



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Opbrengst van zonnestroomsystemen in Nederland

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal Ondernemen*



Universiteit Utrecht

Opbrengst van zonnestroomsystemen in Nederland

*Een analyse ten behoeve van de bepaling van een nieuw kengetal zon-PV
voor het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie*

Wilfried van Sark

Met bijdragen van Peter Segaar (Polder PV), Pierre Gerrissen (namens Holland Solar),
Kendall Esmeijer (Universiteit Utrecht), Panagiotis Moraitis (Universiteit Utrecht),
Menno van den Donker (Solar Energy Application Center), Gerjan Emsbroek (Certiq),
Reinoud Segers (CBS) en Lex Bosselaar (RVO).



Universiteit Utrecht
Copernicus Instituut
voor duurzame ontwikkeling
Energy & Resources
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht

Rapportnummer: CIER-E-2014-1
Datum: 10 maart 2014

In opdracht van:
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Voorwoord

Naar aanleiding van de herziening van het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie en meer in het bijzonder van het kengetal dat wordt gebruikt om de bijdrage van zonnestroom te bepalen voor statistische doeleinden, heeft Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (voorheen AgentschapNL) aan Universiteit Utrecht eind 2013 een opdracht verleend om een onderbouwd voorstel te doen voor een update van dit kengetal. Het voor u liggende rapport bevat een analyse van de opbrengstgegevens van een groot aantal zon-PV installaties in Nederland voor het jaar 2012. Op basis van de gegevens is een voorstel gedaan voor een nieuw kengetal, welke is besproken met vertegenwoordigers van de Nederlandse markt in een workshop op 14 januari 2014 in Utrecht. In de workshop is met consensus een voorstel voor het kengetal vastgesteld, dat daarmee door de markt wordt gedragen.

De foto op het voorblad is van het project Easy Street in Breda, zie:
<http://www.eteck.nl/nieuws/2012/11/28/pv-panelen-op-easy-street>

Samenvatting

Het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie is de grondslag voor de bepaling die het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) jaarlijks uitvoert om de hoeveelheid hernieuwbare energie in Nederland vast te stellen. Vanwege veranderend beleid, nieuwe technische ontwikkelingen en nieuwe inzichten moet dit protocol regelmatig worden geactualiseerd. Dit gebeurde voor het laatst in 2010.

Zonnestroom

Voor de bepaling van de bijdrage van zonnestroom (zon-PV) aan de nationale doelstelling voor duurzame energie wordt een kengetal gebruikt om de hoeveelheid geproduceerde energie uit te kunnen rekenen op basis van de hoeveelheid geïnstalleerd vermogen aan zon-PV aan het eind van een kalenderjaar. Dit laatste gegeven wordt door CBS verzameld.

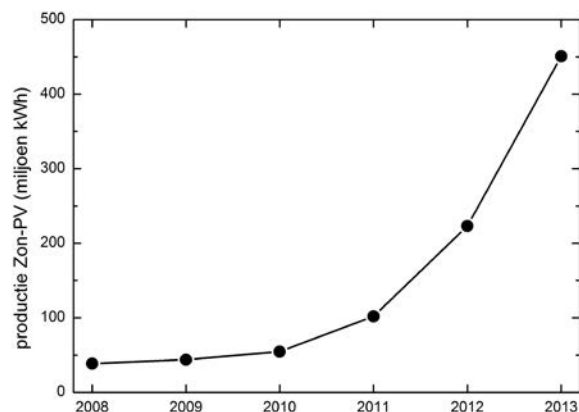
Het kengetal dat in de huidige berekeningssystematiek wordt gebruikt is het aantal vollasturen van een zon-PV systeem. Dit kengetal is vastgesteld op een standaard van 700 uur, hetgeen neerkomt op een jaarlijkse energieopbrengst van 700 kWh per geïnstalleerde kWp aan zon-PV vermogen. Dit kengetal is lange tijd niet aangepast en er zijn duidelijke aanwijzingen uit de Nederlandse markt dat de opbrengst hoger is.

Herziening specifieke opbrengst

Dit rapport bevat een analyse van gemeten opbrengst gegevens van zon-PV systemen in Nederland. Op basis van de resultaten blijkt dat het aantal vollasturen van 700, zoals gehanteerd door CBS, niet (meer) geschikt is om te gebruiken als kengetal voor Nederland. Aanbevolen wordt de term vollastuur niet meer te gebruiken en te vervangen door **specifieke opbrengst** in kWh per kWp geïnstalleerd vermogen.

Als nieuw kengetal wordt een specifieke opbrengst van **875 kWh/kWp** voorgesteld te hanteren voor geheel Nederland. De ingangsdatum voor dit kengetal is het jaar **2011**.

De herziening van specifieke opbrengst heeft als consequentie dat elektriciteitsproductie door zon-PV met 25% wordt verhoogd, met ingang van 2011. Met de meest recente schatting van 665,5 MWp aan geïnstalleerd vermogen eind 2013 is het gemiddeld geïnstalleerd vermogen in 2013 515 MWp. De elektriciteitsproductie door zon-PV is daarmee 451 miljoen kWh, en is in 5 jaar vertienvoudigd, zie figuur. De bijdrage van zon-PV aan de totale elektriciteitsproductie in Nederland is ongeveer 0.5%.



Inhoudsopgave

1. Inleiding	5
2. Doelstelling	6
3. Aanpak	6
4. Data verzameling	7
4.1. Bronnen.....	7
4.2. Dataset 2012	7
4.3. Dataset 2013	8
4.4. Dataset CertiQ.....	8
5. Regio keuze	9
5.1. Regio keuze	9
5.2. Datasets	10
6. Resultaten	12
6.1. Nationaal.....	12
6.2. Regionale variatie.....	14
7. Discussie	17
7.1. Specifieke opbrengst.....	17
7.2. Prestaties optimaal gepositioneerde systemen	17
7.3. Nauwkeurigheid bronnen	18
7.4. Vergelijking met andere bronnen	19
7.5. Levensduur en degradatie.....	20
8. Aanbevelingen	22
8.1. Kengetal: specifieke opbrengst	22
8.2. Performance ratio of kengetal/specifieke opbrengst?	23
9. Referenties	26
10. Bijlage	28
10.1. Deelnemers workshop 14 januari 2014	28

1. Inleiding

Het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie is de grondslag voor de bepaling die het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) jaarlijks uitvoert om de hoeveelheid hernieuwbare energie in Nederland vast te stellen. Vanwege veranderend beleid, nieuwe technische ontwikkelingen en nieuwe inzichten moet dit protocol regelmatig worden geactualiseerd. Dit gebeurde voor het laatst in 2010 in het '[Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie update 2010](#)' [1]. Recente ontwikkeling in Europees en nationaal beleid hebben er toe geleid dat een proces gestart is dat zal leiden tot een herziening van het protocol. Dit proces zal in het voorjaar 2014 worden afgerond, zodat het CBS haar rapportage in het najaar 2014 volgens een herzien protocol kan verrichten.

Zonnestroom

Voor de bepaling van de bijdrage van zonnestroom (zon-PV) aan de Europese en nationale doelstelling voor duurzame energie wordt een kengetal gebruikt om de hoeveelheid geproduceerde energie uit te kunnen rekenen op basis van de hoeveelheid geïnstalleerd vermogen aan zon-PV aan het eind van een kalenderjaar. Dit laatste gegeven wordt door CBS verzameld.

Het kengetal dat in de huidige berekeningsystematiek wordt gebruikt is het aantal vollasturen van een zon-PV systeem. Dit kengetal is vastgesteld op een standaard van 700 uur, hetgeen neerkomt op een jaarlijkse energieopbrengst van 700 kWh per geïnstalleerde kWp aan vermogen. Dit kengetal is lange tijd niet aangepast en er zijn duidelijke aanwijzingen uit de Nederlandse markt dat de opbrengst hoger is.

Voor oudere systemen zoals die uit Nieuwland (Amersfoort) is de opbrengst indertijd bepaald op zo'n 700 kWh/kWp, maar is soms ook aanzienlijk lager [2]. In de Stad van de Zon dat van recenter datum is, zijn duidelijk hogere opbrengsten gemeten van 850 kWh/kWp. ECN hanteerde in haar SDE+ adviezen tot voor kort 850 kWh/kWp [3], maar in haar meest recente advies hanteert ECN 1000 kWh/kWp [4]. Dit moet gezien worden als maximale opbrengst waarvoor SDE+ subsidie te verkrijgen is. Partijen als PolderPV maar ook diverse (grote) installateurs rekenen met opbrengsten van 900 kWh/kWp, met name voor nieuw te installeren systemen. In praktijk gaat men uit van optimaal geïnstalleerde en functionerende systemen, dat wil zeggen systemen die naar het Zuiden zijn gericht onder een hoek van 38 graden. In praktijk zijn er mogelijk vele systemen niet geheel optimaal geïnstalleerd, vanwege beschikbare dak oriëntatie en dak hoek. Recent is een inventarisatie van werkelijke opbrengstgegevens van 2011 gemaakt door de Stichting Monitoring Zonnestroom: daaruit is een gemiddelde opbrengst van 784 kWh/kWp berekend [5], echter de verdeling van opbrengsten was breed hetgeen duidt op een aantal slecht functionerende systemen. Opbrengstgegevens voor 2012 geven een gemiddelde opbrengst van 876 kWh/kWp [6].

2. Doelstelling

Het doel van dit project is een onderbouwde schatting te maken van een **kengetal** of **specifieke opbrengst** in kWh/kWp voor de omrekening van het geïnstalleerde vermogen aan zonnestroom, naar een gemiddelde jaarlijkse opbrengst. Het kengetal is bedoeld voor het protocol monitoring hernieuwbare energie. Het is daarmee bedoeld voor de schatting van de totale productie in Nederland. Het CBS gebruikt dit kengetal om de duurzame energieproductie van Nederland uit zonnestroom te bepalen.

De volgende activiteiten zijn uitgevoerd:

1. Inventariseren van de beschikbare opbrengstgegevens
2. Analyse van de gegevens en vaststellen kengetal
3. Bespreken van vastgesteld kengetal met team van experts in een workshop
4. Opstellen aanbeveling

De uitgangspunten voor deze studie zijn:

- Het kengetal moet een realistisch beeld geven van de werkelijke opbrengst in de praktijk. Er moet daarom zo mogelijk rekening houden met niet-functioneren van systemen en beschaduwing, maar ook met niet optimale installatie, bijvoorbeeld op het westen of oosten.
- Het kengetal moet de komende jaren bruikbaar zijn. Aangezien oudere systemen mogelijk slechter functioneren dan systemen die nu geplaatst worden zou inzicht in de ontwikkeling van de prestatie nodig zijn.
- Het gaat om een gemiddelde waarde. Het is niet de bedoeling om te corrigeren voor de werkelijke instraling.
- Het gaat om één getal voor Nederland. Hoewel netbeheerders en CertiQ op de hoogte zijn van de locatie van de PV systemen verschilt de instraling over Nederland maximaal zo'n 10% op jaarbasis.
- Het uiteindelijk kengetal zal gedragen moeten worden door de markt. Daartoe is een expert workshop georganiseerd.

3. Aanpak

Analyse van gepubliceerde opbrengstgegevens zijn gecombineerd met gegevens uit andere bronnen, zoals

- Data door Universiteit Utrecht verzameld o.a. in het kader van IEA-PVPS-Task 13 "Performance and Reliability of PV systems"
- Gegevens van CertiQ
- Gegevens van installateurs

Deze analyse leverde een gemiddeld opbrengst getal dat gebruikt kan worden als kengetal. In een expert workshop d.d. 14 januari 2014, waar vertegenwoordigers van de Nederlandse zon-PV markt aanwezig waren, zijn resultaten van de analyse gepresenteerd en bediscussieerd. Uitkomst van de workshop was een kengetal dat door de markt wordt gedragen en daarmee geschikt is voor gebruik in het protocol.

4. Data verzameling

4.1. Bronnen

Drie bronnen zijn geraadpleegd voor dit onderzoek. Twee publiekelijk beschikbare online monitoringsbronnen (Solarlog [7] en zonnestroomopbrengst.eu [8]), die vanaf hier worden genoemd als respectievelijk bron A en bron B, en één monitoringsbron die beschikbaar is gesteld door SolarCare [9], die vanaf hier genoemd zal worden als bron C. Bron C is een onafhankelijk platform dat door diverse partijen (systeemaanbieders, installateurs en dienstenaanbieders) wordt gebruikt. In totaal is **2,36 MW** aan geïnstalleerd vermogen geanalyseerd voor het jaar 2012.

Aanvankelijk is voor opbrengstdata uit 2012 gekozen, omdat de dataverzameling afgerond zou moeten zijn vóór het einde van het kalenderjaar 2013 en jaartotalen van 2013 derhalve onvolledig zijn. Dit was nodig om een voorstel te kunnen doen dat op 14 januari 2014 tijdens de expert workshop is besproken. Na de workshop is opbrengstdata uit 2013 toegevoegd van bron A en bron C. In totaal is **11,6 MW** aan geïnstalleerd vermogen geanalyseerd voor het jaar 2013.

De gegevens die door CertiQ beschikbaar zijn gesteld bevatten per 2-cijferige postcode het aantal systemen, totaal geïnstalleerd vermogen (MWp) en productie, voor de jaren 2009-2012. Eind 2012 waren 9026 systemen geregistreerd, met in totaal 60,275 MWp en een productie van 35.812 MWh.

Voor bronnen A en B geldt dat de betrouwbaarheid van de opbrengsten onduidelijk is. Metingen worden uitgevoerd door niet geijkte kWh meters, maar ook door inverters zelf. In sommige gevallen wordt hierbij het gemeten DC vermogen met een vast getal vermenigvuldigd om het AC vermogen te 'meten'. De opbrengstgegevens van bron C worden gemeten via een separate kWh meter in combinatie met een responder en hebben een meetnauwkeurigheid van 2 %.

4.2. Dataset 2012

Het totale aantal systemen dat in de analyses voor 2012 is meegenomen bedraagt **634** waarvan er 322 afkomstig zijn van bron A, 222 van bron B en 90 van bron C. De systemen zijn onder verschillende oriëntaties gepositioneerd en er is niet uit te sluiten dat enkele systemen gedurende langere periodes in beschaduwde condities hebben gefunctioneerd. Het betreft hier daarom een analyse van systemen onder mogelijk suboptimale condities.

Slechts systemen die gedurende twaalf maanden actief waren zijn meegenomen in de analyses. Van bron A zijn dagtotalen en van bron B zijn maandtotalen van AC opbrengst gebruikt om tot een uiteindelijk jaartotaal te komen. Systemen waarvan één of meerdere van de maandtotalen geen waarde had, en die derhalve kunnen worden bestempeld als inactieve maanden, zijn tevens buiten beschouwing gelaten. Via deze methode is beoogd te waarborgen dat er een accuraat beeld kan worden geschept van de gemiddelde jaarproductie van alle systemen in Nederland.

Verder heeft bron C bij aanlevering van de dataset aangegeven welke systemen vertrouwd zijn en welke niet. Voor de analyses uitgevoerd ten behoeve van dit onderzoek zijn enkel die systemen meegenomen die door bron C zijn bestempeld als zijnde vertrouwd.

Systeemopbrengsten die zeer grote afwijkingen vertoonden ten opzichte van het gemiddelde zijn eveneens buiten beschouwing gelaten. Het betreft hier bijvoorbeeld systemen met een vermogen van enkele kWp die meerdere GWh zouden hebben geproduceerd. De selectie hiervan is gedaan op basis van gezond verstand met het in ogenschouw nemen van de natuurkundige onwaarschijnlijkheid van zulke waarden. Het betrof hier louter enkele systemen.

4.3. Dataset 2013

Het totale aantal systemen dat in de analyses voor 2013 is meegenomen bedraagt **1537** waarvan er **728** afkomstig zijn van bron A (in totaal 8 MWp) en **809** van bron C (in totaal 3,6 MWp).

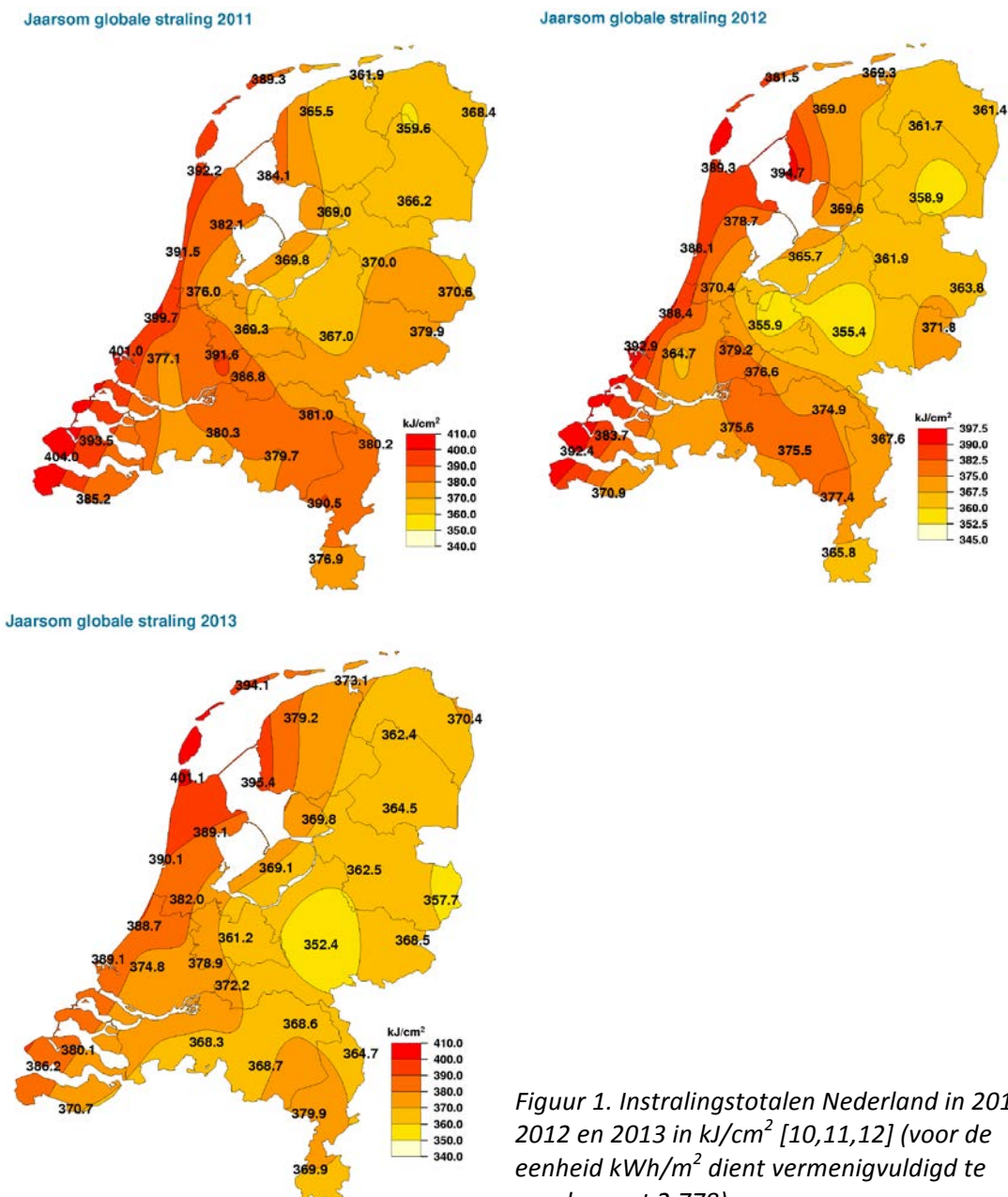
4.4. Dataset CertiQ

Hoewel de dataset ruim 60 MWp omvat, is deze toch niet gebruikt. Nadere analyse liet zien dat specifieke opbrengsten varieerden rond 600 kWh/kWp. Dit lage getal kan worden verklaard door een aantal oorzaken. De CertiQ opbrengst geeft een registratie van netlevering weer, daar is zelfconsumptie impliciet al van af getrokken. Zelfconsumptie bedraagt naar schatting een kwart van de gegenereerde opbrengst op jaarbasis, maar kan sterk verschillen afhankelijk van type huis en bewoners. Daarnaast worden meters jaarlijks uitgelezen, maar verspreid over het jaar, waarbij de jaaropbrengst door 12 wordt gedeeld om maandopbrengsten te verkrijgen. Ook zijn de meetgegevens van 2012 nog niet door de netbeheerder gecorrigeerd. Tenslotte is de kleinste eenheid van installatiegrootte 1 kWp (0,001 MWp), hetgeen tot afrondingsfouten kan leiden.

5. Regio keuze

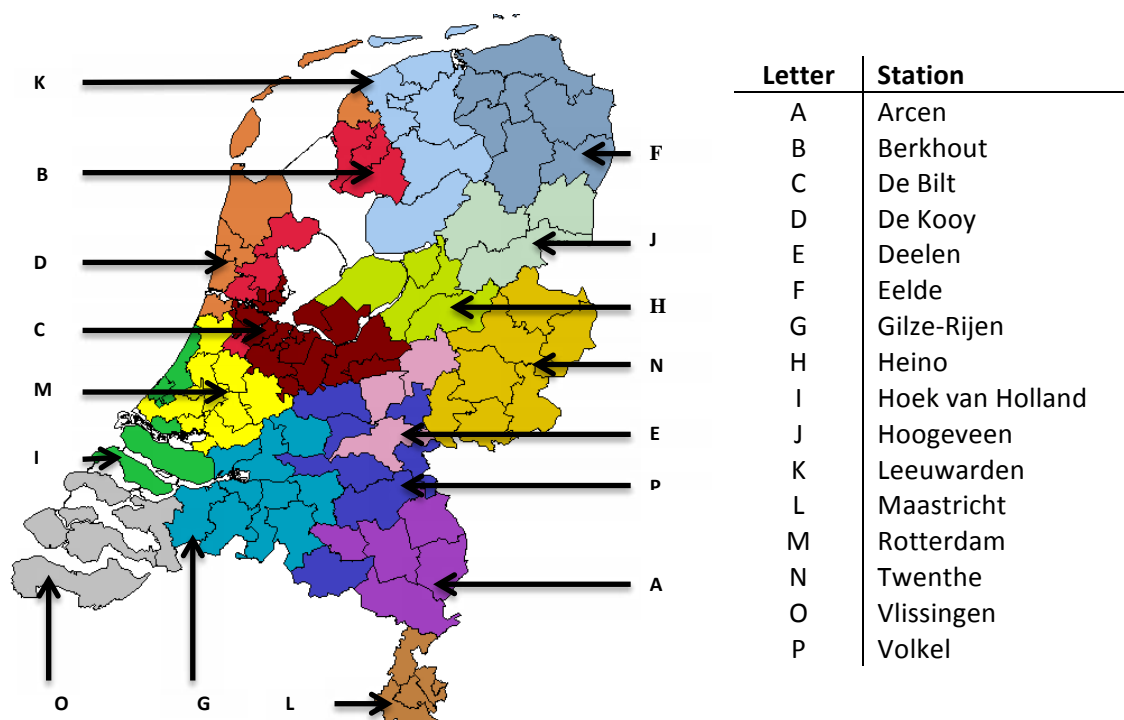
5.1. Regio keuze

Naast het zoeken naar een gemiddelde waarde voor de prestaties van PV systemen in geheel Nederland is tevens onderzoek gedaan naar de prestaties op regionaal niveau. De keuze hiervoor kan inzichtelijk worden gemaakt door analyse van de waarden die weergegeven zijn in Figuur 1. In deze figuur is te zien dat de jaarsom van de globale instraling (die leidend is voor de prestaties van zonnepanelen) met ongeveer 10% verschilt wanneer kustregio's en regio's die meer landinwaarts liggen met elkaar worden vergeleken. De landelijk gemiddeldes zijn 1056.7 kWh/m² (2011), 1036.2 kWh/m² (2012) en 1044.9 kWh/m² (2013) (het langjarig gemiddelde is 1024.8). Dit leidt ertoe dat prestaties van gelijke PV systemen (module grootte, omvormer type, oriëntatie, etc.) per regio ook zullen verschillen.



Figuur 1. Instralingstotalen Nederland in 2011, 2012 en 2013 in kJ/cm² [10,11,12] (voor de eenheid kWh/m² dient vermenigvuldigd te worden met 2,778)

Systemen zijn derhalve gegroepeerd aan de hand van de jaarsom van de globale straling. Jaarsommen zijn verzameld van 16 KNMI weerstations die door het land verspreid liggen en elk uur de instraling van het afgelopen uur meten [13]. Systemen zijn gekoppeld aan een weerstation op basis van de eerste twee cijfers van de postcode. Een uitbreiding naar meer meetstations bleek weinig nauwkeurigheid toe te voegen en heeft derhalve niet plaatsgevonden. Verder zijn de jaarsommen van 2011 gebruikt voor het koppelingsproces. Deze koppeling is gedaan t.b.v. een eerder onderzoek van SMZ [5]. De jaarsommen van 2012 laten zien dat alhoewel de jaarsommen van de twee jaren met elkaar verschillen, de gebieden die gelijkenissen vertonen in jaarsommen goed overeenkomen. Een nieuwe koppeling op basis van de jaarsommen van 2012 bleek derhalve overbodig. Hetzelfde gold voor 2013. In Figuur 2 is de koppeling tussen postcodegebieden en meetstations weergegeven.



Figuur 2. Regio verdeling op basis van instralingstotalen uit Figuur 1 [14]

5.2. Datasets

De keuze voor een analyse van systeemopbrengsten gedurende 2012 is tweeledig. Enerzijds is er voor eerdere jaartallen niet genoeg data beschikbaar om betrouwbare conclusies te trekken. Anderzijds is 2012, voor de onderzochte meetstations, een jaar waarin de instralingstotalen weinig afwijken van het meerjarig gemiddelde van de individuele meetstation. Dit is weergegeven in Tabel 1. Beoogd is om te vergelijken met het 30-jarig gemiddelde omdat dit de norm is voor een meteorologisch jaar. Niet alle meetstations beschikken echter over zoveel data. Voor stations die niet over 30 jaar aan data beschikken is het maximum aantal complete jaartotalen genomen. Dit is eveneens weergegeven in Tabel 1. Daarnaast bleek 2013 een iets zonniger jaar dan 2012.

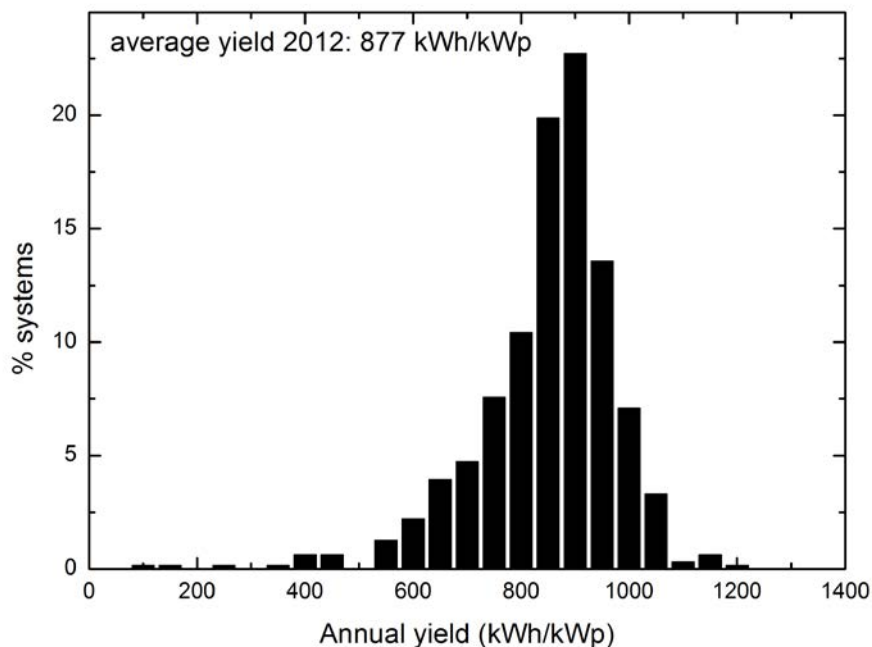
Tabel 1. Afwijking van de instralingstotaal van 2012 voor elk station in vergelijking met het langjarig gemiddelde voor dat individuele station

Station	Afwijking (%)	Jaren (#)	Station	Afwijking (%)	Jaren (#)
Arcen	1,4	20	Hoek van Holland	0,4	16
Berkhout	-0,4	12	Hoogeveen	0,5	22
De Bilt	0,1	30	Leeuwarden	0,9	24
De Kooy	1,3	30	Maastricht	-0,7	30
Deelen	0,8	24	Rotterdam	-1,2	24
Eelde	2,5	30	Twente	2,5	24
Gilze-Rijen	3,4	24	Vlissingen	1,1	30
Heino	0,5	18	Volkel	1,8	19

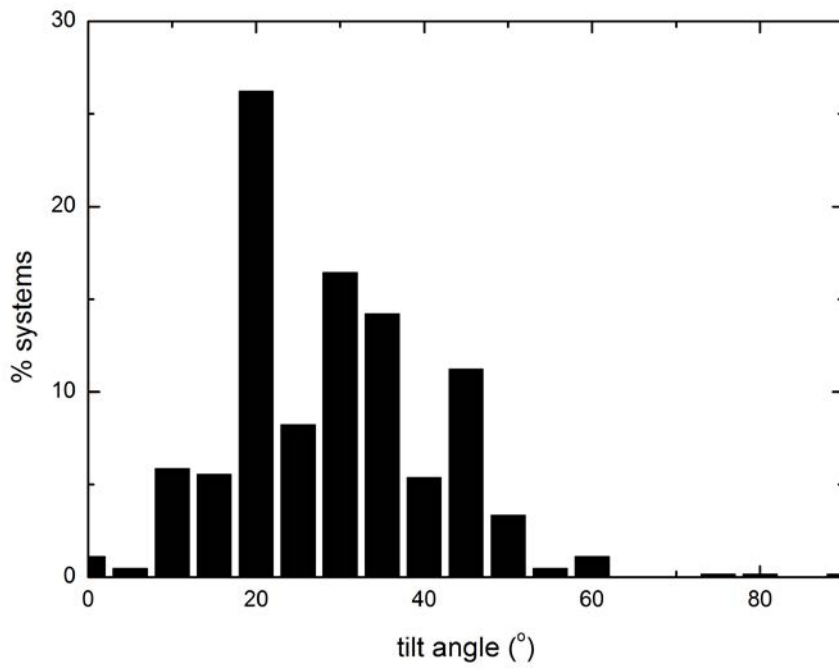
6. Resultaten

6.1. Nationaal

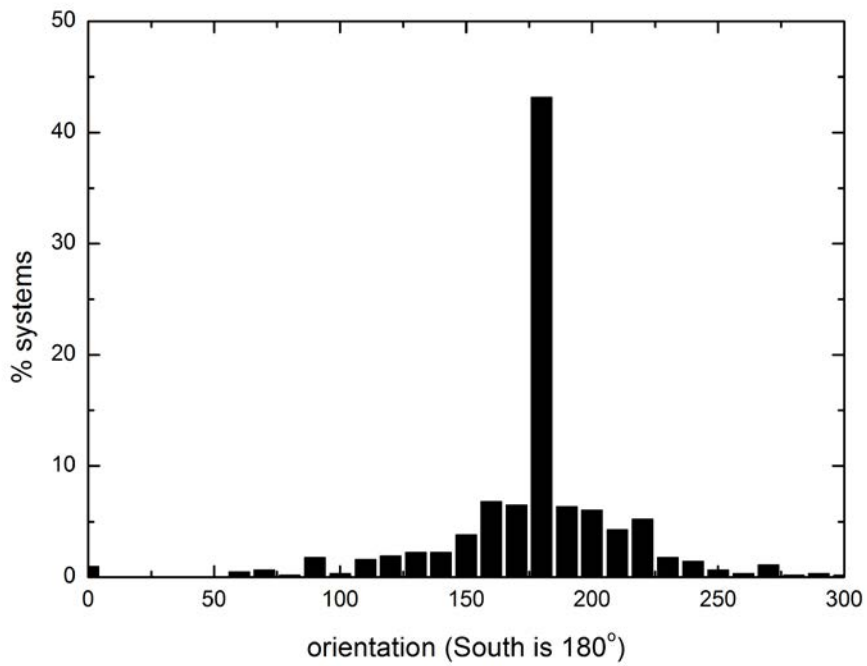
De verdeling van systeemopbrengsten voor 2012 is weergegeven in Figuur 3. Een bin is toegepast van 50 kWh/kW_p. Uit deze figuur blijkt dat de gemiddelde specifieke opbrengst (μ) van de systemen in de dataset **877 kWh/kW_p** blijkt te zijn met een standaard deviatie (σ) van **137 kWh/kW_p**. Bijna een kwart van de systemen (**23%**) heeft een specifieke opbrengst tussen **de 900-950 kWh/kW_p**. Het betreft hier alle 634 geanalyseerde systemen. Verder is in Figuren 4 en 5 te zien hoe de verdeling is van systeem oriëntaties. De tilt of hoek van de systemen is niet altijd optimaal (Figuur 4). De azimuth van 180 graden (Figuur 5) betekent dat de oriëntatie naar het zuiden is. Het merendeel van de systemen is goed georiënteerd, d.w.z. 180 ± 30 graden.



Figuur 3. Verdeling specifieke opbrengst van alle geanalyseerde systemen voor 2012.



Figuur 4. Verdeling tilt hoek van alle geanalyseerde systemen.



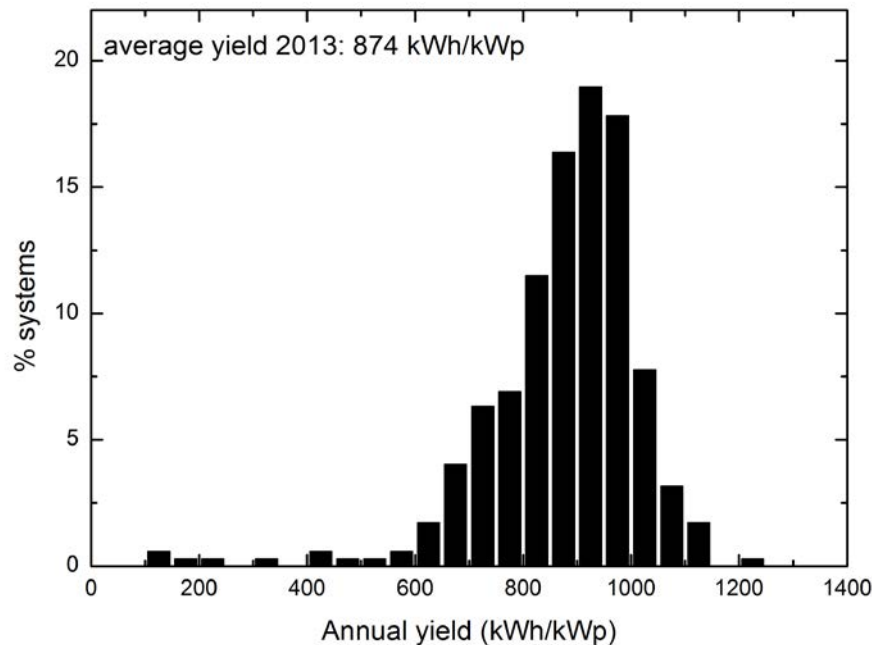
Figuur 5. Verdeling solar azimuth van alle geanalyseerde systemen.

Wanneer de afzonderlijke bronnen worden geanalyseerd blijkt dat de resultaten onderling goed overeenkomen. Dit is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Geanalyseerde specifieke opbrengst van afzonderlijke bronnen jaar 2012.

Waarde	Bron A	Bron B	Bron C	Hele dataset
μ	883	866	880	877
σ	154	113	127	137

Analyse van opbrengstdata voor 2013 laat zien dat de gemiddelde specifieke opbrengst (μ) van de systemen in de dataset van bron A **874 kWh/kW_p** blijkt te zijn met een standaard deviatie (σ) van **145 kWh/kW_p** (bin is hier 20 kWh/kW_p) (zie Figuur 6). De vorm van de distributie is vergelijkbaar met die van 2012. Bron C geeft hier een gemiddelde opbrengst van **886 kWh/kW_p**. Gemiddelde van de gehele dataset is **878 kWh/kW_p**.



Figuur 6. Verdeling specifieke opbrengst van alle geanalyseerde systemen voor 2013.

6.2. Regionale variatie

Bij een analyse van de prestaties in verschillende regio's voor 2012 valt op dat er een significant verschil zit in opbrengst tussen de regio's, zoals verwacht. Tussen de kustregio Vlissingen en de meer landinwaarts liggende regio Deelen zit een verschil in opbrengst van meer dan 16%. Dit is weergegeven in Tabel 3 en Figuur 7. Wel moet worden opgemerkt dat het aantal systemen dat in deze regio's ligt, met 13 voor Deelen en 10 voor Vlissingen, niet heel groot is. Het generaliseren voor deze regio's op basis van deze resultaten is daarom mogelijk discutabel.

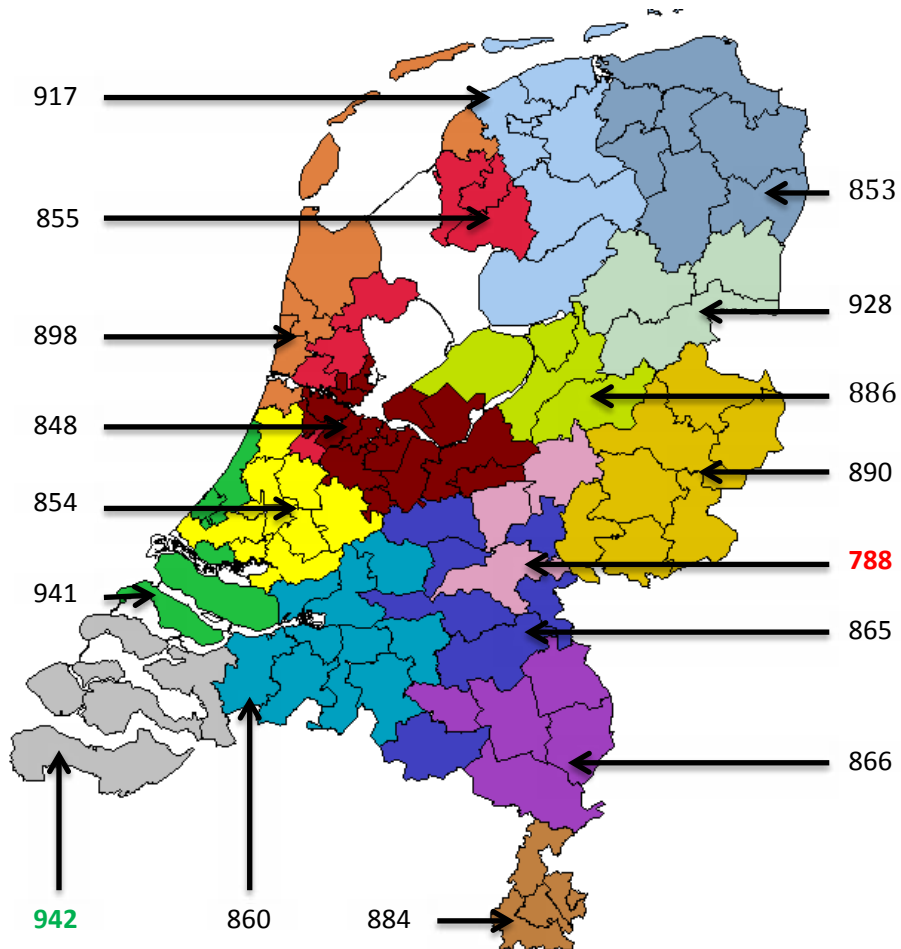
De maximale waarden voor Maastricht (1.752 kWh/kW_p), Twente (1.553 kWh/kW_p), Hoogeveen (1.238 kWh/kW_p) zijn onwaarschijnlijk hoog. Daarentegen zijn minimale waarden voor Arcen (115 kWh/kW_p), De Bilt (161 kWh/kW_p), en Rotterdam (269 kWh/kW_p) onwaarschijnlijk laag. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door foute ingaven en/of slecht functionerende systemen.

Het is duidelijk dat de gemiddelde waarde voor elke regio aanzienlijk hoger is dan het huidige kengetal van 700 kWh/kW_p. Wat verder opvalt is dat de verdeling van opbrengsten niet evenredig overeenkomen met die van de instralingstotalen uit Figuur 1. Een oorzaak hiervoor is niet duidelijk.

Tabel 3. Systeemopbrengsten en aantallen geaggregeerd per regio.

Station	Gem. kWh/kW _p	σ	Max. kWh/kW _p	Min. kWh/kW _p	Aantal systemen
Arcen	866	158	1090	115	54
Berkhout	855	109	1000	588	23
De Bilt	848	147	1068	161	64
De Kooy	898	140	1162	497	34
Deelen	788	82	928	674	13
Eelde	853	139	1107	457	54
Gilze-Rijen	860	126	1088	592	50
Heino	886	123	1056	379	31
Hoek van Holland	941	98	1169	784	20
Hoogeveen	928	143	1238	676	16
Leeuwarden	917	107	1103	683	46
Maastricht	884	208	1752	469	36
Rotterdam	854	152	1184	269	31
Twenthe	890	128	1553	409	108
Vlissingen	941	57	1017	856	10
Volkel	865	106	994	557	44
Nederland	877	137	1752	115	634

Bron C geeft voor 2013 opbrengstgetallen per provincie, zie Figuur 8, in kWh/Wp (voor kWh/kWp te vermenigvuldigen met 1000) Regionale variatie is van de orde van 10-15%.



Figuur 7. Verdeling van systeemopbrengsten (kWh/kW_p) voor het jaar 2012.



Figuur 8. Verdeling van systeemopbrengsten (kWh/kW_p) voor het jaar 2013 per provincie (bron C).

7. Discussie

7.1. Specifieke opbrengst

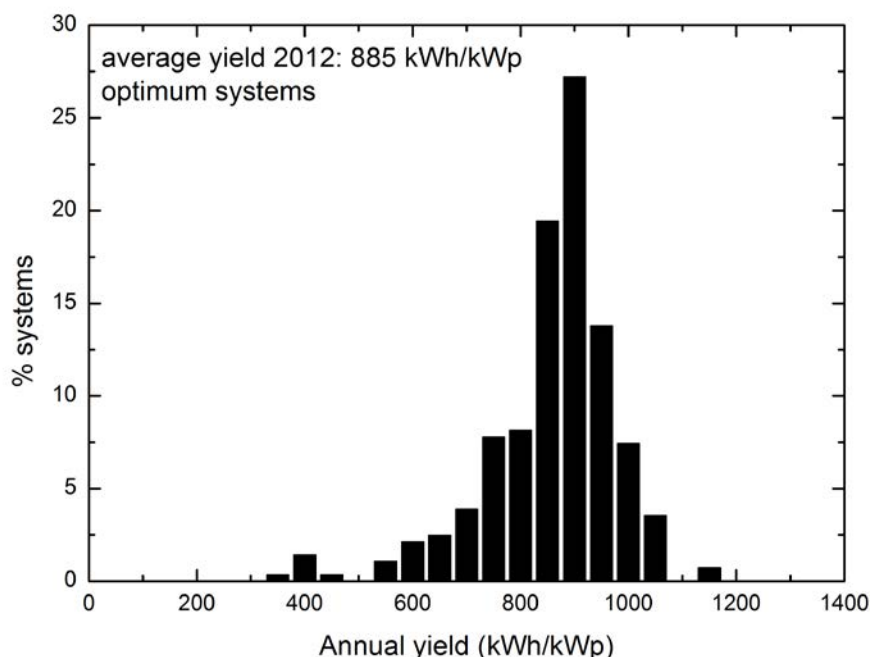
Voor het jaar 2012 is voor de hele dataset een specifieke opbrengst gevonden van 877 kWh/kWp, met daarin een standaard deviatie van 137 kWh/kWp, ofwel 15%. Dit geldt voor alle systemen in de bronnen, ook voor systemen die niet optimaal zijn gesitueerd (oriëntatie, hoek). De meeste systemen zijn geïnstalleerd in 2011.

Voor het jaar 2013 is voor bronnen A en C samen een specifieke opbrengst gevonden van 878 kWh/kWp. Deze dataset bevat meer dan 50% systemen die in 2012 zijn geïnstalleerd.

Bron B geeft op haar website [8] een eigen analyse weer van specifieke opbrengst voor de periode 2009-2013; uitgaande van 'geschoonde' data is deze bepaald op 867 kWh/kWp. Voor de jaren 2012 en 2013 is de specifieke opbrengst respectievelijk 856.7 en 858.7 kWh/kWp, zie ook [15].

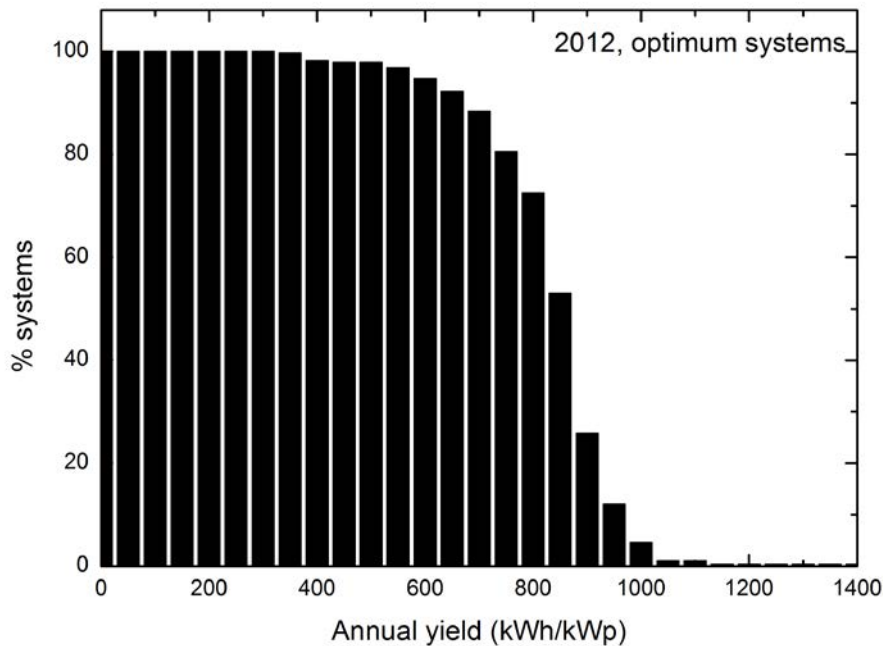
7.2. Prestaties optimaal gepositioneerde systemen

Er is ook een analyse uitgevoerd van enkel de systemen die onder een gunstige solar azimuth en tilt hoek zijn gepositioneerd. Hierbij is een range genomen van 20-40 graden voor de tilt hoek en 160-200 graden voor de solar azimuth hoek. Het aantal systemen uit de 2012 dataset dat binnen deze beide ranges valt is **283** (44% van de 634). De analyse laat een normaal verdeling zien die veel gelijkenissen vertoont met die van de analyse uitgevoerd op de gehele dataset. Wat tevens opvalt is dat zowel de μ van **885 kWh/kW_p** slechts 1% hoger is dan die van de hele dataset. De σ van **129 kWh/kW_p** is bijna een 1% lager. Ook de meest voorkomende waarden tussen de **900-950 kWh/kW_p** zijn terug te vinden zijn in deze analyse (zie Figuur 9).



Figuur 9. Verdeling specifieke opbrengst nationaal van enkel optimaal gepositioneerde systemen, 2012 data.

Slechts 5% van de systemen die optimaal gepositioneerd zijn hebben een specifieke opbrengst vermogen dat groter is of gelijk aan 1000 kWh/kW_p. Dit is weergegeven in Figuur 10, in de vorm van een cumulatieve verdeling.



Figuur 10. Cumulatieve verdeling specifieke opbrengst nationaal van enkel optimaal gepositioneerde systemen

7.3. Nauwkeurigheid bronnen

Niet alle zonnestroomsystemen worden bemeterd en goed gevolgd. De systemen uit bronnen A, B en C zijn wel bemeterd en gevolgd. Niet bemeteren en volgen zou een negatief effect kunnen op de productie. Immers, storingen en inadequate installaties zullen minder snel worden ontdekt. Het is niet uit te sluiten dat niet goed functionerende systemen ondervertegenwoordigd zijn in de populatie. Het is lastig om aan te geven hoe groot dat effect zou zijn. Voor een echt representatief onderzoek zouden metingen moeten worden uitgevoerd op basis van een a-selecte steekproef uit een register met nagenoeg alle zonnepanelen (bv PIR register) met een hoge respons. Dergelijk onderzoek is echter kostbaar.

Het is niet duidelijk hoe representatief de bronnen A en B zijn. De terechte vraag “wie geeft zich *überhaupt* op als participant in een logging portal” zou moeten worden beantwoord om de representativiteit te kunnen bepalen. Het zou zo kunnen zijn dat vooral pionierende PV-eigenaren zijn vertegenwoordigd, die mogelijk niet de meest optimaal gesitueerde installaties, maar vaak ook oudere inefficiënte oude systemen exploiteren, als “early adopters”. Echter, vergelijking van opbrengsten met Bron C, waarvan de status van de systemen goed bekend is (ze zijn immers door de installateur zelf geïnstalleerd en worden bovendien dagelijks gemonitord en vergeleken met prestaties van andere installaties in hetzelfde postcodegebied) laat zien dat bron A en B een goede representatie geven van PV installaties in Nederland.

Een ander effect zou kunnen zijn dat nieuw toegevoegde systemen wat betreft rendement, en daarmee jaaropbrengst, aanzienlijk verschillen van oudere systemen. Gezien de minieme verschillen tussen opbrengsten van jaren 2012 en 2013, en het feit dat 50% van de systemen in 2012 is geïnstalleerd, zal dit effect op dit moment nauwelijks waarneembaar zijn. Echter, in toekomstige jaren kan het kengetal zeker toenemen, gezien de enorme groei die in 2013 plaats vond en zal doorzetten in 2014.

7.4. Vergelijking met andere bronnen

Siderea voert landelijke opbrengst berekeningen uit op basis van instraling en PV systeem gegevens op een vijftal locaties [16]. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een optimaal geplaatst systeem (tilt 40 graden, gericht naar het zuiden) en een gemiddeld systeem (tilt 40 graden, gericht naar zuidwesten). In beide gevallen hebben de systemen enigszins last van schaduw: obstakels bedekken 5% van de hemelkoepel. Tabel 4 geeft de berekende opbrengsten weer voor de vijf locaties en de jaren 2012 en 2013. Gemiddelde opbrengst zijn 7-5-8% lager dan opbrengst voor optimaal geplaatste systemen.

Tabel 4. Opbrengstberekeningen Siderea [16].

locatie	berekende opbrengst			
	optimaal		gemiddeld	
	2012	2013	2012	2013
Leeuwarden	944	978	869	900
Hoogeveen	904	905	832	838
Wijk aan Zee	988	994	913	918
Rotterdam	907	944	839	871
Eindhoven	938	905	867	839
Nederland (gem)	936	945	864	873

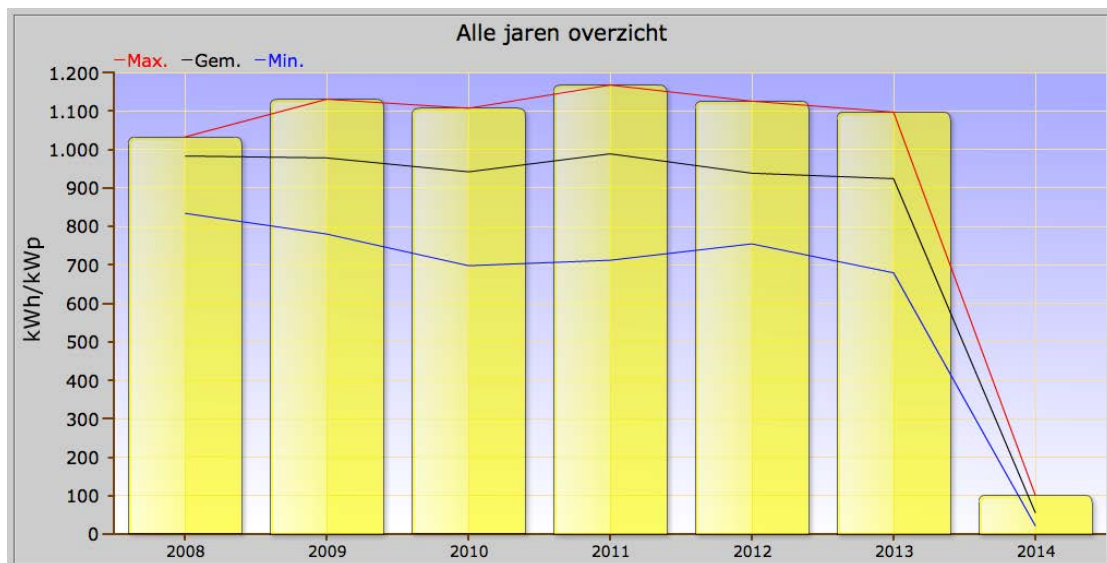
Oskomera beheert en monitort ruim 130 MWp in Nederland, België en het Verenigd Koninkrijk. Opbrengsten zijn 900 kWh/kWp en hoger, met name omdat financierders van projecten deze hoge opbrengsten gebruiken in hun business modellen [17].

CBS heeft op basis van gegevens per aansluiting van CertiQ een analyse gemaakt [18]. Daarbij heeft het CBS zich beperkt tot die aansluitingen waarvoor het hele jaar bruto productiegegevens beschikbaar waren. Voor het jaar 2011 waren de meeste complete gegevens beschikbaar (3500 aansluitingen, 13 MWp), vandaar dat de CBS-analyse zich op dat jaar gericht was. Resultaat van die analyse was dat de specifieke productie van systemen die geplaatst zijn in 2008 of later gelijk was aan ongeveer 850 kWh per kW.

De Zonnestroom Producenten Vereniging gebruikt een vaste factor van 850 kWh/kWp om de opbrengst van haar leden om te rekenen uitgaande van het geïnstalleerde vermogen [19].

In Duitsland wordt ten behoeve van de feed-in tarief methodiek voor zon-PV systemen een prognose gebruikt voor 2014 tussen 980 en 1035 kWh/kWp voor nieuwe installaties [20]. Voorts worden er drie scenario's gebruikt voor alle systemen in 2014: 1) trend, 2) hoog, 3) laag. Het trend scenario is gebaseerd op opbrengstgegevens van meer dan een miljoen installaties; het hoog en laag scenario is gedefinieerd als 10% hogere dan wel 8% lagere opbrengst dan in het trend scenario. De verwachte opbrengst getallen zijn 952 kWh/kWp voor het trend scenario, 1052 kWh/kWp voor het hoog en 873 kWh/kWp voor het laag scenario. Vergeleken met de prognose voor nieuwe systemen is dit lager, vanwege het meenemen van oude(re) systemen.

In België is door de Association pour la promotion des Énergies Renouvelables (Aperre) [21] in haar tijdschrift Renouvelle een referentieopbrengst van 950 kWh/kWp genoemd, voor systemen die optimaal zuid georiënteerd en onbeschaduwde zijn, zie ook een bespreking door PolderPV [22]. Metingen van systemen in België worden ontsloten op de site pvlogging.be [23]. Figuur 11 laat de gemiddelde, minimum en maximum opbrengst zien van de bemeten systemen. Voor 2012 is de gemiddelde opbrengst 938 kWh/kWp (range 755 – 1125 kWh/kWp); voor 2013 is dit 924 kWh/kWp (range 680 – 1097 kWh/kWp), oftewel beide lager dan de referentieopbrengst van 950 kWh/kWp.



Figuur 11. Jaaroverzicht van opbrengst van PV systemen in België [23].

7.5. Levensduur en degradatie

De levensduur van PV panelen wordt nu via garanties gesteld op 25 jaar, door leveranciers van panelen. Op dit moment is er slechts sporadisch ervaring met deze levensduurverwachting. Er zijn systemen operationeel die 40 jaar geleden zijn geïnstalleerd, maar huidige technologie is aanzienlijk veranderd. In de komende jaren zal ervaring moeten worden opgedaan met deze levensduurverwachting; dit zal voornamelijk in Duitsland plaats

moeten vinden. Essentieel is langdurige en nauwkeurige monitoring van installaties, hetgeen helaas nog steeds te wensen overlaat in de meeste nieuwe geïnstalleerde systemen. Echter, nieuwe generaties inverters hebben monitoring mogelijkheden, ook draadloos, ingebouwd die monitoring kunnen vergemakkelijken. Het is dan wel van belang dat de gegevens zoveel mogelijk geautomatiseerd centraal worden verzameld en geanalyseerd.

Leveranciers van panelen garanderen over het algemeen dat het vermogen van de zonnepanelen afneemt tot 80% van het initiële vermogen na 25 jaar. Dit is vooral een verzekeringskwestie. Er is onlangs een studie verschenen die degradatie gegevens vergelijkt van een groot aantal systemen. Daarin wordt gesteld dat gemiddeld 0.5% vermogensreductie per jaar plaats vindt [24].

8. Aanbevelingen

8.1. Kengetal: specifieke opbrengst

Op basis van de resultaten en het in ogenschouw nemen van de discussiepunten die zijn aangedragen concluderen we dat het aantal vollasturen van 700, zoals gehanteerd door CBS, niet (meer) geschikt is om te gebruiken als kengetal voor Nederland.

De term vollastuur zou vervangen moeten worden door **specifieke opbrengst** in kWh per kWp geïnstalleerd vermogen.

We stellen voor als nieuw kengetal een specifieke opbrengst van **875 kWh/kWp** te hanteren voor geheel Nederland.

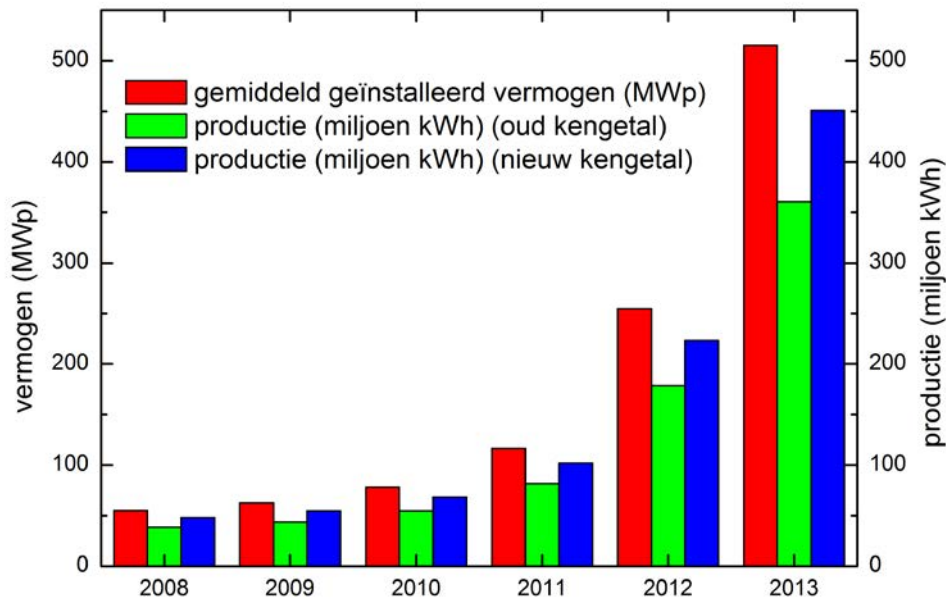
De ingangsdatum voor dit kengetal is het jaar **2011**.

Langdurige monitoring van opbrengsten in Nederland is essentieel om te kunnen bepalen of eventuele bijstelling van deze specifieke opbrengst nodig is, in verband bijvoorbeeld met verbeteringen van efficiency van panelen en inverters.

Het gebruik van het nieuwe kengetal heeft effect op de productie van Zon-PV in Nederland. Tabel 5 en Figuur 12 geven de ontwikkelingen op de Nederlandse Zon-PV markt weer [25]. Voor 2008 tot en met 2013 is het totaal geïnstalleerde vermogen gegroeid van 57 MWp tot 665,5 MWp. Het 2013 getal is een schatting op basis van het PIR productieregister [26]. De geschatte productie is gestegen van 38,5 miljoen kWh tot 360,7 miljoen kWh, uitgaande van de oude specifieke opbrengst van 700 kWh/kWp, en gebruik makend van het gemiddelde cumulatief geïnstalleerd vermogen in een bepaald jaar en aangenomen dat dit vermogen operationeel is. Door gebruik van de nieuwe specifieke opbrengst stijgt de schatting van productie met 25%, en is in 2013 450,8 miljoen kWh, hetgeen ongeveer 0.5% is van het totale elektriciteitsverbruik in Nederland.

*Tabel 5. Productie Zon-PV, herzien vanaf 2011
Data van CBS [25], *2013 data van klimaatmonitor [26]*

Jaar	Totaal geïnstalleerd (MWp) (eind jaar)	Gemiddeld geïnstalleerd (MWp)	Productie (miljoen kWh)	Herziene productie (miljoen kWh)
2008	57	55	38,5	48,1
2009	68	62,5	43,8	54,7
2010	88	78	54,6	68,3
2011	145	116,5	81,6	101,9
2012	365	255	178,5	223,1
2013	665,5*	515,3	360,7	450,8



Figuur 12. Ontwikkeling capaciteit en productie Zon-PV, met oud en nieuw kengetal.

8.2. Performance ratio of kengetal/specifieke opbrengst?

Vanwege regionale verschillen in opbrengst en jaarlijkse verschillen in zonne-instraling (jaarsom) zou een andere methodiek mogelijk geschikter kunnen zijn voor de bepaling van de bijdrage van zonnestroom aan hernieuwbare energie in Nederland. Een karakteristiek getal dat daartoe zou kunnen worden ingezet is de zogenaamde performance ratio (PR), dat weergeeft hoe goed het systeem functioneert.

Performance Ratio:

Voor het berekenen van de PR van een PV systeem zijn de volgende waarden nodig:

- De opbrengst (E) [Wh]
- Het geïnstalleerde vermogen (P) [W]
- De werkelijke instraling (H) [W/m^2] (in het vlak van het zonnepaneel)
- De referentie instraling (G) [$1000 \text{ W}/\text{m}^2$]

De PR is dan als volgt te berekenen:

$$PR = \frac{E/P}{H/G} = \frac{Y_w}{Y_r}$$

waarin Y_w de werkelijke opbrengst is en Y_r de referentie opbrengst. Opbrengst E wordt door monitoringsystemen geregistreerd; P is bekend. Voor G is de STC waarde van $1000 \text{ W}/\text{m}^2$

gebruikt. De onbekende is H. Gebleken is dat de performance ratio een instralingsafhankelijke parameter is, dat wil zeggen dat systeem performance constant is (bij goed functionerende systemen) [27].

Wanneer men het opgestelde vermogen kent, en een aanname maakt voor de systeem performance, kan het aantal opgewekte kWh door zon-PV worden vastgesteld door de instraling jaarsom (H) te gebruiken die elk jaar door KNMI wordt bepaald.

Een goede aanname voor PR is 0.85 [27].

Daarmee wordt de opgewekte energie door zon-PV:

$$E = PR \frac{H}{G} P$$

en de genormaliseerde opbrengst is dan

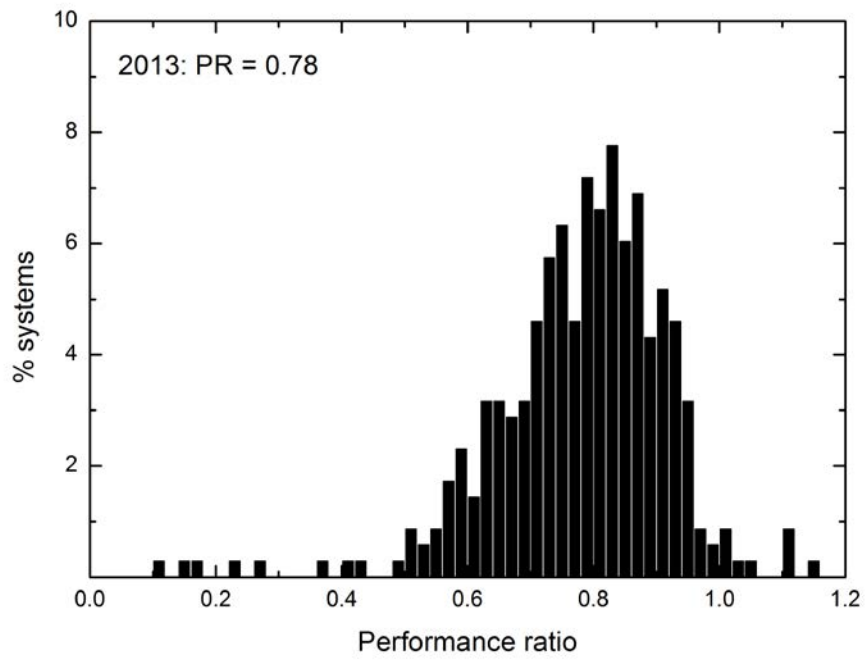
$$\frac{E}{P} = PR \frac{H}{G}$$

De opbrengst kan dan worden berekend, zie tabel 6. De aldus berekende opbrengst wijkt minder dan 0.5 % af van de werkelijke (gemiddelde) opbrengst. De aanname dat PR = 0.85 is lijkt daarmee correct. Echter, in praktijk is ook de PR waarde een gemiddelde.

Tabel 6. Berekende opbrengst met performance ratio van 0.85

Jaar	Jaarsom (KNMI) (W/m²)	Berekende opbrengst (kWh/kWp)	Werkelijke opbrengst (kWh/kWp)
2011	1056.7	898.2	-
2012	1036.2	880.8	877
2013	1044.9	888.2	878
nominaal jaar	1024.8	871.1	

Van de 2013 dataset is met behulp van instralingsgegevens van KNMI en een rekenmethode om van horizontale instraling te komen tot instraling in het vlak van de zonnepanelen [28] voor elk van de systemen de performance ratio bepaald. Dit induceert echter onnauwkeurigheden omdat de instraling niet op dezelfde locatie gemeten is als het PV systeem. In Figuur 13 is de verdeling van PR waardes weergegeven. De gemiddelde PR=78±14%, oftewel zo'n 10% lager dan de gebruikte waarde van 0.85. Het inzetten van de PR methode lijkt regionale verschillen in opbrengst goed te kunnen weergeven, echter deze methode is slechts schijnbaar nauwkeurig.



Figuur 13. Performance ratio verdeling van PV systemen in Nederland voor 2013.

9. Referenties

- [1] [http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Protocol Monitoring
Hernieuwbare Energie Update 2010 DEN.pdf](http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Protocol%20Monitoring%20Hernieuwbare%20Energie%20Update%202010%20DEN.pdf)
- [2] R. Westerhuis, L. Verhoef, W. Van Sark, Monitoring en lessen PV-projecten Amersfoort en HAL-gebied, 2008, Rapport number NWS-E-2008-18
<http://igitur-archive.library.uu.nl/chem/2009-0306-202604/NWS-E-2008-18.pdf>
- [3] S.M. Lensink, J.A. Wassenaar, S.L. Luxembourg, C.J. Faasen, M. Mozaffarian, Final advice base rates 2011 for electricity and green gas in the framework of the SDE scheme, ECN, 2011, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10109.pdf>
- [4] S.M. Lensink, J.A. Wassenaar, M. Mozaffarian, S.L. Luxembourg, C.J. Faasen, Basisbedragen in de SDE+ 2013 Eindadvies, ECN-E- -12-038,
[https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=EC N-E--12-038](https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=EC%20N-E--12-038).
- [5] W. van Sark, K. Esmeijer, P. Muizebelt, G. Rutten, Bronnen en monitorings-initiatieven, 2012, SMZ-2012-8.
- [6] K.B.D. Esmeijer, W.G.J.H.M. van Sark, Statistical analysis of PV performance using publically available data in the Netherlands, Proceedings of the 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference (Eds. A. Mine, A. Jäger-Waldau, P. Helm), WIP-Renewable Energies, Munich, Germany, 2013, pp. 4024-4027.
- [7] Solarlog, <http://home.solarlog-web.nl/>
- [8] Zonnestroomopbrengst.eu, zie ook
http://www.zonnestroomopbrengst.eu/photovoltaic-plants-comparison/Nederland-NL_2013.html
- [9] SolarCare, <http://www.solarcare.eu>
- [10] KNMI, Jaaroverzicht van het weer in Nederland 2011
- [11] KNMI, Jaaroverzicht van het weer in Nederland 2012
- [12] KNMI, Jaaroverzicht van het weer in Nederland 2013
- [13] <http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/>
- [14] Op basis van
<http://www.wenskaartenidee.nl/Hobbywinkels/Postcodekaart%20Nederland.html>
- [15] Analyse door Polder PV , zie
http://www.polderpv.nl/nieuws_PV114.htm#13jan2014_Sonnenertrag_update_2013
- [16] Siderea, Landelijke Opbrengst Berekening Zonnestroom.
<http://www.siderea.nl/zonne-energie/jaararchief/jaararchief.html>
- [17] Email Dennis Gieselaar, Oskomera, d.d. 20 December 2013.
- [18] CBS, Hernieuwbare Energie in Nederland 2012,
<http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/publicaties/archief/2013/2013-hernieuwbare-energie-in-nederland-2012-pub.htm>
- [19] Email Remco de Graaff, Voorzitter Zonnestroom Producenten Vereniging , d.d. 3 Januari 2014.
- [20] R2B energy consulting GmbH, *Jahresprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG geförderten Kraftwerken für dat Kalenderjahr 2014*. 11 oktober 2013.

- http://www.r2b-energy.eu/uploads/pdf/publikationen/r2b_EEG_Mifri_Prognose_10152013.pdf.pdf
- [21] <http://www.renouvelle.org/node/13>
- [22] http://www.polderpv.nl/nieuws_PV103.htm#19jan2013_hoge_specifieke_opbrengst_Belgie
- [23] <http://www.pvlogging.be/jaarpv.asp>
- [24] D.C. Jordan, S.R. Kurtz, Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review, *Progress in Photovoltaics* 21 (2013) 12-29
- [25] CBS, <http://statline.cbs.nl>
- [26] <http://klimaatmonitor.databank.nl/>
- [27] N.H. Reich, B. Mueller, A. Armbruster, W.G.J.H.M. van Sark, K. Kiefer, Ch. Reise, *Performance Ratio revisited: Are PR > 90% realistic?*, *Progress in Photovoltaics* 20 (2012) 717-726.
- [28] F.J. Olmo, J. Vida, I. Foyo, Y. Castro-Diez, L. Alados-Arboledas, *Prediction of global irradiance on inclined surfaces*. *Energy* 24 (1999) 689-704.

10.Bijlage

10.1. *Deelnemers workshop 14 januari 2014*

Lex Bosselaar, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (lex.bosselaar@rvo.nl)
Menno van den Donker, Solar Energy Application Centre (vandendonker@ecn.nl)
Gerjan Emsbroek, CertiQ (G.Emsbroek@certiq.nl)
Kendall Esmeijer, Universiteit Utrecht (k.b.d.esmeijer@students.uu.nl)
Pierre Gerrissen, SolarCare/Holland Solar (pierre.gerrissen@solarcare.nl)
Wilfried van Sark, Universiteit Utrecht (w.g.j.h.m.vansark@uu.nl)
Peter Segaar, Polder PV (info@polderpv.nl)



Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht

Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht

T +31 (0) 88 042 42 42

F +31 (0) 88 602 90 23

E klantcontact@rvo.nl

www.rvo.nl/

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | maart 2014

Publicatienummer: RVO-091-1401/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.