

## Zon en wind als energiebron voor geautomatiseerde kunstwerken



2000 24



## Zon en wind als energiebron voor geautomatiseerde kunstwerken

2000 24

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Fax 030 232 17 66  
E-mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:  
*Hageman Fulfilment*  
Postbus 1110  
3300 CC Zwijndrecht  
tel. 078 - 629 33 32  
fax 078 - 610 42 87  
e-mail: [hff@wxs.nl](mailto:hff@wxs.nl)  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.5773.103.7

## TEN GELEIDE

Bij het waterpeilbeheer in de Nederlandse regionale wateren is er een toenemende vraag naar betere regelmogelijkheden om een strakker peilbeheer mogelijk te maken. Automatisering van kunstwerken biedt de mogelijkheid om aan deze vraag te voldoen door kunstwerken vanuit een centrale op afstand te besturen en waterpeilen te meten en te regelen.

Op afgelegen locaties levert de energievoorziening van de kunstwerken een probleem op omdat het trekken van een elektriciteitskabel duur kan zijn. In veel gevallen biedt een autonoom zonne- of windenergiesysteem een aantrekkelijk alternatief, zoals blijkt uit de tientallen stuwtjes die reeds door verschillende waterschappen zijn geplaatst.

In opdracht van het bestuur van STOWA is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om in het waterpeilbeheer kleine kunstwerken met een energiesysteem uit te rusten dat is gebaseerd op duurzame energie, met name zonne- en windenergie. Op basis van dit rapport kan de waterbeheerder beoordelen of ook in de eigen organisatie duurzame-energiesystemen kunnen worden toegepast.

De STOWA is veel dank verschuldigd aan allen die de moeite hebben genomen om de uitgebreide enquête in te vullen. Daarnaast bedankt de STOWA:

- ing. W.G.J. de Wit en ing. Tj. Dieterman (beiden Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), de heer G. Velten (Waterschap Regge en Dinkel), en de heer E.H.L. Schroeten en ing. P.H.J. Hulst (beiden Waterschap Roer en Overmaas), voor hun bereidheid om aanvullende vragen te beantwoorden,
- de fabrikanten en leveranciers van kunstwerken en duurzame-energieproducten die details over apparatuur en het gebruik ervan hebben gegeven,
- en de begeleidingscomisie namens de STOWA, dr.ir. J. Hoeks (voorzitter), ir. A. Kooistra (Waterschap Peel en Maasvallei), ing. H. Post (Waterschap Reest en Wieden), ir. J.R. ten Kate (Milieuadviesbureau De Straat), de heer G. Velten (Waterschap Regge en Dinkel) en ir. J. van Noord (Waterschap Vallei en Eem), voor hun inbreng en aanwijzingen.

Vanuit het STOWA-bureau had mevrouw ir. M.J.G. Talsma zitting in de begeleidingscommissie. Het onderzoek werd verricht door ir. J. Dam, ing. J.A. Verschelling en ir. B.H. van Hemert, allen werkzaam bij ECOFYS B.V.

Utrecht, juni 2000

De directeur van STOWA

ir. J.M.J. Leenen



## SUMMARY

Water boards in The Netherlands experience an increasing need to control water levels in order to realise required water levels more accurately. The increased need for precise and flexible water level control is leading to automation.

However, in remote areas energy supply for construction works causes a problem, because it is expensive to lay an electric cable over large distances. The question is which possibilities sustainable energy based systems for energy supply offer to overcome this problem, in particular the systems based on sun<sup>1</sup> and wind energy. To this end this report answers the following questions:

- how big is the market potential for sustainable energy in water management?
- what are the experiences among water boards that already apply sustainable energy systems?
- how can sustainable energy systems in water management be improved?
- what policy should water boards pursue with respect to sustainable energy in water management?
- which practical recommendations can be given for applying sustainable energy systems in water management?

Subject of study are applications in water quantity management, whereby small energy systems are applied for measuring and controlling water levels, including remote control of construction works, as well as small pumping systems.

In order to answer these questions a questionnaire was sent to all Dutch water boards and organisations that manage nature reserves. The results of the questionnaire were supplemented by interviews with some water boards and suppliers of construction works and sustainable energy systems. Moreover, energy consumption and operating costs were calculated for some types of construction works.

A survey of characteristic properties of sustainable energy systems shows that in many lines of business energy systems based on sun and wind energy are applied professionally. Reliability and cost effectiveness are important considerations for applying these systems. The energy supply can be accurately predicted on a monthly base, the systems require very little maintenance and have a life span of fifteen to twenty years. In water management, water power is only applied by making use of the upthrust of the water. Energy supply from hydropower is not economically viable for very small power requirements.

The number of sustainable energy systems to be automatised in The Netherlands within the next ten years is shown in the table below. This table is based on a

---

<sup>1</sup> Meant is photovoltaic energy (PV), whereby solar cells convert sunlight directly into electricity.



response of more than 70% of the organisations and represents mainly the potential estimate by water boards because the majority of responses came from this group represented. Interviews at the water boards gave the impression that these numbers should be interpreted as a very low limit.

|  | Existing construction works | Potential of the number of sustainable energy systems to be placed within the next ten years |
|--|-----------------------------|--|
| Weirs, inlet valves and shutoff valves | 9820                        | 1522   |
| Measuring station with telemetry       | 1243                        | 754  |
| Pumps                                  | 2022                        | 10   |
| Streetlights                           | 440                         | 6  |
| TOTAAL                                 | 13525                       | 2292   |

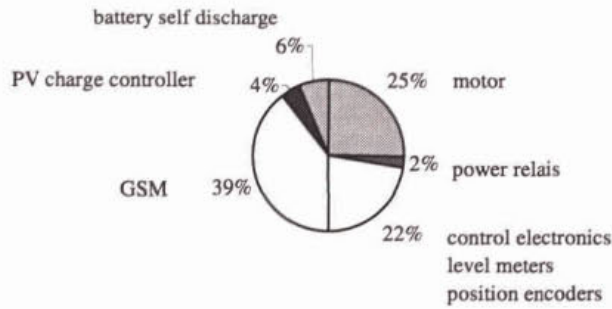
The water boards consider reliability, cost and ease of maintenance to be the most important criteria when they automise construction works. From the 23 organisations that apply sustainable energy systems, 22 are satisfied with the operation of the systems; in one case start-up problems were reported that occurred directly after delivery. From the interviews at the water boards it became clear that start-up problems are not rare.

The organisations have 96 sustainable energy systems, 50 of which are weirs. All organisations said to have the intention to apply sustainable energy systems again. Maintenance poses no problems at all. Contrary to what people think, theft and vandalism occur very seldom.

About half of the water boards said to have insufficient knowledge about the possibilities that sustainable energy systems offer. Clearly, these organisations wanted to know more about the subject. During the planning and implementation phase the organisations want support.

Understanding the energy use of a system is crucial for a reliable design. Besides application of low energy consumption components, one also needs to make an inventory of the seasonal demand pattern of the construction works and try to minimise this. Very often, the standby consumption of the GSM turns out to represent a relatively high energy demand as shown in the following diagram of the energy consumption of a PV weir.





Professional calculations with computer programs optimise the design, leading to optimal reliability and preventing unnecessarily large sizing of the system. Examples from everyday's practice shows that improvement is possible here. A simple delivery test may assure the water board that a good system has been installed.

In this report the yearly operating costs have been calculated for PV systems and for systems for which it was assumed that an electric cable is laid on. For large distances from the electric grid, an autonomous system is cheaper. In the table below the break even distance is shown. The price for electricity is unimportant in these calculations because it is so low.

|  | <b>Distance to the electric grid for which an autonomous sustainable energy system is cheaper</b> |
|--|---|
| Weirs, inlet valves and shutoff valves | 80 ( $\pm 20$ ) meter   |
| Measuring station with telemetry       | 50 ( $\pm 20$ ) meter   |
| Pumps                                  | 690 meter*  |
| Streetlights                           | 100 ( $\pm 20$ ) meter  |

\*) depends strongly on specific application

### *Conclusions and recommendations*

Sun and wind energy systems offer attractive possibilities for automising small construction works in water management. In the coming ten years more than two thousand systems are estimated to be installed in The Netherlands. The real number is anticipated to be considerably higher.

One out of three water boards has experience with sustainable energy systems. These experience is practically allways positive. The systems turn out to be reliable and can be serviced easily. Compared to laying an electric cable these systems are a cost effective solution already at quite small distances from the electric grid.

More than half of the water boards need good information about these systems. In everyday's practice it turns out that the design of the energy systems can be improved. This will improve reliabilty and reduce dimensions and costs.



It is recommended to centralise information and knowledge about sustainable energy systems, for instance by publishing in professional magazines, monitoring the performance of sustainable energy systems and publishing results on a web site. The number of systems that is going to be placed justifies a coordinating approach, for example by STOWA or the Union of Water Boards, in order to get value for money.



## SAMENVATTING

De waterbeheerders in Nederland hebben te maken met een toenemende behoefte om vanuit een centrale het waterpeil in het beheersgebied beter te regelen zodat een strakker peilbeheer kan worden gerealiseerd. De toegenomen behoefte om waterpeilen nauwkeurig en flexibel te beheren leidt tot automatisering.

Op afgelegen locaties levert de energievoorziening van kunstwerken echter een probleem op, omdat het trekken van een elektriciteitskabel over grote afstanden duur is. De vraag is welke mogelijkheden energievoorziening op basis van duurzame energie, met name zonne<sup>2</sup>- en windenergie, kan bieden bij de oplossing van dit probleem. Hiertoe wordt in dit rapport antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Wat is het potentieel voor duurzame energie in het waterbeheer?
- Wat zijn de ervaringen van waterbeheerders die reeds duurzame-energiesystemen toepassen in het waterbeheer?
- Wat kan er verbeterd worden aan duurzame-energiesystemen in het waterbeheer?
- Welk beleid zouden de beheerders kunnen volgen ten aanzien van duurzame energie in het waterbeheer?
- Wat zijn praktische aanbevelingen voor de toepassing van duurzame energie in het waterbeheer?

Het gaat om toepassingen in het waterkwantiteitsbeheer, waarbij kleine energiesystemen kunnen worden ingezet bij het meten en regelen van waterpeilen, bij het op afstand besturen van kunstwerken, en voorts bij kleine pompsystemen.

Om een antwoord te geven op bovengenoemde vragen is een enquête verspreid onder waterschappen, de Vereniging Natuurmonumenten, de afdelingen van Staatsbosbeheer en de Provinciale Landschappen. De resultaten van de enquête zijn vervolgens aangevuld door middel van interviews bij een aantal waterschappen en leveranciers van kunstwerken en duurzame-energiesystemen. Voorts zijn het energieverbruik en exploitatiekosten berekend voor een aantal typen kunstwerken.

Uit een in dit rapport opgesteld overzicht van kenmerken van duurzame-energiesystemen blijkt dat in vele branches energievoorzieningssystemen op basis van zon en wind professioneel worden ingezet. Betrouwbaarheid en kosteneffectiviteit zijn belangrijke overwegingen om deze systemen toe te passen. Het energieaanbod kan op maandbasis nauwkeurig voorspeld worden, de systemen vragen weinig onderhoud en hebben een levensduur van vijftien à twintig jaar. Waterkracht is alleen toepasbaar in het waterbeheer door gebruik te maken van de opwaartse kracht op drijvers. Energievoorziening op basis van waterkracht is voor zeer kleine vermogens niet rendabel.

---

<sup>2</sup> Het gaat hier om fotovoltaïsche zonne-energie (PV, van het Engelse photovoltaic), waarbij zonnecellen het zonlicht direct in elektriciteit omzetten.

Het aantal met duurzame-energiesystemen te automatiseren kunstwerken in de komende tien jaar wordt gegeven in onderstaande tabel. Deze tabel is gebaseerd op een enquête-respons van ruim 70 % van de aangeschreven organisaties en representeert vooral het door de waterschappen aangegeven potentieel omdat deze groep voor de meeste respons zorgde. Interviews bij de waterschappen geven de indruk dat de aantallen als een zeer lage ondergrens geïnterpreteerd dienen te worden.

|                               | <b>Bestaande kunstwerken</b> | <b>Potentieel aantal systemen met duurzame energie voor de komende tien jaar</b> |
|-------------------------------|------------------------------|--|
| Stuwen, inlaten en afsluiters | 9820                         | 1522   |
| Telemetrisch meetpunt         | 1243                         | 754  |
| Pompen                        | 2022                         | 10   |
| Lantaarnpalen                 | 440                          | 6  |
| <b>TOTAAL</b>                 | <b>13525</b>                 | <b>2292</b>  |

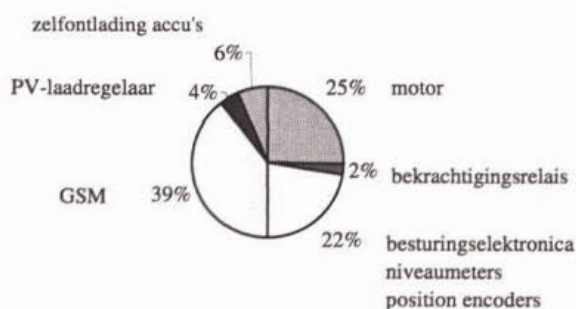
Uit de enquête blijkt dat de waterbeheerder vooral betrouwbaarheid, kosten en gemak van onderhoud zeer belangrijke criteria vindt bij het automatiseren van kunstwerken. Van de 23 organisaties die duurzame-energiesystemen toepassen, zijn er 22 tevreden over het functioneren ervan; in één geval was er sprake van problemen vlak na oplevering van het systeem. Uit de interviews bij de waterschappen bleek dat er wel vaker aanloopproblemen zijn.

De organisaties beheren 96 duurzame-energiesystemen, waarvan 50 stuwen op zonnestroom. Alle organisaties geven aan opnieuw duurzame-energiesystemen toe te zullen passen. Het onderhoud levert geen enkel probleem op. In tegenstelling tot wat men denkt, komen diefstal en vandalisme slechts sporadisch voor.

Ongeveer de helft van de waterschappen geeft aan niet voldoende op de hoogte te zijn van de mogelijkheden die duurzame-energiesystemen bieden. Er bestaat duidelijk behoefte aan meer kennis over dit onderwerp. In de planningsfase en de implementatiefase is er behoefte aan ondersteuning.

Inzicht in het energieverbruik van een kunstwerk is cruciaal om tot een betrouwbaar ontwerp voor een energievoorzieningssysteem te komen. Naast toepassing van van energiezuinige componenten moet het seizoensgebonden vraagpatroon nauwkeurig geïnventariseerd en geminimaliseerd worden. Vaak blijkt dat het standby-verbruik van de GSM een relatief grote energievraag vertegenwoordigt zoals de volgende verdeling van het energieverbruik van een doorsnee PV-stuw laat zien.





Door deskundige dimensioneringsberekeningen met computerprogramma's kan het ontwerp van de energiesystemen worden geoptimaliseerd, waardoor een optimale betrouwbaarheid wordt bereikt en tegelijkertijd wordt voorkomen dat systemen onnodig groot worden uitgevoerd. Voorbeelden uit de praktijk laten zien dat er juist op dit punt verbetering mogelijk is. Een eenvoudige oplevertest kan de waterbeheerder de zekerheid geven dat er een goed systeem is geïnstalleerd.

In dit rapport zijn voor een aantal energiesystemen de jaarlijkse exploitatiekosten berekend voor PV-systemen en voor systemen waarvoor een elektriciteitskabel wordt aangelegd. Wanneer het kunstwerk op grote afstand ligt van de elektriciteitskabel, dan wordt het goedkoper om een autonoom systeem toe te passen. Onderstaande tabel vat samen bij welke afstand het omslagpunt ligt. Door het lage energieverbruik van de kleine kunstwerken speelt de prijs van de elektriciteit uit het net geen enkele rol in deze berekeningen.

|                               | Afstand tot elektriciteitsnet waarbij het goedkoper is om een autonoom duurzaam energiesysteem toe te passen |
|-------------------------------|--|
| Stuwen, inlaten en afsluiters | 80 ( $\pm 20$ ) meter  |
| Telemetrisch meetpunt         | 50 ( $\pm 20$ ) meter  |
| Pompen                        | 690 meter*   |
| Lantaarnpalen                 | 100 ( $\pm 20$ ) meter   |

\*) sterk afhankelijk van de specifieke toepassing

### Conclusies en aanbevelingen

Zonne- en windenergiesystemen bieden aantrekkelijke mogelijkheden bij het automatiseren van kleine kunstwerken voor het waterpeilbeheer. Er zullen volgens de enquête de komende tien jaar ruim tweeduizend duurzame-energiesystemen worden geplaatst. De indruk bestaat dat het werkelijk te plaatsen aantal aanzienlijk hoger zal liggen.

Één op de drie waterschappen heeft ervaring met duurzame-energiesystemen. De ervaringen zijn vrijwel unaniem positief. De systemen blijken betrouwbaar te werken en zijn gemakkelijk in het onderhoud. Ten opzichte van het trekken van een elektriciteitskabel vormen deze systemen al snel een kosteneffectieve oplossing.

Meer dan de helft van de waterschappen heeft behoefte aan goede informatie over deze systemen.

In de praktijk blijkt dat het ontwerp van de energiesystemen nog geoptimaliseerd kan worden. Hierdoor kan de betrouwbaarheid worden vergroot en de systeemgrootte verkleind, waardoor een verdere kostenreductie mogelijk is.

Aanbevolen wordt om informatie en kennis over duurzame-energiesystemen centraal voor waterbeheerders beschikbaar te maken, bijvoorbeeld door regelmatig publiceren in vakbladen, het monitoren van bestaande kunstwerken met duurzame-energievoorziening en het publiceren van de resultaten ervan, bijvoorbeeld op een web-site. Het aantal te plaatsen systemen rechtvaardigt een overkoepelende aanpak, bijvoorbeeld door STOWA of de Unie van Waterschappen, zodat een optimale prijs-kwaliteitsverhouding bereikt wordt.



## INHOUDSOPGAVE

|  |           |
|--|-----------|
| SUMMARY.....   | V         |
| SAMENVATTING.....  | IX        |
| <b>1. INLEIDING .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. AUTONOME DUURZAME-ENERGIESYSTEMEN: EEN EERSTE<br/>VERKENNING .....</b>         | <b>5</b>  |
| 2.1 Wat is duurzame energie? .....   | 5         |
| 2.2 Werkingsprincipe van autonome duurzame-energiesystemen .....                     | 6         |
| 2.3 De belangrijkste kenmerken van autonome duurzame-energiesystemen ..              | 8         |
| 2.3.1 Zonnestroomsystemen .....  | 9         |
| 2.3.2 Windenergie .....  | 11        |
| 2.3.3 Waterkracht .....  | 13        |
| 2.3.4 Hybride systemen .....   | 14        |
| <b>3. MARKTPERSPECTIEF VOOR AUTONOME DUURZAME-<br/>ENERGIESYSTEMEN .....</b>         | <b>17</b> |
| 3.1 Gebiedsgericht beleid .....  | 17        |
| 3.2 Beheersing door automatisering .....   | 18        |
| 3.3 Inventarisatie van bestaande kunstwerken .....                                   | 18        |
| 3.4 Marktpotentieelschatting voor autonome duurzame-energiesystemen ....             | 21        |
| <b>4. RANDVOORWAARDEN VOOR TOEPASSING.....</b>                                       | <b>25</b> |
| 4.1 Ervaringen van DE-gebruikers .....   | 25        |
| 4.2 Kennis over DE bij waterbeheerders .....   | 27        |
| 4.3 Waaraan bestaat vooral behoefte bij de waterbeheerder? .....                     | 29        |
| 4.4 Welke criteria vinden waterschappen belangrijk? .....                            | 30        |
| 4.5 Conclusie.....   | 31        |
| <b>5. GEDETAILLEERD VOORBEELD: HAALBAARHEID VAN DE<br/>STUW OP ZONNESTROOM .....</b> | <b>33</b> |
| 5.1 De hardware van de stuw .....  | 33        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.2 Energieverbruik- en aanbod in kaart gebracht.....   | 34        |
| 5.2.1 Voorbeeldberekening van het energieverbruik van een zonnestuw ..                                  | 35        |
| 5.2.2 Energieaanbod .....   | 38        |
| 5.3 PV of een elektriciteitskabel aanleggen? Een kostenvergelijking .....                               | 39        |
| 5.4 Voldoet de PV-stuw aan de haalbaarheidscriteria van de waterheerder?.                               | 42        |
| 5.5 Checklist bij implementatie van de PV-stuw .....  | 43        |
| <b>6. VOORBEELDEN VAN IN NEDERLAND TOEGEPASTE<br/>AUTONOME DE-SYSTEMEN IN HET WATERPEILBEHEER. ....</b> | <b>45</b> |
| 6.1 Stuwen op zonnestroom.....  | 45        |
| 6.2 Stuwen op windenergie .....   | 46        |
| 6.3 Stuwen op waterkracht .....   | 47        |
| 6.4 Hybride stuwen.....   | 47        |
| 6.5 Balgstuwen .....  | 48        |
| 6.6 Meetpunten met telemetrie.....  | 48        |
| 6.7 Pompen op zonnestroom .....   | 52        |
| 6.8 Pompen op wind.....   | 55        |
| 6.9 Lantaarnpalen .....   | 55        |
| 6.10 Conclusie.....   | 55        |
| <b>7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>   | <b>57</b> |
| 7.1 Conclusies .....  | 57        |
| 7.2 Aanbevelingen .....   | 59        |
| <b>LITERATUUR.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>BIJLAGE 1. ENQUÊTERESULTATEN DEEL I .....</b>  | <b>62</b> |
| <b>BIJLAGE 2. ENQUÊTERESULTATEN DEEL II .....</b>   | <b>69</b> |
| <b>BIJLAGE 3. OVERZICHT ACTIVITEITEN .....</b>  | <b>75</b> |
| <b>BIJLAGE 4. SUBSIDIEMOGELIJKHEDEN .....</b>   | <b>77</b> |



**BIJLAGE 5. LIJST VAN LEVERANCIERS..... 78**

**BIJLAGE 6. ORGANISATIES EN PERSONEN MET DE-ERVARING 79**

## 1. INLEIDING

Bij het beheren van het waterpeil in de Nederlandse regionale wateren is er een toenemende vraag naar betere regelmogelijkheden om strakker peilbeheer mogelijk te maken. Dit is nodig om nat- en droogteschade in de landbouw te voorkomen, verdroging in natuurgebieden terug te dringen en om snel te kunnen inspelen op lokale weersomstandigheden zodat waternood zoveel mogelijk is te voorkomen.

De toenemende behoefte om waterpeilen en –stromen nauwkeurig en flexibel te beheren, op steeds kleiner gebiedsniveau en ook in de meer afgelegen gebieden, leidt tot automatisering. Handbediende stuwen worden vervangen door geautomatiseerde stuwen. Meetsystemen worden aangebracht om waterpeilen op veel verschillende plaatsen te registreren en te gebruiken voor besturing van stuwen. Ook wordt communicatieapparatuur geplaatst, zodat het hele stelsel van kunstwerken vanuit een centrale kan worden bestuurd.

Op afgelegen locaties levert de energievoorziening een probleem op omdat het trekken van een elektriciteitskabel duur kan zijn. In veel gevallen biedt een autonoom zonne- of windenergiesysteem een aantrekkelijk alternatief, zoals blijkt uit de tientallen stuwtes die reeds door verschillende waterschappen zijn geplaatst. Soms zijn deze energiesystemen toegepasbaar voor het oppompen van water, met name in kwetsbare natuurgebieden waar het leggen van kabels een grote ingreep zou betekenen.

Doel van dit rapport is te omschrijven welke mogelijkheden duurzame energie kan bieden in het waterbeheer, waarbij de nadruk ligt op zonne<sup>3</sup>- en windenergie. Hiertoe wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Wat is het potentieel voor duurzame energie in het waterbeheer?
- Wat zijn de ervaringen van waterbeheerders die reeds duurzame-energiesystemen toepassen in het waterbeheer?
- Wat kan er verbeterd worden aan duurzame-energiesystemen in het waterbeheer?
- Welk beleid zouden de beheerders kunnen volgen ten aanzien van duurzame energie in het waterbeheer?
- Wat zijn praktische aanbevelingen voor de toepassing van duurzame energie in het waterbeheer?

Het gaat om inzet van kleine energiesystemen in het waterkwantiteitsbeheer voor het meten en regelen van waterpeilen, het op afstand besturen van kunstwerken, alsook bij kleine pompsystemen.

---

<sup>3</sup> Het gaat hier om fotovoltaïsche zonne-energie (PV, van het Engelse photovoltaic), waarbij zonnecellen het zonlicht direct in elektriciteit omzetten.



Toepassingen van duurzame energie in het waterkwaliteitsbeheer, zoals bijvoorbeeld monsternamen, vallen buiten het kader van dit rapport. Ook grootschalige projecten zoals het opwekken van elektriciteit door grote windmolenparken komen in dit rapport niet aan de orde.

#### *Werkwijze*

Allereerst is een schriftelijke enquête verspreid onder waterschappen, de Vereniging Natuurmonumenten, de afdelingen van Staatsbosbeheer en de Provinciale Landschappen. De gegevens die volgden uit deze enquête zijn vervolgens aangevuld met een aantal interviews bij waterschappen. Resultaten hiervan zijn verspreid in het rapport opgenomen. Tenslotte zijn op basis van literatuurstudie en interviews bij leveranciers van systemen gegevens verzameld over de in Nederland toegepaste systemen.

#### *Voor wie bedoeld?*

Dit rapport is bedoeld voor technische medewerkers van waterschappen, projectleiders en medewerkers van beleidsafdelingen van waterbeherende organisaties.

#### *Leeswijzer*

In hoofdstuk twee is beschreven wat onder duurzame energie wordt verstaan en zijn voorts enkele kenmerkende, voor het waterbeheer belangrijke, eigenschappen van autonome duurzame energiesystemen behandeld.

In hoofdstuk drie zijn beleidsmatige en technische ontwikkelingen beschreven die aangeven dat autonome duurzame energiesystemen een belangrijke optie vormen in het toekomstig waterbeheer in de buitengebieden. Op basis van de enquête is geïnventariseerd hoeveel kunstwerken er de komende tien jaar nieuw geplaatst of geautomatiseerd zullen gaan worden. Tezamen met een door de waterbeheerder geschatte afstand tot het elektriciteitsnet en de in dit rapport berekende exploitatiekosten volgt hieruit een marktpotentieel voor autonome duurzame-energiesystemen.

Hoofdstuk vier beschrijft, vooral op basis van de uitgevoerde enquêtes en enkele interviews bij waterschappen, welke factoren de waterbeheerder van belang acht bij toepassing van duurzame energiesystemen in het waterpeilbeheer. De kwantitatieve resultaten van de enquêtes zijn integraal als bijlage 1 en 2 opgenomen.

Hoofdstuk vijf is gericht op de haalbaarheid van het in Nederland meest toegepaste kunstwerk met duurzame-energievoorziening: een stuw op zonnestroom. Onder andere zijn voor een karakteristiek systeem de exploitatiekosten en het energieverbruik berekend. Daarnaast is bekeken in hoeverre dit systeem voldoet aan de in hoofdstuk vier bepaalde randvoorwaarden voor toepassing. Dit hoofdstuk biedt een snel en compleet inzicht en kan worden gelezen als case.

In hoofdstuk zes is gekeken naar de op de Nederlandse markt verkrijgbare systemen. In dit hoofdstuk vindt men vooral praktisch bruikbare informatie die kan helpen bij het bepalen of in concrete gevallen duurzame energie een oplossing kan zijn. Hier vindt men per type kunstwerk een schatting van de

jaarlijkse exploitatiekosten en het energieverbruik, alsmede enkele cases waarin een aantal concrete kunstwerken worden behandeld.

Tenslotte zijn in hoofdstuk zeven conclusies en aanbevelingen gegeven voor de toepassing van autonome duurzame energiesystemen in het waterbeheer.

Naast de integrale weergave van de enquêteresultaten in bijlage 1 en 2, is bijlage 3 opgenomen met een overzicht van de ten behoeve van dit onderzoek ondernomen activiteiten, bijlage 4 met een overzicht van subsidiemogelijkheden en bijlage 5 met een lijst van leveranciers met duurzame-energieproducten. Bijlage 6 bevat de lijst met namen van waterbeheerders die al duurzame-energiesystemen toepassen. Ook zijn hier de namen opgenomen van experts die reeds veel ervaring hebben opgedaan met zonne-energie en die bij vragen hierover kunnen worden benaderd.



## 2. AUTONOME DUURZAME-ENERGIESYSTEMEN: EEN EERSTE VERKENNING

In dit hoofdstuk worden enkele algemene kenmerken van autonome duurzame-energiesystemen beschreven. Voor de voor het waterkwantiteitsbeheer relevante vormen, te weten energie uit zon, wind en water, worden de sterke en zwakke punten behandeld. Waar mogelijk wordt aangegeven hoe de zwakke punten zouden kunnen worden verbeterd.

### 2.1 Wat is duurzame energie?

Windenergie, fotovoltaïsche zonne-energie (PV, van het Engelse photovoltaic), thermische zonne-energie, aardwarmte, warmtepompen, kleinschalige waterkracht en energiewinning uit biomassa: het zijn allemaal vormen van duurzame energie (DE).

Kenmerkend voor duurzame energie is dat gebruik wordt gemaakt van *hernieuwbare* vormen van energie, dat wil zeggen vormen van energie gebaseerd zijn op de, althans op menselijke tijdschaal, onuitputtelijke energiebronnen zonlicht, zwaartekracht en radioactief verval in de aardkorst. Zonlicht levert bijvoorbeeld de energie om biomassa te laten groeien, het veroorzaakt wind, levert omgevingswarmte enzovoort. De zwaartekracht levert getijde-energie en het radioactief verval in de aardkorst is de oorzaak van geothermische energie.

Naast de hernieuwbaarheid wil duurzaamheid ook zeggen dat ten aanzien van de milieuthema's Verandering van Klimaat, Verzuring, Vermesting, Verspreiding, Verwijdering, Verstoring, Verdroging en Verspilling (de zeven V's) *minder milieubelasting* optreedt dan bij toepassing van conventionele energiebronnen die gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen. Hernieuwbare bronnen zijn niet per definitie duurzaam. Er is tenminste een levenscyclusanalyse voor nodig om de duurzaamheid van energiebronnen te toetsen.

Duurzame energie kan worden toegepast op allerlei schaalniveau's en voor velerlei toepassingen. Zo bestaan er kleine windmolentjes met een vermogen van slechts enkele Watts, die in afgelegen gebieden metalen leidingen kathodisch beschermen tegen corrosie. Hier is slechts een minimale hoeveelheid elektriciteit voldoende. Aan de andere kant van het vermogensspectrum worden grote windparken gebouwd die bedoeld zijn voor grootschalige elektriciteitsproductie. Op een goede windlocatie in Nederland kan een windturbine met een vermogen van anderhalf MW (megawatt) voldoende elektriciteit opwekken om 1500 huishoudens van elektriciteit te voorzien.

Wanneer een duurzaam energiesysteem wordt ingezet om lokaal, zonder aansluiting op het elektriciteitsnet, energie op te wekken en te gebruiken, spreken we van een autonoom duurzame-energiesysteem. In het bovenstaande

voorbeeld is het windmolentje ter kathodische bescherming een autonoom systeem: er wordt geen elektriciteit aan het elektriciteitsnet teruggevoerd. De grote windturbine is een voorbeeld van een netgekoppeld systeem.

Van de hierboven genoemde vormen van duurzame energie zijn thermische zonne-energie, aardwarmte en warmtepompen alle bedoeld om warmte op te wekken of te bufferen. Deze vormen van energie komen in dit rapport verder niet aan de orde omdat deze energievorm geen elektriciteit opwekt en daardoor niet direct voor meten en regelen van apparatuur is te gebruiken.

Er zijn wel kleinschalige biomassa-installaties die elektriciteit leveren, maar de brandstoftoevoer, bijvoorbeeld in de vorm van snoeihout, is dermate arbeidsintensief dat dit soort systemen niet in aanmerking komt voor toepassing van kleine autonome systemen in het waterbeheer.

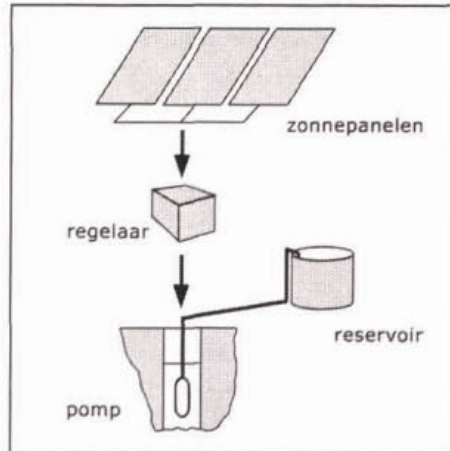
Autonome systemen op basis van zon, wind of een combinatie hiervan vinden naast het waterbeheer in allerlei sectoren een professionele toepassing. Ze kunnen een economische oplossing bieden op plaatsen waar het elektriciteitsnet moeilijk toegankelijk is, bijvoorbeeld bij afgelegen stuwten, of wanneer de stroomafname zo klein is dat een koppeling aan het net relatief duur is, zoals bij parkeermeters.

## **2.2 Werkingsprincipe van autonome duurzame-energiesystemen**

Zon-, wind- en wateraanbod variëren met de dag en per seizoen. Voor sommige toepassingen is het echter niet belangrijk wanneer de energie beschikbaar is. Wanneer er bijvoorbeeld gemiddeld over het jaar een bepaalde hoeveelheid water verpompt moet worden en het maakt niet uit wanneer dit precies gebeurt, dan kan een systeem dat direct de pomp van elektriciteit voorziet, voldoen. Wel is er nog elektronica nodig om de opgewekte elektriciteit in de voor de pomp geschikte vorm aan te leveren, bijvoorbeeld in de vorm van een stabiele gelijkspanning. In het eenvoudigste geval bestaat een autonoom systeem daarom uit een generator, regelelektronica en een elektrische motor, zie figuur 2.1.

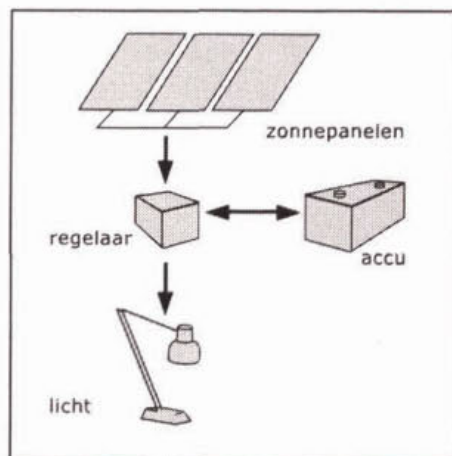
We spreken van een hybride systeem als het systeem meerdere verschillende generatoren heeft, bijvoorbeeld een zonnepaneel en een windmolen.





figuur 2.1. schema van een eenvoudig energiesysteem bestaande uit een generator in de vorm van zonnepanelen, regelelektronica en een motor voor de pomp-aandrijving.

In het algemeen zal er behoefte bestaan om de opgewekte elektriciteit te bufferen, bijvoorbeeld door een accu toe te voegen aan het systeem of door opgepompt water te bewaren in een hoger gelegen voorraadvat. Door het aanbrengen van een buffer wordt het moment van energievraag- en aanbod ontkoppeld. Dit systeem is schematisch weergegeven in figuur 2.2. De laadregelaar zorgt ervoor dat de accu niet wordt overladen en niet te ver wordt ontladen.



figuur 2.2. Schema van een eenvoudig energiesysteem met energiebuffering.

Bij de dimensionering van het systeem moet de buffercapaciteit zodanig worden gekozen dat het systeem een periode van geen energieaanbod en veel vraag kan overbruggen: de *autonomieperiode*. Hiervoor is het nodig om het gedrag van het systeem goed te modelleren. Dit betekent dat zowel het seizoensgebonden energieaanbod als het -verbruik goed bekend moet zijn. Meestal zal er wel enig aanbod van energie zijn en zal de overbruggingsperiode langer zijn. Deze periode wordt de *kritische periode* genoemd.

Door het systeemgedrag in een computermodel te simuleren, hoeven de componenten niet te worden overgedimensioneerd en kan op investeringskosten worden bespaard. Door energiezuinige besturingselektronica of telemetrieapparatuur toe te passen, of door eisen ten aanzien van het verbruikspatroon te verzachten, kan de *energievraag* worden *gereduceerd*. Hierdoor kan een kostenbesparing worden bereikt, doordat een kleinere dimensionering van het systeem mogelijk wordt.

Ook de technische eigenschappen van de verschillende componenten spelen mee in het systeemontwerp. Denk bijvoorbeeld aan de maximale ontlading van de accu, het rendement van het PV-paneel bij verschillende lichtcondities en bij *verschillende temperaturen*, de *gemiddelde opbrengst* van de windmolen op een bepaalde locatie en bij gegeven plaatsingshoogte etc.

### 2.3 De belangrijkste kenmerken van autonome duurzame-energiesystemen

Naast de in de voorgaande paragraaf besproken overeenkomsten zijn er, vanzelfsprekend, ook veel verschillen tussen zon- wind- of waterenergiesystemen. In de volgende paragrafen wordt kort omschreven op welk principe de energieopwekking is gebaseerd. De belangrijkste voor- en nadelen worden opgesomd en er worden voorbeelden gegeven van toepassingen in andere sectoren dan het waterbeheer. Voorts komen de verwachte technologie- en marktontwikkelingen aan bod.

In zijn algemeenheid kan worden gezegd dat de accu de zwakke schakel is voor de duurzame autonome energiesystemen. De levensduur van accu's is beperkt en sterk afhankelijk van het patroon van op- en ontlading. Een langdurige en te diepe ontlading is funest voor de accu. Bovendien is de conditie van de accu lastig te diagnostiseren.

De natte loodzuuraccu's met ontluchting moeten af en toe met water worden bijgevuld. Dit kan worden vermeden door onderhoudsvrije gesloten gel-accu's te installeren.

Naarmate een accu verder ontladen raakt, bevriest hij sneller. Om bevroeringsgevaar te voorkomen moet een al te diepe ontlading vermeden worden. Bij een ontladingsgraad van 50 % zal een loodzuuraccu bij  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  nog niet bevriezen. Echter, bij verdergaande ontlading stijgt het vriespunt van de accuvloeistof zeer snel.

De accu is milieubelastend, vooral ten aanzien van het aspect grondstofuitputting [Kortman, 1998]. Een goede recycling waardoor meer lood kan worden hergebruikt voor de produktie van accu's, is essentieel voor een goede milieuprestatie. Het is daarom belangrijk om er voor te zorgen dat accu's bij een gecertificeerde inzamelaar terechtkomen.

Nikkel-cadmium accu's hebben weliswaar een lange levensduur maar vergeleken met de loodzuuraccu hebben ze een grotere zelfontlading, een lager rendement en zijn ze duurder. Daarom is de nikkel-cadmium accu niet zonder meer aan te bevelen.



### 2.3.1 Zonnestroomsystemen

#### *Energieopwekking*

PV, van het Engelse 'photovoltaics' is een duurzame energietechnologie waarbij zonnecellen zonlicht direct omzetten in elektriciteit. Het zonnepaneel bestaat uit een aantal cellen die met elkaar zijn verbonden zodat een bruikbaar voltage van 12 of 24 volt resulteert. Ter bescherming tegen weersinvloeden zijn de cellen ingekapseld tussen panelen van glas of kunststof.

Het piekvermogen van PV-panelen wordt uitgedrukt in Wattpiek (Wp). Deze grootte is gedefinieerd als het vermogen dat het paneel levert bij een paneeltemperatuur van 25 °C en een stralingsintensiteit van 1000 W/m<sup>2</sup>. met zonlicht van een gestandaardiseerde samenstelling (Standaard Test Conditie, STC). Ter gedachtebepaling: een conventioneel paneel ter grootte van 1 m<sup>2</sup> heeft een vermogen van circa 100 Wp. In Nederland levert een PV-paneel van 100 Wp, opgesteld met de optimale oriëntatie en hellingshoek en zonder beschaduwing, jaarlijks maximaal 80 kWh aan elektriciteit. Deze waarden gelden voor monokristallijne en polykristallijne zonnecellen, met een rendement van circa 15 %, indien de elektriciteit direct kan worden gebruikt; voor autonome systemen is de nuttig bruikbare elektriciteit minder. De amorfe zonnecellen zijn per vierkante meter beduidend goedkoper, maar hebben met 7 % ook een lager rendement. Per Wattpiek zullen de prijzen voor kristallijne en amorfe zonnecellen elkaar niet veel ontlopen.

Voor gebruik in combinatie met kunstwerken zal bovengenoemde jaarlijkse opbrengst niet gehaald worden omdat de oriëntatie van de panelen zodanig is geoptimaliseerd dat de kritische periode, meestal in de winter vallend, overbrugd kan worden. In het algemeen zullen panelen bij kunstwerken in Nederland vrij rechtop, ongeveer twintig á dertig graden uit het lood, staan, zodat 's winters zo veel mogelijk zonlicht wordt opgevangen.

#### *Sterke punten*

- Zeer betrouwbaar energievoorzieningssysteem, indien goed gedimensioneerd.
- Goed voorspelbare opbrengst op maandbasis.
- Vraagt weinig of geen onderhoud.
- PV-panelen trekken niet snel de aandacht van mensen doordat er geen bewegende delen zijn.
- Stil.
- Lange levensduur (tenminste 20 jaar) van de panelen.
- Modulair systeem. Hierdoor zijn de investeringskosten van het systeem nauw verbonden met de vereiste energie. Een kleine uitbreiding van het oppervlak aan panelen kan worden gerealiseerd op dezelfde mast.

#### *Zwakke punten (en mogelijke verbeteringen)*

- De PV-systeemprijs per Wp is relatief hoog. Dit betekent dat het voor zonne-energiesystemen loont om bij het ontwerpen goed te letten of er mogelijkheden tot energiebesparing zijn, zodat het systeem kleiner en goedkoper kan worden uitgevoerd. In feite zijn de jaarlijkse

exploitatiekosten een betere maatstaf dan alleen het investeringsbedrag. Zie ook hoofdstuk 5 waarin een exploitatieoverzicht wordt gegeven.

- In de winter is er weinig opbrengst, terwijl dit vaak de periode met de grootste energievraag is. De dimensionering van het systeem moet zorgvuldig worden afgestemd op de kritische periode. Hiervoor moet men het energieverbruik van de toegepaste componenten goed kennen en een energiebalans maken op basis van een karakteristiek gebruikspatroon. Leveranciers en adviesbureaus die zijn gespecialiseerd in zonnestroomproducten, hebben computerprogramma's waarmee een dimensioneringsberekening kan worden uitgevoerd.
- PV-panelen zijn gevoelig voor vandalisme. Een PV-paneel is weliswaar bestand tegen schokbelasting, bijvoorbeeld door hagel, maar bescherming tegen vandalisme vraagt om een plaat gehard glas en een metalen achterplaat. Voorts dient de mast voorzien te zijn van anti-inklempennen om diefstal en vandalisme te voorkomen.



figuur 2.3. Een eenvoudige maatregel als het aanbrengen van anti-inklempennen verkleint de kans op vandalisme en diefstal.

- Beschaduwning. De opbrengst van een PV-paneel daalt al sterk als slechts een klein deel wordt beschaduwd. Dit betekent ook dat er zo mogelijk maatregelen genomen worden om te voorkomen dat de panelen vuil worden. Een kam, gemonteerd aan de bovenkant van het paneel kan ongewenst vogelbezoek tegengaan.
- PV-panelen worden gemonteerd op ondersteuningsmasten. Dit werkt kostenverhogend en het beïnvloedt het landschap.
- Winterse condities (ijzelafzetting, sneeuw, ijs) beperken de prestaties aanzienlijk.

#### *Toepassingen buiten het waterbeheer*

In Nederland worden autonome zonnestroomsystemen inmiddels 15 jaar toegepast als lichtmarkering op boeien en zijn er al circa tienduizend veedrinkbakken geplaatst. In het wegbeheer zijn er los te plaatsen



wegmarkeringen, snelheidswaarschuwingsapparatuur, optische verkeersgeleiding, verkeersregistratie, werkplekbeveiliging voor wegwerkers, parkeerautomaten en straatlantaarns toegepast. In de recreatiesector worden PV-systemen toegepast voor caravans en campers. In ontwikkelingslanden zijn de solar home systems voor de lokale bevolking een belangrijke stap vooruit. Voor afgelegen telecommunicatie-stations wordt PV ook als energievoorziening gebruikt.

#### *Technologische ontwikkelingen*

Zonnecellen zijn ook leverbaar op een flexibele plastic onderlaag. Dit opent perspectieven voor integratie van zonnecellen in ondersteuningsconstructies. Op zeilboten bijvoorbeeld, kunnen deze panelen op het gebogen dek worden geïntegreerd. Dit levert een mooi resultaat op en het is tegelijkertijd praktisch omdat men er gewoon overheen kan lopen. Ook kan hiermee een kostenreductie bereikt worden.

De kostprijs van PV-systemen blijft dalen. De verwachting is dat door schaalvergroting van de productie van PV-panelen deze trend zich zal blijven voortzetten.

De efficiëntie van zonnecellen wordt voortdurend verbeterd. De mogelijkheden zijn echter beperkt: het theoretisch maximaal haalbare rendement van monokristallijne zonnecellen bedraagt 30 %. De verwachting is dat verbeterde productieprocessen het rendement in de loop der jaren van de huidige 15% tot maximaal 25 % laten stijgen.

### **2.3.2 Windenergie**

#### *Energieopwekking*

Het vermogen dat door de wind in theorie aan de molen kan worden afgegeven stijgt met de derde macht van de windsnelheid. Dit betekent dat wanneer de windsnelheid twee keer hoger wordt, de energie met een factor acht toeneemt. In de praktijk neemt het vermogen ongeveer kwadratisch toe met de gemiddelde windsnelheid omdat er sprake is van allerlei verliezen.

Doordat de windsnelheid toeneemt met de hoogte neemt ook de opbrengst toe wanneer een hoge mast wordt gebruikt. De windmolentjes voor autonome systemen hebben vaak een ingebouwde laadregelaar en ze worden automatisch afgeremd bij te harde wind.

#### *Sterke punten*

- Zeer betrouwbaar energievoorzieningssysteem, mits goed gedimensioneerd.
- Goed voorspelbare opbrengst op maandbasis.
- Energieafgifte zowel overdag als 's nachts.
- Vrij constant energieaanbod over het gehele jaar. In Nederland duurt een windvrije periode zelden langer dan een week. Doordat het energieaanbod zo constant is, kan ook het accuvermogen omlaag. De autonomieperiode zal in de orde van zeven dagen kunnen liggen. Om dit in de praktijk te kunnen

realiseren, zijn wel goede berekeningen nodig van de te verwachten energieopbrengst.

- De kleine windmolens zijn vooral goed toepasbaar in open, windrijke landschappen.
- Lange levensduur (kan vijftien jaar bedragen).

#### *Zwakke punten (en mogelijke verbeteringen)*

- De bewegende delen van de molen zijn onderhouds- en storingsgevoelig. De lagers van de molen moeten regelmatig, bijvoorbeeld elke vijf jaar, verwisseld worden.
- Er kan geluidshinder optreden, zowel via het mechaniek als door windgeruis langs de wieken. Een bewegend object trekt snel de aandacht van het menselijk oog. Hierdoor neemt de kans op vandalisme toe.
- Windmolens worden gemonteerd op hoge ondersteuningsmasten. Dit werkt kostenverhogend en beïnvloedt het landschap.
- De energieopbrengst neemt sterk toe met de hoogte zodat het aantrekkelijk wordt hoge masten te plaatsen. Hiervoor is in principe wel een vergunning in het kader van het Bouwbesluit nodig.
- De kleine windmolens zijn minder goed toepasbaar in bosrijk, heuvelachtig gebied of in de buurt van bebouwing.
- Een nauwkeurige berekening van de energieopbrengst, bijvoorbeeld op maandbasis, is alleen mogelijk wanneer de obstakels zoals bomen en gebouwen, goed in kaart zijn gebracht. Als deze informatie beschikbaar is, dan kan een dergelijke berekening in enkele uren worden uitgevoerd. Denkbaar is bijvoorbeeld dat de opdrachtgever op een kaartje intekent welke obstakels zich in de omgeving bevinden.
- Niet modulair. Om het vermogen van het systeem uit te breiden dient men ofwel een grotere molen te installeren, zonodig met een zwaardere en hogere mast, of men kan een extra molen bijplaatsen. In het laatste geval is dan wel een extra mast noodzakelijk.
- Winterse condities (ijzelafzetting, sneeuw, ijs) beperken de prestaties aanzienlijk.

#### *Toepassingen buiten het waterbeheer*

Windmolens worden onder andere toegepast als energievoorziening op boeien, op telemetriestations en voorts in de recreatieve sector op boten en caravans. Er is een enorm scala aan windmolens, ook ten behoeve van pompen, commercieel verkrijgbaar, variërend van de heel kleine vermogens tot de zeer grote van circa 2 MW. Zie bijvoorbeeld [Neddermann, 1999].

#### *Technologische ontwikkelingen*

Er vind vooral onderzoek plaats naar rendementsverbetering en schaalvergroting van de grootste windmolens die worden ingezet voor grootschalige elektriciteitsproductie. Voorts zijn er een aantal Nederlandse leveranciers die wereldwijd turbinetjes verkopen.



### 2.3.3 Waterkracht

#### *Algemene beschrijving*

Kleinschalige toepassing van waterkracht vindt in het Nederlandse waterbeheer vrijwel alleen plaats door gebruik te maken van de opwaartse kracht die water uitoefent op een drijver. Deze kracht kan worden benut om bijvoorbeeld een stuwklep te verzetten. Ook kan gebruik worden gemaakt van de hevelende werking.

Voor de op opwaartse kracht en hevelende werking gebaseerde systemen volgen hieronder enkele sterke en zwakke punten.

#### *Sterke punten*

- Peilregeling op basis van de opwaartse kracht is een eenvoudig mechanisch systeem, waar geen elektrische installatie aan te pas komt: geen stroomstoringen.
- Geen elektrotechnisch onderhoud nodig.
- Lage investering; geen kosten voor kabelaanleg en elektronische installatie.
- Stille werking: er is geen elektromotor.

#### *Zwakke punten (en mogelijke verbeteringen)*

- Actief meten en regelen vanuit de centrale is niet mogelijk omdat er geen elektriciteit wordt gegenereerd. De bekendste toepassing van waterkracht, omzetting van vallend water door middel van een turbine in elektriciteit, is niet rendabel voor de kleine energievraag bij stuwen. Deze waterkrachtturbines, waarvan er enkele in Nederland zijn gebouwd (bij Hagestein, Maurik, Linne en Alphen), zijn bedoeld voor grootschalige stroomproductie. Het gaat hierbij om systemen van enkele tientallen meters breed en met een geïnstalleerd vermogen van enkele MW. Deze centrales wekken jaarlijks een hoeveelheid stroom op voor meer dan tienduizend huishoudens. Een kleinere centrale van 100 kW, bedoeld als proefproject voor de ontwikkelingslanden, is gebouwd in het Overijsselse Gramsbergen. Ook de in Zuid-Limburg in bestaande molens geïnstalleerde generators met een vermogen van enkele kW zijn veel te groot voor de toepassing in het waterbeheer.
- Minder nauwkeurige regeling. De stuw eist een goede mechanisch afregeling om 'pendelen' te voorkomen.
- Er is geen alarmerings- of monitoringfunctie mogelijk.

#### *Toepassingen buiten het waterbeheer*

Buiten de waterbeheerssector zijn geen toepassingen bekend. In het waterbeheer worden de AMI-stuw (Automatisch Mechanische Inlaatstuw) en AMT-stuw (Automatisch echanische Tuimelstuw) toegepast. Ook behoren hevels en vlotter-inlaten tot deze categorie.

#### *Technologische ontwikkelingen*

Voor zover bekend zijn er geen snelle technologische ontwikkelingen te

verwachten op dit gebied.

### 2.3.4 Hybride systemen

#### *Algemene beschrijving*

Wanneer we spreken over een hybride systeem dan heeft het systeem meerdere verschillende generatoren. Binnen het waterbeheer komt eigenlijk maar één hybride voor, namelijk de combinatie van zon en wind.

#### *Sterke punten*

- Doordat de generatoren elkaar aanvullen (bij veel wind is er vaak minder zon en omgekeerd) is in gunstige gevallen een lager totaal generatorvermogen en een kleinere accu nodig. De investerings- en exploitatiekosten van hybride systemen kunnen door deze kleinere dimensionering lager liggen dan die van de enkelvoudige autonome systemen.

Een voorbeeld van een professioneel hybride systeem waarbij hoge eisen aan de betrouwbaarheid worden gesteld is een tussenstation voor mobiele telefonie in afgelegen berggebieden in Duitsland [Steinhüser, 1997]. Dit systeem heeft een PV-generator en een thermo-elektrische generator (TEG). De thermo-elektrische generator genereert stroom door verwarming van een thermo-elektrisch element door middel van een gasvlam. De thermo-elektrische generator komt vooral 's winters in actie, wanneer er weinig opbrengst van de PV-generator is. Door toepassing van de thermo-elektrische generator kon het PV-systeem tot 30% van de oorspronkelijke grootte gereduceerd worden en konden de systeemkosten van DM 60.000,- verlaagd worden tot DM 45.000,-.

Op jaarbasis levert de TEG slechts 10% van de benodigde energie. Hierdoor hoeft de gasfles slechts één maal per jaar vervangen te worden. TEG's zijn uitermate betrouwbaar en worden o.a. toegepast door de olie-industrie in Alaska.

#### *Zwakke punten (en mogelijke verbeteringen)*

- Hybride systemen zijn qua opzet en regeling altijd gecompliceerder dan enkelvoudige systemen. Ze zijn daarom alleen voordelig als werkelijk een substantiële vermindering van de exploitatiekosten kan worden bereikt doordat de bronnen elkaar aanvullen (bijvoorbeeld hoge gemiddelde windsnelheden in de winter of in de vroege ochtend). Het verdient aanbeveling om vooraf mogelijke hybride oplossingen te overwegen, in plaats van achteraf extra vermogen, bijvoorbeeld een windmolen, bij te plaatsen.
- In het algemeen worden hybride systemen pas interessant bij wat hogere vermogens.

#### *Toepassingen buiten het waterbeheer*

Met de green-point zenders is enkele jaren ervaring opgedaan. Ook worden er op grote schaal hybrides (PV/diesel) toegepast op woonboten. Rijkswaterstaat



past hybrides (zon/wind) toe op meetpalen.

*Technologische ontwikkelingen*

De mast voor een stuw op zonnestroom kan worden uitgebreid met een extra verlenging, waarop de windmolen wordt bevestigd. De hierboven genoemde technologische ontwikkelingen voor zon en wind zijn uiteraard van toepassing op de hybride combinatie.

### **3. MARKTPERSPECTIEF VOOR AUTONOME DUURZAME-ENERGIESYSTEMEN**

In dit hoofdstuk worden in de paragrafen 3.1 en 3.2 een tweetal factoren besproken die duidelijk maken dat de vraag naar autonome systemen in het waterbeheer toeneemt. Vervolgens wordt op basis van de aan de waterbeheerders toegestuurde enquête een kwantitatieve schatting gemaakt voor het in de komende jaren te plaatsen aantal duurzame-energiesystemen. In de enquête is de waterbeheerders gevraagd om aan te geven hoeveel kunstwerken er momenteel onder beheer is en welk aandeel daarvan momenteel een energievoorziening met duurzame energie heeft. De resultaten worden gegeven in paragraaf 3.3. Vervolgens is in paragraaf 3.4 geïnventariseerd hoeveel kunstwerken er de komende tien jaar aangelegd of geautomatiseerd zullen worden. Samen met een schatting van de afstand tot het elektriciteitsnet en exploitatieberekeningen voor de verschillende systemen (zie hoofdstuk 5 en 6) kan hieruit afgeleid worden wat het marktpotentieel voor de autonome duurzame-energiesystemen is.

#### **3.1 Gebiedsgericht beleid**

In de Vierde Nota Waterhuishouding [NW4, 1999] wordt veel aandacht gegeven aan gebiedsgericht beleid. Onder andere lezen we:

'We weten nu dat er een relatie is tussen de drooglegging van gronden en optredende maaiveldaling. Ook gaswinning en stedenbouw dragen bij aan de bodemdaling. We weten ook dat klimaatverandering kan leiden tot een hogere zeespiegel, en veranderende neerslagpatronen en rivierafvoeren, iets dat indirect ook doorwerkt naar het peilbeheer in het landelijke gebied. Dat inzicht hebben we niet altijd gehad. In het verleden gaf het Rijk actieve ondersteuning aan de ontwatering van gronden voor bebouwing of agrarische doeleinden. Nu worden keuzes gemaakt op basis van een bredere kijk. Zo'n bredere kijk leidt ook tot andere keuzes voor de inrichting en het gebruik van het gebied.'

Het bovenstaande betekent dat er een toenemende vraag zal komen naar een verbetering van het peilbeheer en van waterconservering, het aanbrengen van een hydrologische scheiding tussen natuur- en landbouwgebieden, bijvoorbeeld bij de doorsnijding van een verdroogd natuurgebied met een waterloop met een te laag peil.

Een verbetering die ook in de buitengebieden zal moeten plaatsvinden, kan alleen bereikt worden door het automatiseren van kunstwerken. Immers, het beheersen van het watersysteem door het handmatig bedienen van een toenemend aantal kunstwerken in een uitgestrekt gebied, is zowel (te) duur als onbetrouwbaar. Het controleren van een uitgebreid netwerk zonder automatisering is niet haalbaar.

Met de noodzaak tot automatisering, zowel op het gebied van regelen met stuwen en afsluiters als op het gebied van meten en alarmering met



telemetrische meetstations, zal de vraag gesteld worden hoe een kosteneffectieve en betrouwbare oplossing bereikt kan worden. Koppeling van alle meetpunten aan het elektriciteitsnet is duur, terwijl een alarmeringsfunctie niet gemakkelijk met uitwisselbare batterijen gerealiseerd zal kunnen worden. Energiezuinige telemetrie op een aparte radiofrequentie, zoals momenteel in een pilotproject wordt ontwikkeld ten behoeve van stedelijk waterbeheer in Delft, is minder bruikbaar in de buitengebieden vanwege de beperkte reikwijdte (10 km) van de zenders. Toepassing van dit principe in de buitengebieden zou een dicht net van steunzenders noodzakelijk maken. Duurzame energie kan daarom voor veel afgelegen locaties een kosteneffectieve oplossing bieden. Ook voor automatisering van de meetpunten van het provinciale grondwatermeetnet die momenteel vaak nog op veertiendaagse basis handmatig worden uitgelezen, kan duurzame energie om dezelfde reden een interessante optie zijn.

### **3.2 Beheersing door automatisering**

In de studie Dynamische sturing van Watersystemen [STOWA, 1997] wordt betoogd dat door toepassing van dynamische sturing voorkomen kan worden dat het inspelen op nieuwe eisen aan het waterbeheer automatisch leidt tot het bijbouwen van infrastructuur voor waterbeheersing. Dynamische sturing kan leiden tot grote kostenbesparingen.

Op basis van moderne computertechnieken is het in principe mogelijk om bij iedere toestand van het watersysteem, rekening houdend met de dynamica van het watersysteem, kunstwerken zodanig te sturen dat optimaal rekening wordt gehouden met de verschillende belangen die in een gebied spelen. Bij deze belangen kan men denken aan veiligheid, natuur, ecologie, landbouw, scheepvaart en waterrecreatie. Voorwaarde voor het toepassen van dynamische sturing is de aanwezigheid van regelbare stuwen en automatische meetpunten.

De inspanningsverplichting van waterschappen leidt ook tot automatisering. In het geval van calamiteiten zal het waterschap dienen aan te tonen dat er sprake is van overmacht. Hiertoe zal tenminste een goede onderbouwing in de vorm van gemeten waterstanden en neerslag beschikbaar moeten zijn om schadeclaims van burgers en bedrijven ongegrond te kunnen verklaren. Met de mogelijkheid om autonome systemen te kunnen plaatsen wordt een bovengrens voor de voor dit meetnet te maken kosten gegeven.

In de enquête (vraag 7.2, enquête deel I) voorzien de waterbeheerders dat de komende jaren integraal waterbeheer, centrale automatisering met telemetrie, stedelijk waterbeheer en grondwatergestuurd peilbeheer een belangrijke rol zullen spelen. Deze onderwerpen wijzen alle in de richting van een toenemende automatisering.

### **3.3 Inventarisatie van bestaande kunstwerken**

Een overzicht van de in de enquête gerapporteerde aantallen beheerde kunstwerken in Nederland is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Gerapporteerd aantal kunstwerken onder beheer bij waterschappen (45 van de 61 waterschappen vulde de enquête in), Staatsbosbeheer (1 van de 8), Vereniging Natuurmonumenten en de Provinciale Landschappen (geen enkele reactie).

|  | Aantal kunstwerken in eigen beheer | Energievoorziening |               |             |                     |
|--|------------------------------------|--------------------|---------------|-------------|---------------------|
|  |                                    | Netaansluiting     | Zonne-energie | Windenergie | Overig <sup>4</sup> |
| Handbediende stuwen                        | 6364                               | n.v.t.             | n.v.t.        | n.v.t.      | n.v.t.              |
| Geautomatiseerde klepstuwen                | 687                                | 639                | 42            | 3           | 3                   |
| Handbediende inlaten en Afsluisluisers     | 2274                               | n.v.t.             | n.v.t.        | n.v.t.      | n.v.t.              |
| Geautomatiseerde inlaten en afsluisers     | 249                                | 242                | 2             | 0           | 5                   |
| Balgstuwen                                 | 246                                | 236                | 0             | 0           | 10                  |
| Telemetrische meetpunten                   | 1243                               | 1084               | 15            | 0           | 24                  |
| Pompsystemen < 3000 m <sup>3</sup> per dag | 395                                | 390                | 0             | 5           | 0                   |
| Pompsystemen > 3000 m <sup>3</sup> per dag | 1627                               | 1613               | 0             | 4           | 7                   |
| Lantaarnpalen                              | 440                                | 440                | 0             | 0           | 0                   |
| Overige                                    | 50                                 | 42                 | 0             | 3           | 5                   |

Uit Tabel 1 blijkt dat circa 10 % van alle stuwen, inlaten en afsluisers is geautomatiseerd, het overgrote deel hiervan via het elektriciteitsnet. Van deze geautomatiseerde kunstwerken worden in dit overzicht 57 kunstwerken opgegeven als zijnde geautomatiseerd met duurzame energie. Dit is 6 % van het totaal van de geautomatiseerde kunstwerken.

#### *Toelichting op enquêterespons*

Uit het bijschrift bij Tabel 1 zien we dat bovenstaande getallen vooral zijn gebaseerd op de reacties van waterschappen, waarvan 73 % reageerde. Navraag bij natuurbeheerders zoals Staatsbosbeheer, de Provinciale Landschappen en de Vereniging Natuurmonumenten leerde dat deze organisaties vooral kleine kunstwerken onder beheer hebben, die in het algemeen handmatig bediend worden. Deze organisaties zien bij dit beheer eigenlijk geen rol weggelegd voor meer beheersmaatregelen. Hierdoor vond het merendeel van deze organisaties het invullen van de enquête niet zinvol.

<sup>4</sup> Onder overige vallen waterkracht of een combinatie van wind en water (stuwen, inlaten en afsluisers), diesel (balgstuwen en grote pompsystemen) en batterijen (telemetrische systemen).



Opgemerkt kan nog worden, dat bij de handbediende stuw-tjes niet het grote aantal kleine stuw-tjes of windmolentjes inbegrepen is dat wordt beheerd door boeren. Bij het opstellen van de enquête bleek dat veel waterschappen onvoldoende kwantitatieve gegevens hebben om over deze categorie van kunstwerken een uitspraak te kunnen doen. Besloten is daarom om de organisaties te vragen naar de kunstwerken die de organisatie *zelf beheert*, omdat een organisatie in principe over deze gegevens dient te beschikken. Voor de schatting van het DE-potentieel is het missen van de boerencategorie niet ernstig. Immers, deze kleine stuw-tjes worden handmatig verzet, vaak alleen voor een zomer- en winterstand. Automatisering met DE ligt hier niet voor de hand.

#### *Nadere inventarisatie van bestaande kunstwerken op DE*

Organisaties die hadden aangegeven over kunstwerken met DE te beschikken, is in de enquête gevraagd om nadere gegevens over deze kunstwerken te verstrekken. Uit deze inventarisatie kan ook worden gedestilleerd hoeveel bestaande kunstwerken op DE er reeds functioneren in Nederland, zie Tabel 2.

Tabel 2. Gerapporteerde aantallen kunstwerken met een energievoorziening op basis van DE.

|                                      | Aantal organisaties <sup>5</sup> | Aantal systemen <sup>6</sup> |      |       |          |        |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------|-------|----------|--------|
|                                      |                                  | zon                          | wind | water | zon/wind | totaal |
| Geautomatiseerde stuw                | 16                               | 50                           | 0    | 11    | 5        | 66     |
| Geautomatiseerde inlaat of afsluiter | 0                                | 0                            | 0    | 0     | 0        | 0      |
| Balgstuw                             | 0                                | 0                            | 0    | 0     | 0        | 0      |
| Niveaumeetpunt met telemetrie        | 6                                | 11                           | 0    | 0     | 0        | 11     |
| Pompsysteem                          | 4                                | 0                            | 19   | 0     | 0        | 19     |
| Lantaarnpaal                         | 0                                | 0                            | 0    | 0     | 0        | 0      |
| Overig, nl: _____                    | 0                                | 0                            | 0    | 0     | 0        | 0      |

<sup>5</sup> Organisatie die kunstwerken op DE toepassen staan vermeld in bijlage 6. In deze bijlage staan ook enkele contactpersonen vermeld, die veel kennis over DE-toepassingen hebben. Deze personen kunnen geconsulteerd worden bij vragen over DE-toepassingen.

<sup>6</sup> De getallen in Tabel 2 stroken niet precies met de in Tabel 1 gevonden aantallen. De reden hiervoor is dat de verschillende delen van de enquête niet door iedereen consistent zijn ingevuld. Zo kwam het soms voor dat wel werd aangegeven dat de organisatie kunstwerken op DE onder beheer had, maar werd vervolgens deel II van de enquête, waarin om nadere gegevens werd gevraagd niet ingevuld. Ook het omgekeerde kwam voor: geen deel I ingevuld, wel deel II.

In totaal zijn er 96 kunstwerken op DE gerapporteerd, waarvan het overgrote deel stuwen op zonnestroom, te weten 50 stuks. Hybride systemen komen alleen voor bij stuwen in de combinatie zon/wind. De 19 gerapporteerde pompsystemen zijn alle gebaseerd op windenergie. Geen enkele balgstuw draait op duurzame energie.

Er reageerden 23 van de 61 aangeschreven waterschappen op deze vraag. Met andere woorden: tenminste één op de drie waterschappen in Nederland heeft ervaring met duurzame energie.

In bijlage 6 zijn de organisaties vermeld die DE toepassen. Ook bevat deze bijlage de namen van enkele personen met veel kennis op het gebied van DE-toepassingen in het waterbeheer. Bij vragen kan men zich tot deze personen wenden.

### **3.4 Marktpotentieelschatting voor autonome duurzame-energiesystemen**

Om een schatting te kunnen geven van het aantal kunstwerken dat de komende tien jaar met een duurzaam energiesysteem kan worden uitgerust, zijn in de enquête twee vragen gesteld. In de eerste plaats is gevraagd (vraag 3.1, enquête deel I) welke bestaande kunstwerken de organisatie de komende tien jaar zal vernieuwen of automatiseren. Vervolgens is gevraagd (vraag 3.2, enquête deel I) hoeveel kunstwerken de organisatie de komende tien jaar op nieuwe locaties zal realiseren. Bij beide vragen werd verzocht om aan te geven wat de geschatte afstand tot het elektriciteitsnet zou zijn. De resultaten staan in onderstaande tabel.

De donkere vakken in deze tabel geven aan wanneer automatisering met DE economisch aantrekkelijk is (zie voor een onderbouwing hoofdstuk 5 en 6). De getallen in de donkere vakken zijn het resultaat van de inventarisatie van deel I van de enquête.



Tabel 3. Potentieelschatting (donkere vakjes geven aan wanneer de systemen economisch haalbaar zijn, zie ook hoofdstuk 5 en 6) voor DE-systemen op basis van geretourneerde enquêtes.

|  | Afstand tot het elektriciteitsnet |             |         | Totaal |
|--|-----------------------------------|-------------|---------|--------|
|  | 0 - 100 m                         | 100 - 500 m | > 500 m |        |
| Handbediende stuwen                      |                                   | 543         | 411     | 954    |
| Geautomatiseerde klepstuwen              |                                   | 131         | 44      | 175    |
| Handbediende inlaten en afsluiters       |                                   | 160         | 142     | 302    |
| Geautomatiseerde inlaten en afsluiters   |                                   | 52          | 29      | 81     |
| Balgstuwen                               |                                   | 10          | 0       | 10     |
| Meetpunten met telemetrie                | 396                               | 274         | 84      | 754    |
| Pompsystemen < 3000 m <sup>3</sup> / dag |                                   |             | 10      | 10     |
| Pompsystemen > 3000 m <sup>3</sup> / dag |                                   |             |         |        |
| Lantaarnpalen                            |                                   | 6           | 0       | 6      |
| Overige                                  |                                   |             |         |        |
| <b>TOTAAL AANTAL SYSTEMEN</b>            |                                   |             |         | 2292   |

Bij de handbediende stuwen, inlaten en afsluiters is in het algemeen niet bekend of deze systemen handbediend zullen blijven of geautomatiseerd zullen worden: dit zal sterk afhangen van de eisen en wensen voor het betreffende gebied. Een minimum voor de potentieelschatting krijgen we door deze categorieën niet mee te tellen, een maximumschatting door ze wel mee te tellen. Op basis van deze overweging komen we tot de volgende geaggregeerde potentieelschatting voor de komende tien jaar voor DE-systemen:

Tabel 4. Minimum en maximum potentieelschatting voor DE-systemen voor de komende tien jaar op basis van geretourneerde enquêtes van 73% van alle waterschappen. De hier gepresenteerde getallen dienen te worden geïnterpreteerd als een grove en lage ondergrens.

|                               | Bestaande systemen | Potentieel aantal systemen met DE |          |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------|
|                               |                    | Minimaal                          | Maximaal |
| Stuwen, inlaten en afsluiters | 9820               | 266                               | 1522     |
| Telemetrie                    | 1243               | 754                               | 754      |
| Pompen                        | 2022               | 10                                | 10       |
| Lantaarnpalen                 | 440                | 6                                 | 6        |
| <b>TOTAAL</b>                 | 13525              | 1036                              | 2292     |

Er zijn een aantal redenen waarom bovenstaande getallen geïnterpreteerd dienen te worden als een grove en lage ondergrens.

In de eerste plaats bleek tijdens de bij waterschappen uitgevoerde interviews dat er vaak geen gedetailleerde plannen binnen de waterschappen aanwezig zijn, waaruit blijkt welke kunstwerken op de nominatie staan geautomatiseerd te worden of welke plaatsen er nieuwe kunstwerken gerealiseerd dienen te

worden. Vaak worden deze zaken bepaald in een samenspel tussen rayonbeheerder, technische dienst en beleidsafdeling. De rayonbeheerder is op de hoogte van de lokale details, de technische afdeling kan bepalen of automatiseren technisch haalbaar is en de beleidsafdeling geeft aan welke ontwikkelingen gewenst zijn. Voor de persoon die de enquête invulde, was het geen eenvoudige opgave om in een beperkte tijd deze gegevens boven tafel te krijgen.

In de tweede plaats is bij de eigen organisatie in het algemeen niet bekend waar de elektriciteitskabels lopen. Deze informatie wordt opgevraagd bij het energiebedrijf. In de enquête is gevraagd om de afstand te schatten indien deze niet bekend was.

Een derde reden is gelegen in het feit dat veel wordt gereorganiseerd en gefuseerd in de waterschapswereld. Dit heeft niet zelden tot gevolg dat gedetailleerde kennis over de wenselijkheid tot automatiseren niet meer te vinden is in het hoofd van één persoon, maar is verspreid over de organisatie of deels is verdwenen.

Een vierde reden: het voornemen tot automatiseren hangt af van de kennis over de mogelijkheden die er zijn om te automatiseren. We hebben hier dus te maken met het probleem van de kip en het ei. Als niet bekend is dat er kosteneffectief en betrouwbaar in het buitengebied geautomatiseerd kan worden, dan zal de wens zich minder snel voordoen.

Tenslotte: bovenstaande getallen zijn gebaseerd op een respons van 73 % van de waterschappen.



## 4. RANDVOORWAARDEN VOOR TOEPASSING

In dit hoofdstuk gaan we na welke criteria voor de waterbeheerder van belang zijn bij de beoordeling of een DE-systeem haalbaar is of niet. De criteria zijn vooral ontleend aan het resultaat van de enquête die de waterbeheerders hebben ingevuld (zie bijlage 1 en 2 voor een integrale weergave van de enquêteresultaten). Ook zijn interviews met de producenten van DE-systemen verwerkt, evenals de nadere onderzoeken bij de waterschappen.

### 4.1 Ervaringen van DE-gebruikers

In zijn algemeenheid laten de enquêteresultaten zien dat DE-gebruikers tevreden zijn met de prestatie van de systemen.

Een greep uit de enquêteresultaten maakt dit duidelijk:

- *Functioneren in het algemeen:* Van de 23 DE-gebruikers antwoorden er 20 dat het systeem naar verwachting functioneerde en voor twee gebruikers was de prestatie beter dan men had verwacht. Voor één gebruiker presteerde het systeem beneden verwachting. Navraag leerde dat hier vooral sprake was van aanloopproblemen. Overigens werden problemen vlak na oplevering vaker gerapporteerd, maar niet voor iedereen was dit aanleiding voor een negatieve uitspraak.
- De vraag “*gaat u opnieuw DE toepassen?*” werd slechts positief beantwoord. De indruk die ontstaat na interviews bij de waterschappen, is dat er een aantal waterschappen zijn geweest die het voortouw hebben genomen bij de toepassing van zonnestroom voor de automatisering van stuwen. Nu bekend is dat er deze systemen zeer betrouwbaar zijn gebleken, kan verwacht worden dat bredere toepassing ingang zal vinden.
- *Technische mankementen:* 5 van de 22 organisaties heeft te maken gehad met technische mankementen. Het betreft hier 5 van de 96 DE-systemen waarover is gerapporteerd. De opmerkingen bij deze vraag geven aan dat de problemen meestal tijdens of vlak na installatie optraden.
- *Langdurig niet-functioneren.* 5 organisaties rapporteerden dat ze hiervan last hebben gehad. Ook hier geldt dat de problemen meestal tijdens of vlak na installatie optreden. Het betreft hier 5 van de 50 stuwen op zonne-energie (10 %).
- *Diefstal.* 1 van de 22 organisaties heeft te maken gehad met diefstal; het betreft hier één zonnepaneel: in totaal 1 systeem op de 50 stuwen op zonne-energie (2 %).

In het gerapporteerde geval van diefstal werd vlak na de oplevering van het zonnestroomsysteem de mast omvergehaald, waarna het zonnestroompaneel eenvoudig kon worden losgeschroefd. Het waterschap heeft vervolgens een nieuw paneel is geïnstalleerd door moeren en bouten te gebruiken die alleen met een speciale sleutel kunnen worden verwijderd. Een andere oplossing die ook wel wordt toegepast is om het paneel vast te lassen.

- *Vandalisme.* Dit ondervonden 3 van de 20 organisaties. In één geval betreft het een gebied van SBB waarin een tiental watermolens stonden die werden beschadigd door bezoekers. Bij de overige twee organisaties betreft het de beschadiging van een zonnepaneel bij een stuw<sup>7</sup>; hiermee is bij 2 van de 50 stuwen sprake geweest van vandalisme (4%).

Deze getallen geven aan dat organisaties als Staatsbosbeheer, de Vereniging Natuurmonumenten en de Provinciale Landschappen bij toepassing van autonome systemen meer beducht dienen te zijn voor vandalisme dan de waterschappen doordat de eerstgenoemde organisaties meer publiek zullen trekken. Doordat bij deze organisaties waarschijnlijk meer behoefte aan kleine pompsystemen en telemetrische meetpunten bestaat dan voor stuwen, is dit een belangrijk aandachtspunt voor leveranciers van deze systemen.

- *Onderhoud.* 100 % van de beantwoorders is tevreden.

De enquête-resultaten voor diefstal, vandalisme en langdurig niet-functioneren worden hieronder in tabelvorm gepresenteerd.

De donkere vakjes geven aan voor welk percentage van geplaatste DE-systemen er daadwerkelijk sprake is geweest diefstal, vandalisme of niet-functioneren. Deze percentages zijn gerapporteerd door DE-gebruikers. De getallen in de vakjes geven aan hoe vaak geënquêteerden *dachten* dat diefstal, vandalisme en langdurig niet-functioneren zouden voorkomen.

Uit de tabel blijkt dat de meeste ondervraagden denken dat diefstal en vandalisme veel vaker voorkomt dan in werkelijkheid het geval is. Er is wel meer sprake van langdurig niet-functioneren, maar vaak betreft het problemen tijdens of vlak na installatie.

Tabel 5. De donkere vakken geven de gerapporteerde percentages van vandalisme, diefstal en langdurig niet-functioneren. De getallen geven het door de geënquêteerden geschatte voorkomen ervan.

|                             | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% | 40% |
|-----------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Vandalisme:                 | 0  | 10 | 22  | 3   | 4   | 4   | 3   | 1   | 3   |
| Diefstal:                   | 2  | 27 | 6   | 1   | 7   | 5   | 1   | 0   | 2   |
| Langdurig niet-functioneren | 1  | 17 | 16  | 2   | 8   | 3   | 0   | 2   | 0   |

#### *Aanbevelingen*

- In de eerste plaats kan meer *bekendheid* worden gegeven aan de *vele positieve ervaringen* met DE-systemen in het waterpeilbeheer. De systemen blijken betrouwbaar te zijn en ook geven DE-gebruikers aan tevreden te zijn met het gemak van het onderhoud. Vandalisme en diefstal komen zeer weinig voor.

<sup>7</sup> Zie ook paragraaf 6.3.



Gedacht kan een web-site worden waarin demonstratieprojecten worden beschreven, cursussen speciaal gericht op projectleiders bij waterbeheerders en publikaties in de vakbladen.

- Gerichte overdracht van technische kennis, bijvoorbeeld in *richtlijnen voor installateurs en leveranciers*, zou problemen, vaak optredend vlak na oplevering, grotendeels kunnen voorkomen. Deze richtlijnen zouden informatie over dimensionering van het energiesysteem, toegespitst op kunstwerken in het waterbeheer, moeten bevatten zodat bijvoorbeeld geen onnodig grote systemen worden afgeleverd. Niet zelden besteden de installateurs de dimensionering uit aan leveranciers van DE-systemen of adviesbureaus op gebied van DE.
- In het licht van de conclusie van paragraaf 3.4, waarin op basis van de enquête werd geschat dat er de komende tien jaar tenminste tweeduizend systemen bij waterbeheerders geplaatst zullen gaan worden, kan een *gerichte campagne* kwaliteitsverhogend werken. Een dergelijk perspectief kan voor leveranciers van systemen een stimulans zijn om systemen te integreren waardoor bij installatie minder problemen zullen optreden.
- *Een opleveringstest* door een onafhankelijke gespecialiseerde instantie kan waterschappen de zekerheid bieden dat een goed systeem wordt afgeleverd en kan voor de installateurs een extra stimulans betekenen om vakwerk af te leveren. Een opleveringstest kan vooral voor die waterschappen interessant zijn die niet voldoende technische expertise op het gebied van duurzame energiesystemen in huis (willen) hebben.
- *Monitoring* van de prestatie van de systemen kan er voor zorgen dat zwakke plekken in de ontwerpen worden gedetecteerd en kunnen worden voorkomen bij volgende installaties.

#### 4.2 Kennis over DE bij waterbeheerders

In de enquête zijn een aantal vragen opgenomen waarin gepeild werd in hoeverre men met deze toepassingsmogelijkheden bekend is, met name waar het gaat over de economische haalbaarheid en het aantal werkende systemen. Hieronder worden de resultaten behandeld.

##### *Economische haalbaarheid*

In onderstaande tabel is met donkere vakjes aangegeven wanneer systemen volgens Ecofys economisch haalbaar zijn (dit wordt onderbouwd in hoofdstuk 5 en 6). De getallen in de vakjes geven de schatting van de geënquêteerden weer.

Tabel 6. Economische haalbaarheid volgens Ecofys (donkere vakken) en volgens geënquêteerden (getallen).

|   | Afstand tot het elektriciteitsnet |           |           |            |         |
|---|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|---------|
|   | 0-100 m                           | 100-250 m | 250-500 m | 500-1000 m | >1000 m |
| Geautomatiseerde stuw                   | 2                                 | 8         | 14        | 9          | 2       |
| Geautomatiseerde inlaat of afsluiter    | 3                                 | 9         | 13        | 7          | 1       |
| Balgstuw                                | 4                                 | 3         | 6         | 2          | 0       |
| Meetpunt met telemetrie                 | 4                                 | 9         | 11        | 2          | 1       |
| Pompsysteem < 3000 m <sup>3</sup> / dag | 4                                 | 3         | 7         | 3          | 6       |
| Pompsysteem > 3000 m <sup>3</sup> / dag | 5                                 | 0         | 3         | 2          | 11      |
| Lantaarnpaal                            | 7                                 | 1         | 0         | 1          | 1       |

We zien dat de meeste beantwoorders de economische haalbaarheid pas bij een grotere dan de door Ecofys geschatte afstand reëel achten. Sommigen denken zelfs dat automatisering met DE pas loont bij een afstand van meer dan een kilometer tot de dichtstbijzijnde elektriciteitskabel.

Bij de beantwoording plaatsen we de volgende opmerkingen:

- Ruim tweederde van de beantwoorders kent de zonnestuw. Pas na 250 meter wordt de zonnestuw economisch haalbaar geacht. In feite ligt deze afstand onder de 100 meter. Zie hoofdstuk 5.
- Telemetrie op zonnestroom wordt pas realistisch geacht na 250 meter, terwijl deze systemen al binnen enkele tientallen meters van het net economisch haalbaar zijn.
- Er zijn maar weinig geënquêteerden die ervan op de hoogte zijn, dat er ook lantaarnpalen op zon (en ook: zon én wind) commercieel verkrijgbaar zijn. Dit soort verlichting is goed toepasbaar op afgelegen plaatsen, bijvoorbeeld als oriëntatieverlichting.

#### *Geplaatste DE-systemen*

In onderstaande tabel geven de donkere vakjes aan hoeveel systemen er zijn geplaatst volgens opgave van DE-gebruikers. Aangetekend dient te worden dat we niet van alle aangeschreven organisaties antwoord hebben gekregen. De donkere vakken geven daarom een minimale schatting.



Tabel 7. Door geënquêteerden geschatte aantallen van in Nederland geplaatste DE-systemen. De donkere vakjes geven aan hoeveel systemen er volgens de uitkomsten van deel II van de enquête werkelijk geplaatst zijn.

| Aantal systemen →                        | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|--|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Stuwen op zonnestroom                    | 1 | 5  | 8  | 5  | 9  | 4  | 0  | 1  | 2  | 4  | 2   |
| Stuwen op windenergie                    | 9 | 15 | 9  | 2  | 0  | 4  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| Stuwen op waterkracht                    | 6 | 9  | 11 | 7  | 5  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| Kleine pompsystemen op zonnestroom       | 3 | 16 | 5  | 2  | 4  | 3  | 3  | 0  | 2  | 0  | 3   |
| Meetpunten met telemetrie op zonnestroom | 1 | 3  | 2  | 8  | 5  | 4  | 4  | 1  | 2  | 0  | 10  |

Bij de beantwoording van de vraag over het aantal geplaatste systemen op DE bleek dat het aantal geplaatste zonnestuwen wordt onderschat; het aantal stuwen op windenergie, kleine pompsystemen en telemetriepunten wordt overschat. In feite zijn er bij de inventarisatie in de enquêtes geen stuwen in Nederland aangetroffen waarbij de energievoorziening alleen met een windgenerator plaatsvindt.

#### Aanbevelingen

- In veel organisaties wordt de economische haalbaarheid van DE-systemen te negatief ingeschat. Het publiceren van *gedetailleerde informatie over exploitatiecijfers* kan hier verandering in brengen. Ook de mogelijkheden om *subsidie* te verwerven bij het plaatsen van DE-systemen moeten naar voren worden gebracht. In bijlage 4 worden in het kort een aantal subsidiemogelijkheden gegeven.
- Het regelmatig in vakbladen *publiceren van cases* van kunstwerken op DE zou ervoor kunnen zorgen dat meer afdelingen binnen de waterschappen een goed beeld krijgen van de mogelijkheden die deze systemen bieden.

### 4.3 Waaraan bestaat vooral behoefte bij de waterbeheerder?

#### Kennis

Ongeveer de helft van de geënquêteerden geeft aan de *kennis* binnen de eigen organisatie over de toepassingsmogelijkheden van DE onvoldoende te achten (vraag 4.4, enquête deel I). Daarnaast geeft iets meer dan de helft van de beantwoorders aan niet tevreden te zijn over de *informatievoorziening* over DE in het waterbeheer (vraag 4.2.2, enquête deel II).

Slechts drie van de dertien DE-gebruikers wist de weg naar subsidie te vinden (vraag 2.5.2, enquête deel II). Ook dit heeft wellicht te maken met onvoldoende kennis of, dit is ook mogelijk, een overschatting van de inspanning die nodig is om een dergelijke subsidie te verkrijgen.

### *Technische ondersteuning*

Meer dan tachtig procent heeft behoefte aan *technische ondersteuning* in de planningsfase (vraag 5.1, enquête deel I) en bijna zeventig procent zegt ondersteuning nodig te hebben bij de *technische implementatie*.

Er zijn verschillende manieren om een kunstwerk op DE te plaatsen.

In de eerste plaats kan men het gehele project als een turn-key-project uitbesteden aan een leverancier van kunstwerken. Omdat duurzame energie in het algemeen geen kernactiviteit is, wordt dit deel vaak uitbesteed aan gespecialiseerde bedrijven.

In de tweede plaats kan men de verschillende delen van het kunstwerk uitbesteden. Men kan apart de civieltechnische werken, de dimensionering en de installatie van het systeem uitbesteden. Dit vereist meer coördinatie en technische kennis van het waterschap, maar deze aanpak kan geld besparen doordat men offertes in concurrentie kan vragen voor de verschillende onderdelen. Ook bouwt men op deze manier kennis op binnen de waterschapsorganisatie.

In de derde plaats tenslotte, kan de waterschapsorganisatie zelf de systemen dimensioneren, ontwerpen en programmeren en vervolgens door de installateur laten installeren.

### *Energiegarantie*

Ruim zeventig procent van de ondervraagden geeft aan wel wat te zien in een *energiegarantie*, bijvoorbeeld door het energiebedrijf (vraag 5.3, enquête deel I). Toch zijn maar drie van de achttien DE-gebruikers erin geslaagd daadwerkelijk een energiegarantie te bedingen (vraag 2.3.2, enquête deel II). Wellicht een gebrek aan kennis over de mogelijkheden?

### *Aanbevelingen*

- Omdat in vijftien van de vijfentwintig gevallen het idee voor toepassing van DE kwam van binnen de waterschapswereld (vraag 4.2.1, enquête deel II) dient in vakbladen, goed toegankelijk voor zowel beleidsmakers als technische afdelingen, *informatie* over DE gepubliceerd te worden. Via deze informatie kan men bijvoorbeeld op het idee gebracht worden om een energiegarantie te bedingen. Ook een web-site of een workshop kan worden overwogen.
- De informatie dient vooral ook *adressen* te bevatten van organisaties die ondersteuning kunnen bieden in de plannings- en implementatiefase.

## **4.4 Welke criteria vinden waterschappen belangrijk?**

De enquêteresultaten geven het volgende beeld ten aanzien van behoeften van organisaties en criteria bij het oplossen van waterbeheerproblemen.

Bij de vraag welke criteria belangrijk zijn voor de organisatie bij de oplossing van een waterbeheerprobleem (vraag 6.3, enquête deel I) scoort



*betrouwbaarheid* verreweg het hoogst. De traditionele degelijkheid bij waterschappen ten aanzien van de dienstverlening zal aan dit antwoord niet vreemd zijn. Interviews bij de waterschappen leren echter ook dat de kans op schadeclaims bij onvoldoende functioneren van het waterbeheerssysteem wel eens een drijvende factor achter deze hoge score kan zijn.

Naast betrouwbaarheid zijn *kosten* en *gemak van onderhoud* een belangrijk criterium. Iets minder belangrijk zijn eventuele milieubelasting, implementatiesnelheid, technologie en leverancier. Waterschappen vinden een onderhoudsfrequentie van één á twee keer per jaar acceptabel (vraag 6.1, enquête deel I). Waterschappen die duurzame energiesystemen in gebruik hebben, rapporteren een onderhoudsfrequentie van ongeveer twee keer per jaar met een duur van gemiddeld twee uur (vraag 2.4.4. en 2.4.5. van enquête deel II).

#### *Aanbeveling*

- De prestatie van DE-systemen zou, bijvoorbeeld op jaarbasis, *gemonitord* kunnen worden. De uit een monitoringprogramma resulterende prijsontwikkelingen, investerings- en exploitatiekosten en gegevens over betrouwbaarheid kunnen bijvoorbeeld op een web-site toegankelijk gemaakt worden.

## **4.5 Conclusie**

Uit de enquête komt duidelijk naar voren dat betrouwbaarheid een zeer belangrijke randvoorwaarde is voor toepassing door waterbeheerders. Daarnaast spelen ook kosten en gemak van onderhoud een belangrijke rol.

De enquêteresultaten laten zien dat de organisaties die DE toepassen in het algemeen zeer tevreden zijn met het functioneren van de systemen. In tegenstelling tot wat men vaak denkt, komen vandalisme en diefstal slechts sporadisch voor.

Opvallend is dat, hoewel er inmiddels veel positieve ervaringen zijn met DE-systemen, dit niet algemeen bekend is bij waterbeheerders. Veel beheerders geven aan meer behoefte te hebben aan goede informatie.

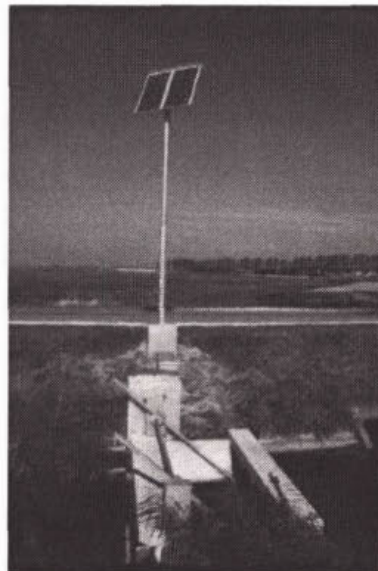
Voor de gewenste kennisoverdracht zou men kunnen denken aan een web-site met informatie over lopende projecten, exploitatiegegevens, nieuwe technologische ontwikkelingen of een monitoringprogramma waarbij de prestaties van de geïnstalleerde systemen worden gevolgd.

Ook publikaties in de vakbladen kan de bekendheid van DE-systemen vergroten.

## 5. GEDETAILLEERD VOORBEELD: HAALBAARHEID VAN DE STUW OP ZONNESTROOM

Wanneer is het aantrekkelijk om een autonoom duurzaam energiesysteem toe te passen? Om te laten zien hoe men tot een dergelijke beslissing kan komen behandelen we in dit hoofdstuk, tot in detail, een stuw op zonnestroom.

Allereerst wordt beschreven uit welke componenten een dergelijk systeem bestaat en wat de functie ervan is. Vervolgens geven we een overzicht van de energieconsumptie en de consequenties hiervan voor de dimensionering. Een kostenvergelijking tussen PV en het leggen van een kabel laat zien wanneer dit systeem economisch haalbaar is. Tenslotte wordt aan de hand van de belangrijkste haalbaarheidscriteria die uit het vorige hoofdstuk resulteerden, bepaald onder welke voorwaarden de zonnestuw de aangewezen keuze is.



figuur 5.1 Een stuw(tje) op zonnestroom

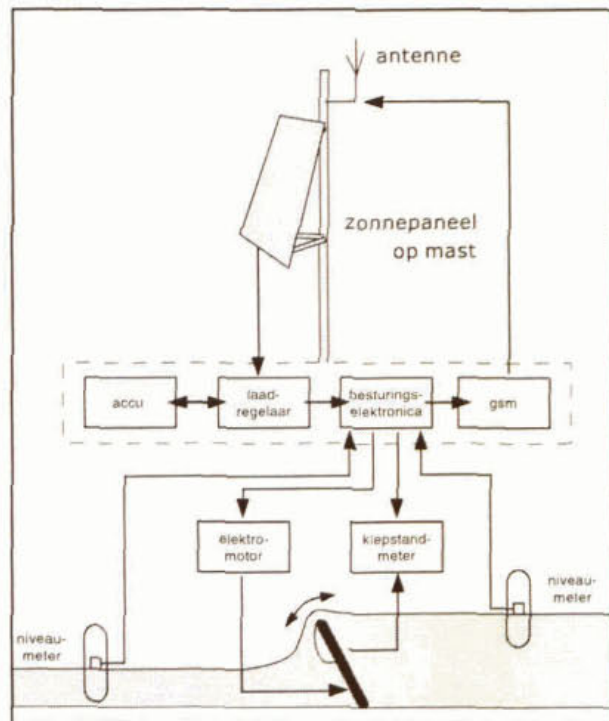
### 5.1 De hardware van de stuw

#### *Besturing en telemetrie*

Een schema van een klepstuw op zonnestroom is weergegeven in figuur 5.2. Regelmatig, bijvoorbeeld ieder kwartier, worden de waterpeilen gemeten. Dit duurt hooguit vijf seconden. Op basis van de gemeten en de gewenste waterniveaus kan de besturingselektronica, het intelligente hart van het energiesysteem, met de elektromotor de klepstand in de gewenste positie brengen. De statusinformatie van de stuw (klepstand, waterpeilen, accuspanning etc.) wordt vervolgens opgeslagen in een datalogger die als onderdeel in de besturingselektronica is ingebouwd. Om energie te besparen staat de besturingselektronica in de slaapstand wanneer hij niet actief is.



De opgeslagen gegevens kunnen via de GSM of de vaste telefoonlijn worden doorgegeven aan de centrale van het waterschap. Meestal gebeurt dit één maal per dag, maar vanuit de centrale kan ook ingebeld worden om gegevens telemetrisch op te halen of andere instructies aan de besturingselektronica te geven. Het is denkbaar dat de stuw niet op afstand regelbaar hoeft te zijn. Indien toch informatie over het regelgedrag van de stuw gewenst wordt, kunnen de gegevens bijvoorbeeld één maal per twee weken worden uitgelezen met een draagbare computer of kan de datalogger worden uitgewisseld.



figuur 5.2. Principe van een klepstuw met PV-energievoorziening.

Het bovenstaande principe wordt in Nederland bij verschillende typen stuwen toegepast, waaronder kantelstuwen, klepstuwen, schuiven met spindelaandrijving en de ecostuw. Door de cilindervormige klepconstructie verbruikt dit laatste type stuw zeer weinig energie voor het verstellen van de klepstand, waardoor een minimale dimensionering van PV-systeem mogelijk wordt.

De elektronica bevindt zich meestal in een aparte binnenkast ter bescherming tegen vocht en temperatuurvariaties.

## 5.2 Energieverbruik- en aanbod in kaart gebracht

Inzicht in het energieverbruik van de stuw is cruciaal om tot een betrouwbaar ontwerp van het PV-systeem te komen. Naast kennis over de energieconsumptie van de toegepaste elektronische componenten is het ook nodig om het seizoensgebonden vraagpatroon goed te inventariseren. Op basis van deze gegevens kan het PV-systeem optimaal gedimensioneerd worden,

waarbij men de kans op niet-functioneren vanwege energietekort en hoge kosten vanwege overdimensionering minimaliseert.

Door de vraag te verkleinen verlaagt men zowel de investeringskosten als de onderhoudskosten. Immers, kleine accu's zijn goedkoper dan grote, zowel in aanschaf als bij vervanging.

### 5.2.1 Voorbeeldberekening van het energieverbruik van een zonnestuw

We gaan voor een voorbeeldberekening uit van de volgende uitgangspunten:

- *Motor en bekrachtigingsrelais*  
Gemiddeld over het hele jaar genomen zijn de motor en het bekrachtigingsrelais elk uur gedurende tien seconden actief.
- *Besturingselektronica, niveaumeters en position encoder*  
Elke vijf minuten wordt de slaapmode verlaten gedurende vijf seconden voor een waterpeilmeting door de twee niveaumeters. De schakelrelais zijn zodanig geschakeld dat ze alleen energie vragen in bekrachtigde toestand.
- *GSM*  
Staat voortdurend stand-by. Gedurende 10 minuten per dag vraagt de GSM vol vermogen om te zenden.
- *PV-laadregelaar*  
Vraagt continu een klein beetje energie.
- *Zelfontlading accu's*  
Wordt gesteld op 4 % per maand.

De dagelijkse energieconsumptie ziet er op basis van dit overzicht als volgt uit:

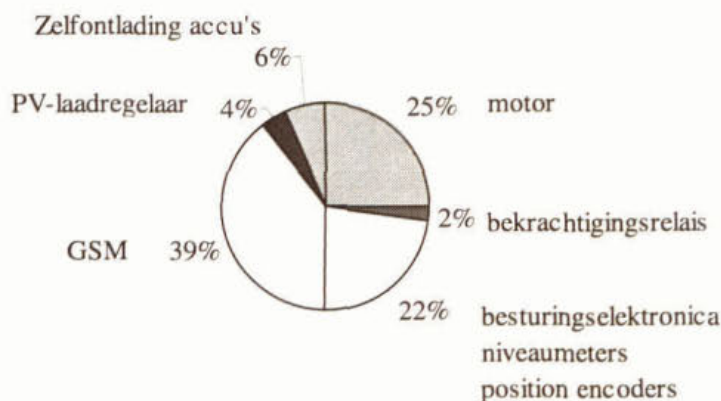
Tabel 8. Voorbeeld van het dagelijks energieverbruik van een stuw met PV. Het stand-byverbruik van de GSM vraagt relatief veel energie.

|                                       | energieverbruik per etmaal (Wh) |             |             |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
|                                       | stand-by                        | actief      | totaal      |
| motor                                 |                                 | 14.2        | 14.2        |
| bekrachtigingsrelais                  |                                 | 1.3         | 1.3         |
| besturingselektronica en niveaumeters | 8.4                             | 4.1         | 12.5        |
| GSM                                   | 19.0                            | 3.0         | 22.0        |
| PV laadregelaar                       | 2.4                             |             | 2.4         |
| Zelfontlading accu's                  |                                 | 3.5         | 3.5         |
| <b>totaal</b>                         | <b>29.8</b>                     | <b>26.1</b> | <b>55.9</b> |

Op jaarbasis levert dit een energieverbruik van ruim 19 kWh op. Uit bovenstaand overzicht blijkt dat vooral het stand-byverbruik van de GSM relatief veel energie vraagt.

Het energieverbruik van de verschillende componenten is als percentage van het totale energieverbruik weergegeven in onderstaand diagram.





figuur 5.3. Verdeling van het energieverbruik van een stuw over de verschillende componenten. Afhankelijk van de lokale situatie, gebruikte componenten en gebruikspatroon kan deze verdeling sterk variëren.

De verschillende verbruiken worden hieronder toegelicht. Bedacht moet worden dat het hier gaat om een voorbeeld: de getoonde getallen zullen voor iedere stuw weer anders liggen.

#### *Motor*

Voor het schatten van het aantal motorbewegingen kan men uitgaan van een worst case benadering. Bijvoorbeeld: er wordt elke vijf minuten een waterpeil gemeten en dit wordt in de datalogger opgeslagen. Elke twintig minuten wordt de data gemiddeld en op basis hiervan besluit de besturingselektronica tot het al dan niet verzetten van de stuw. Deze strategie leidt tot een maximum aantal bewegingen van 72 per dag.

Een andere schatting volgt uit de overweging dat het niveauverschil tussen actueel en gewenst peil zelden meer zal bedragen dan 50 cm. Wanneer we ervan uitgaan dat we dit peil willen realiseren door middel van een langzaam regime van 2 cm per keer, dan leidt deze overweging tot een maximum aantal klepbewegingen van 25 per dag.

Uit de interviews bij enkele waterschappen kwam via monitoring van stuwen naar voren dat het werkelijke aantal stuwbewegingen maximaal 12 keer per dag bedroeg. Het betreft hier een aantal stuwen in een polder.

Resumerend kunnen we stellen dat het in het voorbeeld gehanteerde aantal van één klepbeweging per uur aan de hoge kant ligt.

Afhankelijk van de breedte en type van de stuwklep, de overbrengingsverhouding en de sterkte van de stroming kan het motorvermogen worden bepaald. In het algemeen kan worden volstaan met een klein elektromotortje van bijvoorbeeld 60 W. Monitoringresultaten laten zien dat zelfs dit lage vermogen vaak ruim bemeten is [Hemert, 1999]. Overigens zijn in de enquête ook veel grotere motorvermogens gesignaleerd, zelfs tot 750 W, maar het is onwaarschijnlijk dat dit werkelijk nodig is.

Het energieverbruik wordt mede bepaald door de eisen die de waterbeheerder aan de regelbaarheid van het systeem stelt. We noemen enkele voorbeelden. Het waterschap wil bijvoorbeeld dat iedere vijf minuten een waterpeilmeting plaatsvindt. Dit betekent dat de besturingselektronica iedere vijf minuten de slaapmode verlaat. Of: het waterschap eist dat bij een afwijking van meer dan twee centimeter van het streefpeil een aanpassing van de klepstand plaatsvindt. Dit zal meer klepbewegingen veroorzaken dan bij een marge van vijf centimeter. Doordat het starten van de klepbeweging veel energie kost, zullen meer klepbewegingen ook meer energie vragen.

#### *Besturingselektronica, niveaumeters en position encoders.*

De besturingselektronica van de voorbeeldstuw vraagt 24 % van de totale energie. Dit lage aandeel wordt bereikt door zuinige elektronica te installeren en voorts na iedere meting de elektronica weer in de slaapstand te zetten. Zo wordt een grote energiebesparing bereikt.

De keuze om de elektronica veel te laten slapen betekent dat de stuw niet voortdurend regelt. Dit moet wel passen binnen het beleid van het waterschap, maar in het algemeen zal dit geen praktische bezwaren opleveren. Indien gewenst, kan vanuit de centrale door middel van de GSM de elektronica weer gewekt worden. Deze keuze brengt met zich mee dat de GSM niet in een slaapstand kan worden gezet.

#### *GSM*

Het standby-verbruik van de GSM is vaak de grootste energieverbruikspost. In het voorbeeld wordt een zuinige GSM opgevoerd. In de praktijk komen verbruiken voor van tussen 20 en 50 Wh per dag.

Een voor de hand liggende oplossing om op het GSM-verbruik te bezuinigen zou zijn om de GSM volledig uit te schakelen en automatisch, bijvoorbeeld iedere twintig minuten, weer te laten ontwaken. Hier geldt ook dat deze keuze zou moeten passen binnen het beleid van het waterschap. Doorvoeren van deze oplossing is een belangrijke energiebesparingsoptie.

#### *Laadregelaar*

Zoals te zien in het diagram vraagt dit onderdeel slechts weinig energie. Ook hier geldt dat het belangrijk is om een energiezuinig type te kiezen, bijvoorbeeld met een verbruik van 1 tot 3 Wh per dag.

#### *Zelfontlading accu's*

Nieuwe loodzwavelzuuraccu's hebben een zelfontlading van 2-5 % per maand. Aan het eind van de levensduur kan dit oplopen tot 15 %.

#### *Energiebesparing*

De energievraag kan vaak met eenvoudige energiebesparende maatregelen verkleind worden. Men kan zeer energiezuinige apparatuur toepassen, bijvoorbeeld met een slaap- en wekstand. Werken met één voedingsspanningsniveau werkt besparend doordat er geen energieverlies optreedt bij het omzetten van het ene spanningsniveau naar het andere. Ook



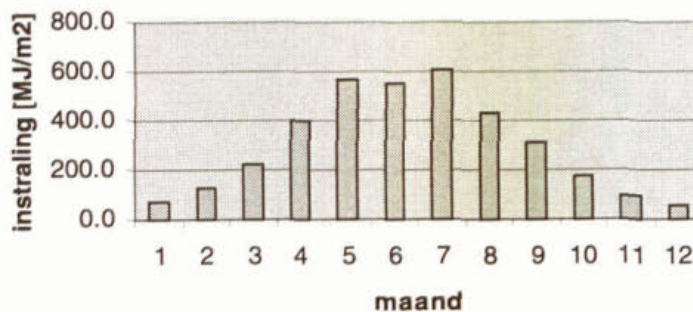
moet voorkomen worden om wisselspanningsapparatuur toe te passen omdat ook de omzetting van gelijkstroom naar wisselstroom door middel van inverters energie kost. Het is niet nodig om verwarmingselementen te plaatsen, maar er kan worden volstaan met dubbelwandige kasten met een goede ventilatie.

### 5.2.2 Energieaanbod

Afhankelijk van de plaats en het verbruikspatroon van een stuw zal er in het jaar een periode aan te wijzen zijn dat de netto energieopbrengst minimaal is of, sterker, dat er netto meer energie wordt verbruikt dan dat er wordt opgewekt. Dit kan geen kwaad, zolang de opslagcapaciteit van de accu's voldoende is om deze periode, de kritische periode, te overbruggen. De periode die het systeem kan overbruggen uitgaande van volledig gevulde accu's, een maximaal energieverbruikspatroon en geen enkele energieopbrengst, wordt autonomieperiode genoemd.

De keuze van de lengte van de autonomieperiode, voor stuwen meestal tussen de twintig en dertig dagen, bepaalt grofweg de grootte van de accu, gegeven het geschatte energieverbruik en de minimale ladingstoestand<sup>8</sup> van de accu (meestal 50%). Bijvoorbeeld: een dagelijks energieverbruik van 50 Wh, een autonomieperiode van dertig dagen en een minimale ladingstoestand leidt tot een minimale accucapaciteit van  $50 * 30 / 0,5 = 3000$  Wh. Let wel: dit is een ruwe schatting. Zo is bijvoorbeeld de zelfontlading van de accu hierin niet meegenomen.

Bij de dimensionering van het PV-systeem moet men ervoor zorgen dat de kritische periode ruimschoots overbrugd kan worden. Men dient er hierbij op bedacht te zijn dat een periode van minimale energieopbrengst, in Nederland in de maand december, niet noodzakelijk hoeft samen te vallen met de kritische periode, die bijvoorbeeld in oktober kan vallen als er veel stuwbewegingen nodig zijn en er toch niet veel opbrengst is. Een instralingscurve voor Nederland (De Bilt, 1999) die laat zien hoe het zonlichtaanbod over het jaar is verdeeld, is gegeven in figuur 5.4 .



figuur 5.4. Instraling in 1999 (MJ/m²) op maandbasis te De Bilt.

<sup>8</sup> Engels: State of Charge (SOC). Dit is een maat voor de in de accu opgeslagen energie.

Een goede dimensionering van het PV-systeem houdt met al deze factoren rekening. Er zijn simulatieprogramma's waarmee men de energieopbrengst goed kan berekenen, bijvoorbeeld het programma SOMES [SOMES, 1992], waarmee men het gecombineerde gedrag van meerdere duurzame-energiesystemen kan bepalen. Deskundige toepassing van een dergelijk programma, waarin vele eigenschappen zoals hellingshoek en oriëntatie van het paneel, eventuele beschaduwingsconditie, het rendement van de zonnecellen en het verbruikspatroon van de installatie kunnen worden ingevoerd, leidt tot een betrouwbaar ontwerp.

Het PV-vermogen van de meeste stuw-tjes in Nederland ligt tussen de 85 en 150 Wp [Hemert, 1999].

### **5.3 PV of een elektriciteitskabel aanleggen? Een kostenvergelijking**

Wanneer is het automatiseren van een stuw door middel van PV goedkoper dan het trekken van een elektriciteitskabel? Om een antwoord te kunnen geven zijn hieronder de investeringskosten en de exploitatiekosten opgesteld.

#### *Uitgangspunten*

Voor de kostenvergelijking is uitgegaan van een aantal aannames, zie Tabel 9. De kosten voor het trekken van een elektriciteitskabel verschillen per energiebedrijf, maar liggen wel rond het in tabel Tabel 9 aangegeven bedrag. Sommige, doch niet alle, energiebedrijven rekenen meerkosten voor te overbruggen water- of wegkruisingen. Incidenteel kan het voorkomen dat er bijvoorbeeld een extra spanningsvormer geplaatst moet worden, waardoor de kosten per strekkende meter veel hoger uit kunnen vallen. De elektriciteitskosten, gesplitst in jaarlijkse vaste kosten en een kWh-prijs lopen niet sterk uiteen voor de verschillende energiemaatschappijen.

De levensduur van de accu's is afhankelijk van het ontwerp van de elektrische installatie en van het belastingspatroon. Het vaak bijna leeg trekken van de accu bekort de levensduur sterk. Een voorbeeld van een extreem lange levensduur voor accu's wordt gevonden bij PV-systemen voor boeien op zee. Hier is vaak sprake van een sterke overdimensionering en voorts van een zeer regelmatig aanbod en verbruik van energie. De accu's voor deze installaties halen een levensduur van 15 jaar. Voor stuw-tjes is energieaanbod en -verbruik minder goed voorspelbaar en is een levensduur van 5 jaar redelijke aanname.

Het jaarlijks energieverbruik in het voorbeeld vertegenwoordigt een gemiddeld gebruik van een aantal stuw-tjes en is gebaseerd op simulatiegegevens en monitoringgegevens.



Tabel 9. Uitgangspunten voor een kostenvergelijking tussen PV en het trekken van een elektriciteitskabel.

| Uitgangspunten                        | hoeveelheid | eenheid |
|---------------------------------------|-------------|---------|
| Kabelkosten (materiaal plus arbeid)   | 50          | f/m     |
| Rentevoet                             | 6           | %       |
| Levensduur accu's                     | 5           | jaar    |
| Levensduur installatie                | 20          | jaar    |
| Jaarlijkse vaste kosten elektriciteit | 100         | f       |
| kWh-prijs                             | 0.25        | f       |
| Jaarlijks energieverbruik             | 18          | kWh     |

### Kostenvergelijking

Voor een kostenvergelijking zijn de automatiseringskosten voor PV en het trekken van een elektriciteitskabel naast elkaar gezet, zie Tabel 10.

Tabel 10. Kostenvergelijking tussen automatisering van een stuw met PV of met de elektriciteitskabel. De kabellengte is gehanteerd als parameter die bepaalt wanneer de jaarlijkse exploitatiekosten van beide mogelijkheden gelijk zijn. Zie voor gehanteerde uitgangspunten de Tabel 9.

| INVESTERINGSKOSTEN (f)                                       | PV-systeem      |             | Elektriciteitskabel |              |
|--|-----------------|-------------|---------------------|--------------|
|  | materiaalkosten | arbeid      | materiaalkosten     | arbeid       |
| PV-systeem 100 Wp  |                 | 500         |                     |              |
| PV-panelen   | 1700            |             |                     |              |
| accu's (3kWh; 125 Ah bij 24 V)                               | 800             |             |                     |              |
| laadregelaar   | 200             |             |                     |              |
| Mast, inclusief fundering en draden trekken                  | 800             | 500         |                     |              |
| <b>Subtotaal PV</b>  | <b>3500</b>     | <b>1000</b> |                     |              |
| Besturingselektronica  |                 | 2500        |                     | 1500         |
| hardware   | 1000            |             | 1000                |              |
| software   | 8000            |             | 8000                |              |
| programmeerwerk  |                 | 400         |                     | 400          |
| GSM plus modem   | 1800            | 500         | 1800                | 500          |
| Aandrijving, inclusief beschermkast                          | 7500            | 750         | 7500                | 750          |
| Twee niveaumeters  | 4000            | 750         | 4000                | 750          |
| Besturingskast (RVS)   | 4000            | 250         | 5000                | 250          |
| <b>Subtotaal elektronica en telemetrie</b>                   | <b>26300</b>    | <b>5150</b> | <b>27300</b>        | <b>4150</b>  |
| Aanleg kabel (inclusief materiaal) voor een kabellengte van: |                 |             |                     |              |
| 78 m   |                 |             |                     | 3900         |
| Vaste kosten aanleg elektriciteitskabel                      |                 |             |                     | 1000         |
| <b>Subtotaal aanleg elektrische kabel</b>                    |                 |             |                     | <b>4900</b>  |
| Eenvoudige oplevertest                                       |                 | 700         |                     | 500          |
| Ontwerp elektrisch systeem                                   |                 | 700         |                     | 700          |
| <b>Subtotaal kwaliteitskosten</b>                            |                 | <b>1400</b> |                     | <b>1200</b>  |
| <b>Totaal materialen en arbeid</b>                           | <b>29800</b>    | <b>7550</b> | <b>27300</b>        | <b>10250</b> |
| <b>TOTAAL INVESTERING</b>                                    | <b>37350</b>    |             | <b>37550</b>        |              |
| <b>JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN</b>                          |                 |             |                     |              |
| Systeem exclusief accu's                                     | 3187            |             | 3274                |              |
| Elektriciteit vaste kosten                                   |                 |             | 100                 |              |
| Elektriciteit kWh prijs                                      |                 |             | 5                   |              |
| Accu's   | 190             |             |                     |              |
| <b>TOTAAL JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN (f)</b>               | <b>3377</b>     |             | <b>3378</b>         |              |

Als voorbeeld is een stuw genomen met karakteristieke waarden voor het PV-vermogen (100 Wp) en accucapaciteit (3kWh ofwel 125 Ah bij 24 V). De kentallen voor de kosten van de verschillende PV-componenten zijn gebaseerd op gegevens van waterschappen en fabrikanten.

Voor goed ontworpen PV-systemen is een jaarlijkse inspectie tijdens de onderhoudsbeurt van de elektrotechnische installatie voldoende. De met deze onderhoudsinspectie samenhangende kosten zijn niet in het overzicht meegenomen.

Voor de eenvoudige oplevertest kan men denken aan inspectie door een expert van door de installateur aangeleverde installatieschema's.

De lengte van de te leggen kabel is gehanteerd als een parameter die bepaalt voor welke afstand de jaarlijkse exploitatiekosten voor de PV-installatie gelijk zijn aan die voor de installatie met elektriciteitskabel. In de tabel zien we dat het omslagpunt ligt bij een afstand tot het elektriciteitsnet van 78 meter.

Doordat de dimensionering en uitvoering van stuwen op PV onderling niet sterk zal verschillen, zal het omslagpunt naar schatting niet meer dan 20 meter afwijken voor verschillende stuwen.

Deze afstand is vanzelfsprekend afhankelijk van de keuzes die voor de kentallen gemaakt zijn. Om een idee te geven: wanneer de accu's na acht in plaats van vijf jaar kunnen worden vervangen, ligt het omslagpunt bij 64 meter. Bij een verdubbeling van de kosten voor graafwerkzaamheden ligt het omslagpunt bij 39 meter.

Een belangrijke mogelijkheid om de kosten voor de aanleg van elektriciteitskabel te drukken kan zich voordoen wanneer de elektriciteitskabel door eigen grondgebied loopt en de waterbeheerder bereid is zelf de werkzaamheden te coördineren. Dit werkt kostenbesparend. Immers, er hoeven nu geen vergunningen te worden aangevraagd en landeigenaren hoeven geen toestemming te verlenen. Naast een vast basisbedrag voor het door het energiebedrijf aan te leggen aftakpunt is tegen  $f$  15,- per meter de kabel aan te leggen. Bij een dergelijk lage prijs ligt het omslagpunt op 259 meter.

Een andere mogelijkheid tot kostenreductie is om de aanleg van de elektriciteitskabel te combineren met de aanleg van een telefoonkabel. Voor een telefoonaansluiting mogen, op last van OPTA, slechts aansluitkosten berekend mogen worden, ongeacht de werkelijk gemaakte kosten. Aanleg van een telefoonlijn biedt een mogelijkheid om te profiteren van de graafwerkzaamheden die hiervoor nodig zijn.

#### *Subsidie*

In het bovenstaande kostenoverzicht zijn mogelijke subsidies niet meegenomen. In bijlage 4 wordt een kort overzicht gegeven van de mogelijkheden op dit gebied.



### *Conclusie*

Als vuistregel kan men stellen dat het in het algemeen kosteneffectiever is om de energievoorziening van de stuw met zonne-energie te realiseren bij afstanden tot het elektriciteitsnet van meer dan 80 meter.

Bij deze afstand wegen de investeringskosten voor PV-systeem en vervangingskosten van accu's op tegen de aanlegkosten van de elektriciteitskabel en het vastrecht. Vanwege het zeer lage energieverbruik van de stuw speelt de kWh-prijs van elektriciteit in deze berekening geen enkele rol.

## **5.4 Voldoet de PV-stuw aan de haalbaarheidscriteria van de waterheerder?**

In deze paragraaf wordt nagegaan, aan de hand van de bevindingen van hoofdstuk 4 waarin de belangrijkste beoordelingscriteria werden vastgesteld, wanneer de PV-stuw voldoet aan de eisen van de waterbeheerder. Deze besprekingswijze staat model voor de wijze van presentatie in het volgende hoofdstuk, waarin de belangrijkste duurzame-energietoepassingen in het waterpeilbeheer behandeld worden.

### *Kosten*

De afstand waarbij automatiseringskosten met PV gelijk zijn aan die voor het trekken van een elektriciteitskabel liggen in dit voorbeeld op 78 meter. Per geval, afhankelijk van het ontwerp van de stuw, kan de afstand iets anders uitvallen. Naar schatting zal de afwijking echter niet meer dan 20 meter bedragen. De hier vermelde afstand kan door de waterbeheerder worden gebruikt als leidraad wanneer gekozen moet worden tussen PV of elektriciteitskabel.

### *Betrouwbaarheid*

Indien goed ontworpen en gedimensioneerd functioneren PV-stuwen probleemloos. Voor een goed ontwerp is een energieberekening op basis van het dagelijks energieverbruik noodzakelijk, evenals de keuze voor energiezuinige apparatuur. De autonomieperiode moet voldoende ruim gekozen worden.

Installaties kunnen goed diefstal- en vandalismebestendig worden ontworpen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van anti-inklempennen.

De betrouwbaarheid kan worden vergroot door een onafhankelijke controle na oplevering. Immers, als er zich problemen voordoen, dan gebeurt dit meestal vlak na oplevering.

### *Gemak van onderhoud*

PV-systemen behoeven niet meer onderhoud dan conventionele systemen. Één elektrotechnische inspectiebeurt per jaar is voldoende, aangenomen dat onderhoudsvrije accu's worden toegepast.

## 5.5 Checklist bij implementatie van de PV-stuw

Hieronder volgt een korte checklist die kan worden gebruikt wanneer het waterschap automatisering met PV overweegt.

- Stel een programma van eisen vast.  
Aandachtspunten zijn o.a.:
  - bepaal bij welke afwijkingen van het streefpeil de stuw moet reageren; hoe groter de marges, des te kleiner kan het systeem gedimensioneerd worden.
  - stel vast of het kunstwerk op ieder moment bereikbaar moet zijn of dat bereikbaarheid op intervalbasis tot de mogelijkheden behoort. Als het systeem op intervalbasis bereikbaar mag zijn, dan is dit een belangrijke energiebesparingsoptie doordat het stand-by-verbruik sterk verlaagd kan worden.
  - frequentie van waterpeilmeting; minder metingen betekent een lager energieverbruik.
  - onderhoudsfrequentie; gebruik onderhoudsvrije accu's.
  - moet het project turn-key worden opgeleverd, of coördineert de eigen organisatie? In het laatste geval kunnen investeringskosten lager uitvallen.
- Subsidies  
Check de lijst achterin dit rapport.  
Overweeg of er meerdere projecten tegelijkertijd kunnen worden uitgevoerd; dit levert vaak meer mogelijkheden voor subsidie op.
- Dimensionering en energieverbruiksberekeningen.  
Vraag de installateur of leverancier om een rapportje met deze berekeningen. Eventueel kan een second opinion worden gevraagd.
- Energiediensten  
Vraag een onafhankelijke partij om de energievoorziening te verzorgen. Wellicht is dit punt van toepassing, indien er binnen de eigen organisatie te weinig technische expertise voor handen is. Vraag een onafhankelijke partij om de energievoorziening te verzorgen. Wellicht is dit punt van toepassing, indien er binnen de eigen organisatie te weinig technische expertise is
- Energiegarantie  
De installateur of leverancier van het energiesysteem kan worden gevraagd om een garantie dat het kunstwerk te allen tijde voldoende energie zal hebben.
- Oplevertest  
Laat door een onafhankelijke partij een oplevertest uitvoeren.



## 6. VOORBEELDEN VAN IN NEDERLAND TOEGEPASTE AUTONOME DE-SYSTEMEN IN HET WATERPEILBEHEER.

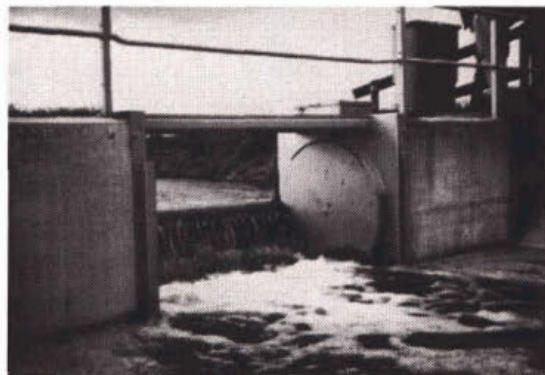
Samen met hoofdstuk 2 en 5 biedt dit hoofdstuk praktische informatie die kan helpen bij het bepalen of in concrete gevallen duurzame energie een oplossing kan bieden bij de plaatsing van automatische waterpeilregelende kunstwerken. Waar het gaat om systemen die vanuit een centrale bestuurd kunnen worden, is, waar mogelijk en van toepassing, een overzicht gegeven met een aantal kentallen omtrent energieverbruik en exploitatiekosten.

### 6.1 Stuwen op zonnestroom

Dit type stuw is in zijn algemeenheid uitgebreid beschreven in hoofdstuk 5. Hieronder volgen enkele korte voorbeelden.

#### *Ecostuw*

Onder het motto "energie die je niet verbruikt, hoef je ook niet op te wekken" werd de inmiddels gepatenteerde Ecostuw ontworpen. Essentie van deze stuw is de segmentvormige schuif met contragewicht die er voor zorgt dat nauwelijks zwaartekracht en weerstand overwonnen behoeven te worden om de klep te bewegen. Hierdoor kan de stuw al met een elektromotortje van 60 W worden aangedreven en voorts kost het verplaatsen van de klep extreem weinig energie. Door deze energiebesparende maatregelen kan ook het PV-systeem klein uitgevoerd worden.



figuur 6.1. Door de segmentvormige schuif met contragewicht hoeft nauwelijks zwaartekracht en weerstand overwonnen te worden voor een klepbeweging en vraagt de stuw weinig energie.

Enkele kentallen van een geplaatste ecostuw worden hieronder gegeven.

Tabel 11. Kentallen van volledig automatische Ecostuw De Bree bij Bodegraven

|                              |     |       |
|------------------------------|-----|-------|
| PV-vermogen                  | 128 | Wp    |
| Motorvermogen                | 200 | W*    |
| Accucapaciteit               | 230 | Ah    |
| Energieverbruik op jaarbasis | 24  | kWh   |
| Autonomieperiode             | 39  | dagen |
| Stuwbreedte                  | 3   | meter |

\*) In feite kan deze stuw gemakkelijk toe met een motortje van 60 W.

#### *Stuw met verticale schuif*

Door de constructie zal een stuw met verticale schuif meer vermogen vragen dan de ecostuw. Dit is echter niet allesbepalend voor het energieverbruik op jaarbasis: de toegepaste componenten en het verbruikspatroon spelen ook mee. Een vergelijking van Tabel 12, waarin de kentallen voor een automatische stuw in Goor staan vermeld, met de getallen voor een eco-stuw in Tabel 11 maken dit duidelijk.

Tabel 12. Kentallen van volledig automatische stuw bij Goor

|                              |     |       |
|------------------------------|-----|-------|
| PV-vermogen                  | 98  | Wp    |
| Motorvermogen                | 60  | W     |
| Accucapaciteit               | 220 | Ah    |
| Energieverbruik op jaarbasis | 19  | kWh   |
| Autonomieperiode             | 22  | dagen |
| Stuwbreedte                  | 1,5 | meter |

## 6.2 Stuwen op windenergie

Stuwen waarvoor de energiegeneratie alleen met windkracht wordt verzorgd zijn niet in de enquêtes gerapporteerd. Ook is er ons niet een dergelijk systeem in Nederland bekend. Wat wel voorkomt zijn PV-stuwen die een extra energiegenerator hebben in de vorm van een windmolentje. Dit systeem wordt in paragraaf 6.4 beschreven.

Het is overigens vreemd dat er geen kunstwerken zijn gerapporteerd met alleen wind als energievoorziening. Immers, wind heeft over de verschillende seizoenen een vrij constant energieaanbod, in tegenstelling tot PV met een dip in de winter. Er is zowel 's nachts als overdag aanbod en zelden duurt een windvrije periode in Nederland langer dan een week. Vanwege dit redelijk constante aanbod kan met een klein accuvermogen worden volstaan om windstille periodes op te vangen.

Voor een juiste dimensionering is wel een goede energie-opbrengstberekening nodig, waarbij de positie van obstakels zoals bomen en gebouwen goed bekend moet zijn. Een gespecialiseerd bureau kan een dergelijke berekening in één of twee uur uitvoeren.



Interviews met waterschappen en leveranciers maakten duidelijk dat aan de geplaatste hybride zon/wind-systemen waarschijnlijk geen nauwkeurige opbrengstberekening ten grondslag lag.

### **6.3 Stuwen op waterkracht**

Stromend water of vallend water wordt in Nederland niet toegepast om er elektriciteit voor kleine stuwen mee op te wekken. Wel zijn er systemen in gebruik waarbij de opwaartse kracht die het water uitoefent op een drijver gebruikt wordt om een stuw lokaal de waterstand te regelen: de hieronder beschreven AMI-stuw (Automatisch Mechanische Inlaatstuw) en AMT-stuw (Automatisch Mechanische Tuimelstuw). De regelende werking van beide stuwen is gebaseerd op de opwaartse kracht van water op een vlotter.

#### *Case: AMI-stuw bij Nieuwegein*

Het waterschap De Stichtse Rijnlanden heeft, als een van de eerste proefprojecten met PV, de AMI-stuw in de Galecoppolder bij Nieuwegein voorzien van twee niveaumeters en een vaste telefoonlijn. De niveaumeters zijn puur bedoeld om het gedrag van dit type stuw te monitoren: de stuw kan niet vanuit de centrale geregeld worden. Hoewel de elektriciteitskabel in de nabijheid ligt, is toch besloten om een PV-systeem voor de energievoorziening toe te passen om zodoende ervaring op te kunnen doen.

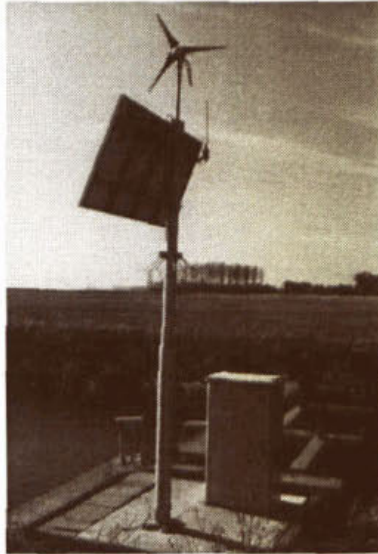
De stuw ligt vlakbij een doorgaande weg, enigszins achteraf. Een van de eerste problemen waarmee men te maken kreeg, was dat het PV-paneel werd stukgegooid. Om dit probleem op te lossen werd een beschermend rooster op het paneel geplaatst in de veronderstelling dat de energieopwekking evenredig met het verlies aan bestraald oppervlak zou afnemen. Echter, PV-panelen zijn bijzonder gevoelig voor dit type beschaduwing en de energieproductie nam veel sterker af dan aanvankelijk werd verwacht. Na het inwinnen van advies heeft men besloten om een inbraakvrije doorzichtige plaat te monteren. Een tweede probleem dat kon worden vastgesteld was het feit dat het systeem kon gaan pendelen. Een eenvoudige wijziging aan het mechaniek van de stuw loste dit probleem op.

### **6.4 Hybride stuwen**

In de enquête zijn vijf hybride stuwen in de combinatie zon/wind gerapporteerd. In principe kunnen hybride systemen voordelen bieden zoals is beschreven in paragraaf 2.3.4. De indruk bestaat echter, na telefonische interviews, dat de geplaatste hybriden een enigszins experimenteel karakter hebben. In één geval is besloten tot het bijplaatsen van een windmolen om zo in de praktijk te ondervinden wat de extra energie-opbrengst is. In een ander geval was geconstateerd dat het geplaatste PV-systeem onvoldoende was gedimensioneerd doordat er te weinig aandacht aan energiebesparende maatregelen was besteed. Om dit te ondervangen is vervolgens een windmolen bijgeplaatst om zodoende een stroomgarantie te bieden. In beide gevallen gaat

het om windrijke gebieden, zodat plaatsing van een windmolen voor de hand lag<sup>9</sup>.

Het gaat hier om molens met kleine vermogens, te weten 300 W, en een wiekdiameter van 60 cm. Deze molens kosten ongeveer f3500,-.



figuur 6.2. Een hybride stuw met PV-paneel en windmolen.

## 6.5 Balgstuwen

Balgstuwen op DE werden in de enquête niet gemeld. Het vlotterstelsel van een balgstuw waarmee de vulgraad van de balg bepaald wordt, vraagt zeer weinig energie. Die kan goed met zonnestroom of een andere van toepassing zijnde DE-bron van energie worden voorzien. Echter, een probleem ontstaat 's winters bij vorst. Onder deze condities wordt het water in de balg voortdurend gecirculeerd om bevroering te voorkomen. Deze randvoorwaarde heeft tot gevolg dat momenteel geen DE als energievoorziening voor balgstuwen wordt toegepast in Nederland.

## 6.6 Meetpunten met telemetrie

De telemetrische meetpunten met duurzame-energievoorziening, waarvan hieronder een kosten- en energieoverzicht volgt, hebben zowel een meet- als een alarmfunctie en zijn continu via de centrale bereikbaar. Zelfregistrerende meetstations die alleen de data loggen en achteraf handmatig worden uitgelezen, worden hier verder niet behandeld. Deze meetstations worden met een batterij van energie voorzien die gedurende zeven á acht jaar niet hoeft te worden vernieuwd.

---

<sup>9</sup> Volgens Ecofys worden de mogelijkheden van hybride systemen ten behoeve van het waterbeheer onvoldoende benut.



Een interessante ontwikkeling vormt het Waterstad 2000 project. In dit grootschalige innovatieve pilotproject in Delft is een meetsysteem voor integraal waterbeheer ontwikkeld. Het dataloggingsgedeelte werkt zeven á acht jaar op een batterij. Ieder meetpunt is voorzien van een klein radiozendertje dat een jaar lang op vier penlightbatterijen werkt. Een beperking is dat een steunzender zich binnen een straal van tien kilometer moet bevinden. Dit maakt toepassing in afgelegen gebieden momenteel minder aantrekkelijk. Om deze reden wordt deze ontwikkeling hier verder niet behandeld.

Opgemerkt dient te worden dat het GSM-netwerk in Nederland nog niet geheel dekkend is zodat men soms genoodzaakt is om zelfs in afgelegen gebieden een telefoonkabel aan te leggen indien telemetrie een absolute must is.

Een interessante mogelijkheid doet zich momenteel voor omdat het leggen van een telefoonkabel op last van OPTA voor slechts f85,- uitgevoerd moét worden, ongeacht de werkelijk gemaakte kosten. Dit biedt waterbeheerders een uitgelezen kans om nu reeds te anticiperen en telefoonkabels te laten aanleggen op punten waar men die in de naaste toekomst denkt nodig te hebben. Van de aanleg van een telefoonlijn kan men voorts profiteren door tegelijkertijd een elektriciteitskabel aan te leggen.

Een kostenvergelijking van een PV-systeem met een netgekoppeld systeem is weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13. Kostenvergelijking van automatisering van een telemetriestation met PV of met de elektriciteitskabel. Onderstaande kosten zijn gebaseerd op een praktijkvoorbeeld.

| INVESTERINGSKOSTEN (f)   | PV-telemetrie systeem |             | Elektriciteitskabel |             |
|--|-----------------------|-------------|---------------------|-------------|
|  | materiaalkosten       | arbeid      | materiaalkosten     | arbeid      |
| PV-systeem 50Wp  |                       | 500         |                     |             |
| PV-panelen   | 850                   |             |                     |             |
| accu (1.3 kWh, 110 Ah)   | 500                   |             |                     |             |
| laadregelaar   | 300                   |             |                     |             |
| Mast, inclusief fundering en draden trekken                              | 800                   | 500         |                     |             |
| <b>Subtotaal PV</b>  | <b>2450</b>           | <b>1000</b> |                     |             |
| Besturingselektronica  |                       | 1000        |                     | 1000        |
| hardware   | 2000                  |             | 2000                | 0           |
| software   | 1200                  |             | 1200                | 0           |
| programmeerwerk  |                       | 0           |                     | 0           |
| GSM plus modem   | 1500                  | 500         | 1500                | 500         |
| Niveaumeter  | 1360                  | 375         | 1360                | 375         |
| Besturingskast (vandalismebestendig)                                     | 800                   | 250         | 800                 | 250         |
| <b>Subtotaal elektronica en telemetrie</b>                               | <b>6860</b>           | <b>2125</b> | <b>6860</b>         | <b>2125</b> |
| Aanleg kabel (inclusief materiaal) voor een kabellengte van: <b>47 m</b> |                       |             |                     | 2355        |
| Vaste kosten aanleg elektriciteitskabel                                  |                       |             |                     | 1000        |
| <b>Subtotaal aanleg elektrische kabel</b>                                |                       |             |                     | <b>3355</b> |
| Oplevertest  |                       | 700         |                     | 500         |
| Ontwerp elektrisch systeem   |                       | 0           |                     | 0           |
| <b>Subtotaal kwaliteitskosten</b>  |                       | <b>700</b>  |                     | <b>500</b>  |
| <b>Totaal materialen en arbeid</b>                                       | <b>9310</b>           | <b>3825</b> | <b>6860</b>         | <b>5980</b> |
| <b>TOTAAL INVESTERING</b>  | <b>13135</b>          |             | <b>12840</b>        |             |
| <b>JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN</b>                                      |                       |             |                     |             |
| Systeem exclusief accu's   | 1102                  |             | 1119                |             |
| Elektriciteit vaste kosten   |                       |             | 100                 |             |
| Elektriciteit kWh prijs  |                       |             | 0                   |             |
| Accu's   | 119                   |             |                     |             |
| <b>TOTAAL JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN (f)</b>                           | <b>1220</b>           |             | <b>1220</b>         |             |

Afhankelijk van fabrikant en verleende service kunnen de kosten flink verschillen. Bijvoorbeeld: de hierboven genoemde niveaumeter is een eenvoudig type; er zijn ook niveaumeters verkrijgbaar die het dubbele kosten.

Het PV-systeem voor het meetpunt met telemetrie kan iets kleiner worden uitgevoerd dan voor een stuw omdat er geen motoraandrijving nodig is en er maar één niveaumeter hoeft te worden aangestuurd. In Tabel 14 staat een voorbeeld van het dagelijks energieverbruik van een telemetriestation. Dit voorbeeld is ontleend aan de praktijk en enkele onderdelen, met name de schakelklok, zijn verre van energiezuinig.



Tabel 14. Voorbeeld van het dagelijks energieverbruik van een standaard telemetriesysteem met PV, ontleend aan de praktijk. De schakelklok vraagt zeer veel meer energie dan zuinige, op de markt verkrijgbare types; de overige onderdelen zijn niet zeer zuinig te noemen.

|                      | standaard systeem,<br>energieverbruik per etmaal |             |             |
|----------------------|--|-------------|-------------|
|                      | aktief   | slapen      | totaal      |
|                      | Wh   | Wh          | Wh          |
| GSM modem            | 0.3  | 19.9        | 20.2        |
| Schakelklok          |  | 24.0        | 24.0        |
| Datalogger           | 6.3  | 2.3         | 8.7         |
| Zelfontlading accu's |  | 7.4         | 7.4         |
| PV                   |  |             | 0.0         |
| Laadregelaar         |  | 7.5         | 7.5         |
| Sensor waterhoogte   | 0.4  |             | 0.4         |
| <b>totaal</b>        | <b>7.1</b>                                       | <b>61.1</b> | <b>68.1</b> |

In het bovenstaande overzicht is uitgegaan van het volgende gebruikspatroon:

#### *Loggen*

Er wordt zes keer per uur gedurende 30 seconden gelogd. Hiervoor komen de datalogger en de waterhoogtesensor uit de slaapstand.

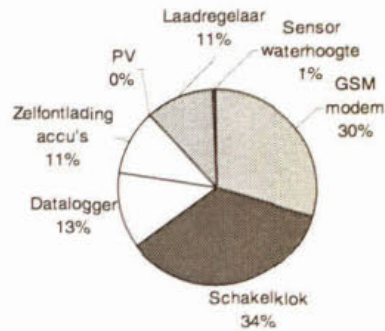
#### *Zenden*

Per dag worden de gegevens één maal naar de centrale verzonden. De zendsessie duurt vijf minuten. Behalve de GSM komt hiervoor ook de datalogger uit de slaapstand.

#### *Slapen*

De laadregelaar en de schakelklok vragen continu energie. Uit het overzicht zien we dat het slaapverbruik van de datalogger zeer laag is, evenals de zelfontlading van de accu.

De energieverdeling voor de verschillende componenten van dit systeem is gegeven in figuur 6.3.



figuur 6.3. Energieverdeling voor een standaard telemetriesysteem

Bovenstaand voorbeeld is ontleend aan de praktijk. Op basis van een opgave van een fabrikant van zeer energiezuinige apparatuur komen we tot het volgende overzicht:

Tabel 15. Dagelijks energieverbruik van een zeer zuinig telemetriestation met PV. De gehanteerde verbruiken zijn gebaseerd op opgave van een fabrikant.

|                      | zeer energiezuinig systeem,<br>energieverbruik per etmaal |             |             |
|----------------------|---|-------------|-------------|
|                      | aktief  | slapen      | totaal      |
|                      | Wh  | Wh          | Wh          |
| GSM modem            | 0.4   | 13.0        | 13.4        |
| Schakelklok          |   | 1.0         | 1.0         |
| Datalogger           | 0.5   | 0.0         | 0.5         |
| Zelfontlading accu's |   | 1.8         | 1.8         |
| PV                   |   |             | 0.0         |
| Laadregelaar         |   | 1.2         | 1.2         |
| Sensor waterhoogte   | 0.0   |             | 0.0         |
| <b>totaal</b>        | <b>0.9</b>  | <b>16.9</b> | <b>17.8</b> |

We zien dat het energieverbruik van de installatie sterk afhangt van de toegepaste apparatuur. Realisatie van zeer zuinige telemetriestations opent de weg naar integratie van PV in de behuizing van de elektronica. Indien men er in slaagt om de antenne van de GSM ook in de behuizing onder te brengen, kan worden bespaard op investerings- en plaatsingskosten voor de mast.

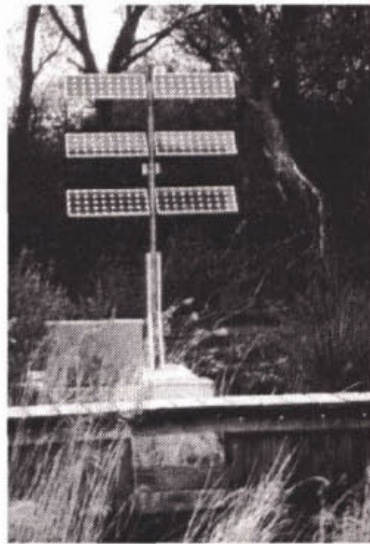
## 6.7 Pompen op zonnestroom

In de enquêtes zijn geen pompen op zonne-energie gerapporteerd. Toch kan pompen met PV zinvol zijn, bijvoorbeeld in natuurgebieden waarin geen kabels



mogen worden gelegd. In Nederland zijn o.a. PV-pompen ten behoeve van helofytenfilters geplaatst.

Doordat de dimensionering van het PV-systeem wordt bepaald door de te verpompen hoeveelheid water, bestaat er geen karakteristieke grootte voor dit soort PV-systemen zoals voor stuwtejes en telemetriestations wel het geval is. In het algemeen zijn PV-systemen voor pompen veel groter. In een Europees monitoringproject was het kleinste professionele PV-systeem, voor een helofytenfilter, altijd nog 480 Wp. Een groot systeem ten behoeve van irrigatie van een geluidswal had een PV-vermogen van 1100 Wp [Hemert, 1999], een irrigatiesysteem in natuurgebied De Steendert 2200 Wp.



figuur 6.4. Een PV-pompsysteem voor een helofytenfilter waarmee vervuild water biologisch wordt gezuiverd.

Karakteristiek voor pompen op PV is dat er vaak geen accu's worden toegepast voor de energievoorziening van de pompen. Wel is er een kleine accu van 30-80 Ah nodig als energievoorziening voor de besturingselektronica en de bediening van kleppen. In deze opzet wordt er alleen overdag gepompt en pas dan wanneer de instraling een minimale hoeveelheid overschrijdt.

In onderstaande tabellen wordt een kostenvergelijking gegeven voor een PV-systeem en koppeling aan het elektriciteitsnet. Dit overzicht is ontleend aan een irrigatiesysteem in Duitsland [Hemert, 1999]. De kosten voor elektriciteit zijn aangepast aan de Nederlandse situatie.

Tabel 16. Uitgangspunten voor een kostenvergelijking tussen PV en het trekken van een elektriciteitskabel. Ontleend aan een irrigatiesysteem in Duitsland [Hemert, 1999].

| Uitgangspunten                        | hoeveelheid | eenheid |
|---------------------------------------|-------------|---------|
| Kabelkosten (materiaal plus arbeid)   | 50          | f/m     |
| Rentevoet                             | 6           | %       |
| Levensduur accu en pomp               | 8           | jaar    |
| Levensduur installatie                | 20          | jaar    |
| Jaarlijkse vaste kosten elektriciteit | 100         | f       |
| kWh-prijs                             | 0.25        | f       |
| Jaarlijks energieverbruik             | 600         | kWh     |

Tabel 17. Kostenvergelijking tussen een irrigatiesysteem met PV of met de elektriciteitskabel. De kabellengte<sup>10</sup> is gehanteerd als parameter die bepaalt wanneer de jaarlijkse exploitatiekosten van beide mogelijkheden gelijk zijn.

| INVESTERINGSKOSTEN (f)                                       | PV-systeem      |        | Electriciteitskabel |        |
|--|-----------------|--------|---------------------|--------|
|  | materiaalkosten | arbeid | materiaalkosten     | arbeid |
| PV-systeem 1100 Wp   |                 | 15000  |                     |        |
| PV-panelen   | 15000           |        |                     |        |
| accu's   | 200             |        |                     |        |
| Subtotaal PV   | 15200           | 15000  |                     |        |
| Besturing en kleppen   | 4000            | 3000   | 4000                | 3000   |
| pomp   | 7500            | 1000   | 2200                | 1000   |
| Besturingskast   | 4000            | 250    | 4000                | 250    |
| Subtotaal elektronica en telemetrie                          | 15500           | 4250   | 10200               | 4250   |
| Aanleg kabel (inclusief materiaal) voor een kabellengte van: |                 |        |                     |        |
| <b>686 m</b>   |                 |        |                     | 34300  |
| Vaste kosten aanleg elektriciteitskabel                      |                 |        |                     | 1000   |
| Subtotaal aanleg elektrische kabel                           |                 |        |                     | 35300  |
| Eenvoudige oplevertest                                       |                 | 700    |                     | 500    |
| Ontwerp elektrisch systeem                                   |                 | 700    |                     | 700    |
| Subtotaal kwaliteitskosten                                   |                 | 1400   |                     | 1200   |
| Totaal materialen en arbeid                                  | 30700           | 20650  | 10200               | 40750  |
| <b>TOTAAL INVESTERING</b>                                    | <b>51350</b>    |        | <b>50950</b>        |        |
| <b>JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN</b>                          |                 |        |                     |        |
| Systeem exclusief accu en pomp                               | 3806            |        | 4442                |        |
| Elektriciteit vaste kosten                                   |                 |        | 100                 |        |
| Elektriciteit kWh prijs                                      |                 |        | 150                 |        |
| Accu en pomp   | 1240            |        | 354                 |        |
| <b>TOTAAL JAARLIJKSE EXPLOITATIEKOSTEN (f)</b>               | <b>5046</b>     |        | <b>5046</b>         |        |

De in Tabel 17 berekende afstand voor het omslagpunt kan niet worden geïnterpreteerd als een algemeen geldende indicatie voor pompsystemen. Immers, in tegenstelling tot stuwen en telemetriesystemen, is de grootte van pompsystemen sterk afhankelijk van de te verpompen hoeveelheid water en de opvoerhoogte. Dit betekent dat ook de investerings- en arbeidskosten van systeem tot systeem sterk zullen verschillen. In het hierboven gegeven

<sup>10</sup> De resulterende afstand voor het break-even point kan voor pompsystemen niet als algemeen geldende indicatie voor worden beschouwd omdat, in tegenstelling tot stuwen en telemetriesystemen, de grootte van de pompsystemen, en daarmee de investerings- en installatiekosten, sterk afhangen van de toepassing.



voorbeeld vroeg de plaatsing van het PV-systeem relatief veel geld en de gelijkstroom pomp die voor het PV-systeem geschikt was, is veel duurder dan een gewone pomp. Deze factoren zijn vanzelfsprekend sterk van invloed op het break-even point.

## 6.8 Pompen op wind

De pompen waarover in de enquête werd gerapporteerd waren standaard pompen bedoeld voor polderbemalingen en bemaling van natuurgebiedjes.

In de enquête zijn 19 waterpompende windmolens gemeld. Dit is slechts een fractie van het aantal dat in vroeger jaren de Nederlandse polders droog hield. Elders in de wereld worden waterpompende molens nog veelvuldig toegepast ten behoeve van drinkwater, veedrenking en kleinschalige irrigatie.

De technologie is goedkoop en heeft zich bewezen. Toch wordt ze in Nederland vrij weinig meer toegepast. De belangrijkste reden hiervoor is dat ze niet geschikt zijn voor polderbemaling, aangezien het aanbod van voldoende wind niet te garanderen valt wanneer de noodzaak bestaat, bijvoorbeeld na heftige regenval. Ze zijn met name toepasbaar wanneer een zekere mate van peilfluctuaties acceptabel is, zoals in het geval van een spaarbekken waarvan het niveau met flink mag variëren.

Door de geringe afzetmogelijkheden is het voor de enkele Nederlandse leveranciers nauwelijks mogelijk om deze molens rendabel te produceren. In Amerika, Australië en veel derde wereld landen zijn wel veel kwalitatief hoogwaardige molens op de markt.

Kleine waterpompende windmolens vergen regelmatig onderhoud. Verschillende leveranciers bieden daarom molentjes met een onderhoudscontract aan.

## 6.9 Lantaarnpalen

Als vaarwegbeheerder kan het voor veel waterschappen van belang zijn om te weten dat orientatieverlichting op afgelegen plaatsen goed mogelijk is met lantaarnpalen op PV, wind of een combinatie van beide. De lantaarnpalen zijn commercieel verkrijgbaar bij drie Nederlandse leveranciers, zie bijlage 5.

Uit een studie van Ecofys blijkt dat het omslagpunt voor lantaarnpalen ligt bij circa 100 meter.

## 6.10 Conclusie

Na vergelijking van automatiseringskosten met duurzame energievoorziening of met de elektriciteitskabel komen we tot de in Tabel 18 vermelde afstanden waarbij het goedkoper wordt om een duurzaam-energiesysteem toe te passen. Deze getallen zijn gebaseerd op praktijkvoorbeelden en kunnen dienen als richtlijn voor degenen die een indruk wil hebben wanneer duurzame energie serieus overwogen kan worden bij de automatisering van een kunstwerk.

Voor stuwen, telemetriesystemen en lantaarnpalen zal het omslagpunt voor een te plaatsen systeem niet meer dan tien á twintig meter afwijken van de hier gepresenteerde afstand, omdat dimensionering en uitvoering per systeem sterk op elkaar zullen lijken.

De afstand voor pompsystemen kan niet als algemeen geldende indicatie voor worden beschouwd omdat, in tegenstelling tot stuwen en telemetriesystemen, de grootte van de pompsystemen, en daarmee de investerings- en installatiekosten, sterk afhangen van de toepassing.

Tabel 18. Omslagpunt waarbij het goedkoper is om duurzame energie toe te passen dan om een elektriciteitskabel aan te laten leggen.

|                               | <b>Afstand tot elektriciteitsnet waarbij het goedkoper is om een autonoom duurzaam energiesysteem toe te passen</b> |
|-------------------------------|---|
| Stuwen, inlaten en afsluiters | 80 ( $\pm 20$ ) meter   |
| Telemetrisch meetpunt         | 50 ( $\pm 20$ ) meter   |
| Pompen                        | 690 meter*  |
| Lantaarnpalen                 | 100 ( $\pm 20$ ) meter  |

\*) sterk afhankelijk van de specifieke toepassing

Een interessante mogelijkheid doet zich momenteel voor omdat het leggen van een telefoonkabel op last van OPTA tegen geringe aansluitkosten uitgevoerd moet worden, ongeacht de werkelijk gemaakte kosten. Dit biedt waterbeheerders een uitgelezen kans om nu reeds te anticiperen en telefoonkabels te laten aanleggen op punten waar men die in de naaste toekomst denkt nodig te hebben. Een mogelijk combineren met de aanleg van een elektriciteitskabel dient men niet uit het oog te verliezen.



## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 7.1 Conclusies

#### *Veel mogelijkheden*

In de komende tien jaar is er een potentieel van ruim tweeduizend met duurzame energie te automatiseren kunstwerken, zoals blijkt uit onderstaande tabel, die is gebaseerd op een enquête-respons van 70% van de waterschappen. Interviews bij waterschappen maakten duidelijk dat de verkregen aantallen geïnterpreteerd dienen te worden als een lage ondergrens. Waarschijnlijk zullen er aanzienlijk meer systemen worden geplaatst.

|                               | <b>Bestaande kunstwerken</b> | <b>Potentieel aantal systemen met DE voor de komende tien jaar</b> |
|-------------------------------|------------------------------|--|
| Stuwen, inlaten en afsluiters | 9820                         | 1522   |
| Telemetrisch meetpunt         | 1243                         | 754  |
| Pompen                        | 2022                         | 10   |
| Lantaarnpalen                 | 440                          | 6  |
| TOTAAL                        | 13525                        | 2292   |

#### *Vooral zonne- en windsystemen*

Één op de drie waterschappen in Nederland heeft één of meerdere kunstwerken geautomatiseerd met duurzame energie. In de enquête zijn 96 kunstwerken op duurzame energie gerapporteerd, waarvan het overgrote deel (50 stuks) bestaat uit stuwen op zonnestroom<sup>11</sup>. Hybride systemen komen alleen voor bij stuwen in de combinatie zon/wind. De 19 gerapporteerde pompsystemen zijn alle gebaseerd op windenergie. Geen enkele balgstuw draait op duurzame energie. Waterkracht wordt niet toegepast als energievoorziening voor kleine kunstwerken.

#### *Positieve ervaringen*

Ervaringen van de waterbeheerders met duurzame-energiesystemen zijn vrijwel unaniem positief. Uit de enquête komt naar voren dat autonome duurzame-energiesystemen zeer betrouwbaar zijn en gemakkelijk in het onderhoud:

- Van de 23 organisaties die duurzame-energiesystemen toepassen zijn er 22 tevreden over het functioneren ervan. De organisatie die niet tevreden was, meldde dat er vooral vlak na oplevering problemen optraden, die later zijn verholpen.
- Alle organisaties die reeds ervaring hebben met autonome systemen geven aan opnieuw duurzame-energiesystemen toe te zullen passen.

---

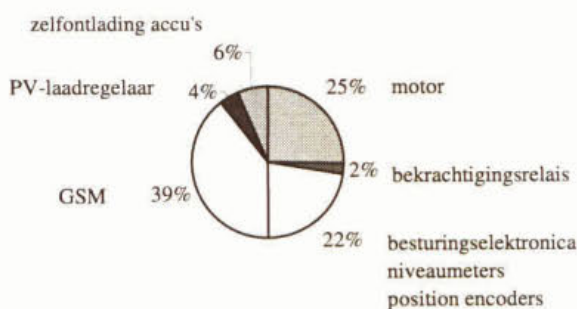
<sup>11</sup> Het gaat hier om fotonvoltaïsche zonne-energie (PV, van het Engelse photovoltaic), waarbij zonnecellen het zonlicht direct in elektriciteit omzetten

- Onderhoud levert geen enkel probleem op: 100 % van de beantwoorders van de enquête is tevreden.
- In tegenstelling tot wat men denkt, komen diefstal en vandalisme slechts sporadisch voor. In de enquête rapporteerde 1 van de 22 organisaties die de betreffende enquêtevraag beantwoordden, een geval van diefstal van een zonnepaneel bij een stuw: dit is 1 van de 50 systemen.

### **Verbeteringen mogelijk**

Analyse van het energieverbruik van een aantal kunstwerken maakt duidelijk dat er mogelijkheden zijn tot technische verbeteringen. Aan het ontwerp van een energiesysteem dient een nauwkeurige dimensioneringsberekening ten grondslag te liggen, waarbij de seizoensgebonden energievraag en het aanbod goed geïnventariseerd dienen te worden. Een aantal praktijkvoorbeelden laat zien dat er op dit terrein winst valt te behalen. Wellicht is het mogelijk om de systeemgrootte van een PV-systeem zodanig te reduceren dat plaatsing van een paneel op een mast niet meer nodig is en het PV-paneel direct in de elektronikabehuizing kan worden geïntegreerd. Naast kostenreductie kan dit systeemintegratie bij de fabrikant mogelijk maken, met wellicht kwaliteitsverbetering in het installatietraject.

Naast toepassing van energiezuinige elektronica is energieverbruik te beperken door eisen aan bereikbaarheid van de stuw via telemetrie te verzachten. De eis tot continue bereikbaarheid heeft een hoog standby-verbruik van de GSM tot gevolg, zoals het onderstaande voorbeeld van de energieverdeling van een PV-stuw laat zien.



Als er problemen optreden, dan komen die, zo blijkt uit enquête en interviews bij waterschappen, het meest vlak na oplevering van het systeem voor. Een eenvoudige oplevertest zou hier goede diensten kunnen bewijzen en kan de waterbeheerders de zekerheid geven dat een goed systeem is geïnstalleerd.

### **Omslagpunt onder de 100 meter voor stuwen en telemetrische meetpunten**

Exploitatieberekeningen voor een aantal typen kunstwerken geven aan bij welke afstand tot het elektriciteitsnet het goedkoper om een autonoom systeem toe te passen dan om een elektriciteitskabel aan te leggen. Door het lage energieverbruik van de kleine kunstwerken speelt de prijs van de elektriciteit uit het net geen enkele rol in deze berekeningen. Onderstaande tabel vat samen bij welke afstand het omslagpunt ligt.



|                               | Afstand tot elektriciteitsnet waarbij het goedkoper is om een autonoom duurzaam energiesysteem toe te passen |
|-------------------------------|--|
| Stuwen, inlaten en afsluiters | 80 ( $\pm 20$ ) meter  |
| Telemetrisch meetpunt         | 50 ( $\pm 20$ ) meter  |
| Pompen                        | 690 meter*   |
| Lantaarnpalen                 | 100 ( $\pm 20$ ) meter   |

\*) sterk afhankelijk van de specifieke toepassing

Op basis van deze berekeningen kan de waterbeheerder bepalen wanneer toepassing van duurzame-energiesystemen in de eigen organisatie kosteneffectief is

### ***Behoeftte aan kennis***

Het beleid van de beheerders zou er vooral op gericht moeten zijn om aan de behoefte aan kennis binnen de organisatie te voldoen. Immers, ongeveer de helft van de waterschappen heeft in de enquête aangegeven niet voldoende op de hoogte te zijn van de mogelijkheden die duurzame energie-systemen bieden. Er is duidelijk behoefte aan meer kennis over dit onderwerp.

## **7.2 Aanbevelingen**

Wat kunnen waterschappen doen:

- Verstrekken van informatie op een centrale plaats in de eigen organisatie, bijvoorbeeld via de energiecoördinator of via een web-site, zodat informatie goed toegankelijk is.
- Kritisch naar de vereiste klepbewegingen kijken zodat de energievoorziening van de kunstwerken zo klein mogelijk gedimensioneerd kan worden. Dit om investeringskosten te verminderen.
- Bedingen van energieggaranties bij leveranciers van duurzame energiesystemen of energiediensten inkopen.
- Achterhalen of het leggen van een telefoonkabel gecombineerd kan worden met de aanleg van een elektriciteitskabel. De leverancier van de vaste telefoonaansluiting wordt momenteel door OPTA verplicht tegen een gering en vast bedrag een vaste telefoonaansluiting te verzorgen, ongeacht de locatie. Dit biedt waterbeheerders een uitgelezen kans om voordelig een elektriciteitskabel aan te leggen.
- Nagaan, bijvoorbeeld via een overkoepelende waterbeheerorganisatie, of er meerdere systemen tegelijkertijd kunnen aangeschaft in verband met het benutten van subsidiemogelijkheden.

Wat kunnen installateurs doen:

- Toepassen van onderhoudsvrije componenten, bijvoorbeeld gel-accu's.
- Toepassen van energiezuinige componenten toepassen
- Zorgen voor een goede dimensionering

Overige mogelijkheden die aandacht verdienen om door een overkoepelende organisatie te worden opgepakt:

- Systematisch informatie vergaren over kunstwerken op duurzame energie. De resultaten van een monitoringprogramma waarbij de prestaties van vele installaties worden gevolgd, zouden via een web-site openbaar kunnen worden gemaakt.
- Ervoor zorgen dat goede informatie regelmatig in de vakbladen wordt gepubliceerd. Cases van gerealiseerde installaties kunnen de bekendheid van duurzame energie vergroten.
- Zorgen dat er een kwaliteitshandboek voor installateurs en leveranciers beschikbaar komt. In het handboek kan, specifiek toegesneden op kunstwerken in het waterbeheer, informatie worden opgenomen over dimensionering van de energieinstallatie en te stellen eisen aan de toe te passen producten.
- Organiseren van een helpdesk met de volgende functies:
  - Second opinion bieden na oplevering van een systeem met duurzame energie. De kennis die bij de helpdesk aanwezig is, staat garant voor een afgewogen oordeel.
  - Dimensioneringsberekeningen verzorgen. Van de resulterende kennisopbouw bij één centrale helpdesk kunnen alle waterbeheerders profiteren.
  - Trouble shooten. Wanneer dit georganiseerd wordt door één helpdesk dan kunnen eventuele structurele fouten gemakkelijker worden opgespoord.
  - Projecten begeleiden. Waterbeheerders die niet zelf de expertise (willen) hebben, kunnen gebruik maken van een kenniscentrum waar specifieke ervaring aanwezig is.
- Een campagne starten om tweeduizend duurzame energiesystemen te plaatsen bij waterbeheerders. Het aantal te plaatsen systemen rechtvaardigt een overkoepelende aanpak. Het marktperspectief kan wellicht aanleiding zijn voor leveranciers om over te gaan tot integratie van het energievoorzieningssysteem, waardoor de installaties nog betrouwbaarder zullen worden.



## LITERATUUR

Derrick, A., Francis C. and Bokalders V., *Solar Photovoltaic Products, A guide for development workers*, Intermediate Technology Publications and IT power, 1991.

Dijk, V.A.P. van, Alsema E.A., *SOMES, a Simulation and Optimisation Model for Renewable Energy Systems*, Universiteit Utrecht, 1992.

Hemert, B. van, et al., *Autonomous PV-generators in agriculture and water management in The Netherlands, Germany, Spain, France and Finland*. November 1999, ECOFYS-rapport E2571.

Kortman, J.G.M., Kampen, M.G.H. van, *Ketenanalyse PV-gevoede- en netgevoede lichtmast voor verlichting van openbare ruimten*, IVAM Environmental Research, Universiteit van Amsterdam, 1998.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en visserij, *Vierde Nota Waterhuishouding (NW4)*, regeringsbeslissing, februari 1999

Neddermann (redaktion), *Windenergie 1999*, Bundesverband WindEnergie e.V., ISBN 3-9806657-0-4.

Steinhüser, A., Kügele, R., Roth, W., Schulz, W. *Netzunabhängige Stromversorgung für Repeater in Mobilfunknetzen*. Zwölftes Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, 1997, pag. 194.

STOWA, *Dynamische sturing van watersystemen, Ontwerp en Beheer van regionale watersystemen*, 1997, ISBN 90.5773.006.5.

## BIJLAGE 1. ENQUÊTERESULTATEN DEEL I

### 2. Bestaande kunstwerken

Vraag 2.1. Hoeveel van de onderstaande kunstwerken beheert uw organisatie? Het gaat hier alleen om kunstwerken die u zelf beheert, niet om kunstwerken die door anderen worden beheerd. Vul in de eerste kolom het totale aantal in. Geef vervolgens aan in de overige kolommen hoe dit aantal is verdeeld over de verschillende categorieën energievoorziening.

Aantal ingevuld: 47

|  | Aantal kunstwerken in eigen beheer | Energievoorziening | Zonne-energie | Windenergie | Overig |
|--|------------------------------------|--------------------|---------------|-------------|--------|
|  |                                    | Netaansluiting     |               |             |        |
| Handbediende stuwen                        | 6364                               | n.v.t.             | n.v.t.        | n.v.t.      | n.v.t. |
| Geautomatiseerde klepstuwen                | 687                                | 639                | 42            | 3           | 3      |
| Handbediende inlaten en afsluiters         | 2274                               | n.v.t.             | n.v.t.        | n.v.t.      | n.v.t. |
| Geautomatiseerde inlaten en afsluiters     | 249                                | 242                | 2             | 0           | 5      |
| Balgstuwen                                 | 246                                | 236                | 0             | 0           | 10     |
| Telemetrische meetpunten                   | 1243                               | 1084               | 15            | 0           | 24     |
| Pompsystemen < 3000 m <sup>3</sup> per dag | 395                                | 390                | 0             | 5           | 0      |
| Pompsystemen > 3000 m <sup>3</sup> per dag | 1627                               | 1613               | 0             | 4           | 7      |
| Lantaarnpalen                              | 440                                | 440                | 0             | 0           | 0      |
| Overige                                    | 50                                 | 42                 | 0             | 3           | 5      |

Opmerkingen:

- Vaak had men wel de totale aantallen kunstwerken aangegeven, maar niet de energievoorziening gespecificeerd. In die gevallen waarin geen deel II was ingevuld, is aangenomen dat het hier om kunstwerken met netaansluiting ging.
- Onder overige energievoorziening werd diesel vermeld als energievoorziening. Bij telemetriesystemen gaat het om batterijen.

### 3. Marktpotentieel DE-systemen in het waterbeheer

Vraag 3.1. Vul hieronder het (geschatte) aantal bestaande kunstwerken in dat uw organisatie de komende tien jaar zal vernieuwen of automatiseren. Vul het aantal in voor de meest waarschijnlijke afstandscategorie indien de afstand niet precies bekend is.

Aantal ingevuld: 37



|  | Afstand tot het elektriciteitsnet |             |         |
|--|-----------------------------------|-------------|---------|
|  | 0 - 100 m                         | 100 - 500 m | > 500 m |
| Handbediende stuwen                      | 365                               | 268         | 281     |
| Geautomatiseerde klepstuwen              | 41                                | 49          | 8       |
| Handbediende inlaten en afsluiters       | 294                               | 122         | 112     |
| Geautomatiseerde inlaten en afsluiters   | 12                                | 12          | 0       |
| Balgstuwen                               | 3                                 | 10          | 0       |
| Meetpunten met telemetrie                | 186                               | 119         | 32      |
| Pompsystemen < 3000 m <sup>3</sup> / dag | 89                                | 7           | 2       |
| Pompsystemen > 3000 m <sup>3</sup> / dag | 167                               | 45          | 12      |
| Lantaarnpalen                            | 15                                | 6           | 0       |
| Overige, nl:                             | 0                                 | 0           | 0       |

Opmerking:

- In het algemeen weet een terreinbeheerder of natuurbeheerder niet precies waar het elektriciteitsnet ligt. Deze informatie wordt opgevraagd bij het elektriciteitsbedrijf.

*Vraag 3.2. Vul hieronder het (geschatte) aantal kunstwerken dat uw organisatie in de komende tien jaar op nieuwe locaties zal realiseren. Vul het aantal in voor de meest waarschijnlijke afstandscategorie indien de afstand niet precies bekend is.*

*Aantal ingevuld: 35*

|  | Afstand tot het elektriciteitsnet |             |         |
|--|-----------------------------------|-------------|---------|
|  | 0 - 100 m                         | 100 - 500 m | > 500 m |
| Handbediende stuwen                      | 154                               | 275         | 130     |
| Geautomatiseerde klepstuwen              | 91                                | 82          | 36      |
| Handbediende inlaten en afsluiters       | 288                               | 38          | 30      |
| Geautomatiseerde inlaten en afsluiters   | 26                                | 40          | 29      |
| Balgstuwen                               | 5                                 | 0           | 0       |
| Meetpunten met telemetrie                | 210                               | 155         | 52      |
| Pompsystemen < 3000 m <sup>3</sup> / dag | 26                                | 19          | 8       |
| Pompsystemen > 3000 m <sup>3</sup> / dag | 32                                | 32          | 12      |
| Lantaarnpalen                            | 5                                 | 0           | 0       |
| Overige, nl:                             | 0                                 | 1           | 2       |

#### 4. Bestaande kennis van DE-systemen in het waterbeheer

*Vraag 4.1. Vul in bij welke afstand tot het elektriciteitsnet DE-systemen volgens u economisch haalbaar zijn. Als een systeem u niet bekend is, dan hoeft u niets in te vullen.*

Aantal ingevuld: 37

|   | Afstand tot het elektriciteitsnet |           |           |            |         |
|---|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|---------|
|   | 0-100 m                           | 100-250 m | 250-500 m | 500-1000 m | >1000 m |
| Geautomatiseerde stuw                   | 2                                 | 8         | 14        | 9          | 2       |
| Geautomatiseerde inlaat of afsluiter    | 3                                 | 9         | 13        | 7          | 1       |
| Balgstuw                                | 4                                 | 3         | 6         | 2          | 0       |
| Meetpunt met telemetrie                 | 4                                 | 9         | 11        | 2          | 1       |
| Pompsysteem < 3000 m <sup>3</sup> / dag | 4                                 | 3         | 7         | 3          | 6       |
| Pompsysteem > 3000 m <sup>3</sup> / dag | 5                                 | 0         | 3         | 2          | 11      |
| Lantaarnpaal                            | 7                                 | 1         | 0         | 1          | 1       |

Vraag 4.2. Omcirkel op onderstaande schaal hoeveel waterwerken er momenteel, volgens u, bij waterschappen en terreinbeheerders in heel Nederland werken op DE.

Aantal ingevuld: 41

|  | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|--|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Stuwen op zonnestroom                    | 1 | 5  | 8  | 5  | 9  | 4  | 0  | 1  | 2  | 4  | 2   |
| Stuwen op windenergie                    | 9 | 15 | 9  | 2  | 0  | 4  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| Stuwen op waterkracht                    | 6 | 9  | 11 | 7  | 5  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| Kleine pompsystemen op zonnestroom       | 3 | 16 | 5  | 2  | 4  | 3  | 3  | 0  | 2  | 0  | 3   |
| Meetpunten met telemetrie op zonnestroom | 1 | 3  | 2  | 8  | 5  | 4  | 4  | 1  | 2  | 0  | 10  |

Vraag 4.3. Omcirkel in onderstaande schaal welk deel van de stuw-tjes op zonne-energie in Nederland de afgelopen vijf jaar, volgens u, te kampen heeft gehad met:

Aantal ingevuld: 41

|                             | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% | 40% |
|-----------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Vandalisme:                 | 0  | 10 | 22  | 3   | 4   | 4   | 3   | 1   | 3   |
| Diefstal:                   | 2  | 27 | 6   | 1   | 7   | 5   | 1   | 0   | 2   |
| Langdurig niet functioneren | 1  | 17 | 16  | 2   | 8   | 3   | 0   | 2   | 0   |



Vraag 4.4. De kennis over de toepassingsmogelijkheden van DE in uw organisatie is, volgens u (omcirkel):

Aantal ingevuld: 46

| ruim voldoende | voldoende | onvoldoende | zwaar onvoldoende |
|----------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1              | 22        | 20          | 3                 |

Opmerking:

## 5. Randvoorwaarden DE-systemen in het waterbeheer

Vraag 5.1. Omcirkel hoeveel behoefte u heeft aan technische ondersteuning in de planningsfase:

Aantal ingevuld: 45

| grote behoefte | enige behoefte | weinig behoefte | geen behoefte |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 7              | 29             | 5               | 4             |

Vraag 5.2. Omcirkel hoeveel behoefte u heeft aan technische ondersteuning in de implementatiefase:

Aantal ingevuld: 46

| grote behoefte | enige behoefte | weinig behoefte | geen behoefte |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 7              | 24             | 10              | 5             |

Vraag 5.3. Bij een aantal DE-projecten is het voorgekomen dat een energiebedrijf (o.a. NUON, REMU) aan het waterschap een verklaring afgaf dat het energiebedrijf garant stond voor de energielevering aan het systeem. Aan een dergelijke energieggarantie bestaat bij uw organisatie(omcirkel):

Aantal ingevuld: 45

| grote behoefte | enige behoefte | weinig behoefte | geen behoefte |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| 11             | 21             | 7               | 6             |

Vraag 5.4. De snelheid van realisatie van nieuwe projecten is (omcirkel):

Aantal ingevuld: 42

| zeer belangrijk | enigszins belangrijk | weinig belangrijk | / onbelangrijk |
|-----------------|----------------------|-------------------|----------------|
| 6               | 27                   | 8                 | 1              |

Vraag 5.5 Het regelen van vergunningen van landeigenaren voor het trekken van kabels kost doorgaans (omcirkel op onderstaande tijdas):

Aantal ingevuld: 38

| 0 mnd | 1 mnd | 2 mnd | 3 mnd | 4 mnd | 5 mnd | meer dan 5 mnd |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 1     | 2     | 16    | 11    | 1     | 5     | 2              |

Vraag 5.6. Kosten ten gevolge van vertragingen bij het verkrijgen van vergunningen van landeigenaren voor het trekken van elektriciteitskabels zijn (omcirkel):

Aantal ingevuld: 35

| zeer hoog | hoog | laag | zeer gering |
|-----------|------|------|-------------|
| 1         | 7    | 24   | 3           |

vraag 5.7. Na opdrachtverlening legt het energiebedrijf een kabel gemiddeld in (omcirkel op onderstaande tijdas):

Aantal ingevuld: 36

| 0 mnd | 1 mnd | 2 mnd | 3 mnd | 4 mnd | 5 mnd | Meer dan 5 mnd |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 0     | 7     | 16    | 9     | 2     | 1     | 1              |

## 6. Randvoorwaarden bij uitbreiding van DE in het waterbeheer

Vraag 6.1 De onderhoudsfrequentie van het DE-systeem mag zijn (omcirkel):

Aantal ingevuld: 43

| 6 x per jaar | 4 x per jaar | 2 x per jaar | 1 x per jaar | ½ x per jaar |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0            | 6            | 21           | 14           | 2            |

Vraag 6.2. Dat uw waterschap een groen, milieuvriendelijk imago behoort te hebben, is volgens u (omcirkel):

Aantal ingevuld: 44

| zeer belangrijk | belangrijk | weinig belangrijk | / onbelangrijk |
|-----------------|------------|-------------------|----------------|
| 9               | 29         | 6                 | 0              |

Vraag 6.3. Omcirkel op een schaal van 0 tot 5 hoe belangrijk de volgende criteria zijn voor uw organisatie bij de beoordeling van oplossingen voor een waterbeheerprobleem:



Aantal ingevuld: 46

|                            | Volkomen onbelangrijk-----Zeer belangrijk |   |   |    |    |    |
|----------------------------|---|---|---|----|----|----|
| Betrouwbaarheid            | 0   | 0 | 0 | 0  | 9  | 37 |
| Investeringskosten         | 0   | 0 | 1 | 13 | 21 | 11 |
| Kosten van onderhoud       | 0   | 0 | 0 | 7  | 24 | 15 |
| Gemak van onderhoud        | 0   | 0 | 2 | 11 | 18 | 14 |
| Milieubelasting            | 0   | 0 | 3 | 11 | 18 | 12 |
| Snelheid van implementatie | 0   | 1 | 8 | 19 | 16 | 2  |
| Vertrouwde technologie     | 0   | 3 | 4 | 12 | 19 | 9  |
| Vertrouwde leverancier     | 0   | 3 | 0 | 13 | 19 | 11 |
| Overig, nl: _____          | 0   | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |

Vraag 6.4. Indien uw organisatie geen DE-systemen in gebruik heeft, geef dan op een schaal van 0 tot 5 aan in welke mate onderstaande redenen hierbij, volgens u, een rol spelen. Sla deze vraag over indien uw organisatie wel DE in gebruik heeft.

Aantal ingevuld: 29

|   | Volkomen onbelangrijk-----Zeer belangrijk |   |   |   |    |   |
|---|---|---|---|---|----|---|
| De noodzaak heeft zich nog niet voorgedaan                                  | 1   | 2 | 2 | 4 | 10 | 9 |
| Uw waterschap twijfelt aan de betrouwbaarheid van een DE-energievoorziening | 1   | 5 | 4 | 8 | 6  | 3 |
| Uw waterschap is bang voor vandalisme                                       | 1   | 6 | 3 | 6 | 7  | 5 |
| Uw waterschap is bang voor diefstal   | 1   | 6 | 6 | 5 | 5  | 3 |
| Uw waterschap is bang voor langdurig niet-functioneren                      | 2   | 3 | 2 | 7 | 7  | 2 |
| Uw waterschap zou wel willen, maar heeft niet voldoende informatie          | 2   | 3 | 5 | 9 | 3  | 3 |
| Uw waterschap vindt een DE-energievoorziening te duur                       | 1   | 3 | 6 | 4 | 8  | 0 |
| Overig, nl: _____   | 0   | 0 | 0 | 0 | 0  | 2 |

Opmerking:

- Velen vinden dat de noodzaak zich nog niet heeft voorgedaan
- Er is behoefte aan meer informatie

## 7. Beleid

Vraag 7.1 Geef op een schaal van 0 tot 5 aan hoe belangrijk u de volgende overheidsmaatregelen acht om de introductie van duurzame energie in het waterbeheer te bevorderen

Aantal ingevuld: 42

|                             | Volkomen onbelangrijk-----Zeer belangrijk |   |   |    |    |   |
|-----------------------------|---|---|---|----|----|---|
| Kennisoverdracht bevorderen | 0   | 0 | 3 | 11 | 19 | 9 |

|                                      |   |   |   |    |    |    |
|--------------------------------------|---|---|---|----|----|----|
| Subsidie verlenen voor installaties  | 2 | 0 | 2 | 6  | 15 | 17 |
| Technologie-ontwikkeling subsidiëren | 0 | 1 | 2 | 9  | 16 | 14 |
| Regelgeving aanscherpen              | 1 | 4 | 7 | 14 | 10 | 4  |
| Overig, nl: _____                    | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 1  |
| Overig, nl: _____                    | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  |

*Vraag 7.2. Welke nieuwe diensten zullen in uw waterschap de komende jaren een belangrijke rol spelen in het waterbeheer (Denk aan diensten in het kader van dynamisch waterbeheer, integraal waterbeheer, waterzuivering, ...) ? Gaarne zo kort mogelijk, bijvoorbeeld alleen met trefwoorden, omschrijven.*

In onderstaande tabel staan de genoemde diensten met het aantal keren dat deze dienst is genoemd.

|  |    |
|--|----|
| Integraal waterbeheer                  | 14 |
| Centrale automatisering met telemetrie | 9  |
| Stedelijk water                        | 6  |
| Grondwatergestuurd peilbeheer          | 5  |
| Waterberging                           | 3  |
| Levering B-water                       | 2  |
| RO (waterkansenkaart)                  | 2  |
| Stroomgebied gerichte aanpak           | 2  |
| Verdrogingsbestrijding                 | 1  |
| Grondwaterbeheer                       | 1  |



## BIJLAGE 2. ENQUÊTERESULTATEN DEEL II

In totaal vulden 24 organisaties deel II van de enquête in. Gevraagd was om bij meer dan één type systeem zelf een kopie van het formulier te maken en hierop de gegevens in te vullen. Twee organisaties maakten van deze gelegenheid gebruik.

De vragen 2.1.2 t/m 2.1.5. zijn slechts zeer fragmentarisch ingevuld. Daarom zijn de antwoorden op deze vragen hier niet weergegeven. Detaillering zal wellicht in het vervolgonderzoek kunnen plaatsvinden.

### 2. Inventarisatie van kunstwerken met DE

2.1.1. *Kruis aan voor welk type kunstwerk u dit formulier invult (ook combinaties zijn mogelijk). Indien u meerdere typen kunstwerken met DE beheert, dan wordt u verzocht dit formulier d.m.v. fotokopiëren te vermenigvuldigen en voor ieder type apart een formulier in te vullen.*

*Aantal ingevuld: 25*

|                                      | Aantal organisaties | Aantal systemen |      |       |          |        |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|------|-------|----------|--------|
|                                      |                     | zon             | wind | water | zon/wind | totaal |
| Geautomatiseerde stuw                | 16                  | 50              | 0    | 11    | 5        | 66     |
| Geautomatiseerde inlaat of afsluiter | 0                   | 0               | 0    | 0     | 0        | 0      |
| Balgstuw                             | 0                   | 0               | 0    | 0     | 0        | 0      |
| Niveaumeetpunt met telemetrie        | 6                   | 11              | 0    | 0     | 0        | 11     |
| Pompsysteem                          | 4                   | 0               | 19   | 0     | 0        | 19     |
| Lantaarnpaal                         | 0                   | 0               | 0    | 0     | 0        | 0      |
| Overig, nl: _____                    | 0                   | 0               | 0    | 0     | 0        | 0      |

2.2.6 *Omcirkel ten behoeve van welke functie het DE-systeem de energievoorziening vervult (meerdere keuzes zijn mogelijk):*

*Aantal ingevuld: 24*

|                 |    |
|-----------------|----|
| pomp            | 3  |
| communicatie    | 16 |
| waterpeilmeting | 20 |
| klepaandrijving | 17 |
| overig          | 1  |

## 2.3 Eigendom van het DE-systeem:

2.3.1 Is het DE-systeem eigendom van uw organisatie?

Aantal ingevuld: 22

|    |     |
|----|-----|
| ja | nee |
| 22 | 0   |

2.3.2 Heeft u een energieggarantie bedongen?

Aantal ingevuld: 18

|    |     |
|----|-----|
| ja | nee |
| 3  | 15  |

## 2.4 Onderhoud van het DE-systeem:

2.4.1 Omcirkel hoe het onderhoud is geregeld:

Aantal ingevuld: 22

|                          |    |
|--------------------------|----|
| eigen beheer             | 19 |
| contract met leverancier | 1  |
| contract met derde       | 2  |
| overig                   | 0  |

2.4.2. Verloopt het onderhoud naar wens?

Aantal ingevuld: 19

|    |     |
|----|-----|
| ja | nee |
| 19 | 0   |

2.4.3. De onderhoudskosten bedragen: f \_\_\_\_\_ per jaar

Aantal ingevuld: -

2.4.4. De onderhoudsfrequentie is: 2,2 keer per jaar

Aantal ingevuld: 18



2.4.5. Het onderhoud duurt gemiddeld: 2,1 uur

Aantal ingevuld: 17

## 2.5 Kosten van het DE-systeem

2.5.1. Wat zijn de totale kosten van het kunstwerk (aanschaf plus aanleg): f -,-

Aantal ingevuld: 16

2.5.2 Is er bij de aanschaf van het systeem gebruik gemaakt van subsidie?

Aantal ingevuld: 16

| ja | nee |
|----|-----|
| 3  | 13  |

Waarom niet? Omcirkel een of meer van de volgende redenen:

|                       |    |
|-----------------------|----|
| adm rompslomp         | 0  |
| bedrag niet de moeite | 3  |
| traag                 | 1  |
| wist niet             | 10 |
| overig                | 1  |

## 3. Praktijkervaringen

Deze sectie is bedoeld om te achterhalen of er speciale maatregelen nodig zijn voor DE-systemen in het waterpeilbeheer.

3.1 Heeft u te maken gehad met technische mankementen van het DE-systeem die binnen een dag te verhelpen waren?

Aantal ingevuld: 22

| ja | nee |
|----|-----|
| 5  | 17  |

3.2 Heeft u te maken gehad met langdurig (langer dan een dag) niet-functioneren van het DE-systeem?

Aantal ingevuld: 20

| ja | nee |
|----|-----|
| 5  | 15  |

3.3 Is er wel eens sprake geweest van onvoldoende wind/zon/water, zodat het DE-systeem niet meer functioneerde?

Aantal ingevuld: 22

|    |     |
|----|-----|
| ja | Nee |
| 4  | 18  |

3.4 Heeft u te maken gehad met diefstal?

Aantal ingevuld: 22

|    |     |
|----|-----|
| ja | Nee |
| 1  | 21  |

3.5 Heeft u te maken gehad met vandalisme?

Aantal ingevuld: 23

|    |     |
|----|-----|
| ja | Nee |
| 3  | 20  |

3.6 Bent u verzekerd tegen diefstal?

Aantal ingevuld: 22

|    |     |
|----|-----|
| ja | nee |
| 9  | 13  |

3.7 Bent u verzekerd tegen vandalisme?

Aantal ingevuld: 21

|    |     |
|----|-----|
| ja | nee |
| 10 | 11  |

## 4. Uw mening over DE

### Tevredenheid

4.1 Omcirkel de mate van tevredenheid over het functioneren van het DE-systeem:



*Aantal ingevuld: 23*

| Boven verwachting | Naar verwachting | Beneden verwachting |
|-------------------|------------------|---------------------|
| 2                 | 20               | 1                   |

## 4.2 Informatievoorziening over DE

*4.2.1 Het idee voor het toepassen van DE kwam van:*

*Aantal ingevuld: 21*

|                      |    |
|----------------------|----|
| eigen organisatie    | 12 |
| andere waterbeheeder | 3  |
| leverancier          | 6  |
| tijdschriftartikel   | 0  |
| symposium            | 0  |
| adviesbureau         | 4  |
| overig               | 0  |

*4.2.2. Bent u tevreden over de informatievoorziening over DE in het waterbeheer?*

*Aantal ingevuld: 20*

|    |     |
|----|-----|
| ja | nee |
| 11 | 9   |

## 4.3 Realisatie van DE-systemen

*4.3.1. Omcirkel welke van de volgende elementen, volgens u, een belangrijk probleem vormde bij realisatie van dit kunstwerk met DE (meerdere keuzes mogelijk):*

*Aantal ingevuld: 19*

|                 |    |
|-----------------|----|
| technisch       | 10 |
| organisatorisch | 1  |
| vergunning      | 2  |
| geen            | 7  |

4.3.2 *Omcirkel of de realisatie van dit systeem sneller of trager verliep dan bij een 'conventioneel' systeem:*

*Aantal ingevuld: 19*

| sneller | geen verschil | trager |
|---------|---------------|--------|
| 4       | 13            | 2      |

4.3.3. *Omcirkel of de realisatie van een vergelijkbaar systeem in de toekomst, volgens u, sneller of trager zal verlopen dan bij een 'conventioneel' systeem:*

*Aantal ingevuld: 18*

| sneller | Geen verschil | trager |
|---------|---------------|--------|
| 5       | 12            | 1      |

4.3.4. *Omcirkel op een schaal van 0 tot 5 hoe belangrijk de volgende overwegingen waren voor uw waterschap om dit DE-systeem toe te passen:*

*Aantal ingevuld: 20*

|  | Volkomen onbelangrijk-----Zeer belangrijk |   |   |   |   |    |
|--|---|---|---|---|---|----|
|  | 0   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  |
| Kostenbesparing                                    | 0   | 0 | 0 | 1 | 7 | 12 |
| Vermijden van lange procedures voor vergunningen   | 4   | 1 | 8 | 2 | 3 | 0  |
| Verbeteren van het groene imago van het waterschap | 3   | 1 | 5 | 4 | 5 | 0  |
| Overig,<br>nl: _____                               | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  |
| Overig,<br>nl: _____                               | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |
| Overig,<br>nl: _____                               | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  |

4.3.5 *Gaat u opnieuw DE toepassen?*

*Aantal ingevuld: 16*

| ja | nee |
|----|-----|
| 16 | 0   |



### BIJLAGE 3. OVERZICHT ACTIVITEITEN

In onderstaande tabel worden de verschillende activiteiten bij het uitvoeren van de enquête opgesomd.

#### B3.1. Activiteitenoverzicht

| Datum     | Omschrijving  |
|-----------|---|
| 26 april  | Proefenquête verstuurd naar de zeven leden van de BC en voorts naar vier terreinbeheerders.                               |
| Eind mei  | Telefonisch benaderen van organisaties om de persoon te identificeren die de enquête kan invullen                         |
| 31 mei    | 10 van de elf proefenquêtes terug   |
| 7 juni    | Definitieve enquête verstuurd naar 73 organisaties.   |
| 25 juni   | 20 organisaties hebben gereageerd. Vervolgens zijn de resterende organisaties benaderd om de enquête alsnog in te vullen. |
| Eind juni | Terugbelronde naar organisaties die nog niet hebben gereageerd  |
| 26 juli   | 41 van de 73 aangeschreven organisaties hebben gereageerd   |
| 27 juli   | Herinneringsbrief aan 22 resterende waterschappen gestuurd  |

Na 25 juni bleek, na telefonisch contact met een aantal organisaties die de enquête nog niet hadden ingevuld, dat er weerstand bestond tegen het invullen van de enquête. Hiervoor werden de volgende redenen aangevoerd:

- Binnen de waterschappen vinden veel reorganisaties plaats. Mensen geven het invullen van de enquête hierdoor een lage prioriteit. Voorts maakte een aantal melding van enquêtemoeheid: de terreinbeheerders en natuurbeheerders worden vaak bestookt met enquêtes.
- Veel waterschappen zijn aan het automatiseren. Vaak is de kwantitatieve informatie over aantallen kunstwerken niet bij de hand of niet bekend. Het digitaal vastleggen van deze informatie kan nog jaren in beslag nemen.
- Natuurbeheerders zoals Staatsbosbeheer, de Provinciale Landschappen en de Vereniging Natuurmonumenten hebben vooral kleine kunstwerken onder beheer, die in het algemeen handmatig bediend worden. Deze organisaties zien bij dit beheer eigenlijk geen rol weggelegd voor meer beheersmaatregelen.
- De werkdruk van velen maakte dat het invullen van deze enquête niet altijd de hoogste prioriteit kreeg.

Van de elf proefenquêtes zijn er twee niet verwerkt in de kwantitatieve resultaten (want dit waren de enquêtes ingevuld door STOWA) en één werd niet geretourneerd, zodat uiteindelijk 8 proefenquêtes in de eindresultaten meetellen.

In onderstaande tabel is de uiteindelijke respons samengevat.

B3.2. Respons op de enquête per 23 augustus.

| TYPE ORGANISATIE   | AANTAL AANGESCHREVEN ORGANISATIES *) | AANTAL REACTIES | GEEN REACTIE |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------|
| WS & HS            | 61                                   | 47              | 14           |
| SBB                | 8                                    | 3               | 5            |
| VNM                | 1                                    | 1               | 0            |
| Prov. Landschappen | 12                                   | 8               | 4            |
| <b>Totaal</b>      | <b>82</b>                            | <b>59</b>       | <b>23</b>    |

\*)inclusief proefenquêtes naar waterschappen

Van de 82 aangeschreven organisaties hadden er per 23 augustus 59 gereageerd. Dit is een respons van 71%.

Van de 59 organisaties die hebben gereageerd hebben in totaal 47 organisaties daadwerkelijk de enquête ingevuld. In tabel 2 is aangegeven welke organisaties wel en niet hebben gereageerd.

B3.3. Overzicht van wel en niet ingevulde enquêtes.

| TYPE ORGANISATIE   | AANTAL REACTIES | INGEVULDE ENQUÊTES | NIET INGEVULD |
|--------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| WS & HS            | 47              | 45                 | 2             |
| SBB                | 3               | 1                  | 2             |
| VNM                | 1               | 1                  | 0             |
| Prov. Landschappen | 8               | 0                  | 8             |
| <b>Totaal</b>      | <b>59</b>       | <b>47</b>          | <b>12</b>     |

Uit tabel B3.3 blijkt dat de resultaten van de enquête vooral betrekking hebben op de waterschappen; 45 van de 61 waterschappen hebben daadwerkelijk de enquête ingevuld. Dit is 73 %.

Ter aanvulling van nog openstaande vragen zijn eind 1999 en begin 2000 de volgende activiteiten ondernomen:

- interviews bij waterschappen, te weten De Stichtse Rijnlanden (2x), Regge en Dinkel (1x) en voorts Roer en Overmaas (1x). Voorts zijn ook een aantal waterschappen telefonisch benaderd.
- telefonische interviews met producenten Kuypers Electronic Engineering, Polar Systems, Observator Instruments, Van Essen, Hertog Polderbemalingen, KWT, Stork Bosman, Janssen Venneboer.



## BIJLAGE 4. SUBSIDIEMOGELIJKHEDEN

De volgende regelingen zijn niet specifiek bedoeld voor installaties met duurzame energie, maar kunnen wel worden aangewend bij van toepassing zijnde projecten:

- SGB-regeling
- Regeling Functiebeloning Bos en Natuurterreinen
- DEMO, Subsidieregeling Demonstratieprojecten en Bewustmakingsprojecten Milieuvriendelijke en Natuurvriendelijke Landbouwproducten

Naast deze regelingen zijn er ook subsidiemogelijkheden die specifiek kunnen worden toegepast bij installaties met duurzame energie, te weten:

- EINP. Deze regeling is in feite afgeleid van de EIA-regeling (Energie Investerings Aftrek). EIA is beperkt tot belastingplichtigen, EINP is bedoeld voor non-profit organisaties, waaronder ook waterschappen en verenigingen met volledige rechtsbevoegdheid, niet zijnde een ondernemer of vereniging van eigenaren. De regeling stimuleert marktintroductie van milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen door ze fiscaal aantrekkelijk te maken. Op de bedrijfsmiddelenlijst waarvoor subsidie gegeven kan worden staan onder ander foto-voltaïsche zonne-energiesystemen. De subsidie, die 17% kan bedragen, wordt verstrekt voor de complete PV-installatie, inclusief accu's. Inlichtingen bij Senter, Dokter van Deenweg 108, Postbus 10073, 8000 GB Zwolle, telefoon (038) 455 34 30.
- VAMIL. (vroeger: Vervroegde Afschrijving Milieu-investeringen, tegenwoordig: Regeling Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen) stimuleert eveneens de marktintroductie van milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen en is ook alleen bedoeld voor bedrijven die zijn onderworpen aan vennootschapsbelasting. De regeling kan echter ook interessant zijn voor de waterbeheerder indien gebruik gemaakt kan worden van lease-constructies. Aanvragen van de VAMIL-brochure kan bij: Distributiecentrum VROM, Postbus 351, 2700 AJ Zoetermeer, telefoon (038) 4553480 (Senter, Zwolle).
- NOZ-PV. Het doel van dit programma is het scheppen van voorwaarden voor de inpassing van zonnecellen in de Nederlandse energievoorziening in de 21ste eeuw. Voor projecten is een bijdrage mogelijk waar het innovatieve toepassingen betreft. Het zwaartepunt van dit programma ligt op de gebieden openbare verlichting, elektrisch varen en waterbeheer. Inlichtingen: Novem, NOZ-PV, Catharijnesingel 59, Postbus 8242, 3503 RE Utrecht, telefoon (030) 2316491.

## BIJLAGE 5. LIJST VAN LEVERANCIERS

Hieronder volgt een lijst<sup>12</sup> met namen en adressen van leveranciers die duurzame-energiesystemen en -diensten voor het waterbeheer hebben geleverd.

|  |                     |         |                     | telefoon        | fax             |
|--|---------------------|---------|---------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Stuwen</b>                          |                     |         |                     |                 |                 |
| Janssen Venneboer                      | Postbus 12          | 8130 AA | WIJHE               | (0570) 522525   | (0570) 523618   |
| KWT kunststof watertechniek            | Oogstweg 13         | 8256 SB | BIDDINGHUIZEN       | (0321) 33 55 66 | (0321) 33 37 22 |
| Desman Water BV                        | Postbus 545         | 2400 AM | ALPHEN AD RIJN      | (0172) 494 965  | (0172) 494 969  |
| Stork Bosman Watermanagement           | Postbus 3701        | 3265 ZG | PIERSHIL            | (0186) 69 1022  | (0186) 69 1367  |
| Bergschenhoek B.V.                     | Postbus 45          | 2650 AA | BERKEL EN RODENRIJS | (010) 521 32 44 | (010) 521 70 97 |
| <b>Telemetrie systemen en diensten</b> |                     |         |                     |                 |                 |
| Kuypers Electronic Engineering         | Postbus 1030        | 3330 CA | ZWIJNDRECHT         | (078) 610 03 00 | (078) 610 03 91 |
| Polar Systems                          |                     |         |                     |                 |                 |
| Datawatt                               | Postbus 108         | 8470 AC | WOLVEGA             | (0561) 61 72 05 | (0561) 61 79 48 |
| Pinch Aben                             | Postbus 63          | 3600 AB | MAARSSSEN           | (0346) 58 39 63 | (0346) 55 43 93 |
| RAM mobile Data                        | Postbus 6001        | 3600 HA | MAARSSSEN           | (030) 239 03 99 |                 |
| Vlaar Techniek                         | Tripkou 24          | 1679 GJ | MIDWOUDE            | (0229) 20 12 52 |                 |
| Observator Instruments                 | Postbus 60          | 2980 AB | RIDDERKERK          | (0180) 46 34 22 | (0180) 46 35 30 |
| KWTronic B.V.                          | Oogstweg 13         | 8256 SB | BIDDINGHUIZEN       | (0321) 33 55 66 | (0321) 33 37 22 |
| Koenders Instruments                   | Postbus 1189        | 1300 BD | ALMERE-STAD         | (036) 548 01 01 | (036) 548 01 02 |
| <b>Pompsystemen</b>                    |                     |         |                     |                 |                 |
| VOPO                                   | De Volger 2         | 1483 GA | DE RIJP             | (0299) 67 13 12 | (0299) 67 33 58 |
| Hager                                  | Postbus 74          | 9000 AB | GROUW               | (0566) 62 22 09 | (0566) 62 40 28 |
| Stroomwerk                             | Postbus 388         | 7400 AH | DEVENTER            | (0570) 65 50 55 | (0570) 65 38 29 |
| <b>Wind-watermolensmolens</b>          |                     |         |                     |                 |                 |
| Hertog Polderbemalingen B.V.           | Julianastraat 10-14 | 2751 GD | MOERKAPELLE         | (079) 593 21 41 | (079) 593 16 11 |
| Stork Bosman Watermanagement           | Postbus 3701        | 3265 ZG | PIERSHIL            | (0186) 69 1022  | (0186) 69 1367  |
| <b>Lantaarnpalen</b>                   |                     |         |                     |                 |                 |
| Logic Electronics                      | Nijverheidsweg 9    | 3771 ME | BARNEVELD           | (0342) 42 32 82 | (0342) 42 33 83 |
| Stork Marine Solair                    | Postbus 75          | 4181 CE | WAARDENBURG         | (0418) 65 77 11 | (0418) 65 77 15 |
| Stroomwerk                             | Postbus 388         | 7400 AH | DEVENTER            | (0570) 65 50 55 | (0570) 65 38 29 |
| <b>Zonnestroomsystemen</b>             |                     |         |                     |                 |                 |
| Stroomwerk                             | Postbus 388         | 7400 AH | DEVENTER            | (0570) 65 50 55 | (0570) 65 38 29 |
| Hager                                  | Postbus 74          | 9000 AB | GROUW               | (0566) 62 22 09 | (0566) 62 40 28 |
| Transsolar                             | Wagenmaker 2        | 1851 PX | HEILLOO             | (072) 533 65 40 | (072) 533 93 93 |
| <b>Adviesdiensten en oplevertesten</b> |                     |         |                     |                 |                 |
| ECOFYS B.V.                            | Postbus 8408        | 3503 RK | RK UTRECHT          | (030) 2808300   | (030) 2808301   |

<sup>12</sup> Geen garantie voor volledigheid



## BIJLAGE 6. ORGANISATIES EN PERSONEN MET DE- ERVARING

De organisaties in onderstaande tabel hebben ervaring met duurzame-energiesystemen van het type zoals met donkere vakjes aangegeven.

| Organisatie *)                           | Provincie     | Zon | Wind | Water | Zon/Wind |
|--|---------------|-----|------|-------|----------|
| Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden | Utrecht       | ■   |      | ■     |          |
| Hoogheemraadschap van West-Brabant       | Noord-Brabant |     |      |       |          |
| It Fryske Gea                            | Friesland     |     | ■    |       |          |
| Staatsbosbeheer Fryslan                  | Friesland     |     |      |       |          |
| Waterschap De Brielse Dijkkring          | Zuid-Holland  | ■   |      |       |          |
| Waterschap De Dongestroom                | Noord-Brabant | ■   |      |       |          |
| Waterschap De Maaskant                   | Noord-Brabant |     |      |       |          |
| Waterschap De Oude Rijnstromen           | Zuid-Holland  |     | ■    |       |          |
| Waterschap Groot Geestmerambacht         | Noord-Holland | ■   |      |       |          |
| Waterschap Groot Salland                 | Overijssel    |     |      |       |          |
| Waterschap Meppelerdiep                  | Drenthe       |     |      |       |          |
| Waterschap Noordoostpolder               | Flevoland     |     |      | ■     |          |
| Waterschap Peel en Maasvallei            | Limburg       | ■   |      |       |          |
| Waterschap Regge en Dinkel               | Overijssel    |     |      |       |          |
| Waterschap Roer en Overmaas              | Limburg       |     |      |       |          |
| Waterschap Vallei en Eem                 | Gelderland    |     |      |       |          |
| Waterschap Westfriesland                 | Noord-Holland |     |      |       | ■        |
| Waterschap Wold en Wieden                | Overijssel    |     |      |       | ■        |
| Waterschap Zeeuws Vlaanderen             | Zeeland       |     |      |       | ■        |
| Waterschap Zeeuwse eilanden              | Zeeland       | ■   |      |       |          |
| Wetterskip De Waadkant                   | Friesland     |     |      |       |          |
| Wetterskip Fryslan                       | Friesland     |     | ■    |       |          |
| Wetterskip Lauwerswouden                 | Friesland     |     |      |       |          |

\*) Situatie juni 1999. Sommige waterschappen zijn inmiddels gefuseerd.

De volgende personen hebben veel ervaring met duurzame energiesystemen en zijn gaarne bereid vragen over dit onderwerp te beantwoorden.

Ing. W.G.J. De Wit  
 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden  
 Postbus 550  
 3990 GJ Houten  
 telefoon: (030) 6345841  
 fax: (030) 6345998

De heer G. Velten  
 Waterschap Regge en Dinkel  
 Postbus 5006  
 7600 GA Almelo  
 telefoon: (0546) 832 620  
 fax: (0546) 821 176

Voorts kan men bij vragen over duurzame-energiesystemen informatie inwinnen bij:

Ir. B.H. van Hemert, ing J.A. Verschelling en ir. J.Dam  
ECOFYS B.V.  
Postbus 8408  
3503 RK Utrecht  
telefoon: (030) 2808300  
fax: (030) 2808301



