

HOOFDSTUK 4: FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN EN TOEPASSINGEN

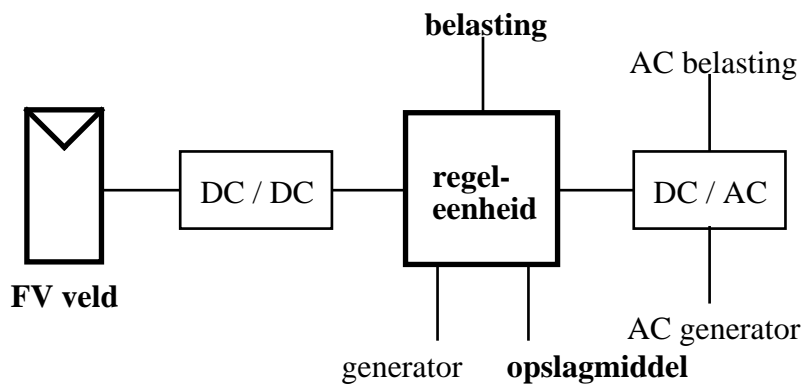
4.1. ONAFHANKELIJKE FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN	85
4.1.1. Definitie	85
4.1.2. Systemen met batterijen	86
4.1.2.1. Eenvoudige zelfregulerende systemen.....	86
4.1.2.2. Systemen met een batterijregelaar	87
4.1.2.3. Grote onafhankelijke fotonvoltaïsche systemen	89
4.1.2.4. Hybride fotonvoltaïsche systemen.....	90
4.1.3. Andere onafhankelijke fotonvoltaïsche systemen	93
4.1.3.1. Fotonvoltaïsche pompsystemen.....	93
4.1.3.2. Fotonvoltaïsche koelsystemen.....	95
4.1.3.3. Opslag via waterstof.....	96
4.2. NETGEKOPPELDE FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN	98
4.2.1. Definitie	98
4.2.2. Aspecten van netgekoppelde fotonvoltaïsche systemen	98
4.2.3. Soorten netgekoppelde fotonvoltaïsche systemen	102
4.2.3.1. Netgekoppeld fotonvoltaïsch systeem met centrale inverter	102
4.2.3.2. Netgekoppeld systeem met serie-inverter.....	102
4.2.3.3. Wisselstroommodules.....	103

HOOFDSTUK 4: FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN EN TOEPASSINGEN

4.1. ONAFHANKELIJKE FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN

4.1.1. Definitie

Onder een onafhankelijk fotovoltaïsch systeem wordt een energiesysteem verstaan dat een elektriciteitsverbruiker bevoorraadt die niet gekoppeld is aan het elektriciteitsnet en die gebruik maakt van een fotovoltaïsch systeem voor de energieopwekking. Een algemeen schema, dat alle mogelijke componenten bevat, is terug te vinden in figuur 4.1. In deze paragraaf worden alle mogelijke combinaties van deze componenten besproken.

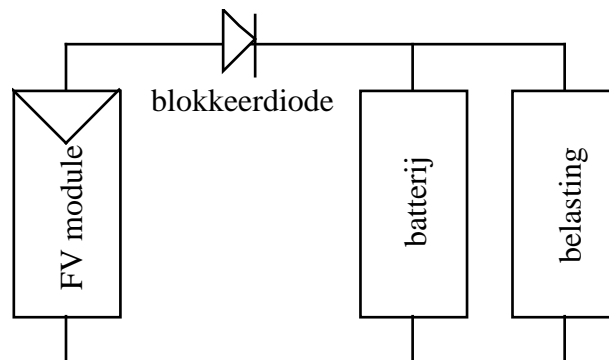


Figuur 4.1 Het algemeen schema van een onafhankelijk fotovoltaïsch systeem wordt getoond. Het meest eenvoudige onafhankelijke fotovoltaïsche systeem bestaat enkel uit de vet getekende elementen.

4.1.2. Systemen met batterijen

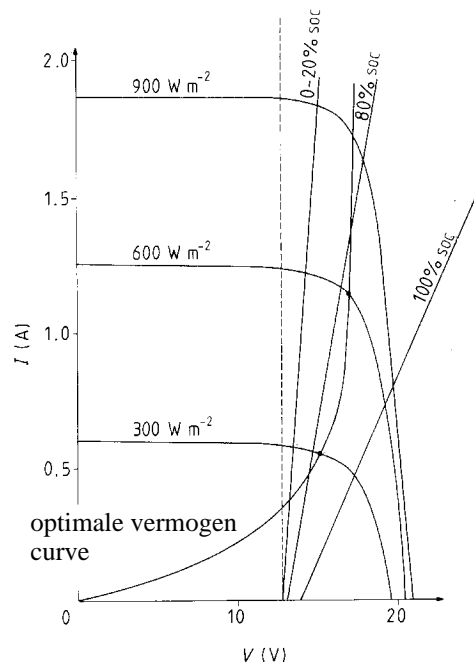
4.1.2.1. Eenvoudige zelfregulerende systemen

Figuur 4.2 toont schematisch de eenvoudigste schakeling met een fotovoltaïsche module en een batterij. Fotovoltaïsche modules kunnen direct parallel geplaatst worden op een batterij omdat een batterij in eerste benadering kan aanzien worden als een belasting bij constante spanning. Mits een goede keuze van de batterijspanning kan op die manier de lijn van maximale vermogenwerking van de fotovoltaïsche module goed gevolgd worden. De diode die in serie tussen module en batterij geplaatst wordt, verhindert de ontlading van de batterij tijdens de nacht als de module zich als belasting zou gedragen.



Figuur 4.2 Het schema van een zelfregulerend fotovoltaïsch batterijsysteem.

Tijdens zonnige uren zal de fotovoltaïsche module rechtstreeks de belasting voeden, het overschot aan vermogen zal opgeslagen worden in de batterij. Tijdens de nacht of gedurende periodes van lage zonne-instraling, haalt de belasting zijn energie uit de batterij.



Figuur 4.3 I-V karakteristiek van een fotonvoltaïsche module bij verschillende belichtingen en de I-V karakteristiek van een loodzuur batterij, met nominale spanning van 12 V, bij verschillende ladingstoestanden (SOC) ; 100% SOC komt overeen met een volgeladen toestand van de batterij. (Bron: [2])

In figuur 4.3 zijn de karakteristieken van een loodzuurbatterij, met een nominale spanning van 12 V, gecombineerd met de I-V curve van een fotonvoltaïsche module bij verschillende belichtingen. De batterijkarakteristiek is afhankelijk van de ladingstoestand van de batterij (SOC of "state-of-charge"). Het valt op dat deze karakteristiek de curve van maximale vermogenwerking van de fotonvoltaïsche module vrij goed volgt. Wanneer de ladingstoestand van de batterij 100% nadert, zal het werkingpunt afwijken van de maximale vermogenwerking van de fotonvoltaïsche module zodat er een zelf-limiterend effect optreedt omdat minder lading naar de batterij zal worden gestuurd.

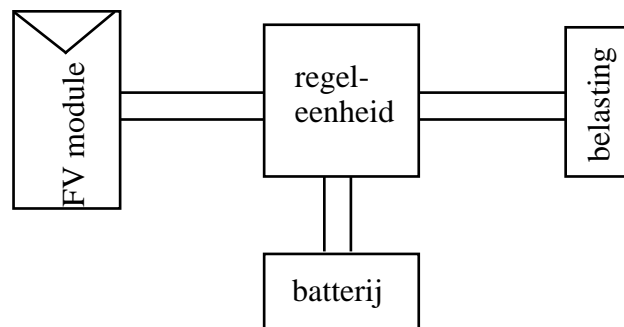
Dergelijke systemen worden typisch angewend om zeer kleine verbruikers te voeden waarbij vaak kleine nikkelcadmium of metaalhydride batterijen toegepast worden: horloges, zaklantaarns, radio's, mobiele telefoons.

4.1.2.2. Systemen met een batterijregelaar

Een batterij is een elektro-chemische cel die een beperkte energieopslagcapaciteit en een beperkte levensduur heeft. Zo zullen loodzuurbatterijen schade ondervinden van een slecht gebruik ervan. Het zwaar overladen en te diep ontladen van de batterij dient vermeden te worden (zie hoofdstuk 5).

Het kan niet verwacht worden van een gebruiker van een fotonvoltaïsch systeem om de batterijhuishouding manueel op te volgen om te voorkomen dat de batterij in schadelijke condities wordt gebracht. Daarom loont het voor systemen vanaf 50 Wp (Watt piek) vaak de moeite een laadregelaar in te bouwen. Figuur 4.4 geeft een

schematische voorstelling van een dergelijk systeem. In hoofdstuk 5 zal verder ingegaan worden op de functie en de werking van de laadregelaar.



Figuur 4.4 Een fotovoltaïsch batterijsysteem met laadregelaar.



Figuur 4.5 Park(eer)verlichting met een autonome fotovoltaïsche verlichtingspaal.

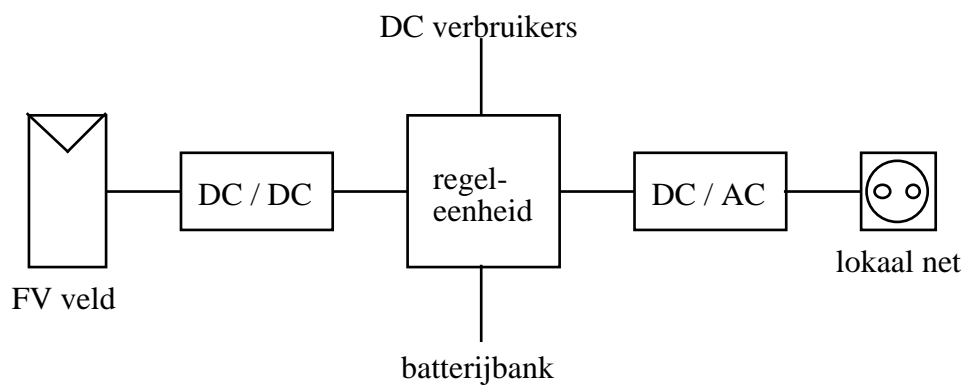
Typische voorbeelden van dergelijke systemen zijn verlichtingstoepassingen (zeeboeien, straatlantaarns: figuur 4.5), milieusensoren, telecommunicatietoepassingen (doorzendstations), elektrisch varen, afgelegen woningen. In ontwikkelingslanden zijn dergelijke systemen vaak de enige mogelijkheid om minimale energievoorzieningen naar afgelegen gebieden te brengen.



Figuur 4.6 Bepaalde vormen van verkeerssignalisatie vragen weinig energie of zijn nodig op plaatsen die zich ver van een netaansluiting bevinden. (© foto IMEC)

4.1.2.3. Grote onafhankelijke fotonvoltaïsche systemen

In sommige gevallen gaat men een grote verbruiker voeden vanuit fotonvoltaïsche cellen. Een typisch voorbeeld hiervan is een klein eiland dat met behulp van zonne-energie een lokaal net zal voeden voor de energievoorziening van de plaatselijke bewoners. Dergelijke systemen hebben vaak een vermogen van 10 tot 100 kWatt piek of meer.



Figuur 4.7 Schematische voorstelling van een lokaal elektriciteitsnet gevoed door een fotonvoltaïsch veld.

Figuur 4.7 stelt schematisch een dergelijk systeem voor. De verbruikers maken niet enkel gebruik van gelijkspanningstoestellen en daarom zal een DC/AC omvormer een wisselspanningsnet voeden vanuit de batterijbank. Om een beter globaal systeemrendement te behalen zal men niet gebruik maken van een zelfregulerend systeem zoals besproken in paragraaf 4.1.2.1 maar met behulp van een DC-DC omvormer de koppeling tussen het fotonvoltaïsch veld en de batterij verzorgen. Deze omvormer moet er voor zorgen dat het fotonvoltaïsch veld zich steeds in het maximaal vermogenpunt bevindt.

4.1.2.4. Hybride fotonvoltaïsche systemen

Omdat de zon een onvoorspelbare energiebron is, is men vaak verplicht het fotonvoltaïsch veld of de batterijbank sterk te overdimensioneren wanneer men een volledige autonomie van de gebruiker wil bereiken.

Vaak kan men echter door de combinatie van fotonvoltaïsche energie met een andere energiebron een situatie bekomen die leidt tot een meer optimaal systeem. Zo kan een generatoreenheid worden bijgeplaatst in het systeem zodat de noodzaak tot autonomie van een fotonvoltaïsch systeem sterk gereduceerd wordt. Wanneer de energievraag in een bepaald seizoen niet volledig kan gedekt worden door het fotonvoltaïsch systeem, wordt de generator ingeschakeld om het vereiste vermogen te leveren.

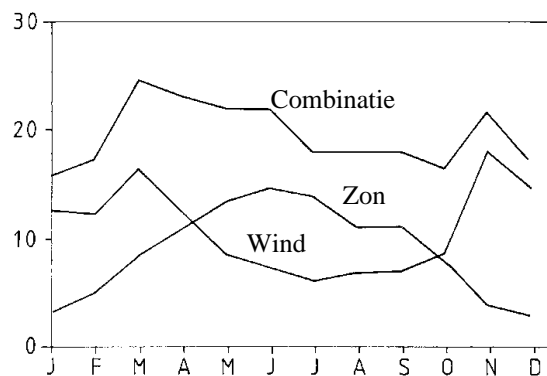
Het is duidelijk dat men op deze manier over een veel efficiënter energiesysteem zal beschikken. Deze zullen leiden tot substantiële kostenreducties en de betrouwbaarheid van het volledige systeem zal verhogen. Tabel 4.1 geeft de voor- en de nadelen van een fotonvoltaïsch systeem ten opzichte van een generator. Fotonvoltaïsch-generator hybride systemen worden momenteel toegepast op afgelegen locaties waar de dagelijkse energiebehoefte van 1 kWh per dag tot 1 MWh per dag kan bedragen wat hun extreme flexibiliteit aantoont.

	Voordelen	Nadelen
Generator	Lage investeringskost Vermogen op vraag Hoge vermogendichtheid Bekende technologie Verplaatsbaar	Hoge werkingskost Hoge onderhoudskost Niet hernieuwbaar Geluidshinder Luchtvervuiling
Fotonvoltaïsch	Hernieuwbare bron Betrouwbaar Weinig onderhoud Modulair Niet-vervuilende werking	Lage vermogendichtheid Hoge investeringskost Weersafhankelijk Nieuwe technologie

Tabel 4.1 De voordelen en de nadelen van een generator worden gegeven ten opzichte van de fotonvoltaïsche energietechnologie.

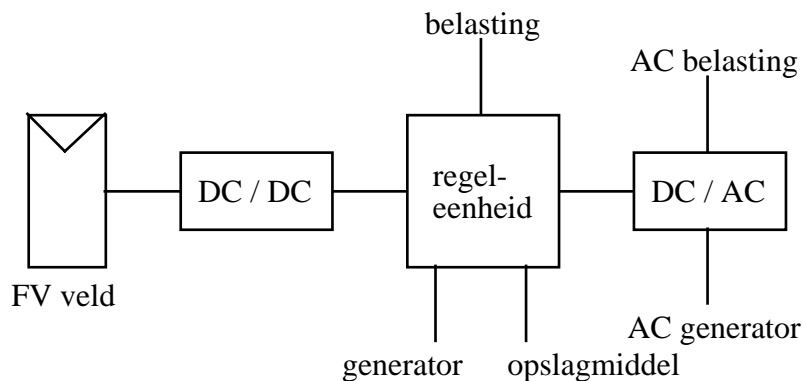
Bepaalde locaties kunnen andere specifieke opties voor energiewinning bieden. Behalve de combinatie van fotovoltaïsche systemen met kleine waterkrachtcentrales, kan de combinatie met windenergieopwekking goede perspectieven bieden. Vaak zal immers de schommeling in het aanbod aan windenergie zich uitmiddelen in combinatie met zonne-energie waardoor het onvoorspelbaar karakter sterk verminderd wordt.

Op veel locaties op aarde is het aanbod aan zonne-energie complementair met het aanbod aan windenergie over de seizoenen, zoals aangegeven in figuur 4.8 voor het Belgische klimaat. Hierdoor zal de noodzaak tot seizoenstockage van energie sterk verminderd worden.

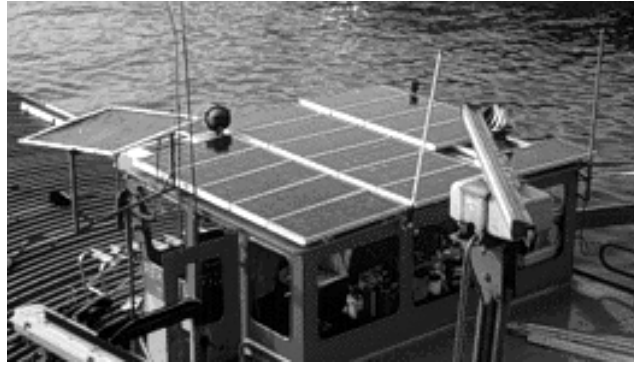


Figuur 4.8 Maandelijks gemiddeld vermogen per vierkante meter beschikbaar in België aan zonne- en windenergie. (Bron: [2])

Figuur 4.9 toont een algemeen schema van een hybride onafhankelijk fotovoltaïsch systeem. Een regelenheid zal hier het batterij-management uitvoeren door de energiestromen vanuit het fotovoltaïsche veld en de andere energiebron samen met de energiestromen naar de verschillende verbruikers te conditioneren. De DC en AC generatoren aangegeven in de figuur kunnen zowel verbrandingsgroepen als windgeneratoren als waterkrachtcentrales of thermo-elektrische centrales zijn. Een voorbeeld van een klein hybride systeem met fotovoltaïsche modules en een diesलगenerator is te zien op figuur 4.10.



Figuur 4.9 Algemeen schema van een hybride onafhankelijk fotovoltaïsch systeem.

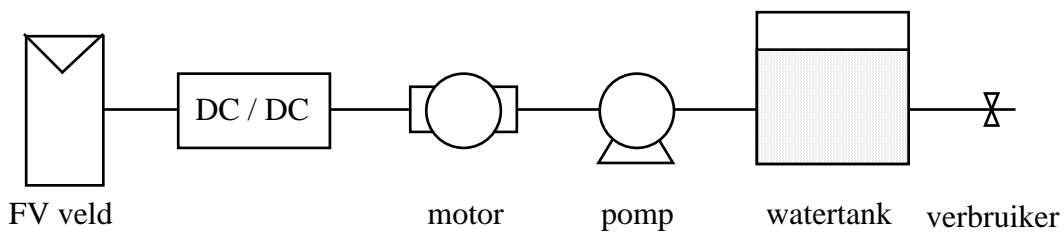


Figuur 4.10 Een binnenschip kan het aantal uren dat de dieselmotor moet draaien om de batterijen te laden wanneer het schip aangemeerd ligt, sterk reduceren door gebruik te maken van een hybride fotovoltaïsch systeem. (© foto Ecofys,NL)

4.1.3. Andere onafhankelijke fofovoltaïsche systemen

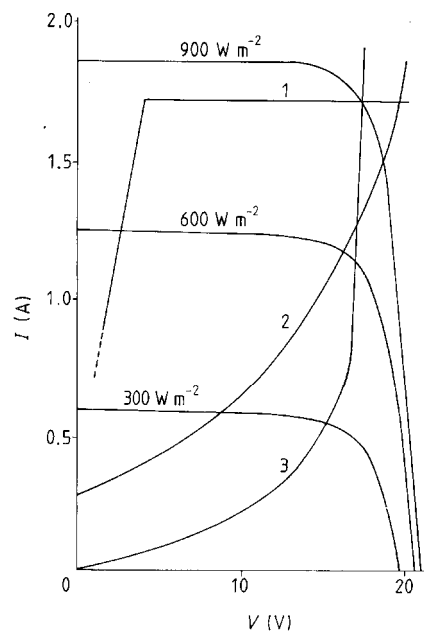
4.1.3.1. Fofovoltaïsche pompsystemen

Zoals aangegeven in figuur 4.11 bestaat een fofovoltaïsch waterpompsysteem uit een fofovoltaïsch veld, eventueel een elektrische vermogenomvormer, een motor, een pomp en een watertank. Er is een directe koppeling tussen de fofovoltaïsche modules en de motor-pomp groep waardoor het gebruik van batterijen vermeden wordt ; de watertank zal hier immers als stockagemedium optreden.



Figuur 4.11 Het schema van een fofovoltaïsch pompsysteem

Om deze koppeling te bestuderen, beschouwen we de I-V curves van het motor-pomp systeem. Figuur 4.12 toont deze karakteristieken voor twee pompsystemen, een volumetrische en een centrifugale pomp, en vergelijkt ze met de curve van maximaal vermogen van het fofovoltaïsche veld.



Figuur 4.12 De I-V curves en maximale vermogen lijn voor een fofovoltaïsche module (3) en de belastingslijnen van een volumetrische (1) en een centrifugale (2) motor-pomp groep. (Bron: [2])

In het geval van een volumetrische pomp wordt de belastingslijn voorgesteld door een horizontale of constante stroomlijn: deze pomp vereist een constant moment waardoor een elektrische serie of permanent magneet motor die mechanisch gekoppeld is met de pomp een constante stroom trekt. Wanneer de fotonvoltaïsche modules het nodige vermogen niet kunnen leveren, valt de pomp stil en gedraagt de pomp zich als een resistieve belasting (het eerste deel van de curve). Wanneer we de belastingscurve van een volumetrische pomp vergelijken met de maximaal vermogen karakteristiek van een fotonvoltaïsch veld zien we een grote afwijking, wat aangeeft dat het globale rendement van een dergelijk systeem laag zal zijn.

Aan de andere kant blijkt de belastingscurve van een centrifugaal motor-pomp systeem veel beter in overeenstemming te zijn met de maximale vermogencurve van de fotonvoltaïsche modules. Het hydraulische rendement van een centrifugaal pompsysteem is echter lager en niet constant: ze is maximaal voor een bepaalde rotatiesnelheid en daalt snel bij afwijkende snelheden.

Daarom zal in vele gevallen toch een volumetrische pomp verkozen worden en zal om de verschillen in de belastingscurve op te vangen, een DC-DC omvormer tussen de modules en de motor geplaatst worden. De omvormer zal het optimale werkingpunt op de I-V curve van de fotonvoltaïsche modules bepalen en een spanningsconversie uitvoeren zodat de pompmotor de nodige stroom kan trekken.

Typische waarden voor de energie-rendementen van de verschillende onderdelen van een dergelijk systeem zijn 95% voor de DC-DC omvormer, 85% voor de motor en 60% voor de pomp.



Figuur 4.13 Een eenvoudig pompsysteem voor de drinkwatervoorziening voor koeien in Nederland kan het gebruik van batterijen vermijden door het waterreservoir van de toepassing als 'energieopslag' aan te wenden (©foto Ecofys, NL).

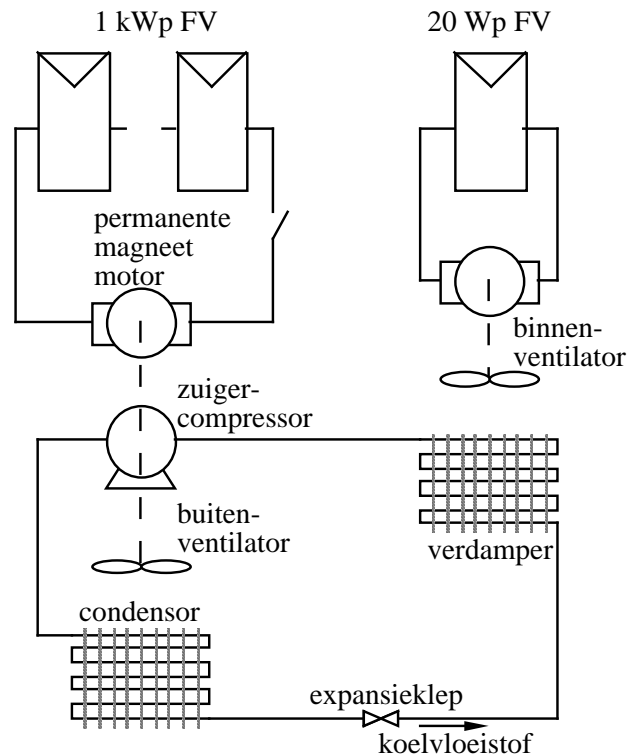
4.1.3.2. Fotovoltaïsche koelsystemen

De optie om fotovoltaïsche energieopwekking te combineren met een verbruiker die koeling vereist, is voor de hand liggend daar dit een typisch voorbeeld is van een toepassing van zonne-energie waar vraag en aanbod in fase zijn met mekaar.

Voor systemen waar men een grote vraag naar koelvermogen wil leveren met zonne-energie, zal men omwille van de kostprijs veel eerder overstappen naar het gebruik van thermische zonne-energie dan wel fotovoltaïsche cellen om de energie te leveren. Er wordt dan een absorptiekoelmachine opgezet waarbij zonnecollectoren in een thermodynamische cyclus voor de nodige warmte zorgen.

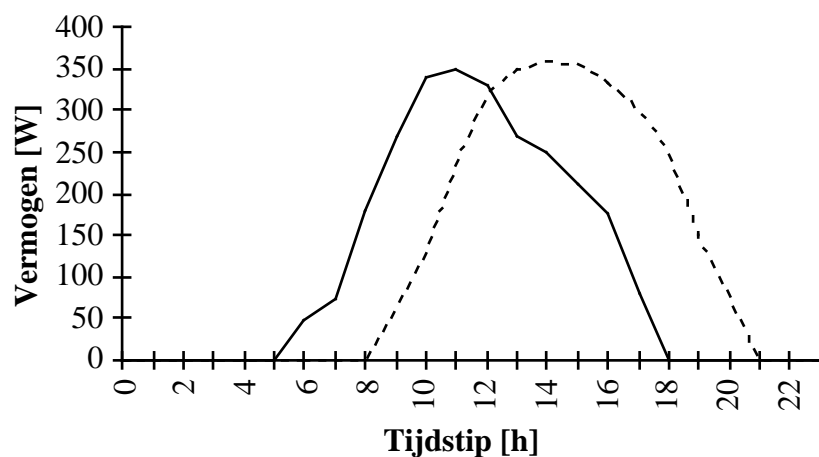
Voor kleinere koelsystemen zal men echter wel fotovoltaïsche cellen gebruiken. In zeer kleine systemen (thermos e.a.) kan de combinatie met een Peltier-element worden overwogen. In afgelegen gebieden wordt momenteel op grote schaal gebruik gemaakt van koelkasten voor het bewaren van vaccins, die gevoed worden uit een batterij-fotovoltaïsch systeem.

Voor kleine airconditioningsinstallaties in zuidoostelijke landen, kan een voeding op zonnecellen worden verkozen. Hier kan gebruik gemaakt worden van een rechtstreekse koppeling tussen de fotovoltaïsche modules en de verbruiker zoals aangegeven in figuur 4.14. In een typisch systeem zal een fotovoltaïsche module van 1 kWp rechtstreeks een permanente-magneetmotor van 1 kW aandrijven die mechanisch gekoppeld is met de zuigercompressor van een één-kamer-airconditioningsinstallatie. Optioneel kan een binnenventilator worden voorzien die opnieuw rechtstreeks gekoppeld is met een fotovoltaïsche module (20 Wp).



Figuur 4.14 Schematische voorstelling van de directe koppeling tussen een fotovoltaïsch veld en een één-kamer airconditioningsstelsel.

Alhoewel in de combinatie van een fotovoltaïsch met een koelsysteem de vraag en het aanbod in de tijd vrij goed met mekaar overeenstemmen, valt er toch een faseverschuiving op. Deze is het gevolg van de thermische massa die ten gevolge van zonne-instraling langzaam zal opwarmen. In figuur 4.15 is dit verschijnsel getoond door het gemiddelde geleverde vermogen over een volledig jaar van een fotovoltaïsch veld uit te zetten samen met het gemiddelde verbruik van een één-kamer airconditioningssysteem over de duur van een dag. Er valt een verschuiving tussen vraag en aanbod op van ongeveer twee uur. Als gevolg hiervan zal het comfortniveau voor een direct gekoppelde airconditioningsinstallatie iets lager zijn of kan men kiezen om een korte-termijn stockage te voorzien.



Figuur 4.15 De verschuiving van de gemiddelde energieproductie van een fotovoltaïsch veld (volle lijn) en het energieverbruik van een airconditioningsinstallatie (streeplijn) uitgezet over het verloop van de dag.

4.1.3.3. Opslag via waterstof

Waterstof kan geproduceerd worden door de elektrolyse van water. Dit proces is goed combineerbaar met fotovoltaïsche energieomzetting omwille van de lage spanning die vereist is. Waterstof, geproduceerd door de elektrolyse van water kan ofwel in een hoge-druktank ofwel in metaalhydraten worden opgeslagen. Tijdens minder zonnige periodes kan elektriciteit bekomen worden door de reactie van waterstof met zuurstof in brandstofcellen.

Eén van de grote voordelen van waterstof is de mogelijkheid tot economische transfert over grote afstanden door gebruik te maken van pijpleidingen, wat geleid heeft tot het concept van de waterstof-economie. Zo zou in grote fotovoltaïsche installaties in de woestijnen waterstof geproduceerd kunnen worden dat dan via grote pijpleidingen naar dicht bevolkte gebieden kan worden gevoerd, met als grote voordeel dat nergens schadelijke uitlaatgassen zouden worden vrijgegeven. Tegelijk zou waterstof gebruikt kunnen worden als brandstof voor transportdoeleinden maar ook verwarming en anderen. Tabel 4.2 geeft hier een overzicht van.

Middel	Resultaat
Brandstofcel	elektriciteit
Katalytische verbranding	warmte
Boiler	warmte
Gasmotor	mechanische energie

Tabel 4.2 Er wordt een overzicht gegeven van de mogelijke toepassingswijzen van waterstof.

Op dit moment is de grote beperking op de realisatie van dergelijke concepten nog het lage opslagrendement van dit systeem. Het opslagrendement is hier gedefinieerd als het product van de rendementen van de waterstofproductie en van de opwekking van elektriciteit uit brandstofcellen. Dit rendement is in praktische realisaties nog niet hoger dan 50%.

4.2. NETGEKOPPELDE FOTOVOLTAÏSCHE SYSTEMEN

4.2.1. Definitie

Onder een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem wordt een systeem verstaan waarvan het fotovoltaïsch veld via een omvormer van gelijk- naar wisselspanning rechtstreeks aan het elektriciteitsnet gekoppeld is.

De omvormer of inverter heeft in dit geval de volgende functies die in hoofdstuk 5 verder worden uitgediept:

- omzetting van de gelijkspanning naar een wisselspanning die compatibel is met de netspanning. Hierbij zijn harmonische vervorming en de vermogenfactor van het geleverde vermogen van belang.
- optimalisatie van de gelijkspanning zodat het moduleveld in optimale vermogencondities werkt.
- beveiliging.

4.2.2. Aspecten van netgekoppelde fotovoltaïsche systemen

We spreken van gecentraliseerde netgekoppelde systemen wanneer een grote fotovoltaïsche installatie (typisch van 100 kWp tot enkele MWp) aan het net gekoppeld wordt. Dit zal dan op een middenspanningsniveau gebeuren en vaak is de elektriciteitsmaatschappij betrokken in het project. De opgewekte energie wordt onmiddellijk op het openbare net gestuurd en is op die manier niet verbonden met een lokale verbruiker.

Omwille van het modulaire karakter van fotovoltaïsche energieopwekking kunnen ook veel kleinere systemen op het openbaar net aangesloten worden. Deze systemen worden dan gedecentraliseerd geplaatst op daken van woningen, kantoorgebouwen, geluidswerende wanden langs autosnelwegen, ... Een paar voorbeelden van praktische realisaties zijn weergegeven in de foto's van figuren 4.16 en 4.17.

Concreet zijn er 2 opties om dergelijke systemen te introduceren op de markt. De eerste mogelijkheid bestaat erin dat de elektriciteitsmaatschappij eigenaar van het systeem is, ook al worden de systemen in woonwijken of openbare gebouwen geplaatst. De geleverde energie wordt dan rechtstreeks in het openbare net gestuurd zonder dat dit de elektriciteitsgebruiker beïnvloedt.

De tweede mogelijkheid is dat privé-personen eigenaar worden van het systeem. Zij koppelen het fotovoltaïsche systeem dan na de elektriciteitsmeter van hun huisaansluiting (zie figuur 4.18). Op zonnige dagen zal het fotovoltaïsche systeem meer vermogen leveren dan dat er voor de lokale verbruikers nodig is en dan zal het teveel aan energie via een aangepaste kWh-meter naar het net terugvloeien. Meestal echter zal het fotovoltaïsche systeem onvoldoende vermogen leveren en haalt de verbruiker de nodige energie gewoon uit het elektriciteitsnet. Deze energie wordt dan opgewekt met centrale of andere decentrale productiemiddelen.

Studies hebben uitgewezen dat deze vorm van "energie-uitwisseling op het net" geen onstabieleit op het net veroorzaakt mits de penetratiegraad van deze technologie niet groter wordt dan 10% van het totale opgewekte vermogen.

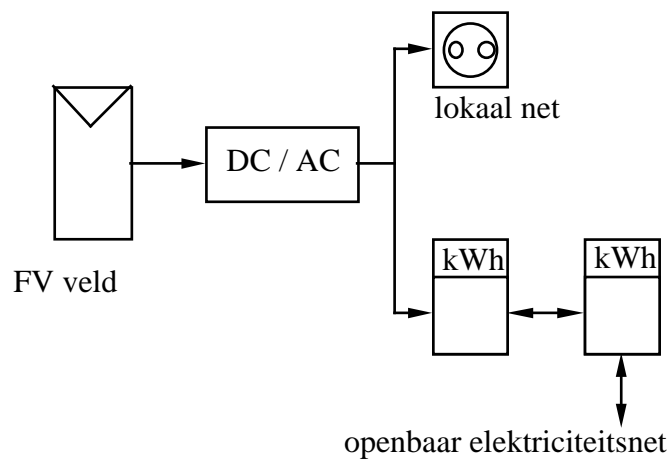
De waarde van de elektriciteit die door het fotovoltaïsche systeem wordt geproduceerd en ter plaatse wordt verbruikt door lokale toestellen, komt overeen met de vermeden kosten (kosten die overeenkomen met de prijs die de verbruiker aan de elektriciteitsdistributeur zou moeten betalen voor het geleverde verbruik). Voor de geproduceerde energie, die teruggeleverd wordt aan het net, gelden terugbetalingstarieven die goedgekeurd werden door het Controlecomité voor de Elektriciteit en het Gas.



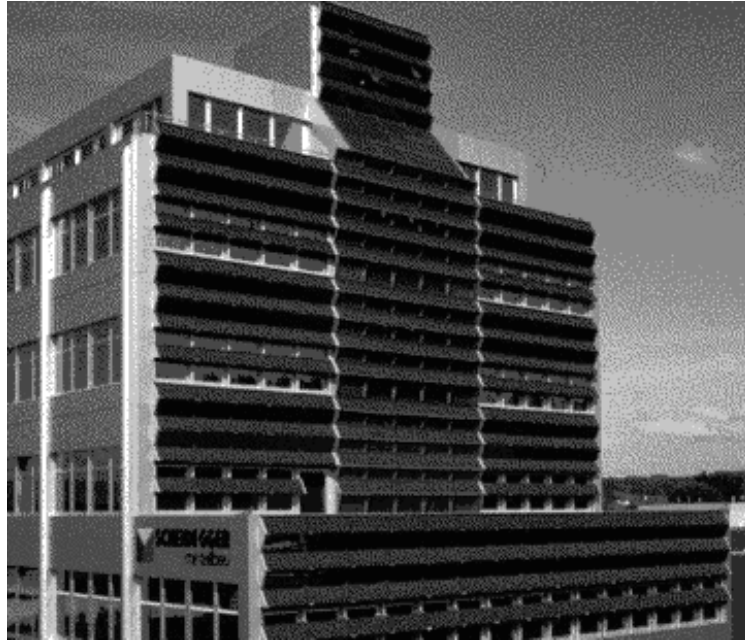
*Figuur 4.16 Een grootschalig bouwproject (Nieuw Sloten) nabij Amsterdam.
(©foto Ecofys-Novem, NL)*



Figuur 4.17 De fotovoltaïsche modules laten zich ook gecombineerd met zonnethermische collectoren in de dakschaal van een woning integreren. Ze kunnen zoals hier volledig de waterkerende functie van de dakpannen overnemen (© 1994 The Swiss Federal "Promotion Program for PV"- TNC Consulting AG, CH-8708 Mannedorf).



Figuur 4.18 Voorstelling van een gedecentraliseerd fotovoltaïsch netgekoppeld systeem.



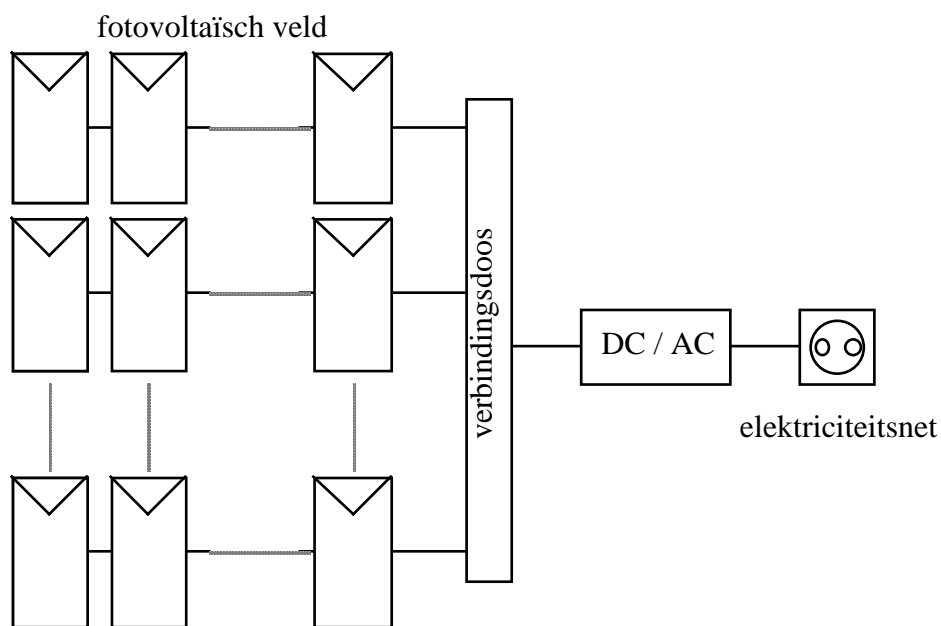
Figuur 4.19 Gevels en daken van kantoorgebouwen bieden mogelijkheden tot integratie van fotovoltaïsche systemen. Het dagelijkse verloop van productie van zonne-elektriciteit en het verbruik ervan vallen hier trouwens veel beter samen dan in een residentiële toepassing.

4.2.3. Soorten netgekoppelde fotovoltaïsche systemen

4.2.3.1. Netgekoppeld fotovoltaïsch systeem met centrale inverter

Figuur 4.20 geeft een voorstelling van een dergelijk systeem. Verschillende panelen zijn in serie- en in parallel geplaatst om een bepaald vermogen en een bepaalde spanning aan de inverter te leveren. De bekabeling van elk van de serieschakelingen komt toe in een verbindingsdoos waar de parallelschakeling wordt gemaakt die naar de inverter vertrekt.

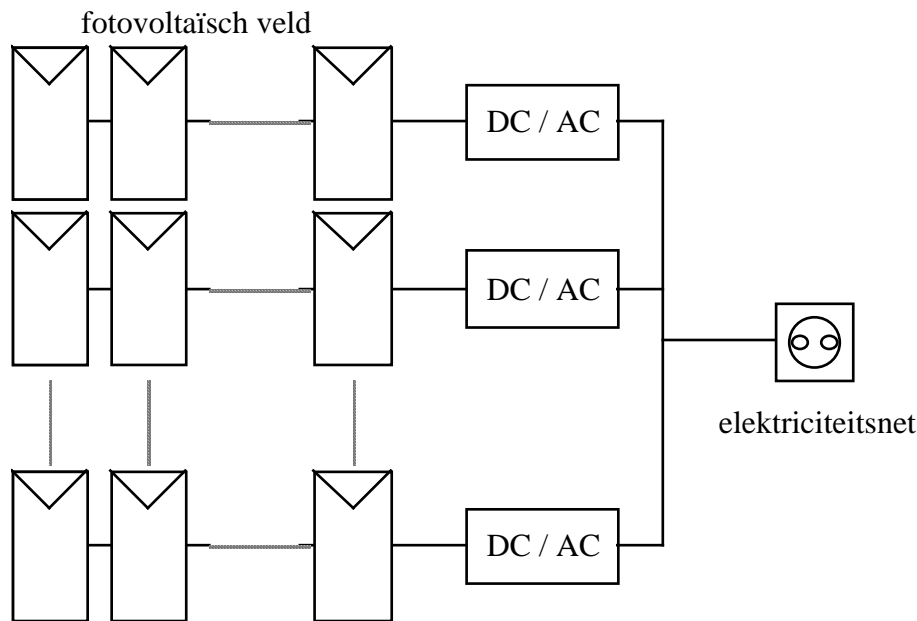
Dit systeem wordt gebruikt voor fotovoltaïsche velden van 1 tot 100 kWp. Door gebruik te maken van een centrale inverter kan men een kostenbesparing krijgen, heeft men via de inverter controle over het volledige systeem en kan men zeer hoogrendementsinvertoren gebruiken. Het nadeel van de serieschakeling van een groot aantal modules is dat wanneer één of een deel van een module beschaduwd wordt in een keten, de performantie van de volledige keten sterk daalt.



Figuur 4.20 Voorstelling van een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem met een centrale inverter

4.2.3.2. Netgekoppeld systeem met serie-inverter

Figuur 4.21 toont een schematische weergave van een dergelijk systeem. In dit geval wordt per keten van modules in serie een inverter geplaatst die de verbinding op het elektriciteitsnet voorziet.



Figuur 4.21 Voorstelling van een netgekoppeld fotovoltaïsch systeem met serie-invertoren.

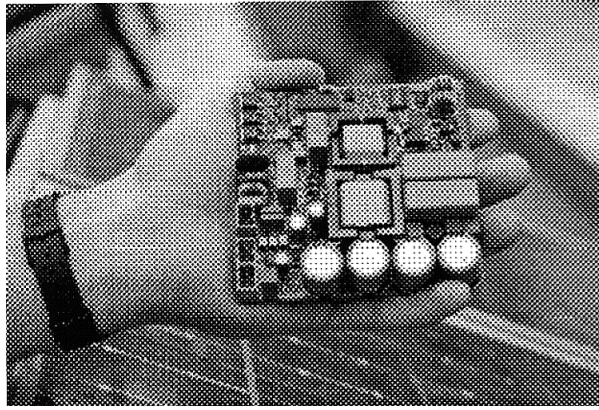
Dit systeem heeft als voordeel dat de verbindingsdoos achterwege gelaten kan worden wat leidt tot een eenvoudiger installatie en ook een kostenbesparing mee brengt. Verder blijven een groot aantal modules in serie zodat de gelijkspanning aan de inverter voldoende hoog is om een hoog conversierendement te garanderen. Ten opzichte van het vorige systeem zullen echter meer invertoren geplaatst dienen te worden wat kan leiden tot een kostenverhoging. Typisch bedraagt het nominale vermogen van een dergelijke inverter tussen de 500 W (80 V) en de 3kW (500 V).

Ten opzichte van het vorige type invertoren blijft hier het nadeel van de beschaduwingsproblematiek gelden.

4.2.3.3. Wisselstroommodules

In dit geval zal per fotovoltaïsche module een inverter op de rugzijde worden geplaatst die voor de koppeling met het elektriciteitsnet zorgt. Figuur 4.22 toont een foto van een dergelijke inverter die een knap staaltje is van hoogwaardige vermogenelektronica.

Dergelijke systemen bieden grote voordelen naar installatiekosten en -tijd. De installatie is veel eenvoudiger en ook goedkoper, daar gewone wisselstroombekabeling kan gebruikt worden. De systemen zijn ook perfect modulair zodat elke inverter optimaal belast wordt. Verder bestaat het grote voordeel erin dat moduleverschilverliezen volledig onderdrukt worden ten opzichte van de vorige opstellingen. Doordat er geen serieschakeling is van modules spelen beschaduwings-effecten geen rol. Hierdoor is het systeemrendement voor gebouwgeïntegreerde installaties ten opzichte van de vorige systemen vaak beter.



Figuur 4.22 Foto van een inverter van een wisselstroommodule. (©foto Mastervolt, NL)

Als nadeel vindt men dat het conversierendement van deze mini-invertoren soms enkele procenten lager kan liggen dan van conventionele invertoren. Ook naar betrouwbaarheid kan men zich vragen stellen. Er wordt immers een element met zeer hoge levensduur (30 jaar voor een fotovoltaïsche module) gekoppeld met een stuk elektronica waarvan de levensduur toch verwacht wordt lager te liggen. Zeker door het feit dat de moduletemperatuur vaak hoog oploopt en dat de elektronica hieraan dus ook onderhevig is. Verder is de controle op de netkoppeling voor een dergelijk systeem veel minder eenvoudig.