

**DEZENTRALE STROMVERSORGUNG UNTER DER
BERÜCKSICHTIGUNG VON NETZUNABHÄNGIGEN
PHOTOVOLTAIKANLAGEN**

EDIN MULASALIHOVIC¹, FRANZ SPREITZ¹, FRANZ ZEILINGER²
NEW DESIGN UNIVERSITY (NDU)¹
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN (TU WIEN)²

DEZENTRALE STROMVERSORGUNG UNTER DER
BERÜCKSICHTIGUNG VON NETZUNABHÄNGIGEN
PHOTOVOLTAIKANLAGEN

EDIN MULASALIHVIC¹, FRANZ SPREITZ¹, FRANZ ZEILINGER²

INHALT

1 PROBLEMSTELLUNG

2 STAND DER FORSCHUNG

3 METHODE

4 RESULTATE

5 SCHULSSFOLGERUNGEN/FAZIT

6 LITERATURVERZEICHNIS

Die Photovoltaik-Technologie (PV) hat sich in den letzten Jahrzehnten in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht rasant weiterentwickelt. Anfangs war die Errichtung von netzunabhängigen Photovoltaikanlagen nach wirtschaftlichen Kriterien nur für netzferne Standorte (z.B. hochalpine Schutzhütten) gerechtfertigt. Durch sinkende Anlagenpreise und verschiedene Förderprogramme wurden PV-Anlagen zur Netzeinspeisung für den privaten Nutzer wirtschaftlich immer interessanter, die Stromgestehungskosten dieser Anlagen liegen bereits deutlich unter dem Netzstrompreis für Endkunden [1]. Aufgrund stark fallender Batteriepreise werden immer mehr PV-Speicher zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteiles installiert.

In der Argumentation gegen eine völlig autarke Stromversorgung eines Wohnhauses mit einer netzunabhängigen Photovoltaikanlage waren bislang der zu niedrige Ertrag im Winter und die zu hohen Investitionskosten zu verzeichnen. Die Herausforderung bei der Dimensionierung einer autarken Stromversorgung mittels einer netzunabhängigen Photovoltaikanlage (NUP-VA) besteht in der großen jahreszeitlichen Schwankung des Energieertrages. Als Maß für die objektive Bewertung des Energieaufwandes kann die Energierücklaufzeit angewendet werden. Das entspricht jener Zeit, die eine PV-Anlage betrieben werden muss, damit sie dieselbe Energiemenge erzeugt hat, die für die Herstellung benötigt wurde. Die Energierücklaufzeit für eine moderne netzgekoppelte PV-Anlage [komplette Anlage inkl. Wechselrichter, Kabel, Montage usw.] mit polykristallinen PV-Modulen beträgt ca. 1,3 Jahre für einen Standort in Deutschland. Bezogen auf eine angenommene Anlagenlebensdauer von 25 Jahren ergibt sich daraus ein Erntefaktor von 19. Das bedeutet, dass die Energieernte im Laufe der Lebensdauer ca. das 20-fache der Herstellungenergie beträgt [2].

Unter Berücksichtigung und in der Korrelation zu den fossilen und Kernkraftwerken die nicht erneuerbare Energie nutzen berücksichtigt man in der Regel die graue Energie ohne dabei den Energieinhalt des Brennstoffs zu evidenzieren. Würde man nämlich die erwähnten Komponenten berücksichtigen, liege der Erntefaktor EF_{des} des betrachteten Kraftwerks deutlich unter dem Wert 1 [3].

Ausgehend von der Tatsache, dass in dem Zusammenhang sehr wenige Quellenangaben existieren soll von der Analyse der Ertragsdaten, ausgehend von einer bestehenden netzunabhängigen Photovoltaikanlage die Frage geklärt werden, unter welchen Voraussetzungen die autarke Versorgung eines Haushaltes möglich ist. Dabei wird sowohl der Bereich Energieeffizienz von Erzeugung und Verbrauchern als auch die richtige Anlagendimensionierung betrachtet. Anhand einer lernkurvenbasierten Prognose der zukünftigen Preisentwicklung für netzunabhängige PV-Anlagen wird die Frage nach der Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen behandelt. Resultierend aus den Ergebnissen der technischen und wirtschaftlichen Betrachtung werden schließlich weitere Optimierungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

Demnach ergibt sich der forschungstechnische Ansatz: Analyse von Messwerten des PV-Ertrages und des Stromverbrauches eines netzunabhängig versorgten Wohnhauses und durch die Betrachtung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen soll die Frage geklärt werden, unter welchen Voraussetzungen eine autarke Stromversorgung nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien realisiert werden kann.

In einer bestehenden netzunabhängigen Photovoltaik-Stromversorgungsanlage wurde ein eigens entwickeltes Datenlogger-System zur laufenden Erfassung aller relevanten Anlagen-Messwerte installiert. Die Messwerte werden in einer MySQL-Datenbank für die weitere Analyse gespeichert, wobei für diese Arbeit die Daten eines vollen Kalenderjahres verwendet werden. Damit können auch schnelle Vorgänge, z.B. Schwankungen in der PV-Leistung aufgrund wechselnder Bewölkung in einer hohen zeitlichen Auflösung dargestellt werden. Weiters wird der Raspberry Pi Computer als Mini-Webserver verwendet, der mittels eines Web-Browsers im lokalen Netzwerk (WLAN) abgefragt werden kann. Die erfassten Daten können so für die rechnerische und graphische Auswertung am PC aus der MySQL-Datenbank in verschiedenen Formaten exportiert werden.

Anhand der erfassten Daten wird das Betriebsverhalten der Anlage bestimmt, um daraus weitere Optimierungsmöglichkeiten abzuleiten. Anhand angenommener Preisentwicklungen für Photovoltaikmodule und Batteriespeicher für Photovoltaikmodule und Batteriespeicher wird eine Prognose der Stromgestehungskosten für eine netzunabhängige Photovoltaikanlage erstellt und mit dem erwarteten zukünftigen Netzstrompreis verglichen.

Aufbau einer Inselanlage

Kleinere Inselanlagen, die keine Wechselstromverbraucher versorgen, können sehr einfach aufgebaut werden, sie bestehen nur aus den Schlüsselkomponenten PV Generator, Laderegler und Akku, sollen auch Wechselstromverbraucher versorgt werden, ist zusätzlich ein Wechselrichter notwendig, siehe Abb.1.

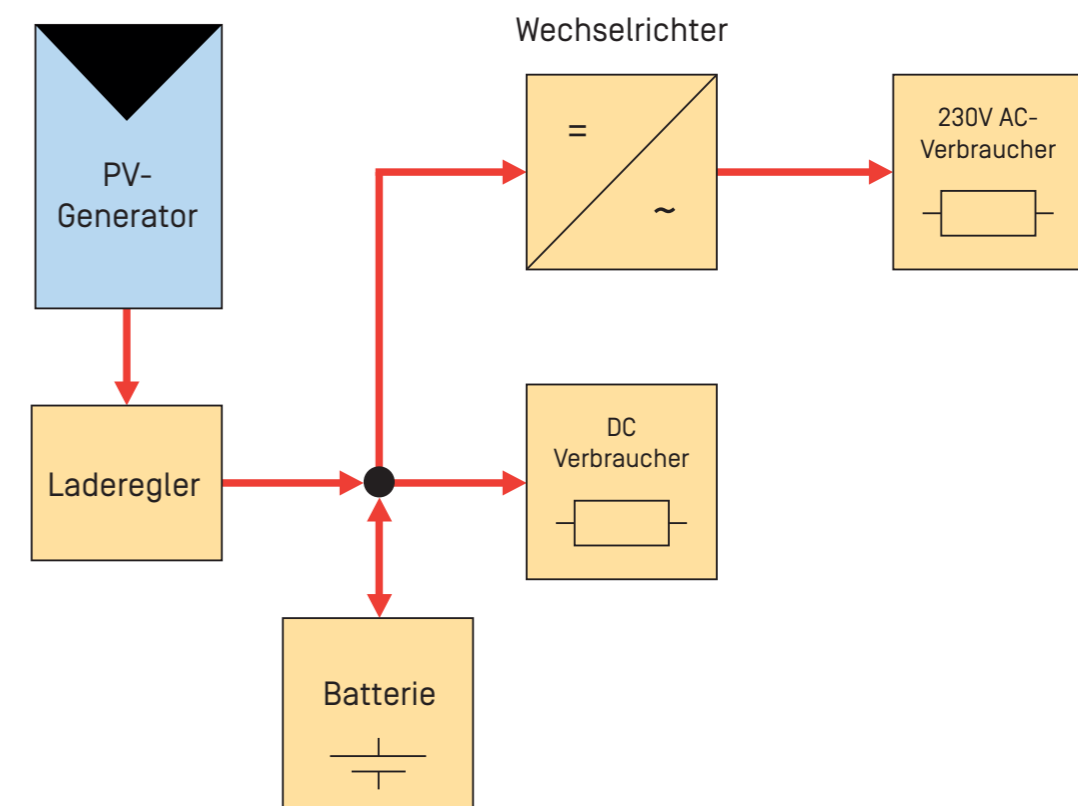


Abb. 1 Schematische Darstellung einer netzunabhängigen Photovoltaik-Anlage PV-Anlage

Der Gesamtertrag der PV-Anlage beträgt 708 kWh, dies entspricht 544 Volllaststunden für den 1,3 kW PV-Generator. Eine nahe zum Standort betriebene PV-Anlage mit Netzeinspeisung und ähnlicher Ausrichtung erbrachte im Beobachtungszeitraum einen Ertrag entsprechend 1123 Volllaststunden. Somit wurde von der netzunabhängigen PV-Anlage nur ca. 48 % des möglichen Ertrages erbracht. Der Grund dafür ist die begrenzte Speicherkapazität.

In Abb. 2 wird der Verlauf von PV-Ertrag und Verbrauch im Laufe eines Jahres dargestellt. Bedingt durch den Anlagenwirkungsgrad ergibt sich ein evidenter Unterschied zwischen Ertrag und Verbrauch. Der erhöhte Verbrauch von Mitte Juli bis Ende August wurde durch das wiederholte Aufladen eines zusätzlichen Akkus verursacht. Der Anlagenwirkungsgrad definiert sich in der Regel als die Relation zwischen dem Verbrauch und Ertrag. Dieser beträgt im vorliegenden Fall, bezogen auf 1 Ah in etwa 85 %. Diese Größe wird beeinflusst vom Akkuvirkungsgrad und vom Anteil des Direktverbrauches, d.h. je höher der Direktverbrauch ist, umso höher wird auch der Anlagenwirkungsgrad, da für den Direktverbrauch der Akkuvirkungsgrad nicht wirksam ist.

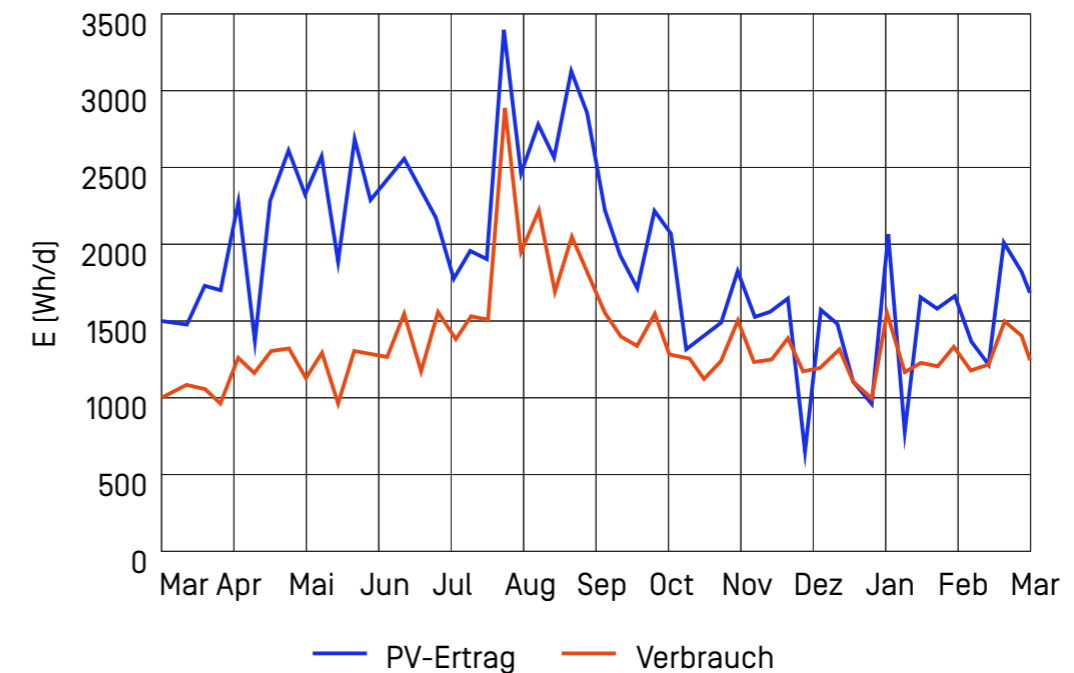


Abb. 2 Ertrag und Verbrauch im Jahresverlauf (Wochenmittel, kWh/d)

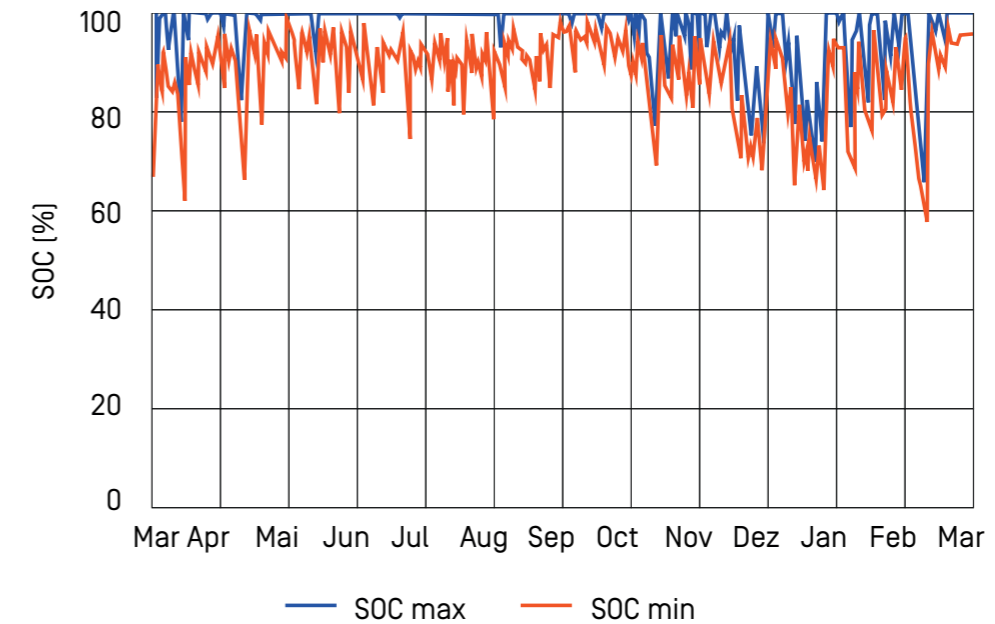


Abb. 3 Ladezustand (SOC) im Jahresverlauf, Tagesminima und -maxima

Der Ladezustand (SOC) des Akkus erreicht von Mitte Februar bis Anfang Oktober beinahe täglich den Wert von 100%, wobei die tägliche Entladung je nach Stromverbrauch zwischen 10 % und 20 % beträgt. Besonders im November und Dezember kommt es zu längeren ertragssarmen Perioden, in denen der SOC jeweils für ca. 2 Wochen in den Bereich von 60 bis 70 % absinkt, siehe Abb.3.

Der Autarkiegrad der PV-Anlage beträgt im Jahresmittel 98 %. Von Anfang März bis Ende September war völlige Autarkie gegeben, in der Zeit von Anfang Oktober bis Ende Februar lag der Autarkiegrad im Mittel bei 94 %. Insgesamt wurde in dieser Zeit eine Energiemenge von 15 kWh zusätzlich zum PV-Ertrag benötigt, welche durch einen Windgenerator (7 kWh) und einen Benzingenerator (8 kWh) bereitgestellt wurden.

Für die wirtschaftliche Bewertung wurde die Preisentwicklung von autarken PV-Anlagen wurde aus einer lernkurvenbasierten Prognose der Preisentwicklung von PV-Modulen und von Li-Ionen-Akkus berechnet, wobei ein Aufschlag für LiFePo4-Akkus berücksichtigt wurde. Für alle anderen Komponenten und für die Montage wurden mangels verwertbarer Daten konstante Preise angenommen. Für den Netzstrompreis wurde angenommen, dass dieser wie in der Vergangenheit um durchschnittlich 3,4 %/a ansteigt. Daraus ergibt sich folgender Verlauf der Stromgestehungskosten:

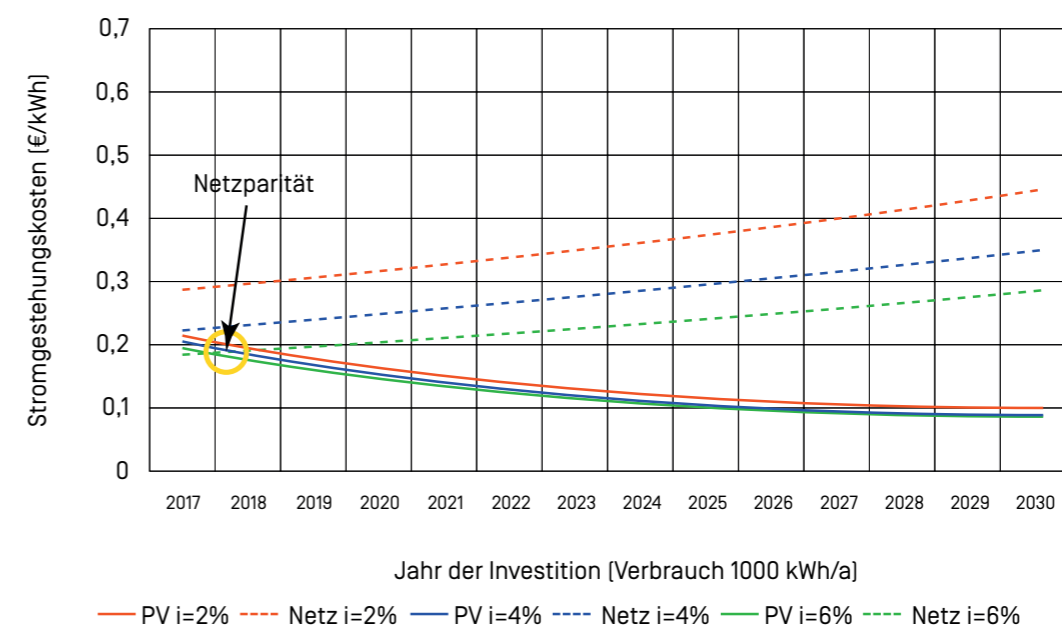


Abb. 4 Prognose der Stromgestehungskosten in Abhängigkeit des Errichtungsjahres (kalkulatorische Lebensdauer 25 Jahre, Stromverbrauch 1000 kWh/a)

Aus Abb.4 ist ersichtlich, dass die Netzparität für autarke Stromversorgungsanlagen bei optimaler Auslegung und Energieeffizienz innerhalb weniger Jahre erreicht werden kann, wobei die entscheidenden Parameter der Kalkulationszinssatz und der Jahresstromverbrauch sind. Selbst unter der Annahme, dass der Netzstrompreis in den kommenden Jahren gleich bleibt, wurde für den Netzstrompreis angenommen, dass dieser weiterhin um 3,4 %/a ansteigt [4], dadurch verschiebt sich der Zeitpunkt des Erreichens der Netzparität nur um wenige Jahre. Bei optimaler Nutzung des Überschussstromes ist der Strom aus einer autarken PV-Anlage bereits jetzt günstiger. Die Kosten für Energieeffizienzmaßnahmen wurden in die Berechnungen nicht einbezogen, da dieselben Maßnahmen auch bei Netzversorgung anwendbar sind und zu einer Reduktion der Stromkosten führen würden.

FAZIT

Es konnte gezeigt werden, dass über ein Jahr betrachtet 98 % des Stromverbrauches durch die PV-Anlage gedeckt werden konnte. Dieser hohe Autarkiegrad wurde durch konsequente Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen, sorgfältige Anlagendimensionierung und Lastmanagement erreicht. Im Zuge dieser Arbeit wurden weitere Optimierungsmöglichkeiten identifiziert, die in der Folge umgesetzt werden sollen, wodurch eine völlige Deckung des Jahresstromverbrauches durch die PV-Anlage möglich wird. Zusätzlich wurde gezeigt, dass durch eine verstärkte Nutzung des Überschussstromes eine höhere Anlagenauslastung und damit eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der Anlage erreicht werden kann. Bezüglich der Dimensionierung der netzunabhängigen PV-Anlage für die Stromversorgung eines Wohnhauses können anhand der vorliegenden Daten zusammenfassend folgende Richtwerte aufgestellt werden: Der durchschnittliche Ertrag des PV-Generators entspricht im Winter dem Bruttoverbrauch (= Nettoverbrauch + Verluste). Die tatsächlich genutzte Speicherkapazität (50 % der Gesamtkapazität) entspricht in der vorgestellten Anlage ca. dem 4-fachen Tagesverbrauch.

Im Rahmen der wirtschaftlichen Betrachtung konnte gezeigt werden, dass eine Photovoltaikanlage mit ähnlicher Dimensionierung, errichtet mit den aktuellen Marktpreisen, abhängig vom Kalkulationszinssatz und vom Nutzungsgrad der Anlage, bereits jetzt oder in wenigen Jahren die Netzparität erreicht. Aufgrund dieser Ergebnisse ist zu erwarten, dass in Zukunft die Stromversorgung mit netzunabhängigen PV-Anlagen im privaten Wohnbau zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

- [1] WEIGLHOFER, Thomas; AIGNER, SCHMAUTZER Ernst: Ermittlung unterschiedlicher Einflüsse auf Stromgestehungskosten fossiler und erneubarer Erzeugungstechnologien. 14. Symposium Energieinnovation, 10.-12-02-2016 Graz/Austria.
- [2] MERTENS, Konrad: Photovoltaik: Technologie und Praxis. 2., neu bearb. Aufl. München: Fachbuchverlag Leipzig, 2013.
- [3] HÄBERLIN, Heinrich: Photovoltaik: Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen. 2., wesentlich erw. und aktualisierte Aufl. Fehrltorf : Electrosuisse-Verl., 2010.
- [4] HOLM, Linda Marie: Stromreport: Strompreise in Europa. URL 1-stromvergleich.com/strom-report/strompreise-europa/ – Aufgerufen am 06.03.2017.

N D U F O R S C H U
N G N D U F O R S C
H U N G N D U F O R
S C H U N G N D U F
N D U F O R S C H U
N G N D U F O R S C
H U N G N D U F O R
S C H U N G N D U F
N G N D U F O R S C
H U N G N D U F O R
S C H U N G N D U F
N G N D U F O R S C

NEW DESIGN UNIVERSITY

PRIVATUNIVERSITÄT GESMBH

MARIAZELLERSTR. 97A | A-3100 ST. PÖLTEN

T + 43 (0) 2742 890 24 11

OFFICE@NDU.AC.AT | WWW.NDU.AC.AT

S C H U N G N D U F