

Photovoltaik-Stromerzeugung zur Deckung des Eigenbedarfs im Passivhaus – Parameterstudie

Tobias Loga, Milena Frank, Institut Wohnen und Umwelt GmbH
 Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt
 Tel.: +49 (0) 6151 2904-53, t.loga@iwu.de

1 Einleitung

Im Rahmen von Modellrechnungen wurde ein Einfamilienhaus analysiert, das bezüglich seines Wärmeschutzes dem Passivhaus-Standard entspricht und dessen Restwärmebedarf durch eine Elektro-Wärmepumpe gedeckt wird. Die verfügbare Dachfläche des Gebäudes ist mit einer Photovoltaik(PV)-Anlage belegt. Das Ziel der Untersuchung ist es zu ermitteln, welcher Anteil des erzeugten Stroms direkt im Gebäude genutzt werden kann und welche Abhängigkeiten von Gebäudeparametern und Bilanzierungsansätzen bestehen. Details zur Methodik und zu den Ergebnissen finden sich in [1].

2 Eigendeckung im Nachweis gemäß EnEV

Im gesetzlichen Nachweis nach EnEV kann der Eigendeckungsanteil einer PV-Anlage bedarfsmindernd berücksichtigt werden. Gemäß DIN V 18599 ist eine monatliche Verrechnung vorzusehen, die in Abbildung 1 für das Beispiel-Passivhaus dargestellt ist. Zwischen März und Oktober wird der gesamte Strombedarf durch die PV-Anlage gedeckt. In den Wintermonaten sinkt der Eigendeckungsanteil rapide ab. Über das ganze Jahr liegt der Eigendeckungsanteil bei 69 %. Auch in Nachweisverfahren anderer europäischer Länder ist eine Anrechnung des direkt genutzten PV-Stroms vorgesehen – in der Regel ebenso wie in Deutschland mit monatsweiser Verrechnung (in Einzelfällen auch jahresweise) [2].

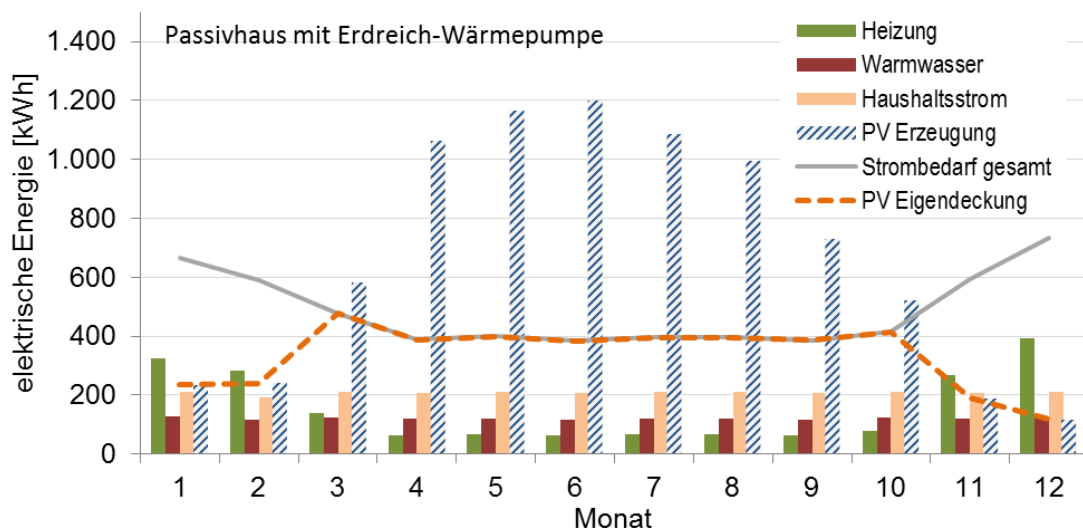


Abbildung 1: Monatliche Verrechnung (Berechnung nach DIN V 18599 bzw. EnEV)

3 Betrachtung mit höherer zeitlicher Auflösung

Schaut man sich die Energieströme mit höherer zeitlicher Auflösung an, so zeigt sich ein gegenüber der monatsweisen Verrechnung deutlich anderes Bild (Abbildung 2).

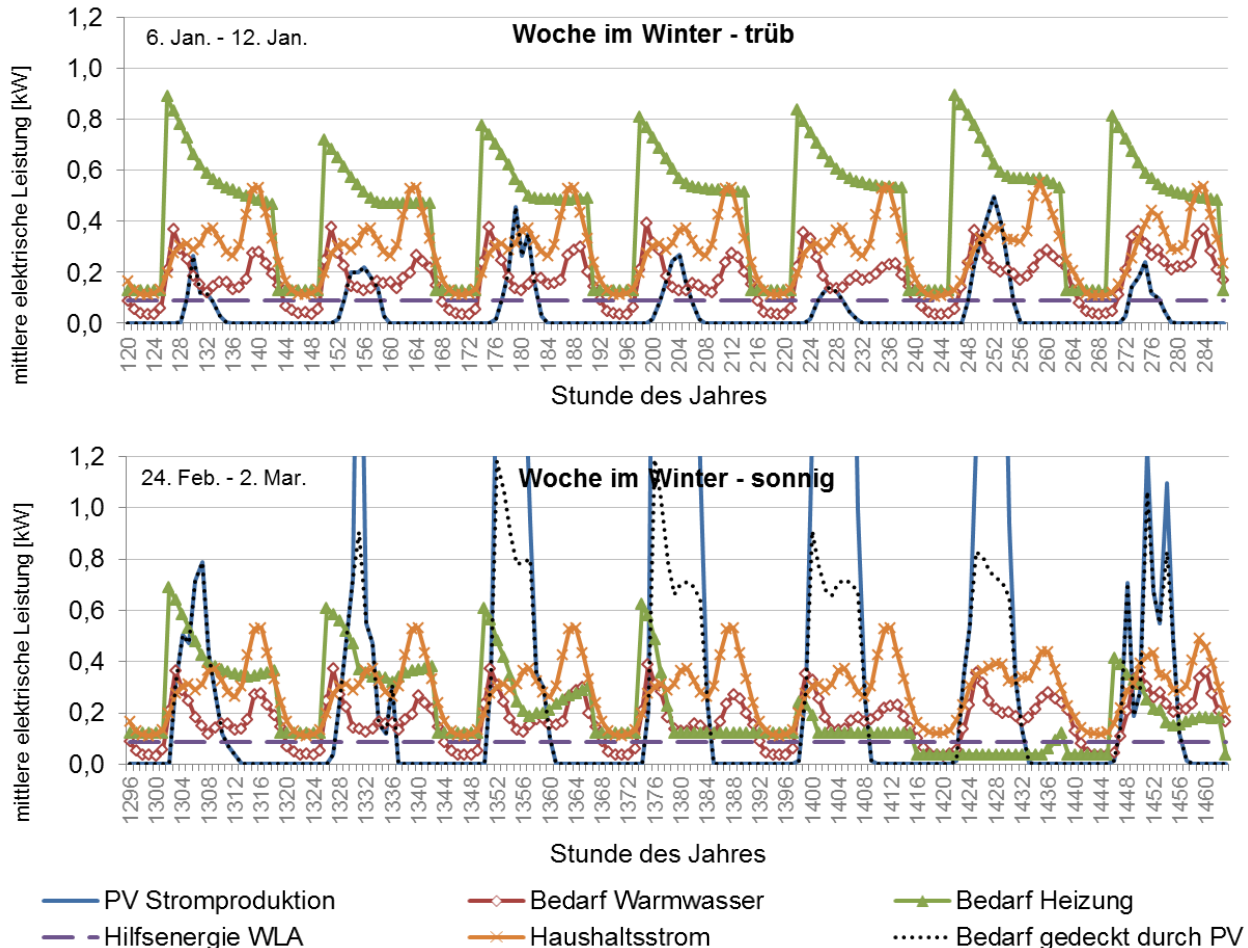


Abbildung 2: Beispiel-Passivhaus: Deckung des Strombedarfs durch PV-Anlage an zwei unterschiedlichen Wintertagen (Klima: TRJ Potsdam, weitere Details siehe [1])

Abbildung 2 oben zeigt den Lastverlauf für Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie und Haushaltsstrom in einer trüben Winterwoche (Stundenwerte). Die höchsten mittleren Leistungen von knapp unter 1 kW verzeichnet die Raumheizung. Die Stromerzeugung liegt um die Mittagszeit jeweils im Bereich von 200 bis 400 W und bleibt damit erheblich unter dem Gesamtbedarf. Die geringen erzeugten Strommengen werden komplett im Haus verbraucht. Das untere Diagramm zeigt den Leistungsverlauf für eine sonnige Winterwoche: Zunächst sind die Heizleistungen noch ähnlich wie in der trüben Woche. Durch passive solare Einstrahlung gehen diese im Verlauf der Woche dann gegen Null. Die Stromerzeugung liegt tagsüber bei 2 bis 6 kW und überschreitet damit erheblich die elektrischen Lasten. Ein Großteil des erzeugten Stroms kann also nicht direkt genutzt werden und wird in das Stromnetz eingespeist. Über das Jahr wird bei der hier dargestellten stündlichen Verrechnung ein Eigendeckungsanteil von 36 % erreicht, also etwa die Hälfte des Wertes aus der monatlichen Verrechnung (siehe oben). Bei noch feinerer zeitlicher Auflösung sinkt dieser Anteil weiter.

4 Durch PV-Anlagen erzielbare jährliche Eigendeckung

Im Zuge einer Parameterstudie wurde die PV-Anlagengröße in mehreren Schritten variiert (um bis zu einem Faktor 10 größer bzw. kleiner als die zur Verfügung stehende Dachfläche). Abbildung 3 zeigt die jährlich erreichte Eigendeckung in Abhängigkeit von der erzeugten Strommenge – jeweils auf den Jahresstrombedarf des Gebäudes normiert. Auf der linken Seite sind für das Beispiel-Einfamilienhaus (EFH) die Ergebnisse für die Verrechnungsschrittweiten ‚Monat‘, ‚Tag‘ und ‚Stunde‘ dargestellt (zusätzlich ‚Jahr‘ als Referenz). Über einen weiten Bereich der normierten Stromproduktion ist die Eigendeckung bei monatlicher Verrechnung etwa doppelt so hoch wie die bei stündlicher. Interessanterweise liegen die Ergebnisse bei der Verrechnungsschrittweite ‚Tag‘ fast so hoch wie die für die monatliche Betrachtung – der entscheidende Sprung zu hohen Eigendeckungsanteilen findet also beim Passivhaus dann statt, wenn die täglich erzeugte Strommenge einen ganzen Tag lang zur Deckung des Strombedarfs für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom genutzt werden kann.

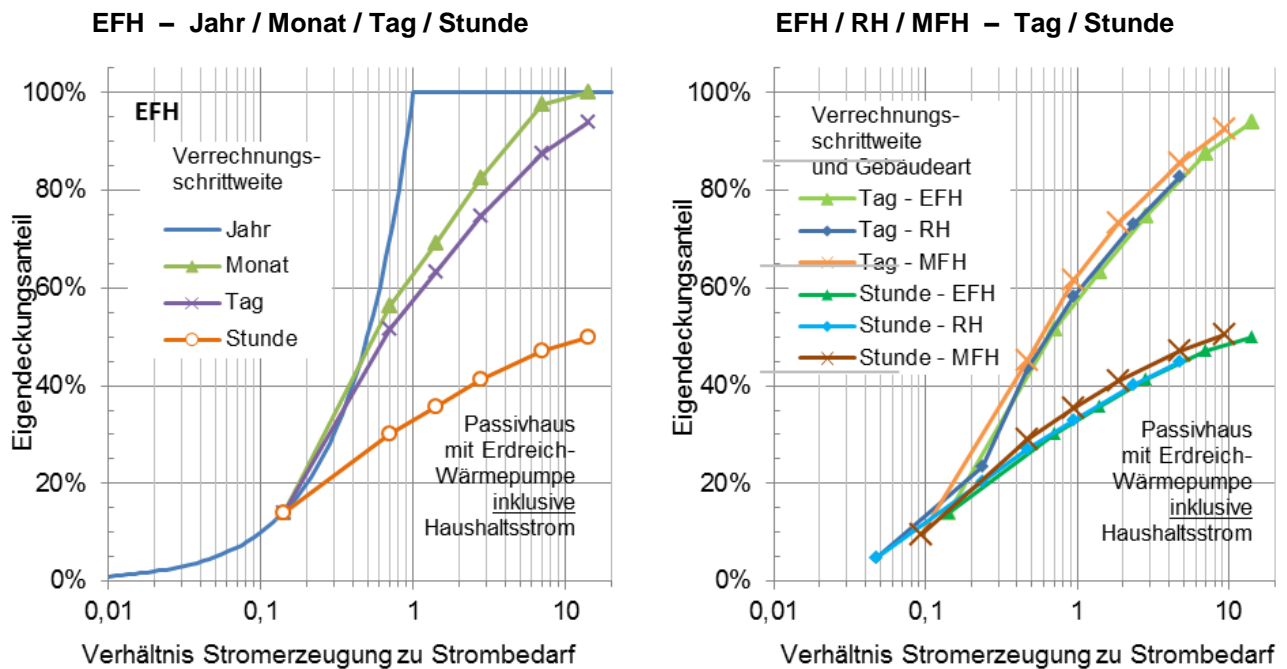


Abbildung 3: Auszug aus den Ergebnissen der Parameterstudie [1]; Eigendeckungsanteil als Funktion der auf den Strombedarf normierten PV-Stromerzeugung (der Eigendeckungsanteil ist der Anteil des Strombedarfs, der durch die PV-Anlage gedeckt wird)

Die Verrechnungsschrittweite ist primär eine Frage der Bilanzierung oder Messung/Abrechnung. Allerdings ist ihr Effekt ähnlich dem eines elektrischen Energiespeichers, der so dimensioniert ist, dass er die im entsprechenden Zeitintervall erzeugte Strommenge aufnehmen kann. Auch ohne dass die elektrische Speicherung konkret modelliert wurde, kann man daher aus den Analysen den Schluss ziehen, dass ein Speicher, der den täglichen Strombedarf aufnehmen kann, einen Eigendeckungsanteil von etwa 60% erreichen würde – was einem sehr hohen Autarkiegrad entspricht (natürlich unter der Voraussetzung des Passivhaus-Standards).

Auf der rechten Seite von Abbildung 3 sind die Ergebnisse für zwei weitere Beispiel-Passivhäuser dargestellt. Sowohl für das Reihenhause (RH) als auch für das Mehrfamilienhaus (MFH) zeigen sich kaum Unterschiede zum Kurvenverlauf des Einfamilienhauses (EFH). Durch die Normierung auf den Strombedarf ergibt sich eine bestimmte Charakteristik, die offensichtlich kaum vom Gebäudetyp oder von der Gebäudegröße abhängt.

5 Vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung

Die Ergebnisse der Parameterstudie wurden in einer Tabelle 1 zusammengeführt, die auf einfache Weise Abschätzungen des Eigendeckungsanteils ermöglicht. Ähnliche Werte wurden auch für Passivhäuser auf Basis eines vereinfachten monatlichen Ansatzes ermittelt [3].

	Verhältnis Stromerzeugung zu Strombedarf									
	0,01	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2	3	5	10
Verrechnungs-Schrittweite	Eigendeckungsanteil [%] (Verhältnis selbst genutzter Anteil der Stromerzeugung zu Strombedarf)									
Stunde	1	10	21	28	34	37	40	43	46	49
Tag	1	10	25	46	60	67	72	77	84	92

Tabelle 1: Hilfstabelle zur Abschätzung der Eigendeckungsanteile – gemittelt aus Beispielberechnungen für drei unterschiedliche Passivhaus-Wohngebäude mit Erdreichwärmepumpe (Werte für Schrittweite ‚Stunde‘ auch anwendbar für Passivhäuser ohne elektrisch betriebene Wärmeerzeuger); Zwischenwerte können interpoliert werden; Tabellenwerte für monatliche Verrechnung und andere Wärmeschutz-Standards sowie Erläuterungen finden sich in [4]

6 Relevanz für Verbrauchskosten

Im PHPP werden PV-Anlagen als Teil des Stromerzeugungssektors betrachtet und als Beitrag für eine zukünftig auf Erneuerbaren basierende Versorgung bewertet. Neben dieser energetischen Betrachtung ist aus Verbrauchersicht aber auch die Frage der Kosteneinsparung durch Eigenverbrauch interessant, da in Deutschland bei Einfamilienhäusern inzwischen die Einspeisevergütung etwa nur halb so hoch ist wie der Haushaltsstromtarif. Für das in Abbildung 4 gezeigte Passivhaus Plus wird in Tabelle 2 beispielhaft die Auswirkung unterschiedlicher Eigendeckungen illustriert. Die PV-Anlage dieses Einfamilienhauses erzeugt über das Jahr etwa so viel Strom, wie das Gebäude für Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie und Haushaltsstrom verbraucht. Es werden hier vereinfachend nur die von den Strommengen abhängigen Kosten betrachtet – die Tabelle liefert also keine ökonomische Betrachtung der PV-Anlage. Ohne PV-Anlage liegen die aufgrund der PHPP-Berechnung zu erwartenden jährlichen Stromkosten bei 1516 €/a. Bei voller Einspeisung des PV-Stroms können die jährlichen Kosten um 600 €/a gesenkt werden. Je nach Eigendeckungsanteil ergeben sich entsprechend höhere Einsparungen von 800 bis 1100 €/a. Über 10 Jahre aufsummiert bringt eine Eigendeckung von 20 % somit einen Kostenvorteil von 1800 €, eine Eigendeckung von 60 % sogar einen Vorteil von fast 6000 €.



Beispielgebäude

EFH-Passivhaus
 Wohnfläche: 160 m²
 Energiebezugsfläche (PHPP): 198 m²
 Erdreich-Wärmepumpe
 PV: Süd-Dach (ca. 50 m²)

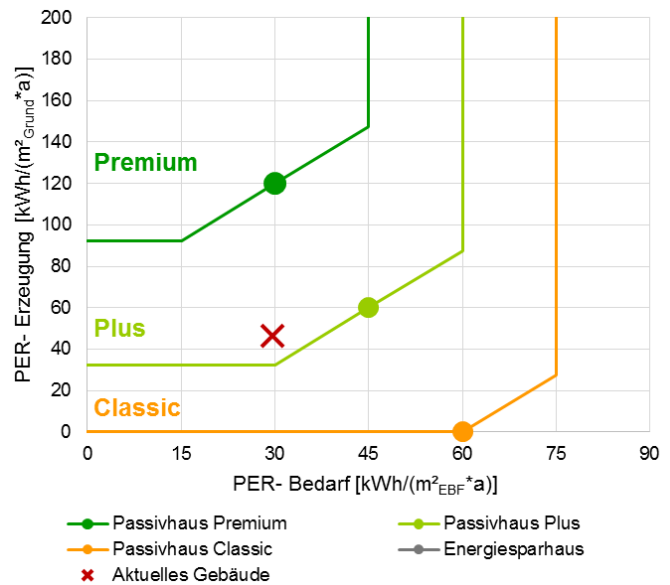


Abbildung 4: Beispiel-Einfamilienhaus mit PV-Anlage – PER-Bewertung

Beispiel-EFH Passivhaus (EBF 198 m ²) Betrachtung von strommengenabhängigen Kosten; ohne Berücksichtigung von Grundkosten / Fixkosten / Wartungskosten / Einkommenssteuer		ohne PV-Anlage	mit PV-Anlage				
			ohne Eigenverbrauch	mit Eigenverbrauch			
Deckungsanteil PV am Strombedarf			60%*	34%*	20%**		
Energiekennwerte	Strombedarf (Hzg + WW + HH)		25,5			kWh/(m ² a)	
	Strom-Erzeugung		25,1			kWh/(m ² a)	
	direkte Nutzung		0,0	15,3	8,7	5,1	kWh/(m ² a)
	Bezug	25,5	25,5	10,2	16,8	20,4	kWh/(m ² a)
	Einspeisung		25,1	9,8	16,4	20,0	kWh/(m ² a)
Kosten Strombezug + -einspeisung	Bezugskosten (Preis: 0,30 €/kWh)	7,7	7,7	3,1	5,1	6,1	€/ (m ² a)
	Einspeisevergütung (-0,12 €/kWh)		-3,0	-1,2	-2,0	-2,4	€/ (m ² a)
	Bezugskosten absolut	1516	1516	606	1001	1213	€/a
	Einspeisevergütung absolut		-596	-232	-390	-474	€/a
	Bilanz Jahreskosten Strom	1516	920	375	611	738	€/a
	Einsparung durch PV-Anlage		-596	-1142	-905	-778	€/a
	über einen Zeitraum von 10 Jahren		-5958	-11416	-9051	-7777	€

*) entspricht Werten für Verrechnungsintervall Tag und Stunde in der Hilfstabelle zur Abschätzung von Eigendeckungsanteilen

**) „Sofortig“ (unmittelbare Verrechnung): konservative Annahme für Eigendeckungsanteil 20 %, nicht durch Modell ermittelt

Tabelle 2: Einfluss der Nutzung des selbst erzeugten Stroms auf die Jahreskosten Strom. EBF: Energiebezugsfläche, Hzg.: Heizung, WW: Warmwasser, HH: Haushaltsstrom

7 Resümee

Aus Verbrauchersicht ist die Frage relevant, welcher Teil des jährlichen Stromverbrauchs eines Passivhauses durch PV-Anlagen gedeckt werden kann und welche Kosteneinsparungen sich dadurch ergeben. Mit dem aus der Parameterstudie abgeleiteten vereinfachten Verfahren

ren eröffnet sich bei schon vorliegender Energiebilanzberechnung, z.B. mit dem PHPP, die Möglichkeit, das bei kleineren Verrechnungsschrittweiten zu erwartende Ergebnis für den Eigendeckungsanteil bzw. den Autarkiegrad abzuschätzen.

In der Untersuchung konnte auf Basis der zur Verfügung stehenden zeitlichen Profile die Verrechnungsschrittweite nur bis hinunter zu einer Stunde reduziert werden. In der Praxis findet die Verrechnung jedoch unmittelbar statt. Für Stromverbraucher, die nur kurzzeitig mit hoher Leistung betrieben werden (z.B. Küchengeräte), wird daher auch bei der stundenweisen Verrechnung der Eigendeckungsanteil überschätzt. Wünschenswert wäre daher eine Erweiterung der Analyse in Richtung noch höherer zeitlicher Auflösung (z.B. Sekunde), wofür dann entsprechende Lastgänge und Solarstrahlungsdaten benötigt werden. Auch elektrische Energiespeicher wurden in der vorliegenden Untersuchung noch nicht berücksichtigt – ihre Auswirkung auf den Eigendeckungsanteil ist dabei ähnlich zu sehen wie die Verrechnungsschrittweite. Speicher, die den mittleren Strombedarf einer Stunde speichern, werden etwa ähnliche Eigendeckungen erzielen wie hier für die Zeitschrittweite ‚Stunde‘ ermittelt wurde. Eine weitere interessante Fragestellung ist auch, wie durch Lastmanagement der Eigendeckungsanteil und damit der Autarkiegrad eines Passivhauses erhöht werden kann.

Aufgrund des im Vergleich mit unsanierten Altbauten sehr stark ausgeglichenen Lastprofils (geringere Unterschiede zwischen Tagen mit und ohne Heizung) bietet der Passivhaus-Standard ideale Voraussetzungen für die Erreichung hoher Eigendeckungsanteile.

8 Quellenverzeichnis

- [1] Frank, M.: Analyse der Eigenbedarfsdeckung durch PV- und KWK-Anlagen in Wohnhäusern; Bachelor-Thesis am Institut für Massivbau / Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Darmstadt (Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner), in Kooperation mit dem Institut Wohnen und Umwelt (IWU); Darmstadt 2014.
- [2] Stein, B.; Loga, T.; Diefenbach, N. (Hrsg.); EPISCOPE project team: Inclusion of New Buildings in Residential Building Typologies – Steps Towards NZEBs Exemplified for Different European Countries – EPISCOPE Synthesis Report No. 1; IWU, Darmstadt, 2014. http://episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/reports/EPISCOPE_SR1_NewBuildingsInTypologies.pdf
- [3] Lichtmeß, M.: Vereinfachte Bestimmung der Eigenstromnutzung von PV-Anlagen in einer Monatsbilanz; EnOB Forschung für energieoptimiertes Bauen, 2015. http://www.enob.info/fileadmin/media/Publikationen/EnOB/Fachartikel/Eigenstromnutzung_PV - Bilanz - Lichtmess_X5.pdf
- [4] Frank, M.; Loga, T.; Schaede, M.; Weißmann, C.: Eigendeckung des Strombedarfs von Niedrigstenergiehäusern durch Photovoltaik-Anlagen - Verrechnung mit unterschiedlichen Zeitschrittweiten ergänzend zur EnEV; Bauphysik 37, Heft 2, 2015. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bapi.201510008/abstract>

Charts with Labels in English

Figure 1

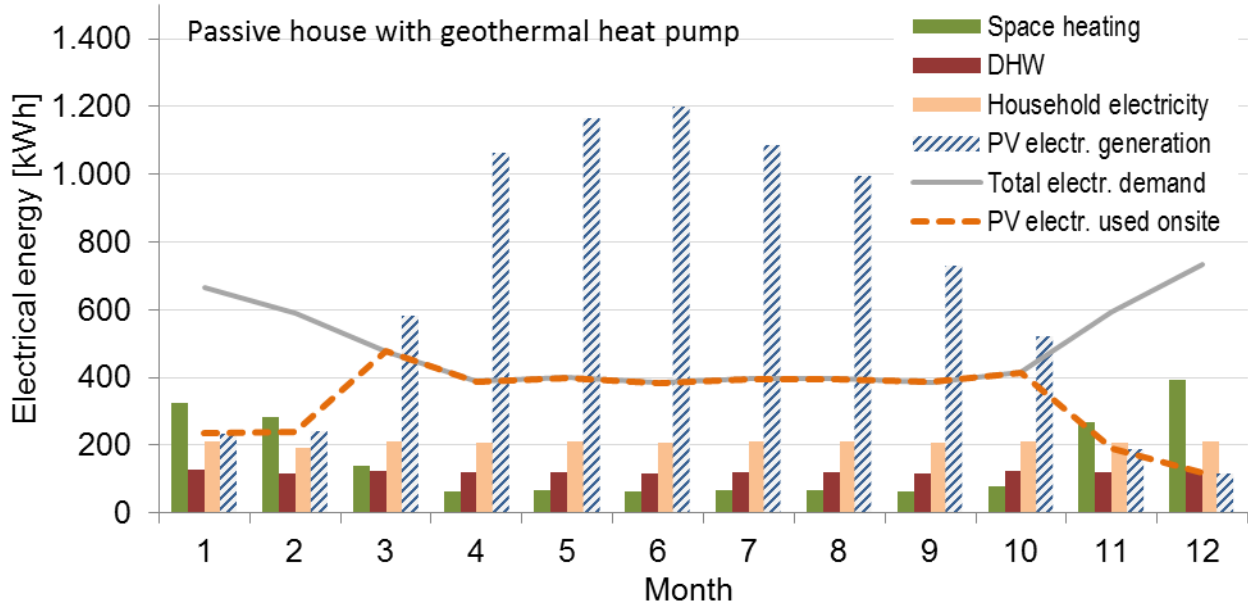


Figure 2

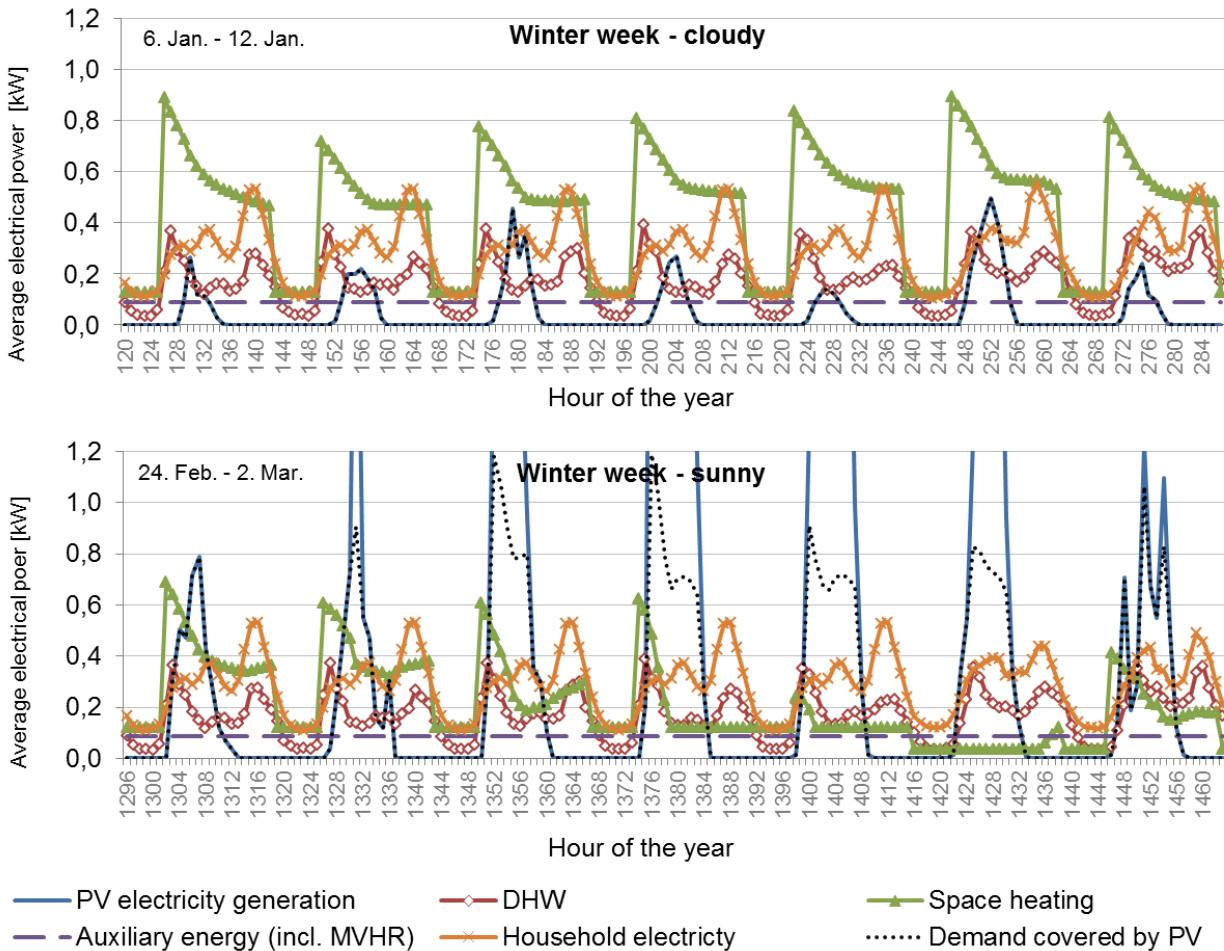


Figure 3

