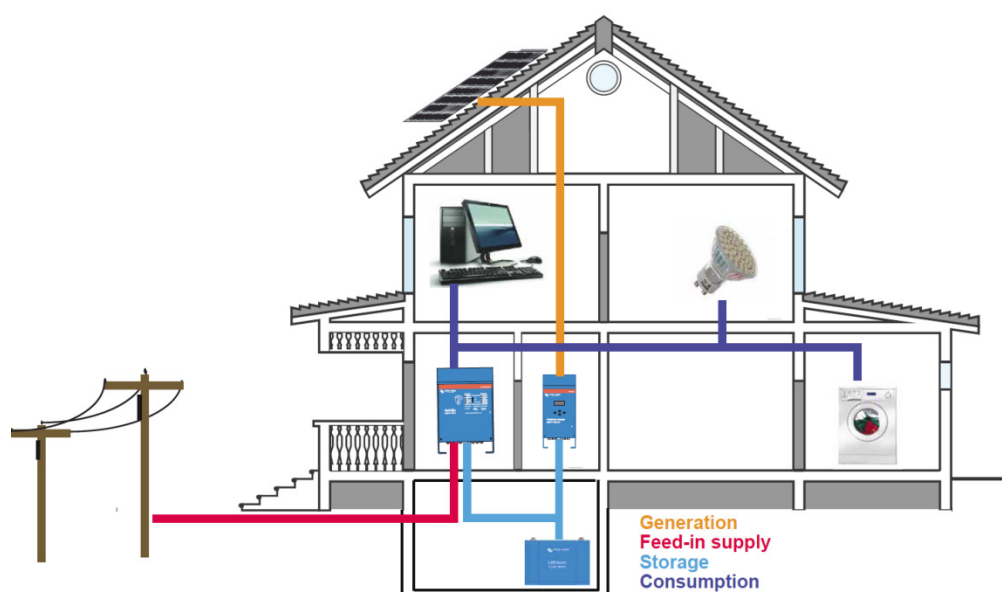


Eigen verbruik of onafhankelijk zijn van het elektriciteitsnet

met de Victron Energy Storage Hub (opslaghub)



1. Inleiding

2. Drie systeemalternatieven

2.1. VE Storage Hub-1

2.2. VE Storage Hub-2

2.3. VE Storage Hub-3

3. Essentieel kenmerk van de drie systeemalternatieven: GridAssist

4. Korte beschrijving van de hoofdonderdelen van de VE Storage Hub

4.1. Accu: loodzuur- of Li-ion, deel 1

4.2. MultiPlus en Quattro omvormer/laders

4.3. BlueSolar MPPT solar laadcontroller

4.4. FV-omvormer

5. Stroomverbruik thuis

Basisbelasting (categorie 1-belastingen)

Overige plug-in toestellen (categorie 2-belastingen)

Niet-verplaatsbare belastingen (categorie 3-belastingen)

6. Efficiëntie van de Hub

7. De Hub voor het netgekoppelde huis

7.1. Basisbelasting van stroom voorzien door Hub-1 en een Li-ion accu

7.2. Basisbelasting plus overige plug-in toestellen (categorie 2- en 3-belastingen) van stroom voorzien door Hub-1

7.3. Basisbelasting van stroom voorzien door Hub-2 of -3

7.4. Basisbelasting plus overige plug-in toestellen van stroom voorzien door Hub-2 of -3

7.5. Wat te doen als het 's winters donker en regenachtig is?

8. De autonome Hub

8.1. Micro-CHP

8.2. Door dieselmotor aangedreven generator

9. Definitie: 100% FV-installatie en 100% accu

10. Kosten

10.1. Eigen verbruik: optimale opslagcapaciteit

10.2. Autonoom: optimale opslagcapaciteit

10.3. Accu: loodzuur- of Li-ion, deel 2

10.4. FV-installatie

10.5. Voorbeelden: kosten van de hoofdonderdelen

1. Inleiding

De hoeveelheid stroom die wordt opgewekt met zonne- en/of windenergie komt nooit overeen met het werkelijke stroomverbruik. Daarom wordt er stroom aan het elektriciteitsnet geleverd wanneer er te veel stroom wordt opgewekt, en wordt er stroom aan het elektriciteitsnet onttrokken wanneer er onvoldoende stroom wordt opgewekt.

Terwijl er steeds meer stroom wordt opgewekt met zonne- en windenergie, wordt het steeds moeilijker en duurder om het elektriciteitsnet stabiel te houden.

Tussentijdse energieopslag wordt steeds meer een essentieel hulpmiddel om stroomfluctuaties op het elektriciteitsnet binnen beheersbare grenzen te houden.

Bovendien wordt, door de dalende vergoedingen voor opgewekte zonnestroom, de keuze voor een energieopslagsysteem steeds vanzelfsprekender.

Door tussentijdse energieopslag neemt het eigen verbruik van opgewekte zonne- en/of windenergie stroom toe. De logische volgende stap is het realiseren van 100% eigen verbruik en onafhankelijkheid van het elektriciteitsnet.

De Victron Energy Storage Hub biedt de oplossing en meerdere aanvullende voordelen

Doordat we wereldwijd tienduizenden autonome en met het elektriciteitsnet interactieve systemen hebben geïnstalleerd, hebben we de ervaring en de producten om het optimale systeem te ontwerpen.

- **Accu**
Het hart van de Hub wordt gevormd door de accu. Deze wordt geladen als er te veel stroom door zonne-/windenergie wordt opgewekt en ontladen wanneer het verbruik hoger is dan de productie.
OPzS- en OPzV-buisjesplaat-loodzuuraccu's hebben bewezen erg goed te presteren in zowel autonome als met het elektriciteitsnet interactieve systemen.
Een Li-ion accu heeft echter de voorkeur wanneer een hoge laad-/ontlaad efficiëntie, geringe afmetingen en een laag gewicht belangrijk zijn.
Zie de paragrafen 4.1 en 9.3 voor meer informatie.
- **Elektriciteitsnet-vriendelijk**
De Hub kan worden gebruikt voor het verminderen van zowel de piekvraag aan stroom van het elektriciteitsnet (door de accu te ontladen) als de teruglevering van piekstroom aan het elektriciteitsnet (door de accu te laden).
Zie paragraaf 9.1 voor meer informatie.
- **Helpt een stroomuitval te overbruggen**
De in de accu opgeslagen energie kan worden gebruikt om essentiële apparatuur tijdens een stroomuitval van stroom te voorzien.
- **Onafhankelijk van het elektriciteitsnet**
Met voldoende accucapaciteit en, indien nodig, een micro-CHP of back-up generatorset, kan volledige onafhankelijkheid van het elektriciteitsnet worden bereikt.

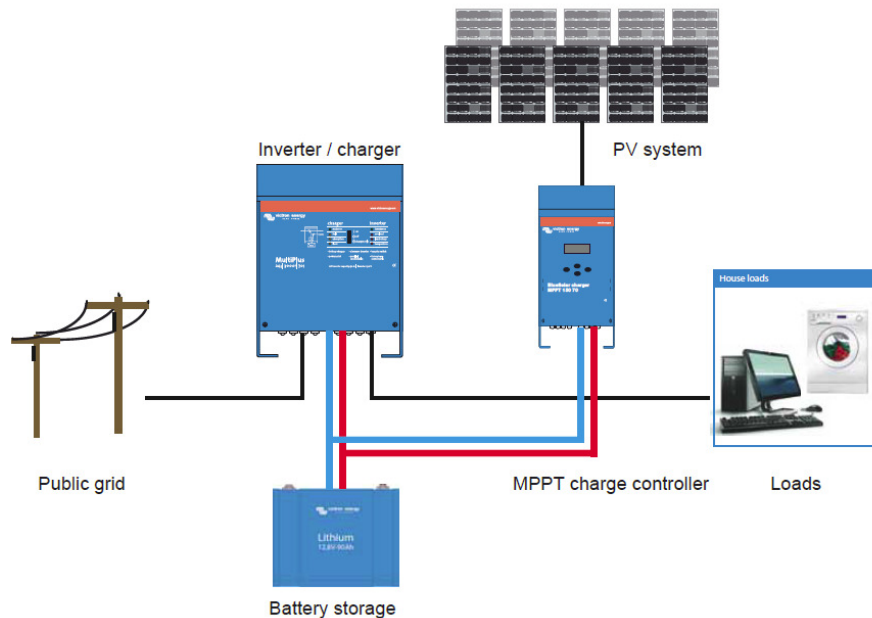
- **Flexibel**
We bieden niet één Hub maar drie alternatieve configuraties die elk aan specifieke vereisten kunnen worden aangepast.
- **In het veld upgradebaar**
In een later stadium kan extra zonne-/windenergie en accuopslagcapaciteit worden aangesloten.

2. Drie systeemalternatieven

2.1. VE Storage Hub-1

Hub-1 is de oplossing met de hoogste efficiëntie wanneer het grootste deel van de geproduceerde energie in de accu moet worden opgeslagen voordat deze wordt gebruikt.

Het is bovendien de eenvoudigste, meest robuuste en goedkoopste oplossing.



De BlueSolar MPPT laadcontroller gebruikt zonne-energie om de accu te laden.

De opgeslagen energie wordt door een MultiPlus of Quattro omvormer/lader gebruikt om de belasting van AC-stroom te voorzien en een overschot aan stroom aan het elektriciteitsnet terug te leveren.

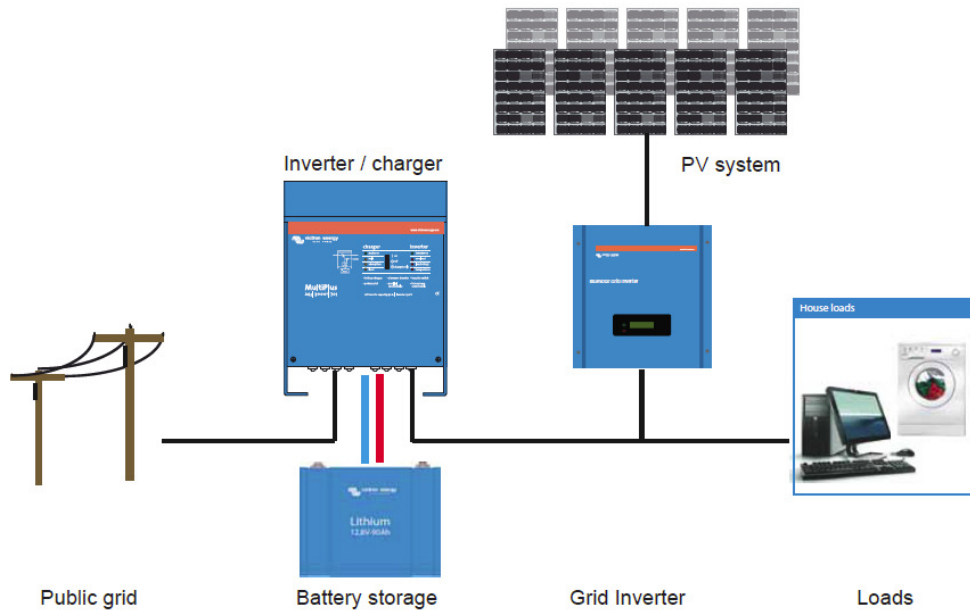
Bij een algemene stroomuitval ontkoppelt de Hub zich van het elektriciteitsnet en werkt deze verder als autonoom systeem.

Als stroom aan het elektriciteitsnet wordt teruggeleverd, moet mogelijk een anti-eiland apparaat dat voldoet aan de lokale voorschriften aan het systeem worden toegevoegd.

Opmerking: Hub-1 kan worden gecombineerd met Hub-2 of -3. Een gedeelte van de zonnepanelen wordt op een laadcontroller aangesloten en de rest op een FV-omvormer.

2.2. VE Storage Hub-2

Dit is de meest praktische oplossing om accuopslagcapaciteit toe te voegen aan een bestaand netgekoppeld FV-systeem.



De DC-stroom die door de zonnepanelen wordt opgewekt, wordt naar AC-stroom omgezet door een FV-omvormer die is aangesloten op de AC-**uitgang** van een omvormer/lader. De AC-ingang van de omvormer/lader wordt op het elektriciteitsnet aangesloten. Als stroom aan het elektriciteitsnet wordt teruggeleverd, moet mogelijk een anti-eiland apparaat dat voldoet aan de lokale voorschriften aan het systeem worden toegevoegd.

De stroom van de FV-omvormer wordt direct aan de belasting geleverd.

Bij onvoldoende FV-stroom levert de omvormer/lader aanvullende stroom uit de accu of het elektriciteitsnet.

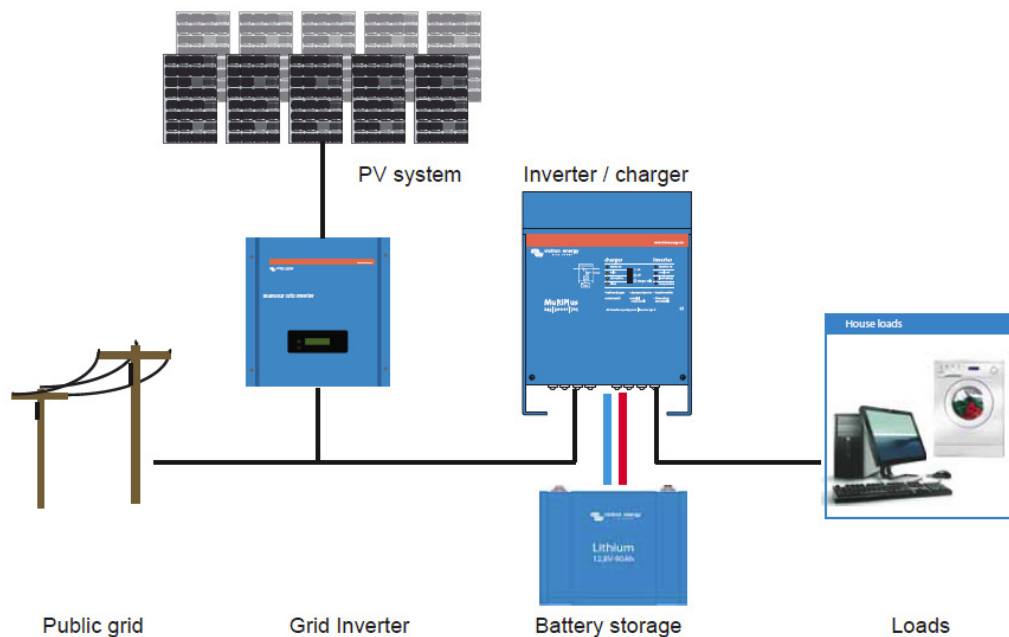
Bij een overschot aan FV-stroom gebruikt de omvormer/lader het overschot aan stroom om de accu te laden en/of deze stroom aan het elektriciteitsnet terug te leveren.

Bij een algemene stroomuitval ontkoppelt de Hub zich van het elektriciteitsnet en werkt deze verder als autonoom systeem.

Het plannen en in bedrijf stellen van deze oplossing is ingewikkelder dan Hub-1 vanwege de interactie tussen de omvormer/lader en de netomvormer.

2.3. VE Storage Hub-3

De DC-stroom die door de zonnepanelen wordt opgewekt, wordt naar AC-stroom omgezet door een FV-omvormer die is aangesloten op de AC-ingang van een omvormer/lader.



De stroom van de FV-omvormer wordt via de omvormer/lader aan de belasting geleverd. Bij onvoldoende FV-stroom levert de omvormer/lader aanvullende stroom uit de accu of het elektriciteitsnet.

Bij een overschot aan FV-stroom gebruikt de omvormer/lader het overschot aan stroom om de accu te laden. Wanneer de accu volledig geladen is, levert de FV-omvormer het overschot aan stroom aan het elektriciteitsnet.

Als de FV-omvormer al is uitgerust met een anti-eiland apparaat dat voldoet aan de lokale voorschriften, is er geen anti-eiland apparaat nodig.

In tegenstelling tot de Hub-1 en Hub-2 oplossing, wordt de FV-omvormer uitgeschakeld bij een algemene stroomstoring. De Hub blijft stroom leveren aan de belasting totdat de accu volledig ontladen is.

3. Essentieel kenmerk van de drie systeemalternatieven: GridAssist

Met behulp van GridAssist kan ervoor worden gezorgd dat de omvormer/lader minder stroom levert dan de maximale hoeveelheid stroom die de belasting vereist. Met GridAssist werkt de omvormer/lader synchroon met het elektriciteitsnet en wanneer de vereiste hoeveelheid AC-stroom hoger wordt dan de capaciteit van de omvormer/lader, wordt aanvullende stroom van het elektriciteitsnet onttrokken. Hiermee wordt voorkomen dat het systeem door overbelasting uitvalt.

GridAssist-1

Eén oplossing is om de omvormer/lader synchroon met het elektriciteitsnet te laten werken zonder dat deze hierop is aangesloten. De omvormer/lader wordt in de volgende gevallen op het elektriciteitsnet aangesloten (door het terugleveringsbeveiligingsrelais in de omvormer/lader te sluiten):

- Overbelasting van het systeem. Er wordt aanvullende stroom uit het elektriciteitsnet gebruikt totdat de belasting is afgenomen tot een niveau dat de omvormer/lader aankan.
- Een overschot aan stroom opgewekt door FV-cellen of windenergie wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet (als dit volgens de lokale voorschriften is toegestaan).

GridAssist-2

Het alternatief is om de Hub permanent op het elektriciteitsnet aangesloten te houden. De omvormer/lader past zijn stroomuitvoer aan de belasting aan, zodat de hoeveelheid stroom die van het elektriciteitsnet wordt onttrokken gemiddeld nul is, behalve natuurlijk bij overbelasting of een overschot aan stroom, waarbij stroom aan het elektriciteitsnet moet worden teruggeleverd. Waarschuwing: dit vereist een stabiele netspanning!

4. Korte beschrijving van de hoofdonderdelen van de VE Storage Hub

4.1. Accu: loodzuur- of Li-ion, deel 1

Li-ion (Lithium-ijzer-fosfaat: LiFePO_4 of LFP) accu's zijn een aantrekkelijk alternatief voor loodzuuraccu's in netgekoppelde of autonome systemen. Niet alleen omdat ze kleiner en lichter zijn, maar ook omdat ze een hogere efficiëntie en een langere servicelevensduur hebben.

Efficiëntie

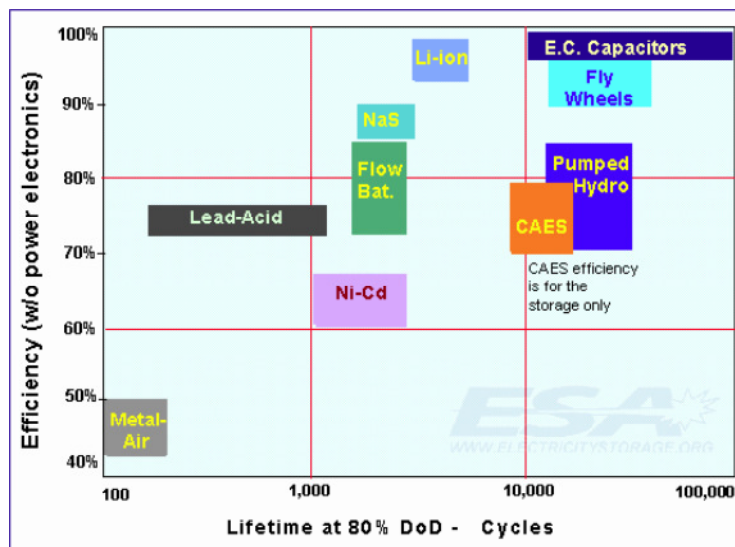
De energie-efficiëntiecyclus (ontladen vanaf 100% tot 0% en terug naar 100% geladen) van de gemiddelde loodzuuraccu is 70 tot 80%.

Het laadproces van loodzuuraccu's wordt vooral inefficiënt wanneer een laadstatus van 80% wordt bereikt. Tussen 80% en 100% is de laad efficiëntie vaak lager dan 50%. En dit wordt nog slechter bij het laden of ontladen met hoge stroom.

De efficiëntie van een loodzuuraccu is veel lager dan die van een Li-ion accu. De efficiëntie van een LFP-accu is ongeveer 92%, onder alle bedrijfsomstandigheden.

<http://www.almaden.ibm.com/institute/2009/resources/2009/presentations/ChetSandberg-AlmadenInstitute2009-panel.pdf>

http://people.duke.edu/~kjb17/tutorials/Energy_Storage_Technologies.pdf



Efficiëntie van energieopslagsystemen, uit

http://catedrasempresa.esi.us.es/endesared/documentos/jornada_almacenamiento/Pet_Hall.pdf

Servicelevensduur

De accu in een autonoom FV- en/of windenergiesysteem kan weken- of zelfs maandenlang ('s winters) niet worden opgeladen. Dit is dodelijk voor een loodzuuraccu. De accu zal vroegtijdig uitvallen door **sulfatering**.

Daarom moet bij een autonoom systeem met loodzuuraccu's constant de laadstatus van de accu in de gaten worden gehouden: wat er ook gebeurt, de accu moet regelmatig volledig worden geladen en mag nooit dagen- of wekenlang ontladen blijven.

In een netgekoppeld systeem kan de accu gemakkelijk met regelmaat volledig (100%) worden geladen.

Opmerking:

Zie voor een uiteenzetting van het sulfateringsprobleem in zonne-energietoepassingen bijvoorbeeld

http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/report_batteries_solar_photovoltaic_applications.pdf

(met name de foto's op pagina 18)

De levensduur van een LFP-accu is niet afhankelijk van de laadstatus, zolang de spanning en elke accucel binnen (ruime) grenzen wordt gehouden. Dit is precies wat een Li-ion BMS (Battery Management System, accubeheersysteem) doet. Er hoeft dus helemaal niet naar de accu omgekeken te worden.

Zie hoofdstuk 9 voor meer informatie over accu's.

4.2. MultiPlus en Quattro omvormer/laders

VE-omvormer/laders reiken van 800 VA tot 10 kVA eenfasig, en er kunnen maximaal zes 10 kVA-modules parallel worden geschakeld. Alle modellen kunnen worden geconfigureerd voor driefasig bedrijf. Alle MultiPlus en Quattro omvormer/laders kunnen geprogrammeerd worden voor naadloze integratie in Hub-1, -2 of -3.

4.3. BlueSolar MPPT solar laadcontroller

De laadcontroller zet de DC-spanning van de zonnepanelen om naar een spanning die geschikt is om de accu te laden. Er kunnen meerdere BlueSolar-controllers parallel worden geschakeld. De enige beperking is de maximale laadstroom van de accu (die bij Li-ion accu's erg hoog is). De efficiëntie van een BlueSolar MPPT laadcontroller is hoger dan 98%.

4.4. FV-omvormer

De FV-omvormer zet de DC-spanning van de zonnepanelen om naar een AC-spanning die geschikt is voor het leveren van stroom aan AC-belastingen. In een systeem zonder accu wordt al het overschot aan stroom aan het elektriciteitsnet teruggeleverd. Bij een tekort aan stroom wordt er stroom door het elektriciteitsnet geleverd.

Een FV-omvormer kan niet werken zonder een externe AC-stroombron/sink (**ACpss**). Daarom wordt de FV-omvormer uitgeschakeld als er geen **ACpss** beschikbaar is (zoals een stabiel elektriciteitsnet, geschikte omvormer of omvormer/lader).

5. Stroomverbruik thuis

De lijst hieronder van de meest gebruikte huishoudelijke toestellen en de hoeveelheid elektriciteit die deze verbruiken helpt bij het dimensioneren van de Hub.

Toestel	Vermogen	Aan-tijd	Energie/dag	Minimale basisbelasting 's zomers in een tweepersoons huishouden
Basisbelasting (categorie 1)				
Tropisch aquarium met waterverwarming	100 W	24 u	2400 Wh	
Zeer efficiënte koelkast	20 W	24 u	480 Wh	480 Wh
Zeer efficiënte vriezer (met DC-motor met permanente magneet)	20 W	24 u	480 Wh	480 Wh
Gemiddelde koelkast	50 W	24 u	1200 Wh	
Gemiddelde vriezer	60 W	24 u	1440 Wh	
Stopcontactladers en stand-by belastingen	30 W	24 u	720 Wh	720 Wh
Modem	10 W	24 u	240 Wh	240 Wh
Ventilatiesysteem	30 W	24 u	720 Wh	720 Wh
Elektrische ruimteverwarming	2000 W	12 u	24.000 Wh	
Heetwaterverwarmer (boiler)	3000 W	2 u	6000 Wh	
Centrale verwarming (aan) en waterverwarmer (aan)	130 W	8 u	1040 Wh ('s winters, op gas)	
Centrale verwarming (uit) en waterverwarmer (aan)	130 W	2 u	260 Wh	260 Wh
Centrale verwarming op stand-by	10 W	24 u	240 Wh	240 Wh
Zeer efficiënte verlichting	200 W totaal	6 u ('s winters) 3 u ('s zomers)	1200 Wh 600 Wh	600 Wh
Eén traditionele gloeilamp van 100 W	100 W	6 u ('s winters) 3 u ('s zomers)	600 Wh 300 Wh	
Elektrische vloerverwarming in de badkamer	1000 W	3 u	3000 Wh	
Radio	30 W	3 u	90 Wh	90 Wh
Lcd-tv	50 W	3 u	150 Wh	150 Wh
Grote plasma-tv	300 W	6 u	1800 Wh	
Pc	100 W	3 u	300 Wh	300 Wh
Laptop	30 W	3 u	90 Wh	90 Wh
Keuken-afzuigkap	150 W – 300 W	1 u	150 Wh	150 Wh
Totale basisbelasting 's zomers, energiebewust tweepersoons huishouden				4370 Wh

Overige plug-in toestellen (categorie 2)

Stofzuiger (opstartvermogen 2000 W of meer)	1000 W	30 m	500 Wh	500 Wh
Haardroger	800 W	6 m	80 Wh	80 Wh
Elektrische waterkoker (benodigde energie om 1 liter water aan de kook te brengen: 120 Wh)	van 1000 W tot 3000 W	3 liter water aan de kook brengen		360 Wh
Koffiezetapparaat	800 W	10 m	120 Wh	120 Wh
Overige keukentoeestellen (mixer, blender, enz.)			100 Wh	300 Wh
Totaal overige plug-in toestellen, energiebewust tweepersoons huishouden				1360 Wh

Toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact zijn aangesloten (categorie 3)

Wasmachine, met koud water gevuld	2000 W verwarming + 600 W motor		1000 Wh per wasbeurt
Wasmachine, gevuld met water	gemiddeld 600 W (piekvermogen)		400 Wh per wasbeurt
Wasmachine, gevuld met warm water, beste energieklassen	165 W		100 Wh per wasbeurt
http://www.fisherpaykel.com/admin/pdfs/pdf_usecares/4912_NZ_QuickSmart_WashSmart_UG_hi.pdf			
Wasdroger met elektrische verwarming	3000 W		3000 Wh per wasbeurt
Wasdroger met elektrische verwarming	300 W		300 Wh per wasbeurt
Wasdroger met warmtepomp	1350 W		1350 Wh per wasbeurt
http://www.atcoenergysense.com/NR/rdonlyres/635CE05C-6BD3-4421-A1D0-C54CE4DDF20A/0/ManagingElectricityatHomeWebVersion.pdf			
Afwasmachine, gemiddeld	2000 W		1100 Wh per afwasbeurt
Afwasmachine gevuld met warm water	1200 W		400 Wh per afwasbeurt
http://reg.energyrating.gov.au/comparator/product_types/			
Magnetron	2000 W		200 Wh
Elektrisch fornuis, piekvermogen	8000 W		
Gemiddeld vermogen tijdens het koken	2000 W	30 m tot 1 u	1000 Wh tot 2000 Wh
Elektrische oven	van 2000 W tot 4000 W piekvermogen	30 m	2000 Wh
Zwembadpomp	700 W	8 u	5600 Wh
Waterpomp	700 W	3 u	2100 Wh
Verwarming of koeling met waterpomp (airconditioning)			verbruik kan 10 kWh per dag of hoger zijn

Tabel 1: Elektrische voetafdruk van een aantal veelgebruikt huishoudelijke toestellen

Basisbelasting (categorie 1)

Bepaalde belastingen zijn vrijwel altijd aanwezig: samen vormen ze de basisbelasting van het huis. Alle basisbelastingen kunnen tegelijk ingeschakeld zijn.

Het is niet eenvoudig om de basisbelasting te verminderen. Er zouden schakelklokken kunnen worden geplaatst om een aantal belastingen 's nachts uit te schakelen, maar daarmee wordt hoogstens slechts 1 kWh (1 kWh = 1000 Wh) meer bespaard.

Doordat 's winters het licht vaker brandt en de verwarming vaker aan staat, is de basisbelasting 's winters aanzienlijk hoger dan 's zomers.

Op basis van tabel 1:

De minimale dagelijkse basisbelasting 's zomers is	4370 Wh
Het te verwachten piekvermogen is	660 W
En het gemiddelde vermogen	182 W

's winters (in een gematigd klimaat) neemt doordat het licht langer brandt en de centrale verwarming vaker aan staat, de minimale basisbelasting toe tot	5750 Wh
Het piekvermogen neemt niet toe	660 W
Maar het gemiddelde vermogen wel	240 W

In een groter huis en/of meer bewoners kan de basisbelasting 's zomers gemakkelijk oplopen tot

8000 Wh

En 's winters **11.000 Wh**

Opmerking:

In een klein kantoor of kleine werkplaats kan de basisbelasting relatief nog veel hoger zijn (tijdens werkuren) in verhouding tot de overige belastingen.

Overige plug-in toestellen (categorie 2)

Plug-in toestellen kunnen op elk stopcontact overal in het huis worden aangesloten. Dit geldt vooral voor de stofzuiger. Het is daarom vrijwel onmogelijk om de basisbelasting te scheiden van met name de stofzuiger, omdat deze tijdens het gebruik 1000 W en voor het opstarten nog meer vermogen opneemt. Het is echter onwaarschijnlijk dat alle plug-in toestellen tegelijkertijd worden gebruikt.

Toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact zijn aangesloten (categorie 3)

In de meeste huizen in Europa worden de wasmachine en de afwasmachine met koud water gevuld en heeft de wasdroger een elektrische verwarming. Als ze niet tegelijkertijd en om de dag worden gebruikt vertegenwoordigen deze toestellen een piekbelasting van 3 kW, en met de magnetron erbij is er dagelijks gemiddeld 3 kWh energie nodig.

Vaak is het mogelijk om de bedrading anders aan te leggen, zodat deze belastingen volledig gescheiden worden van de basisbelasting en de belasting van de overige plug-in toestellen.

Bovendien kan heel eenvoudig worden voorkomen dat ze tegelijk aan staan.

Opmerking:

Tabel 1 laat zien dat veel kan worden gedaan om de voor deze toestellen benodigde hoeveelheid elektrische energie en (piek)vermogen te verminderen.

De verdeling van de belastingen in drie categorieën levert interessante inzichten op en helpt bij het discussiëren over de mogelijkheden en beperkingen van eigen verbruik of autonome systemen.

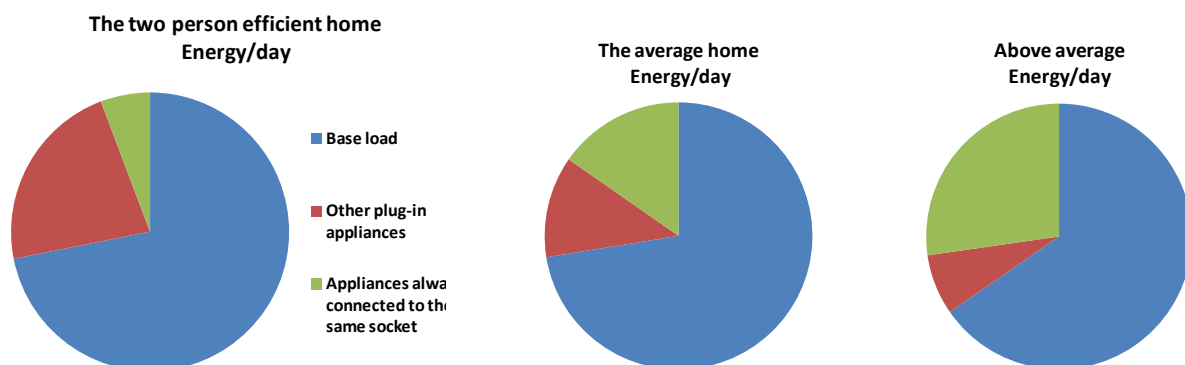
In tabel 2 hieronder vindt u een overzicht van de elektrische voetafdruk van de drie belastingcategorieën

Belasting categorie	Tweepersoons energiebewust huishouden			Het gemiddelde huis			Bovengemiddeld		
	Energie per dag Wh	Piek-vermogen W	Gemiddeld vermogen W	Energie per dag Wh	Piek-vermogen W	Gemiddeld vermogen W	Energie per dag Wh	Piek-vermogen W	Gemiddeld vermogen W
Basisbelasting ('s zomers)	4.370	660	182	8.380	1.305	349	18.960	2.560	790
Overige plug-in toestellen	1.360	2.000	57	1.640	2.000	68	1.920	2.000	80
Altijd op hetzelfde stopcontact aangesloten toestellen	350	1.200	15	2.050	2.500	85	7.100	12.600	296
Totaal ('s zomers)	6.080	3.860	253	12.070	5.805	503	27.980	17.160	1.166
Extra basisbelasting 's winters	1380	0	58	2760	0	115	4140	0	173
Totaal ('s winters)	7.460	3.860	311	14.830	5.805	618	32.120	17.160	1.338

Tabel 2: Energie en vermogen per belastingcategorie

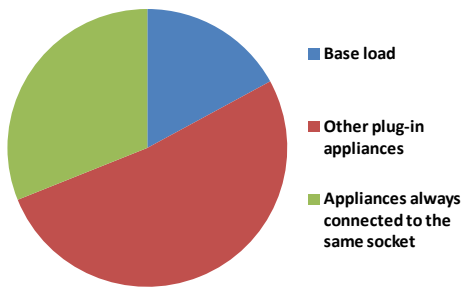
Opmerkingen:

1. Voor het geval van het tweepersoons energiebewuste huishouden zijn de meest efficiënte toestellen gekozen.
2. Het gemiddelde huis wordt bewoond door een gezin met twee kinderen en is voorzien van de elektrische apparatuur die tegenwoordig in het gemiddelde Europese huis aanwezig is.
3. Het bovengemiddelde huis is zeer comfortabel en luxe. Er is bijvoorbeeld een elektrische inductiekookplaat aanwezig. Verwarming en/of koeling met een warmtepomp (airconditioning) is weggelaten vanwege het hoge energieverbruik dient hier per geval naar te worden gekeken.
4. Bij alle voorbeelden wordt aangenomen dat apparaten met een hoog vermogen niet tegelijk worden gebruikt.

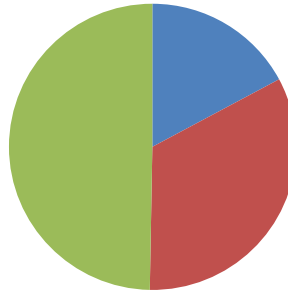


Zoals duidelijk te zien is aan de cirkeldiagrammen gemaakt op basis van tabel 2, maakt de voor de basisbelasting (blauw) benodigde energie en daarmee ook het hiervoor benodigde gemiddelde vermogen, meer dan tweederde van het totaal uit.

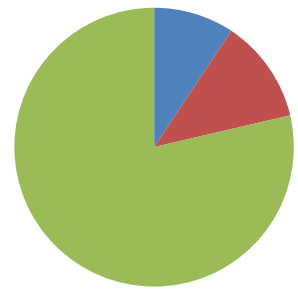
The two person efficient home
Peak power required



The average home
Peak power required



Above average
Peak power required



Maar wanneer naar het benodigde piekvermogen wordt gekeken, maakt de basisbelasting (blauw) altijd minder dan 30% van het totaal uit.

Met andere woorden: de verhouding tussen de piek en het gemiddelde van de basisbelasting is veel kleiner dan bij de andere twee categorieën: zie tabel 3.

Belasting categorie	Tweepersoons energie-bewust huishouden	Het gemiddelde huis	Bovengemiddeld
	Piek-/gemiddelde belasting	Piek-/gemiddelde belasting	Piek-/gemiddelde belasting
Basisbelasting ('s zomers)	3,6	3,7	3,2
Overige plug-in toestellen	35,3	29,3	25,0
Altijd op hetzelfde stopcontact aangesloten toestellen	82,3	29,3	42,6
Totaal ('s zomers)	15,2	11,5	14,7

Tabel 3: De verhouding tussen piek- en gemiddelde belasting van de drie belastingcategorieën

Conclusie

De **basisbelasting** zou door een accu met een 1200 VA naar 3 kVA omvormer van stroom kunnen worden voorzien.

Categorie 2- en 3-belastingen hebben meer (piek)vermogen nodig wanneer ze in gebruik zijn en er is daarom een krachtige omvormer nodig. Maar wanneer ze alleen voor korte perioden worden gebruikt is de benodigde hoeveelheid energie per dag laag. Een omvormer die het volledige huis van stroom voorziet (d.w.z. alle belastingcategorieën) levert daarom het grootste deel van de tijd op slechts een paar % van het nominale vermogen.

Bij een **op het elektriciteitsnet aangesloten huis** is het daarom een goed idee om alleen de basisbelasting met een omvormer van stroom te voorzien en de andere belastingen vanaf het elektriciteitsnet van stroom te voorzien.

Bij een **autonoom huis** is het elektriciteitsnet niet beschikbaar om bij te springen wanneer toestellen met een hoog stroomverbruik worden ingeschakeld. Daarom is er een omvormer nodig die meer vermogen kan leveren.

Het gebruik van elektriciteit om warmte te genereren (wassen, drogen, koken) is duur. Het is goedkoper om het water te verwarmen met gas of thermische zonne-energie.

Een **belastingbeheersysteem** dat belastingen inschakelt wanneer de zon schijnt, kan het zelfverbruik verbeteren. Hierbij valt te denken aan (zie tabel 1):

- Heetwaterverwarmer (boiler)
- Zwembadpomp
- Waterpomp
- Wasmachine

Maar met uitzondering van de pompen, is een betere oplossing om eerst de hoeveelheid elektrische energie die deze belastingen nodig hebben te verminderen door de toestellen te vullen met warm water (verwarmd met gas thermische zonne-energie).

6. Efficiëntie van de Hub

De Hub zit tussen de toevoer van zonne-/windenergie en de belasting. Helaas gaat er energie verloren in de Hub. De verliezen zijn niet verwaarloosbaar. Het doel van de berekening hieronder is om te laten zien waar deze verliezen vandaan komen (antwoord: de accu!).

Een lezer met haast kan de berekening overslaan en direct naar de conclusie gaan.

De verzamelde energie E_h dient voldoende te zijn voor de energie E_l die door de belasting wordt verbruikt, plus voor het compenseren van verliezen door het laden/ontladen van de accu, verliezen door stroomomzetting en verliezen in bekabeling en zekeringen.

6.1. Als alle verzamelde energie vóór gebruik in de accu wordt opgeslagen

Als bij Hub-1 0% van de verzamelde energie direct door de belasting wordt verbruikt (100% van de verzamelde energie wordt vóór gebruik in de accu opgeslagen), is de resulterende efficiëntie $\eta_o = E_l / E_h$ bij benadering:

$$\eta_o \approx \eta_i \times \eta_b \times \eta_m \times \eta_w$$

Met bijvoorbeeld:

94% efficiëntie bij de omzetting van AC naar DC door de omvormer/lader: $\eta_i \approx 0,94$

92% efficiëntie van de Li-ion accu: $\eta_b \approx 0,92$

98% efficiëntie van de MPPT-laadcontroller: $\eta_m \approx 0,98$

2% verlies in bekabeling en zekeringen: $\eta_w \approx 0,98$

is het resultaat: $\eta_o \approx 0,83$

Met een loodzuuraccu ($\eta_b \approx 0,8$ of lager, zie paragraaf 4.1)

is het resultaat: $\eta_o \approx 0,72$ of lager.

En bij Hub-2 of -3:

$$\eta_o \approx \eta_c \cdot \eta_i \cdot \eta_b \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$$

Met:

94% efficiëntie bij de omzetting van AC naar DC door de omvormer/lader: $\eta_c \approx 0,94$

94% efficiëntie bij de omzetting van DC naar AC door de omvormer/lader: $\eta_i \approx 0,94$

92% efficiëntie van de Li-ion accu: $\eta_b \approx 0,92$

97% efficiëntie van de FV-omvormer: $\eta_{pv} \approx 0,97$

1% verlies in bekabeling en zekeringen: $\eta_v \approx 0,99$

Het resultaat is: $\eta_o \approx 0,78$

Met een loodzuuraccu ($\eta_b \approx 0,8$ of lager, zie paragraaf 4.1)

is het resultaat: $\eta_o \approx 0,68$ of lager.

6.2. Als 40% van de verzamelde energie direct door de belasting wordt verbruikt

De efficiëntie η_x zal hoger zijn als een gedeelte van de verzamelde energie direct door de belasting wordt verbruikt.

In het geval van Hub-1:

$$\eta_x \approx \eta_i \cdot (X_d + \eta_b \cdot (1 - X_d)) \cdot \eta_m \cdot \eta_w$$

waarbij X_d de directe verbruiksfactor is.

$X_d = 1$ als alle energie direct wordt verbruikt, zonder tussentijdse opslag, en

$X_d = 0$ als alle energie vóór gebruik wordt opgeslagen.

Als 40% van de verzamelde energie direct door de belasting wordt verbruikt: $X_d = 0,4$ en $\eta_{40} \approx 0,86$ (met een Li-ion accu)

En in het geval van Hub-2 or -3:

$$\eta_x \approx (X_d + \eta_c \cdot \eta_i \cdot \eta_b \cdot \eta_c \cdot (1 - X_d)) \cdot \eta_{pv}$$

Met 40% van de energie direct verbruikt door de belasting: $X_d = 0,4$ en $\eta_{40} \approx 0.86$ (met een Li-ion accu)

Opmerkingen:

1. Het is duidelijk dat als een aanzienlijk percentage van de verzamelde energie direct door de belasting wordt verbruikt, wordt de grootste verbetering van de efficiëntie bereikt met Hub-2 en -3 doordat bij direct verbruik niet alleen de accu wordt omzeild, maar ook de lader/omvormer. In de praktijk zal de verbetering minder groot zijn doordat η_c en η_i afhankelijk van de belasting zijn en afnemen wanneer de gemiddelde belasting van de omvormer/lader laag wordt.
2. Zoals opgemerkt in opmerking 1, is de efficiëntie van de apparaten waaruit de Hub bestaat, niet constant. De omvormer/lader heeft een lagere efficiëntie bij lage belastingen en een maximale efficiëntie bij 75% van het nominale uitgangsvermogen. Het verlies bij geen belasting is ongeveer 1% van het nominale uitgangsvermogen.
De FV-omvormer en de solar laadcontroller presteren beter bij lage belastingen, met een verlies zonder lading van ongeveer 0,2%, respectievelijk 0,05%.
Verliezen in de bekabeling en zekeringen zijn proportioneel met het kwadraat van de stroom die erdoorheen loopt, waardoor de verliezen bij hogere belastingen snel toenemen (= afnemende efficiëntie).
De efficiëntie van de Li-ion accu is het meest constant van allemaal doordat deze vrijwel volledig onafhankelijk is van de laad-/ontlaadstroom en de laadstatus.
3. Bij het gebruik van zonne-energie zal in de meeste huizen het directe verbruik door de belasting veel lager zijn dan 40%. Vooral als iedereen het huis verlaat om naar het werk of school te gaan en 's middags laat thuiskomt, vindt vrijwel al het verbruik (met uitzondering van de koelkast en de vriezer) plaats wanneer de stroomproductie door de FV-panelen nul is.
Alleen als iedereen thuis blijft, of in het geval van een klein kantoor, hotel of ander bedrijf, kan 40% direct verbruik of meer worden bereikt.
Hub-1 is daarom altijd de meest efficiënte oplossing voor een huis dat met FV-panelen van stroom wordt voorzien.

6.3. Conclusie

Als gevolg van de voortdurende veranderingen in belasting gedurende de dag en van de ene op de andere dag, kan de efficiëntie van de Hub niet nauwkeurig worden berekend. Doordat bovendien de productie door FV-panelen en windmolens sterk schommelt, is het zinloos om de efficiëntie nauwkeurig proberen te berekenen.

In de volgende voorbeelden wordt uitgegaan van een efficiëntie van 85% van systemen met een Li-ion accu en 75% van systemen met een loodzuurbatterij.

7. De Hub voor het netgekoppelde huis

7.1. Basisbelasting van stroom voorzien door Hub-1 en een Li-ion accu

Bij een vakantiehuisje, klein kantoor of klein huis zonder categorie 2- of 3-belastingen, of als de basisbelasting gescheiden kan worden van alle toestellen met een hoog vermogen (dit laatste is niet waarschijnlijk, want in een bestaand huis moet alle bedrading anders worden aangelegd en voor een nieuw huis met de bedrading zorgvuldig worden gepland), is een 800 VA-naar-3000 VA omvormer/lader de juiste keuze.

7.1.1. Li-ion accu

Als de vereiste is om genoeg energie op te slaan om de basisbelasting gedurende een volledige zomerdag van stroom te kunnen voorzien, is er 4,4 kWh tot 19 kWh opgeslagen energie nodig (zie tabel 2 of tabellen 6-8 in hoofdstuk 9), plus 6% wegens omzettingsverlies (in de omvormer/lader) en plus 20% om de ontlading van de Li-ion accu tot 80% te beperken (zie paragraaf 9.3 voor het maximale ontladingsniveau van accu's).

De in totaal benodigde energieopslagcapaciteit loopt hierdoor uiteen van 5,8 kWh (twee persoons energiebewust huishouden) tot 25 kWh (het bovengemiddelde huis).

De capaciteit van een 24 V Li-ion accu moet daarom uiteenlopen van 240 Ah tot een gigantische 1000 Ah. In het laatste geval is het beter om te kiezen voor een 48 V accu met een capaciteit van 500 Ah (zie tabel 8). Deze accu kost net zoveel in aanschaf, maar de DC-bekabeling is goedkoper en neemt minder ruimte in beslag en de laadcontroller produceert twee keer meer vermogen bij de zelfde uitgangsstroom.

Opmerkingen:

- Energie opgeslagen in de accu: $E \text{ (kWh)} = Ah \times V \times 1000$.
- In de praktijk wordt niet alle gedurende de dag geproduceerde energie opgeslagen. Een bepaalde hoeveelheid wordt direct door de belasting verbruikt, zodat de accu minder dan 80% ontladen wordt.
- Wat betreft de kabeldiameter: kabelverliezen zijn proportioneel met $R \cdot I^2$. De stroom I wordt twee keer zo laag wanneer voor 48 V in plaats van 24 V. De kabeldiameter kan dus vier keer zo klein zijn.

7.1.2. Zonnepanelen

Hierbij speelt een groot aantal parameters mee: beschikbare geschikte oppervlakte, lokaal klimaat, of een overschot aan stroom aan het elektriciteitsnet kan worden teruggeleverd, enz.

Opmerking:

De zonnebestraling op zonnige zomerdagen op zonnepanelen die op het zuiden zijn gericht met askanteling \approx breedtegraad is ruwweg 8 kWh/m²/dag en is relatief onafhankelijk van de breedtegraad. De gemiddelde bestraling in een zonnige zomermaand is 6-8 kWh/m²/dag.

<http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/redbook/>

Een zonnepaneel levert zijn nominale uitgangsvermogen (Wp) bij 25°C en 1000 W/m² bestraling.

In een laboratorium zou daarom de dagelijkse productie van een 1 kWp FV-installatie bestraald met 8 kWh/m²/dag 8 kWh bedragen.

In de praktijk zal door een niet perfecte richting, een hoge temperatuur van de panelen en de afzetting van vuil op de panelen, de productie van een 1 kWp FV-installatie bestraald met 8 kWh/m²/dag 25% lager uitvallen: 6 kWh in plaats van 8 kWh.

Bij de berekeningen in de volgende paragrafen wordt er daarom van uitgegaan dat op een zonnige zomerdag een 1 kWp installatie wordt bestraald met 8 kWh/m²/dag en 6 kWh/dag produceert, vrijwel overal ter wereld.

<https://www.nvenergy.com/renewablesenvironment/renewablegenerations/documents/PVPerformanceSummary.pdf>

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

De gemiddelde dagelijkse stroomproductie van een zonne-installatie hangt natuurlijk af van de lokale weersomstandigheden en kan lager en soms veel lager zijn dan de productie op een zonnige zomerdag: zie tabel 4.

Breedtegraad	Stad	Gemiddeld jaarlijkse productie	Gem. jaarlijkse productie/ dag/zonnige zomerdag	Gemiddelde in december* dag/zonnige zomerdag
		kWh/kWp		
60	Helsinki, Finland	800	39%	4%
61	Anchorage, AK, VS	800	38%	6%
52	Amsterdam, Nederland	900	43%	14%
48	München, Duitsland	1000	46%	18%
47	Seattle, WA, VS	1000	46%	18%
43	Marseille, Frankrijk	1500	68%	41%
41	New York, NY, VS	1250	58%	35%
37	Sevilla, Spanje	1600	74%	50%
34	Los Angeles, CA, VS	1500	70%	63%
33	Phoenix, AZ, VS	1750	81%	61%
26	Miami, FL, VS	1400	65%	56%

*De slechtste maand voor FV-productie op het noordelijk halfrond

Tabel 4: De enorme reductie van FV-productie afhankelijk van de breedtegraad

Als bijvoorbeeld de vereiste is om voldoende energie te verzamelen om de basisbelasting op een zonnige zomerdag van stroom te voorzien, is een 850 Wp installatie nodig voor het tweepersoons energiebewust huishouden en ongeveer 3700 Wp voor het bovengemiddelde huis (zie tabellen 6-8).

7.1.3. Acculading

Een Blue Solar MPPT 150/70-controller kan een 850 Wp aan, in combinatie met een 24 V accu (850 Wp* η_m * η_w / 24 V = 34 A laadstroom nodig).

Voor een 3700 Wp installatie is een 48 V accu een betere keuze, ook al zijn er dan twee MPPT 150/70-controllers nodig (3700 Wp* η_m * η_w / 48 V = 74 A laadstroom nodig).

7.1.4. Percentage van het verbruik van elektrische energie waarin wordt voorzien door FV-panelen wanneer de basisbelasting door Hub-1 en een Li-ion accu van stroom wordt voorzien

Zoals uit tabel 2 kan worden geconcludeerd levert deze simpele en relatief goedkope oplossing meer dan 70% van de benodigde hoeveelheid elektrische energie levert, in elk geval op zonnige zomerdagen.

En omdat de FV-productie nooit hoger wordt dan het verbruik, hoeft er geen stroom aan het elektriciteitsnet teruggeleverd te worden.

Opmerking:

Afhankelijk van de breedtegraad en het lokale klimaat kan een ruwe benadering van het gemiddelde percentage van het verbruik van elektrische energie waarin door de FV-installatie wordt voorzien, als volgt worden berekend:

Totaal jaarlijks verbruik van elektrische energie (zie tabellen 6-8):

$$E_y = 365 * (\text{verbruik 's zomers} + \text{verbruik 's winters}) / 2$$

Gemiddelde jaarlijkse bruikbare PV-productie (zie tabel 4): $E_{ypv} = kWp * (\text{gemiddelde jaarlijkse productie}) * (\text{efficiëntie van de hub})$

$$\text{Percentage waarin door de FV-installatie wordt voorzien: } \alpha (\%) = 100 * E_{ypv} / E_y$$

We nemen als voorbeeld een gemiddeld huis in Sevilla (Spanje) en Amsterdam:

Op basis van tabel 7: $E_y = 4788 \text{ kWh}$

Op basis van tabel 4: $E_{ypv} = 1,643 * 1600 * 0,85 = 2234 \text{ kWh}$ (Sevilla) en $1,643 * 900 * 0,85 = 1257 \text{ kWh}$ (Amsterdam)

Percentage waarin door de FV-installatie wordt voorzien: $\alpha = 100 * 2234 / 4788 = 47\%$ (Sevilla) en 26% (Amsterdam)

7.1.5. Hoe veel eigen gebruik?

Als de zonne-installatie zodanig wordt gedimensioneerd dat er nooit meer energie wordt verzameld dan de basisbelasting (plus verliezen) vereist, kan 100% eigen bereik worden gerealiseerd.

Een accu met een lagere capaciteit kan leiden tot een overschot aan zonne-energie (wanneer de accu volledig is geladen).

Dit te veel kan aan het elektriciteitsnet teruggeleverd worden.

De zonne-installatie zou ook kunnen worden verkleind om te passen bij de accucapaciteit.

7.1.6. Wat gebeurt er als een accu ontladen raakt (winter, slecht weer)?

De omvormer/lader brengt de lading over naar het elektriciteitsnet (zonder onderbreking) en wordt uitgeschakeld. De omvormer/lader kan worden geconfigureerd om opnieuw te starten wanneer de accu volledig of gedeeltelijk is geladen door de zon en/of wind.

Een loodzuuraccu mag niet lange perioden in een gedeeltelijk ontladen toestand worden gebruikt.

Het is noodzakelijk om deze regelmatige volledig te laden met behulp van stroom van het elektriciteitsnet.

7.1.7. Wat gebeurt er als er een overschot wordt geproduceerd?

Dit kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer er niemand thuis wegens vakantie.

Een overschot aan stroom kan aan het elektriciteitsnet teruggeleverd worden.

Als teruglevering aan het elektriciteitsnet niet mogelijk is, beperkt de laadcontroller de stroom die van de zonnepanelen wordt afgenomen wanneer de accu volledig geladen is.

7.2. Basisbelasting plus overige plug-in toestellen (categorie 2- en 3-belastingen) van stroom voorzien door Hub-1

De eenvoudige installatie beschreven in de vorige paragraaf kan eenvoudig worden bijgewerkt naar een beter presterend systeem door de functie GridAssist te gebruiken.

De maximale AC-doorvoercapaciteit van de MultiPlus-modellen 800, 1200 en 1600 is 3,6 kW (16 A bij 230 V). Bij 2 kVA en meer zijn er modellen met 6,9 kW of meer doorvoercapaciteit beschikbaar. Daarom kunnen er categorie 2-belastingen van stroom worden voorzien, met enige hulp van het elektriciteitsnet. Bij voldoende doorvoercapaciteit kunnen categorie 3-belastingen met veel vermogen ook worden gevoed door de MultiPlus of Quattro, met de hulp van het elektriciteitsnet.

Categorie 3-belastingen kunnen ook direct op het elektriciteitsnet worden aangesloten, waarbij de MultiPlus of Quattro wordt genegeerd (bij een eenfasige netaansluiting), of op een andere fase worden aangesloten (bij een driefasige netaansluiting). **Vanwege de zeer korte aan-tijd van categorie 3-belastingen, is het omzeilen van de Hub een praktische oplossing met weinig invloed op het eigen verbruik.**

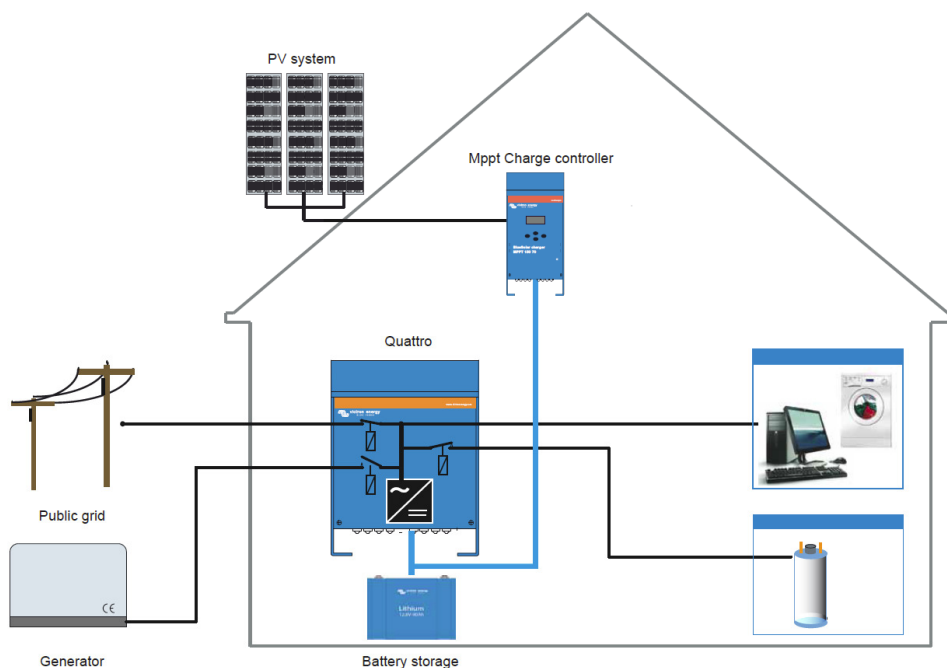
Helaas is het omzeilen van de Hub niet haalbaar voor categorie 2-belastingen, omdat deze vaak van het ene AC-stopcontact naar het andere worden verplaatst (vooral de stofzuiger).

Opmerking:

Multiplus of Quattro

De Multiplus heeft één AC-ingang, terwijl de Quattro twee AC-ingangen heeft met geïntegreerde wisselschakelaar. De Quattro kan worden aangesloten op twee onafhankelijke AC-bronnen, bijvoorbeeld het elektriciteitsnet en een generator,

of twee generatoren. De Quattro schakelt automatisch over naar de actieve bron.



7.2.1. Accu, enz.

De dagelijkse energie die vereist wordt door categorie 2- en 3-belastingen is laag vergeleken met de basisbelasting (zie tabel 2). De accucapaciteit en het FV-vermogen moeten daarom worden verhoogd met ongeveer 25% om deze belastingen ook op zonnige zomerdagen te voeden.

7.2.2. Percentage van het verbruik van elektrische energie dat wordt gedekt door FV-panelen

Op een zonnige zomerdag wordt voorzien in ongeveer 100% van de elektrische energie die per dag nodig is.

Tabel 4 geeft een ruwe benadering van het gemiddelde percentage van het verbruik van elektrische energie dat gedurende het jaar door FV-panelen wordt gedekt, met correctie voor verliezen:

Li-ion accu: $0,85 \cdot 74\% = 63\%$ voor Sevilla en $0,85 \cdot 43\% = 37\%$ voor Amsterdam.

OPzS-accu: $0,75 \cdot 74\% = 56\%$ voor Sevilla en $0,75 \cdot 43\% = 32\%$ voor Amsterdam.

7.2.3. Hoeveel eigen verbruik?

Alleen als het goed gepland is, zal het energieverbruik van categorie 2+3-belastingen dagelijks relatief constant zijn. Op sommige zonnige zomerdagen kan er daarom een overschot aan energie beschikbaar zijn en kan er op andere een tekort zijn.

7.3. Basisbelasting van stroom voorzien door Hub-2 of -3

In plaats van de solar laadcontroller wordt de accu nu geladen door de omvormer/lader.

Het gevolg is dat de vereiste laadstroom de bepalende factor is om de omvormer/lader te dimensioneren.

Een 850 Wp zonnepaneel is nodig om de basisbelasting van de tweepersoons energiebewuste woning op een zonnige zomerdag te voeden (zie paragraaf 7.1). De resulterende maximale laadstroom (wanneer alle opgewekte energie wordt gebruikt om de accu te laden) op 24 V is $850 \text{ Wp} \cdot \eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v / 24 \text{ V} = 32 \text{ A}$.

Dit houdt in dat er een 1600 VA MultiPlus nodig is (zie tabel 6).

En de 3700 Wp installatie voor de bovengemiddelde woning vereist een 8 kVA Quattro (of twee 5 kVA Multi's parallel geschakeld of drie 3 kVA Multi's in een driefaseconfiguratie).

Wanneer de solar laadcontroller wordt vervangen door een FV-omvormer en er behoefte is aan een veel grotere omvormer/lader, is het alternatief van een Hub-2 of 3 duidelijk duurder (en ook minder efficiënt: zie hoofdstuk 6).

Hub-2 of -3 kan toch de voorkeur krijgen, als:

- Tussentijdse energieopslag wordt toegevoegd aan een FV-installatie plus een reeds geïnstalleerde FV-omvormer.
- De relatief lage FV-spanning die nodig is om de laadcontroller te voeden (max. 150 V) en de daardoor grotere kabeldoorsnede, is onhandig vanwege de lange kabeltrajecten.

Opmerkingen:

- Zelfs als er wat extra kabelverlies is van de FV-installatie naar de solar laadcontroller, is Hub-1 nog steeds de meest efficiënte oplossing. Zie de handleiding voor MPPT 150/70 voor het berekenen van de DC-kabelverliezen.
- Een mix van Hub-1 met Hub-2 of -3 is ook mogelijk.
- Gevoeligheid van de FV-omvormer tot AC-spanningsveranderingen (wanneer energiehongerige belastingen worden omgeschakeld) kunnen de FV-uitvoer reduceren (door spanningsstoringen die voor tijdelijke uitschakelingen van de FV-omvormer zorgen).

7.4. Basisbelasting plus overige plug-in toestellen (categorie 2- en 3-belastingen) van stroom voorzien door Hub-2

De krachtigere omvormer/lader (vereist voor het laden van de accu, zie paragraaf 7.3) kan categorie 2- en 3-belastingen voeden zonder of met slechts weinig hulp van het elektriciteitsnet.

De accucapaciteit en de FV-installatie moet alleen met ongeveer 25% toenemen om op de nu vertrouwde zonnige zomerdagen volledig onafhankelijk te zijn van het elektriciteitsnet.

Eigen verbruik zou dicht bij de 100% zitten.

Dit resultaat wordt niet zomaar behaald: hiervoor is meer FV, meer accucapaciteit en een veel krachtigere omvormer/lader nodig.

7.5. Wat te doen als het 's winters donker en regenachtig is?

Tijdens perioden van slecht weer (die dagen of zelfs weken kunnen aanhouden) kan de FV-productie aanzienlijk dalen tot niet meer dan een paar % van de maximale productie in de zomer (zie tabel 4).

De FV-installatie kan worden vergroot om voldoende productie te leveren, zelfs tijdens minder zonnige dagen, wat resulteert in een overschot dat op zonnige zomerdagen wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Wilt u de installatie echter 10 keer zo groot of zelfs nog groter maken, dan bent u veel geld kwijt en hebt u bovendien een groot gebied nodig voor de FV-installatie, wat daarom ook erg ongebruikelijk is.

Als u een grotere accucapaciteit hebt en wekenlang een lage tot geen productie, kost dat u veel geld.

Gangbare oplossingen om de onvoldoende FV-vermogen te compenseren, zijn:

- Energie van het elektriciteitsnet gebruiken.
- Een micro-CHP-systeem op gas installeren (toestel dat warme en energie combineert). De micro-CHP levert de warmte en de elektrische energie die nodig is wanneer de zon (en/of wind) niet voldoende opleveren.
- Een door een dieselmotor aangedreven generator.

8. De autonome Hub

8.1. Micro-CHP

In dichtbevolkte gebieden kan de wens om autonoom te worden, worden gerealiseerd door een micro-CHP op gas aan het systeem toe te voegen.

Het opwekken van warmte via elektriciteit is eenvoudig, maar het tegenovergestelde, elektriciteit opwekken via warmte, niet. Een micro-CHP met een hoge elektriciteitsefficiëntie heeft daarom de voorkeur.

Het kleine aantal beproefde micro-CHP-systemen (25% elektriciteit, 75% warmte) met hoge efficiëntie is gebaseerd op een generator die wordt gevoed door een kleine **interne verbrandingsmotor met een lange levensduur** die op aard- of propaan gas werkt. De elektriciteit die door de generator wordt geproduceerd, wordt direct gebruikt of in de accu opgeslagen. Tegelijkertijd wordt de warmte van de motor opgevangen om thermische energie te produceren. De warmte wordt gebruikt voor centrale verwarming en/of om warm water te produceren.

Ga voor meer informatie naar <http://www.bhkw-infothek.de/>

Systemen gebaseerd op **Stirling-motoren** hebben een lagere elektriciteitsefficiëntie (10-15% elektriciteit, 90-85% warmte) wat kan zorgen voor een overvloedige warmteproductie in een echt autonoom systeem.

De micro-CHP **op brandstofcellen** is nog steeds een veelbelovende ontwikkeling voor de toekomst

De elektrische stroomproductie van de micro-CHP moet minstens gelijk zijn aan de gemiddelde stroombehoefte. Dit is niet moeilijk te bereiken: zelfs het wintergemiddelde van het bovengemiddelde huis is 32,12 kWh per dag (zie tabel 8), wat minder is dan een gemiddelde van 1,4 kW gedurende 24 uur.

Als deze samen met thermische en fotonische zonne-energie wordt geïnstalleerd, zal de micro-CHP bijna de gehele winter worden gebruikt. De omvormer/lader moet worden gedimensioneerd om het volledige huis te voeden. Zoals u kunt aflezen uit tabel 2, wordt er 3 tot 16 kVA vereist. Het gebruik van gas voor koken, het drogen van kleding en het produceren van warm water voor de was- en afwasmachine, wordt aanbevolen om de vereiste piekstroom te reduceren. Accucapaciteit om het elektriciteitsverbruik van één zomerse dag te dekken, is voldoende zolang de actieve perioden van de micro-CHP gesynchroniseerd kunnen worden met perioden van piekstromverbruik.

De micro-CHP zal parallel geschakeld worden met de omvormer/lader, vergelijkbaar met de FV-omvormer van Hub-2 of -3.

Overtollige stroom wordt gebruikt om de accu opnieuw te laden en onvoldoende stroom wordt aangevuld met stroom van de accu (de functie PowerAssist van de MultiPlus en Quattro-omvormer/lader).

De warmte (motorwarmte plus uitlaatwarmte) kan worden gebruikt voor het verwarmingssysteem van het huis en om de boiler te verwarmen.

Wanneer zowel de elektriciteits- als de warmteproductie volledig worden gebruikt, is de efficiëntie van een micro-CHP ongeveer 98%. (d.w.z. 98% van de calorische inhoud van het verbrande gas wordt omgezet in bruikbare warmte en elektriciteit).

Als 40% van de elektriciteitsproductie direct door de belasting wordt gebruikt, zal de efficiëntie van de Hub, nu inclusief de micro-CHP, rond de 86% liggen bij een Li-ion accu (zie paragraaf 6.2).

Opmerking:

Een tweepersoons **energiebewust huishouden** gebruikt dagelijks 100 tot 150 liter warm water (inclusief warm water voor de afwas- en wasmachine), dat 5 tot 7 kWh vereist als het verwarmd wordt om de temperatuur te verhogen tot 40°C.

(specifieke warmtecapaciteit van water: $C = 4,2 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K}) \approx 1,2 \text{ Wh}/(\text{liter}\cdot\text{C})$,

zie http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity)

Bij een elektriciteitsefficiëntie van 25% produceert de micro-CHP $25/75 = 0,33$ kWh elektrische energie per kWh warmte.

Wanneer er 6 kWh warmte vereist is, is de elektrische productie van de micro-CHP 2 kWh.

Samen met 15% verlies (85% efficiëntie) in de hub, is de beschikbare elektrische energie 1,7 kWh.

Het totale dagelijkse verbruik van elektrische energie in de winter is 7,5 kWh/dag (zie tabel 6).

Dit houdt in dat de micro-CHP ruwweg 23% van het elektriciteitsverbruik van het tweepersoons energiebewuste huishouden dekt, wanneer deze werkt om het vereiste warme water te produceren.

Als het huis in de winter verwarmd moet worden, wordt er veel meer elektrische energie geproduceerd:

In Nederland is het gemiddelde verbruik van aardgas per jaar voor het verwarmen van een vrijstaand huis 2000 m³.

De calorische inhoud van aardgas is 32 MJ/m³ en 1 kWh = 3,6 MJ.

De gemiddelde dagelijkse energie die gedurende 6 maanden vereist wordt voor ruimteverwarming, is: $32 \text{ MJ/m}^3 \times 2000 \text{ m}^3 / 182 \text{ dagen} = 352 \text{ MJ/dag}$, of 97 kWh per dag.

Als dagelijks 97 kWh ruimteverwarming vereist wordt, is de dagelijkse elektrische productie van de micro-CHP $97 \times 0,33 = 32$ kWh.

Dit is het dagelijkse gemiddelde verbruik van elektrische energie in de winter van het bovengemiddelde huis (zie tabel 8).

De micro-CHP is duidelijk de juiste keuze voor koudere gebieden waar huisverwarming nodig is.

8.2. Door dieselmotor aangedreven generator

In afgelegen gebieden waar geen elektriciteitsnet beschikbaar is of niet betrouwbaar is, is de ouderwetse oplossing om een door een dieselmotor aangedreven generator te installeren. De generator wordt gedimensioneerd om aan de hoogste verwachte vraag naar stroom te voldoen.

De generator is veel goedkoper (per nominale kVA) en eenvoudiger om te installeren en te onderhouden dan een micro-CHP, maar is lawaaierig, stinkt, is minder efficiënt (alle warmte gaat verloren!) en heeft regelmatig onderhoud nodig.

Bovendien is de levensduur ervan veel korter.

Opmerking:

De traditionele door een dieselmotor aangedreven generator kan worden aangepast om meer op een op gas aangedreven micro-CHP te lijken, hoofdzakelijk door aanpassingen om het geluid te reduceren, het onderhoud te verminderen en door een motorwarmterecuperatiesysteem toe te voegen.

Ga voor meer informatie naar <http://www.bhkw-infothek.de/>

Wanneer deze 24/7 werkt of gedurende het grootste deel van de dag, heeft de oplossing met de door een dieselmotor aangedreven generator twee grote nadelen:

Onderhoud en levensduur

*Generatoren hebben regelmatig onderhoud nodig: olie vervanging om de 500 uur, riemvervanging om de 1000 uur, etc.

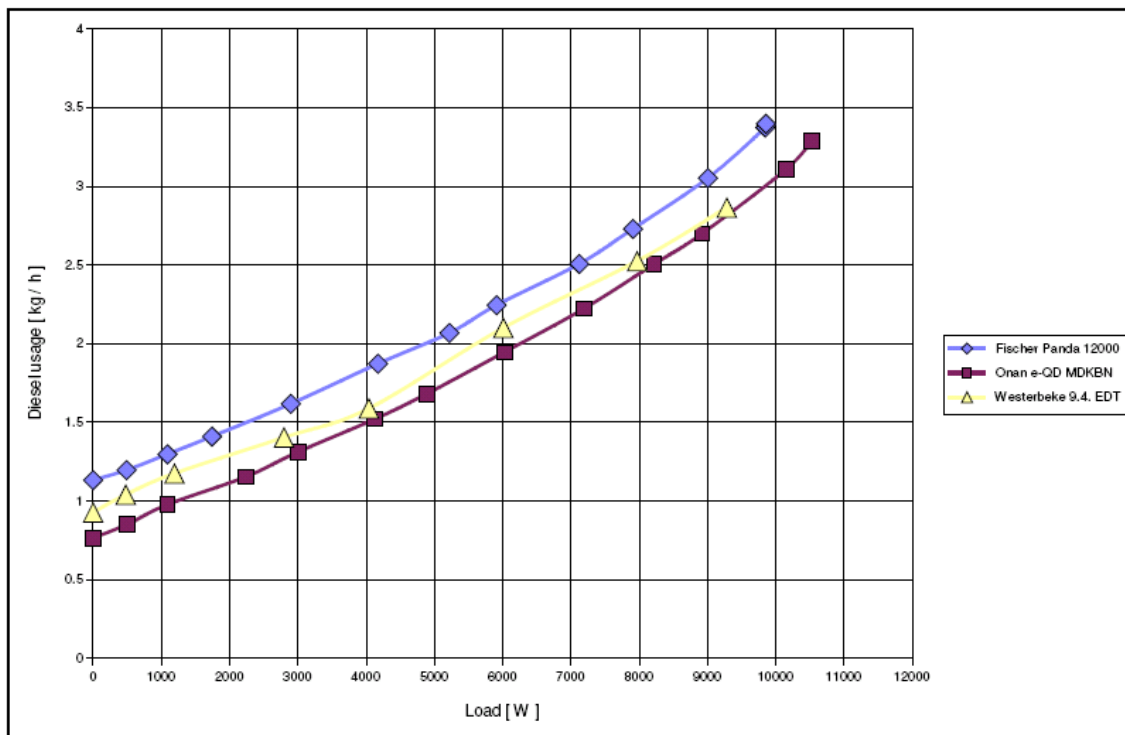
De levensduur van een goede 1500 tpm generator is ongeveer 10.000 uur (= 3 jaar wanneer deze 24/7 werken).

Brandstofverbruik bij lage belasting

Een 10 kW generator verbruikt tussen de 3 en 3,5 kg brandstof (= 3,7 tot 4,4 liter) per uur wanneer deze een belasting van 10 kW van stroom voorziet.

En bij een belasting van nul verbruikt deze nog steeds 1 kg/u! (zie grafiek 1).

Een generator die 24/7 een woning van stroom voorziet en een gemiddelde piekbelasting heeft van minder dan 10% (zie tabel 3), vormt daarom een zeer inefficiënte en dure oplossing, vanwege het onderhoud en de levensduur per geproduceerde kWh en vooral vanwege het zeer hoge specifieke brandstofverbruik (= brandstofverbruik per geproduceerde kWh).



Grafiek 1: Het brandstofverbruik van drie door dieselmotoren aangedreven 1500 tpm generatoren, max. productie 9-11 kW

Wanneer de generator bijna een maximale belasting (10 kW) van stroom voorziet, is het specifieke brandstofverbruik ongeveer 0,3 kg per kWh, zoals te zien is in grafiek 1.

Wanneer u met een belasting van 500 W werkt, is het specifieke brandstofverbruik ongeveer 2 kg per kWh.

Een 10 kW generator die 24/7 werkt en gemiddeld 1 kg/u verbrandt om een gemiddeld huis van stroom te voorzien, verbruikt zo'n 9000 kg (!) brandstof per jaar om de vereiste 4788 kWh te produceren (zie tabel 70).

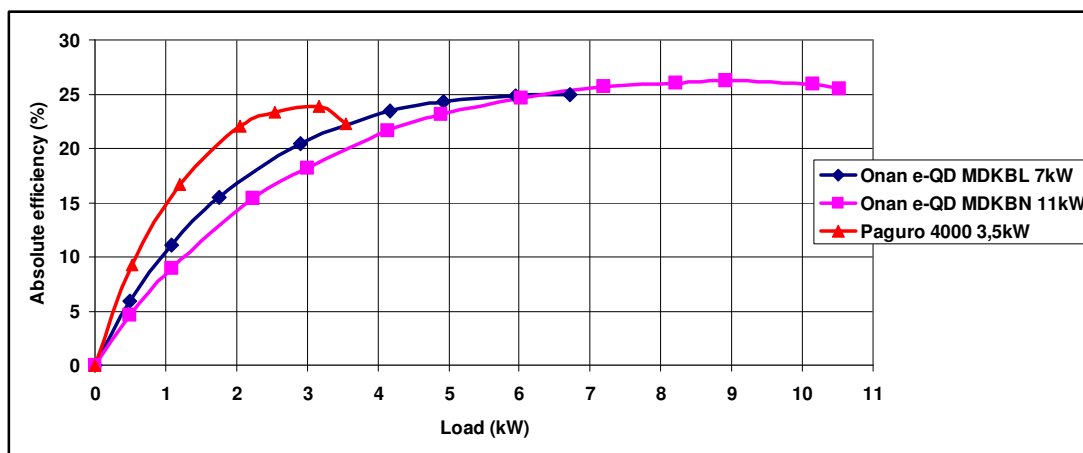
Zonder butaan- of propaangas om te koken en water te verwarmen, zal de dagelijkse elektrische energie met de volledig elektrische oplossing met 8 kWh tot 21 kWh stijgen, en zal de gemiddelde generatorbelasting dicht bij 1 kW komen te liggen. Zoals u ziet op grafiek 1, zal dit het brandstofverbruik slechts iets verhogen, tot ongeveer 10 ton/jaar.

Als er een grotere generator wordt geïnstalleerd om de hogere piekbelastingen op te vangen, zal het brandstofverbruik nog hoger zijn.

Grafiek 2 geeft de absolute efficiëntie van drie generators aan, met vermogens van respectievelijk 3,5 kW, 7 kW en 11 kW. De absolute efficiëntie is duidelijk rond de 25% op het meest efficiënte belastingspunt. Dit houdt in dat zelfs wanneer ze op hun meest efficiënte belastingspunt worden gebruikt, slechts 25% van de calorische inhoud van de diesel (de calorische inhoud van de dieselbrandstof voor auto's is ongeveer 45,6 MJ/kg of 12,7 kWh/kg) omgezet wordt in elektrische energie. De resterende 75% wordt omgezet in warmte en wordt geëvacueerd via de uitlaat en het motorkoelsysteem.

Opmerking:

Ga voor meer informatie over generatoren naar de VE Marine Generator Test, die te downloaden is vanaf www.victronenergy.com



Grafiek 2: Absolute efficiëntie van drie representatieve generators

Zoals u ziet op grafiek 2, verlaagt de efficiëntie van de generator tot 5-10% wanneer deze werkt met een belasting van 500 W.

Er is duidelijk ruimte voor verbetering.

Optie 1: een omvormer/lader met laag vermogen toevoegen, die alleen is bedoeld voor 's nachts, op tijdstippen met lage belasting

Bijvoorbeeld een MultiPlus C 24/1600/40.

De 1600 VA-omvormer voorziet de basisbelasting van stroom. Een plotselinge aanvullende belasting, zoals een wasmachine, zorgt er echter voor dat de overbelastingsbeveiliging van de MultiPlus wordt geactiveerd en dat de wisselstroomvoorziening wordt uitgeschakeld.

U voorkomt dit door de generator te koppelen voordat er een zware belasting wordt ingeschakeld.

In de praktijk werkt deze optie goed als de omvormer/lader de basisbelasting tijdens de nacht voedt en als de generator overdag is ingeschakeld.

Wanneer de generator elke dag 8 uur is uitgeschakeld, zal het jaarlijkse brandstofverbruik van de gemiddelde autonome woning worden gereduceerd tot $10.000 \cdot (24-8)/24 = 6700$ kg

Optie 2: omvormer/lader met hoog vermogen om de generatorgrootte en bedrijfsuren aanzienlijk te reduceren

Omvormervermogen moet voldoende zijn om zware belastingen aan te kunnen totdat de generator is gekoppeld.

Er kan een belastingsafhankelijk, automatisch startsignaal voor de generator worden gegenereerd door de omvormer/lader. Daarnaast kan de omvormer/lader, een accumonitor of de BMS van de Li-ion accu het signaal 'accu ontladen' afgeven dat de generator doet starten. Dit maakt een volledig automatische systeembediening mogelijk.

Met betrekking tot tabel 2 dient de gecombineerde belasting 'Multi/Quattro+generator' 10 kW tot 20 kW zijn.

De generator zal alleen tijdens perioden van piekvermogen actief zijn en met de hulp van **PowerAssist** kan de omvormer/lader worden ingesteld om de generator te bedienen op zijn meest efficiënte vermogenspunt: op ongeveer 80% van de kW-waarde op het naamplaatje. Al het overtollige vermogen wordt gebruikt om de accu op te laden en onvoldoende vermogen wordt aangevuld met vermogen van de accu.

Bij een volledig elektrische doorsneewoning (geen butaan- of propaangas voor koken en warm water) die gemiddeld 21 kWh per dag gebruikt en een efficiëntie van ongeveer 85% heeft voor de Hub met Li-ion accu, zou het totaal benodigde vermogen $21/0,85 = 25$ kWh zijn.

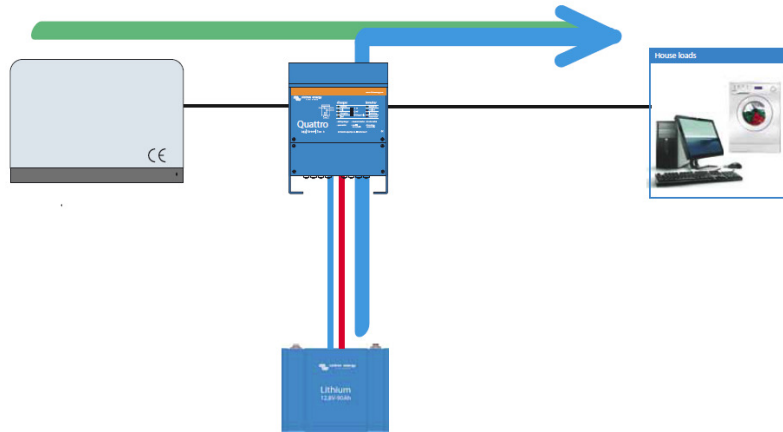
Met een 10 kVA omvormer/lader kan het vermogen van de generator bijvoorbeeld worden gereduceerd tot 7 kVA.

Een generator van 7 kVA met een belasting van 4 tot 5 kW werkt ongeveer 6 uur per dag (zonder zonne-/windenergie).

De efficiëntie is dan 25%, (0,3 kg brandstof per kWh) en het jaarlijkse brandstofverbruik $0,3 \text{ kg/kWh} \times 25 \text{ kWh} \times 365 \text{ dagen} = 2700 \text{ kg}$.

Minder dan één derde van de 24/7-oplossing.

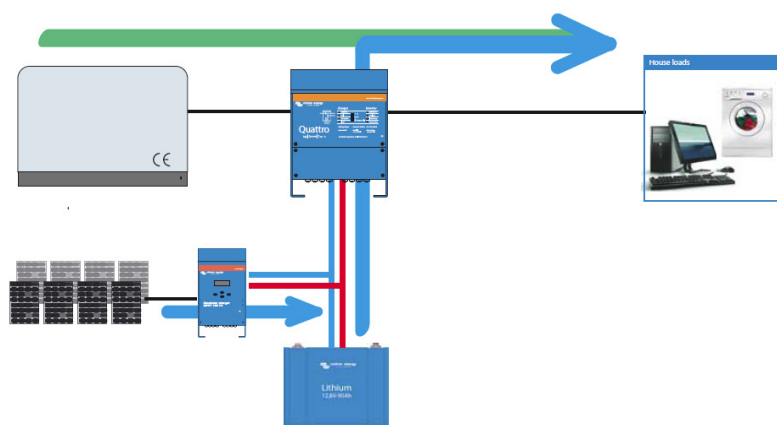
Met een OPzS-accu zal het brandstofverbruik $0,3 \text{ kg/kWh} \times (21/0,75) \text{ kWh} \times 365 \text{ dagen} = 3100 \text{ kg}$ zijn.



Als we nu elektrische vloerverwarming in de badkamer aanleggen (3 kWh/dag) en een zwembad (niet verwarmd, alleen een pomp: 5,6 kWh/dag). Hierdoor zou het jaarlijkse brandstofverbruik stijgen tot 3800 kg (Li-ion) of 4300 kg (OPzS)

Zonne- en/of windenergie om de bedrijfsuren nog meer te reduceren

Dit is natuurlijk de volgende stap die u moet nemen als u de bedrijfsuren en het brandstofverbruik nog verder wilt reduceren. Hub-1 en Hub-2 kunnen allebei worden gebruikt, maar Hub-3 is geen optie in dit systeem omdat de FV-omvormer wordt uitgeschakeld wanneer de generator niet actief is.



Driefasige of eenfasige generator?

Het probleem met generatoren met een (relatief) laag vermogen is het evenwichtig verdelen van de belasting over de drie fasen.

Een 10 kVA-generator kan bijvoorbeeld 3,3 kVA per fase leveren.

Hoe sluit u de belasting van de gemiddelde woning aan?

Wanneer de wasmachine, wasdroger en vaatwasser elk op een aparte fase zouden worden aangesloten, zou er weinig stroom overblijven voor andere belastingen die tegelijkertijd kunnen zijn ingeschakeld. Het zou prima zijn om de wasmachine, wasdroger en vaatwasser op één fase aan te sluiten zolang deze niet tegelijkertijd worden gebruikt. Alle andere apparaten kunnen worden verdeeld over de andere twee fasen.

In de praktijk komt het vaak voor dat één fase volgeladen is of zelfs overbelast, en dat een andere fase bij een bijna nulbelasting werkt.

Het aansluiten van alle belasting op een eenfasige generator lost het probleem van het evenwichtig verdelen op.

Driefasige pompen

Zwembad- en waterbronpompen zijn vaak driefasig, maar krijgen nooit een waarde hoger dan 3 kVA.

De oplossing is om een **variabele frequentieaandrijving toe te voegen met eenfasige invoer**.

De frequentieaandrijving maakt verbinding met een eenfasige voeding en zal ook de aanloopstroompiek wegnemen.

Alleen zware belastingen van stroom voorzien als de generator actief is

Tijdens bewolkte dagen of tijdens de winter wanneer de zonne-energie moet worden aangevuld met stroom van de generator, moet de generator actief zijn tijdens perioden van hoge stroomaanvraag. U kunt ook hoge stroombelastingen (waterpompen, waterverwarming) inschakelen wanneer de generator actief is.

De Multi- en Quattro-omvormer/laders hebben een programmeerbare tweede AC-uitgang voor dit doeleinde.

Deze uitgang sluit de aanvullende belastingen aan met een minuut vertraging om de generator de mogelijkheid te geven zich te stabiliseren.

PowerAssist houdt rekening met deze aanvullende belastingen (wat niet het geval zou zijn als deze direct worden aangesloten op de generator).

9. Definitie: 100% FV-installatie en 100% accu

Van paragraaf 7.1.2:

De zonnebestraling op zonnige zomerdagen op zonnepanelen die op het zuiden zijn gericht met askanteling \approx breedtegraad is ruwweg 8 kWh/m²/dag en is relatief onafhankelijk van de breedtegraad.

Met deze (zeer) ruwe schatting is het mogelijk om de FV-uitvoer onafhankelijk van breedtegraad en plaatselijk klimaat te bespreken en aan te passen aan de plaatselijke omstandigheden met behulp van tabel 4.

Met deze schatting in het achterhoofd kan het heel verhelderend zijn om de FV-uitvoer uit te drukken in uitvoereenheden van zonnige zomerdagen (\approx 6 kWh per kWp, zoals besproken in paragraaf 7.1.2) en, verwante uitgang naar verbruik, om FV uit te drukken in verband met verbruik van een woning, klein kantoor, werkplaats of elke situatie waarin de dagelijkse elektrische energie een bereik nodig heeft van kWh tot 100 kWh.

Daarom zullen we de zonnige-zomerdaguitvoer van de FV-installatie bespreken en, op dezelfde manier, de bruikbare opslagcapaciteit van de accu, met betrekking tot het dagelijkse energieverbruik.

Een 100% FV-installatie wordt gedefinieerd als de straling die nodig is om 100% van het elektrische energieverbruik van een bepaalde woning of vergelijkbaar, op een zonnige zomerdag te dekken. Een 50% FV-installatie zou 50% van het energieverbruik op een zonnige zomerdag voor zijn rekening nemen.

Tegelijkertijd is een 100% accu een accu met voldoende bruikbare opslagcapaciteit om de energie op te slaan die nodig is voor één zomerdag.

10. Kosten

10.1. Eigen verbruik: optimale opslagcapaciteit

Eigen verbruik is een relatief nieuw fenomeen. De toenemende populariteit hiervan is te danken aan de stijgende elektriciteitsprijzen en dalende vergoedingen voor opgewekte zonnestroom. De verkoop van overtollige FV-energie voor bijvoorbeeld 15 Eurocent per kWh 's middags en deze 's avonds terugkopen voor 25 Eurocent lijkt een slechte deal. U kunt de overtollige stroom beter voor later gebruik opslaan.

Puur financieel gezien kan tussentijdse opslag een interessant voorstel zijn als de extra bijkomende kosten lager zijn dan de kosten die worden gemaakt door elektriciteit tegen een lage prijs te verkopen en voor een hogere prijs terug te kopen.

Een redelijk nauwkeurige financiële vergoeding voor tussentijdse opslag wordt niet eenvoudig vastgesteld. Behalve voor woestijngebieden op lage breedtegraden waar de zon dagelijks schijnt, is de PV-uitvoer onderhevig aan hevige schommelingen die per dag en per seizoen verschillen. Het plaatsen van een FV-installatie plus energieopslag die 100% van de energiebehoefte op een zonnige zomerdag voor zijn rekening neemt (de oplossing van 100% eigen verbruik), is zeker niet optimaal in gebieden op hoge breedtegraden: de accu zal bovenmaats zijn op bewolkte dagen en zelfs inactief zijn op donkere winterdagen wanneer de FV-uitvoer bijna nul is.

Wat veilig gezegd kan worden is:

- De (financieel) optimale opslagcapaciteit wordt hoger met een toenemend verschil tussen de elektriciteitsprijs en vergoedingen voor opgewekte zonnestroom.
- De optimale opslagcapaciteit wordt lager per breedtegraad (en hangt ook af van het plaatselijke klimaat).
- De optimale opslagcapaciteit wordt hoger wanneer de systeemkosten lager worden.

Aangezien we (nog) geen eenvoudige methode hebben ontwikkeld om ten minste een ruwe schatting van een optimale tussentijdse opslagcapaciteit te berekenen, nemen we maar aan dat deze rond 30% van de zonnige zomerdaguitvoer van de FV-installatie ligt.

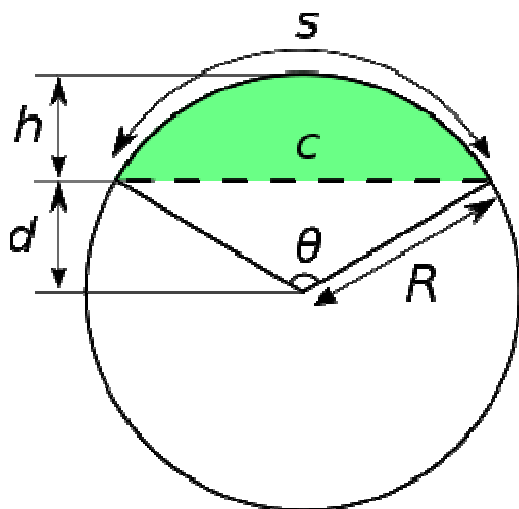
Een ander punt is dat eigen verbruik is vereist om de stabiliteit van het elektriciteitsnet te verzekeren. Een systeem met een beperkte opslagcapaciteit werkt echter als een systeem zonder tussentijdse opslag wanneer de accu eenmaal volledig is opgeladen. Het kan bijvoorbeeld gebeuren dat de accu op een zonnige zomerdag voor de middag volledig geladen is en totaal ongeschikt om schommelingen af te zwakken en teruglevering te beperken wanneer dit het hardst vereist wordt.

Het is daarom te verwachten dat in de nabije toekomst een soort beperking wordt ingesteld op de hoeveelheid stroom die aan het elektriciteitsnet kan worden teruggeleverd.

De beperking kan bijvoorbeeld inhouden dat teruglevering nooit een percentage van de P_w -waarde van de installatie kan overschrijden. Met een beperking van 60% bijvoorbeeld mag het terugleveringsvermogen nooit hoger zijn dan 60% van het geïnstalleerde FV-vermogen.

Een ruwe schatting van de energie die verloren gaat of beter kan worden opgeslagen in een accu dankzij een dergelijke regeling, wordt hieronder berekend:

Ervan uitgaande dat de uitvoer van de installatie ongeveer een halve cirkel in beslag kan nemen (beginnend bij nul in de ochtend, toenemend tot maximale uitvoer 's middags en terug naar nul in de late middag), wordt de energie die niet (of later op de dag) aan het elektriciteitsnet mag worden teruggeleverd, voorgesteld door het ronde, groene segment op afbeelding 5.



Afbeelding 5: Piekvermogen beperken dat wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet

Met $P_w = R = 1$ is $d \cdot P_w$ het maximale vermogen dat kan worden teruggeleverd aan het elektriciteitsnet.

Gebied A van het ronde, groene segment is

$$A = (R^2/2) \cdot (\theta - \sin\theta) \quad \text{met } \theta = 2 \arccos \frac{d}{R}$$

(zie http://en.wikipedia.org/wiki/Circular_segment)

En het gebied van de halve cirkel is $C = (\frac{1}{2}) \cdot \pi R^2$

Met deze formules kan het percentage worden berekend dat moet worden "teruggedrongen" om teruglevering aan $d \cdot P_w$ te beperken voor verschillende waarden van d :

$$d = 0,6: A/C = 0,45/1,57 \approx 0,3$$

$$d = 0,5: A/C = 0,61/1,57 \approx 0,4$$

$$d = 0,4: A/C = 0,79/1,57 \approx 0,5$$

(zie <http://www.handymath.com/cgi-bin/arc18.cgi>)

Als $d = 0,6$ (dit betekent dat teruglevering aan het elektriciteitsnet nooit de 60% van de P_w -waarde van de installatie mag overschrijden), staat het groene gebied voor 30% van de halve cirkel en daarom moet ten minste 30% van de uitvoer van de installatie worden opgenomen door de belasting en/of worden opgeslagen in de accu.

Uitgaande van een nulbelasting, een systeemefficiëntie van 100% en een lege accu 's ochtends, wordt **de accuopslag verlaagd tot 30%** van de FV-uitvoer op een zonnige zomerdag, terwijl de (hypothetische) regeling voor eigen verbruik nog steeds voldoende is. De accu zou dan worden gebruikt om de energie-inhoud van het groene gebied op te slaan terwijl de overgebleven uitvoer van de zonne-installatie zou kunnen worden teruggeleverd aan het elektriciteitsnet.

Opmerking:

Het alternatief is eenvoudigweg om de uitvoer van de netomvormer te beperken tot 60% van de geïnstalleerde P_w : er is geen opslag nodig en 30% van de mogelijke uitvoer van de installatie gaat verloren op zonnige zomerdagen.

10.2. Autonoom: optimale opslagcapaciteit

Wanneer er een micro-CHP of generator beschikbaar is, is voldoende bruikbare capaciteit voor een volledige dag de algemeen geaccepteerde norm.

Als zon en/of wind de enige energiebronnen zijn, wordt er een combinatie van bovenmaatse FV- en/of winduitvoer en bovenmaatse accucapaciteit (d.w.z. meer dan 100% zoals gedefinieerd in hoofdstuk 9) vereist om perioden met lage FV-/winduitvoer te compenseren.

10.3. Accu: loodzuur- of Li-ion, deel 2

10.3.1. Lithium-ijzerfosfaat

Een lithium-ijzerfosfaat-accu (LiFePO_4 of LFP) wordt bij voorkeur pas ontladen wanneer deze minder dan 20% van zijn nominale inhoud over heeft. De accu kan ongeveer 2000 keer worden ontladen tot 20% en kan bij een hoge stroom weer worden opgeladen tot bijna 100% (regelmatige ontlading tot onder de 20% zou de cyclusduur tegen de verhoudingen in verminderen).

De handige Ah (en kWh) capaciteit is daarom 80% van de nominale waarde.

10.3.2. Buisjesplaat loodzwavel

Buisjesplaat-loodzuuraccu's, of ze nu nat zijn (OPzS: Ortsfeste Panzerplatte mit Spezialseparator) of gel bevatten (OPzV), zijn vrij robuust en gebleken is dat ze zeer goed werken in autonome systemen. Dit blijkt zowel uit onze eigen ervaring als meerdere tests:

<http://www.cres.gr/kape/publications/photovol/5BV-335.pdf>

http://www.iea-pvps.org/index.php?id=9&eID=dam_frontend_push&docID=376

Ze kunnen regelmatig worden ontladen tot 30% van hun C_{10} -capaciteit, maar de laadefficiëntie wordt dan zeer laag en de laadstroomacceptatie neemt aanzienlijk af wanneer de accu weer is opgeladen tot 80%.

Deze accu's moeten daarom regelmatig tussen 80% en 30% worden ontladen en opnieuw tot de volledige 100% worden geladen om sulfatering te voorkomen.

Nog een reden om de OPzS-accu regelmatig volledig op te laden, is zuurstratificatie.

(http://batteryuniversity.com/learn/article/water_loss_acid_stratification_and_surface_charge/)

OPzS- en OPzV-accu's hebben een hoge interne weerstand en de efficiëntie en beschikbare capaciteit worden daarom aanzienlijk lager bij hoge laad- en ontladstromen.

(ga voor specificaties naar <http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet%20-%20OPzS%20batteries%20-%20rev%2004%20-%20EN.pdf>)

10.3.3. Natte vlakke plaataccu's en vlakke VRLA-plaatloodzuuraccu's

Er zijn veel verschillende typen natte vlakke plaataccu's en VRLA-accu's (valve regulated lead acid: gel en AGM) accu's beschikbaar en over het algemeen zijn de beste ook het duurst. Op basis van onze ervaring zijn deze echter allemaal minder krachtig dan buisplaat- (OPzV-) en vooral OPzS-accu's, wat betreft de cyclusmogelijkheid alsook het sulfateringsrisico.

Victron Energy verkoopt een aantal vlakke VRLA-plaataccu's (gel en AGM) voor diepe ontlading met dikkere platen dan autoaccu's en de VRLA-accu's met de minste kosten. Dit resulteert in redelijke cyclusprestaties, maar neemt het risico op sulfatering niet weg.

(ga voor specificaties naar <http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet%20-%20GEL%20and%20AGM%20Batteries%20-%20rev%2007%20-%20EN.pdf>)

Het is raadzaam om de ontlading van deze accu's te beperken tot 50% van hun nominale C₂₀-capaciteit.

Net als bij buisplaataccu's wordt de laad efficiëntie dan zeer laag en neemt de laadstroomacceptatie aanzienlijk af wanneer de accu weer is opgeladen tot 80%.

Deze accu's moeten daarom regelmatig tussen 80% en 50% worden ontladen en opnieuw tot de volledige 100% worden geladen om sulfatering te beperken.

In onderstaande tabel worden verschillende accu's met elkaar vergeleken.

	Vlakke plaat AGM	Buisplaat nat (OPzS)	Buisplaat gel (OPzV)	Li-ion LiFePO ₄
Kosten per nominale kWh	€ 188	€ 312	€ 432	€ 1.233
Bruikbare capaciteit	30%	50%	50%	80%
Kosten per bruikbare kWh	€ 627	€ 624	€ 864	€ 1.541
Efficiëntie @ I = 0,1C ²	80%	80%	80%	92%
Efficiëntie @ I = 0,5C	70%	60%	60%	92%
Cycluslevensduur @ 25°C	750 - 1500 ¹	2500	2000 - 2500	2000
Volume per bruikbare kWh	11,3 cm ³	15,4 cm ³	15,4 cm ³	8,7 cm ³
Gewicht per bruikbare kWh	82 kg	82 kg	82 kg	17 kg
Toepassing	seizoensgebruik - autonoom vakantiehuis	cyclus het hele jaar door - woningen, kleine kantoren, werkplaatsen, etc	cyclus het hele jaar door - woningen, kleine kantoren, werkplaatsen, etc	cyclus het hele jaar door - woningen, kleine kantoren, werkplaatsen, etc
Kan in de woonkamer worden geïnstalleerd	ja	nee	ja	ja
Regelmatig volledig opladen vereist	ja	ja	ja	nee
regelmatig onderhoud vereist	nee	ja	nee	nee

Tabel 5: Accuvergelijking

Opmerkingen:

- 1) Als resultaat van hun relatieve kwetsbaarheid bereiken de goedkope vlakke plaat AGM- en gelaccu's (en in mindere mate OPzV) in de praktijk zelden het aantal cycli (1500) dat kan worden bereikt in laboratoriumomstandigheden.
- 2) 0,1C betekent een laad- en ontladestroom van 0,1 keer de nominale capaciteit in Ah. Voor een 100 Ah-accu zou deze stroom 10 A zijn

10.4. De FV-installatie

De recente wereldwijde verlaging van vergoedingen voor opgewekte zonnestroom heeft geresulteerd in overcapaciteit in plaats van tekort aan FV-panelen en een aanzienlijke prijsverlaging. Zoals blijkt uit tabel 6-8 zijn de kosten van de 100% FV-installatie rond de 20% van de totale kosten, terwijl de 100% Li-ion accu 70% van het totaal voorstelt.

Als het beschikbare (dak-)gedeelte geen restrictie is, kan de FV-installatie aanzienlijk worden vergroot zonder veel invloed op de totale kosten.

Als de plaatselijke autoriteiten teruglevering aan het elektriciteitsnet belonen, moet u dit uiteraard doen. Een verdubbeling van het gebied betekent dat 50% voor eigen verbruik is op een zonnige zomerdag en dat er tot op 45 breedtegraden gedurende het grootste deel van het jaar voldoende energie wordt opgeslagen om de woning van elektriciteit te voorzien (afhankelijk van het plaatselijke klimaat, zie tabel 4).

En zelfs als de plaatselijke autoriteiten geen beloning verstrekken of teruglevering aan het elektriciteitsnet zelfs verbieden, kan het nog gunstig zijn om een overtollige capaciteit te hebben op zonnige zomerdagen om op andere dagen meer energie op te slaan.

10.5. Voorbeelden: kosten van de hoofdonderdelen

Onderstaande tabellen geven de besproken opties voor eigen verbruik weer, met een kostenindicatie van elk van de hoofdonderdelen, op basis van de door Victron Energy aanbevolen consumentenprijzen.

10.5.1. Samenvatting:

Er zijn drie woningen besproken, die elk in een van de onderstaande tabellen aan de orde komen:

Het tweepersoons energiebewuste huishouden

Het gemiddelde huis

Het bovengemiddelde huis

Met deze drie voorbeelden kunt u de vereisten en kosten voor andere toepassingen, zoals een klein kantoor of werkplaats, eenvoudig vaststellen.

De spreadsheet waarmee de tabellen zijn gemaakt, kunnen worden gedownload van

www.victronenergy.com.

Er worden voor elke woning drie typen belastingen aangegeven:

Categorie 1: de basisbelasting, bestaat hoofdzakelijk uit toestellen met weinig vermogen die permanent zijn ingeschakeld of dagelijks lange tijd achtereen. De basisbelasting heeft daarom een lage kW/kWh-verhouding en kan op efficiënte wijze worden gevoed door een accu plus een omvormer met laag vermogen. De basisbelasting is veruit de grootste elektriciteitsverbruiker in de woning.

Categorie 2: plug-in toestellen, die eenvoudig kunnen worden verplaatst van het ene stopcontact naar het andere (vooral de stofzuiger) en gedurende korte tijd worden gebruikt. Deze belastingen hebben een hoge kW/kWh-verhouding, maar kunnen niet eenvoudig van de basisbelasting worden gescheiden.

Categorie 3: niet-verplaatsbare belastingen zijn altijd aangesloten op hetzelfde stopcontact. Soms is het mogelijk om de Hub te omzeilen en deze belastingen direct aan te sluiten op het elektriciteitsnet, waarbij de vereiste piekstroom wordt gereduceerd. De elektriciteitspiek kan ook worden gereduceerd door thermische zonne-energie en/of gas te gebruiken in plaats van elektriciteit voor verwarmingsdoeleinden.

Met een **belastingbeheersysteem** kunnen diverse belastingen van categorie 3 worden ingeschakeld wanneer de zon schijnt, waarbij het eigen verbruik wordt verhoogd zonder dat er extra accuopslagcapaciteit nodig is.

10.5.2. De eerste drie tabellen (tabel 6-8) geven de voorbeelden weer, zoals besproken in hoofdstuk 7

- **FV-installatie:**

De FV-installatie is gedimensioneerd om voldoende energie te kunnen opslaan om 100% van de energie te kunnen leveren die vereist wordt door een of meer belastingcategorieën op een zonnige zomerdag.

De reden hiervoor is de volgende:

- Op een zonnige zomerdag is de energie die van een zonnepaneel verkregen wordt, over de hele wereld ongeveer hetzelfde. De tabellen zijn daarom universeel toepasbaar.

- Met voldoende accuopslag komt het eigen verbruik dicht bij 100%, zelfs op een zonnige zomerdag.

Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid opgeslagen energie op alle andere dagen van het jaar niet voldoende is om het verbruik te dekken. Er moet extra energie via het elektriciteitsnet worden verkregen. Het eigen verbruik zal echter altijd 100% zijn.

- **Li-ion accu:**

De Li-ion accu is gedimensioneerd om de energie op te slaan die vereist is voor een of meer belastingcategorieën tijdens één zomerdag. Daarom is het hele jaar door een eigen verbruik van 100% verzekerd. Maar de accu zal op al die dagen van het jaar waarop minder energie wordt opgeslagen, te omvangrijk zijn.

De Li-ion accu is duidelijk veruit het duurste deel van het systeem.

10.5.3. Tabel 9 t/m 11: de drie woningen, met OPzS-accu

- **OPzS-accu:**

In deze tabellen is de Li-ion accu vervangen door een OPzS-accu, die ook is gedimensioneerd om de energie op te slaan die vereist is voor een of meer belastingcategorieën op een zonnige zomerdag. Daarom is het hele jaar door een eigen verbruik van 100% verzekerd. Maar de accu zal op al die dagen van het jaar waarop minder energie wordt opgeslagen, te omvangrijk zijn. De nominale energieopslagcapaciteit is hoger, omdat de bruikbare capaciteit wordt verlaagd tot 50% in vergelijking met 80% bij de Li-ion accu (zie paragraaf 10.3.3).

- **FV-installatie:**

De FV-installatie is opnieuw gedimensioneerd om voldoende energie op te slaan om 100% van de energie te leveren die vereist wordt door een of meer belastingcategorieën op een zonnige zomerdag.

De iets grotere Pw-waarde van de installatie geeft de lagere efficiëntie weer van de OPzS-accu vergeleken met de Li-ion accu.

De totale kosten van het systeem zijn desondanks veel lager dan de optie met de Li-ion accu.

Met een accuopslag van 100% en 100% FV is de kolom voor categorie 1+2+3 in tabel 6 t/m 11 representatief voor een autonome situatie met voldoende FV-vermogen om te voorkomen dat op zonnige zomerdagen de micro-CHP of generator moet worden gebruikt. Het aantal bedrijfsuren van de micro-CHP of generator kan nog verder worden verlaagd door de FV-installatie en/of accu te overdimensioneren.

10.5.4. Tabel 12 t/m 14: Accuenergieopslag verlaagd tot 30% van de FV-uitvoer

Tabel 12 t/m 14 bestaan elk uit 5 subtabellen die de kosten voor diverse accu- en FV-oplossingen samenvatten.

De eerste subtabellen (a) zijn een geconcentreerde versie van tabel 6 t/m 8.

De Li-ion accu en de FV-installatie zijn beide gedimensioneerd op 100%.

De volgende drie subtabellen (b, c en d) zijn gebaseerd op eigen verbruik, waarbij wordt aangegeven dat hooguit 60% van het Wp-vermogen van de installatie mag worden teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Zoals weergegeven in paragraaf 10.1 kan de accuopslag vervolgens worden gereduceerd tot ongeveer 30% van de kWh-installatieuitvoer op zonnige dagen.

In subtabellen b is de grootte van de FV-installatie op 100% gebleven en de accuopslag daarom gereduceerd tot 30%.

In subtabellen c en d is de FV-installatie vergroot tot respectievelijk 200% en 300% en is de accuopslag dienovereenkomstig toegenomen.

In subtabellen werd de FV-installatie opnieuw gedimensioneerd op 300%, maar de Li-ion accu is vervangen met een OPzS-accu, gedimensioneerd op 100%.

Opmerking:

Qua systeemefficiëntie wordt het ingewikkelder wanneer de accu te klein wordt om de dagelijks gewonnen zonne- of windenergie op te slaan, wat het geval zal zijn wanneer de accuopslag wordt gereduceerd tot 30% van de FV-installatieuitvoer op zonnige dagen. In dat geval gaat er een bepaald gedeelte van de mogelijke energieopslag verloren (als teruglevering aan het elektriciteitsnet niet mogelijk is), of het wordt direct gebruikt door de belasting (als er een belasting is) of het wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet, waarbij de accu wordt genegeerd. Bij directe teruglevering aan het elektriciteitsnet wordt de efficiëntie vergroot (geen verliezen dankzij de accucyclus) en neemt tegelijkertijd het eigen verbruik af.

Opmerking:

Op de meeste plaatsen zijn niet alle dagen zonnige zomerdagen. Wanneer er minder energie wordt opgeslagen, "loopt" er relatief gezien meer energie via de accu, waardoor de efficiëntie kleiner wordt, maar het eigen verbruik groter.

Om alles eenvoudig te houden zijn de subtabellen gemaakt op basis van de veronderstelling dat 100% van de gewonnen energie via de accu loopt. Deze veronderstelling kan van toepassing zijn op gebieden op hoge breedtegraden die weinig zonnige dagen hebben, maar is zeer pessimistisch (met betrekking tot de efficiëntie) wat betreft de zonnige gebieden op lage breedtegraden.

Voor Sevilla (Spanje), bijvoorbeeld, geeft tabel 4 aan dat de gemiddelde jaarlijkse uitvoer 74% is van de uitvoer van zonnige zomerdagen. Als de accu is gedimensioneerd om 30% van de FV-uitvoer op zonnige zomerdagen op te slaan, wordt ongeveer $74\% - 30\% = 44\%$ teruggeleverd aan het elektriciteitsnet en/of gebruikt voor een belasting, waarbij de accu en bijbehorende verliezen (8% bij een Li-ion accu en ongeveer 20% bij een loodzuuraccu) worden genegeerd.

Opmerking:

In de loop van de tijd wordt de capaciteit van de accu langzaam lager. De algemeen aanvaarde verwachte capaciteit aan het einde van de levensduur is 80% van de capaciteit die op het naamplaatje wordt vermeld. Om nog de vereiste capaciteit te behouden wanneer de accu het einde van zijn levensduur bereikt, moet een nieuwe accu overgedimensioneerd met een factor $1/0,8 = 1,25$ worden gebruikt. Deze factor is niet meegenomen in de berekeningen van de energieopslagcapaciteit in de volgende tabellen.

Tweepersoons, energiebewust huishouden Li-ion accu			Categorie 1 (basisbelasting)	Categorie 1+2 (plus pluggable- belastingen)	Categorie 1+2+3 (het volledige huis)				
Verbruik elektrische energie									
In de zomer		S	4,37	5,73	6,08	kWh			
In de winter		W	5,75	7,11	7,46	kWh			
Jaarlijks	$E_y = 365*(S+W)/2$		1801	2286	2410	kWh			
Li-ion accu met voldoende opslagcapaciteit om 100% van het dagelijks verbruik van elektrische energie op te slaan									
Energieopslagcapaciteit	$S/(0,80*0,94)$		5,81	7,62	8,09	kWh			
Nominale spanning			24	24	24	V			
Ah-opslagcapaciteit	Esc/Nv		242	317	337	Ah			
Kosten	1233	€/kW		€ 7.165	€ 9.395	€ 9.969			
Zonnepanelen met voldoende uitvoer om 100% van de belasting te leveren tijdens een zonnige zomerdag									
Dagelijks vereiste Hub-uitvoer	S*	1	4,37	5,73	6,08	kWh/dag			
Dagelijks vereiste FV-uitvoer	RdHo/0,85		5,14	6,74	7,15	kWh			
Wp-waarde van de installatie	RdPVo/6		857	1124	1192	Wp			
Kosten	2,19	€/Wp		€ 1.877	€ 2.461	€ 2.611			
Hub-1									
Efficiëntie solar laadcontroller + DC-kabels	$\eta_m*\eta_w$		96	96	96	%			
Max. laadstroom	$\eta_m*\eta_w*A_{wp}/N_v$		34	45	48	A			
Solar laadcontroller		MPPT 70/50	€ 260	MPPT 70/50	€ 260	MPPT 70/50	€ 260		
Max. belasting	L		660	2660	2660	W			
Omvormer/lader		Multi		Multi	Multi				
GridAssist vereist				24/2000/50	€ 1.454	24/2000/50	€ 1.454		
GridAssist niet vereist			24/1200/25	€ 969	24/3000/70	24/3000/70			
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 10.271	€ 13.570	€ 14.294			
Hub-2 of -3									
FV-omvormer			1,5 kW	€ 1.149	1,5 kW	€ 1.149	1,5 kW	€ 1.149	kW
Efficiëntie FV-omvormer + Omvormer/lader	$\eta_c*\eta_{pv}*\eta_v$		90	90	90	%			
Max. laadstroom	$\eta_c*\eta_{pv}*\eta_v*A_{wp}/N_v$		32	42	45	A			
Max. belasting	L		660	2660	2660	W			
Omvormer/lader		Multi		Multi	Multi				
GridAssist niet vereist			24/1600/40	€ 1.163	24/3000/70	€ 2.180	24/3000/70	€ 2.180	
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 11.354	€ 15.185	€ 15.909			

Tabel 6: Het tweepersoons energiebewuste huishouden
100% Li-ion accu en 100% FV

De kolom met de kop Categorie 1+2+3 bevat de niet verplaatsbare belastingen (= toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact worden aangesloten).

In dit voorbeeld verbruiken de niet verplaatsbare belastingen gemiddeld slechts 350 Wh per dag.

Dit komt omdat de volgende keuzes zijn gemaakt:

- beste energielasse van wasmachines gevuld met warm water
- wasdroger met elektrische verwarming
- afwasmachine gevuld met warm water
- gaskookstel
- centrale verwarming en boiler op gas

Het gemiddelde huis Li-ion accu			Categorie 1 (basisbelasting)		Categorie 1+2 (plus pluggable- belastingen)		Categorie 1+2+3 (het volledige huis)	
Verbruik elektrische energie								
In de zomer		S	8,38		10,02		12,07	kWh
In de winter		W	11,14		12,78		14,83	kWh
Jaarlijks	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		3475		4058		4788	kWh
Li-ion accu met voldoende opslagcapaciteit om 100% van het dagelijks verbruik van elektrische energie op te slaan								
Energieopslagcapaciteit	$S/(0,80 \cdot 0,94)$		11,14		13,32		16,05	kWh
Nominale spanning			24		48		48	V
Ah-opslagcapaciteit	Esc/Nv		464		278		334	Ah
Kosten	1233	€/kW		€ 13.740		€ 16.429		€ 19.790
Zonnepanelen met voldoende uitvoer om 100% van de belasting te leveren tijdens een zonnige zomerdag								
Dagelijks vereiste Hub-uitvoer	S*	1	8,38		10,02		12,07	kWh/dag
Dagelijks vereiste FV-uitvoer	RdHo/0,85		9,86		11,79		14,20	kWh
Wp-waarde van de installatie	RdPVo/6		1643		1965		2367	Wp
Kosten	2,19	€/Wp		€ 3.598		€ 4.303		€ 5.183
Hub-1								
Efficiëntie solar laadcontroller + DC-kabels	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Max. laadstroom	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		66		39		47	A
Solar laadcontroller			MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720
Max. belasting	L		1305		3305		3805	W
Omvormer/lader			Multi		Multi		Multi	
GridAssist vereist							48/3000/35	€ 2.180
GridAssist niet vereist			24/2000/50	€ 1.454	48/3000/35	€ 2.180	48/5000/70	
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 19.513		€ 23.632		€ 27.873
Hub-2 of -3								
FV-omvormer			2 kW	€ 1.393	2 kW	€ 1.393	2,8 kW	€ 1.670 kW
Efficiëntie FV-omvormer + Omvormer/lader	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Max. laadstroom	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		62		37		45	A
Max. belasting	L		1305		3305		3805	W
Omvormer/lader			Multi		Multi		Multi	
GridAssist niet vereist			24/3000/70	€ 2.180	48/3000/35	€ 2.180	48/5000/70	€ 2.907
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 20.912		€ 24.305		€ 29.550

Tabel 7: Het gemiddelde huis
100% Li-ion accu en 100% FV

De kolom met de kop Categorie 1+2+3 bevat de niet verplaatsbare belastingen (= toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact worden aangesloten) die, in dit voorbeeld, gemiddeld 2050 Wh per dag verbruiken:

- wasmachine met elektrische boiler
- wasdroger met elektrische verwarming
- afwasmachine met elektrische boiler
- gaskookstel
- centrale verwarming en boiler op gas

Het bovengemiddelde huis Li-ion accu			Categorie 1 (basisbelasting)	Categorie 1+2 (plus pluggable-belastingen)	Categorie 1+2+3 (het volledige huis)		
Verbruik elektrische energie							
In de zomer		S	18,96	20,88	27,98	kWh	
In de winter		W	23,10	25,02	32,12	kWh	
Jaarlijks	$E_y = 365*(S+W)/2$		7487	8170	10698	kWh	
Li-ion accu met voldoende opslagcapaciteit om 100% van het dagelijks verbruik van elektrische energie op te slaan							
Energieopslagcapaciteit	$S/(0,80*0,94)$		25,21	27,77	37,21	kWh	
Nominale spanning			48	48	48	V	
Ah-opslagcapaciteit	Esc/Nv		525	578	775	Ah	
Kosten	1233	€/kW	€ 31.087	€ 34.235	€ 45.877		
Zonnepanelen met voldoende uitvoer om 100% van de belasting te leveren tijdens een zonnige zomerdag							
Dagelijks vereiste Hub-uitvoer	S*	1	18,96	20,88	27,98	kWh/dag	
Dagelijks vereiste FV-uitvoer	RdHo/0,85		22,31	24,56	32,92	kWh	
Wp-waarde van de installatie	RdPVo/6		3718	4094	5486	Wp	
Kosten	2,19	€/Wp	€ 8.142	€ 8.966	€ 12.015		
Hub-1							
Efficiëntie solar laadcontroller + DC-kabels	$\eta_m * \eta_w$		96	96	96	%	
Max. laadstroom	$\eta_m * \eta_w * A_{wp}/N_v$		74	82	110	A	
Solar laadcontroller		MPPT 150/75	€ 720	2*MPPT 150/75 € 1.440	2*MPPT 150/75 € 1.440		
Max. belasting	L		2560	4560	10560	W	
Omvormer/lader			Multi	Multi	Multi		
GridAssist vereist				48/3000/35 € 2.180	48/5000/70 € 2.907		
GridAssist niet vereist			48/3000/35 € 2.180	48/5000/70	48/10000/140		
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 42.129	€ 46.822	€ 62.239		
Hub-2 of -3							
FV-omvormer			5 kW € 2.554	5 kW € 2.554	8 kW € 4.000	kW	
Efficiëntie FV-omvormer + Omvormer/lader	$\eta_c * \eta_{pv} * \eta_v$		90	90	90	%	
Max. laadstroom	$\eta_c * \eta_{pv} * \eta_v * A_{wp}/N_v$		70	77	103	A	
Max. belasting	L		2560	4560	10560	W	
Omvormer/lader			Multi	Multi	Multi		
GridAssist niet vereist			48/5000/70 € 2.907	48/8000/110 € 4.748	48/10000/140 € 5.233		
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 44.690	€ 50.504	€ 67.125		

Tabel 8: Het bovengemiddelde huis
100% Li-ion accu en 100% FV

De kolom met de kop Categorie 1+2+3 bevat de niet verplaatsbare belastingen (= toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact worden aangesloten) die, in dit voorbeeld, gemiddeld 7100 Wh per dag verbruiken:

- wasmachine met elektrische boiler
- wasdroger met elektrische verwarming
- afwasmachine met elektrische boiler
- inductiekookplaat
- centrale verwarming en boiler op gas

Tweepersoons, energiebewust huishouden OPzS-accu			Categorie 1 (basisbelasting)	Categorie 1+2 (plus pluggable- belastingen)	Categorie 1+2+3 (het volledige huis)
Verbruik elektrische energie					
In de zomer		S	4,37	5,73	6,08 kWh
In de winter		W	5,75	7,11	7,46 kWh
Jaarlijks	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		1801	2286	2410 kWh
OPzS-accu met voldoende opslagcapaciteit om 100% van het dagelijks verbruik van elektrische energie op te slaan					
Energieopslagcapaciteit	$S/(0,50 \cdot 0,94)$		9,30	12,19	12,94 kWh
Nominale spanning			24	24	24 V
Ah-opslagcapaciteit	Esc/Nv		387	508	539 Ah
Kosten	312	€/kW	€ 2.901	€ 3.804	€ 4.036
Zonnepanelen met voldoende uitvoer om 100% van de belasting te leveren tijdens een zonnige zomerdag					
Dagelijks vereiste Hub-uitvoer	S*	1	4,37	5,73	6,08 kWh/dag
Dagelijks vereiste FV-uitvoer	$RdHo/0,75$		5,83	7,64	8,11 kWh
Wp-waarde van de installatie	$RdPVo/6$		971	1273	1351 Wp
Kosten	2,19	€/Wp	€ 2.127	€ 2.789	€ 2.959
Hub-1					
Efficiëntie solar laadcontroller + DC-kabels	$\eta_m \cdot \eta_w$		96	96	96 %
Max. laadstroom	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		39	51	54 A
Solar laadcontroller		MPPT 70/50	€ 260	MPPT 70/50	€ 260
Max. belasting	L		660	2660	2660 W
Omvormer/lader		Multi		Multi	Multi
GridAssist vereist				24/2000/50	€ 1.454
GridAssist niet vereist		24/1200/25	€ 969	24/3000/70	€ 1.454
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 6.257	€ 8.306	€ 8.709
Hub-2 of -3					
FV-omvormer			1,5kW	€ 1.149	1,5kW
Efficiëntie FV-omvormer + Omvormer/lader	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90	90	90 %
Max. laadstroom	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		32	42	45 A
Max. belasting	L		660	2660	2660 W
Omvormer/lader		Multi		Multi	Multi
GridAssist niet vereist		24/1600/40	€ 1.163	24/3000/70	€ 2.180
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 7.340	€ 9.921	€ 10.324

Tabel 9: Het tweepersoons energiebewuste huishouden
100% OPzS-accu en 100% PV

De kolom met de kop Categorie 1+2+3 bevat de niet verplaatsbare belastingen (= toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact worden aangesloten).

In dit voorbeeld verbruiken de niet verplaatsbare belastingen gemiddeld slechts 350 Wh per dag.

Dit komt omdat de volgende keuzes zijn gemaakt:

- beste energieklassen van wasmachines gevuld met warm water
- wasdroger met elektrische verwarming
- afwasmachine gevuld met warm water
- gaskookstel
- centrale verwarming en boiler op gas

Opmerking: Wanneer u het aantal accucellen wilt verminderen en de Ah per cel wilt verhogen, kunt u soms beter een lagere gelijkstroom gebruiken.

Het gemiddelde huis OPzS-accu			Categorie 1 (basisbelasting)		Categorie 1+2 (plus pluggable- belastingen)		Categorie 1+2+3 (het volledige huis)	
Verbruik elektrische energie								
In de zomer		S	8,38		10,02		12,07	kWh
In de winter		W	11,14		12,78		14,83	kWh
Jaarlijks	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		3475		4058		4788	kWh
OPzS-accu met voldoende opslagcapaciteit om 100% van het dagelijks verbruik van elektrische energie op te slaan								
Energieopslagcapaciteit	$S/(0,50 \cdot 0,94)$		17,83		21,32		25,68	kWh
Nominale spanning			24		48		48	V
Ah-opslagcapaciteit	Esc/Nv		743		444		535	Ah
Kosten	312	€/kW		€ 5.563		€ 6.652		€ 8.012
Zonnepanelen met voldoende uitvoer om 100% van de belasting te leveren tijdens een zonnige zomerdag								
Dagelijks vereiste Hub-uitvoer	S*	1	8,38		10,02		12,07	kWh/dag
Dagelijks vereiste FV-uitvoer	RdHo/0,75		11,17		13,36		16,09	kWh
Wp-waarde van de installatie	RdPVo/6		1862		2227		2682	Wp
Kosten	2,19	€/Wp		€ 4.078		€ 4.876		€ 5.874
Hub-1								
Efficiëntie solar laadcontroller + DC-kabels	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Max. laadstroom	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		75		45		54	A
Solar laadcontroller		MPPT 150/75		€ 720	MPPT 150/75	€ 720	MPPT 150/75	€ 720
Max. belasting	L		1305		3305		3805	W
Omvormer/lader			Multi		Multi		Multi	
GridAssist vereist							48/3000/35	€ 2.180
GridAssist niet vereist			24/2000/50	€ 969	48/3000/35	€ 2.180	48/5000/70	
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 11.330		€ 14.428		€ 16.786
Hub-2 of -3								
FV-omvormer			2 kW	€ 1.393	2 kW	€ 1.393	2,8	€ 1.670 kW
Efficiëntie FV-omvormer + Omvormer/lader	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Max. laadstroom	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		62		37		45	A
Max. belasting	L		1305		3305		3805	W
Omvormer/lader			Multi		Multi		Multi	
GridAssist niet vereist			24/3000/70	€ 2.180	48/3000/35	€ 2.180	48/5000/70	€ 2.907
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 13.214		€ 15.101		€ 18.463

Tabel 10: Het gemiddelde huis
100% OPzS-accu en 100% PV

De kolom met de kop Categorie 1+2+3 bevat de niet verplaatsbare belastingen (= toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact worden aangesloten) die, in dit voorbeeld, gemiddeld 2050 Wh per dag verbruiken:

- wasmachine met elektrische boiler
- wasdroger met elektrische verwarming
- afwasmachine met elektrische boiler
- gaskookstel
- centrale verwarming en boiler op gas

Opmerking: Wanneer u het aantal accucellen wilt verminderen en de Ah per cel wilt verhogen, kunt u soms beter een lagere gelijkstroom gebruiken.

Het bovengemiddelde huis OPzS-accu			Categorie 1 (basisbelasting)		Categorie 1+2 (plus pluggable-belastingen)		Categorie 1+2+3 (het volledige huis)	
Verbruik elektrische energie								
In de zomer		S	18,96		20,88		27,98	kWh
In de winter		W	23,10		25,02		32,12	kWh
Jaarlijks	$E_y = 365 \cdot (S+W)/2$		7487		8170		10698	kWh
OPzS-accu met voldoende opslagcapaciteit om 100% van het dagelijks verbruik van elektrische energie op te slaan								
Energieopslagcapaciteit	$S/(0,50 \cdot 0,94)$		40,34		44,43		59,53	kWh
Nominale spanning			48		48		48	V
Ah-opslagcapaciteit	Esc/Nv		840		926		1240	Ah
Kosten	312	€/kW		€ 12.586		€ 13.861		€ 18.574
Zonnepanelen met voldoende uitvoer om 100% van de belasting te leveren tijdens een zonnige zomerdag								
Dagelijks vereiste Hub-uitvoer	S*	1	18,96		20,88		27,98	kWh/dag
Dagelijks vereiste FV-uitvoer	RdHo/0,75		25,28		27,84		37,31	kWh
Wp-waarde van de installatie	RdPVo/6		4213		4640		6218	Wp
Kosten	2,19	€/Wp		€ 9.227		€ 10.162		€ 13.617
Hub-1								
Efficiëntie solar laadcontroller + DC-kabels	$\eta_m \cdot \eta_w$		96		96		96	%
Max. laadstroom	$\eta_m \cdot \eta_w \cdot A_{wp}/N_v$		84		93		124	A
Solar laadcontroller			MPPT 150/75	€ 720	2*MPPT 150/75	€ 1.440	2*MPPT 150/75	€ 1.440
Max. belasting	L		2560		4560		10560	W
Omvormer/lader			Multi		Multi		Multi	
GridAssist vereist					48/3000/35	€ 2.180	48/5000/70	€ 2.907
GridAssist niet vereist			48/3000/35	€ 2.180	48/5000/70		48/10000/140	
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 24.713		€ 27.642		€ 36.538
Hub-2 of -3								
FV-omvormer			5 kW	€ 2.554	5 kW	€ 2.554	8 kW	€ 4.000 kWh
Efficiëntie FV-omvormer + Omvormer/lader	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v$		90		90		90	%
Max. laadstroom	$\eta_c \cdot \eta_{pv} \cdot \eta_v \cdot A_{wp}/N_v$		70		77		103	A
Max. belasting	L		2560		4560		10560	W
Omvormer/lader			Multi		Multi		Multi	
GridAssist niet vereist			48/5000/70	€ 2.907	48/8000/110	€ 4.748	48/10000/140	€ 5.233
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 27.274		€ 31.324		€ 41.424

Tabel 11: Het bovengemiddelde huis
100% Li-ion accu en 100% FV

De kolom met de kop Categorie 1+2+3 bevat de niet verplaatsbare belastingen (= toestellen die altijd op hetzelfde stopcontact worden aangesloten) die, in dit voorbeeld, gemiddeld 7100 Wh per dag verbruiken:

- wasmachine met elektrische boiler
- wasdroger met elektrische verwarming
- afwasmachine met elektrische boiler
- inductiekookplaat
- centrale verwarming en boiler op gas

Opmerking:

Wanneer u het aantal accucellen wilt verminderen en de Ah per cel wilt verhogen, kunt u soms beter een lagere gelijkstroom gebruiken.

Tweepersoons, energiebewust huishouden		Categorie 1+2				Categorie 1+2+3			
Li-ion accu	100%	7,62	kW	€ 9.395	69%	8,09	kW	€ 9.969	70%
FV-installatie	100%	1.124	Wp	€ 2.461	18%	1.192	Wp	€ 2.611	18%
Solar laadcontroller		MPPT 70/50		€ 260	2%	MPPT 70/50		€ 260	2%
Omvormer/lader		24/2000/50		€ 1.454	11%	24/2000/50		€ 1.454	10%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 13.570	100%	€ 14.294		100%	
FV-omvormer		1,5	kW	€ 1.149	8%	1,5	kW	€ 1.149	8%
Omvormer/lader		24/3000/70		€ 2.180	16%	24/3000/70		€ 2.180	15%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 15.185	112%	€ 15.909		111%	

Tabel 12a
Geconcentreerde versie van tabel 6

Li-ion accu	30%	2,29	kW	€ 2.819	40%	2,43	kW	€ 2.991	41%
FV-installatie	100%	1.124	Wp	€ 2.461	35%	1.192	Wp	€ 2.611	36%
Solar laadcontroller		MPPT 70/50		€ 260	4%	MPPT 70/50		€ 260	4%
Omvormer/lader		24/2000/50		€ 1.454	21%	24/2000/50		€ 1.454	20%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 6.993	100%	€ 7.316		100%	
FV-omvormer		1,5	kW	€ 1.149	16%	1,5	kW	€ 1.149	16%
Omvormer/lader		24/3000/70		€ 2.180	31%	24/3000/70		€ 2.180	30%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 8.608	123%	€ 8.931		122%	

Tabel 12b
Li-ion accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik (zie paragraaf 10.1)

Li-ion accu	60%	4,57	kW	€ 5.637	42%	4,85	kW	€ 5.981	42%
FV-installatie	200%	2.247	Wp	€ 4.921	37%	2.384	Wp	€ 5.222	37%
Solar laadcontroller		MPPT 150/70		€ 720	5%	MPPT 150/70		€ 720	5%
Omvormer/lader		48/3000/35		€ 2.180	16%	48/3000/35		€ 2.180	15%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 13.458	100%	€ 14.103		100%	
FV-omvormer		2,8	kW	€ 1.670	12%	2,8	kW	€ 1.670	12%
Omvormer/lader		48/3000/35		€ 2.180	16%	48/3000/35		€ 2.180	15%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 14.408	107%	€ 15.053		107%	

Tabel 12c
Li-ion accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik met 200% FV-installatie

Li-ion accu	100%	7,62	kW	€ 9.395	48%	8,09	kW	€ 9.969	48%
FV-installatie	300%	3.371	Wp	€ 7.382	38%	3.576	Wp	€ 7.832	38%
Solar laadcontroller		MPPT 150/70		€ 720	4%	MPPT 150/70		€ 720	3%
Omvormer/lader		48/3000/35		€ 2.180	11%	48/3000/35		€ 2.180	11%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 19.677	100%	€ 20.701		100%	
FV-omvormer		4	kW	€ 2.241	11%	4	kW	€ 2.241	11%
Omvormer/lader		48/5000/70		€ 2.907	15%	48/5000/70		€ 2.907	14%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 21.925	111%	€ 22.949		111%	

Tabel 12d
Li-ion accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik met 300% FV-installatie

OPzS-accu	100%	12,19	kW	€ 3.804	25%	12,94	kW	€ 4.036	26%
FV-installatie	300%	3.820	Wp	€ 8.366	56%	4.053	Wp	€ 8.877	56%
Solar laadcontroller		MPPT 150/70		€ 720	5%	MPPT 150/70		€ 720	5%
Omvormer/lader		48/3000/35		€ 2.180	14%	48/3000/35		€ 2.180	14%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen				€ 15.070	100%	€ 15.813		100%	
FV-omvormer		4	kW	€ 2.241	15%	4	kW	€ 2.241	14%
Omvormer/lader		48/5000/70		€ 2.907	19%	48/5000/70		€ 2.907	18%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen				€ 17.318	115%	€ 18.061		114%	

Tabel 12e
OPzS-accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik met 300% FV-installatie

Tabel 12 Het tweepersoons energiebewuste huishouden

Gemiddeld huis			Categorie 1+2			Categorie 1+2+3		
Li-ion accu	100%	13,32 kW	€ 16.429	70%	16,05 kW	€ 19.790	71%	
FV-installatie	100%	1.965 Wp	€ 4.303	18%	2.367 Wp	€ 5.183	19%	
Solar laadcontroller		MPPT 150/70	€ 720	3%	MPPT 150/70	€ 720	3%	
Omvormer/lader		48/3000/35	€ 2.180	9%	48/3000/35	€ 2.180	8%	
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 23.632	100%		€ 27.873	100%	
FV-omvormer		2 kW	€ 1.393	6%	2,8 kW	€ 1.670	6%	
Omvormer/lader		48/3000/35	€ 2.180	9%	48/5000/70	€ 2.907	10%	
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 24.305	103%		€ 29.550	106%	

Tabel 13a
Geconcentreerde versie
van tabel 7

Li-ion accu	30%	4,00 kW	€ 4.929	41%	4,82 kW	€ 5.937	42%
FV-installatie	100%	1.965 Wp	€ 4.303	35%	2.367 Wp	€ 5.183	37%
Solar laadcontroller		MPPT 150/70	€ 720	6%	MPPT 150/70	€ 720	5%
Omvormer/lader		48/3000/35	€ 2.180	18%	48/3000/35	€ 2.180	16%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 12.131	100%		€ 14.020	100%
FV-omvormer		2 kW	€ 1.393	11%	2,8 kW	€ 1.670	12%
Omvormer/lader		48/3000/35	€ 2.180	18%	48/5000/70	€ 2.907	21%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 12.804	106%		€ 15.697	112%

Tabel 13b
Li-ion accu
geoptimaliseerd voor
eigen verbruik (zie
paragraaf 10.1)

Li-ion accu	60%	7,99 kW	€ 9.857	43%	9,63 kW	€ 11.874	45%
FV-installatie	200%	3.929 Wp	€ 8.605	38%	4.733 Wp	€ 10.366	39%
Solar laadcontroller		2*MPPT 150/70	€ 1.440	6%	2*MPPT 150/70	€ 1.440	5%
Omvormer/lader		48/5000/70	€ 2.907	13%	48/5000/70	€ 2.907	11%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 22.810	100%		€ 26.587	100%
FV-omvormer		4 kW	€ 1.670	7%	5 kW	€ 2.554	10%
Omvormer/lader		48/5000/70	€ 2.907	13%	48/5000/70	€ 2.907	11%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 23.040	101%		€ 27.701	104%

Tabel 13c
Li-ion accu
geoptimaliseerd voor
eigen verbruik met 200%
FV-installatie

Li-ion accu	100%	13,32 kW	€ 16.429	46%	16,05 kW	€ 19.790	48%
FV-installatie	300%	5.894 Wp	€ 12.908	36%	7.100 Wp	€ 15.549	37%
Solar laadcontroller		2*MPPT 150/70	€ 1.440	4%	2*MPPT 150/70	€ 1.440	3%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	13%	48/8000/110	€ 4.748	11%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 35.525	100%		€ 41.527	100%
FV-omvormer		6 kW	€ 2.800	8%	8 kW	€ 4.000	10%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	13%	48/8000/110	€ 4.748	11%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 36.885	104%		€ 44.087	106%

Tabel 13d
Li-ion accu
geoptimaliseerd voor
eigen verbruik met
300% FV-installatie

OPzS-accu	100%	21,32 kW	€ 6.652	24%	25,68 kW	€ 8.012	25%
FV-installatie	300%	6.680 Wp	€ 14.629	53%	8.047 Wp	€ 17.622	55%
Solar laadcontroller		2*MPPT 150/70	€ 1.440	5%	2*MPPT 150/70	€ 1.440	5%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	17%	48/8000/110	€ 4.748	15%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 27.469	100%		€ 31.823	100%
FV-omvormer		8 kW	€ 4.000	15%	10 kW	€ 5.000	16%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	17%	48/10000/140	€ 5.233	16%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 30.029	109%		€ 35.868	113%

Tabel 13e
OPzS-accu
geoptimaliseerd voor
eigen verbruik met
300% FV-installatie

Tabel 13 Het gemiddelde huis

Het bovengemiddelde huis			Categorie 1+2		Categorie 1+2+3		
Li-ion accu	100%	27,77 kW	€ 34.235	73%	37,21 kW	€ 45.877	74%
FV-installatie	100%	4.094 Wp	€ 8.966	19%	5.486 Wp	€ 12.015	19%
Solar laadcontroller		2*MPPT 150/70	€ 1.440	3%	2*MPPT 150/70	€ 1.440	2%
Omvormer/lader		48/3000/35	€ 2.180	5%	48/5000/70	€ 2.907	5%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 46.822	100%	€ 62.239	100%	
FV-omvormer		5 kW	€ 2.554	5%	8 kW	€ 4.000	6%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	10%	48/10000/140	€ 5.233	8%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 50.504	108%	€ 67.125	108%	

Tabel 14a
Geconcentreerde versie van tabel 8

Li-ion accu	30%	8,33 kW	€ 10.271	44%	11,16 kW	€ 13.763	46%
FV-installatie	100%	4.094 Wp	€ 8.966	38%	5.486 Wp	€ 12.015	40%
Solar laadcontroller		2*MPPT 150/70	€ 1.440	6%	2*MPPT 150/70	€ 1.440	5%
Omvormer/lader		48/5000/70	€ 2.907	12%	48/5000/70	€ 2.907	10%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 23.584	100%	€ 30.125	100%	
FV-omvormer		5 kW	€ 2.554	11%	8 kW	€ 4.000	13%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	20%	48/10000/140	€ 5.233	17%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 26.539	113%	€ 35.011	116%	

Tabel 14b
Li-ion accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik (zie paragraaf 10.1)

Li-ion accu	60%	16,66 kW	€ 20.541	45%	22,32 kW	€ 27.526	47%
FV-installatie	200%	8.188 Wp	€ 17.932	40%	10.973 Wp	€ 24.030	41%
Solar laadcontroller		3*MPPT 150/70	€ 2.160	5%	3*MPPT 150/70	€ 2.160	4%
Omvormer/lader		48/8000/110	€ 4.748	10%	48/10000/140	€ 5.233	9%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 45.381	100%	€ 58.949	100%	
FV-omvormer		10 kW	€ 5.000	11%	12 kW	€ 6.000	10%
Omvormer/lader		48/10000/140	€ 4.748	10%	48/10000/140	€ 5.233	9%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 48.221	106%	€ 62.789	107%	

Tabel 14c
Li-ion accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik met 200% FV-installatie

Li-ion accu	100%	27,77 kW	€ 34.235	47%	37,21 kW	€ 45.877	49%
FV-installatie	300%	12.282 Wp	€ 26.898	37%	16.459 Wp	€ 36.045	38%
Solar laadcontroller		4*MPPT 150/70	€ 2.880	4%	5*MPPT 150/70	€ 3.600	4%
Omvormer/lader		3*48/5000/70	€ 8.721	12%	3*48/5000/70	€ 8.721	9%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 72.735	100%	€ 94.243	100%	
FV-omvormer		15 kW	€ 7.500	10%	20	€ 10.000	11%
Omvormer/lader		3*48/5000/70	€ 8.721	12%	3*48/8000/110	€ 14.244	15%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 77.355	106%	€ 106.166	113%	

Tabel 14d
Li-ion accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik met 300% FV-installatie

OPzS-accu	100%	44,43 kW	€ 13.861	25%	59,53 kW	€ 18.574	26%
FV-installatie	300%	13.920 Wp	€ 30.485	54%	18.653 Wp	€ 40.851	57%
Solar laadcontroller		4*MPPT 150/70	€ 2.880	5%	5*MPPT 150/70	€ 3.600	5%
Omvormer/lader		3*48/5000/70	€ 8.721	16%	3*48/5000/70	€ 8.721	12%
Hub-1: kosten van de hoofdonderdelen			€ 55.947	100%	€ 71.746	100%	
FV-omvormer		15 kW	€ 7.500	13%	20	€ 10.000	14%
Omvormer/lader		3*48/5000/70	€ 8.721	16%	3*48/8000/110	€ 14.244	20%
Hub-2 of -3: kosten van de hoofdonderdelen			€ 60.567	108%	€ 83.669	117%	

Tabel 14e
OPzS-accu geoptimaliseerd voor eigen verbruik met 300% FV-installatie

Tabel 14 Het bovengemiddelde huis