

## **Korte termijn voorspelling van de opbrengst van PV-systemen**

N.J.C.M. van der Borg  
W.D. van den Berg\*

\* Meteo Consult

## Verantwoording

De in dit rapport beschreven werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het project "Aanbodvoorspeller" van het ENGINE programma van ECN (projectnummer 7.4103).

## Abstract

In de Elektriciteitswet is vastgelegd dat elke "programmaverantwoordelijke" dagelijks zijn prognose van de elektriciteitsleverantie (het "programma") kenbaar dient te maken aan TenneT, de landelijke netbeheerder. Om deze reden is een onderzoek gestart dat gericht is op het ontwikkelen van een methode voor het opstellen van de verwachte uurwaarden van de energieproductie van een PV-systeem voor de komende dag.

De methoden die onderzocht zijn, zijn gebaseerd op instralingsverwachtingen (meteomethode), historische gegevens (persistentiemethode) en combinaties daarvan (combimethoden). Door gemeten gegevens met hun verwachtingswaarden te vergelijken is het volgende geconcludeerd:

- Bij het gebruik van de meteo-methode voor het opstellen van de verwachting van de uurlijkse dagpatronen van de energieproductie van een PV-systeem wordt de onzekerheid gedomineerd door de onzekerheid van het verwachte uurpatroon van de horizontale instraling nabij het PV-systeem.
- De persistentiemethode presteert niet heel veel slechter dan de meteo-methode.
- De beste resultaten zijn verkregen door het toepassen van een methode waarbij de meteo- en persistentiemethoden gecombineerd worden. Hierbij worden de gemiddelde dagpatronen van de energieproductie over de afgelopen dagen gebruikt als verwachting van het relatieve dagpatroon van de energieproductie voor de te voorspellen dag. De normering naar het absolute dagpatroon wordt uitgevoerd met behulp van de verwachte (of gemeten) dagintegralen van de instraling van de afgelopen dagen en de verwachte dagintegraal van de te voorspellen dag.

## Keywords

Korte termijn prognose; PV-energie; Programmaverantwoordelijkheid; Elektriciteitswet.

# INHOUD

1.	INLEIDING	5
2.	ONDERZOCHE METHODEN	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Meteomethode	6
2.3	Vermogenspersistentie	6
2.4	Combi-methoden	7
3.	TOETSING VAN DE METHODEN	8
3.1	Meteo-methode	8
3.1.1	Stap 1	8
3.1.2	Stap 2	8
3.1.3	Stap 3	9
3.1.4	Stap 4	10
3.2	Vermogenspersistentie en combi-methoden	10
4.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	11
	APPENDIX	16



## 1. INLEIDING

In de Elektriciteitswet zijn regels geformuleerd ten aanzien van de zogenaamde “programmaverantwoordelijkheid” (PV) van elektriciteitsproducenten. Hierin is vastgelegd dat elke “programmaverantwoordelijke” dagelijks zijn prognose van de elektriciteitsleverantie (het “programma”) kenbaar dient te maken aan TenneT, de landelijke netbeheerder. Het programma geldt voor een periode van 48 uur en had bij aanvang van het in dit document beschreven onderzoek een tijdsresolutie van 1 uur. Door de werkelijke productie te meten stelt TenneT per tijdstap vast hoeveel overproductie of onderproductie er is geweest ten opzichte van het ingediende programma. De overgeproduceerde energie wordt voor een laag tarief opgekocht en de ondergeproduceerde energie wordt voor een hoog tarief toegeleverd door TenneT. De tariefstuktuur is tamelijk complex en wordt in dit document niet nader toegelicht.

Uit onderzoek van ECN-BS blijkt dat deze regels gericht zijn op productie-eenheden waarvan de opgestelde vermogens veel groter zijn dan de vermogens zijn dan de huidige zonne-energiecentrales. Echter zowel de vermogens van de toekomstige zonne-energiecentrales als de regels over de programmaverantwoordelijkheid zijn veranderlijk. Daarom worden toch werkzaamheden uitgevoerd om tot een verwachtingsprocedure voor de opbrengst van zonne-energiecentrales (ZE-voorspeller) te komen.

Op 1 januari 2001 is de tijdsresolutie van de programmaverantwoordelijkheid verfijnd van 1 uur naar 15 minuten. Vooralsnog is deze wijziging niet doorgevoerd in het hier beschreven project zodat de ZE-voorspeller gericht is op een resolutie van 1 uur. Verder is gebleken dat de “programmaverantwoordelijke” 1500 maal per jaar het ingediende programma kosteloos mag wijzigen. Dit geeft de mogelijkheid om het “programma” dagelijks kort voor zonsopgang in te dienen waardoor de verwachting het hoogste betrouwbaarheidsniveau heeft. Om deze reden richt de ZE-voorspeller zich op een tijdshorizon van 24 uur vanaf 06:00h.

## 2. ONDERZOCHE METHODEN

### 2.1 Algemeen

De doelstelling van het onderzoek is het vinden of ontwikkelen van een methode voor het opstellen van de verwachte uurwaarden van de energieproductie van een PV-systeem voor de komende dag. De methoden die onderzocht zijn, zijn gebaseerd op instralingsverwachtingen (meteomethode), historische gegevens (persistentiemethode) en combinaties daarvan (combimethoden).

### 2.2 Meteomethode

Bij deze methode worden de volgende stappen onderscheiden:

1. Vaststellen van de verwachte uurwaarden van de globale (= totale) instraling in het horizontale vlak op een nabij gelegen weerstation
2. Vertaling naar de globale instraling in het horizontale vlak op de locatie van het PV-systeem
3. Berekening van de totale instraling in het arrayvlak van het PV systeem
4. Berekening van de elektriciteitsproductie van het PV-systeem

*Stap 1* wordt uitgevoerd door een meteorologisch instituut (bijvoorbeeld Meteo Consult), dagelijks om 6:00 h voor een periode van een etmaal. De door Meteo Consult gehanteerde methode staat beschreven in appendix 1.

*Stap 2* bestaat uit de veronderstelling dat de resultaten van stap 1 ook gelden voor de locatie van het PV-systeem.

*Stap 3* bestaat uit twee bewerkingen van de verwachte instraling ter plaatse van het PV-systeem. Allereerst wordt de diffuse component van de horizontale instraling berekend met een bestaand semi-empirisch model (bijvoorbeeld Liu en Jordan of Orgill en Hollands). Vervolgens wordt uit het directe en het diffuse deel van de instraling op het horizontale vlak de totale instraling op het arrayvlak berekend met een bestaand semi-empirisch model (bijvoorbeeld Perez).

*Stap 4* wordt uitgevoerd met een van de bestaande simulatietools (bijvoorbeeld PVsyst). Hierin wordt rekening gehouden met de temperatuurverhoging van de panelen ten opzichte van de omgevingstemperatuur, met het rendement van het PV-array als functie van de instraling en temperatuur en met het rendement van de inverter als functie van het vermogen. De waarden van de omgevingstemperatuur kunnen verwachte waarden zijn of langjarig gemiddelde waarden voor het betreffende moment.

### 2.3 Vermogenspersistentie

Deze methode is gebaseerd op de veronderstelling dat de uurlijkse energieproductie van vandaag hetzelfde zal zijn als de energieproductie op de corresponderende uren van gisteren:

$$E(h)_n = \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-1}$$

Hierin staat  $E(h)_n$  voor de uurlijkse verdeling van de energieproductie van dag n. De cursief geschreven grootte is de verwachte waarde en de vetgeschreven grootte is verkregen uit waarnemingen.

Hier zijn dus geen instralingsverwachtingen voor nodig en ook hoeft het rendement van het PV-systeem (inclusief veranderende effecten zoals beschaduwing of vervuiling) niet bekend te zijn.

Het nadeel van deze methode is dat op geen enkele wijze rekening gehouden wordt met de weersverwachting.

## 2.4 Combi-methoden

Hierbij wordt de methode van vermogenspersistentie gecombineerd met onderdelen van de meteo-methode. Er zijn diverse algoritmes voor denkbaar, de volgende zijn onderzocht.

- Combi1\_V/M.

Deze methode is gebaseerd op waarnemingen van de vorige dag en gebruikt de verwachte en de gemeten instraling op het horizontale vlak:

$$E(h)_n = \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-1} * H(d)_n / \mathbf{H}(\mathbf{d})_{n-1}.$$

Hierin staat  $E(h)_n$  weer voor de uurlijkse verdeling van de energieproductie en  $H(d)_n$  voor het dagtotaal van de instraling op het horizontale vlak bij het weerstation, beide voor van dag n. De cursief geschreven grootheden zijn de verwachte waarden en de vetgeschreven grootheden zijn verkregen uit waarnemingen.

- Combi1\_V/V.

Deze methode is gebaseerd op waarnemingen van de vorige dag en gebruikt de verwachte instraling op het horizontale vlak:

$$E(h)_n = \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-1} * H(d)_n / H(d)_{n-1}$$

Het verschil met de vorige methode is dat nu niet de waargenomen instraling maar de verwachte instraling van de vorige dag gebruikt wordt. Het voordeel is dat er geen instraling gemeten hoeft te worden.

- Combi3\_V/M.

Deze methode is gebaseerd op waarnemingen van de drie vorige dagen en gebruikt de verwachte en de gemeten instraling op het horizontale vlak:

$$E(h)_n = (\mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-1} + \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-2} + \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-3}) * H(d)_n / (\mathbf{H}(\mathbf{d})_{n-1} + \mathbf{H}(\mathbf{d})_{n-2} + \mathbf{H}(\mathbf{d})_{n-3})$$

De invloed van kortdurende variaties, die ongecorrleerd zijn van dag tot dag, wordt hiermee verkleind.

- Combi3\_V/V.

Deze methode is gebaseerd op waarnemingen van de drie vorige dagen en gebruikt de verwachte instraling op het horizontale vlak:

$$E(h)_n = (\mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-1} + \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-2} + \mathbf{E}(\mathbf{h})_{n-3}) * H(d)_n / (H(d)_{n-1} + H(d)_{n-2} + H(d)_{n-3})$$

### 3. TOETSING VAN DE METHODEN

#### 3.1 Meteo-methode

##### 3.1.1 Stap 1

Voor het kwantificeren van de onzekerheid in de verwachte uurwaarden van de globale instraling in het horizontale vlak op een nabij gelegen weerstation zijn verwachtingen en waarnemingen nodig voor een en dezelfde locatie. Helaas zijn deze gegevens (nog) niet beschikbaar. Als alternatief zijn waarnemingen te Petten vergeleken met verwachtingen voor Den Helder en IJmuiden.

De waarnemingen van de globale instraling te Petten zijn verkregen uit metingen met een horizontaal opgestelde pyranometer op het dak van het DE-gebouw van ECN. Bij deze metingen worden de gemiddelde waarden van aaneengesloten 10-minuten periodes opgeslagen. De bijbehorende tijdstippen zijn uitgedrukt in MEZT (= Greenwich Mean Time +1 h in de winter en GMT +2 h in de zomer) en zijn gedefinieerd aan het einde van de bijbehorende 10-minuten periode. De 10-minuten perioden zijn niet gesynchroniseerd met de gehele uren. De uurlijkse instralingswaarden zijn bepaald door de 6 waarden die in het betreffende uur zijn opgeslagen te sommeren. De meetonzekerheid van de instraling te Petten is ongeveer 3 % van de gemeten waarde.

In de periode van 1 oktober 2000 tot 1 oktober 2001 heeft Meteo Consult dagelijks om 06:00 h de verwachting van de globale instraling opgesteld voor de locatie Den Helder en ook voor de locatie IJmuiden voor de volgende 18 uren. Meteo Consult hanteert daarbij ook de MEZT tijdsdefinitie. De verwachtingen van Den Helder en IJmuiden zijn afzonderlijk vergeleken met de metingen te Petten en dit is ook gedaan voor de gemiddelden van de verwachte uurwaarden van Den Helder en IJmuiden.

De positieve en de negatieve verschillen tussen de uurwaarden van de verwachte instraling en de gemeten instraling zijn gescheiden gesommeerd tot de totale overschatting respectievelijk onderschatting van de instraling. De maandwaarden van deze overschattingen en onderschattingen en ook van de gemeten en verwachte instraling zijn gegeven in de figuren 1a, 1b en 1c. De bijbehorende jaarwaarden staan in tabel 1.

Gemeten KWh/m2	Verwacht (kWh/m2)			Overschat (kWh/m2)			Onderschat (kWh/m2)		
	Den H	IJM	Gemid	Den H	IJM	Gemid	Den H	IJM	Gemid
1110	1001	1008	1004	158	159	157	281	274	276

Tabel 1: Vergelijking van de gemeten instraling te Petten met de verwachte instraling voor Den Helder, IJmuiden en het gemiddelde daarvan (gebaseerd op alle uurwaarden in de periode 1/10/2000 - 1/10/2001)

##### 3.1.2 Stap 2

Voor het kwantificeren van de onzekerheid in stap 2 zijn gelijktijdige waarnemingen nodig van uurlijkse instralingswaarden op verschillende locaties. Hiervoor zijn de KNMI-waarnemingen gebruikt van de weerstations in De Bilt, Vlissingen, Berkhout (nabij Hoorn) en Eelde en de metingen te Petten, verkregen uit metingen met een horizontaal opgestelde pyranometer op het dak van het DE-gebouw van ECN. De KNMI-gegevens zijn gerelateerd aan de Greenwich Mean Time. De ECN gegevens zijn ook aangepast naar deze tijdsdefinitie.



De positieve en de negatieve verschillen tussen de uurwaarden van Vlissingen, Berkhout, Eelde en Petten enerzijds en De Bilt anderzijds zijn gescheiden gesommeerd. De maandwaarden van deze totalen en ook van de gemeten instralingswaarden zijn gegeven in de figuren 2a, 2b en 2c. De bijbehorende jaarwaarden staan in tabel 2. Bij de KNMI-gegevens ontbreekt een dag in augustus 2001 en bij de ECN-gegevens ontbreekt een dag in maart 2001. Hiervoor is niet gecorrigeerd. Daarnaast ontbreken bij de ECN-gegevens nog ongeveer zes dagen in februari. Daarom zijn van februari geen resultaten voor Petten opgenomen in de figuren. Voor de berekening van de jaartotalen in de tabel zijn de resultaten van Petten voor februari vervangen door die van Berkhout.

Uit de resultaten blijkt dat de aanname dat de instralingswaarden in De Bilt gelijk zouden zijn aan die in de overige locaties aanleiding geven tot grote afwijkingen. De daardoor geïntroduceerde onzekerheden in stap 2 zijn van dezelfde orde grootte als die in stap 1. Het is daarom nodig om de verwachting van de instraling op te stellen voor een locatie die zo dicht mogelijk bij het PV-systeem gelegen is.

Instraling (kWh/m <sup>2</sup> )					Totaal > De Bilt (kWh/m <sup>2</sup> )				Totaal < De Bilt (kWh/m <sup>2</sup> )			
Bilt	Vlis	Berk	Eel	Pet	Vlis	Berk	Eel	Pet	Vlis	Berk	Eel	Pet
989	1057	1045	980	1127	213	170	161	247	145	114	170	99

Tabel 2: Vergelijking van de gemeten instraling in De Bilt met de gemeten instraling in Vlissingen, Berkhout Eelde en Petten (gebaseerd op alle uurwaarden in de periode 1/11/2000 - 1/11/2001)

### 3.1.3 Stap 3

Om de onzekerheid van stap 3 te kwantificeren dient de instraling in het arrayvlak van een PV-systeem berekend te worden uit de instraling op het horizontale vlak om deze vervolgens te vergelijken met de gemeten instraling op het arrayvlak. Hiervoor zijn meetgegevens gebruikt die verkregen zijn uit metingen met twee horizontaal opgestelde pyranometers op het dak van het DE-gebouw van ECN, waarvan één voorzien van een schaduwring, en een verticaal opgestelde pyranometer op de west gevel van datzelfde gebouw. De meetgegevens van de horizontaal opgestelde pyranometers zijn gebruikt om de instraling op de west gevel te berekenen en te vergelijken met de meetwaarden van de verticaal opgestelde pyranometer. Hierbij zijn twee berekeningswijzen gevolgd:

- met uitsluitend de globale instraling op het horizontale vlak (Ho),
- idem plus de gemeten diffuse component (Ho, Do).

Beide berekeningen zijn uitgevoerd met het programma PVSYST (<http://www.unige.ch/gap-e/PVsyst/PVsyst.html>).

De positieve en de negatieve verschillen tussen de berekende en de gemeten uurwaarden van de instraling op de westgevel zijn gescheiden gesommeerd. De maandwaarden van deze totalen en ook van de berekende en gemeten instralingswaarden zijn gegeven in de figuren 3a, 3b en 3c. De bijbehorende jaarwaarden staan in tabel 3. De gegevens van de figuren en tabel hebben betrekking op het jaar 1999, in tegenstelling tot de gegevens van de vorige paragrafen.

Instraling op westgevel (kWh/m <sup>2</sup> )			Overschatting (kWh/m <sup>2</sup> )		Onderschatting (kWh/m <sup>2</sup> )	
Meet	Uit Ho	Uit Ho, Do	Uit Ho	Uit Ho, Do	Uit Ho	Uit Ho, Do
682	654	670	35	39	63	51

Tabel 3: Vergelijking van de berekende en gemeten instraling op de westgevel van een ECN-gebouw (gebaseerd op alle uurwaarden in de periode 1/1/2000 - 1/1/2001)

Uit de figuren en tabel blijkt dat het gebruik van de gemeten waarden van de diffuse instraling op het horizontale vlak nauwelijks of geen toegevoegde waarde heeft boven het berekenen ervan. Verder blijkt dat de onzekerheid van stap 3 klein is in vergelijking met de onzekerheid van stap 1.

### 3.1.4 Stap 4

De onzekerheid in stap 4 wordt veroorzaakt door de onzekerheid in de modellering van de PV-systemen. Het betreft hier onder andere de onbekendheid van spectrale effecten, vervuiling, rendementscurven van de componenten en niet-lineaire effecten. Om de onzekerheid van stap 4 te kwantificeren dient de opbrengst van een PV-systeem berekend te worden uit de uurwaarden van de instraling op het arrayvlak en dient dit vervolgens vergeleken te worden met de gemeten opbrengstwaarden. Verwacht wordt dat de onzekerheid in stap 4 belangrijk kleiner is dan de onzekerheid in stap 1. Daarom is de onzekerheid in stap 4 niet gekwantificeerd.

## 3.2 Vermogenspersistentie en combi-methoden

In deze paragraaf wordt de betrouwbaarheid van de vermogenspersistentie en de combi-methoden vergeleken met die van de meteo-methode. Om de vergelijking zo eenvoudig mogelijk te maken zijn de persistentie- en combi-methoden niet toegepast op het vermogen van een PV-systeem maar op het resultaat van stap 1 van de meteo-methode: de horizontale instraling ter plaatse van het PV-systeem.

De verwachte instraling van Den Helder en IJmuiden zijn gemiddeld zoals beschreven in paragraaf 1. Deze data zijn samen met de waarnemingen van de horizontale instraling (van de voorgaande één of drie dagen) te Petten gebruikt om de verwachte horizontale instralingsverdeling voor elke dag op te stellen. De positieve en de negatieve verschillen tussen de berekende en de gemeten uurwaarden van de instraling op het horizontale vlak zijn gescheiden gesommeerd. De jaartotalen staan in tabel 4.

Uit tabel 4 blijkt dat de onderlinge verschillen tussen de verschillende methodes niet erg groot zijn. De twee combimethoden die gebaseerd zijn op een waarnemingsperiode van 3 dagen presteren het beste. De maandwaarden van deze twee combimethoden staan samen met die van de meteo- en persistentiemethode in de figuren 4a, 4b en 4c.

kWh/m2=>	Instraling	Overschating	Onderschating	Onder+Oversch.
Meting	1110	-	-	-
Meteo	1004	157	276	433
Persistentie	1109	243	243	486
Combi1 v/m	994	145	264	409
Combi1 v/v	1143	250	217	467
Combi3 v/m	996	122	242	364
Combi3 v/v	1115	188	180	368

Tabel 4: Vergelijking van de resultaten van de verschillende methoden voor de verwachting van de instraling op het horizontale vlak te Petten; Periode 1/10/2000 - 1/10/2001.

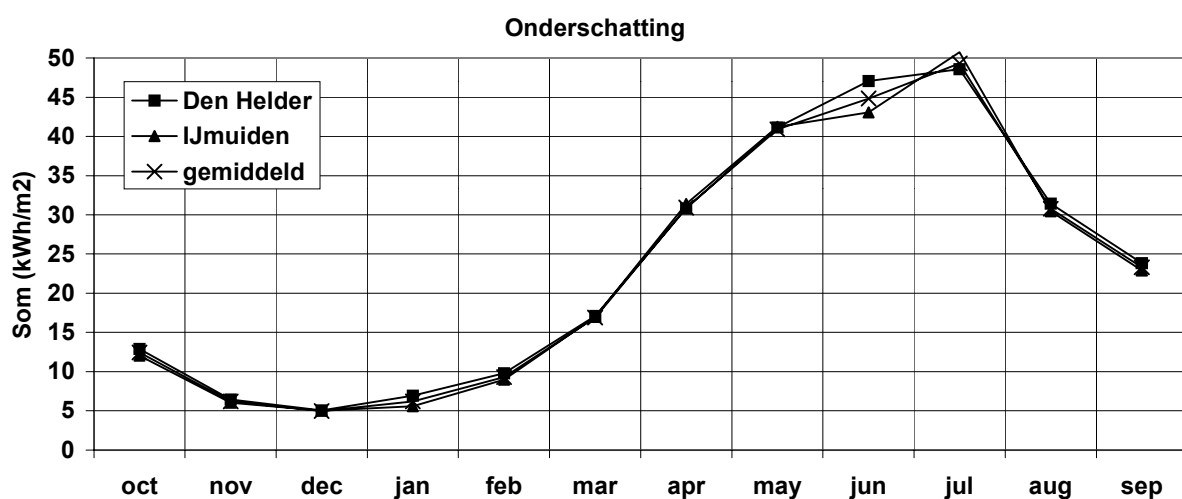
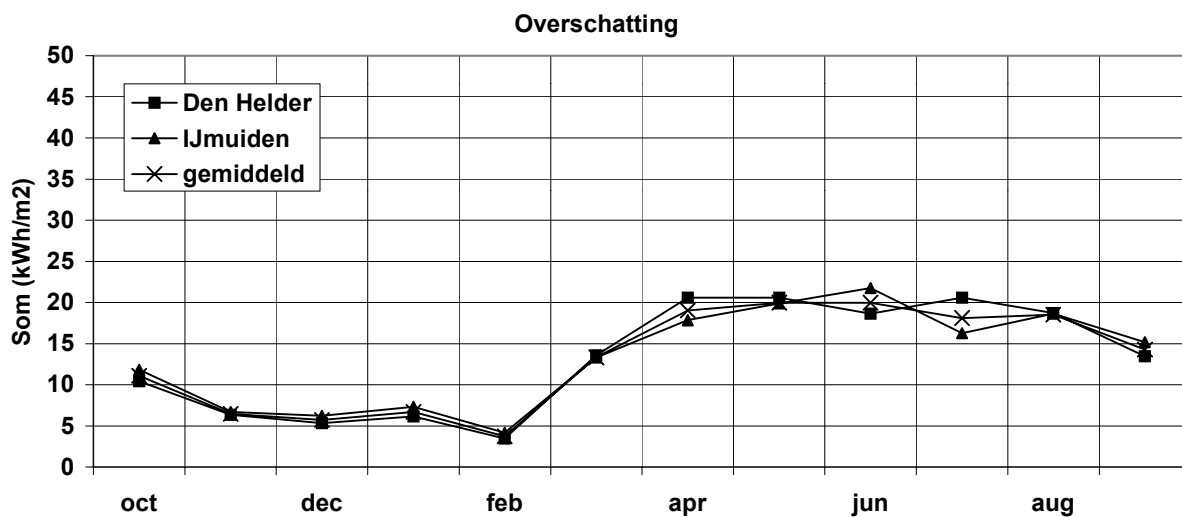
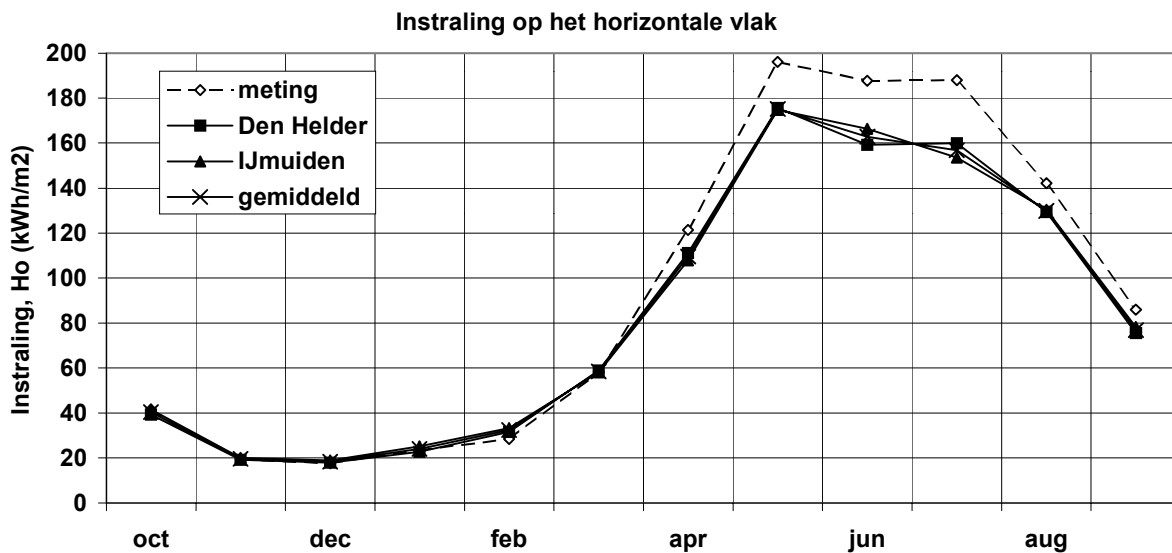
## 4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### Conclusies:

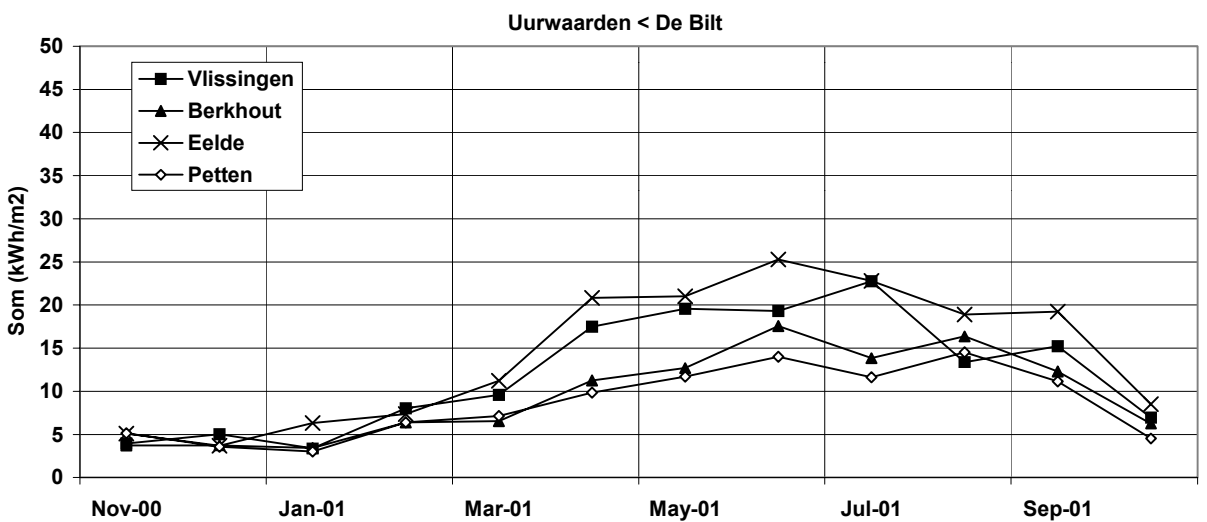
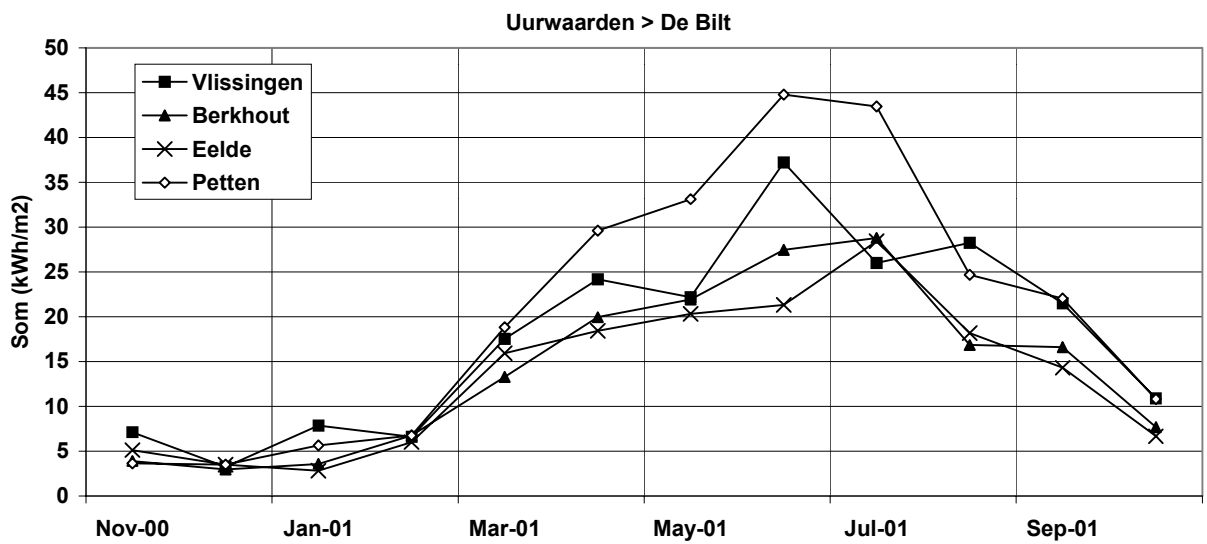
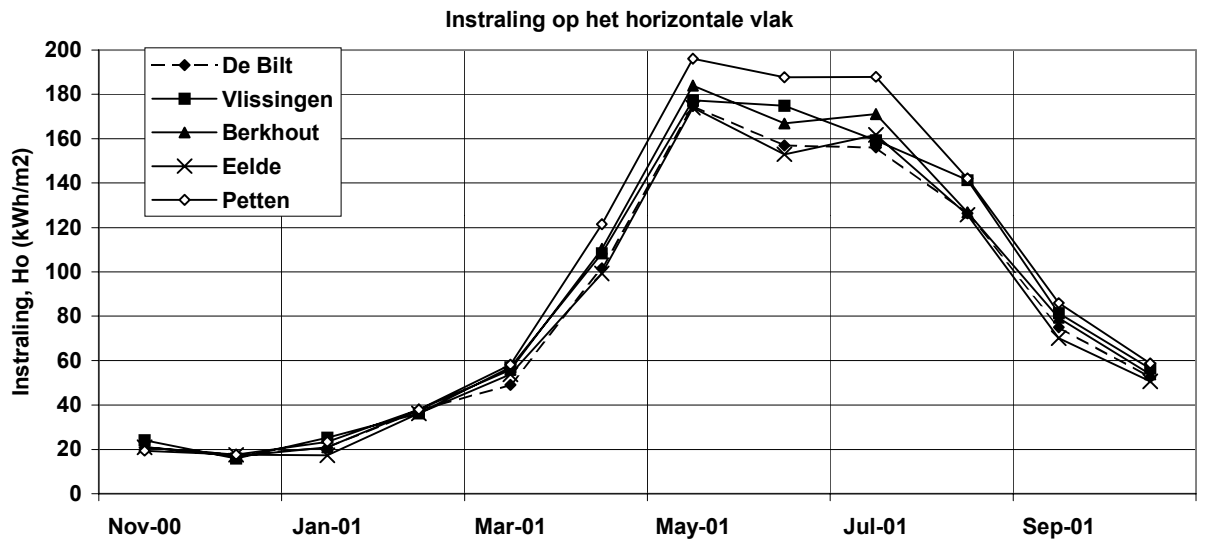
- Bij het gebruik van de meteo-methode voor het opstellen van de verwachting van de uurlijkse dagpatronen van de energieproductie van een PV-systeem wordt de onzekerheid gedomineerd door de onzekerheid van het verwachte uurpatroon van de horizontale instraling nabij het PV-systeem.
- De persistentiemethode presteert niet heel veel slechter dan de meteo-methode.
- De beste resultaten zijn verkregen door het toepassen van een methode waarbij de meteo- en persistentiemethoden gecombineerd worden. Hierbij worden de gemiddelde dagpatronen van de energieproductie over de afgelopen dagen gebruikt als verwachting van het relatieve dagpatroon van de energieproductie voor de te voorspellen dag. De normering naar het absolute dagpatroon wordt uitgevoerd met behulp van de verwachte (of gemeten) dagintegralen van de instraling van de afgelopen dagen en de verwachte dagintegraal van de te voorspellen dag.

### Aanbevelingen:

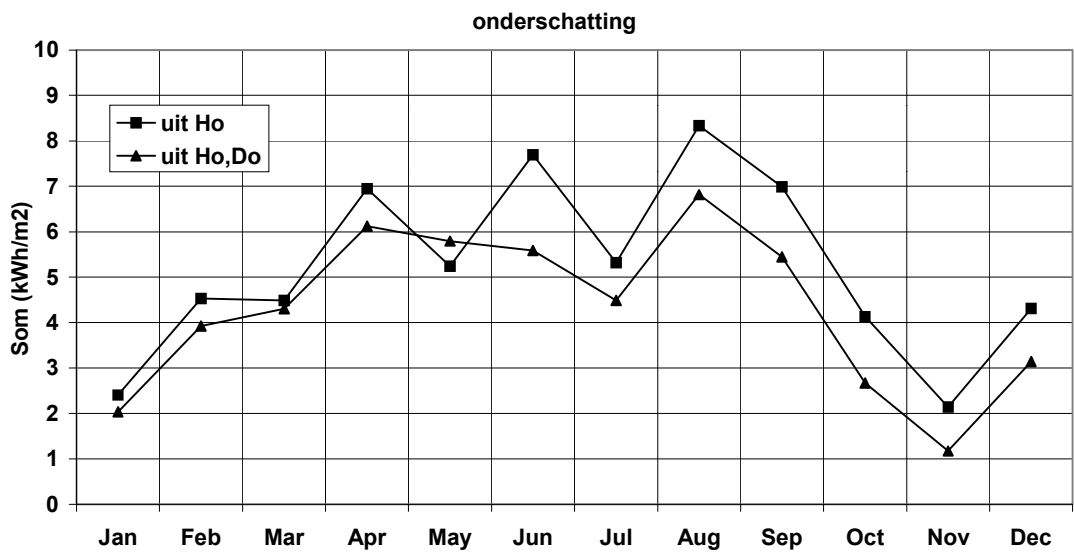
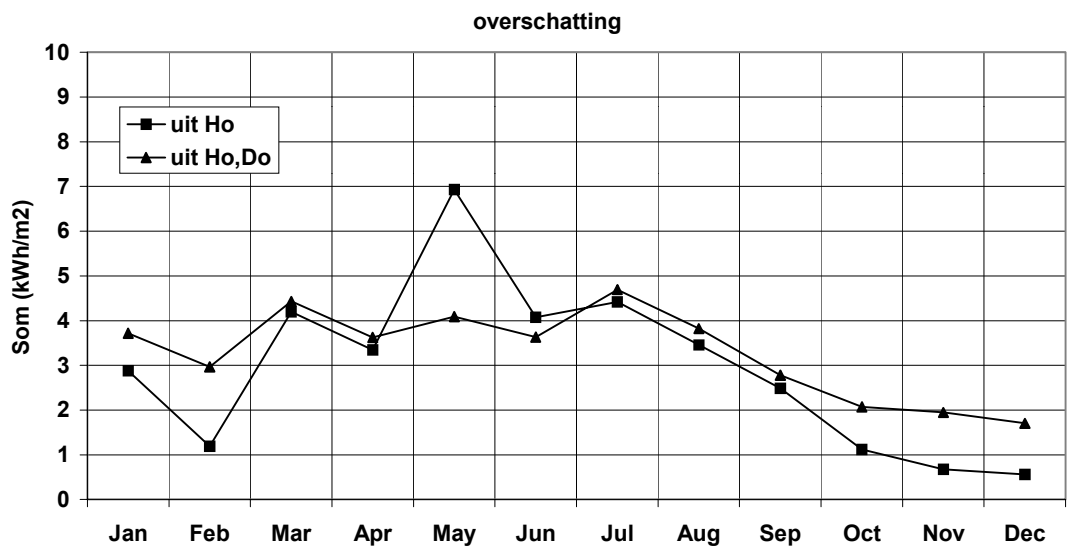
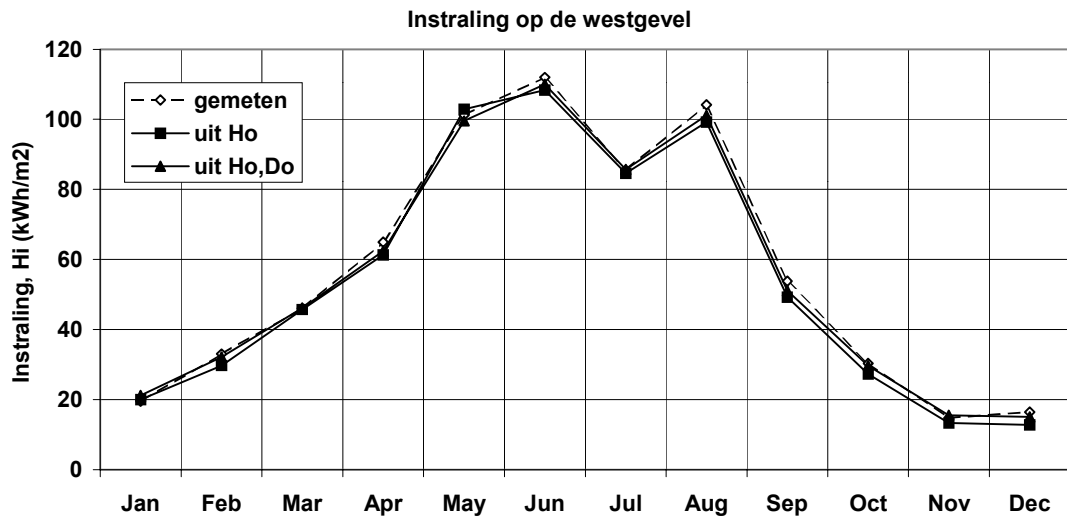
- In deze studie zijn instralingsverwachtingen van twee naburige weerstations gebruikt met een tijdsresolutie van een uur. Aanbevolen wordt om het onderzoek te herhalen met verwachte instralingswaarden op een fijnmazig raster over Nederland en met een tijdsresolutie van 15 minuten.
- In deze studie is uitgegaan van instralingsverwachtingen die opgesteld zijn om 06.00 h van elke dag. Uit appendix 1 blijkt dat de verwachtingswaarden betrouwbaarder zijn als ze enkele uren na zonsopgang zijn opgesteld. Daarom wordt aanbevolen om het onderzoek te herhalen met verwachtingswaarden die opgesteld zijn om 06.00 h en (bijvoorbeeld) 10.00h.
- Voor het geval dat de instralingsverwachting met hogere tijd- en geografische resolutie geen of weinig verbetering geeft in de verwachtingswaarden van de energieproductie is het wenselijk om verfijningen in de persistentiemethode te onderzoeken, zonder het gebruik van instralingsverwachtingen.



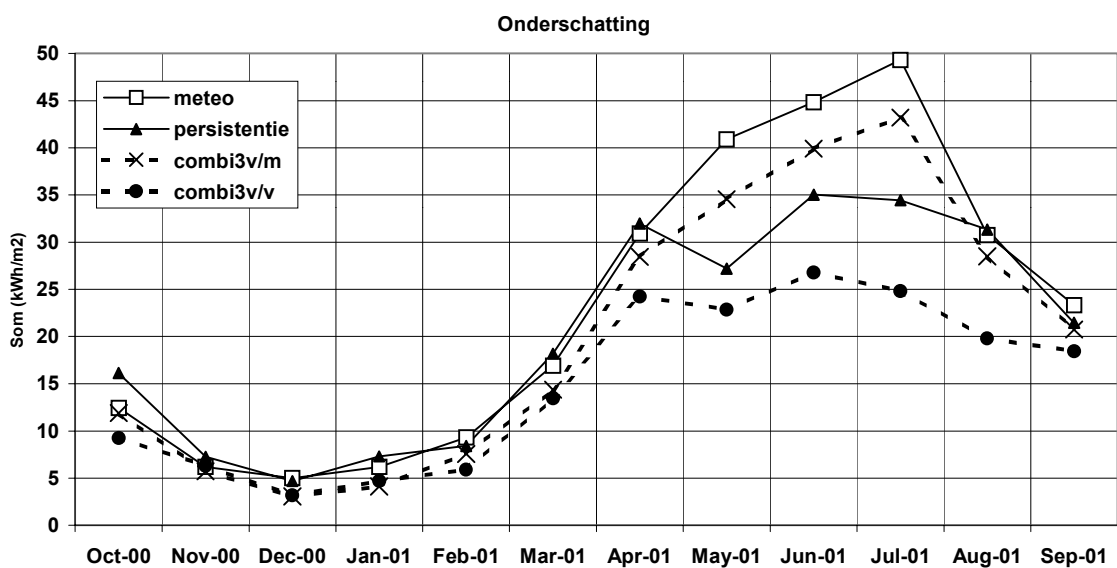
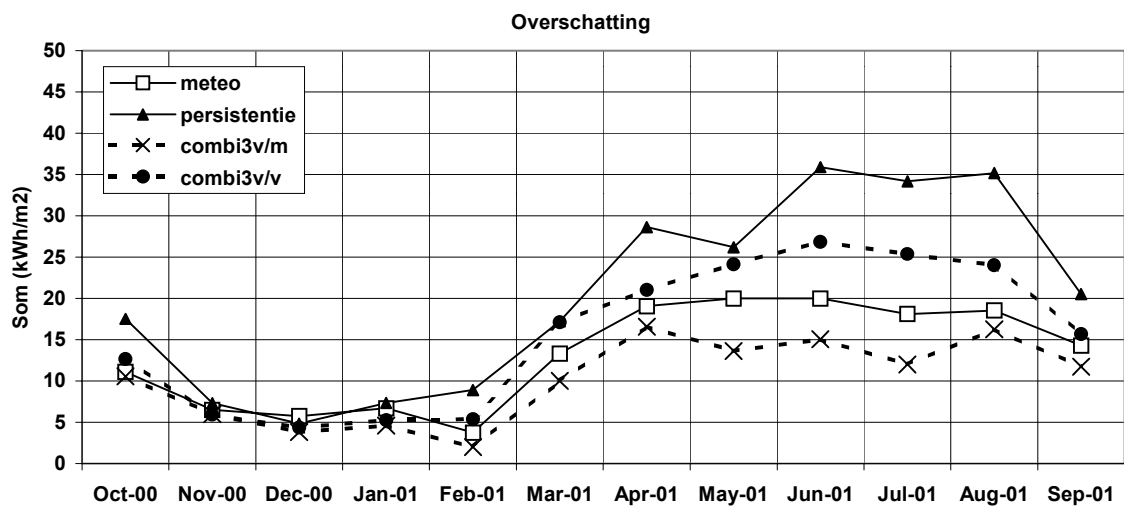
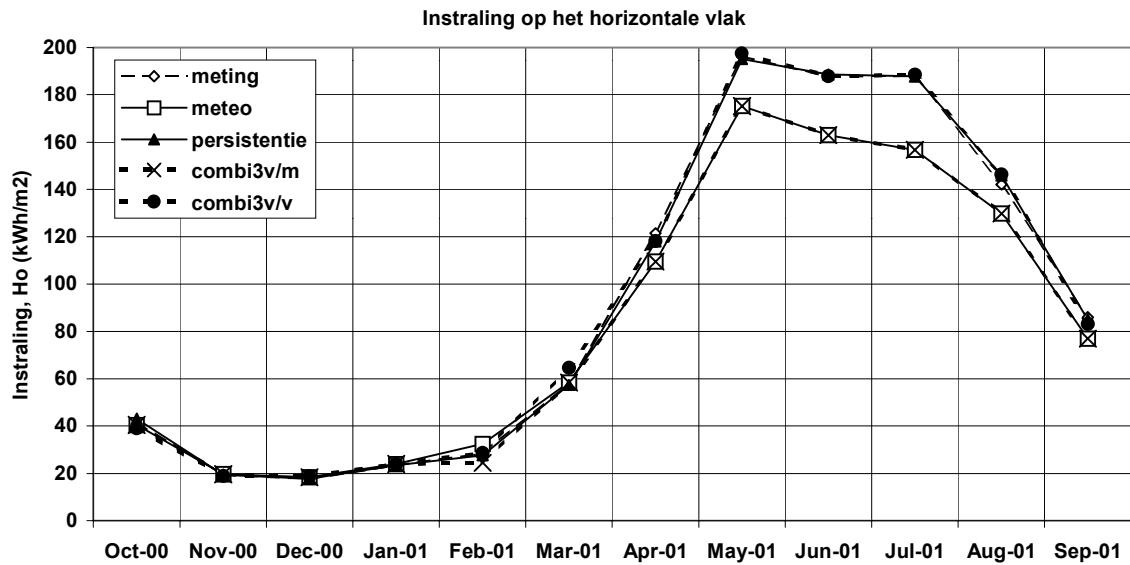
Figuren 1a, 1b en 1c: Vergelijking van de instraling te Petten met verwachtingen voor Den Helder en IJmuiden (zie bij tabel 1).



Figuur 2a, 2b en 2c: Vergelijking tussen gemeten instralingen op verschillende locaties in Nederland (zie tabel 2).



Figuur 3a, 3b en 3c: Vergelijking tussen gemeten en berekende instraling op de westgevel van een gebouw te Petten (zie tabel 3).



Figuur 4a, 4b en 4c: Vergelijking tussen de resultaten van vier verwachtingsmethoden voor de dagpatronen van de instraling op het horizontale vlak te Petten (zie tabel 4).

## APPENDIX

### Stralingsverwachting

Dr. W.D. van den Berg; Meteo Consult

De stralingsbalans nabij het aardoppervlak bestaat uit twee componenten: de langgolvlige (warmte)straling en de kortgolvlige straling. De langgolvlige straling die de aarde vanuit de atmosfeer ontvangt is meestal kleiner dan de langgolvlige straling die de aarde uitzendt: de aarde is gemiddeld warmer dan de atmosfeer. Dit komt doordat het aardoppervlak (overdag) veel kortgolvlige straling, afkomstig van de zon, absorbeert. De geabsorbeerde straling leidt niet alleen tot een stijging van de temperatuur van het aardoppervlak. De warmte wordt op een efficiënte manier uitgewisseld met de luchtlagen boven het aardoppervlak: de temperatuur stijgt. Daarnaast wordt de stralingsenergie ook gebruikt voor de uitwisseling van latente warmte: er vindt verdamping plaats. De inkomende kortgolvlige straling is daarmee de drijvende kracht van de warmtehuishouding van het systeem aarde/atmosfeer.

Wanneer we spreken over stralingsverwachtingen bedoelen we een verwachting voor de totale hoeveelheid kortgolvlige straling die op een horizontaal vlak binnenkomt. In de meteorologie noemen we dit de globale straling. Deze straling is er ook als het bewolkt is: door de wolken heen valt, afhankelijk van de stralingsdoorlatendheid van de wolkenlaag, zogenoemde diffuse straling. De belangrijkste component van de globale straling is echter de directe straling, de straling dus die licht en schaduw geeft.

Hoe wordt nu die stralingsverwachting gemaakt?

Natuurlijk begint de verwachting met een nauwkeurige formule voor de hoeveelheid straling die de aarde zou kunnen bereiken indien het volkomen helder was. In zulke formules komen termen voor als tijdstip van zonsopkomst en zonsondergang, zonshoogte. Daarna komt het moeilijkste gedeelte: het effect van de bewolking. De globale straling neemt ongeveer kwadratisch af met de hoeveelheid bewolking, de bedekkingsgraad. Bij 6/8 bedekkingsgraad bereikt nog maar ongeveer de helft van de straling, voor een flink deel als diffuse straling, het aardoppervlak; bij 8/8 bedekkingsgraad is nog maar 10-25% van de straling over en deze is dan uiteraard alleen nog maar diffuus. In de zomer is dit overigens nog best een flinke hoeveelheid, namelijk 50-75 J/cm<sup>2</sup> per uur: we merken dit bijvoorbeeld doordat het op een regenachtige middag toch warm wordt in de (geparkeerde) auto.

Maar wat is nu 6/8 of 8/8 bedekking? Telt een dikke laag witte hoge bewolking net zo mee als een dikke laag regenwolken? Nee, door de hoge bewolking valt veel meer straling. En als bij een hoge zonnestand 6/8 van de hemel met stapelwolken bedekt is, zal de zon toch regelmatig fel vanuit een blauwe plek schijnen terwijl dezelfde bedekkingsgraad in de winter bijna geen directe zonnestraling toelaat tengevolge van het coulisseneffect: de lage wolken schuiven nabij de horizon schijnbaar voor elkaar. En bij 6/8 bewolking die voornamelijk in het oosten (in het binnenland) zit, kan de zon in de middaguren (langs de kust, zoals bij Petten) nog heel goed schijnen!

De meteoroloog probeert al deze effecten zo goed mogelijk in te schatten door te werken met twee wolkenverwachtingen tegelijk: de totale bedekkingsgraad en de doorschijnendheid van deze bewolking. De combinatie van deze twee wolkengetallen levert dan de zogenoemde effectieve bedekkingsgraad op en deze bepaalt de hoeveelheid straling in de verwachting. Daarbij wordt de effectieve bedekkingsgraad ook nog gecorrigeerd voor neerslag: bij regen of buien is de bewolking immers dikker (er zijn vaak meer wolkenlagen tegelijk aanwezig) dan bij droog weer. De meteoroloog baseert zijn verwachting op berekeningen (en statistische uitvoer, zogenoemde MOS of Model Output Statistics) van atmosfeermodellen, maar daarnaast zijn ook de satellietwaarnemingen van groot belang. Bij Meteo Consult zijn de berekeningen van het



ECMWF, het Europese weercentrum te Reading, de belangrijkste bron; daarbij wordt de op het ECMWF gebaseerde verwachting bijgesteld als er (nieuwere) berekeningen binnenkomen van andere modellen zoals dat van de Duitse weerdienst. Van belang hierbij is nog, dat een atmosfeermodel wel goed is in het verwachten van grootschalige en dikke bewolking, maar nauwelijks in staat is om de gecompliceerde en sterk wisselende hoeveelheden lage bewolking te beschrijven. De MOS, die op basis van metingen en modelverwachtingen in het verleden een verwachting geeft, is hierbij behulpzaam maar de actuele waarnemingen zijn een nog belangrijker bron om de (lage) bewolkingsverwachting te actualiseren. Dit bijstellen van de verwachting gebeurt handmatig door de meteoroloog, maar ook automatische aanpassingen vinden plaats. Bij deze automatische aanpassingen wordt middels MOS technieken de nieuwe waarneming gekoppeld aan de aanwezige modelinformatie. De automatische aanpassing wordt, afhankelijk van de tijd van meting, gedaan voor een periode tot maximaal 24 uur vooruit. De grootste aanpassing in de verwachting is aanwezig voor de eerste 3 uren. Van belangrijke automatische aanpassingen krijgt de meteoroloog een waarschuwing, zodat hij de aangepaste verwachting eventueel nog weer kan corrigeren: wanneer immers de waarneming wijst op 8/8 bewolking maar de meteoroloog ziet dat het gaat om een kleinschalige bui, dan is de automatische aanpassing van de verwachting natuurlijk niet representatief. Van belang is, dat het 's nachts minder eenvoudig is een bewolkingsverwachting te maken dan overdag: zowel de waarneming met het oog als vanuit de satelliet levert 's nachts een minder betrouwbare schatting van de effectiviteit en hoeveelheid bewolking op. Bovendien verandert de bewolkingsgraad in de eerste uren na zonsopkomst soms drastisch: lage mistbewolking kan oplossen en plaatsmaken voor een vrij zonnig weerbeeld, een heldere ochtend kan als het warm genoeg wordt ineens gevolgd worden door een flink met stapelwolken gevulde lucht. De bewolkingsverwachting, zoals die aan het einde van de nacht uitgegeven wordt (bijvoorbeeld om 06u MEZT), zal in de loop van de ochtend dus nog regelmatig aanpassing vragen.

Omdat de koppeling aan waarnemingen zo belangrijk is, worden de verwachtingen ook vooral gemaakt voor plaatsen waar een bewolkingswaarneming beschikbaar is. In Nederland gaat het dan om 15-20 stations. Temperatuur- en windmetingen zijn er wel van 40-45 stations. Voor die stations waarvoor er geen bewolkingswaarneming aanwezig is (dit zijn er dus ongeveer 25), wordt middels interpolatie toch een bewolkingsverwachting gemaakt. Tenslotte volgt dan nog de toedeling van de verwachting naar de exacte locatie van de klant: middels een postcodekoppeling krijgt de locatie een verwachtingsstation toegewezen dat meteorologisch gezien voor die plaats het meest kenmerkend is. Voor het ECN is dat De Kooy (bij Den Helder).