" van de rode LED om de "foutindicatie" te specificeren. Respondentengroep had een voorkeur voor de "blauwe LED voor OK. Kortom, eigenlijk leverde de inventarisatie weinig op, behalve dat "rode LED brandt = fout" voor alle doelgroepen eenduidig was.

3.6. Pakket van eisen: beoogde specificaties

Op basis van de resultaten van Fase A is een pakket van eisen geformuleerd dat in Tabel 3.1 is weergegeven. De evaluatie van de eisen is uitgevoerd door OKE en OJA. Zoals ook blijkt uit de tabel waren er geen strijdige eisen, alleen aandachtspunten. Alleen ten aanzien van de kleurkeuze van de LEDs heeft discussie plaatsgevonden. Immers uit de inventarisatie was een lichte voorkeur gebleken voor "groen=goed" en "rood=fout". Echter na rijp beraad is in deze fase toch gekozen voor "blauw=goed". De reden hiervoor was tweeledig. Allereerst heeft een groot aantal mannen last van kleurenblindheid voor groen/rood. In tegenstelling tot bij verkeerslichten is er bij het "lezen" van de LEDs nu geen "onder en boven". Ten tweede hebben blauwe LEDs een "high-tech" uitstraling en tenslotte lijkt "blauw" beter te passen bij de kleur van de zonnecellen.

Tabel 3.1: Pakket van eisen PV-module indicator (PV-watchdog)

Onderwerp/vraag	Resultaat	Strijdig met andere eisen?	Restricties voor andere eisen
Wat mag verkoopprijs zijn van PV-watchdog	Consumenten: € 5 PV-module-fabrikanten: € 1	Nee	Zo min mogelijk componenten, let op met (dure) LEDs
Is het mogelijk een PV-watchdog te maken door alleen het meten van temperatuur, spanning en instraling?	Celgedrag $\approx$ diodegedrag $\rightarrow$ op basis van temperatuur, spanning en instraling kan worden bepaald of $V_{pvmodule} < V_{mpp}$, $\approx V_{mpp}$ of $> V_{mpp}$	Nee	
Kan de PV-watchdog meegelamineerd worden, en zo ja wat zijn de maximale afmetingen?	Maximale afmetingen 3 mm (b) en 125 (l), en separaat printhoogte $< 0,3$ mm, componenthoogte < 1 mm	Nee	
Heeft de sensor (i.c. LED) voldoende lange levensduur?	Minimaal 13,7 jaren; verwachting is 20-30 jaren	Nee	
Wat zijn de beste kleuren voor de LEDs?	Rood = fout, Blauw = goed	Nee	

De grote vraag die nu nog beantwoord diende te worden is "wat is goed" en "wat is fout"? Ofwel wanneer moet de PV-watchdog aangeven dat de PV-module werkt zoals het moet, en wanneer dat er iets mis is? Of om in meer objectieve termen te spreken: wat is een acceptabel verlies – voor PV-module eigenaren - ten gevolge van het niet in het MPP werken?

Hierbij moet rekening worden gehouden met de volgende factoren:

- Indien PV-modules in serie zijn geschakeld dan treden er in de praktijk altijd verliezen op. Dit komt door kleine onderlinge verschillen tussen de panelen, maar kan ook komen door kleine verschillen in temperatuur en instraling (per paneel). Op grond van de resultaten van de PV-wirefree metingen [3] worden deze verliezen geschat op op maximaal 3%.
- De inverter belast de PV-modules nooit helemaal perfect. Gewoonlijk ontstaat er een 100Hz rimpel op de uitgangsspanning van de PV-panelen. Ook is de inverter continue aan het zoeken naar het Maximum Power Point (MPP). In het algemeen specificeren inverterfabrikanten dat de totale MPP-tracking-verliezen kleiner dan 1% zijn.

Deze praktijkverliezen moeten verdisconteerd worden in de PV-module indicator. Dat betekent dat deze niet moet reageren op verliezen kleiner dan 5%. Pas bij grotere verliezen, zeg 6%- 7%, moet de PV-watchdog aangeven dat er iets mis is. Vandaar dat voor het ontwerp van de PV-watchdog is uitgegaan van de 95%-95% grenzen van V_{mpp} . Dat betekent dat in het gebied waarin $V_{pvmodule} < 95\% V_{mpp}$ en $V_{pvmodule} > 95\% V_{mpp}$ de PV-watchdog aangeeft dat de PV-module niet in zijn Maximum Power Point (MPP) werkt, en dus dat er "iets mis is". Het is natuurlijk denkbaar dat zal blijken dat deze waarde te scherp is gesteld. In dat geval is het natuurlijk altijd mogelijk om een ruimere grens te hanteren, bijvoorbeeld de 90% V_{mpp} -grenzen. Dit zou overigens wel bedroevend zijn: want dat zou betekenen dat er in de praktijk aanzienlijke verliezen ten gevolge van mismatch optreden.

3.7. Voorlopig ontwerp: hoe het werkt

Nu was vastgesteld dat het celgedrag van enkele cellen in een PV-module representatief is voor het gedrag van een gehele PV-module, was het belangrijkste antwoord gegeven. Ja, het was mogelijk een PV-watchdog – op basis van bovengenoemde uitgangspunten – te maken tegen een aanvaardbare prijs.

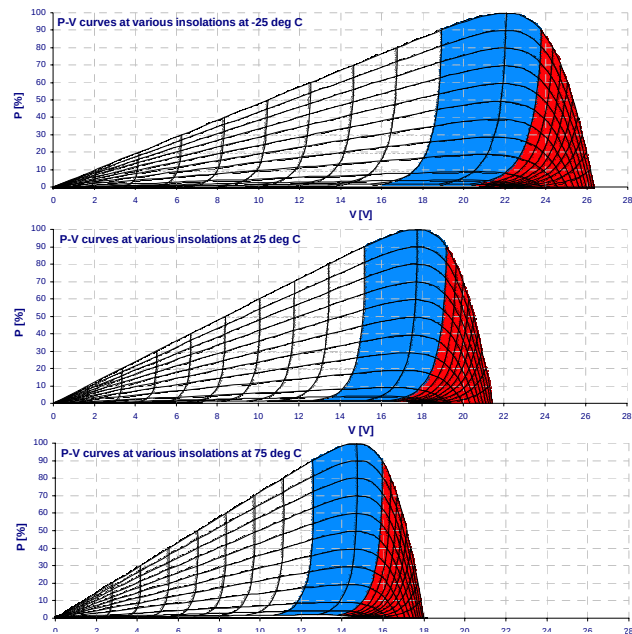
Dit betekent dat het (voorlopig) ontwerp is gebaseerd op een aantal belangrijke “veronderstellingen”. Allereerst dat een PV-module bestaat uit in seriegeschakelde PV-cellen uit dezelfde “bin” (zie paragraaf 3.2): de celrendementen binnen een bin – en dus van een PV-module – wijken maximaal slechts 0,1 % van elkaar af. Om ervoor te zorgen dat een PV-module de maximale hoeveelheid energie levert, moet deze bij de optimale spanning worden belast, de zogenaamde maximum power point spanning (V_{MPP}). Deze spanning wordt beïnvloed door temperatuur en instraling. Een zogenaamde P-V (power – voltage, ofwel vermogens – spanningen) curve geeft de maximale spanning weer bij een zekere instraling. Als we nu de optimale MPP-efficiency-punten met elkaar verbinden krijgen we zogenaamde iso-efficiency curves (figuren 3 en 4).

In het blauwe gebied levert de PV-module meer dan 90% van het beschikbare vermogen. In de rode en witte gebieden minder dan 90%: in het rode gebied is de spanning te hoog, in het witte gebied de spanning te laag.

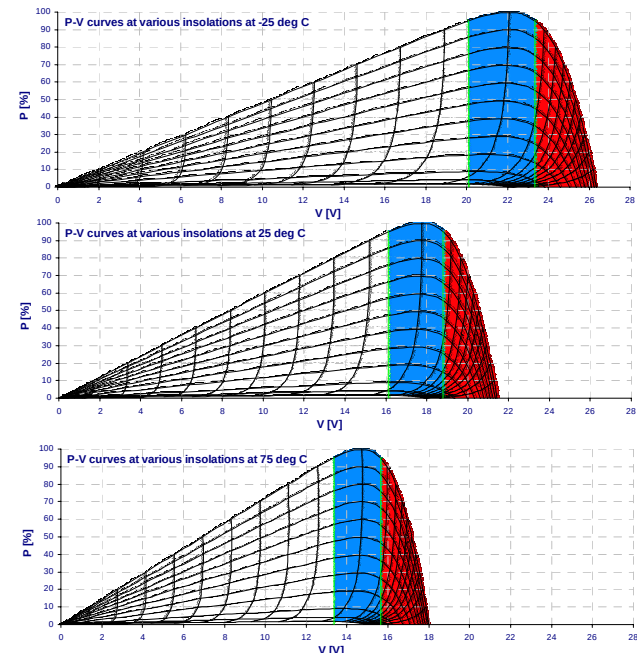
De PV-watchdog meet de temperatuur en de instraling van (enkele van de) cellen van de PV-module, en bepaalt op basis daarvan wat de spanning van het Maximum Power Point (MPP) zou moeten zijn. Vervolgens vergelijkt de PV-watchdog deze spanning met de werkelijke werkspanning van de PV-module. Aldus kan eenvoudig de MPP-efficiency worden bepaald, en dus in welk gebied de PV-module zich bevindt: in het rode, blauwe of witte gebied. De hiervoor genoemde kleuren stemmen overeen met de kleuren die gekozen zijn voor de LEDs.

Geavanceerde versie PV-watchdog

In de praktijk vertonen alle silicium P-N overgangen ongeveer dezelfde temperatuurcoëfficiënt van ca. -2 mV/K. Dit geldt voor zowel PV-cellen als voor die van een transistor en diode. Juist daarom is de temperatuurregeling van de PV-watchdog



Figuur 3.2: Iso-efficiency curves en LED-kleur-indicatie van geavanceerde versie PV-watchdog (juni 2004) bij -25°C, 25°C en 75°C



Figuur 3.3: Iso-efficiency curves en LED-kleur-indicatie van basisversie PV-watchdog (juni 2004) bij -25°C, 25°C en 75°C

zo eenvoudig: indien goed uitgevoerd wordt deze door de transistor automatisch getracked. Dit geldt ook voor de instraling; een photodiode gemaakt van silicium heeft min of meer dezelfde spectrale respons als PV-cellen. Met andere woorden, tracking van zowel de temperatuur als de instraling kan worden gerealiseerd met de P-N overgang van een transistor of diode. Natuurlijk is additionele elektronica nodig om de LEDs aan te sturen. Bovendien is er een beperking inzake het aantal cellen: het optimum ligt tussen 12 en 18 cellen in serie voor een PV-module met 36 cellen.

Basisversie

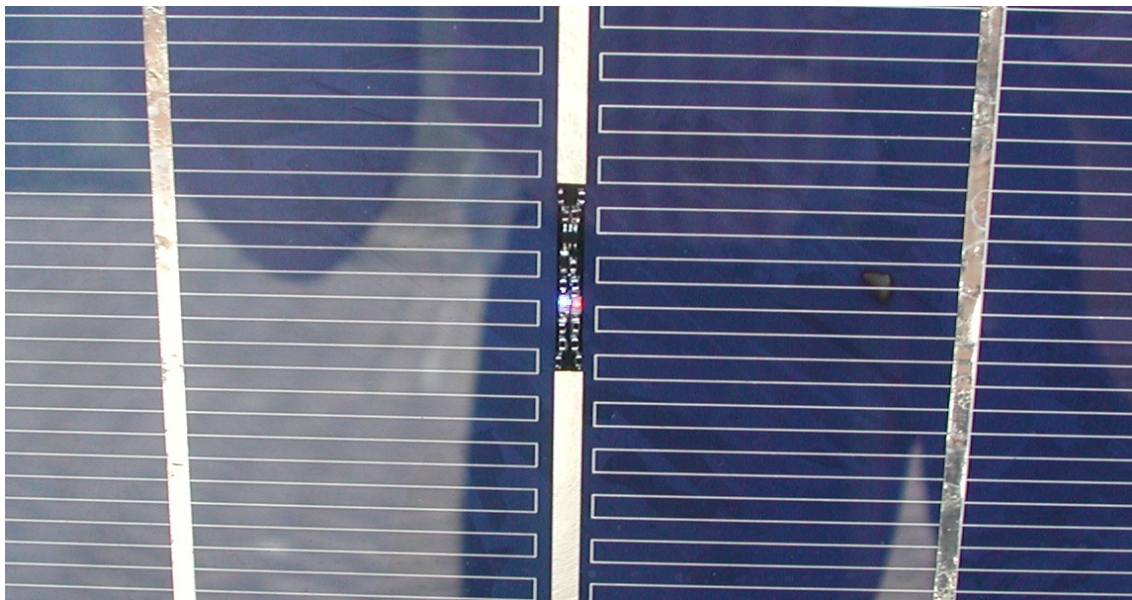
Omdat de iso-efficiency curves vrijwel verticaal lopen bij een instraling boven 50 W/m^2 , kan de photodiode ook weggelaten worden. Dit resulteert dan in de basisversie van de PV-watchdog (zie figuur 3.3). Hoewel deze versie beneden een instraling van 50 W/m^2 minder accuraat is, geeft het toch een goede indicatie bij hogere instraling.

3.8. Maken van het prototype

Op basis van het geformuleerde pakket van eisen – zoals gepresenteerd in paragraaf 3.6 – en het in paragraaf 3.7 gepresenteerde idee van hoe het werkt, is een prototype van de PV-watchdog gemaakt. Naast het ontwerp en fabricage van de PV-watchdog is ook een zonnepaneel gemaakt waarin twee sensoren zijn verwerkt. Nadrukkelijk zij vermeld dat gekozen is voor de basisversie van de PV-watchdog.

Met betrekking tot deze werkzaamheden is alleen maar goed nieuws te melden. De PV-watchdog past precies in de daarvoor gereserveerde ruimte, en ook het meelamineren gaf geen problemen. Evenmin leverden de elektrische interconnecties problemen op; deze komen namelijk precies overeen – gebeurt op exact dezelfde wijze – als het verbinden van twee parallelle cell-strings.

Uiteraard heeft ECN wel alle zeilen bij moeten zetten – met name grote dank aan Mark Jansen en Andries Tip – om de PV-module, inclusief geïntegreerde PV-watchdog(s), van showroomkwaliteit op tijd gereed te hebben voor de 19th EPSEC. En met succes!



Figuur 3.4: Eerste prototype – geïntegreerd in PV-module – van de PV-watchdog

B. EVALUATIE VAN HET PROTOTYPE

3.9. Metingen aan prototype

Bij veldtesten aan het prototype (paragraaf 3.7) in de zomer van 2004 (juni – september) bleek dat het bereik waarin de basisversie van de PV-watchdog “correct weergeeft of de PV-module” wel/niet goed werkt te smal is. Op bewolkte dagen gaf de PV-watchdog regelmatig aan dat alles “OK” was terwijl de PV-module vrijwel onbelast was. Dit gebeurde met name in het “onderste” deel van de kromme (zie figuur 3.3). Hieruit is geconcludeerd dat het “basistype” van de PV-watchdog – dat werkt volgens een rechte verticale lijn, en niet volgens de ideale kromme - onvoldoende nauwkeurig is bij geringe instraling. Deze zal dan ook niet verder ontwikkeld worden.

Deze meetresultaten waren echter mede aanleiding om nog eens kritisch te kijken naar de iso-efficiency curves, zoals gepresenteerd in figuren 3.2 en 3.3. Kloppen deze wel? Zo ja, waarom was er dan in verschillende situaties - met name op bewolkte dagen – zo’n grote afwijking tussen de “werkelijkheid” (metingen) en hetgeen de PV-watchdog aangaf? Immers, hoewel het prototype de basisversie betrof, zo’n afwijking tussen metingen en indicator was daarmee toch niet helemaal verklaarbaar.

Was dit een aanwijzing dat “de basis van het idee” niet klopte? Was het uitgangspunt dat silicium P-N overgangen – en dus PV-cellen, transistor en diodes - ongeveer dezelfde temperatuurcoëfficiënt van ca. -2 mV/K hebben wel juist? Of eenvoudiger gesteld: vertonen transistors en diodes wel hetzelfde gedrag als PV-cellen?

De meetresultaten waren zo verontrustend, dat het noodzakelijk was een pas op de plaats te maken, en het temperatuurgedrag van zowel elektronische componenten als PV-cellen nader te onderzoeken. Dit heeft geleid tot zowel een theoretische studie, als additionele metingen aan zonnecellen, die door ECN zijn uitgevoerd. De resultaten hiervan worden gepresenteerd in paragrafen 3.13-3.15 (Deel C).

3.10. Visuele aspecten en functionaliteit

3.10.0. Inleiding

De 19th EPSEC bood ons een ideale gelegenheid om de visuele aspecten van de PV-watchdog te evalueren. Daar werd immers een PV-module met PV-watchdog “real life” getoond, en konden we mensen “in depth” vragen naar hun perceptie en ervaring: is de kleurstelling duidelijk genoeg, worden de LEDs niet als hinderlijk ervaren, etc.?

Allereerst bleek dat de kleurstelling eigenlijk niet als “belangrijk werd ervaren”. Nee, het belang zat in het aangeven van het wel/niet goed functioneren. Overigens zij vermeld dat de ondervraagden wel enthousiast waren over de “blauwe LED” (die als indicator voor “PV-module werkt OK” werd gebruikt). Doch enige bias moet hierin meegenomen worden aangezien het publiek overwegend een “technen-achtergrond” had. Daarnaast bleek:

1. Geen behoefte aan een indicatie of de spanning te hoog of te laag is; eigenlijk is de behoefte eenduidig: doet ie het of doet ie het niet
2. Een duidelijke behoefte om de sensor op afstand en/of automatisch uit te kunnen lezen

3.10.1. PV-watchdog geeft alleen aan als “alles OK” is

Op basis van deze feedback uit het veld heeft het ontwerp wijzigingen ondergaan. In het oorspronkelijk ontwerp was gekozen voor de volgende signalering:

- blauw = spanning van de PV-module is OK
- rode LED brandt = spanning van de PV-module is te hoog
- geen van de LEDs brandt = spanning van de PV-module is te laag

Gezien het feit dat in de praktijk alleen behoefte bestaat aan een indicatie "doet ie het wel of doet ie het niet" is de signalering sterk vereenvoudigd.

In eerste instantie werd overwogen alleen een LED te laten branden als "alles OK" is. Een nog beter idee leek om ervoor te kiezen alleen een LED te laten branden als er iets mis is; de LED brandt dan dus niet (meer) als alles goed werkt of als het paneel vrijwel onbelicht is (belichting minder dan ca 50 W/m²). Deze keuze had belangrijke voordelen: minimaliseren stroomverbruik en nog verdere verlenging van de levensduur van de LED.

Hoewel deze optie het "mooiste" geweest zou zijn, is deze technisch niet realiseerbaar. Dit komt omdat onder bepaalde condities (bijvoorbeeld partiele beschaduwing) de spanning over een aantal cellen heel laag of zelfs negatief kan worden. In dat geval heeft de PV-watchdog geen voeding meer en is het dus niet mogelijk om een led te laten branden.

Daarom is voor het uiteindelijk ontwerp gekozen voor "de LED brandt als de PV-module goed werkt". Ten aanzien van de kleurstelling is uiteindelijk gekozen voor "geel". Dit is een vrij subjectieve keuze, zeker gezien de opties die voorgelegd zijn aan potentiële gebruikers (groen, blauw). Echter, nadrukkelijk zij vermeld dat daaruit geen duidelijke voorkeur was gebleken. Daarom hebben andere overwegingen de doorslag gegeven: een gele LED is relatief goedkoop en is het meest "oog gevoelig".

3.10.2. Infrarode LED

Naar aanleiding van de vraag – de behoefte uit de markt - om de status van een PV-module automatisch uit te kunnen lezen zijn diverse opties overwogen.

De eerste aanpak, die veel wordt gesuggereerd, is aan de sensor een zendertje toe te voegen, waarmee de PV-watchdog op afstand uit te lezen is. Hoewel dit technisch goed te realiseren is, is toch niet gekozen voor deze aanpak, om de volgende redenen:

1. de elektronica wordt duurder
2. het stroomverbruik zal toenemen
3. de sensor dient geprogrammeerd te worden met het serienummer, wat eveneens leidt tot extra kosten, terwijl mede een tekening beschikbaar moet zijn van waar de sensoren (serienummers) zich bevinden, zodat "probleempanelen" en hun locatie kunnen worden geïdentificeerd.

Kortom, een dergelijk aanpak vraagt ook veel van de PV-systeem-eigenaren, die immers in detail moeten bijhouden "waar de PV-modules met serienummers" zich in de PV-array bevinden. Veel beter zou zijn indien de informatie grafisch wordt weergegeven, bijvoorbeeld door op een afbeelding van het PV-systeem de modules die goed (of juist niet goed) werken te markeren. Het is dan veel makkelijker om conclusies te trekken omtrent de aard van de storing.

Dit laatste is echter ook op een veel eenvoudiger wijze te realiseren: maak een foto van het complete systeem (met sensors) en controleer visueel of er PV-modules zijn waarvan de LED niet brandt. De tussenstap met de serienummers en de lijst met locaties is dan overbodig. Dat scheelt veel werk bij de installatie van het systeem, maar ook bij het inbouwen van de sensor in het laminaat. In plaats van een foto maken is het natuurlijk nog handiger om een digitale camera te gebruiken. Of een webcam, of een beveiligingscamera die zich (mogelijk al) op de locatie bevindt.

Hier doet zich echter een probleem voor. Op zich is een brandende LED prima zichtbaar, ook in volle zon. Maar op een foto is die veel moeilijker te zien. Vooral met volle zon wordt dat lastig. Het verschil in zichtbaarheid kan drastisch verbeterd worden door toepassing van een infrarode LED en gebruik van een infrarood filter.

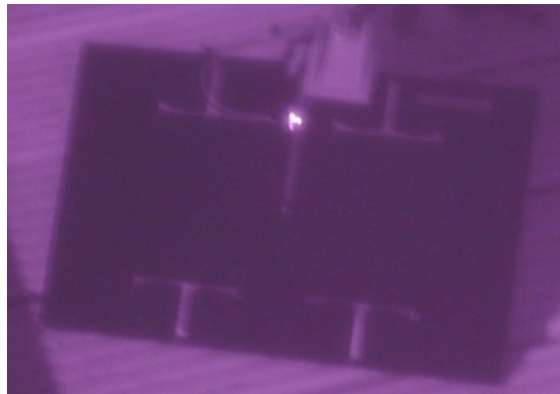
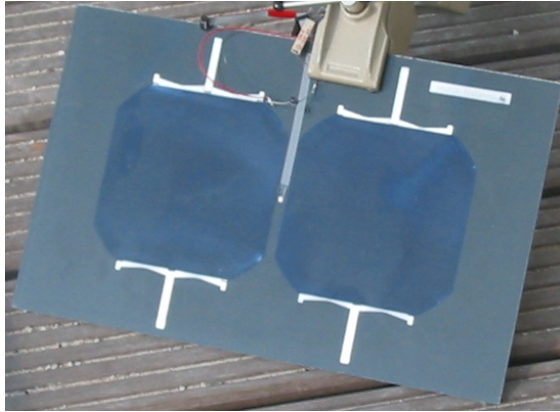
Dit gaat als volgt: voor de digitale camera wordt een infrarood filter geplaatst (dit ziet er uit als een vrijwel ondoorzichtig stukje plastic). Hierdoor komt er veel minder licht in de camera waardoor de 'sluitertijd' langer zal zijn als er een foto van het systeem gemaakt wordt. In de praktijk levert dit een vrij donkere foto, waarop het systeem nog goed te zien is. Echter met een belangrijk verschil: het infrarode licht dat door de LEDs wordt uitgestraald komt vrijwel onverzwakt door het infrarode filter. En omdat alle digitale camera's gevoelig zijn voor dit infrarode licht is dit dus veel duidelijker zichtbaar (zie figuur 3.5).

Een bijkomend voordeel is dat de efficiency van de nieuwste generatie infrarode LEDs veel beter is dan de efficiency van de LEDs in het zichtbare deel van het spectrum. Betaalbare infrarode LEDs met een rendement boven 20% zijn inmiddels verkrijgbaar.

3.10.3. Conclusies

De evaluatie van het prototype inzake visuele aspecten en functionaliteit heeft derhalve geleid twee belangrijke wijzigingen:

1. De PV-watchdog zal worden uitgevoerd met één of twee LEDs (afhankelijk van de behoefte): een gele en/of een infrarode LED
2. Beide LEDs geven aan wanneer de PV-module "goed werkt"



Figuur 3.5: Foto's van testlaminaat met meegelamineerde photodiode met bovenin een infrarode LED. Foto genomen in volle zon, boven zonder infrarood filter, onder met infrarood filter

3.11. Betrouwbaarheid en levensduur

De keuze voor de gele en infrarode LEDs heeft geen consequenties voor de verwachte levensduur van de LEDs en daarmee van de PV-watchdog. Dit betekent dat voor de LEDs uitgegaan kan worden van een levensduur van 20-30 jaar (paragraaf 3.4).

Door voor de rest van de electronica alleen componenten te kiezen met een veel lagere kans op uitval wordt deze levensduur niet noemenswaardig gereduceerd. Dit blijkt geen probleem: het proefontwerp bestaat alleen 'eenvoudige' en bewezen componenten.

3.12. Meelaminieren van sensor

De op de 19th EPSEC gepresenteerde PV-watchdog bleek goed maakbaar, en bovenal goed mee gelamineerd te kunnen worden. De hoogste component was circa 0,8 mm. Het lijkt echter verstandig om daar niet te veel boven te gaan. Dit heeft geleid tot de eis dat (zie paragraaf 3.3) de componenten niet hoger mogen zijn dan 1 mm.

Hoewel er een duidelijk trend is om de componenten zo plat mogelijk te maken is dit voor photodiodes en infrarode LEDs nog nauwelijks het geval. Na lang zoeken is het gelukt om een geschikte photodiode te vinden, die slechts 0,8 mm dik is, maar helaas nog niet beschikbaar voor de Europese markt. Na veel correspondentie over de hele wereld is het uiteindelijk toch gelukt om samples te krijgen.

Sharp heeft ook een infrarode LED in haar programma, die "plat" genoeg is voor toepassing in de PV-watchdog. Ook van dit type zijn - na veel moeite - samples ontvangen, doch de efficiency van dit type is onvoldoende. De hoop is nu gevestigd op OSRAM, die sinds kort de SFH4000 op de markt hebben gebracht. Deze heeft een zeer hoge efficiency en is slechts 0,65 mm dik. Ook de lengte en de breedte zijn prima: 1,7 mm x 0,8 mm. Inmiddels zijn samples door leveranciers toegezegd, maar nog niet ontvangen.



Figuur 3.6: Infrarode LED SFH4000

C. HERBEZINNING: STUDIE NAAR GEDRAG VAN HALFGELEIDERS EN ZONNECELLEN

3.13. Naar een nieuw ontwerp

Zoals toegelicht in paragraaf 3.10 bleek bij metingen gedurende de zomer van 2004 aan het PV-laminaat met de PV-watchdog dat bij bewolkte dagen de sensor regelmatig aangaf dat "alles OK is" terwijl de PV-module vrijwel onbelast was. Voor een deel was dit een keuze in het ontwerp: het prototype betrof het basismodel, die werkt volgens de verticale rechte lijn (figuur 3.3), niet volgens de ideale kromme (figuur 3.2).

Toch bleek dat hiermee niet alles te verklaren was. Zoals in de patent-aanvraag is vermeld is er in het ontwerp vanuit gegaan dat alle silicium halfgeleiders, dus ook de zonnecellen, min of meer hetzelfde temperatuur-afhankelijke gedrag vertonen. Uit de metingen bleek dat dit 'iets te kort' door de bocht was.

Daarom is zowel het gedrag van halfgeleiders als zonnecellen bestudeerd; naast een theoretisch model, zijn tevens verificatiemetingen verricht. De bedoeling van de door ECN uitgevoerde metingen aan zonnecellen is om vast te kunnen stellen – en ook voor meerdere typen cellen te kunnen voorspellen - hoe de de iso-efficiency lijnen van de cellen (zie figuren 3.2 en 3.3) er in het 'echt' uitzien. Vervolgens is een methode ontwikkeld om de PV-watchdog – of beter het gedrag van de PV-watchdog – te matchen met het celgedrag.

Dit onderdeel van de studie heeft uiteindelijk geresulteerd in een goede matching tussen PV-watchdog en celgedrag.

D. EVALUATIE

3.14. Kost- en verkoopprijs PV-watchdog

3.14.1. Kostprijscalculatie

Bij het in productie nemen van een 'echte' serie is er een economische ondergrens van 10000 stuks. Dit wordt veroorzaakt omdat de componenten op rol (reel) ingekocht moeten worden. De verpakkingseenheid is gewoonlijk 2000, 2500, 3000, 4000 en 5000. Bij een serie van 5000 stuks zou er dan veel materiaal overblijven. Bij 10000 stuks is dat gewoonlijk veel minder. In Tabel 3.6 zijn de componentkosten – gebaseerd op het in paragraaf 3.16 gepresenteerde definitieve ontwerp – opgenomen.

Tabel 3.6: Componentkosten PV-watchdog (conservatieve schatting)

Componenten	[€]	[N]	Serie 10k [€]	Prijs-reductie [%]	Serie 100k [€]	Prijs-reductie [%]	Serie 1M (China) [€]
Weerstanden	0.0013	9	0.0117	20	0.0094	10	0.0084
Transistoren	0.014375	1	0.0144	20	0.0115	10	0.0104
Diodes	0.0185	1	0.0185	20	0.0148	10	0.0133
Dual OpAmp	0.152	2	0.3040	20	0.2432	10	0.2189
Photo diode	0.474	1	0.4740	30	0.3318	40	0.1991
IR LED	0.216	1	0.2160	20	0.1728	10	0.1555
Red LED	0.06	1	0.0600	20	0.0480	10	0.0432
PCB	300	0.00024	0.072	10	0.065	10	0.06
Totale kosten componenten			1.1706		0.8963		0.7071

De kosten van de componenten – zo blijkt uit Tabel 3.6 – bedraagt bij een serie van 10.000 stuks Euro 1,17. De grootste kostendrager is de photodiode met een kostprijs van € 0,47; deze draagt daarmee voor 40% bij aan de totale componentkosten. Gezien de sterke trend componenten steeds kleiner te maken, kan ervan uitgegaan worden dat meer fabrikanten "kleine photodiodes" op de markt zullen brengen. Hierdoor zal de prijs significant lager worden. Het effect van de verwachte prijsdaling van de photodiode is meegenomen in de prijs voor de serie van 100.000 (100k) stuks. Aangenomen is dat de inkoopprijs van de photodiode 30% zal dalen, terwijl de inkoopprijs van de overige componenten naar verwachting 20% zullen dalen.

Bij een serie van een miljoen stuks is het effect van de prijsdaling van de photodiode opnieuw meegenomen; geschat wordt dat deze nog eens 40% in prijs daalt. Voor de overige componenten is in dit geval een prijsdaling van 10% ingeschat. De verwachte totale componentkosten bedragen nu € 0,71.

De componentkosten zoals weergegeven in Tabel 3.6 zijn een conservatieve schatting. Het is derhalve niet uitgesloten dat de totale componentkosten op termijn (< 5 jaar) onder € 0,5 uitkomen.

Naast de componentkosten, moet ook rekening worden gehouden met de kosten voor de assemblage en het testen. Voor series tot 10.000 stuks (10k) moet een prijs van € 0,05 per component haalbaar worden geacht; bij grotere aantallen kan deze prijs – ook in Nederland – halveren. Dit is dan ook de prijs die is gehanteerd voor een serie van 100.000 stuks (100k). Bij de serie van een miljoen stuks moet gedacht worden aan productie in bijvoorbeeld China; een extra reductie van 70% is verondersteld. Voor de kosten van het testen is uitgegaan van dezelfde prijsreducties.

Tabel 3.7: Kostprijs PV-watchdog (conservatieve schatting)

	Serie 10k	Prijsreductie	Serie 100k	Prijsreductie	Serie 1M (China)
Type kosten	[€]	[%]	[€]	[%]	[€]
Componentkosten	1.171	23.4	0.896	21.1	0.71
Assemblagekosten	0.800	50	0.400	70	0.12
Kosten testen	0.100	50	0.050	70	0.02
Totale kosten	2.07	35.0	1.35	37.4	0.84

Aldus komt de totale kostprijs van de PV-watchdog bij relatief kleine series – te produceren in Nederland – op € 2,07. Indien grotere series worden geproduceerd – ook in Nederland – wordt geschat dat de kostprijs kan dalen naar € 1,35. Voor zeer grote series (1 miljoen) en productie in China wordt verwacht dat de kostprijs van de PV-watchdog € 0,84 zal bedragen, doch een verdere daling is niet uitgesloten.

3.14.2. Is een voor de markt acceptabele verkoopprijs haalbaar?

En nu terug naar de verkoopprijs. Daarvoor hebben we immers in paragraaf 3.1 de volgende randvoorwaarden voor gesteld:

- Korte termijn verkoopprijs: € 5 (verkoopprijs aan consumenten)
- Middellange lange termijn verkoopprijs (2 -5 jaar in dit geval): € 2
- Lange termijn verkoopprijs – grote aantallen: € 1 (verkoopprijs aan PV-modulefabrikanten)

Indien we deze verkoopprijzen vergelijken met de in paragraaf 3.18.1 gepresenteerde kostprijzen, waarbij we er dan vanuit gaan dat korte termijn een serie van 10.000 stuks vertegenwoordigt, middellange termijn een serie van 100.000 stuks en lange termijn een serie van 1 miljoen – dat is te kort door de bocht, maar goed genoeg om een indicatie te krijgen – dan resulteert dat in een marge variërend van 38% tot 16%. Dit is weergegeven in Tabel 3.8.

Tabel 3.8: Mogelijke verkoopprijs, geschatte kostprijs en resulterende marge PV-watchdog

	Verkoopprijs [€]	Kostprijs [€]	Marge [€]	Marge [%]
Korte termijn = serie van 10k	€ 5,00 minus marge derden (33%) → € 3,33	€ 2,07	€ 1,26	37,8%
Middellange termijn = serie van 100k	€ 2,00	€ 1,35	€ 0,65	32,5%
Lange termijn = serie van 1 miljoen	€ 1,00	€ 0,84	€ 0,16	16,0%

Uit tabel 3.8 blijken heel acceptabele marges, zeker gezien het feit dat het een “gering risico-product” is, en de relatief lage investeringskosten (in componenten). Dus hoewel de kostprijs van de PV-watchdog hoger is dan we hadden gehoopt, is het nog steeds een economisch interessant product.

Daarbij zij nadrukkelijk vermeld dat in het uiteindelijke ontwerp van de PV-watchdog, waarop de kostprijsberekeningen zijn gebaseerd, mede een infrarode LED is opgenomen, die in eerste instantie niet was voorzien. Zoals reeds eerder aangegeven hebben we deze toegevoegd om tegemoet te komen aan vragen uit de markt; de infrarode LED biedt beheerders van grootschalige PV-systemen de mogelijkheid om in “één oogopslag” te zien of alle PV-modules nog goed werken, dan wel welke PV-modules niet meer goed functioneren. Zoals uit Tabel 3.6 is af te leiden zou het weglaten van de infrarode LED leiden tot een substantiële kostprijddaling van minimaal 10% (serie 10k) tot 20% (serie 1M). Echter, juist gezien de duidelijke vraag uit de markt, wat bovendien zal leiden tot een eerdere grootschalige toepassing / integratie van de PV-watchdog sluiten we de optie om een PV-watchdog te maken zonder infrarode LED uit.

3.15. Is een PV-watchdog zinvol en haalbaar?

3.15.1. Inleiding

In deze projectrapportage van de haalbaarheidsstudie naar een visuele indicator voor het functioneren van PV-modules zijn vele technische en niet-technische vragen aan de orde gekomen en we hebben zo goed als mogelijk geprobeerd antwoord te geven op al deze vragen. De afsluitende – en meest belangrijke – vraag is natuurlijk of een PV-watchdog zinvol en haalbaar is.

3.15.2. Zinvol?

Uit gesprekken – gevoerd in het kader van de inventarisatie van met name visuele eisen – is gebleken dat er een grote behoefte is aan een goedkope, eenduidige monitoringfaciliteit. De behoefte – met name bij eigenaren van kleine PV-systemen – is zo groot, dat deze groep het liefst morgen een PV-watchdog zou kopen. De genoemde verkoopprijs van € 5,00 voor de eindconsument is dan ook eigenlijk "laag ingeschat"; deze groep waar de behoefte nu speelt, is gaarne bereid meer te betalen, waarbij € 10,00 geen enkel probleem is. Maar goed, dat is een kleine groep, die bovendien zich nu geconfronteerd ziet met het probleem dat zij niet weten en ook niet na kunnen gaan of hun PV-systeem werkt.

Maar toch wel tot onze grote verbazing bleek op de 19th EPSEC dat niet alleen eigenaren van kleine PV-systemen geïnteresseerd zijn in de PV-watchdog, maar juist ook beheerders van grote PV-systemen die behoefte hebben aan een eenvoudige en eenduidige monitoringfaciliteit. Bestaande monitoringsystemen resulteren weliswaar in veel detailgegevens, maar daar is voor grote – we denken aan PV-systemen van > 100 kW – geen echte behoefte meer aan. Beheerders willen gewoon weten waar een "kink in de kabel zit", ofwel welke strings eventueel niet goed functioneren.

Ook de interesse van de zijde van PV-fabrikanten op de 19th EPSEC duidt erop dat zij voordelen zien in het gebruik van de PV-watchdog, hoewel dit voor hen natuurlijk nogal wat betekent: meelamineren van de PV-watchdog vraagt immers een verandering van hun productieproces.

Kortom, ja, op basis van signalen uit de markt, kunnen we niet anders dan concluderen dat een PV-watchdog zinvol is; er is behoefte aan een eenvoudige, goedkope monitoringfaciliteit, en de PV-watchdog zou in deze behoefte kunnen voorzien.

Nadrukkelijk zij vermeld dat de andere voordelen van het gebruik van de PV-watchdog nog niet eens specifiek zijn genoemd. Doch deze moeten zeker niet worden onderschat; het gebruik van de PV-watchdog zal bijdragen aan een verlaging van de installatiekosten, de onderhoudskosten en de reparatiekosten.

3.15.3. Technisch haalbaar?

De PV-watchdog voldoet aan alle gestelde technische eisen, zoals geïnventariseerd en vastgesteld (paragraaf 3.6). Dat wil zeggen:

- De PV-watchdog geeft aan wanneer de PV-module "goed werkt", dat wil zeggen in de buurt van het Maximum Power Point (MPP)
- De PV-watchdog kan meegelamineerd worden in de PV-module
- De PV-watchdog heeft een verwachte levensduur van 20-30 jaar.

3.15.4. Economisch haalbaar?

En tenslotte de vraag of de PV-watchdog ook economisch interessant is. En het antwoord is "ja". Hoewel we in eerste instantie hadden gedacht dat de kostprijs van de PV-watchdog lager uit zou komen, zijn marges van 15-30% toch zeer aanvaardbaar.

4. Beoordeling van de resultaten

4.0. Inleiding

Conform de leidraad voor het aanvragen van een BSE-DEN subsidie, wordt in de subsidie-aanvraag voor onderhavig project ingegaan op "beoordelingsaspecten". Deze BSE-DEN-beoordelingsaspecten moeten inzicht geven in de potentiële bijdrage van het (resultaat van het) project voor duurzame energie – met andere woorden in de (toekomstige) energieverdiensite.

In paragraaf 4.1 deze beoordelingsaspecten (paragraaf 4.1) nogmaals de revue, waarbij wordt beschreven wat voorafgaand aan de uitvoering van het project werd verwacht, en of daar nu na beëindiging van het project anders tegenaan wordt gekeken. Naast de beoordelingsaspecten zijn in de BSE-DEN-subsidie-aanvraag tevens per fase beoogde resultaten geformuleerd. Deze worden in paragraaf 4.2 behandeld, waarbij beoogde resultaten en gerealiseerde resultaten per fase worden gepresenteerd. Voor de behandeling van de beoordelingsaspecten van het project zelf, namelijk in welke mate de beoogde doelstellingen zijn gerealiseerd, wordt verwezen naar hoofdstuk 3, met name paragraaf 3.19.

4.1. Beoordelingsaspecten

4.1.1 Wegnemen knelpunten

Momenteel worden in de praktijk de volgende knelpunten inzake fotovoltaïsche systemen waargenomen:

1. **Bij de installatie:** Bij c.q. na het installeren van fotovoltaïsche modules dient altijd gecontroleerd te worden of het systeem goed is geïnstalleerd en goed functioneert. Dit kan alleen door het systeem "door te meten" dat uitgevoerd dient te worden door een specialist (volwaardig PV-installateur), en bovendien kost dit relatief veel tijd. Door een PV-watchdog in de PV-module in te bouwen wordt de installatie sterk vereenvoudigd; de installateur hoeft nu slechts naar de "LED" te kijken of de installatie succesvol is afgerond en dit bespaart waardevolle installatietijd.
2. **Na installatie/tijdens functioneren 1:** Indien een PV-systeem in de praktijk niet goed blijkt te functioneren, dient een specialist het systeem "door te meten" om na te gaan waar het probleem zich in het systeem voordoet, wat veel waardevolle tijd kost. Door een PV-watchdog in de PV-module in te bouwen is op basis van de indicator eenvoudig af te leiden (te zien) waar het probleem in het systeem zich voordoet. Ook dit bespaart waardevolle meettijd.
3. **Na installatie/tijdens functioneren 2:** Daarnaast is uit een studie van het ECN gebleken dat in de praktijk vaak systemen niet optimaal functioneren, zonder dat de gebruikers zich hier bewust van zijn. Door een PV-watchdog in de PV-modules in te bouwen is eenvoudig te zien of alle PV-modules goed functioneren; waardevolle duurzame kilowatturen gaan niet verloren.
4. **Monitoring:** Momenteel hebben particulieren nauwelijks zicht op het functioneren van hun PV-systeem. De PV-watchdog maakt met name voor "particulieren" een eenvoudige monitoring mogelijk: het systeem functioneert zoals het moet.

Het verwachte effect van het inbouwen van een PV-watchdog is op basis van het bovenstaande als volgt samen te vatten:

1. **Verlagen van de installatiekosten** doordat minder tijd nodig is om na te gaan of de PV-modules goed functioneren, i.c. goed zijn aangesloten.
2. **Verlagen van de "onderhoudskosten"** indien blijkt dat een PV-systeem niet goed functioneert, aangezien niet meer het hele systeem doorgemeten behoeft te worden om na te gaan waar in het systeem het probleem zich voordoet.
3. **Verhogen van de opbrengst** van geïnstalleerde PV-modules, aangezien nu direct is te zien wanneer PV-modules niet goed functioneren.

Daarnaast zullen **slechte systeemontwerpen “direct door de mand vallen”**. Daarbij kan gedacht worden aan “te veel oversizen” of “te veel undersizen” van de inverter. Immers als de strings te lang of te kort zijn, zal de inverter niet in het optimale MPP-gebied kunnen werken. Dit wordt door de PV-watchdog direct zichtbaar gemaakt. Ook indien strings van van ongelijke lengte parallel worden geschakeld, en vervolgens worden aangesloten op een “centrale inverter” zal de PV-watchdog direct tonen dat er “iets mis” is. Tenslotte zal de PV-watchdog ook inverters met een slecht MPP-gedrag of een te klein MPP-window direct detecteren.

Het is moeilijk te becijferen hoe groot de kostenreductie – in termen van energieverdienste - zal zijn; ook na deze studie is hier nog onvoldoende inzicht in verkregen. Echter, gezien het enthousiasme vanuit de markt – inclusief PV-fabrikanten – mag worden aangenomen dat de PV-watchdog wel degelijk in een behoefte voorziet. Aldus komen we tot de volgende inschatting van de energieverdienste van de PV-watchdog:

1. **Verlagen installatiekosten.** Stel dat het “doormeten van een PV-module bij installatie” 2,5 minuten kost (dit is een zeer lage schatting), dan is een installateur een uur bezig met het doormeten van 24 PV-modules bij installatie. Per PV-module kost – uitgaande van kosten van de installateur van € 60 per uur - dit dan ca. € 2,5. Deze overheadkosten (BOS-kosten) kunnen door het gebruik van de sensor worden bespaard.
2. **Verlagen onderhoudskosten.** Het “doormeten van een PV-systeem dat niet goed blijkt te functioneren” vraagt veel tijd. Afhankelijk van de grootte van het systeem (en de constatering dat een systeem niet functioneert op basis van monitoringgegevens komt waarschijnlijk alleen bij grote systemen voor), kost al gauw 4-8 uren. Het gebruik van de sensor zal leiden tot een kostenreductie van al gauw € 240 – Euro 480 in geval van niet goed functioneren van PV-systemen.
3. **Verhogen opbrengst.** Op basis van de studie van het ECN mag worden aangenomen dat mogelijk 10% van de geïnstalleerde PV-systemen niet goed functioneert, zonder dat dat dit wordt geconstateerd. Indien dit inderdaad zo is (is onderdeel van deze haalbaarheidsstudie), dan zal het gebruik van de sensor kunnen leiden tot een toename van de opbrengst uit PV-systemen met meer dan 10%.

4.1.2 Verbeteren prijs-prestatie-verhouding

Zoals reeds hiervoor is aangegeven in paragraaf 4.1.1. zal door het gebruik van de PV-watchdog de prijs-prestatie-verhouding kunnen verbeteren. Nu is voor PV nog een lange weg te gaan, maar aangezien we juist voor de toekomst mogen verwachten dat de kosten van de cellen zullen dalen, zal ook duidelijk de aandacht moeten uitgaan naar de BOS-kosten. De sensor kan hieraan een bijdrage leveren doordat het gebruik hiervan leidt tot een verlaging van de installatiekosten, van de onderhoudskosten en daarmee tot een verhoging van de opbrengst.

Helaas is uit deze haalbaarheidsstudie gebleken dat de kostprijs van de PV-watchdog iets hoger is dan verwacht. Dat neemt niet weg dat de voordelen – met name voor eigenaren van kleine PV-installaties, die de keuze hebben tussen een “kostbaar monitoringsysteem” en de PV-watchdog – groot zullen blijven.

Daarnaast zij nogmaals verwezen naar de interesse vanuit de “professionele markt” voor een eenvoudigere wijze, en vooral goedkopere manier, van monitoring. Bij de toename van de omvang van de PV-systemen is geen behoefte meer aan “gedetailleerde” informatie per PV-module; er is behoefte aan een “overzicht”: hoeveel PV-modules werken er, hoeveel niet. De PV-watchdog kan zeker een bijdrage leveren aan het goedkoper maken van “monitoring”, zeker indien we als vertrekpunt de huidige “gedetailleerde” PV-monitoring-systemen nemen. Dit dient echter nog nader verkend te worden. OKE-Services is hierover in gesprek met JRC, Italie.

4.2. Resultaten

Naast de beoordelingsaspecten zijn in de DEN-subsidie-aanvraag tevens per fase beoogde resultaten geformuleerd. Deze zijn in Tabel 4.1 opgenomen, met in de linkerkolom de omschrijving, vervolgens het beoogde resultaat, en in de derde kolom het resultaat gebleken uit de haalbaarheidsstudie. In de vierde kolom is aangegeven op welke punten nader onderzoek / testen is vereist. Uit tabel 4.2 blijkt dat feitelijk aan alle beoogde resultaten is voldoen. Wel willen we zelf bezien – op basis van de resultaten van deze studie – of het zinvol is het neergelegde octrooi te herzien en te verlengen.

Tabel 4.1: Beoordelingsaspecten per fase

Fase	Beoogd conform projectaanvraag	Resultaten haalbaarheidsstudie	Nadere studie vereist inzake
Aanvragen octrooi	Octrooi	Octrooi	Ja, wijziging en verlenging
Formuleren pakket van eisen	Pakket van eisen	Pakket van eisen	Nee
Maken prototype	Prototype	Prototype	Nee
Evalueren prototype	Evaluatie prototype	Evaluatie prototype	Nee
Aanpassen ontwerp	Aangepast ontwerp	Aangepast ontwerp	Nee

5. Publiciteit

5.1. 19th EPSEC

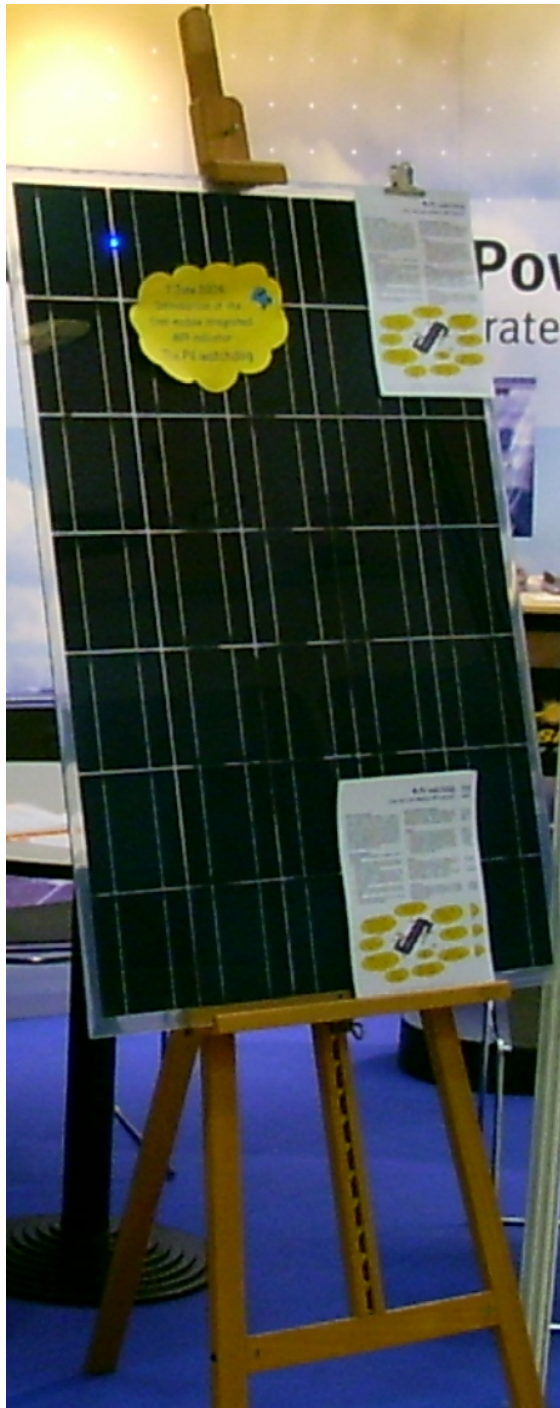
Hoewel het project in eerste instantie wat moeizaam op gang kwam – met name door de onduidelijkheid of nu wel of niet een octrooi aangevraagd zou worden – gingen we begin 2004 ineens in een sneltreinvaart vooruit. Toen in mei 2004 Henk Oldenkamp een volledig werkend prototype gereed had, vonden we dan ook dat we er maar voor moesten gaan: presentatie van de PV-watchdog op de 19th EPSEC, die van 7-11 juni zou plaatsvinden in Parijs.

Het indienen van een abstract voor de conferentie behoorde niet meer tot de mogelijkheden, maar wel een presentatie “real life” in de gezamenlijke Holland Solar stand. Hiervoor moest ECN wel even alle zeilen bijzetten – met grote dank aan Andries Tip en Mark Jansen – om twee PV-watchdogs mee te lamineren in een nieuwe PV-module. Tevens werd nog een opvallende poster gemaakt, alsmede een folder, waarin op de voorzijde in algemene termen de PV-watchdog wordt toegelicht, en op de achterzijde het werkingsprincipe.

De reacties waren zeer positief. Zelfs grote sceptici vonden hun weg naar onze stand, en stonden welwillend tegenover het idee de PV-watchdog in hun PV-modules te integreren. Maar de grootste verrassing was toch wel de reactie van het Europese Joint Research Center (JRC), die in de PV-watchdog “het” alternatief zien voor huidige monitoringfaciliteiten die zij gebruiken voor grootschalige EU-projecten. Zij hebben aangegeven een vervolgtraject met OKE-Services in te willen gaan voor uitontwikkeling en implementatie van de PV-watchdog.

5.2. Nominatie voor ID-NL prijs

De mooiste ervaring was de nominatie van de PV-watchdog voor de ID-NL prijs 2004 in de categorie “Energie en milieu”. En eerlijk is eerlijk, dit is meer dan zomaar “iets”, meer dan slechts een erkenning, wat we ons eigenlijk niet hadden gerealiseerd. Niet alleen wordt in De Telegraaf aan de genomineerde uitvindingen uitgebreid aandacht besteed, maar daarnaast geeft nomineer de mogelijkheid om de vinding te



Figuur 5.1: PV-wirefree laminaat met PV-watchdog zoals getoond op de gezamenlijke Holland Solar stand tijdens de 19th EPSEC, juni 2004, Parijs, Frankrijk

presenteren in een eigen stand tijdens Holland Innovation. Die werd op 17 november 2004 gehouden in De Van Nelle Fabrieken in Rotterdam, en werd bezocht door 2000 bezoekers.

Bovenal gaf ons dit de unieke kans om met "andere uitvinders" te praten. Het was bijna een verademing, te horen dat – in welke categorie dan ook – al deze mensen tegen dezelfde problemen aanlopen als wij, met name inzake het "overtuigen van anderen". Maar het leukste was toch wel te ervaren dat de onderlinge waardering – voor elkaanders uitvindingen – groot was. Er was nauwelijks sprake van een competitiegevoel. Kortom, een prima ervaring.



Figuur 5.2: Henk Oldenkamp met de ID-NL oorkonde voor de PV-watchdog tijdens Holland Innovation, november 2004