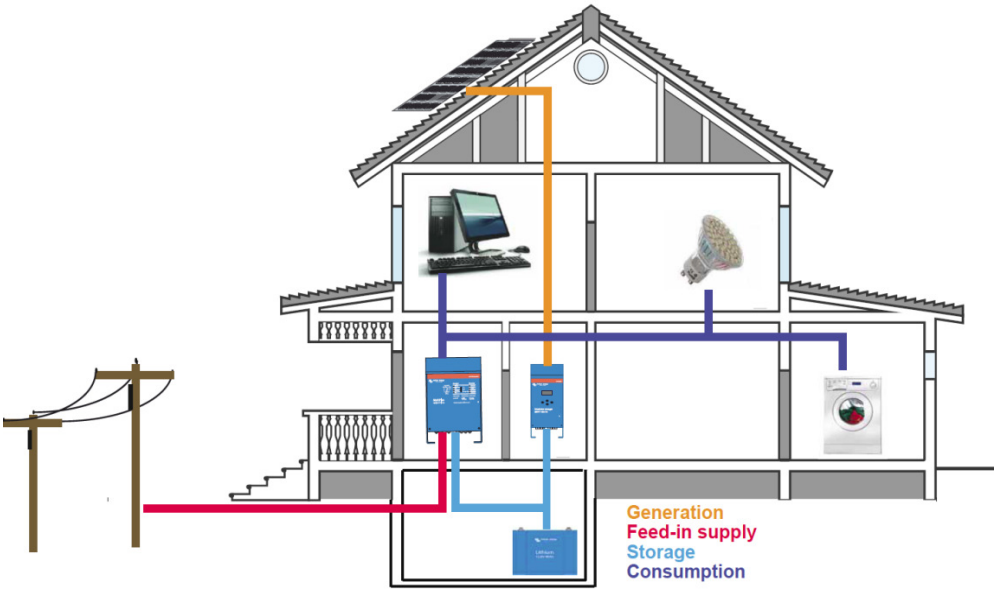
www.victronenergy.com

Rev 02

Eigenverbrauch
und
Netzunabhängigkeit

mit dem Victron Energy Storage Hub



1. Einführung

2. Drei System-Alternativen
2.1. VE Storage Hub-1
2.2. VE Storage Hub-2
2.3. VE Storage Hub-3

3. Wichtige Merkmale der drei System-Alternativen: GridAssist

4. Kurze Beschreibung der Hauptbestandteile des VE Storage Hub
4.1. Batterie: Blei-Säure- oder Lithium-Ionen-Batterie, Teil 1.
4.2. MultiPlus und Quattro Wechselrichter/Ladegeräte
4.3. BlueSolar MPPT Solar-Lade-Regler
4.4. PV Wechselrichter

5. Elektrischer Stromverbrauch im Haushalt
Grundlast (Lasten der Kategorie 1)
Andere Geräte mit Stecker (Lasten der Kategorie 2)
Fest installierte Lasten (Lasten der Kategorie 3)

6. Wirkungsgrad des Hub

7. Der Hub für den netzgekoppelten Haushalt
7.1 Die Versorgung der Grundlast mit Hub-1 und einer Lithium-Ionen-Batterie
7.2. Grundlast plus weitere Geräte mit Stecker (Lasten der Kategorie 2 und 3), die durch Hub-1 mit Strom versorgt werden
7.3 Versorgen der Grundlast über Hub-2 oder 3
7.4. Grundlast plus weitere Geräte mit Stecker, die über Hub-2 bzw. -3 versorgt werden
7.5 Wie sieht es mit einem dunklen und verregneten Winter aus?

8. Der netzunabhängige Hub
8.1. Die Mikro-KWK-Anlage
8.2 Generatoren mit Dieselmotor

9. Definition: die 100 % PV-Anlage und die 100 % Batterie.

10. Kosten
10.1. Eigenverbrauch: optimale Speicherkapazität
10.2. Netzunabhängigkeit: optimale Speicherkapazität
10.3. Batterie: Blei-Säure- oder Lithium-Ionen-Batterie, Teil 2
10.4. Die PV-Anlage
10.5. Beispiele: Kosten für die wichtigsten Bestandteile

1. Einführung

Die mithilfe der Sonne und/oder Windkraft gewonnene elektrische Leistung und der tatsächliche Stromverbrauch stimmen nie ganz überein.
Das führt dazu, dass bei einer zu hohen Energieerzeugung, Strom zurück in das Netz eingespeist wird und bei einer unzureichenden Stromerzeugung zusätzlich Strom aus dem Netz benötigt wird.

Da immer mehr Solar- und Windkraftanlagen ans Netz gehen, wird die Sicherstellung der Netzstabilität immer schwieriger und teurer.
Die Energiezwischenspeicherung wird daher immer mehr zu einem wichtigen Werkzeug, um Stromschwankungen im Netz überschaubar zu halten.

Da die Einspeisetarife stetig fallen, nimmt das Geschäftsszenario für ein Energiespeichersystem für zuhause, das den Eigenverbrauch erhöht, außerdem von Tag zu Tag mehr Gestalt an.

Durch die Energiezwischenspeicherung wird der Eigenverbrauch der gewonnenen Solar- und/oder Windkraftenergie gesteigert.
Logischerweise wäre der nächste Schritt dann ein Eigenverbrauch von 100 % und die Unabhängigkeit vom Netz.

Der Storage Hub von Victron Energy bietet die Lösung und mehrere zusätzliche Vorzüge

Bei zehntausenden netzunabhängigen und netzinteraktiven Systemen, die weltweit installiert wurden, können wir auf die notwendige Erfahrung und die Produkte zurückgreifen, um das optimale System zu entwerfen.

- **Batterie**
  Den Kern des Hub bildet eine Batterie, die bei übermäßig vorhandener Solar-/Windkraftenergie geladen wird. Übersteigt der Verbrauch die erzeugt Energiemenge, wird sie dagegen entladen.
  OPzS und OPzV- Röhrenplatten-Blei-Säure-Batterien haben sich sowohl bei netzgekoppelten als auch bei netzunabhängigen Systemen als sehr leistungsfähig erwiesen.
  Eine Lithium-Ionen-Batterie stellt alternativ eine geeignete Lösung dar, wenn ein hoher Lade-/Entlade-Wirkungsgrad, eine kompakte Größe und ein geringes Gewicht von Bedeutung sind.
  Weitere Informationen sind in den Abschnitten 4.1 und 9.3 verfügbar.

- **Netzfreundlich**
  Mithilfe des Hub lassen sich Bedarfsspitzen aus dem Netz (durch Entladen der Batterie) sowie Spitzen bei der Einspeisung ins Netz (durch Laden der Batterie) verringern.
  Weitere Informationen hierzu sind in Abschnitt 9.1 verfügbar.

- **Überbrückung eines Stromausfalls**
  Mit der in der Batterie gespeicherten Energie können während eines Stromausfalls die wichtigsten Geräte weiter mit Strom versorgt werden.

- **Netzunabhängigkeit**
  Bei ausreichender Batteriekapazität und sofern erforderlich, mithilfe einer Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (Mikro-KWK-Anlage) oder eines Reserve-Aggregats, lässt sich die völlige Unabhängigkeit vom Netz erreichen.

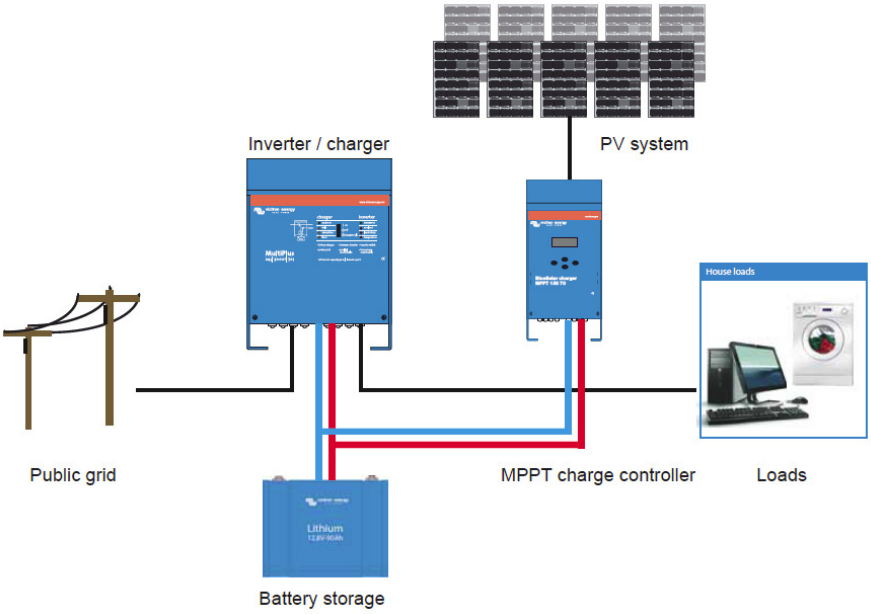
- **Flexibel**
  Wir bieten nicht einen einzelnen Hub, sondern drei alternative Konfigurationen an. Jede von ihnen lässt sich an spezifische Anforderungen anpassen.

- **Vor Ort aufrüstbar**
  Zusätzliche Solar-/Windkraft- und Batteriespeicherungs-Optionen lassen sich zu einem späteren Zeitpunkt anschließen.

2. Drei System-Alternativen

2.1. VE Storage Hub-1

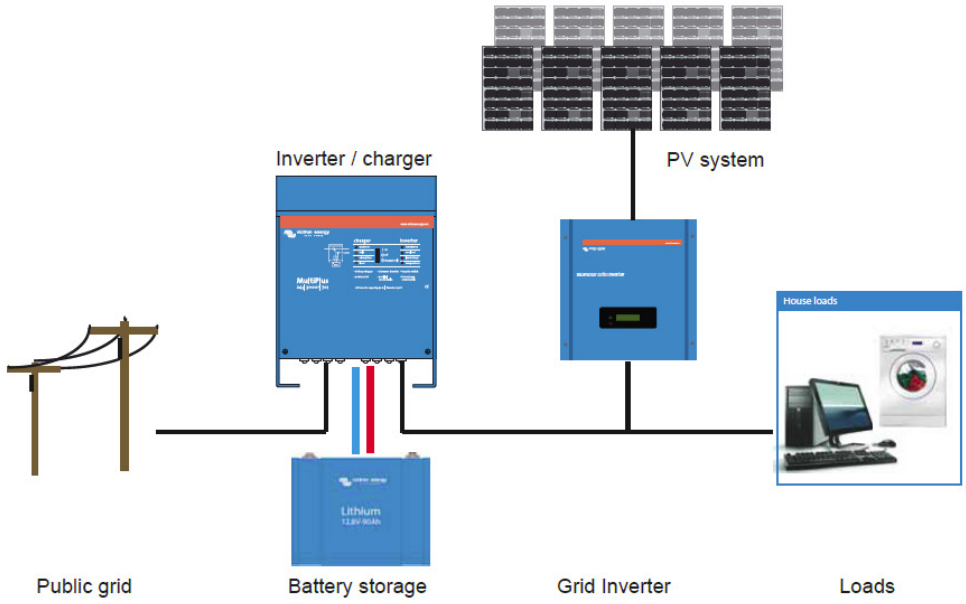
Hub-1 bietet die effektivste Lösung, wenn das Meiste der erzeugten Energie vor der Nutzung zunächst in der Batterie gespeichert werden soll.
Sie stellt außerdem die einfachste, robusteste und kostengünstigste Lösung dar.



Der BlueSolar MPPT Lade-Regler nutzt Solarkraft zum Laden der Batterie.
Die gespeicherte Energie wird dann zur Versorgung der Lasten von einem MultiPlus bzw. einem Quattro Wechselrichter/Ladegerät in Wechselstrom umgewandelt. Überschüssige Energie wird zurück ins Netz eingespeist.
Kommt es im Elektrizitätswerk zu einem Stromausfall, trennt der Hub die Verbindung zum Netz und arbeitet als unabhängiges System weiter.
Wird Energie zurück ins Netz eingespeist, muss in das System eine Anti-Islanding-Vorrichtung eingebaut sein, die den örtlichen Bestimmungen entspricht.

2.2. VE Storage Hub-2

Hierbei handelt es sich um die praktischste Lösung, um eine Speicherbatterie an ein bereits vorhandenes, netzgekoppeltes PV-System anzuschließen.



Der durch die Solar-Paneele erzeugte Gleichstrom wird über einen PV-Wechselrichter, der am AC **Ausgang** eines Wechselrichters/Ladegerätes angeschlossen ist, in Wechselstrom umgewandelt. Der AC-Eingang des Wechselrichters/Ladegerätes ist an das Netz angeschlossen.
Wird Energie zurück ins Netz eingespeist, muss in das System eine Anti-Islanding-Vorrichtung eingebaut sein, die den örtlichen Bestimmungen entspricht.

Der PV-Wechselrichter versorgt die Lasten dann direkt mit Strom.

Sollte nicht ausreichend PV-Energie vorhanden sein, speist der Wechselrichter/das Ladegerät zusätzliche Energie von der Batterie oder dem Netz ein.

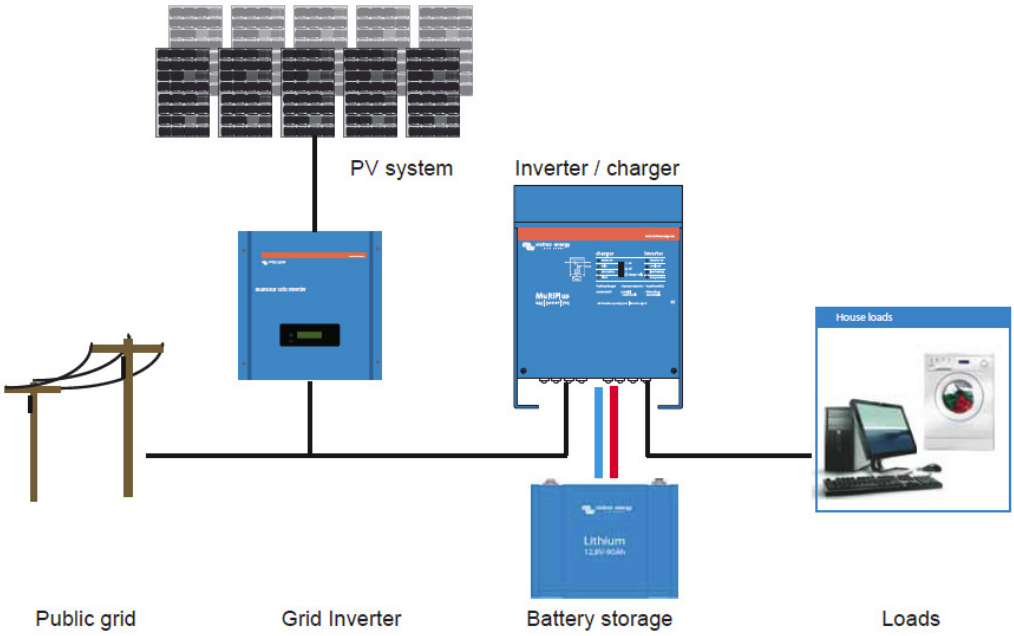
Ist jedoch überschüssige PV-Energie vorhanden, so nutzt der Wechselrichter/das Ladegerät die überschüssige Energie zum Laden der Batterie und/oder zur Einspeisung in das Netz.

Kommt es im Elektrizitätswerk zu einem Stromausfall, trennt der Hub die Verbindung zum Netz und arbeitet als unabhängiges System weiter.

Die Planung und Inbetriebsetzung dieser Lösung ist komplizierter als die Lösung mit Hub-1. Dies ist auf das Zusammenwirken von Wechselrichter/Ladegerät und Netz-Wechselrichter zurückzuführen.

2.3. VE Storage Hub-3

Der durch die Solar-Paneele erzeugte Gleichstrom wird über einen PV-Wechselrichter, der am AC **Eingang** eines Wechselrichters/Ladegerätes angeschlossen ist, in Wechselstrom umgewandelt.



Die Energie aus dem PV-Wechselrichter wird über den Wechselrichter/das Ladegerät den Lasten zugeführt.
Sollte nicht ausreichend PV-Energie vorhanden sein, speist der Wechselrichter/das Ladegerät zusätzliche Energie von der Batterie oder dem Netz ein.
Ist jedoch überschüssige PV-Energie vorhanden, so nutzt der Wechselrichter/das Ladegerät die überschüssige Energie zum Aufladen der Batterie. Nachdem die Batterie voll geladen ist, speist der PV-Wechselrichter überschüssige Energie in das Netz ein.
Ist der PV-Wechselrichter mit einer Anti-Islanding-Vorrichtung ausgestattet, die den örtlichen Bestimmungen entspricht, ist keine separate Anti-Islanding-Vorrichtung notwendig.
Im Gegensatz zu den Hub-1 und Hub-2 Lösungen schaltet der PV-Wechselrichter bei einem Netzstromausfall ab. Der Hub versorgt dann die Lasten solange weiter, bis die Batterie entladen ist.

3. Wichtige Merkmale der drei System-Alternativen: GridAssist

Dank der Funktion GridAssist kann der Wechselrichter/das Ladegerät im Vergleich zu der erwarteten maximalen Energie, die von der Last benötigt wird, über einen niedrigeren Nennwert verfügen. Mit dem GridAssist arbeitet der Wechselrichter/das Ladegerät synchron mit dem Netz. Immer, wenn dann die erforderliche Wechselstromenergie die Möglichkeiten des Wechselrichters/Ladegerätes übersteigt, wird zusätzlich Strom aus dem Netz dazugenommen. Auf diese Weise wird ein Abschalten des Systems aufgrund von Überlastung vermieden.
<u>GridAssist-1</u>
Eine Möglichkeit besteht darin, den Wechselrichter/das Ladegerät mit dem Netz zwar synchronisiert, jedoch nicht mit ihm verbunden zu betreiben. Der Anschluss an das Netz (durch Schließen des Energierückfluss-Schutz-Relais im Wechselrichter/Ladegerät) erfolgt im folgenden Fall:

- System-Überlastung. Es wird zusätzliche Energie aus dem Netz verwendet, bis die Last auf einen Wert abgesenkt wurde, den der Wechselrichter/das Ladegerät bewältigen kann.

- Überschüssige PV- oder Windkraft-Energie wird zurück in das Netz gespeist (sofern dies die örtlichen Bestimmungen zulassen).

GridAssist-2

Die Alternative hierzu ist, den Hub permanent an das Netz anzuschließen. Der Wechselrichter/das Ladegerät verwaltet seinen Ausgang so, dass er sich an die Last anpasst und, dass die durchschnittliche Energie, die dem Netz entnommen wird, gleich null ist. Ausgenommen sind hier natürlich Fälle von Überlastung bzw. überschüssiger Energie, die wieder in das Netz eingespeist werden. Achtung: Es wird eine stabile Netzspannung benötigt!

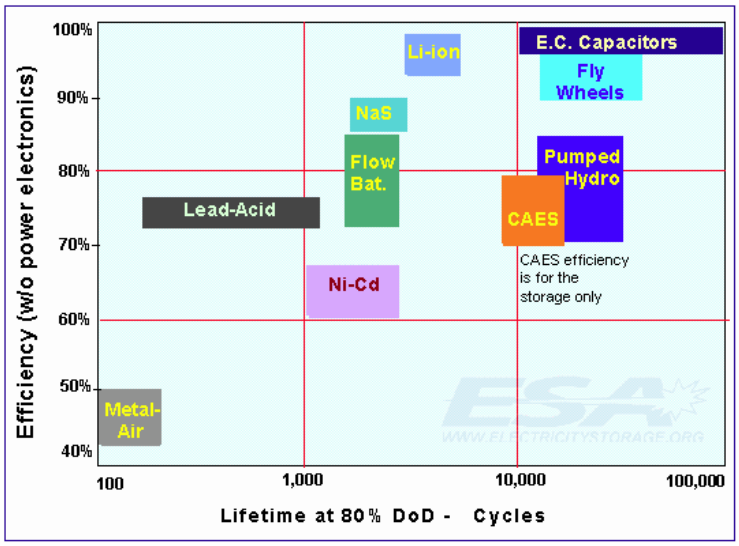
4. Kurze Beschreibung der Hauptbestandteile des VE Storage Hub

4.1. Batterie: Blei-Säure- oder Lithium-Ionen-Batterie, Teil 1.

Abgesehen von ihrer geringen Größe und ihrem geringen Gewicht stellen Lithium-Ionen Batterien (Lithium-Eisen-Phosphat: $LiFePO_4$ oder LFP) aufgrund ihres Wirkungsgrades und ihrer Betriebslebensdauer in netzgekoppelten bzw. netzunabhängigen Systemen eine attraktive Alternative zu Blei-Säure-Batterien dar.

Wirkungsgrad

Der Energienutzungsgrad eines Entlade-und Ladezyklus (Entladen von 100 % auf 0 % und Wiederaufladen auf 100 %) einer durchschnittlichen Blei-Säure-Batterie liegt bei 70 bis 80 %.
Der Ladevorgang von Blei-Säuren-Batterien wird besonders ineffizient, wenn 80 % des Ladezustands erreicht wurden. Zwischen 80 % und 100 % liegt der Ladewirkungsgrad häufig bei weniger als 50 %. Diese Zahlen verschlechtern sich bei hohen Lade- und Entladeströmen noch mehr.
Der Wirkungsgrad einer Blei-Säure-Batterie kommt nicht annähernd an den einer Lithium-Ionen-Batterie heran. Der Wirkungsgrad einer LFP-Batterie liegt unter sämtlichen Betriebsbedingungen bei rund 92 %.
http://www.almaden.ibm.com/institute/2009/resources/2009/presentations/ChetSandberg-AlmadenInstitute2009-panel.pdf
http://people.duke.edu/~kjb17/tutorials/Energy_Storage_Technologies.pdf



Wirkungsgrad von Energiespeichersystemen, von
http://catedrasempresa.esi.us.es/endesared/documentos/jornada_almacenamiento/Pet_Hall.pdf

Betriebslebensdauer

Die Batterie in einem netzunabhängigen PV- und/oder Windkraft-System kann wochen- oder sogar monatelang (im Winter) unterversorgt bleiben. Das bedeutet das Ende für eine Blei-Säure-Batterie. Die Batterie wird vorzeitig aufgrund von **Sulfatierung** versagen.
Im Falle eines netzunabhängigen Systems mit Blei-Säure-Batterien sollte daher stets dem Ladezustand der Batterie besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden: Egal was passiert, die Batterie muss regelmäßig aufgeladen werden und darf nie über mehrere Tage oder Wochen in entladenem Zustand verweilen.
In einem netzgekoppelten System lässt sich die Batterie ganz leicht regelmäßig zu 100 % wieder aufladen.

Beachte:
Eine Debatte über das Problem der Sulfatierung in Solar-Anwendungen finden Sie zum Beispiel hier:
http://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/report_batteries_solar_photovoltaic_applications.pdf
(man beachte insbesondere die Fotos auf Seite 18)

Die Lebensspanne einer LFP-Batterie ist nicht von ihrem Ladezustand abhängig, solange die Spannung pro Batteriezelle innerhalb (weiter) Begrenzungen gehalten wird. Ein Lithium-Ionen BMS (Batterie-Management-System) macht genau das. Auf diese Weise muss man sich in keiner Art und Weise um die Batterie sorgen.

Weitere Informationen zum Thema Batterien sind in Abschnitt 9 verfügbar.

4.2. MultiPlus und Quattro Wechselrichter/Ladegeräte

VE Wechselrichter/Ladegeräte umfassen den Bereich von 800 VA bis 10 kVA im Einphasenbetrieb. Es lassen sich außerdem bis zu sechs 10 kVA Module parallel schalten. Sämtliche Modelle lassen sich für den Dreiphasenbetrieb konfigurieren.
Sämtliche MultiPlus und Quattro Wechselrichter/Ladegeräte lassen sich programmieren, um nahtlos in
Hub-1, -2 oder -3 integriert zu werden.

4.3. BlueSolar MPPT Solar-Lade-Regler

Der Lade-Regler wandelt Gleichspannung von der Solaranlage in eine Spannung um, die zum Laden der Batterie geeignet ist. Es lassen sich mehrere Blue Solar Regler parallel schalten. Hierbei begrenzt lediglich der maximale Ladestrom der Batterie (der im Fall von Lithium-Ionen-Batterien sehr hoch ist) die mögliche Anzahl an parallelgeschalteten Geräten.
Der Wirkungsgrad eines BlueSolar MPPT Lade-Reglers übersteigt die 98 % Marke.

4.4. PV Wechselrichter

Der PV-Wechselrichter wandelt Gleichspannung von der Solaranlage in eine Spannung um, die zum Versorgen der Wechselstromlasten geeignet ist. In einem System ohne Batterie wird die gesamte überschüssige Energie zurück in das Netz eingespeist. Außerdem übernimmt bei einer Energieknappheit das Netz die Versorgung.
Ein PV-Wechselrichter kann ohne eine externe Wechselstrom-Quelle/-Senke (**ACpss**) nicht funktionieren. Aus diesem Grund schaltet der PV-Wechselrichter ab, wenn keine **ACpss** verfügbar ist (d. h. ein stabiles Netz, ein geeigneter Wechselrichter oder Wechselrichter/Ladegerät).

5. Elektrischer Stromverbrauch im Haushalt

Eine Auflistung der am meisten verbreiteten Haushaltsgeräte und ihr zugehöriger Stromverbrauch hilft bei der Auswahl der richtigen Größe des Hubs.

Gerät	Leistung	Betriebszeit	Energy/Tag	Minimum Sommerzeit Grundlast für einen Zweipersonen-haushalt
Grundlast (Kategorie 1)				
Tropisches Aquarium mit einem Wassererhitzer	100 W	24 h	2400 Wh	
Leistungsstarker Kühlschrank	20 W	24 h	480 Wh	480 Wh
Leistungsstarker Tiefkühler (mit dauermagneterregtem DC-Kompressormotor)	20 W	24 h	480 Wh	480 Wh
durchschnittlicher Kühlschrank	50 W	24 h	1200 Wh	
durchschnittlicher Tiefkühler	60 W	24 h	1440 Wh	
Steckerladegeräte und Standby-Lasten	30 W	24 h	720 Wh	720 Wh
Modem	10 W	24 h	240 Wh	240 Wh
Belüftung	30 W	24 h	720 Wh	720 Wh
Elektrisches Heizgerät	2000 W	12 h	24.000 Wh	
Warmwasserboiler	3000 W	2 h	6000 Wh	
Zentralheizung (an) und Wasserboiler (an)	130 W	8 h	1040 Wh (im Winter, gasbetrieben)	
Zentralheizung (aus) und Wasserboiler (an)	130 W	2 h	260 Wh	260 Wh
Zentralheizung im Standby	10 W	24 h	240 Wh	240 Wh
Leistungsstarke Beleuchtung	gesamt 200 W	6 h (im Winter) 3 h (im Sommer)	1200 Wh 600 Wh	600 Wh
eine herkömmliche 100 W Glühlampe	100 W	6 h (im Winter) 3 h (im Sommer)	600 Wh 300 Wh	
Elektrische Fußbodenheizung im Badezimmer	1000 W	3 h	3000 Wh	
Radio	30 W	3 h	90 Wh	90 Wh
LCD TV	50 W	3 h	150 Wh	150 Wh
Großer Plasmabildschirm-Fernseher	300 W	6 h	1800 Wh	
Computer	100 W	3 h	300 Wh	300 Wh
Laptop	30 W	3 h	90 Wh	90 Wh
Dunstabzugshaube	150 W – 300 W	1 h	150 Wh	150 Wh
Die gesamte Grundlast im Sommer, eines Haushaltes mit zwei energiebewussten Personen				**4370 Wh**

Andere Geräte mit Stecker (Kategorie 2)

Staubsauger (Anlaufenergie 2000 W oder mehr)	1000 W	30 min.	500 Wh	500 Wh
Fön	800 W	6 min.	80 Wh	80 Wh
Wasserkocher (Energie, die benötigt wird, um 1 Liter zum Kochen zu bringen: 120 Wh)	von 1000 W bis 3000 W	bringt 3 Liter Wasser zum Kochen		360 Wh
Kaffeemaschine	800 W	10 min.	120 Wh	120 Wh
Weitere Küchengeräte (Rührgerät, Mixer,etc.)			100 Wh	300 Wh
Gesamtbetrag der anderen Geräte mit Stecker in einem Haushalt mit zwei energiebewussten Personen				**1360 Wh**

Geräte, die immer an dieselbe Steckdose angeschlossen sind. (Kategorie 3)

Waschmaschine , Kaltwasserzulauf	2000 W Boiler plus 600 W Motor	1000 Wh pro Waschladung
Waschmaschine , Heißwasserzulauf, durchschnittlich	600 W (Spitzenwert)	400 Wh pro Waschladung
Waschmaschine , Heißwasserzulauf, Beste ihrer Klasse	165 W	100 Wh pro Waschladung

http://www.fisherpaykel.com/admin/pdfs/pdf_usecares/4912_NZ_QuickSmart_WashSmart_UG_hi.pdf

Wäschetrockner mit elektrischem Heizer	3000 W	3000 Wh pro Waschladung
gasbeheizter Wäschetrockner	300 W	300 Wh pro Waschladung
Wäschetrockner mit Wärmepumpe	1350 W	1350 Wh pro Waschladung

http://www.atcoenergysense.com/NR/rdonlyres/635CE05C-6BD3-4421-A1D0-C54CE4DDF20A/0/ManagingElectricityatHomeWebVersion.pdf

Geschirrspüler, durchschnittlich	2000 W	1100 Wh pro Spülladung
Geschirrspüler mit Warmwasserzulauf	1200 W	400 Wh pro Spülladung

http://reg.energyrating.gov.au/comparator/product_types/

Mikrowelle	2000 W		200 Wh
Elektroherd, Spitzenleistung	8000 W		
Durchschnittliche Energie während einer Kochsitzung	2000 W	30 min bis 1 h	1000 Wh bis 2000 Wh
Elektrobackofen	von 2000 W bis 4000 W Spitze	30 min.	2000 Wh
Schwimmbadpumpe	700 W	8 h	5600 Wh
Brunnenpumpe	700 W	3 h	2100 Wh

Das Heizen bzw. Kühlen mit einer Wärmepumpe (Klimaanlage) kann am Tag bei 10 kWh oder darüber liegen.

Tabelle 1: Elektrische Bilanz einiger verbreiteter Haushaltsgeräte

Grundlast (Kategorie 1)
Einige Lasten sind fast immer präsent: zusammen bilden sie die Grundlast des Haushaltes. Sämtliche Grundlasten können gleichzeitig eingeschaltet sein.
Eine Verringerung der Grundlast ist nicht einfach. Man könnte zum Beispiel Timer verwenden, um eine Anzahl an Lasten während der Nacht abzuschalten und so höchstens 1 kWh (1 kWh = 1000 Wh) einsparen.
Aufgrund des erhöhten Beleuchtungs- und Heizbedarfs im Winter ist die Grundlast dann erheblich höher als im Sommer.

Aus Tabelle 1:

Die angemessene tägliche Mindestgrundlast im Sommer beträgt:	**4370 Wh**
Die zu erwartende Spitzenleistung liegt bei	**660 W**
und die durchschnittliche Energie bei	**182 W**

Während des Winters (in einem gemäßigtem Klima), wird der erhöhte Beleuchtungs- und Heizbedarf die Mindestgrundlast erhöhen auf
5750 Wh

Die Spitzenleistung erhöht sich nicht	**660 W**
Jedoch erhöht sich die durchschnittlich verbrauchte Energie	**240 W**

Ein größeres Haus und/oder mehr Bewohner lassen die Grundlast im Sommer schnell ansteigen bis zu einem Wert von **8000 Wh**
und im Winter auf
11.000 Wh

Beachte:
In einem kleinen Büro oder einer Werkstatt kann die Grundlast sogar in Relation zu den anderen Lasten sehr viel höher sein (während der Arbeitszeiten).

Andere Geräte mit Stecker (Kategorie 2)
Geräte mit Stecker lassen sich überall im Haushalt an Steckdosen anschließen. Dies gilt insbesondere für Staubsauger. Aus diesem Grund ist es nahezu unmöglich, die Grundlast insbesondere vom Staubsauger zu trennen, da dieser 1000 W Betriebsleistung und oft auch eine höhere Anlaufleistung benötigt.
Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass sämtliche Geräte mit Steckern gleichzeitig in Betrieb sind.

Geräte, die immer an dieselbe Steckdose angeschlossen sind. (Kategorie 3)
In den meisten europäischen Haushalten funktionieren die Wasch- und die Spülmaschine mit Kaltwasserzulauf und der Wäschetrockner nutzt einen elektrischen Heizer. Werden diese Geräte jeden zweiten Tag benutzt und dann auch nicht gleichzeitig, so stellen sie eine Lastspitze von 3 kW dar. Zusammen mit der Mikrowelle benötigen sie im Schnitt lediglich 3 kWh Energie pro Tag.
Häufig lassen sich die Verkabelungen neu anordnen, so dass diese Lasten von der Grundlast und anderen Geräten mit Steckern völlig getrennt sind.
Außerdem lässt es sich leicht verhindern, dass alle gleichzeitig in Betrieb sind.

Beachte:
Tabelle 1 zeigt, dass eine Menge unternommen werden kann, um den Stromverbrauch und die (Spitzen-)Lasten dieser Geräte zu senken.

Die Unterteilung der Lasten in drei Kategorien ermöglicht interessante Einblicke und hilft bei der Erörterung der Möglichkeiten und Grenzen im Hinblick auf Eigenverbrauch und netzunabhängigem Betrieb.

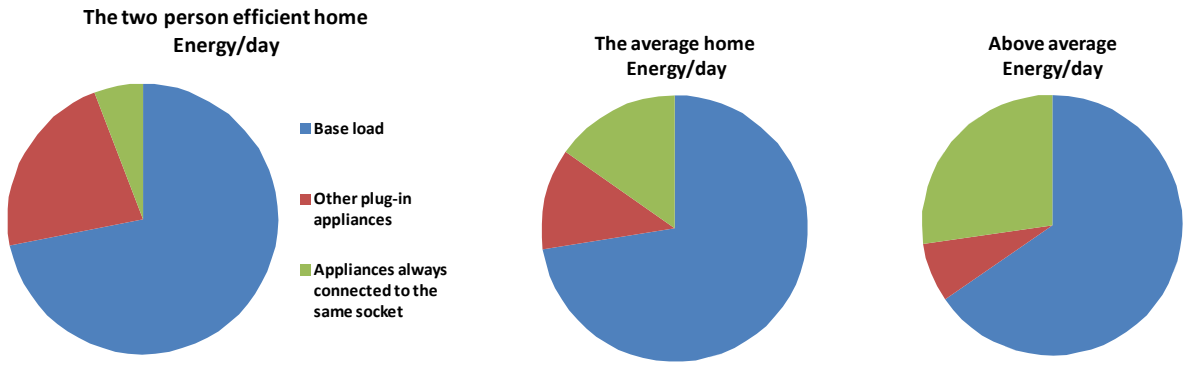
Die elektrische Bilanz der drei Last-Kategorien wird in Tabelle 2 unten zusammengefasst.

Last Kategorie	Zweipersonenhaushalt, energie-bewusst			Der Durchschnittshaushalt			Über dem Durchschnitt		
	Energie pro Tag Wh	Spitze Leistung W	Durchschnitt Leistung W	Energie pro Tag Wh	Spitze Leistung W	Durchschnitt Leistung W	Energie pro Tag Wh	Spitze Leistung W	Durchschnitt Leistung W
Grundlast (Sommer)	4.370	660	182	8.380	1.305	349	18.960	2.560	790
Weitere Geräte mit Stecker	1.360	2.000	57	1.640	2.000	68	1.920	2.000	80
Geräte, ständig angeschlossen an dieselbe Steckdose	350	1.200	15	2.050	2.500	85	7.100	12.600	296
Gesamt (Sommer)	**6.080**	**3.860**	**253**	**12.070**	**5.805**	**503**	**27.980**	**17.160**	**1.166**
Zusätzlich Winterzeit Grundlast	1380	0	58	2760	0	115	4140	0	173
Gesamt (Winter)	**7.460**	**3.860**	**311**	**14.830**	**5.805**	**618**	**32.120**	**17.160**	**1.338**

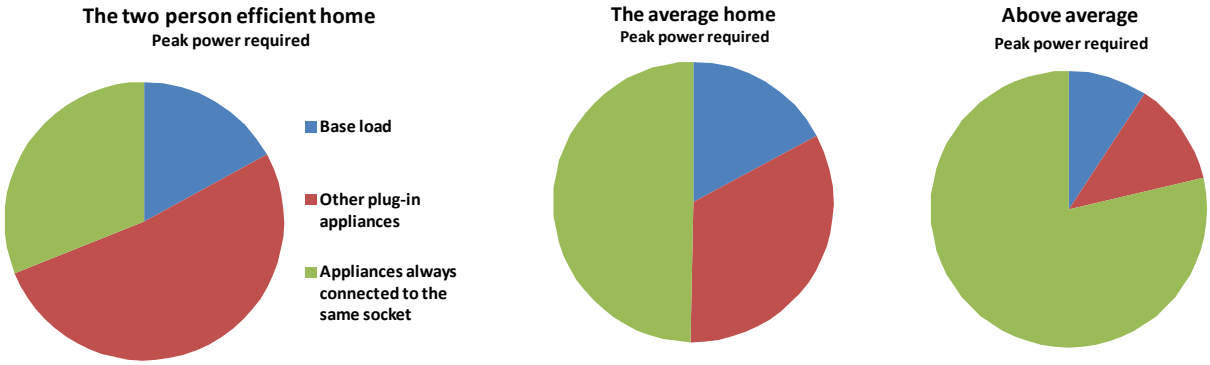
Tabelle 2: Energie - und Leistung nach Last-Kategorie

Beachte:

1. Im Fall des Haushalts mit zwei energiebewussten Personen wurden die effizientesten Geräte gewählt.
2. Der Durchschnittshaushalt wird von einer Familie mit zwei Kindern bewohnt. Er ist mit den Elektrogeräten ausgestattet, die man heutzutage in einem durchschnittlichen Zuhause in Europa vorfindet.
3. Der überdurchschnittliche Haushalt verfügt über maximalen Komfort und Luxus. Hierzu gehört ein Induktionsherd. Eine Beheizung und/oder Kühlung über eine Wärmepumpe (Klimaanlage) wurde ausgelassen: Aufgrund des hohen Energieverbrauchs müsste hier jeder Fall einzeln betrachtet werden.
4. In sämtlichen Beispielen wird davon ausgegangen, dass die leistungsstarken Geräte nicht gleichzeitig in Betrieb sind.



Wie das von Tabelle 2 hergeleitete Kreisdiagramm deutlich zeigt, beträgt die Energie und daher auch der durchschnittliche Stromverbrauch für die Basislast (blau) mehr als zwei Drittel des Gesamtwertes.



Wenn man jedoch die erforderlichen Spitzenleistung betrachtet, liegt die Basislast (blau) immer bei unter 30 % des Gesamtwertes!

Anders ausgedrückt: Das Verhältnis zwischen den Spitzen und dem Durchschnitt der Grundlasten ist viel geringer, als die beiden anderen Kategorien. Siehe Tabelle 3.

Last Kategorie	Zweipersonenhaushalt, energie-bewusst Spitzen-/Durchschnittslast	Der Durchschnittshaushalt Spitzen-/Durchschnittslast	Über dem Durchschnitt Spitzen-/Durchschnittslast
Grundlast (Sommer)	3,6	3,7	3,2
Weitere Geräte mit Stecker	35,3	29,3	25,0
Geräte, ständig angeschlossen an dieselbe Steckdose	82,3	29,3	42,6
Gesamt (Sommer)	15,2	11,5	14,7

Tabelle 3: Das Verhältnis zwischen Spitzen- und Durchschnittslast der drei Last-Kategorien

Schlussfolgerung

Die **Grundlast** könnte über die Batterie mit einem 1200 VA bis 3 kVA Wechselrichter versorgt werden.

Lasten der Kategorie 2 und 3 benötigen viel mehr (Spitzen-)Leistung, wenn sie in Betrieb sind und daher auch einen leistungsstärkeren Wechselrichter. Sie werden jedoch nur während kurzen Zeiträumen in Betrieb genommen und der dadurch erforderliche Energiebedarf/Tag ist daher gering. Ein Wechselrichter zur Versorgung des gesamten Haushaltes (z. B. sämtliche Last-Kategorien) wird daher die meiste Zeit nur bis zu einem gewissen %-Satz seiner Nennleistung betrieben.

Im Falle eines **netzgekoppelten Haushaltes** wäre es daher schon ziemlich vorteilhaft, die Grundlasten nur über einen Wechselrichter zu versorgen und die anderen Lasten an das Netz anzuschließen.

Im Falle eines **netzunabhängigen Haushaltes** steht das Netz nicht zur Unterstützung zur Verfügung, wenn die stromfressenden Geräte eingeschaltet werden. Aus diesem Grund wird eine höhere Wechselrichterleistung benötigt.

Die Verwendung von Elektrizität zur Erzeugung von Wärme (beim Waschen, Trockenen, Kochen) ist teuer. Wasser mithilfe von Gas und/oder Solarkraft zu erwärmen bietet eine kostengünstigere Alternative.

Ein **Lasten-Managementsystem**, das die Lasten einschaltet, wenn die Sonne gerade scheint, kann dabei helfen, den Eigenverbrauch zu verbessern. Folgende Lasten kommen einem dabei in den Sinn (siehe Tabelle 1):

Warmwasserboiler
Schwimmbadpumpe
Brunnenpumpe
Waschmaschine
Trockner
Geschirrspüler

Abgesehen von den Pumpen besteht die bessere Lösung darin, zunächst die elektrische Energie, die von diesen Lasten benötigt wird, durch die Verwendung von Warmwasserzuläufen (unter Nutzung der Erwärmung durch Solar- und/oder Gassystemen) zu reduzieren.

6. Wirkungsgrad des Hub

Der Hub befindet sich zwischen der Solar-/Windkraftzufuhr und der Last. Leider geht durch den Hub einiges an Energie verloren. Diese Verluste sind nicht unwesentlich. Die Berechnung im Folgenden soll zeigen, woher diese Verluste kommen (die Antwort: die Batterie!).
Dem hastigen Leser sei es erlaubt, die Berechnung zu überspringen und direkt mit der Lösung fortzufahren.

Die gewonnene Energie **Eh** sollte ausreichen, um die Energie **El**, die von der Last verbraucht wird, plus die Lade-/Entlade-Verluste der Batterie, die Verluste durch Energieumwandlung und die Verluste in der Verkabelung und den Sicherungen auszugleichen.

6.1. Wenn die gesamte gewonnene Energie vor ihrer Nutzung in der Batterie gespeichert wird

Im Fall von Hub-1, sofern 0 % der gewonnenen Energie direkt von der Last verbraucht wird (100 % der gewonnenen Energie wird vor ihrer Nutzung in der Batterie gespeichert), ergibt sich ein ungefährer Wirkungsgrad $\eta_o = El / Eh$ wie folgt:
$\eta_o \approx \eta i \times \eta b \times \eta m \times \eta w$
Bei zum Beispiel:
94 % AC zu DC Umwandlung Wirkungsgrad des Wechselrichter-/Ladegerätes $\eta i \approx 0{,}94$
92% Lithium-Ionen-Batterie Wirkungsgrad $\eta b \approx 0{,}92$
98% MPPT Lade-Regler Wirkungsgrad $\eta m \approx 0{,}98$
2% Verluste in der Verkabelung und Sicherungen $\eta w \approx 0{,}98$
Das Ergebnis: $\eta_o \approx 0{,}83$

Bei einer Blei-Säure-Batterie ($\eta b \approx 0{,}8$ **oder niedriger,** siehe Abschnitt 4.1)
Das Ergebnis: $\eta_o \approx 0{,}72$ **oder geringer.**

Und im Fall von Hub-2 oder -3:
$\eta_o \approx \eta c \cdot \eta i \cdot \eta b \cdot \eta pv \cdot \eta v$
Bei:
94 % AC zu DC Umwandlung Wirkungsgrad des Wechselrichters/Ladegerätes: $\eta c \approx 0{,}94$

94 % DC zu AC Umwandlung Wirkungsgrad des Wechselrichter-/Ladegerätes: **$\eta i \approx 0{,}94$**
92 % Wirkungsgrad der Lithium-Ionen-Batterie: **$\eta b \approx 0{,}92$**
97 % Wirkungsgrad des PV-Wechselrichters: **$\eta pv \approx 0{,}97$**
1 % Verluste in der Verkabelung und den Sicherungen: **$\eta v \approx 0{,}99$**
Das Ergebnis: **$\eta_o \approx 0{,}78$**
Bei einer Blei-Säure-Batterie (**$\eta b \approx 0{,}8$ oder geringer,** siehe Abschnitt 4.1)
Das Ergebnis: **$\eta_o \approx 0{,}68$ oder geringer.**

6.2 Wenn 40 % der gewonnenen Energie direkt von der Last verbraucht werden

Der Wirkungsgrad **η_x** ist höher, wenn ein Teil der gewonnenen Energie direkt von der Last verbraucht wird.
Im Fall von Hub-1:
$\eta_x \approx \eta i \cdot (Xd+\eta b \cdot (1-Xd)) \cdot \eta m \cdot \eta w$
Wobei **Xd** der Direktverbrauchsfaktor ist.
Xd = 1 wenn die gesamte Energie direkt verbraucht wird, ohne zwischengespeichert zu werden, und
Xd = 0 , wenn die gesamte Energie vor ihrer Nutzung zunächst gespeichert wird.
Wenn 40 % der gewonnenen Energie direkt von der Last verbraucht werden: **Xd = 0,4 und $\eta_{40} \approx 0{,}86$**(bei einer Lithium-Ionen-Batterie)

Und im Fall von Hub-2 oder -3:
$\eta_x \approx (Xd+\eta c \cdot \eta i \cdot \eta b \cdot \eta c \cdot (1-Xd)) \cdot \eta pv$
Wird 40 % der Energie direkt durch die Last verbraucht: **Xd = 0,4** und **$\eta_{40} \approx 0{,}86$**(bei einer Lithium-Ionen-Batterie)

Beachte:

1. Wenn ein großer Prozentsatz der gewonnenen Energie direkt von der Last verbraucht wird, so wird die gravierendste Verbesserung des Wirkungsgrades eindeutig in den Fällen von Hub-2 und -3 erzielt, da bei einem direkten Verbrauch nicht nur die Batterie umgangen wird, sondern ebenso der Wechselrichter/das Ladegerät. In der Praxis ist diese Verbesserung weniger eindeutig, da **ηc** und **ηi** lastabhängig sind und abnehmen, wenn die durchschnittliche Last des Wechselrichters/Ladegerätes geringer wird.
2. Wie in Anmerkung 1 angegeben, sind die Wirkungsgrade der Geräte, die den Hub bilden, nicht konstant.
   Das Wechselrichter-/Ladegerät hat einen geringen Wirkungsgrad bei niedrigen Lasten und ein einen maximalen Wirkungsgrad von ungefähr 75 % seiner Ausgangsnennleistung. Der Verlust ohne Last liegt bei ca. 1 % seiner Ausgangsnennleistung.
   Der PV Wechselrichter und das Solar-Laderegler bringen bei geringen Lasten eine bessere Leistung. Die Verluste bei keiner Last liegen bei ca. 0,2 % und 0,05 %.
   Verluste in der Verkabelung und den Sicherungen sind proportional zum Quadrat des Stromes, der durch sie fließt. Dadurch steigen die Verluste (= abnehmender Wirkungsgrad) bei hohen Lasten schnell an .
   Tatsächlich ist der Wirkungsgrad der Lithium-Ionen-Batterie der konstanteste von allen, da dieser praktisch unabhängig vom Lade-/Entlade-Strom und dem Ladezustand ist.
3. Was die Energie aus der Sonne betrifft, so ist für die meisten Haushalte der direkte Verbrauch durch die Last sehr viel geringer als 40 %. Wenn insbesondere alle Personen morgens den Haushalt verlassen, um zur Arbeit oder zur Schule zu gehen und erst spät am Nachmittag zurückkehren, findet fast der gesamte Verbrauch (abgesehen von Kühlschrank und dem Tiefkühler) dann statt, wenn der PV-Eingang null ist.
   Nur für den Fall, dass jemand zuhause bleibt, oder im Fall eines kleinen Büros, Hotels oder eines anderen Geschäfts, lassen sich 40 % Direktverbrauch oder noch mehr erzielen.
   Aus diesem Grund ist Hub-1 fast immer die effizienteste Lösung für einen aus einer PV mit Strom versorgten Haushalt.

6.3. Schlussfolgerung

Aufgrund der stetig schwankenden Lasten während des Tages und von einem auf den anderen Tag, ist es nicht möglich, den Wirkungsgrad des Hubs genau zu berechnen. Da außerdem die Eingänge aus PV-Anlagen oder Windkraft ebenso wilden Schwankungen unterliegen, sind genaue Berechnungen des Wirkungsgrades recht sinnlos.

Im folgenden Beispiel geht man bei Systeme mit einer Lithium-Ionen-Batterie von einem Wirkungsgrad von 85 % und bei Systemen mit einer Blei-Säure-Batterie von von einem Wirkungsgrad von 75 % aus.

7. Der Hub für den netzgekoppelten Haushalt

7.1 Die Versorgung der Grundlast mit Hub-1 und einer Lithium-Ionen-Batterie

Im Fall einer Ferienhütte, eines kleinen Büros oder eines Haushaltes ohne Lasten der Kategorie 2 und 3 oder, wenn sich die Grundlast von sämtlichen Geräten, die viel Strom verbrauchen, trennen lässt, (es handelt sich hierbei jedoch um ein großes "wenn", denn in einem schon bestehenden Haushalt müssten die Kabel neu verlegt werden und bei einem neuen Haushalt müsste die Verkabelung genauestens geplant werden) ist ein 800 VA bis 3000 VA Wechselrichter/Ladegerät die richtige Wahl.

7.1.1. Lithium-Ionen-Batterie

Soll in der Batterie genügend Energie gespeichert werden, um die Grundlast einen ganzen Sommertag zu versorgen, werden 4,4 kWh bis 19 kWh der gespeicherten Energie erforderlich sein (siehe Tabelle 2 oder Tabelle 6-8 in Abschnitt 9), plus 6 % Wandlungsverlust (im Wechselrichter-/Ladegerät) und plus 20 %, um die Entladung der Lithium-Ionen-Batterie auf 80 % zu begrenzen (siehe Abschnitt 9.3 für den maximalen Entladegrad von Batterien).
Die insgesamt benötigte Energiespeicherkapazität reicht daher von 5,8 kWh (der energiebewusste Zweipersonenhaushalt) bis 25 kWh (der überdurchschnittliche Haushalt).
Die Kapazität einer 24 V Lithium-Ionen-Batterie sollte daher den Bereich zwischen 240 Ah bis hoch zu stolzen 1000 Ah abdecken.
Im letzen Fall ist es besser, 500 Ah bei 48 V zu verwenden (siehe Tabelle 8). Die Batterie ist dann nicht teurer, jedoch wird die DC-Verkabelung kostengünstiger und weniger umständlich ausfallen und der Lade-Regler produziert zweimal mehr Energie bei gleichem Ausgangsstrom.

Beachte:

- In der Batterie gespeicherte Energie: E (kWh) = Ah x V x 1000.
- In der Praxis wird nicht die gesamte am Tag erzeugte Energie gespeichert. Ein bestimmter Betrag wird direkt durch die Last verbraucht. Dies führt zu weniger als 80 % Batterieentladung.
- Info zum Querschnitt der Kabel: Kabelverluste sind proportional zu $R \cdot I^2$. Der Strom I wird zweimal geringer, wenn man von 24 V auf 48 V wechselt. Also kann der Querschnitt der Kabel um einen Faktor von vier verringert werden.

7.1.2. Solaranlage

Hier spielen eine Menge Parameter eine Rolle: eine verfügbare geeignete Oberfläche, das örtliche Klima, lässt sich überschüssige Energie zurück in das Netz einspeisen, etc.

Beachte:
Die Sonneneinstrahlung an sonnigen Sommertagen auf nach Süden ausgerichtete Paneele mit einer Achsenneigung ≈ Breitengrad beträgt ca. 8 kWh/m²/Tag und ist relativ unabhängig vom Breitengrad.
Die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in einem sonnigen Sommermonat beträgt 6-8 kWh/m²/Tag.
http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/redbook/

Ein Solar-Paneel liefert seine Nenn-Ausgangsleistung (Wp) bei 25°C℃ und 1000 W/m² Sonneneinstrahlung.
Unter Laborbedingungen beträgt der tägliche Ausgang einer 1 kWp PV-Anlage bei einer Bestrahlung mit 8 kWh/m²/Tag daher 8 kWh.
Aufgrund der nicht ganz perfekten Ausrichtung, hohen Paneel-Temperaturen und Ablagerungen auf den Panelen, beträgt der Ausgang einer 1 kWp PV- Anlage, die mit 8 kWh/m²/Tag bestrahlt wird in der Praxis 25 % weniger: 6 kWh anstelle der 8 kWh.
In der Berechnung im nachfolgenden Abschnitt wird daher davon ausgegangen, dass eine 1 kWp Anlage mit 8 kWh/m²/Tag bestrahlt wird und fast überall auf der Welt 6 kWh/Tag erzeugt.

https://www.nvenergy.com/renewablesenvironment/renewablegenerations/documents/PVPerformanceSummary.pdf
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php

Der durchschnittliche tägliche Ausgang einer Solar-Anlage hängt natürlich vom örtlichen Wetter ab und kann geringer ausfallen, sogar häufig sehr viel geringer, als der Ausgang an einem sonnigen Sommertag: siehe Tabelle 4.

Breitengrad	**Stadt**	**Durchschnitt Jährlicher Ausgang**	**durchschnittlicher jährlicher Ausgang/ sonniger Sommertag**	**durchschnittlicher Dezember*-Tag/ sonniger Sommertag**
		kWh/kWp		
60	Helsinki, Finnland	800	39%	4%
61	Anchorage, AK	800	38%	6%
52	Amsterdam, Niederlande	900	43%	14%
48	München, Deutschland	1000	46%	18%
47	Seattle,WA	1000	46%	18%
43	Marseille, Frankreich	1500	68%	41%
41	New York, NY	1250	58%	35%
37	Sevilla, Spanien	1600	74%	50%
34	Los Angeles, CA	1500	70%	63%
33	Phoenix, AZ	1750	81%	61%
26	Miami,FL	1400	65%	56%

*Die schlechtesten zwei Monate im Hinblick auf den Ausgang einer PV in der nördlichen Hemisphäre.

Tabelle 4: Darstellung der dramatischen Abnahme der PV-Ausgänge als Funktion der Breitengrade

Soll die Anforderung zum Beispiel darin bestehen, genügend Energie zu gewinnen, um die Grundlast während eines sonnigen Sommertages zu versorgen, so wird für den energiebewussten Zweipersonenhaushalt eine Anlage mit 850 Wp benötigt und für den überdurchschnittlichen Haushalt eine Anlage mit rund 3700 Wp (siehe Tabellen 6-8).

7.1.3. Laden der Batterie

Ein Blue Solar MPPT 150/70 versorgt eine Anlage mit 850 Wp, zusammen mit einer 24 V Batterie (850 Wp*ηm*ηw/ 24 V = 34 A benötigter Ladestrom).
Bei einer Anlage mit 3700 Wp ist eine 48 V Batterie die bessere Wahl, und auch dann werden zwei MPPT 150/70 Regler benötigt (3700 Wp*ηm*ηw / 48 V = 74 A benötigter Ladestrom).

7.1.4. Prozentsatz des elektrischen Energieverbrauchs, der durch eine PV-Anlage abgedeckt wird, wenn die Grundlast mit Hub-1 und einer Lithium-Ionen-Batterie versorgt wird

Wie sich aus Tabelle 2 herleiten lässt, können mit dieser einfachen und relativ kostengünstigen Lösung mehr als 70 % der täglich benötigten elektrischen Energie geliefert werden, zumindest an sonnigen Sommertagen.
Da der PV-Ausgang nie den Verbrauch übersteigt, ist ein Einspeisen in das Netz nicht erforderlich.

Beachte:
Abhängig vom Breitengrad und dem örtlichen Klima lässt sich ein ungefährer Annäherungswert des durchschnittlichen Prozentsatzes des elektrischen Energieverbrauchs berechnen, der durch die PV über das Jahr verteilt abgedeckt wird. Diese Berechnung lautet wie folgt:

Gesamter Jahresverbrauch an elektrischer Energie (siehe Tabellen 6-8):
Ey = 365*(Verbrauch im Sommer + Verbrauch im Winter)/2
Durchschnittswert des jährlichen nutzbaren PV-Ausgangs (siehe Tabelle 4): Eypv = kWp*(durchschnittliche jährliche Ausgangsleistung)*(Wirkungsgrad des Hub)

Prozentsatz, der durch die PV abgedeckt wird: α (%) = 100*Eypv/Ey

Geht man zum Beispiel von einem durchschnittlichen Haushalt in Sevilla (Spanien) oder in Amsterdam (Niederlande) aus:
Aus Tabelle 7: Ey = 4788 kWh
Aus Tabelle 4: Eypv = 1,643*1600*0,85 = 2234 kWh (Sevilla) und 1,643*900*0,85 = 1257 kWh (Amsterdam)
Prozentsatz, der durch die PV abgedeckt wird: α = 100*2234/4788 = 47 % (Sevilla) und 26 % (Amsterdam)

7.1.5 Wie viel Eigenverbrauch?

Ist die Solar-Anlage so ausgelegt, dass sie nie mehr Energie gewinnt, als durch die Grundlast (plus Verluste) erforderlich ist, kann ein Eigenverbrauch von 100 % erreicht werden.

Eine Batterie mit einer geringeren Kapazität kann dazu führen, dass überschüssige Solar-Energie gewonnen wird (nachdem die Batterie voll aufgeladen ist).
Diese überschüssige Energie könnte wieder zurück in das Netz eingespeist werden.
Alternativ kann die Solaranlage auch verkleinert werden, damit sie der Batteriekapazität entspricht.

7.1.6. Was passiert, wenn die Batterie leer ist (im Winter, bei schlechtem Wetter)?

Der Wechselrichter/das Ladegerät schaltet die Lastenversorgung auf das Netz um (unterbrechungsfrei) und schaltet sich ab. Das Wechselrichter-/Ladegerät kann so konfiguriert werden, dass es sich, nachdem die Batterie zum Teil oder auch voll durch die Sonne und/oder den Wind geladen wurde, wieder einschaltet.
Eine zum Teil entladene Blei-Säure-Batterie sollte in diesem Zustand nicht über einen längeren Zeitraum eingesetzt werden.
Es ist erforderlich, dass sie regelmäßig mithilfe der Energie aus dem Netz oder von einem Generator voll aufgeladen wird.

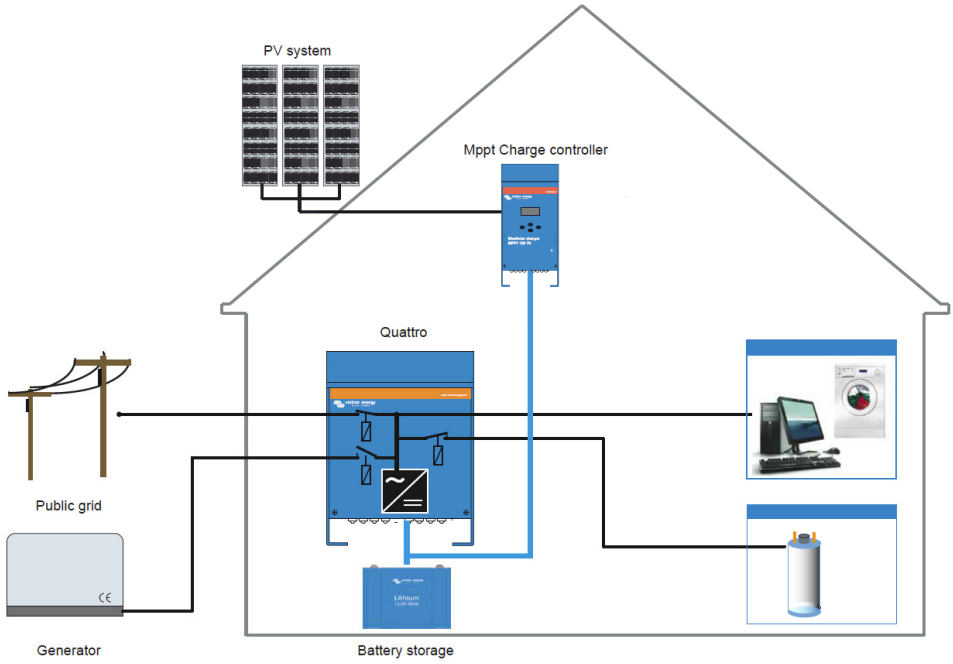
7.1.7. Was passiert, wenn zu viel Energie erzeugt wird?

Das könnte zum Beispiel der Fall sein, wenn der Haushalt während der Ferienzeit nicht bewohnt ist.
Überschüssige Energie könnte wieder zurück in das Netz eingespeist werden.
Wenn eine Wiedereinspeisung in das Netz nicht möglich ist, begrenzt der Laderegler die von der Solar-Anlage aufgenommene Energie, nachdem die Batterie voll aufgeladen wurde.

7.2. Grundlast plus weitere Geräte mit Stecker (Lasten der Kategorie 2 und 3), die durch Hub-1 mit Strom versorgt werden

Der einfachste Aufbau, der im Abschnitte vorher beschrieben wurde, lässt sich ganz leicht zu einem leistungsstärkeren System aufrüsten, indem die GridAssist Funktion genutzt wird.
Die maximale Durchlass-Kapazität für Wechselstrom der MultiPlus Modelle 800, 1200 und 1600 liegt bei 3,6 kW (16 A bei 230 V). Bei 2 kVA und darüber sind Modelle mit 6,9 kW oder mehr Durchlass-Kapazität verfügbar. Lasten der Kategorie 2 lassen sich daher mit einiger Unterstützung durch das Netz versorgen. Für den Fall, dass die Durchlass-Kapazität ausreicht, können auch leistungsstarke Lasten der Kategorie 3 durch ein MultiPlus oder Quattro mithilfe des Netzes versorgt werden.
Alternativ könnten Lasten der Kategorie 3 direkt mit dem Netz verbunden werden, wobei der MultiPlus oder Quattro umgangen wird (ausgehend von einem einphasigen Netz-Anschluss) oder sie sollten an eine andere Phase angeschlossen werden (im Falle eines dreiphasigen Netzanschlusses). **Da Lasten der Kategorie 3 jedoch nur eine kurze Zeit lang in Betrieb sind, ist das Umgehen des Hub eine praktische Lösung mit nur begrenzten Auswirkungen auf die Eigenverbrauchsleistung.**
Leider ist ein Umgehen des Hub bei Lasten der Kategorie 2 nicht so einfach umsetzbar, da diese häufig an unterschiedlichen Steckdosen angeschlossen werden (insbesondere der Staubsauge).

Beachte:
Multiplus oder Quattro
Der Multiplus verfügt über einen AC-Eingang wohingegen der Quattro über zwei AC-Eingänge und einen eingebauten Transferschalter verfügt.
Der Quattro lässt sich mit zwei unabhängigen AC-Quellen verbinden, zum Beispiel mit dem Netz und einem Generator,
oder mit zwei Generatoren. Der Quattro verbindet sich automatisch mit der aktiven Quelle.



7.2.1. Batterie etc.

Die tägliche Energie, die Lasten der Kategorie 2 und 3 benötigen, ist im Vergleich zur Grundlast gering (siehe Tabelle 2). Die Batteriekapazität und PV-Energie muss daher um ca. 25 % angehoben werden, um auch diese Lasten an einem sonnigen Sommertag zu versorgen.

7.2.2. Prozentsatz des durch die PV-Anlage abgedeckten elektrischen Energieverbrauchs

An einem sonnigen Sommertag werden ungefähr 100 % der am Tag benötigten elektrischen Energie abgedeckt.
Grobe Annäherungswerte bezüglich des durchschnittlichen Prozentsatzes des elektrischen Energieverbrauchs, der durch die PV-Anlage über das Jahr hinweg abgedeckt wird, sind leicht aus Tabelle 4 ablesbar. Sie lassen sich entsprechend auf Verluste korrigieren:
Lithium-Ionen-Batterie: 0,85*74 % = 63 % für Sevilla und 0,85*43 % = 37 % für Amsterdam.
OPzS Batterien: 0,75*74 % = 56% für Sevilla und 0,75*43 % = 32 % für Amsterdam.

7.2.3. Wie viel Eigenverbrauch?
Nur bei einer sorgfältigen Planung ist der Energieverbrauch von Lasten der Kategorien 2+3 von Tag zu Tag relativ konstant. Es kann sein, dass an bestimmten sonnigen Sommertagen einige überschüssige Energie verfügbar ist, wohingegen an anderen Tagen zu wenige Energie vorhanden ist.

7.3 Versorgen der Grundlast über Hub-2 oder 3

Anstelle des Solar-Lade-Reglers übernimmt das Wechselrichter-/Ladegerät jetzt das Laden der Batterie.
Als Konsequenz daraus kann es sein, dass der erforderliche Ladestrom derjenige Faktor ist, durch den die Größe des Wechselrichter-/Ladegerätes bestimmt wird.
Eine Solaranlage mit 850 Wp ist notwendig, um die Grundlast des energiebewussten Zweipersonenhaushaltes an einem sonnigen Sommertag zu versorgen (siehe Abschnitt 7.1). Der daraus resultierende maximale Ladestrom (wenn die gesamte gewonnene Energie zum Laden der Batterie genutzt wird) bei 24 V liegt bei 850 Wp*ηc*ηpv*ηv / 24 V =32 A.
Das bedeutet, dass ein 1600 VA MultiPlus benötigt wird (siehe Tabelle 6).
Die Anlage mit 3700 Wp für den überdurchschnittlichen Haushalt würde ein 8 kVA Quattro-Gerät benötigen (oder zwei 5 kVA Multis in Parallelschaltung, oder drei 3 kVA Multi in einer Dreiphasen-Konfiguration).

Durch das Ersetzen des Solar-Lade-Reglers durch einen PV-Wechselrichter und den Bedarf an einem viel größeren Wechselrichter-/Ladegerät, stellen die Hub-2 bzw.-3 Alternativen die deutlich teurere Lösung dar (sie sind außerdem nicht so effizient: siehe Abschnitt 6).

Hub-2 bzw. -3 kann dennoch die vorgezogene Lösung sein, wenn:
- der PV-Anlage eine Energiezwischenspeicherung hinzugefügt wird und ein PV-Wechselrichter schon installiert wurde.
- Die zur Versorgung des Lade-Reglers benötigte relativ geringe PV-Spannung (max 150 V), die einen größeren Kabelquerschnitt verlangt, ist aufgrund der langen Kabel ungünstig.

Beachte:
- Trotz einiger zusätzlicher Verluste in der Verkabelung von der PV-Anlage zum Solar-Lade-Regler bietet der Hub-1 unter Umständen trotzdem die effizienteste Lösung. Man beachte das MPPT 150/70 Handbuch bezüglich der Berechnung der DC-Kabel-Verluste.
- Eine Mischung aus Hub-1 und Hub-2 oder -3 ist auch möglich.
- Die Empfindlichkeit des PV-Wechselrichters gegenüber AC-Spannungsschwankungen (wenn stromfressende Lasten eingeschaltete werden) kann den PV-Ausgang reduzieren (aufgrund von Spannungsstörungen, die ein zeitweiliges Abschalten des PV-Wechselrichters verursachen).

7.4. Grundlast plus weitere Geräte mit Stecker (Lasten der Kategorie 2 und 3), die durch Hub-2 oder 3 mit Strom versorgt werden

Leistungsstärkere Wechselrichter-/Ladegeräte (die für das Laden der Batterie benötigt werden, siehe Abschnitt 7.3), könnten Lasten der Kategorie 2 oder 3 versorgen, ohne dass sie Unterstützung aus dem Netz oder nur eine geringe Unterstützung aus dem Netz benötigen.

Die Batterie-Kapazität und die PV-Anlage müssten lediglich um ca. 25 % erhöht werden, um an dem uns nun schon wohlbekannten sonnigen Sommertag vollständig vom Netz unabhängig zu sein.
Der Eigenverbrauch läge sehr nahe an den 100 %.

Diese Errungenschaft hat ihren Preis: mehr PV, mehr Batterie-Kapazität und ein viel leistungsstärkerer Wechselrichter/leistungsstärkeres Ladegerät wären erforderlich.

7.5 Wie sieht es mit einem dunklen und verregneten Winter aus?

Während Schlechtwetterperioden (die Tage oder sogar Wochen anhalten können), kann es sein, dass die PV-Ausgangsleistung auf nur wenige % ihrer maximalen Sommer-Ausgangsleistung drastisch reduziert ist, siehe Tabelle 4.
Die PV-Anlage kann vergrößert werden, um auch während der weniger sonnigen Tage genügend Ausgangsenergie zu erzeugen. Dies führt an sonnigen Tagen zu einem Überschuss, der wieder zurück in das Netz eingespeist wird. Das "Vergrößern" um einen Faktor von zehn oder mehr ist jedoch teuer und es ist eine große Fläche für die PV-Anlage notwendig. Deshalb ist diese Lösung wohl eher ungewöhnlich.
Das Erhöhen der Batterie-Kapazität, um Perioden mit sehr geringer oder sogar mit gar keiner Ausgangsleistung zu überbrücken ist außerdem extrem teuer.
Die üblichen Lösungen, um unzureichende PV-Energie zu kompensieren bestehen daher in

- der Nutzung von Netzstrom.
- Installation einer gasbetriebenen Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (Mikro-KWK-Anlage). Die Mikro-KWK-Anlage sorgt für die Wärme und elektrische Energie, wenn die Sonne (und/oder der Wind) zu wünschen übrig lässt.
- Installation eines Generators mit einem Dieselmotor.

8. Der netzunabhängige Hub

8.1. Die Mikro-KWK-Anlage

In dicht besiedelten Gebieten lässt sich der Wunsch nach Netzunabhängigkeit durch das Hinzufügen einer gasbetriebenen Mikro-KWK-Anlage in das System erfüllen.
Das Erzeugen von Wärme mittels Elektrizität ist einfach, umgekehrt ist es das Erzeugen von Elektrizität mittels Wärme jedoch nicht. Eine Mikro-KWK-Anlage mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad ist daher vorzuziehen.

Die wenigen nachgewiesenen leistungsstarken Mikro-KWK-Anlagen (25 % Elektrizität, 75 % Wärme) basieren alle auf einem Generator, der durch einen kleinen **langlebigen internen Verbrennungsmotor** betrieben wird, der mit Naturgas oder Propan läuft. Die durch den Generator erzeugt Elektrizität wird direkt verbraucht oder in der Batterie gespeichert. Gleichzeitig wird die Wärme des Motors aufgefangen, um Wärmeenergie zu erzeugen. Diese Wärme wird für die Zentralheizung und/oder zum Erzeugen von Warmwasser genutzt.
Weitere Informationen sind zum Beispiel erhältlich unter http://www.bhkw-infothek.de/

Systeme, die auf **Heißgasmotoren**basieren, verfügen über einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad (10-15 % Elektrizität, 90-85 % Wärme). Dies kann in einem wirklich netzunabhängigen System zu übermäßiger Wärmeerzeugung führen.

Die **Brennstoffzellen-**Mikro-KWK-Anlage ist noch eine Zukunftsverheißung.

Der elektrische Energieausgang der Mikro-KWK-Anlage sollte mindestens der durchschnittlich benötigten Energie entsprechen. Dies lässt sich jedoch einfach erreichen. Selbst im Winter beträgt der Ausgang des überdurchschnittlichen Haushaltes 32,12 kWh am Tag (siehe Tabelle 8). Das sind im Schnitt über 24 h verteilt weniger als 1,4 kW.

Wird die Mikro-KWK-Anlage in Kombination mit Wärme- und Photovoltaik-Solar-Anlagen installiert, wird sie meist im Winter zum Einsatz kommen. Der Wechselrichter/das Ladegerät müssen von der Größe her so gewählt werden, dass sie den kompletten Haushalt versorgen können. Wie sich aus Tabelle 2 herleiten lässt, werden drei bis sechzehn kVA benötigt.
Es wird die Verwendung von Gas zum Kochen und Trocknen der Kleider, sowie Warmwasserzuläufe für die Wasch- und Spülmaschine empfohlen, um die erforderlichen Spitzenleistungen zu verringern.
Die Batteriekapazität zur Abdeckung des Stromverbrauchs eines Tages im Sommer ist ausreichend, da die Betriebsperioden der Mikro-KWK-Anlage mit den Perioden des Spitzenstromverbrauchs synchronisiert werden können.

Die Mikro-KWK-Anlage ist dann parallel zum Wechselrichter/Ladegerät in Betrieb, ähnlich wie der PV-Wechselrichter von Hub-2 oder 3.
Überschüssige Energie wird zum Aufladen der Batterie genutzt. Ist nicht ausreichend Energie vorhanden, wird Energie aus der Batterie (PowerAssist Funktion des MultiPlus und Quattro Wechselrichter-/Ladegeräts) zur Unterstützung zugeführt.
Die Wärme (Motorwärme plus Abhitze) kann für das Heizsystem des Haushalts und zum Erwärmen des Boilers genutzt.
Wenn sowohl der elektrische als auch der Wärmeausgang voll genutzt werden, liegt der Wirkungsgrad einer Mikro-KWK-Anlage bei rund 98 %. (d. h. 98 % des Wärmeinhalts des verbrannten Gases wird in nützliche Wärme und Energie umgewandelt).
Werden 40 % des elektrischen Ausgangs direkt von der Last verbraucht, liegt der Wirkungsgrad des Hub, jetzt inklusive der Mikro-KWK-Anlage, im Fall einer Lithium-Ionen-Batterie bei rund 86 % (siehe Abschnitt 6.2).

Beachte:
Im Falle des **energiebewussten Zweipersonenhaushalts** beträgt der tägliche Warmwasserverbrauch zwischen 100 und 150 Liter (dies schließt den Warmwasserzulauf für Wasch- und Spülmaschine mit ein). Hierbei sind zur Erhöhung der Temperatur um 40°C 5 bis 7 kWh der Wärme notwendig.
(spezifische Wärmekapazität von Wasser: **C = 4,2 J/(g·°K) ≈ 1,2 Wh/(Liter·°C)**,
siehe http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity)

Liegt der elektrische Wirkungsgrad bei 25 %, erzeugt die Mikro-KWK-Anlage 25 /75 = 0,33 kWh elektrische Energie pro kWh Wärme.
Bei 6 kWh benötigter Wärme, beträgt der elektrische Ausgang der Mikro-KWK-Anlage 2 kWh.
Rechnet man mit 15 % Verlust (85 % Wirkungsgrad) im Hub, liegt die verfügbare elektrische Energie bei 1,7 kWh.
Der gesamte tägliche Verbrauch an elektrischer Energie während des Winters liegt bei 7,5 kWh/Tag (siehe Tabelle 6).
Das bedeutet, dass die Mikro-KWK-Anlage rund 23 % des Elektrizitätsverbrauchs des energiebewussten Zweipersonenhaushalts abdeckt, wenn sie in Betrieb ist, um einfach das notwendige Warmwasser zu erzeugen.

Wird während des Winters Heizen erforderlich, wird noch viel mehr elektrische Energie erzeugt:
In den Niederlanden beträgt der durchschnittliche Naturgasverbrauch pro Jahr für das Heizen eines frei stehenden Hauses 2000 m^3.
Der Wärmeinhalt von Naturgas beträgt 32 MJ/m^3 und 1 kWh = 3,6 MJ.
Die im Durchschnitt pro Tag benötigte Energie während der 6 Monate, in denen die Raumheizung erforderlich ist beträgt: 32 MJ/m^3 x 2000 m^3 / 182 Tage = 352 MJ/Tag, oder 97 kWh pro Tag.
Bei 97 kWh Raumheizung, die pro Tag benötigt werden, läge der elektrische Ausgang der Mikro-KWK-Anlage bei 97 x 0,33 = 32 kWh.
Dies entspricht zufälligerweise dem durchschnittlichen täglichen elektrischen Energieverbrauch des überdurchschnittlichen Haushaltes im Winter (siehe Tabelle 8).

Es wird deutlich, dass die Mikro-KWK-Anlage eine Lösung für kältere Gebiete bietet, wo es notwenig ist, den Haushalt zu heizen.

8.2 Generatoren mit Dieselmotor

In abgelegenen Gebieten, wo kein Netzstrom verfügbar ist bzw. dieser nicht zuverlässig ist, war die herkömmliche Lösung die Installation eines dieselbetriebenen Generators (Generator). Die Nennleistung des Generators wird so gewählt, dass sie die höchste zu erwartende Leistungsanforderung abdeckt.
Der Generator ist viel günstiger (pro Nennwert kVA) und leichter zu installieren und zu warten, als eine Mikro-KWK-Anlage. Allerdings ist er auch laut, stinkt und ist weniger effizient (die gesamte Wärme geht verloren). Er benötigt außerdem häufig Wartungsarbeiten.
Auch ist seine Lebensdauer viel kürzer.

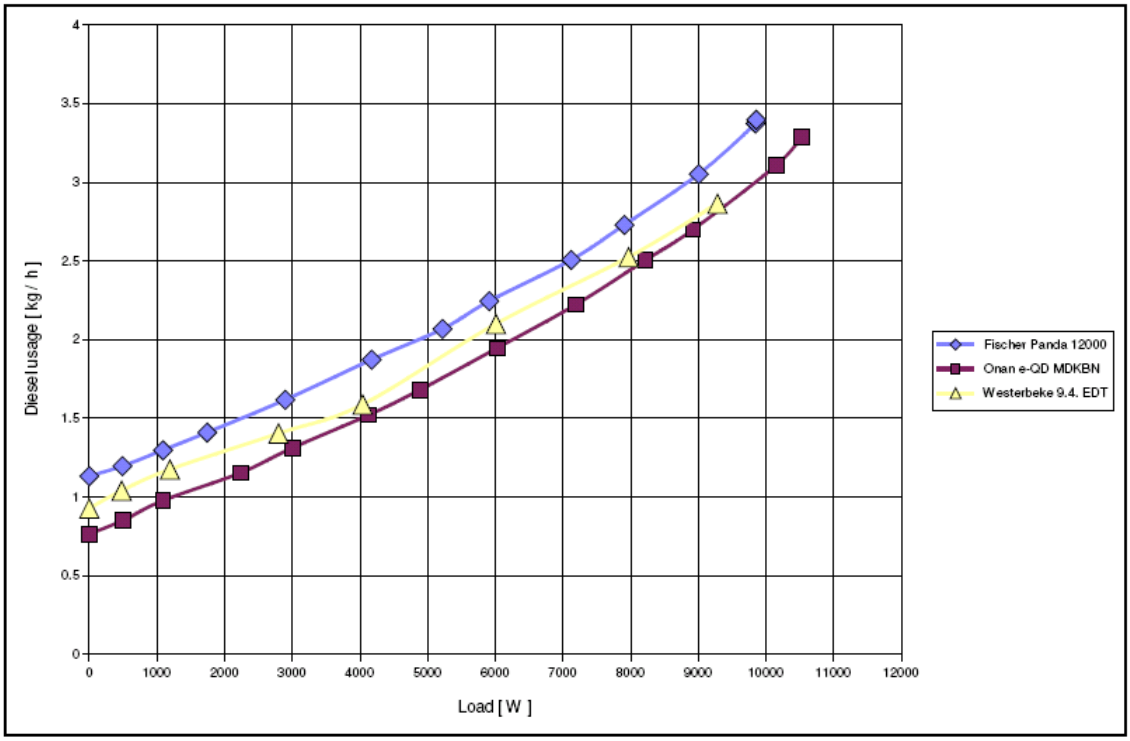
Beachte:
Der herkömmliche dieselbetriebene Generator lässt sich modifizieren, um näher an eine gasbetriebene Mikro-KWK-Anlage heranzukommen. Diese Modifikationen betreffen vor allem die Senkung des Geräuschpegels, die Reduzierung der Wartungsarbeiten und das Hinzufügen eines Systems zur Nutzung der Motorwärme.
Weitere Informationen sind erhältlich unter http://www.bhkw-infothek.de/

Ist der dieselbetriebene Generator rund um die Uhr oder fast den ganzen Tag in Betrieb, so hat diese Lösung zwei große Nachteile:

Wartung und Lebensdauer
Generatoren benötigen eine häufige Wartung: Ölwechsel alle 500 Betriebsstunden, Riemenaustausch alle 1000 Betriebsstunden etc.

Die Lebensdauer eines guten Generators mit 1500 rpm liegt bei ungefähr 10.000 Betriebsstunden (= 3 Jahre bei einem Betrieb rund um die Uhr, sieben Tage die Woche).
Treibstoffverbrauch bei geringer Last
Ein 10 kW Generator verbraucht zwischen 3 und 3,5 kg Treibstoff (= 3,7 bis 4,4 Liter) pro Stunde, wenn er eine 10 kW Last versorgt.
Bei einer Last von null verbraucht er dennoch 1 kg/h! (siehe Graphik 1).

Das Betreiben eines Generators rund um die Uhr, sieben Tage die Woche, um einen Haushalt mit Strom zu versorgen, ist bei einer durchschnittlichen bis Spitzenlast von weniger als 10 % (siehe Tabelle 3) daher eine extrem ineffiziente und teure Lösung. Das liegt zum einen an der Wartung und Lebensdauer pro erzeugter kWh und zum Anderen besonders an dem extrem hohen spezifischen Treibstoffverbrauch (= Treibstoffverbrauch pro erzeugter kWh).



Graphik 1: Treibstoffverbrauch dreier dieselbetriebener Generatoren mit 1500 rpm, maximaler Ausgang
9-11 kW

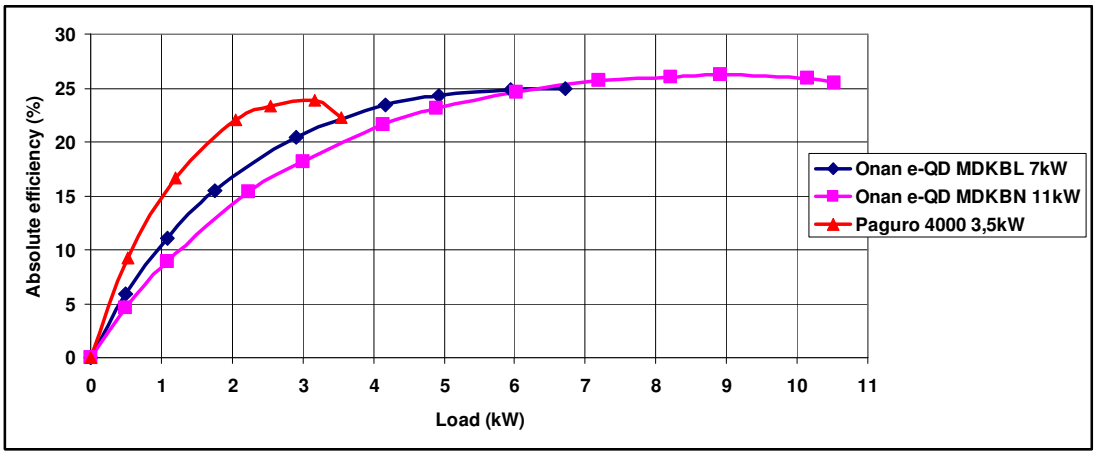
Wie aus Graphik 1 entnommen werden kann, liegt der spezifische Treibstoffverbrauch bei rund 0,3 kg pro kWh, wenn der Generator fast an der Belastungsgrenze (10 kW) läuft.
Ist er mit einer Last von 500 W in Betrieb, liegt der spezifische Treibstoffverbrauch bei rund 2 kg pro kWh.

Ein 10 kW Generator, der 24h/7 Tage die Woche in Betrieb ist und im Durchschnitt 1 kg/h verbrennt, um den durchschnittlichen Haushalt zu versorgen, wird einige 9.000 kg (!) Treibstoff pro Jahr verbrauchen, um die erforderlichen 4.788 kWh zu erzeugen (siehe Tabelle 2:

Wird zum Kochen und für Warmwasser kein Butan oder Propangas verwendet, erhöht die nur elektrische Lösung die täglich benötigte elektrische Energie um 8 kWh auf 21 kWh. Die durchschnittliche Generatorlast läge nahezu bei 1 kW. Wie in Graphik 1 erkennbar ist, würde dies nur bedingt zu einem vermehrten Treibstoffverbrauch führen, auf ca. 10 Tonnen/Jahr.
Wird ein größerer Generator installiert, um potentielle Spitzenlasten zu schaffen, steigt der Treibstoffverbrauch noch mehr an.

Graphik 2 zeigt den absoluten Wirkungsgrad von drei Generatoren, deren Nennleistung bei 3,5 kW, 7 kW bzw. 11 kW liegt. Der absolute Wirkungsgrad liegt beim effizientesten Lastpunkt deutlich bei rund 25 %. Das heißt, dass auch, wenn die Generatoren an ihrem effizientesten Lastpunkt betrieben werden, doch nur 25 % des Wärmeinhalts des Dieseltreibstoffes (der Wärmeinhalt von Autodieseltreibstoff liegt bei rund 45,6 MJ/kg, oder 12,7kWh/kg) in elektrische Energie umgewandelt werden. Die übrigen 75 % werden in Wärme umgewandelt und werden durch die Abluft- und Kühlanlage des Motors abgeführt.

Beachte:
Für weitere Informationen zu Generatoren beachten Sie bitte den VE Marine Generator Test. Dieser steht zum Herunterladen verfügbar unter:www.victronenergy.com



Graphik 2 Absoluter Wirkungsgrad der drei repräsentativen Generatoren

Wie aus Graphik 2 ablesbar ist, verringert sich der Wirkungsgrad des Generators auf 5-10 %, wenn er mit einer Last von 500 W betrieben wird.

Hier ist eindeutig noch Raum für Verbesserungen!

Option 1: Hinzufügen eines Wechselrichters/Ladegerätes mit niedrigem Energiebedarf für die Zeiträume nachts, in denen nur wenige Lasten versorgt werden müssen.
Ein MultiPlus C 24/1600/40 zum Beispiel.
Der 1600 VA Wechselrichter betreibt die Grundlast. Eine plötzlich hinzugeschaltete Last wie zum Beispiel eine Waschmaschine veranlasst jedoch, dass der MultiPlus sich in den Überlastungsschutz-Modus schaltet und die Wechselstromversorgung abgeschaltet wird.
Um dies zu verhindern muss der Generator schon in Betrieb und angeschlossen sein, bevor die schwere Last eingeschaltet wird.

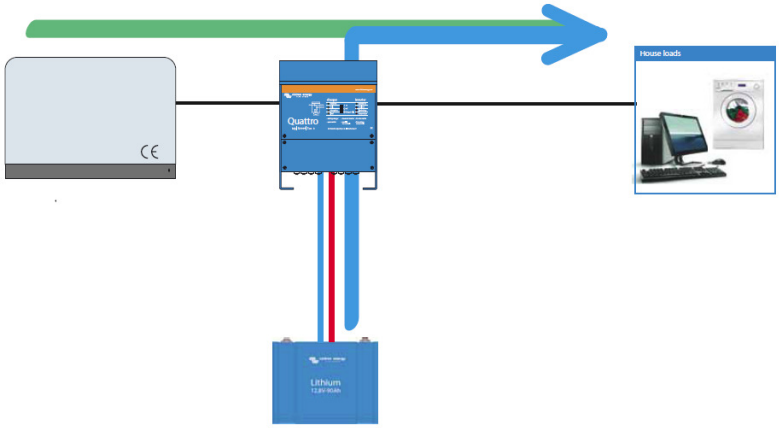
In der Praxis funktioniert diese Option gut, wenn der Wechselrichter/das Ladegerät die Grundlast während der Nacht versorgt und der Generator während des Tages in Betrieb ist.
Wird der Generator 8 Stunden jeden Tag abgeschaltet, reduziert sich der jährliche Treibstoffverbrauch des durchschnittlichen netzunabhängigen Haushaltes auf 10.000·(24-8)/24 = 6.700 kg.

Option 2: hochleistungsstarker/es Wechselrichter/Ladegerät zur wesentlichen Reduzierung der Generatorgröße und der Betriebstunden
Die Energie des Wechselrichters sollte ausreichend sein, um schwere Lasten zu versorgen, bis der Generator eingeschaltet ist.
Der Wechselrichter/das Ladegerät kann ein lastabhängiges Startsignal erzeugen, durch das der Generator in Gang gesetzt wird. Zusätzlich kann der Wechselrichter/das Ladegerät, ein Batterie-

Wächter oder der BMS der Lithium-Ionen-Batterie ein Signal ''Batterie entladen' aussenden, damit der Generator eingeschaltet wird. Es ist daher ein vollständig automatischer System-Betrieb möglich.
Mit Verweis auf Tabelle 2 sollte der kombinierte 'Multi/Quattro+Generator' Nennwert zwischen 10 kW und 20 kW liegen.

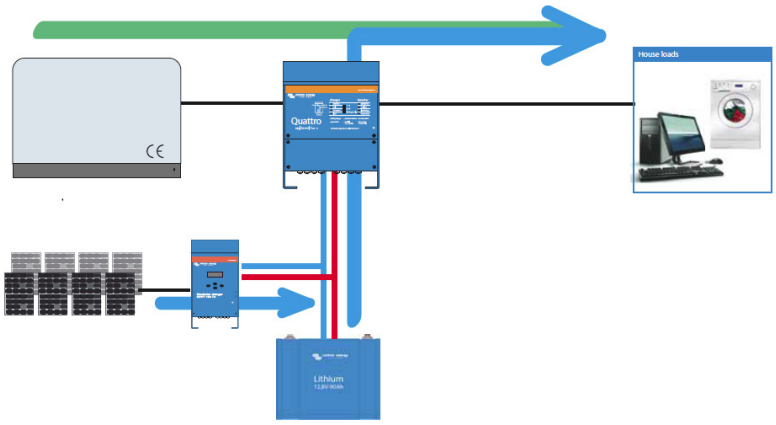
Jetzt ist der Generator nur noch während Perioden mit Spitzenergiebedarf in Betrieb und mithilfe der **PowerAssist-Funktion** kann das Wechselrichter-/Ladegerät so eingestellt werden, dass der Generator an seinem effizientesten Energiepunkt betrieben wird: ungefähr 80 % seiner Typenschildangabe in kW. Jedwede überschüssig vorhandene Energie wird zum Aufladen der Batterie genutzt. Ist nicht ausreichend Energie vorhanden, wird Energie aus der Batterie zur Unterstützung zugeführt.

Der Durchschnittshaushalt, der rein elektrisch versorgt wird (ohne die Verwendung von Butan- oder Propangas zum Kochen oder Erwärmen von Wasser) benötigt im Schnitt 21 kWh am Tag. Geht man für den Hub mit einer Lithium-Ionen-Batterie von einem Wirkungsgrad von 85 % aus, beläuft sich die insgesamt benötigte Energie auf 21/0,85 = 25 kWh.
Mit einem 10 kVA Wechselrichter/Ladegerät, ließe sich die Generatorenergie zum Beispiel auf 7 kVA verringern.
Ein 7 kVA Generator mit 4 bis 5 kW Last ist ca. 6 Stunden täglich in Betrieb (ohne Solar-/Windkraft-Eingang).
Der Wirkungsgrad liegt dann bei 25 %, (0,3 kg Treibstoff perkWh) und der jährliche Treibstoffverbrauch beträgt 0,3 kg/kWh x 25 kWh x 365 Tage = 2.700 kg.
Das ist weniger als ein Viertel der Rund-um-die-Uhr-Lösung.
Mit einer OPzS-Batterie liegt der Treibstoffverbrauch bei
0,3 kg/kWh x (21/0,75)kWh x 365 Tage = 3100 kg.



Lassen Sie uns nun noch die elektrische Fußbodenheizung im Badezimmer (3 kWh/Tag) und einen Pool (nicht beheizt, Pumpe nur: 5,6 kWh/Tag) hinzufügen. Dies würde den jährlichen Treibstoffverbrauch auf 3.800 kg (Lithium-Ionen-Batterie) bzw. 4.300 kg (OPzS-Batterie) erhöhen.

<u>Solar- und/oder Windenergie zur weiteren Reduzierung der Betriebszeiten</u>
Dies ist natürlich der nächste Schritt, um die Betriebszeiten und den Treibstoffverbrauch noch weiter zu verringern. Es können sowohl Hub-1 als auch Hub-2 genutzt werde. Hub-3 ist in diesem System keine Option, da der PV-Wechselrichter sich abschaltet, wenn der Generator nicht in Betrieb ist.



Dreiphasen- oder Einphasen-Generator?
Das Problem bei einem (relativ) leistungsschwachen Generator besteht im Ausbalancieren der Lasten auf die drei Phasen.
Ein 10 kVA Generator kann zum Beispiel 3,3 kVA pro Phase versorgen.
Wie sind die Lasten eines durchschnittlichen Haushaltes anzuschließen?
Schließt man die Waschmaschine, den Trockner und den Geschirrspüler jeweils an eine getrennte Phase an, bliebe nur sehr begrenzte Energie für die anderen Lasten übrig, die gleichzeitig eingeschaltet sein könnten.
Schließt man die Waschmaschine, den Trockner und den Geschirrspüler an eine Phase an, ist das in Ordnung, solange diese nicht gleichzeitig in Gebrauch sind. Sämtliche anderen Geräte würden sich dann über die übrigen beiden Phasen verteilen.
In der Praxis könnten häufig Situationen auftreten, in denen eine Phase voll ausgelastet oder sogar überlastet ist während eine andere Phase fast überhaupt keine Last betreibt.

Die Verkabelung sämtlicher Lasten mit einem Einphasen-Generator beseitigt das Problem mit dem Lastenausgleich.

Drei Phasen-Pumpen

Pool- und Brunnenpumpen sind oft dreiphasig, haben jedoch einen Nennwert von nicht mehr als 3 kVA.
Die Lösung liegt darin, einen **Frequenzumrichter-Antrieb mit einem einphasigen Eingang** hinzuzufügen. Der Frequenzumrichter-Antrieb wird an eine einphasige Stromzufuhr angeschlossen und beseitigt außerdem die Spitze des Startstroms.

Das Versorgen schwerer Lasten bei alleinigem Betrieb des Generators
An bedeckten Tagen oder im Winter, wenn die Solarenergie durch Energie aus dem Generator ergänzt werden muss, sollte der Generator zu den Zeiten in Betrieb sein, in denen ein höherer Energiebedarf besteht. Alternativ können Lasten mit hohem Energiebedarf (Wasserpumpen, Warmwasserbereitung) dann eingeschaltet werden, wenn der Generator in Betrieb ist.
Die Multi und Quattro Wechselrichter-/Ladegeräte haben zu diesem Zweck einen programmierbaren zweiten AC-Ausgang.
Dieser Ausgang schließt die zusätzlichen Lasten mit einer zeitlichen Verzögerung von 1 Minute an, um dem Generator Zeit zur Stabilisierung zu geben.
Die **PowerAssist**-Funktion berücksichtigt dann diese zusätzlichen Lasten (das wäre nicht der Fall, wenn diese direkt an den Generator angeschlossen wären).

9. Definition: die 100 % PV-Anlage und die 100 % Batterie.

Aus Abschnitt 7.1.2:
Die Sonneneinstrahlung an sonnigen Sommertagen auf nach Süden ausgerichtete Paneele mit einer Achsenneigung ≈ Breitengrad beträgt ca. 8 kWh/m^2/Tag und ist relativ unabhängig vom Breitengrad.

Mit diesem (recht) groben Annäherungswert wird es möglich, den PV-Eingang unabhängig von den Breitengraden und dem örtlichen Klima zu erörtern. Dieser lässt sich dann auch mithilfe der Tabelle 4 auf die örtlichen Bedingungen anpassen.
Vor dem Hintergrund dieses Annäherungswertes können folgende Erörterungen sehr aufschlussreich sein: die PV-Ausgangsleistung gemessen in Einheiten der Ausgangsleistung an einem sonnigen Sommertag (≈ 6 kWh pro kWp wie in Abschnitt 7.1.2 behandelt) sowie (indem ein Zusammenhang zwischen Ausgang und Verbrauch hergestellt wird), die PV-Anlage im Verhältnis zum Energieverbrauch eines Haushaltes, kleinen Büros, einer Werkstatt oder einer anderen täglichen Situation, bei der der tägliche elektrische Energieverbrauch von einem kWh bis 100 kWh reicht.

Aus diesem Grund werden wir die Ausgangsleistung der PV-Anlage an einem sonnigen Sommertag behandeln. In ähnlicher Weise werden wir die nutzbare Speicherkapazität der Batterie bezogen auf den täglichen Energieverbrauch erörtern.

Eine 100 % PV-Anlage wird folgendermaßen definiert: Die Anlage, die benötigt, wird, um an einem sonnigen Sommertag 100 % des elektrischen Energieverbrauchs eines Privathaushaltes oder ähnlicher Räumlichkeiten zu versorgen.
Eine 50 % PV-Anlage würde an einem sonnigen Sommertag 50 % des Energieverbrauchs abdecken.

In ähnlicher Weise ist dann eine 100 % Batterie eine Batterie, die über ausreichend Speicherkapazität verfügt, um die Energie zu speichern, die an einem Sommertag benötigt wird.

10. Kosten

10.1. Eigenverbrauch: optimale Speicherkapazität

Die Übernahme des Eigenverbrauchs ist ein relativ neues Phänomen. Jedoch erfreut es sich an immer größerer Beliebtheit durch die stetig steigenden Strompreise und gleichzeitig fallende Einspeisetarife. Der Verkauf von PV-Energie zu sagen wir 15 Eurocent pro KWh am Mittag und der Rückkauf für 25 Eurocent am Abend klingt nicht gerade nach einem guten Geschäft. Da speichert man doch besser die überschüssige Energie, um sie später selbst zu nutzen.

Aus rein finanzieller Sicht stellt die Zwischenspeicherung einen interessanten Ansatz dar, sofern die involvierten zusätzlichen Kosten geringer sind, als die Kosten, die beim Verkauf von Elektrizität zu niedrigen Preisen und späteren Rückkauf zu höheren Preisen entstehen.

Eine einigermaßen genaue finanzielle Begründung für eine Zwischenspeicherung lässt sich nicht so einfach geben. Abgesehen von den in niedrigen Breitengraden gelegenen Wüstenregionen, wo die Sonne jeden Tag scheint, unterliegt der PV-Ausgangswert von Tag zu Tag und je nach Jahreszeit wilden Schwankungen Die Installation einer PV-Anlage zusammen mit einem Energiespeicher, der 100 % des Energiebedarfs an einem sonnigen Sommertag abdeckt (die Lösung für 100 % Eigenverbrauch) ist sicher bei Regionen der höheren Breitengrade nicht gerade optimal. Die Batterie ist für bedeckte Tage überbemessen und wird an dunklen Wintertagen , wenn die PV-Ausgangsleistung bei nahezu Null liegt, nicht genutzt.
Es lässt sich jedoch Folgendes sicher sagen:

- Die optimale Speicherkapazität (aus finanzieller Sicht) steigt jedoch mit dem ansteigenden Preisunterschied zwischen dem Stromeinkaufspreis und dem Einspeisetarif.
- Die optimale Speicherkapazität nimmt mit den Breitengraden ab (und ist auch abhängig vom örtlichen Klima).
- Die optimale Speicherkapazität nimmt zu, wenn die Systemkosten sich verringern.

Da wir (bislang) noch keine einfache Methode entwickelt haben, um zumindest einen groben Annäherungswert für die optimale Zwischenspeicherkapazität zu berechnen, gehen wir wir einfach mal von einem Wert von 30 % Ausgangsleistung der PV-Anlage an einem sonnigen Sommertag aus.

Ein weiterer wichtiger Punkt besteht darin, dass der Eigenverbrauch auch die Stabilität des Netzes sicherstellen soll. Ein System, das nur über eine begrenzte Speicherkapazität verfügt, wird sich jedoch genauso verhalten, wie ein System ohne Zwischenspeicherung, nachdem die Batterie voll aufgeladen ist. An einem sonnigen Sommertag kann die Batterie zum Beispiel schon vor der Mittagszeit voll geladen sein und für die Abschwächung von Fluktuationen und Begrenzung der Einspeisung nicht nutzbar sein, wenn sie am meisten gebraucht wird.

Man könnte daher erwarten, dass in naher Zukunft auf die eine oder andere Art eine Begrenzung der Menge an Energie, die zurück in das Netz eingespeist wird, eingerichtet wird.
Eine solche Begrenzung könnte zum Beispiel so aussehen, dass die Einspeisung einen bestimmten Prozentsatz des Pw-Nennwertes der Anlage nie überschreitet. Bei einer Begrenzung von zum Beispiel 60 % sollte die ins Netz eingespeiste Energie nicht mehr als 60 % der Energie der installierten PV-Anlage ausmachen.
Im Folgenden wird ein grober Annäherungswert der Energiemenge berechnet, die infolge einer solchen Regulierung verschwendet bzw. besser in einer Batterie gespeichert würde:

Wenn wir davon ausgehen, dass die Ausgangsleistung der Anlage sich durch einen Halbkreis schätzen lässt (indem man am Morgen bei Null anfängt, die maximale Ausgangsleistung bis zum Mittag ansteigen und sie am späten Nachmittag wieder auf Null absinken lässt), wird die Energie, die nicht zurück in das Netz gespeist werden darf (oder später am Tag wieder eingespeist werden kann) in Abbildung 5 durch ein grünes Kreissegment dargestellt.

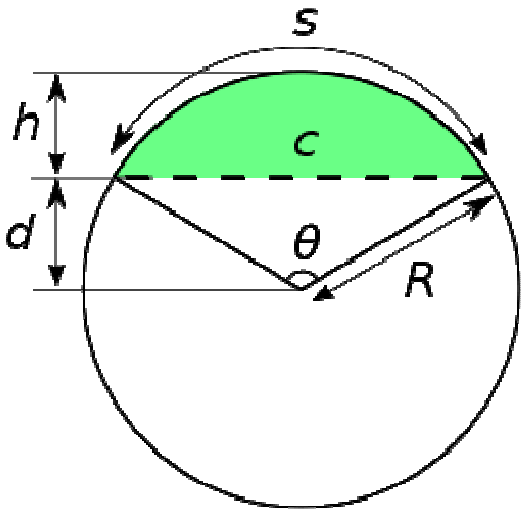


Abbildung 5: Begrenzung der Spitzenleistung, die zurück in das Netz eingespeist wird

Wenn Pw = R = 1, dann ist d·Pw die maximale Leistung, die zurück in das Netz eingespeist werden kann.

Der Bereich A des grünen Kreissegments ist

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

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

Und der Bereich des Halbkreises ist $C = (½)\cdot\pi R^2$

Anhand dieser Formeln lässt sich er der Prozentsatz berechnen, der "wegrasiert" werden muss, um die Netzeinspeisung auf d PW für verschiedene Werte für d zu begrenzen:
d = 0,6: A/C = 0,45/1,57 ≈ 0,3
d = 0,5: A/C = 0,61/1,57 ≈ 0,4
d = 0,4: A/C = 0,79/1,57 ≈ 0,5
(siehe http://www.handymath.com/cgi-bin/arc18.cgi)

Wenn d = 0,6 (was bedeutet, dass die Netzeinspeisung niemals über 60 % des Pw-Nennwertes der Anlage steigen soll), dann repräsentiert der grüne Bereich 30 % des Halbkreises. Daher müssen mindestens 30 % der Ausgangsleistung der Anlage durch die Lasten aufgenommen und/oder in der Batterie gespeichert werden.

Ausgehend von einer Last gleich Null, einem Systemwirkungsgrad von 100 % und einer entladenen Batterie am Morgen, ließe sich in diesem Fall **die Batteriespeicherung auf 30 %** der PV-Ausgangsleistung an einem sonnigen Sommertag verringern, wobei der (hypothetischen) Regelung für Eigenverbrauch noch immer Genüge getan würde. Die Batterie würde dann zum Speichern des Energieinhaltes des grünen Bereiches genutzt werden während die übrige Ausgangsleistung der Solar-Anlage zurück ins Netz eingespeist werden könnte.

Beachte:

Alternativ könnte auch einfach die Ausgangsleistung des Netzwechselrichters auf 60 % der installierten Pw begrenzt werden: es ist keine Speicherung erforderlich und 30 % der potentiellen Ausgangsleistung der Anlage werden an einem sonnigen Sommertag verschwendet.

10.2. Netzunabhängigkeit: optimale Speicherkapazität

Bei Verfügbarkeit einer Mikro-KWK-Anlage wird in der Regel so viel nutzbare Kapazität eingeplant, dass sie für einen vollen Tag ausreicht.
Stellen die Sonne und/oder der Wind die einzigen Energiequellen dar, so wird eine Kombination aus einer überbemessenen PV-Anlagen- und/oder-Windanlagen-Ausgangsleistung und einer überbemessenen Batteriekapazität (d. h. mehr als 100 % wie in Abschnitt definiert) benötigt, um Zeitspannen mit einer geringen PV-/Windkraft-Anlagen-Ausgangsleistung abzudecken.

10.3. Batterie: Blei-Säure- oder Lithium-Ionen-Batterie, Teil 2

10.3.1. Lithium-Eisen-Phosphat

Eine Lithium-Eisen-Phosphat ($LiFePO_4$ oder LFP)-Batterie sollte vorzugsweise nicht unter die 20 % Grenze ihrer Nennleistung entladen werden. Sie lässt sich ungefähr 2000-mal auf bis zu 20 % entladen und kann bei Hochstrom bis auf beinahe 100 % geladen werden (würde sie regelmäßig auf unter 20 % entladen, würde sich das unverhältnismäßig auf die mögliche Anzahl der Aufladezyklen auswirken).
Die sinnvolle Ah (und kWh) Kapazität liegt daher bei 80 % ihrer Nennleistung.

10.3.2. Röhrenplatten-Blei-Säure-Batterien

Röhrenplatten- Blei-Säure-Batterien, ob nun mit Flüssigelektrolyt (OPzS: Ortsfeste Panzerplatte mit Spezialseparator) oder mit Gel (OPzV), sind recht robust und haben sich in netzunabhängigen System als extrem leistungsfähig erwiesen. Sie lassen sich regelmäßig auf bis zu 30 % ihrer C_{10}-Kapazität entladen. Jedoch wird der Lade-Wirkungsgrad sehr niedrig und die Akzeptanz des Ladestroms reduziert sich deutlich, nachdem die Batterie auf 80 % geladen wurde.
Aus diesem Grund sollten sich die Ladezyklen bei diesen Batterien zwischen 80 % und 30 % bewegen. Außerdem sollten sie regelmäßig zu 100 % geladen werden, um einer Sulfatierung vorzubeugen.
Ein weiterer Grund für das regelmäßige Aufladen von OPzS-Batterien ist die Vermeidung von Säureschichtung.
(http://batteryuniversity.com/learn/article/water_loss_acid_stratification_and_surface_charge/)
OPzS-und OPzV-Batterien verfügen über eine hohe interne Resistenz und daher auch über einen hohen Wirkungsgrad. Die verfügbare Kapazität wird bei hohen Lade- und Entlade-Strömen beträchtlich reduziert.
(genaue Beschreibungen finden Sie hier
http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet%20-%20OPzS%20batteries%20-%20rev%2004%20-%20EN.pdf)

10.3.3. Flüssigelektrolyt-Gitterplatten- und VRLA-Gitterplatten-Batterien

Es sind viele verschiedene Arten von Flüssigelektrolyt-Gitterplatten- und VRLA ("valve regulated lead acid" = ventilgeregelte Blei-Säure Batterie: Gel und AGM) Batterien verfügbar. Im Allgemeinen sind die teuersten auch die besten Batterien. Unserer Erfahrung nach sind sie alle jedoch, was die möglichen Aufladezyklen sowie das Sulfatierungsrisiko betrifft, weniger robust als Röhrenplatten-OPzV- und insbesondere OPzS-Batterien.

Victron Energy verkauft eine Reihe an Tiefentladungs-Gitterplatten- VRLA- (Gel- und AGM-) Batterien, die über dickere Gitterplatten verfügen, als Autobatterien und als die kostengünstigeren VRLA-Batterien. Dies hat eine ordentliche Leistung bezüglich der möglichen Aufladezyklen zur Folge. Das Sulfatierungsrisiko besteht jedoch immer noch.
(genaue Beschreibungen finden Sie hier
http://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet%20-%20GEL%20and%20AGM%20Batteries%20-%20rev%2007%20-%20EN.pdf)
Es wird empfohlen, die Entladung dieser Batterien auf 50 % ihrer C_{20}-Nennkapazität zu begrenzen. Ähnlich wie bei den Röhrenplatten-Batterien wird der Ladewirkungsgrad sehr gering und die Akzeptanz des Ladestroms nimmt beträchtlich ab, nachdem die Batterie auf bis zu 80 % geladen wurde.
Aus diesem Grund sollten sich die Ladezyklen bei diesen Batterien zwischen 80 % und 50% bewegen. Außerdem sollten sie regelmäßig zu 100 % geladen werden, um eine Sulfatierung zu bremsen.
In der folgenden Tabelle werden verschiedene Batterien miteinander verglichen.

	Gitterplatten AGM	**Röhrenplatten Flüssigelektrolyt (OPzS)**	**Röhrenplatten Gel (OPzV)**	**Lithium-Ionen $LiFePO_4$**
Kosten pro bemessener kWh	€ 188	€ 312	€ 432	€ 1.233
Nutzbare Kapazität	30%	50%	50%	80%
Kosten pro nutzbarer kWh	€ 627	€ 624	€ 864	€ 1.541
Wirkungsgrad bei I = 0,1C [2]	80%	80%	80%	92%
Wirkungsgrad bei I = 0,5 C	70%	60%	60%	92%
Lebensdauer bei 25°C	750 - 1500 [1]	2500	2000 - 2500	2000
Menge pro nutzbarer kWh	11,3 cm^3	15,4 cm^3	15,4 cm^3	8,7 cm^3
Gewicht pro nutzbarer kWh	82 kg	82 kg	82 kg	17 kg
Anwendung	saisonale Nutzung - netzunabhängiges Ferienhaus	ganzjährige Nutzung - Haushalte, kleine Büros, Werkstätten, etc.	ganzjährige Nutzung - Haushalte, kleine Büros, Werkstätten, etc.	ganzjährige Nutzung - Haushalte, kleine Büros, Werkstätten, etc.
Lässt sich im Wohnbereich installieren	ja	nein	ja	ja
regelmäßiges volles Aufladen erforderlich	ja	ja	ja	nein
regelmäßige Wartung erforderlich	nein	ja	nein	nein

Beachte:

1) Da kostengünstige Gitterplatten- AGM- und Gel-Batterien (und zu einem geringeren Grad auch OPzV-Batterien) relativ empfindlich sind, erreichen sie in der Praxis nur selten die Anzahl der Ladezyklen (1500), die unter Laborbedingungen erreichbar sind.
2) 0,1 C bedeutet ein Lade- und Entladestrom von 0,1 Mal der Nennkapazität in Ah. Bei einer 100 Ah Batterie wäre dieser Strom 10 A

Tabelle 5: Batterievergleich

10.4. Die PV-Anlage

Die weltweite Senkung der Einspeisetarife in letzter Zeit hatte einen Überschuss an PV-Panellen anstelle eines Mangels sowie eine dramatische Preisreduzierung zur Folge.
Wie sich aus den Tabellen 6-8 ablesen lässt, betragen die Kosten der 100 % PV-Anlage rund 20 % der Gesamtkosten während die 100 % Lithium-Ionen-Batterie 70 % der Gesamtkosten ausmacht.
Sofern der verfügbare Bereich (auf dem Dach) nicht beschränkt ist, so lässt sich die PV-Anlage wesentlich vergrößern, ohne, dass sich dies besonders auf die Gesamtkosten auswirkt.
Wenn die örtlichen Bestimmungen Netzeinspeisungen entlohnen, sollte dies offenkundig getan werden. Die Verdopplung des Bereichs würde an einem sonnigen Sommertag in 50 % Eigenverbrauch resultieren. Bei einem Breitengrad bis 45 Grad würde außerdem fast das ganze Jahr über ausreichend Energie gewonnen, um den Haushalt mit Strom zu versorgen (je nach örtlichem Klima, siehe Tabelle 4).
Selbst wenn die örtlichen Bestimmungen eine Einspeisung in das Netz nicht entlohnen bzw. sogar untersagen, so könnte es doch von Vorteil sein, an sonnigen Sommertagen ein wenige überschüssige Kapazitäten zur Verfügung zu haben, um an anderen Tagen mehr Energie zu gewinnen.

10.5. Beispiele: Kosten für die wichtigsten Bestandteile

Die folgenden Tabellen enthalten Einzelheiten zu den Optionen, die für den Eigenverbrauch erörtert wurden. Zu jedem wichtigen Bestandteil gibt es Kostenangaben, die auf den von Victron Energy empfohlenen Verbraucherpreisen basieren.

10.5.1. Zusammenfassung:

Es wurden drei verschiedenen Haushalte besprochen. Jeder von ihnen wird in einer der folgenden Tabellen ausführlich beschrieben:
Der energiebewusste Zweipersonenhaushalt
Der Durchschnittshaushalt
Der überdurchschnittliche Haushalt
Anhand dieser drei Beispiele lassen sich die Anforderungen und Kosten für andere Anwendungen, wie für kleine Büros oder Werkstätten, leicht ermitteln.
Der Kalkulationsbogen, mit dem die Tabellen erstellt wurden, kann unter folgender Adresse heruntergeladen werden www.victronenergy.com.

Für jeden der drei Haushalte wurden drei Arten von Lasten ermittelt:
Kategorie 1: Die Grundlastbesteht vorrangig aus Geräten mit einem geringen Energieverbrauch, die ständig bzw. über längere Zeiträume eingeschaltet sind und das täglich. Die Grundlast hat daher ein geringes kW/kWh-Verhältnis und lässt sich wirkungsvoll über eine Batterie plus einen Wechselrichter für geringen Stromverbrauch mit Strom versorgen. Die Grundlast stellt bei weitem den größten Stromverbraucher im Haushalt dar.
Kategorie 2: Geräte mit Stecker, die sich einfach von einer Steckdose in eine andere umstecken lassen (insbesondere der Staubsauger). Sie werden nur über kurze Zeiträume benutzt. Diese Lasten haben ein hohes kW/kWh Verhältnis, lassen sich jedoch nicht so einfach von der Grundlast trennen.
Kategorie 3: Fest installierte Lasten, die immer mit derselben Steckdose verbunden sind. Es ist manchmal möglich, den Hub zu umgehen und diese Lasten direkt an das Netz anzuschließen, um so die erforderlichen Spitzenleistungen zu reduzieren. Die elektrische Spitzenleistung kann auch reduziert werden, indem zu Heizzwecken Sonnenwärme und/oder Gas genutzt wird.

Mithilfe eines **Last-Management-Systems** lassen sich mehrere Lasten der Kategorie 3 einschalten, wenn die Sonne scheint. Hierdurch wird der Eigenverbrauch erhöht, ohne, dass dazu zusätzliche Batteriespeicherkapazität benötigt wird.

10.5.2. Die ersten drei Tabellen (Tabellen 6-8) spiegeln die in Abschnitt 7 erörterten Beispiel wieder

- **PV-Anlage**:
  Die Größe der PV-Anlage wurde so gewählt, dass mit ihr ausreichend Energie gewonnen werden kann, um an einem sonnigen Sommertag 100 % der durch eine oder mehrere Last-Kategorien benötigte Energie zu liefern.
  Diese Wahl basiert auf folgender Grundüberlegung:
  - Die an einem sonnigen Sommertag durch ein Solar-Paneel gewonnene Energie ist fast überall auf der Welt dieselbe. Die Tabellen lassen sich daher allgemein anwenden.
  - Bei ausreichendem Batteriespeicher beträgt der Eigenverbrauch nahezu 100 %, selbst an einem sonnigen Sommertag.
  Die Folge davon ist, dass an allen anderen Tagen des Jahres, die Menge der gewonnenen Energie nicht ausreichen wird, um den Verbrauch abzudecken. Es muss zusätzlich Energie aus dem Netz zugeführt werden. Der Eigenverbrauch liegt jedoch stets bei 100 %.
- **Lithium-Ionen-Batterie**:
  Die Lithium-Ionen-Batterie wurde größenmäßig so ausgewählt, dass sie während eines Sommertages die Energie speichern kann, die für eine oder mehrere der Last-Kategorien notwendig ist. Ein Eigenverbrauch von 100 % ist daher das ganze Jahr über sichergestellt. Jedoch ist die Batterie für all die Tage im Jahr überbemessen, an denen weniger Energie gewonnen wird.

Die Lithium-Ionen-Batterie stellt bei weitem den teuersten Teil des Systems dar.

10.5.3. Tabellen 9 bis 11: die drei Haushalte mit OPzS-Batterien

- **OPzS-Batterie**:
  In diesen Tabellen wurde die Lithium-Ionen-Batterie durch eine OPzS-Batterie ersetzt. Ihre Größe wurde wieder so gewählt, dass an einem sonnigen Sommertag die für eine oder mehrere Last-Kategorien benötigte Energie gespeichert werden kann. Ein Eigenverbrauch von 100 % ist daher das ganze Jahr über sichergestellt. Jedoch ist die Batterie für all die Tage im Jahr überbemessen, an denen weniger Energie gewonnen wird. Die Nennkapazität der Energiespeicherung ist höher, da die verwendbare Kapazität sich im Vergleich zu den 80 % der im Fall von Lithium-Ionen-Batterien verwendbaren Kapazität auf 50 % verringert (siehe Abschnitt 10.3.3).
- **PV-Anlage**:
  Die Größe der PV-Anlage wurde wieder so gewählt, dass mit ihr ausreichend Energie gewonnen werden kann, um an einem sonnigen Sommertag 100 % der durch eine oder mehrere Last-Kategorien benötigte Energie zu liefern.
  Der leicht erhöhte Pw-Wert der Anlage spiegelt den geringeren Wirkungsgrad der OPzS Batterie im Vergleich zur Lithium-Ionen-Batterie wieder.

Die Gesamtkosten für das System sind jedoch viel geringer als die für die Lithium-Ionen-Option.

Bei einer Batteriespeicherung von 100 % und einer PV- Anlage mit 100 %, steht die Spalte, die in den Tabellen 6 bis 11 mit 'Kategorie 1+2+3' bezeichnet ist, für eine netzunabhängige Situation mit ausreichender PV-Leistung, bei der an sonnigen Sommertagen der Betrieb der Mikro-KWK-Anlage oder des Generators vermieden werden soll. Die Betriebszeiten der Mikro-KWK-Anlage bzw. des Generators lassen sich noch weiter reduzieren, indem die PV-Anlage und/oder die Batterie überdimensioniert werden.

10.5.3. Tabellen 12 bis 14: Die Reduzierung des Batterie-Engergiespeichers auf 30 % der PV-Ausgangsleistung

Die Tabellen 12 bis 14 bestehen jeweils aus 5 Untertabellen. In ihnen werden die Kosten für verschiedene Batterie- und PV-Anlagen-Lösungen zusammengefasst.

Die ersten Untertabellen (a) sind zusammengefasste Versionen der Tabellen 6 bis 8.
Sowohl die Lithium-Ionen-Batterie als auch die PV-Anlage sind beide auf 100 % ausgelegt.

Die darauffolgenden drei Untertabellen (b, c und d) basieren auf einer Regelung über Eigenverbrauch, die besagt, dass höchstens 60 % der Wp Energie der Anlage in das Netz eingespeist werden darf. Wie in Abschnitt 10.1 angeführt, lässt sich der Batteriespeicher dann auf ungefähr 30 % der Ausgangsleistung der PV-Anlage an einem sonnigen Sommertag reduzieren.
In den Untertabellen "b" wurde die Größe der PV-Anlagen bei 100 % belassen und der Batteriespeicher wurde daher auf 30 % reduziert.
In den Untertabellen "c" und "d" wurde die PV-Anlage auf 200 % bzw. 300 % vergrößert und der Batteriespeicher wurde entsprechend verkleinert.

In den Untertabellen "e" wurde die PV-Anlage wieder mit 300 % bemessen. Jedoch wurde die Lithium-Ionen-Batterie durch eine OPzS-Batterie ersetzt, die mit 100 % bemessen wurde.

Beachte:
Bezüglich dem Systemwirkungsgrad stellt sich die Sache etwas komplizierter dar, da die Batterie zu klein wird, um die tägliche durch die Sonne (bzw. den Wind) gewonnene Energie zu speichern. Dies ist der Fall, wenn der Batteriespeicher auf 30 % der PV-Anlagen-Ausgangsleistung eines sonnigen Tages reduziert wird. In diesem Fall wird ein Teil der potentiell gewonnenen Energie verschwendet (sofern eine Einspeisung in das Netz nicht möglich ist) bzw. direkt von der Last verbraucht (sofern eine Last vorhanden ist). Durch Umgehen der Batterie ist auch ein Einspeisen in das Netz möglich.
Das direkte Einspeisen in das Netz erhöht den Wirkungsgrad (es kommt zu keinen Verlusten durch Zyklisierung der Batterie). Gleichzeitig nimmt der Eigenverbrauch ab.

Beachte:
In den meisten Regionen ist nicht jeder Tag ein sonniger Sommertag. Wird weniger Energie gewonnen, "durchläuft" relativ mehr Energie die Batterie. Dadurch nimmt der Wirkungsgrad ab, der Eigenverbrauch jedoch zu.
Zur Vereinfachung wurde bei der Erstellung der Untertabellen davon ausgegangen, dass 100 % der gewonnenen Energie durch die Batterie geht. Diese Annahme kann in Gegenden mit hohem Breitengrad und nur wenigen Sonnentagen nahezu der Realität entsprechen. In Gegenden mit einem niedrigen Breitengrad hingegen ist diese Annahme jedoch (im Hinblick auf den Wirkungsgrad) sehr pessimistisch.
Nehmen wir als Beispiel mal Sevilla (Spanien): Tabelle 4 zeigt, dass die durchschnittliche Ausgangsleistung im Jahr bei 74 % der Ausgangsleistung an einem sonnigen Sommertag liegt. Wird die Batterie so bemessen, dass 30 % der PV-Ausgangsleistung eines sonnigen Sommertages gespeichert werden kann, werden grob 74 % - 30 % = 44 % in das Netz eingespeist und/oder zur Versorgung einer Last genutzt, wobei die Batterie und die damit verbundenen Verluste (8 % im Fall einer Lithium-Ionen-Batterie und ca. 20 % im Fall einer Blei-Säure-Batterie) umgangen werden.

Beachte:
Die Batteriekapazität wird mit der Zeit langsam abnehmen. Die im Allgemeinen als am Ende ihrer Betriebslebensdauer noch vorhandene Kapazität einer Batterie liegt bei 80 % der auf dem Typenschild angegebenen Kapazität. Um auch gegen Ende der Batterielebensdauer noch über die erforderliche Kapazität zu verfügen, sollte eine neue Batterie mit einem Faktor von 1/0,8 = 1,25 überbemessen werden. Dieser Faktor ist in der Berechnung der folgenden Tabellen nicht in der Energiespeicherkapazität enthalten.

Energiebewusster Zweipersonenhaushalt **Lithium-Ionen-Batterie**			**Kategorie 1** (Grundlast)		**Kategorie 1 + 2** (plus einsteckbare Lasten)		**Kategorie 1 + 2 + 3** (der vollständige Haushalt)		
Elektrischer Energieverbrauch									
Sommer		S	4,37		5,73		6,08		kWh
Winter		W	5,75		7,11		7,46		kWh
Jährlich	Ey = 365*(S+W)/2		1801		2286		2410		kWh
Lithium-Ionen-Batterie mit ausreichend Speicherkapazität, um 100 % des täglichen elektrischen Energieverbrauchs im Sommer zu speichern.									
Energie-Speicherkapazität	S/(0,80*0,94)		5,81		7,62		8,09		kWh
Nennspannung			24		24		24		V
Ah Speicherkapazität	Esc/Nv		242		317		337		Ah
Kosten	1233	€/kW		**€ 7.165**		**€ 9.395**		**€ 9.969**	
Solaranlage mit ausreichender Ausgangsleistung, um 100 % der Last während eines sonnigen Sommertages zu versorgen.									
Erforderliche tägliche Hub-Ausgangsleistung	S*	1	4,37		5,73		6,08		kWh/Tag
Erforderliche tägliche PV-Ausgangsleistung	RdHo/0,85		5,14		6,74		7,15		kWh
Anlage Wp	RdPVo/6		857		1124		1192		Wp
Kosten	2,19	€/Wp		**€ 1.877**		**€ 2.461**		**€ 2.611**	
Hub-1									
Wirkungsgrad Solar-Lade-Regler + DC-Kabel	ηm*ηw		96		96		96		%
Max. Ladestrom	ηm*ηw*Awp/Nv		34		45		48		A
Solar-Lade-Regler			MPPT 70/50	**€ 260**	MPPT 70/50	**€ 260**	MPPT 70/50	**€ 260**	
Max. Last	L		660		2660		2660		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist erforderlich					24/2000/50	**€ 1.454**	24/2000/50	**€ 1.454**	
GridAssist nicht erforderlich			24/1200/25	**€ 969**	24/3000/70		24/3000/70		
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 10.271**		**€ 13.570**		**€ 14.294**	
Hub-2 oder -3									
PV-Wechselrichter			1,5 kW	**€ 1.149**	1,5 kW	**€ 1.149**	1,5 kW	**€ 1.149**	kW
Wirkungsgrad PV-Wechselrichter + Wechselrichter/Ladegerät	ηc*ηpv*ηv		90		90		90		%
Max. Ladestrom	ηc*ηpv*ηv*Awp/Nv		32		42		45		A
Max. Last	L		660		2660		2660		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist nicht erforderlich			24/1600/40	**€ 1.163**	24/3000/70	**€ 2.180**	24/3000/70	**€ 2.180**	
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 11.354**		**€ 15.185**		**€ 15.909**	

Tabelle 6: Der energiebewusste Zweipersonenhaushalt
100 % Lithium-Ionen-Batterie und 100 % PV

Die Spalte mit der Bezeichnung "Kategorie 1+2+3" schließt die fest installierten Lasten (= Geräte, die immer an derselben Steckdose angeschlossen sind) mit ein.
In diesem Beispiel verbrauchen die fest installierten Lasten im Schnitt nur 350 Wh am Tag.
Das liegt an der folgenden getroffenen Auswahl:

- Waschmaschine mit Warmwasserzulauf, beste ihrer Klasse
- gasbeheizter Wäschetrockner
- Geschirrspüler mit Warmwasserzulauf
- gasgefeuerte Herdplatte
- gasgefeuerte/r Zentralheizung und Boiler

Der Durchschnittshaushalt Lithium-Ionen-Batterie			**Kategorie 1** (Grundlast)		**Kategorie 1 + 2** (plus einsteckbare Lasten)		**Kategorie 1 + 2 + 3** (der vollständige Haushalt)		
Elektrischer Energieverbrauch									
Sommer		S	8,38		10,02		12,07		kWh
Winter		W	11,14		12,78		14,83		kWh
Jährlich	Ey = 365*(S+W)/2		3475		4058		4788		kWh
Lithium-Ionen-Batterie mit ausreichend Speicherkapazität, um 100 % des täglichen elektrischen Energieverbrauchs im Sommer zu speichern.									
Energie-Speicherkapazität	S/(0,80*0,94)		11,14		13,32		16,05		kWh
Nennspannung			24		48		48		V
Ah Speicherkapazität	Esc/Nv		464		278		334		Ah
Kosten	1233	€/kW		**€ 13.740**		**€ 16.429**		**€ 19.790**	
Solaranlage mit ausreichender Ausgangsleistung, um 100 % der Last während eines sonnigen Sommertages zu versorgen.									
Erforderliche tägliche Hub-Ausgangsleistung	S*	1	8,38		10,02		12,07		kWh/Tag
Erforderliche tägliche PV-Ausgangsleistung	RdHo/0,85		9,86		11,79		14,20		kWh
Anlage Wp	RdPVo/6		1643		1965		2367		Wp
Kosten	2,19	€/Wp		**€ 3.598**		**€ 4.303**		**€ 5.183**	
Hub-1									
Wirkungsgrad Solar-Lade-Regler + DC-Kabel	ηm*ηw		96		96		96		%
Max. Ladestrom	ηm*ηw*Awp/Nv		66		39		47		A
Solar-Lade-Regler			MPPT 150/75	**€ 720**	MPPT 150/75	**€ 720**	MPPT 150/75	**€ 720**	
Max. Last	L		1305		3305		3805		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist erforderlich							48/3000/35	**€ 2.180**	
GridAssist nicht erforderlich			24/2000/50	**€ 1.454**	48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70		
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 19.513**		**€ 23.632**		**€ 27.873**	
Hub-2 oder -3									
PV-Wechselrichter			2 kW	**€ 1.393**	2 kW	**€ 1.393**	2,8 kW	**€ 1.670**	kW
Wirkungsgrad PV-Wechselrichter + Wechselrichter/Ladegerät	ηc*ηpv*ηv		90		90		90		%
Max. Ladestrom	ηc*ηpv*ηv*Awp/Nv		62		37		45		A
Max. Last	L		1305		3305		3805		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist nicht erforderlich			24/3000/70	**€ 2.180**	48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70	**€ 2.907**	
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 20.912**		**€ 24.305**		**€ 29.550**	

Tabelle 7: Der Durchschnittshaushalt
100 % Lithium-Ionen-Batterie und 100 % PV

Die Spalte mit der Bezeichnung "Kategorie 1+2+3" schließt fest installierte Lasten (= Lasten, die immer mit derselben Steckdose verbunden sind) mit ein. Diese verbrauchen in diesem Beispiel durchschnittlich 2050 Wh am Tag:

- Waschmaschine mit elektrischem Wassererhitzer
- Wäschetrockner mit elektrischem Heizer
- Geschirrspüler mit elektrischem Wassererhitzer
- gasgefeuerte Herdplatte
- gasgefeuerte/r Zentralheizung und Boiler

Der überdurchschnittliche Haushalt **Lithium-Ionen-Batterie**			**Kategorie 1** (Grundlast)		**Kategorie 1+2** (plus einsteckbare Lasten)		**Kategorie 1 + 2 + 3** (der vollständige Haushalt)		
Elektrischer Energieverbrauch									
Sommer		S	18,96		20,88		27,98		kWh
Winter		W	23,10		25,02		32,12		kWh
Jährlich	Ey = 365*(S+W)/2		7487		8170		10698		kWh
Lithium-Ionen-Batterie mit ausreichend Speicherkapazität, um 100 % des täglichen elektrischen Energieverbrauchs im Sommer zu speichern.									
Energie-Speicherkapazität	S/(0,80*0,94)		25,21		27,77		37,21		kWh
Nennspannung			48		48		48		V
Ah Speicherkapazität	Esc/Nv		525		578		775		Ah
Kosten	1233	€/kW		**€ 31.087**		**€ 34.235**		**€ 45.877**	
Solaranlage mit ausreichender Ausgangsleistung, um 100 % der Last während eines sonnigen Sommertages zu versorgen.									
Erforderliche tägliche Hub-Ausgangsleistung	S*	1	18,96		20,88		27,98		kWh/Tag
Erforderliche tägliche PV-Ausgangsleistung	RdHo/0,85		22,31		24,56		32,92		kWh
Anlage Wp	RdPVo/6		3718		4094		5486		Wp
Kosten	2,19	€/Wp		**€ 8.142**		**€ 8.966**		**€ 12.015**	
Hub-1									
Wirkungsgrad Solar-Lade-Regler + DC-Kabel	ηm*ηw		96		96		96		%
Max. Ladestrom	ηm*ηw*Awp/Nv		74		82		110		A
Solar-Lade-Regler			MPPT 150/75	**€ 720**	2*MPPT 150/75	**€ 1.440**	2*MPPT 150/75	**€ 1.440**	
Max. Last	L		2560		4560		10560		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist erforderlich					48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70	**€ 2.907**	
GridAssist nicht erforderlich			48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70		48/10000/140		
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 42.129**		**€ 46.822**		**€ 62.239**	
Hub-2 oder -3									
PV-Wechselrichter			5 kW	**€ 2.554**	5 kW	**€ 2.554**	8 kW	**€ 4.000**	kW
Wirkungsgrad PV-Wechselrichter + Wechselrichter/Ladegerät	ηc*ηpv*ηv		90		90		90		%
Max. Ladestrom	ηc*ηpv*ηv*Awp/Nv		70		77		103		A
Max. Last	L		2560		4560		10560		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist nicht erforderlich			48/5000/70	**€ 2.907**	48/8000/110	**€ 4.748**	48/10000/140	**€ 5.233**	
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 44.690**		**€ 50.504**		**€ 67.125**	

Tabelle 8: Der überdurchschnittliche Haushalt
100 % Lithium-Ionen-Batterie und 100 % PV

Die Spalte mit der Bezeichnung "Kategorie 1+2+3" schließt fest installierte Lasten (= Lasten, die immer mit derselben Steckdose verbunden sind) mit ein. Diese verbrauchen in diesem Beispiel durchschnittlich 7100 Wh am Tag:

- Waschmaschine mit elektrischem Wassererhitzer
- Wäschetrockner mit elektrischem Heizer
- Geschirrspüler mit elektrischem Wassererhitzer
- elektrischer Induktionsherd
- gasgefeuerte/r Zentralheizung und Boiler

Energiebewusster Zweipersonenhaushalt **OPzS Batterien**			Kategorie 1 (Grundlast)		Kategorie 1 + 2 (plus einsteckbare Lasten)		Kategorie 1 + 2 + 3 (der vollständige Haushalt)		
Elektrischer Energieverbrauch									
Sommer		S	4,37		5,73		6,08		kWh
Winter		W	5,75		7,11		7,46		kWh
Jährlich	Ey = 365*(S+W)/2		1801		2286		2410		kWh
OPzS-Batterie mit ausreichend Speicherkapazität, um 100 % des täglichen elektrischen Energieverbrauchs im Sommer zu speichern.									
Energie-Speicherkapazität	S/(0,50*0,94)		9,30		12,19		12,94		kWh
Nennspannung			24		24		24		V
Ah Speicherkapazität	Esc/Nv		387		508		539		Ah
Kosten	312	€/kW		**€ 2.901**		**€ 3.804**		**€ 4.036**	
Solaranlage mit ausreichender Ausgangsleistung, um 100 % der Last während eines sonnigen Sommertages zu versorgen.									
Erforderliche tägliche Hub-Ausgangsleistung	S*	1	4,37		5,73		6,08		kWh/Tag
Erforderliche tägliche PV-Ausgangsleistung	RdHo/0,75		5,83		7,64		8,11		kWh
Anlage Wp	RdPVo/6		971		1273		1351		Wp
Kosten	2,19	€/Wp		**€ 2.127**		**€ 2.789**		**€ 2.959**	
Hub-1									
Wirkungsgrad Solar-Lade-Regler + DC-Kabel	ηm*ηw		96		96		96		%
Max. Ladestrom	ηm*ηw*Awp/Nv		39		51		54		A
Solar-Lade-Regler			MPPT 70/50	**€ 260**	MPPT 70/50	**€ 260**	MPPT 70/50	**€ 260**	
Max. Last	L		660		2660		2660		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist erforderlich					24/2000/50	**€ 1.454**	24/2000/50	**€ 1.454**	
GridAssist nicht erforderlich			24/1200/25	**€ 969**	24/3000/70		24/3000/70		
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 6.257**		**€ 8.306**		**€ 8.709**	
Hub-2 oder -3									
PV-Wechselrichter			1,5 kW	**€ 1.149**	1,5 kW	**€ 1.149**	1,5 kW	**€ 1.149**	kW
Wirkungsgrad PV-Wechselrichter + Wechselrichter/Ladegerät	ηc*ηpv*ηv		90		90		90		%
Max. Ladestrom	ηc*ηpv*ηv*Awp/Nv		32		42		45		A
Max. Last	L		660		2660		2660		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist nicht erforderlich			24/1600/40	**€ 1.163**	24/3000/70	**€ 2.180**	24/3000/70	**€ 2.180**	
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 7.340**		**€ 9.921**		**€ 10.324**	

Tabelle 9: Der energiebewusste Zweipersonenhaushalt
100 % OPzS-Batterie und 100 % PV

Die Spalte mit der Bezeichnung "Kategorie 1+2+3" schließt die fest installierten Lasten (= Geräte, die immer an derselben Steckdose angeschlossen sind) mit ein.
In diesem Beispiel verbrauchen die fest installierten Lasten im Schnitt nur 350 Wh am Tag.
Das liegt an der folgenden getroffenen Auswahl:

- Waschmaschine mit Warmwasserzulauf, beste ihrer Klasse
- gasbeheizter Wäschetrockner
- Geschirrspüler mit Warmwasserzulauf
- gasgefeuerte Herdplatte
- gasgefeuerte/r Zentralheizung und Boiler

Beachte: Um die Anzahl der Batteriezellen zu verringern und die Ah pro Zelle zu erhöhen wird manchmal eine niedrigere DC-System-Spannung vorgezogen.

Der Durchschnittshaushalt **OPzS-Batterie**			**Kategorie 1** (Grundlast)		**Kategorie 1 + 2** (plus einsteckbare Lasten)		**Kategorie 1 + 2 + 3** (der vollständige Haushalt)		
Elektrischer Energieverbrauch									
Sommer		S	8,38		10,02		12,07		kWh
Winter		W	11,14		12,78		14,83		kWh
Jährlich	Ey = 365*(S+W)/2		3475		4058		4788		kWh
OPzS-Batterie mit ausreichend Speicherkapazität, um 100 % des täglichen elektrischen Energieverbrauchs im Sommer zu speichern.									
Energie-Speicherkapazität	S/(0,50*0,94)		17,83		21,32		25,68		kWh
Nennspannung			24		48		48		V
Ah Speicherkapazität	Esc/Nv		743		444		535		Ah
Kosten	312	€/kW		**€ 5.563**		**€ 6.652**		**€ 8.012**	
Solaranlage mit ausreichender Ausgangsleistung, um 100 % der Last während eines sonnigen Sommertages zu versorgen.									
Erforderliche tägliche Hub-Ausgangsleistung	S*	1	8,38		10,02		12,07		kWh/Tag
Erforderliche tägliche PV-Ausgangsleistung	RdHo/0,75		11,17		13,36		16,09		kWh
Anlage Wp	RdPVo/6		1862		2227		2682		Wp
Kosten	2,19	€/Wp		**€ 4.078**		**€ 4.876**		**€ 5.874**	
Hub-1									
Wirkungsgrad Solar-Lade-Regler + DC-Kabel	ηm*ηw		96		96		96		%
Max. Ladestrom	ηm*ηw*Awp/Nv		75		45		54		A
Solar-Lade-Regler			MPPT 150/75	**€ 720**	MPPT 150/75	**€ 720**	MPPT 150/75	**€ 720**	
Max. Last	L		1305		3305		3805		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist erforderlich							48/3000/35	**€ 2.180**	
GridAssist nicht erforderlich			24/2000/50	**€ 969**	48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70		
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 11.330**		**€ 14.428**		**€ 16.786**	
Hub-2 oder -3									
PV-Wechselrichter			2 kW	**€ 1.393**	2 kW	**€ 1.393**	2,8	**€ 1.670**	kW
Wirkungsgrad PV-Wechselrichter + Wechselrichter/Ladegerät	ηc*ηpv*ηv		90		90		90		%
Max. Ladestrom	ηc*ηpv*ηv*Awp/Nv		62		37		45		A
Max. Last	L		1305		3305		3805		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist nicht erforderlich			24/3000/70	**€ 2.180**	48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70	**€ 2.907**	
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 13.214**		**€ 15.101**		**€ 18.463**	

Tabelle 10: Der Durchschnittshaushalt
100 % OPzS-Batterie und 100 % PV

Die Spalte mit der Bezeichnung "Kategorie 1+2+3" schließt fest installierte Lasten (= Lasten, die immer mit derselben Steckdose verbunden sind) mit ein. Diese verbrauchen in diesem Beispiel durchschnittlich 2050 Wh am Tag:

- Waschmaschine mit elektrischem Wassererhitzer
- Wäschetrockner mit elektrischem Heizer
- Geschirrspüler mit elektrischem Wassererhitzer
- gasgefeuerte Herdplatte
- gasgefeuerte/r Zentralheizung und Boiler

Beachte: Um die Anzahl der Batteriezellen zu verringern und die Ah pro Zelle zu erhöhen wird manchmal eine niedrigere DC-System-Spannung vorgezogen.

Der überdurchschnittliche Haushalt **OPzS Batterien**			**Kategorie 1** (Grundlast)		**Kategorie 1 + 2** (plus einsteckbare Lasten)		**Kategorie 1 + 2 + 3** (der vollständige Haushalt)		
Elektrischer Energieverbrauch									
Sommer		S	18,96		20,88		27,98		kWh
Winter		W	23,10		25,02		32,12		kWh
Jährlich	Ey = 365*(S+W)/2		7487		8170		10698		kWh
OPzS-Batterie mit ausreichend Speicherkapazität, um 100 % des täglichen elektrischen Energieverbrauchs im Sommer zu speichern.									
Energie-Speicherkapazität	S/(0,50*0,94)		40,34		44,43		59,53		kWh
Nennspannung			48		48		48		V
Ah Speicherkapazität	Esc/Nv		840		926		1240		Ah
Kosten	312	€/kW		**€ 12.586**		**€ 13.861**		**€ 18.574**	
Solaranlage mit ausreichender Ausgangsleistung, um 100 % der Last während eines sonnigen Sommertages zu versorgen.									
Erforderliche tägliche Hub-Ausgangsleistung	S*	1	18,96		20,88		27,98		kWh/Tag
Erforderliche tägliche PV-Ausgangsleistung	RdHo/0,75		25,28		27,84		37,31		kWh
Anlage Wp	RdPVo/6		4213		4640		6218		Wp
Kosten	2,19	€/Wp		**€ 9.227**		**€ 10.162**		**€ 13.617**	
Hub-1									
Wirkungsgrad Solar-Lade-Regler + DC-Kabel	ηm*ηw		96		96		96		%
Max. Ladestrom	ηm*ηw*Awp/Nv		84		93		124		A
Solar-Lade-Regler			MPPT 150/75	**€ 720**	2*MPPT 150/75	**€ 1.440**	2*MPPT 150/75	**€ 1.440**	
Max. Last	L		2560		4560		10560		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist erforderlich					48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70	**€ 2.907**	
GridAssist nicht erforderlich			48/3000/35	**€ 2.180**	48/5000/70		48/10000/140		
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 24.713**		**€ 27.642**		**€ 36.538**	
Hub-2 oder -3									
PV-Wechselrichter			5 kW	**€ 2.554**	5 kW	**€ 2.554**	8 kW	**€ 4.000**	kW
Wirkungsgrad PV-Wechselrichter + Wechselrichter/Ladegerät	ηc*ηpv*ηv		90		90		90		%
Max. Ladestrom	ηc*ηpv*ηv*Awp/Nv		70		77		103		A
Max. Last	L		2560		4560		10560		W
Wechselrichter/Ladegerät			Multi		Multi		Multi		
GridAssist nicht erforderlich			48/5000/70	**€ 2.907**	48/8000/110	**€ 4.748**	48/10000/140	**€ 5.233**	
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 27.274**		**€ 31.324**		**€ 41.424**	

Tabelle 11: Der überdurchschnittliche Haushalt
100 % Lithium-Ionen-Batterie und 100 % PV

Die Spalte mit der Bezeichnung "Kategorie 1+2+3" schließt fest installierte Lasten (= Lasten, die immer mit derselben Steckdose verbunden sind) mit ein. Diese verbrauchen in diesem Beispiel durchschnittlich 7100 Wh am Tag:

- Waschmaschine mit elektrischem Wassererhitzer
- Wäschetrockner mit elektrischem Heizer
- Geschirrspüler mit elektrischem Wassererhitzer
- elektrischer Induktionsherd
- gasgefeuerte/r Zentralheizung und Boiler

Beachte:
Um die Anzahl der Batteriezellen zu verringern und die Ah pro Zelle zu erhöhen, wird manchmal eine niedrigere DC-System-Spannung vorgezogen.

Energiebewusster Zweipersonenhaushalt				**Kategorie 1 + 2**				**Kategorie 1 + 2 + 3**	
Lithium-Ionen-Batterie	**100%**	7,62	kW	**€ 9.395**	69%	8,09	kW	**€ 9.969**	70%
PV-Anlage	**100%**	1.124	Wp	**€ 2.461**	18%	1.192	Wp	**€ 2.611**	18%
Solar-Lade-Regler		MPPT 70/50		**€ 260**	2%	MPPT 70/50		**€ 260**	2%
Wechselrichter/Ladegerät		24/2000/50		**€ 1.454**	11%	24/2000/50		**€ 1.454**	10%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 13.570**	100%			**€ 14.294**	100%
PV-Wechselrichter		1,5	kW	**€ 1.149**	8%	1,5	kW	**€ 1.149**	8%
Wechselrichter/Ladegerät		24/3000/70		**€ 2.180**	16%	24/3000/70		**€ 2.180**	15%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 15.185**	112%			**€ 15.909**	111%

Tabelle 12a
Zusammengefasste Version
von Tabelle 6

Lithium-Ionen-Batterie	**30%**	2,29	kW	**€ 2.819**	40%	2,43	kW	**€ 2.991**	41%
PV-Anlage	**100%**	1.124	Wp	**€ 2.461**	35%	1.192	Wp	**€ 2.611**	36%
Solar-Lade-Regler		MPPT 70/50		**€ 260**	4%	MPPT 70/50		**€ 260**	4%
Wechselrichter/Ladegerät		24/2000/50		**€ 1.454**	21%	24/2000/50		**€ 1.454**	20%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 6.993**	100%			**€ 7.316**	100%
PV-Wechselrichter		1,5	kW	**€ 1.149**	16%	1,5	kW	**€ 1.149**	16%
Wechselrichter/Ladegerät		24/3000/70		**€ 2.180**	31%	24/3000/70		**€ 2.180**	30%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 8.608**	123%			**€ 8.931**	122%

Tabelle 12b
Für den Eigenverbrauch optimierte Lithium-Ionen-Batterie (siehe Abschnitt 10.1)

Lithium-Ionen-Batterie	**60%**	4,57	kW	**€ 5.637**	42%	4,85	kW	**€ 5.981**	42%
PV-Anlage	**200%**	2.247	Wp	**€ 4.921**	37%	2.384	Wp	**€ 5.222**	37%
Solar-Lade-Regler		MPPT 150/70		**€ 720**	5%	MPPT 150/70		**€ 720**	5%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		**€ 2.180**	16%	48/3000/35		**€ 2.180**	15%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 13.458**	100%			**€ 14.103**	100%
PV-Wechselrichter		2,8	kW	**€ 1.670**	12%	2,8	kW	**€ 1.670**	12%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		**€ 2.180**	16%	48/3000/35		**€ 2.180**	15%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 14.408**	107%			**€ 15.053**	107%

Tabelle 12c
Für den Eigenverbrauch mit einer 200 % PV-Anlage optimierte Lithium-Ionen-Batterie

Lithium-Ionen-Batterie	**100%**	7,62	kW	**€ 9.395**	48%	8,09	kW	**€ 9.969**	48%
PV-Anlage	**300%**	3.371	Wp	**€ 7.382**	38%	3.576	Wp	**€ 7.832**	38%
Solar-Lade-Regler		MPPT 150/70		**€ 720**	4%	MPPT 150/70		**€ 720**	3%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		**€ 2.180**	11%	48/3000/35		**€ 2.180**	11%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 19.677**	100%			**€ 20.701**	100%
PV-Wechselrichter		4	kW	**€ 2.241**	11%	4	kW	**€ 2.241**	11%
Wechselrichter/Ladegerät		48/5000/70		**€ 2.907**	15%	48/5000/70		**€ 2.907**	14%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 21.925**	111%			**€ 22.949**	111%

Tabelle 12d
Für den Eigenverbrauch mit einer 300% PV-Anlage optimierte Lithium-Ionen-Batterie

OPzS Batterien	**100%**	12,19	kW	**€ 3.804**	25%	12,94	kW	**€ 4.036**	26%
PV-Anlage	**300%**	3.820	Wp	**€ 8.366**	56%	4.053	Wp	**€ 8.877**	56%
Solar-Lade-Regler		MPPT 150/70		**€ 720**	5%	MPPT 150/70		**€ 720**	5%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		**€ 2.180**	14%	48/3000/35		**€ 2.180**	14%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 15.070**	100%			**€ 15.813**	100%
PV-Wechselrichter		4	kW	**€ 2.241**	15%	4	kW	**€ 2.241**	14%
Wechselrichter/Ladegerät		48/5000/70		**€ 2.907**	19%	48/5000/70		**€ 2.907**	18%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				**€ 17.318**	115%			**€ 18.061**	114%

Tabelle 12e
Für den Eigenverbrauch mit einer 300 % PV-Anlage optimierte OPzS-Batterie

Tabelle 12: Der energiebewusste Zweipersonenhaushalt

Durchschnittshaushalt				Kategorie 1 + 2				Kategorie 1 + 2 + 3	
Lithium-Ionen-Batterie	**100%**	13,32	kW	€ 16.429	70%	16,05	kW	€ 19.790	71%
PV-Anlage	**100%**	1.965	Wp	€ 4.303	18%	2.367	Wp	€ 5.183	19%
Solar-Lade-Regler		MPPT 150/70		€ 720	3%	MPPT 150/70		€ 720	3%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		€ 2.180	9%	48/3000/35		€ 2.180	8%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 23.632	100%			€ 27.873	100%
PV-Wechselrichter		2	kW	€ 1.393	6%	2,8	kW	€ 1.670	6%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		€ 2.180	9%	48/5000/70		€ 2.907	10%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 24.305	103%			€ 29.550	106%

Tabelle 13a
Zusammengefasste Version von Tabelle 7

Lithium-Ionen-Batterie	**30%**	4,00	kW	€ 4.929	41%	4,82	kW	€ 5.937	42%
PV-Anlage	**100%**	1.965	Wp	€ 4.303	35%	2.367	Wp	€ 5.183	37%
Solar-Lade-Regler		MPPT 150/70		€ 720	6%	MPPT 150/70		€ 720	5%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		€ 2.180	18%	48/3000/35		€ 2.180	16%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 12.131	100%			€ 14.020	100%
PV-Wechselrichter		2	kW	€ 1.393	11%	2,8	kW	€ 1.670	12%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		€ 2.180	18%	48/5000/70		€ 2.907	21%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 12.804	106%			€ 15.697	112%

Tabelle 13b
Für den Eigenverbrauch optimierte Lithium-Ionen-Batterie (siehe Abschnitt 10.1)

Lithium-Ionen-Batterie	**60%**	7,99	kW	€ 9.857	43%	9,63	kW	€ 11.874	45%
PV-Anlage	**200%**	3.929	Wp	€ 8.605	38%	4.733	Wp	€ 10.366	39%
Solar-Lade-Regler		2*MPPT 150/70		€ 1.440	6%	2*MPPT 150/70		€ 1.440	5%
Wechselrichter/Ladegerät		48/5000/70		€ 2.907	13%	48/5000/70		€ 2.907	11%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 22.810	100%			€ 26.587	100%
PV-Wechselrichter		4	kW	€ 1.670	7%	5	kW	€ 2.554	10%
Wechselrichter/Ladegerät		48/5000/70		€ 2.907	13%	48/5000/70		€ 2.907	11%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 23.040	101%			€ 27.701	104%

Tabelle 13c
Für den Eigenverbrauch mit einer 200% PV-Anlage optimierte Lithium-Ionen-Batterie

Lithium-Ionen-Batterie	**100%**	13,32	kW	€ 16.429	46%	16,05	kW	€ 19.790	48%
PV-Anlage	**300%**	5.894	Wp	€ 12.908	36%	7.100	Wp	€ 15.549	37%
Solar-Lade-Regler		2*MPPT 150/70		€ 1.440	4%	2*MPPT 150/70		€ 1.440	3%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	13%	48/8000/110		€ 4.748	11%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 35.525	100%			€ 41.527	100%
PV-Wechselrichter		6	kW	€ 2.800	8%	8 kW		€ 4.000	10%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	13%	48/8000/110		€ 4.748	11%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 36.885	104%			€ 44.087	106%

Tabelle 13d
Für den Eigenverbrauch mit einer 300% PV-Anlage optimierte Lithium-Ionen-Batterie

OPzS Batterien	**100%**	21,32	kW	€ 6.652	24%	25,68	kW	€ 8.012	25%
PV-Anlage	**300%**	6.680	Wp	€ 14.629	53%	8.047	Wp	€ 17.622	55%
Solar-Lade-Regler		2*MPPT 150/70		€ 1.440	5%	2*MPPT 150/70		€ 1.440	5%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	17%	48/8000/110		€ 4.748	15%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 27.469	100%			€ 31.823	100%
PV-Wechselrichter		8	kW	€ 4.000	15%	10	kW	€ 5.000	16%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	17%	48/10000/140		€ 5.233	16%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 30.029	109%			€ 35.868	113%

Tabelle 13e
Für den Eigenverbrauch mit einer 300 % PV-Anlage optimierte OPzS-Batterie

Tabelle 13: Der Durchschnittshaushalt

Der überdurchschnittliche Haushalt				Kategorie 1 + 2				Kategorie 1 + 2 + 3	
Lithium-Ionen-Batterie	**100%**	27,77	kW	€ 34.235	73%	37,21	kW	€ 45.877	74%
PV-Anlage	**100%**	4.094	Wp	€ 8.966	19%	5.486	Wp	€ 12.015	19%
Solar-Lade-Regler		2*MPPT 150/70		€ 1.440	3%	2*MPPT 150/70		€ 1.440	2%
Wechselrichter/Ladegerät		48/3000/35		€ 2.180	5%	48/5000/70		€ 2.907	5%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 46.822	100%			€ 62.239	100%
PV-Wechselrichter		5	kW	€ 2.554	5%	8	kW	€ 4.000	6%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	10%	48/10000/140		€ 5.233	8%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 50.504	108%			€ 67.125	108%

Tabelle 14a
Zusammengefasste Version von Tabelle 8

Lithium-Ionen-Batterie	**30%**	8,33	kW	€ 10.271	44%	11,16	kW	€ 13.763	46%
PV-Anlage	**100%**	4.094	Wp	€ 8.966	38%	5.486	Wp	€ 12.015	40%
Solar-Lade-Regler		2*MPPT 150/70		€ 1.440	6%	2*MPPT 150/70		€ 1.440	5%
Wechselrichter/Ladegerät		48/5000/70		€ 2.907	12%	48/5000/70		€ 2.907	10%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 23.584	100%			€ 30.125	100%
PV-Wechselrichter		5	kW	€ 2.554	11%	8	kW	€ 4.000	13%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	20%	48/10000/140		€ 5.233	17%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 26.539	113%			€ 35.011	116%

Tabelle 14b
Für den Eigenverbrauch optimierte Lithium-Ionen-Batterie (siehe Abschnitt 10.1)

Lithium-Ionen-Batterie	**60%**	16,66	kW	€ 20.541	45%	22,32	kW	€ 27.526	47%
PV-Anlage	**200%**	8.188	Wp	€ 17.932	40%	10.973	Wp	€ 24.030	41%
Solar-Lade-Regler		3*MPPT 150/70		€ 2.160	5%	3*MPPT 150/70		€ 2.160	4%
Wechselrichter/Ladegerät		48/8000/110		€ 4.748	10%	48/10000/140		€ 5.233	9%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 45.381	100%			€ 58.949	100%
PV-Wechselrichter		10	kW	€ 5.000	11%	12	kW	€ 6.000	10%
Wechselrichter/Ladegerät		48/10000/140		€ 4.748	10%	48/10000/140		€ 5.233	9%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 48.221	106%			€ 62.789	107%

Tabelle 14c
Für den Eigenverbrauch mit einer 200% PV-Anlage optimierte Lithium-Ionen-Batterie

Lithium-Ionen-Batterie	**100%**	27,77	kW	€ 34.235	47%	37,21	kW	€ 45.877	49%
PV-Anlage	**300%**	12.282	Wp	€ 26.898	37%	16.459	Wp	€ 36.045	38%
Solar-Lade-Regler		4*MPPT 150/70		€ 2.880	4%	5*MPPT 150/70		€ 3.600	4%
Wechselrichter/Ladegerät		3*48/5000/70		€ 8.721	12%	3*48/5000/70		€ 8.721	9%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 72.735	100%			€ 94.243	100%
PV-Wechselrichter		15	kW	€ 7.500	10%	20		€ 10.000	11%
Wechselrichter/Ladegerät		3*48/5000/70		€ 8.721	12%	3*48/8000/110		€ 14.244	15%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 77.355	106%			€ 106.166	113%

Tabelle 14d
Für den Eigenverbrauch mit einer 300% PV-Anlage optimierte Lithium-Ionen-Batterie

OPzS Batterien	**100%**	44,43	kW	€ 13.861	25%	59,53	kW	€ 18.574	26%
PV-Anlage	**300%**	13.920	Wp	€ 30.485	54%	18.653	Wp	€ 40.851	57%
Solar-Lade-Regler		4*MPPT 150/70		€ 2.880	5%	5*MPPT 150/70		€ 3.600	5%
Wechselrichter/Ladegerät		3*48/5000/70		€ 8.721	16%	3*48/5000/70		€ 8.721	12%
Hub-1: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 55.947	100%			€ 71.746	100%
PV-Wechselrichter		15	kW	€ 7.500	13%	20		€ 10.000	14%
Wechselrichter/Ladegerät		3*48/5000/70		€ 8.721	16%	3*48/8000/110		€ 14.244	20%
Hub-2 oder -3: Kosten für die wichtigsten Bestandteile				€ 60.567	108%			€ 83.669	117%

Tabelle 14e
Für den Eigenverbrauch mit einer 300 % PV-Anlage optimierte OPzS-Batterie

Tabelle 14: Der überdurchschnittliche Haushalt

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Niederlande
Allgemeine Telefonnummer: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-Mail: sales@victronenergy.com | **www.victronenergy.com**