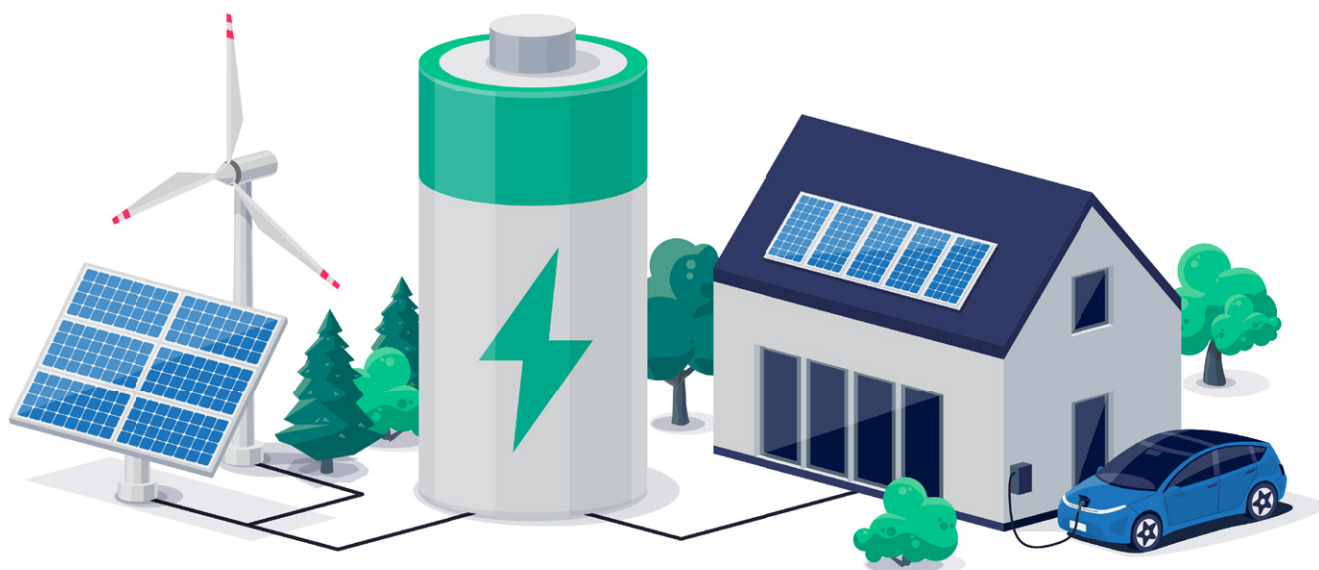




# Off-grid PV-systeem

elektrische energie onafhankelijk van het net

**Dr. Thomas Scherer (Duitsland)**

**Wat is een off-grid PV-systeem? Waar zijn zulke installaties nodig of praktisch? Wat zijn de belangrijkste ontwerpoverwegingen? Deze vragen en meer worden in dit artikel beantwoord.**

In Elektor september/oktober 2021 hebben we een fotonuclaire systeem bekeken dat is aangesloten op het elektriciteitsnet [1]. Hier zullen we in wezen autonome zonne-installaties bekijken die los staan van het openbare net. Deze kunnen worden gebruikt om elektrische energie op te wekken waar een netaansluiting te kostbaar zou zijn (denk aan een schuur op een volkstuincomplex) of onmogelijk (zoals op een motor- of zeilboot). Doorgaans zijn dit systemen met een laag vermogen die een piekbelasting van enkele watt tot een paar kilowatt aankunnen.

Aangezien de teruglevertarieven blijven dalen, worden nieuwe, eenvoudige ontwerpen voor vaste PV-installaties die de opgewekte energie voor huiselijk gebruik lokaal opslaan in accu's (in plaats van terug te leveren aan het openbare elektriciteitsnet) steeds zinvoller. Deze installaties hebben doorgaans een maximaal nominaal vermogen van enkele kWp ('kilowatt-piek'). Laten we deze kleinschalige systemen eens nauwkeuriger bekijken.

## Weringsprincipe

Een off-grid PV-installatie bestaat uit minimaal drie componenten: het zonnepaneel zelf, een vorm van energie-opslag zoals een accu, en tot slot een laadregelaar die ervoor zorgt dat de accu niet overladen wordt. Voor kleinere systemen, die doorgaans op 12 V werken, is dat (in theorie) alles wat nodig is. Als er echter een 230V<sub>AC</sub>-uitgang nodig is bij 50 of 60 Hz, komt een vierde component in het spel: een omvormer. **Figuur 1** toont een typische viercomponenten-oplossing: oppervlakkig ziet het er heel eenvoudig uit, maar zoals altijd zit het venijn in de details. Hieronder zullen we daarom de afzonderlijke componenten bekijken.

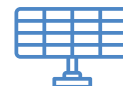
We gaan uit van een praktijkvoorbeeld: Klaus, een goede vriend van mij, besloot

een 12V-systeem in zijn schuur te installeren vanwege de lage prijs en de acceptabele afmetingen van de betrokken componenten. Om het systeem te ontwerpen en de componenten te specificeren, moeten eerst twee vragen worden beantwoord.

## Energie en vermogen

De eerste vraag die moet worden beantwoord, is hoeveel energie het systeem in totaal moet opslaan. Dit heeft rechtstreeks invloed op de capaciteit die de accu moet hebben; daarom is het noodzakelijk om de gemiddelde belasting van de installatie in te schatten. Een belangrijke factor is het aantal bewolkte dagen dat het systeem moet kunnen 'overleven'. Klaus wil een boormachine in zijn schuur kunnen gebruiken en af en toe een kop thee zetten; deze niet vaak voorkomende belastingen hebben echter geen significante invloed op de berekening van de gemiddelde belasting. Belangrijker is de wens om altijd koel bier onder handbereik te hebben: dit vereist een 12V-koelkast die continu in bedrijf is, met een gemiddeld opgenomen vermogen van 20 W. Het systeem moet minimaal één dag zonder zon kunnen werken.

De tweede vraag is het vereiste piekvermogen.



Hieruit kunnen we de maximale stroom berekenen die aan de accu zal worden onttrokken, en dus ook de parameters van de laadregelaar (en omvormer, indien gebruikt) specificeren. Meestal is deze vraag heel eenvoudig te beantwoorden: in het geval van de volkstuin van mijn vriend was het antwoord 1 kW, het stroomverbruik van de boiler, een standaard boormachine en eventueel een waterpomp, die allemaal werken op 230 V.

### Het zonnepaneel

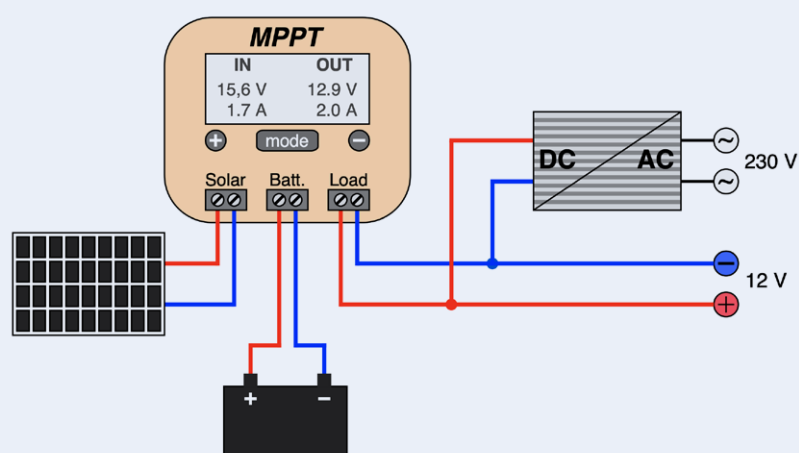
Over een periode van 24 uur verbruikt de koelkast in de schuur van Klaus maximaal 500 Wh. Hoewel hij in een zonnig deel van Zuidwest-Duitsland woont, wordt het dak van zijn schuur helaas door een boom overschaduwd en kan het paneel daar dus niet gemonteerd worden. In plaats daarvan moet het verticaal op zuidwand van de schuur worden bevestigd, waardoor het vermogen met ongeveer 30% afneemt in vergelijking met de optimale hoek ten opzichte van de zon. Het paneel zal dus ongeveer 40% overgespecificeerd moeten worden om dit verlies te compenseren. Gelukkig is er voldoende ruimte beschikbaar en is de prijs van panelen de laatste jaren flink gedaald. Een voordeel van verticale montage is dat er in de 's winters geen sneeuw op het paneel blijft liggen en dat bovendien de opbrengst bij laagstaande zon zal toenemen: in het gunstigste geval blijft het bier ook op zonnige winterdagen koel. Nu kunnen we het vereiste uitgangsvermogen van het paneel berekenen. In dit deel van Duitsland kunnen we rekenen op een totale invallende energie van meer dan 1200 kWh/m<sup>2</sup> gedurende een jaar. Bovenop het verwachte dagelijkse energieverbruik moeten we een veiligheidsmarge van 100% aanhouden, en dus moeten we voor 500 Wh/dag (van lente tot herfst) streven naar een opbrengst van 1 kWh/dag. Op basis van 8 uur zonschijn per dag komen we voor ons paneel uit op een benodigd vermogen van ongeveer 125 Wp. Daar komt de compensatie voor verticale montage bij, zodat we uitkomen op 175 Wp. Dat betekent dat we een 180W-paneel nodig hebben, dat prima op de wand van de schuur past (**figuur 2**).

### De accu (of accu's)

De energie die nodig is om één dag reservevermogen te leveren, is minimaal 500 Wh. Bij een nominale spanning van 12 V hebben

we een accu nodig met een capaciteit van minimaal 40 Ah. Aangezien onze omvormer is gespecificeerd voor een uitgangsvermogen van 1 kW, moeten we er ook rekening mee houden dat deze bij maximale belasting een stroom van ten minste 85 A op zijn ingang zal trekken. Dat is een belangrijke overweging bij

het kiezen van de accu. Maar eerst moeten we beslissen welk type accu we gebruiken. Een lithium-accupakket van 40 Ah kan deze stroom (ongeveer 2 'C', of twee keer de stroom die de batterij gedurende een uur kan leveren) comfortabel aan vanwege de geringe inwendige weerstand. Zo'n accupakket kost echter



*Figuur 1. De standaard aansluiting van de vier componenten die normaal gesproken worden aangetroffen in een off-grid zonne-installatie. De omvormer aan de rechterkant is alleen nodig als ook 230V-apparatuur moet worden gevoed.*

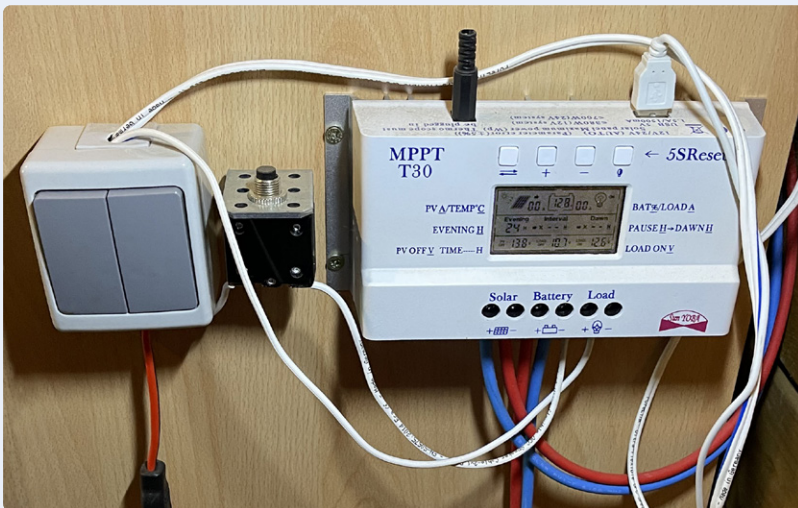


*Figuur 2. Het 12V-zonnepaneel is verticaal tegen de wand gemonteerd. Het heeft een vermogen van 180 Wp.*





Figuur 3. Drie 12 V-lood/gelaccu's van elk 36 Ah zijn parallel geschakeld om als energieopslag in de schuur van Klaus te fungeren.



Figuur 4. Van links naar rechts: lichtschakelaar, 30 A elektromagnetische onderbreker en MPPT-laadregelaar.



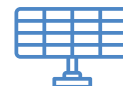
Figuur 5. Dit soort laadregelaars heeft zeker geen MPPT-functionaliteit (zelfs als er een sticker met die letters op zit!) (bron: Department of Energy van de Verenigde Staten).

gemakkelijk meer dan € 250 en moet zorgvuldig onderhouden worden. In plaats daarvan koos Klaus voor een eenvoudige loodaccu die een fractie van die prijs kostte. Een auto-accu zou een voor de hand liggende keuze zijn, aangezien deze ontworpen zijn voor hoge piekstromen. Ze hebben echter nadelen: gering rendement, korte levensduur en hoge zelfontlading. Daarom koos hij als compromis voor een gelaccu: dit type houdt echter niet van grote ontladstromen en daarom werden twee accu's van elk 36 Ah parallel geschakeld. Deze combinatie biedt nominaal 864 Wh aan opgeslagen energie en kost iets minder dan € 150.

In direct zonlicht levert het geselecteerde zonnepaneel zoveel stroom dat het de batterijen gemakkelijk in één dag volledig kan opladen, en hun capaciteit is voldoende om 1,5 dag zonder zonneschijn te dekken. Ik had mijn twijfels over het hoge stroomverbruik aan de ingang van de omvormer, maar Klaus besloot het te proberen en als twee batterijen onvoldoende zouden blijken, nog een andere te kopen en deze parallel aan te sluiten. Met het systeem geïnstalleerd en de accu's volledig opgeladen, hebben we een eerste test uitgevoerd met een 1kW-boiler. Tijdens bedrijf daalde de spanning op de accuklemmen naar 11,7 V, maar desondanks was het geen probleem om een halve liter water aan de kook te brengen. Ruw geschat is het rendement van de accu (uitgangsenergie gedeeld door ingangsenergie) bij deze forse stromen maximaal 50% en is de stroom niet bevorderlijk voor de gezondheid van de accu. Daarom is er nog een 36Ah-accu besteld en aangesloten (**figuur 3**). Daarmee is de initiële klemspanning bij ontlading met 85 A een acceptabele 12,6 V; de totale capaciteit is toegenomen tot bijna 1,3 kWh, goed voor meer dan twee dagen reserve.

### De laadregelaar

Een zoektocht bij eBay of gespecialiseerde postorderaars levert een breed scala aan laadcontrollers op. Controllers voor stromen van 10 A gaan voor niet meer dan € 15 over de toonbank. Een 180Wp-paneel levert echter maximaal 15 A bij 12 V, dus we hebben een controller nodig die geschikt is voor minimaal 20 A: deze kosten ongeveer € 20. Als de laadregelaar moet worden aangesloten zoals in figuur 1, is het verstandiger om



een 100A-versie te kiezen, die waarschijnlijk net geen € 50 kost. Laten we nu ingaan op de details.

De laadcontroller heeft de taak om de accu op te laden met behulp van het vermogen dat door het paneel wordt geleverd, en het laadproces te beëindigen wanneer een drempelspanning wordt bereikt. Dit zorgt ervoor dat de aangesloten accu niet wordt overladen en beschadigd raakt. Bijna alle laadregelaars controleren ook de aangesloten belasting en zorgen ervoor dat die wordt afgekoppeld zodra een andere (lagere) spanningsdrempel wordt bereikt, nu om de accu te beschermen tegen diepe ontlading. Ze gebruiken steevast een microcontroller en daarom kunnen de meeste worden geconfigureerd voor verschillende soorten accu's, waaronder lood/zuur-, lood/gel- en lithium. Ze passen zich ook automatisch aan een nominale klemspanning van 12 V of 24 V aan. Vaak is het ook mogelijk om de onder- en overspanningsdrempels handmatig in te stellen.

De volgende overweging is de topologie van de lader. Alle goedkope exemplaren werken op basis van PWM, zelfs als er 'MPPT' op het apparaat staat: labels zijn goedkoop, maar een 'echte' MPPT-lader is beter, ingewikkelder en daarom ook duurder.

Bij een PWM-controller wordt de laadstroom zo geregeld dat de uitgangsspanning van het

paneel net boven de actuele klemspanning van de accu ligt. De accu wordt dan geladen met de maximaal haalbare stroomsterkte, afhankelijk van de hoeveelheid invallend licht op het paneel en de grootte ervan, en van de laadtoestand van de accu onder een breed scala van omstandigheden. De schakeling hiervoor heeft slechts een simpele microcontroller en een power-MOSFET nodig: een goedkope oplossing, maar niet optimaal. Het uitgangsvermogen van een paneel wordt gegeven door het product van de uitgangsspanning en de uitgangsstroom. Voor elk paneel en verlichtingsniveau is er een punt waarop dit product maximaal is; bijna altijd ligt bij dit maximale vermogenspunt de uitgangsspanning van het paneel boven de accuspanning. Een MPPT-controller (*maximum power point tracking*) bepaalt continu waar dit optimale punt zich bevindt en stuurt een step-down spanningsregelaar aan zodat deze de optimale stroom trekt en het maximaal haalbare uitgangsvermogen levert. In het beste geval kan het uitgangsvermogen van een MPPT-controller 30% hoger zijn dan dat van een PWM-controller. Daar hangt echter een prijskaartje aan: zelfs een goedkope MPPT-controller kost meer dan € 50, en een exemplaar van een bekend merk kost minstens € 100. De 30A-laadregelaar in **figuur 4** is een goedkoop MPPT-type



*Figuur 6. Deze 1kW-omvormer van Ective is in de loop van de tijd zeer stabiel en betrouwbaar gebleken.*

dat ongeveer € 60 kost, maar Klaus vond dat het extra uitgangsvermogen het geld waard was. Als u op zoek bent naar een MPPT-controller, vermijd dan types zoals in **figuur 5**: die worden in verschillende kleurtjes en met verschillende etiketten aangeboden.

Advertentie

## PERFORMANCE. RELIABILITY. SERVICE.

Optocouplers by Würth Elektronik



WÜRTH  
ELEKTRONIK  
MORE THAN  
YOU EXPECT

### Optocouplers by Würth Elektronik

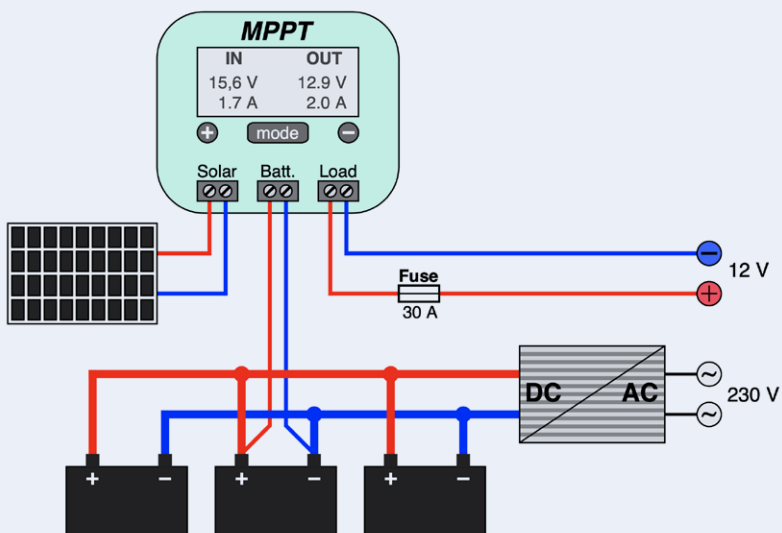
With the new optocouplers, Würth Elektronik presents one of the latest additions to its optoelectronic product portfolio. The innovative design features a coplanar structure and high-grade silicon for total internal reflection. The coplanar design ensures the isolation gap stay fixed during the production process and provide perfect isolation and protection for your application. The total internal reflection provide stable CTR over the whole temperature range and high CTR even at low current operation.

Provided in all industry standard packages. Available with all binnings ex stock. Samples free of charge: [www.we-online.com/optocoupler](http://www.we-online.com/optocoupler)

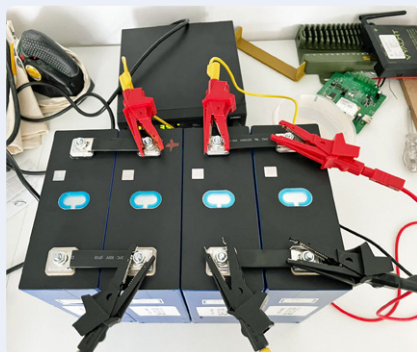
- Innovative coplanar design
- High grade silicon encapsulation
- Copper leadframe for high reliability
- Stable CTR over whole temperature range
- High CTR in low current operation

WE meet @ PCIM Europe  
Hall 6, Booth 402





Figuur 7. In de installatie van Klaus wordt de omvormer direct aangesloten op de accu en is de 12V-uitgang van de laadregelaar voorzien van extra beveiliging.



Figuur 8. De LiFePO4-accu's worden getest voordat ze in de boot van Martin worden geïnstalleerd (bron: Martin Jepkens).



Figuur 9. Het door Martin en Detlev gekozen opvouwbare zonnepaneel kan onderweg benedendeks worden opgeborgen. Het heeft een vermogen van 120 Wp (bron: Martin Jepkens).



Figuur 10. Handleiding voor het installeren van de laadregelaar in de boot van Detlev.

## De omvormer

Als u een 230V<sub>AC</sub>-uitgang nodig hebt, dan is een omvormer essentieel. Aan goedkope exemplaren met onwaarschijnlijke vermogensspecificaties en uitgangsgolfvormen die op zijn best in de verte verwant zijn aan een sinus, kunnen we het beste met een grote bocht voorbij gaan. Wat we niet mogen vergeten is dat de specificatie voor het maximaal continu vermogen is gegeven voor een ohmse belasting. De 1kW-omvormer van Klaus is uitstekend geschikt voor een 1-kW 500-ml-boiler; maar de situatie met een inductieve of, minder vaak, capacatieve belasting is compleet anders. In dat geval moeten we ook het blindvermogen controleren: merk op dat het schijnbare vermogen altijd minstens even groot is als het werkelijke vermogen. Elektromotoren zijn bijzonder problematisch: deze trekken grote inschakelstromen die de ingebouwde overbelastingsbeveiliging van een omvormer met onvoldoende vermogen zullen doen aanspreken. Een marge van 100% bij draaiende motoren is zelfs voor een hoogwaardige omvormer niet overdreven. De 1kW-omvormer van Klaus (figuur 6) kan comfortabel een elektrische boormachine en een waterpomp van 450 W aan. Hij kostte meer dan € 200.

## Bedrading

Zoals u waarschijnlijk op basis van de afbeeldingen tot nu vermoedde, wordt de bedrading tussen het zonnepaneel, de laadregelaar en de batterij uitgevoerd met behulp van soepel draad met een doorsnede van 6 mm<sup>2</sup>; de aansluitingen naar de 12V-sigarettenaansteker-connectoren zijn niet getekend. De verbindingen voor de parallelschakeling van de accu's zelf zijn gemaakt met draad van 16 mm<sup>2</sup>. De gebruikte draad moet dik genoeg zijn voor de te verwachten stromen: dit is geen goede plek om geld te besparen.

De omvormer wordt rechtstreeks op de accu aangesloten met 16mm<sup>2</sup>-draad om de verliezen te minimaliseren. Een directe aansluiting is alleen mogelijk als de omvormer (zoals hier) een onderspanningsbeveiliging heeft en uitschakelt om de accu te beschermen tegen diepe ontlading. De omvormer wordt alleen ingeschakeld wanneer de 230V-uitgang daadwerkelijk wordt gebruikt: het ruststroomverbruik van enkele tientallen mA zou anders

een onnodige energieverstopping betekenen. De uiteindelijke opstelling is dan zoals getekend in **figuur 7**.

### Andere off-grid systemen

De elektriciteitsvoorziening in de schuur van Klaus is een typisch voorbeeld van een off-grid PV-installatie. Diverse leveranciers bieden kant-en-klare pakketten aan bestaande uit een zonnepaneel, laadregelaar en omvormer, met verschillende nominale vermogensniveaus. Als u voor windenergie kiest, in plaats van zonne-energie, dan zijn er eveneens geschikte generatoren en laadregelaars verkrijgbaar op basis van (in grote lijnen) dezelfde principes. Zelf heb ik vorig jaar mijn robotmaaier aangepast voor autonome stroomvoorziening [2]. Hiervoor waren slechts een 50 W-paneel en een eenvoudige PWM-laadcontroller nodig, en geen omvormer. Sindsdien heb ik de accu-capaciteit vergroot van 12 Ah naar 30 Ah om regenachtige perioden beter te kunnen opvangen. Ook heb ik onlangs de PWM-laadcontroller vervangen door een betere (en duurdere) MPPT-controller; het systeem wekt nu voldoende elektriciteit op om het gazon zelfs tot ver in de herfst te maaien. Er zijn natuurlijk nog veel meer toepassingen voor off-grid elektriciteitsvoorziening. Twee andere vrienden hebben een boot: Martin schippert met zijn boot met stalen romp door het Nederlandse rivierenlandschap, terwijl Detlev de Middellandse Zee onveilig maakt met een speedboat met planerende romp. Beiden zijn vaak dagenlang weg van een ligplaats waar elektriciteit beschikbaar is en zouden daarom graag meer onafhankelijkheid willen hebben, vooral wat betreft koeling: in dit geval niet alleen voor bier, maar ook voor andere levensmiddelen. Het zou ecologisch onacceptabel en ook uitgesproken inefficiënt zijn om de motor regelmatig te laten draaien om de boordaccu op te laden; daarom hebben ze zonnepanelen geïnstalleerd.

Nu is Martin een slimme ingenieur en heeft hij mijn advies niet nodig. Toch bespreekt hij af en toe zijn ideeën met mij. Hij vroeg zich af of de generator op zijn boot niet overbelast zou kunnen raken als hij er per ongeluk een enorme 200-Ah LiFePO<sub>4</sub>-accu op zou aansluiten. Waarom dat gevaarlijk is ziet u in een YouTube-video [3]. **Figuur 8** toont zijn opstelling voor het testen van de capaciteit: hij koos voor een LiFePO<sub>4</sub>-accu, voornamelijk vanwege de lange levensduur, maar ook

vanwege de compacte afmetingen vergeleken met accu's op loodbasis. In de boot van Martin is de boordaccu gescheiden van de startaccu. Om de dynamo te ontlasten, worden de accu's bij draaiende motor elk via een eigen laadregelaar geladen. Met een opvouwbaar zonnepaneel van 120 Wp plus laadregelaar kan ook onderweg worden geladen (**figuur 9**). Door ruimtegebrek zijn vast geïnstalleerde zonnepanelen op de speedboat van Detlev niet mogelijk. Hij besloot daarom hetzelfde type zonnepaneel te gebruiken als Martin, al wist geen van beiden waarvoor de ander had gekozen! Detlev weet weinig van elektronica en wilde in eerste instantie zijn extra 120A-boordaccu gebruiken omdat die nog vrij nieuw was. Ik deed wat berekeningen voor hem en adviseerde hem dat het gebruik van de sigarettenaansteker-aansluiting op de 'brug' van zijn boot voor het zonnepaneel vanuit het oogpunt van betrouwbaarheid geen goed idee was: ik stelde voor om

in plaats daarvan een waterdichte Neutrik-connector te gebruiken. Ik heb die connector voorbedraad en een installatiehandleiding opgesteld (**figuur 10**) voor de bouw van zijn boot, zodat het hele systeem in de haven van Istrië kon worden geïnstalleerd. De combinatie van een opvouwbaar 120Wp-paneel plus een Victron Energy MPPT-laadcontroller kwam op een totaal van net geen € 500. De laadregelaar heeft een Bluetooth-verbinding en alle parameters en grafieken via een smartphone-app worden bekeken.

### Het semi-off-grid huis

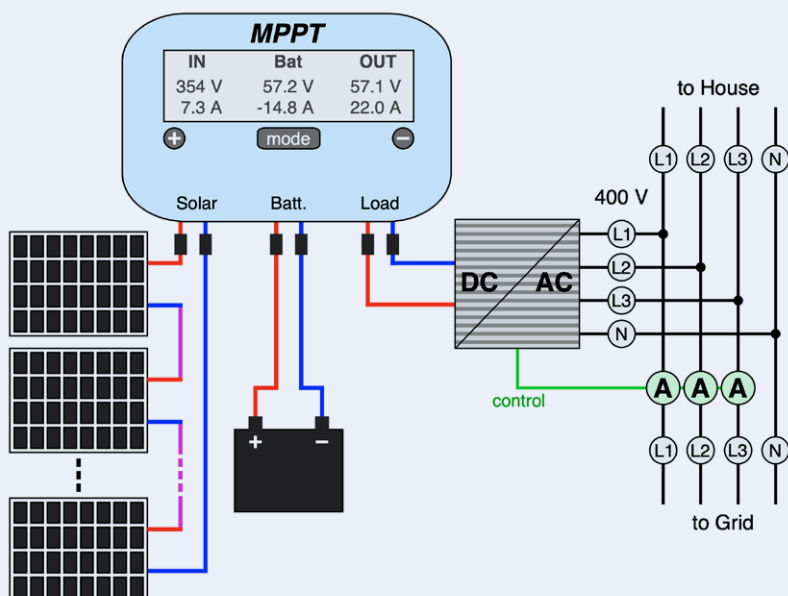
Nu de teruglevertarieven blijven dalen, groeit de belangstelling voor een vaste PV-installatie die zo goed mogelijk alle opgewekte energie voor huishelijk gebruik beschikbaar stelt. Een array van bijvoorbeeld 10 moderne zonnepanelen kan zo'n 3,75 kWp leveren; een geschikte MPPT-PV-controller zou dan een LiFePO<sub>4</sub>-accu kunnen opladen met een capaciteit van

Advertentie



**Dirksen Opleidingen**

Je volgt bij ons zelfstudies, e-learnings, trainingen en erkende mbo- en hbo-opleidingen binnen de technische ICT.



Figuur 11: Semi-off-grid PV-installatie voor een huis. De driefasige stroommeting stuurt de omvormer zo aan dat er geen elektrische energie in het net wordt geleverd.

bijvoorbeeld 6,5 kWh; en dan zou een driefase-omvormer kunnen worden bestuurd met behulp van een inrichting om de stroom te monitoren (de drie ampèremeters rechtsonder in **figuur 11**) om ervoor te zorgen dat er in geen geval elektrische energie in het net wordt gestuurd. Alle 'stroom' wordt dus lokaal gebruikt. Aangezien elektriciteit in Europa in

2022 ongeveer € 0,35 per kWh kost, is dit een bijzonder aantrekkelijke optie: niet alleen is geen complexe en ook dure netgekoppelde omvormer met geïntegreerde laadelektronica voor de accu nodig, ook wordt veel bureaucratie voorkomen: altijd de moeite waard! (Houd er rekening mee dat zo'n installatie wellicht niet in alle landen legaal is.)

In de opstelling in figuur 11 lopen de besparingen door het gebruik van het simpele ontwerp op tot € 1000 tot € 2000. Het zou een paar jaar duren om eenzelfde bedrag via teruglevering te verdienen. Het duurste onderdeel van het systeem is de accu: een LiFePO<sub>4</sub>-accu van 6,5 kWh kost meer dan € 3000. Met gegarandeerd 6000 laadcycli bij een onlaaddiepte van 90% betekent dit dat er ongeveer 36 MWh aan energie via de accu is gelopen, zodat die ongeveer € 0,09 per kWh kost. Bovendien is de accu dan nog niet helemaal 'op' en zal de effectieve kostprijs per kWh dus nog lager zijn. Gedurende de levensduur van de accu kan een oplossing als deze een besparing van ongeveer € 13.000 opleveren, alleen door gebruik te maken van lokaal opgewekte energie. Als ook een elektrisch voertuig wordt opgeladen (in een bescheiden tempo), kan zo'n installatie zich binnen enkele jaren terugverdienen. ◀

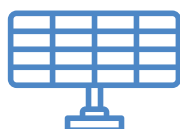
210644-03

### Een bijdrage van

Tekst en illustraties (tenzij anders vermeld): **dr. Thomas Scherer**  
 Redactie: **Jens Nickel**  
 Vertaling: **Eric Bogers**  
 Layout: **Harmen Heida**

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



### GERELATEERDE PRODUCTEN

- > PeakTech 4350 Clamp Meter (SKU 18161)  
[www.elektor.nl/18161](http://www.elektor.nl/18161)
- > Pokit-meter: Portable Multimeter, Oscilloscope and Logger (SKU 19854)  
[www.elektor.nl/19854](http://www.elektor.nl/19854)
- > PeakTech 3445 True RMS Digital Multimeter with Bluetooth (SKU 18774)  
[www.elektor.nl/18774](http://www.elektor.nl/18774)

### WEBLINKS

- [1] Dr. T. Scherer, "Zonnepanelen op je balkon", Elektor Magazine september/oktober 2021: [www.elektormagazine.com/210326-03](http://www.elektormagazine.com/210326-03)
- [2] Dr. T. Scherer, "Zonne-energie voor maairobots", Elektor Magazine juli/augustus 2021: [www.elektormagazine.com/200553-03](http://www.elektormagazine.com/200553-03)
- [3] Victron Energy, "How to not blow up your alternator when charging lithium", YouTube: [www.youtube.com/watch?v=jgolocPgOug](https://www.youtube.com/watch?v=jgolocPgOug)