

PV, KWK und Speicher optimieren die Eigenversorgung

Durch den kombinierten Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Photovoltaik (PV) und Energiespeicher kann die Eigenversorgung von Gebäuden stark erhöht und zugleich der Energieeinsatz signifikant gesenkt werden.



Cartoon: Michael Hüter

W ohngebäude müssen mit Energie versorgt werden – und das ist bereits in hohem Maße in Eigenregie machbar. Um den wirtschaftlich interessantesten Eigenverbrauch von solar erzeugtem Strom zu erhöhen und das Stromnetz zu entlasten, bietet sich die Verwendung von Stromspeichern an [1], zumal diese Technologie bereits im Markt als Systemlösung verfügbar ist [2]. Die Verbindung dieser Komponenten kann noch um ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und einen Pufferspeicher zu dem in Abbildung 1 gezeigten System erweitert werden. Der Pufferspeicher ist notwendig, um Wärmeverbrauch und -erzeugung zu entzerren und die Laufzeiten des BHKWs zu optimieren. Für das dynamische Verhalten des Systems ist dies von hoher Relevanz. Während die Stromerzeugung der PV-Anlage im Tagesverlauf starr an die Sonneneinstrahlung gebunden ist, können die BHKW-Laufzeiten durch den Speicher in einem gewissen Zeitintervall variieren. Sinnvollerweise werden sie auf die Zeiten gelegt, in denen keine Sonnenenergie zur Verfügung steht. Eine Lauffreigabe der KWK-Anlage kann nun auf verschiedenen Wegen erfolgen: Zum einen, das ist der klassische Fall, durch eine Wärmeanforderung des Pufferspeichers. Zum anderen durch eine elektrische Anforderung, sobald der Stromspeicher entladen ist. Im zweiten Fall muss jedoch eine Abnahme der Wärmeenergie durch den Pufferspeicher gewährleistet sein, um ein Überhitzen zu vermeiden.

Die nachfolgenden Ergebnisse beruhen auf einer Simulation mit der Software Matlab, mit der die energetische Versorgung verschiedener Wohngebäude über ein gesamtes Jahr minutengenau nachgestellt wird. Beispielhaft wird die Versorgung von zwei Einfamilienhäusern erläutert. Eines mit durchschnittlichem Heizbedarf ($150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) und ein weiteres als Niedrigenergiehaus mit KfW-40 Standard. Strom- und Brauchwasserbedarf sind in jedem Fall gleich. Die

gewählten Gebäude sowie die wichtigsten Ergebnisse sind nochmals in Tabelle 1 auf Seite 39 aufgeführt.

Hohe elektrische Eigendeckung

Das Gewährleisten einer hohen elektrischen Eigenversorgung im Jahresverlauf bedingt eine stetige Stromerzeugung über das gesamte Jahr hinweg. Abbildung 2 auf Seite 38 verdeutlicht in dieser Hinsicht den großen Vorteil des untersuchten Konzepts gegenüber Systemen, die auf eine der Erzeugungsanlagen verzichten. Während Solarstrom vor allem in den Sommermonaten zur Verfügung steht, fällt die Stromerzeugung durch das BHKW größtenteils in die winterliche Heizperiode. Zusammen entsteht ein wesentlich gleichmäßigeres Erzeugungsprofil, das in diesem Beispiel lediglich in den Wintermonaten leicht vom Verbrauch überstiegen wird. In Gebäuden mit durchschnittlichem Heizbedarf ist auch in dieser Periode eine vollständige Deckung möglich. Ein Ansatzpunkt, dies in Niedrigenergiehäusern zu erreichen, ist die Verringerung des Strombedarfs durch Energiespargeräte.

Durch einen hohen Anteil von selbst erzeugtem Strom am Verbrauch, verbunden mit einem geringen Netzbezug, entsteht eine

gewisse Unabhängigkeit vom Stromanbieter. Der Grad der Eigenversorgung ist natürlich von den verwendeten Komponenten abhängig. Als Blockheizkraftwerk werden Anlagen unterschiedlicher Größenordnung der Hersteller SenerTec und Vaillant verwendet, jeweils auf den Wärmebedarf der Gebäude angepasst. Eine sinnvolle Auslegung von PV-Anlage und elektrischer Speicherkapazität wird durch Abbildung 3 erleichtert. Für ein durchschnittliches Einfamilienhaus stellen demnach eine Photovoltaik-Anlage mit einer Nennleistung von 5 kW und ein Stromspeicher mit 5 kWh Kapazität ein optimales Verhältnis von Aufwand und Nutzen dar. In dieser Konfiguration kann bereits mit einem Eigenversorgungsgrad von etwa 95 % gerechnet werden. Somit müssen nur noch 5 % des verbrauchten Stroms aus dem Netz bezogen werden. Eine Vergrößerung der Anlagen über diesen Punkt hinaus birgt keine signifikanten Vorteile mehr. Für Niedrigenergiehäuser ergeben sich ähnliche Kurven, die jedoch um etwa fünf Prozentpunkte tiefer liegen. Der Grund hierfür ist die niedrigere Stromerzeugung durch das BHKW infolge eines geringeren Wärmebedarfs (siehe Tab. 1, Seite 39).

An dieser Stelle ist ein Vergleich mit Systemen interessant, in die kein BHKW integriert ist. Eine Publikation hierzu wurde

vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung erstellt [1]. Demnach kann bei einer gleichen Auslegung der Komponenten eine elektrische Eigenversorgung von 60 bis 70 % erreicht werden. Zu beachten ist jedoch, dass der Strombedarf in dieser Studie um etwa ein Drittel niedriger angesetzt wurde. Übertragen auf die hier betrachteten Gebäude ergibt sich ein Eigenversorgungsgrad von etwa 50 %, was durch eine Simulation bestätigt werden konnte. Gemessen an diesen Werten ist der Vorteil des erläuterten Konzepts mit einer Eigendeckung von 95 % deutlich erkennbar.

Lukrativer Eigenverbrauch auf hohem Niveau

Neben der Eigenversorgung ist – besonders für die Wirtschaftlichkeit – interessant, welcher Anteil des erzeugten Stroms im Gebäude verbraucht wird und wie sich eine unterschiedliche Komponentenwahl auswirkt. Dies ist in Abbildung 4 auf Seite 38 für das BHKW und in Abbildung 5 für die PV-Anlage aufgetragen. Mit der gewählten Anlagenkonfiguration beträgt der Eigenverbrauch von BHKW- und PV-Strom demnach jeweils etwa 50 %. Dies entspricht einer Steigerung von 30 bzw. 20 % gegenüber einem System ohne Stromspeicher. Ein deutlich höherer

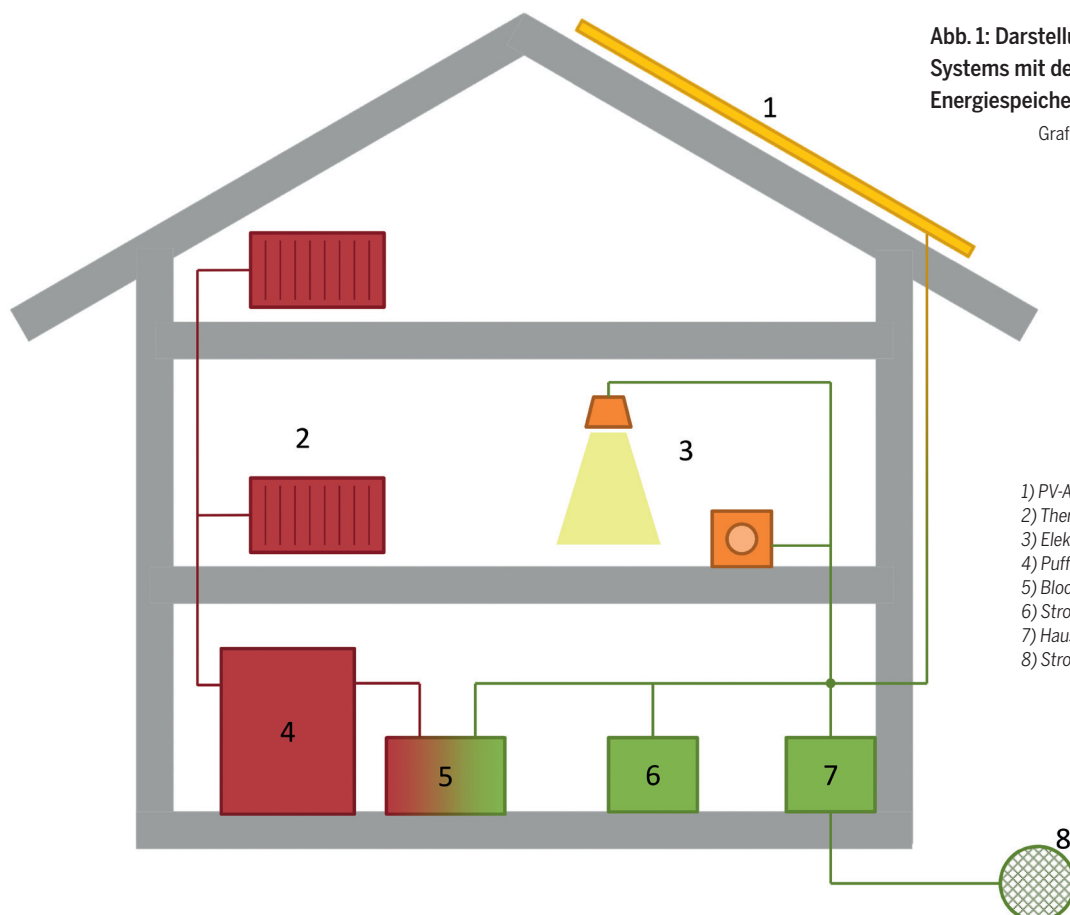


Abb. 1: Darstellung des untersuchten Systems mit den Erzeugungseinheiten, Energiespeichern und Verbrauchern

Grafiken (5): Franz Lukas/Mike Zehner

- 1) PV-Anlage
- 2) Thermische Verbraucher
- 3) Elektrische Verbraucher
- 4) Pufferspeicher
- 5) Blockheizkraftwerk
- 6) Stromspeicher
- 7) Hausanschlusskasten
- 8) Stromnetz

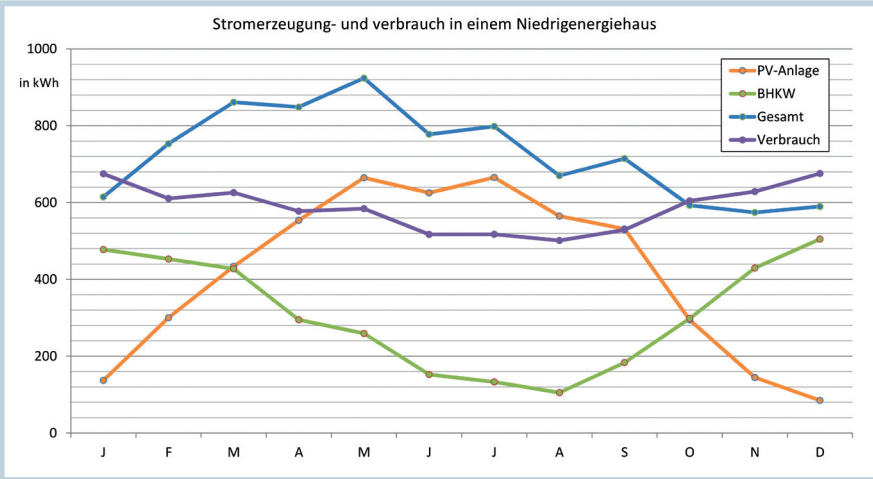


Abb. 2: Monatliche Stromerzeugung der einzelnen Anlagen sowie der summierten Werte und des Strombedarfs im Jahresverlauf. Darstellung für ein Niedrigenergiehaus mit 7.000 kWh Stromverbrauch und einer PV-Spitzenleistung von 5 kW in einem ausgewählten Jahr in der Region Freiburg [3][4]

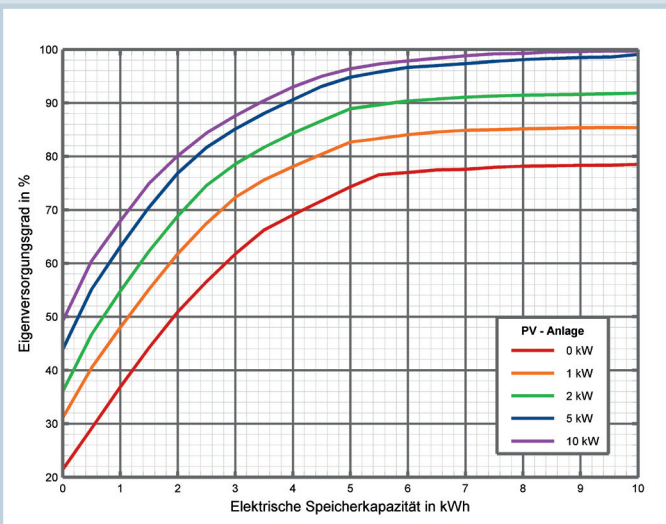


Abb. 3: Grad der Eigenversorgung mit elektrischem Strom für verschiedene Photovoltaik-Anlagen in Abhängigkeit der elektrischen Speicherkapazität. Darstellung für ein durchschnittliches Einfamilienhaus (siehe Tab. 1).

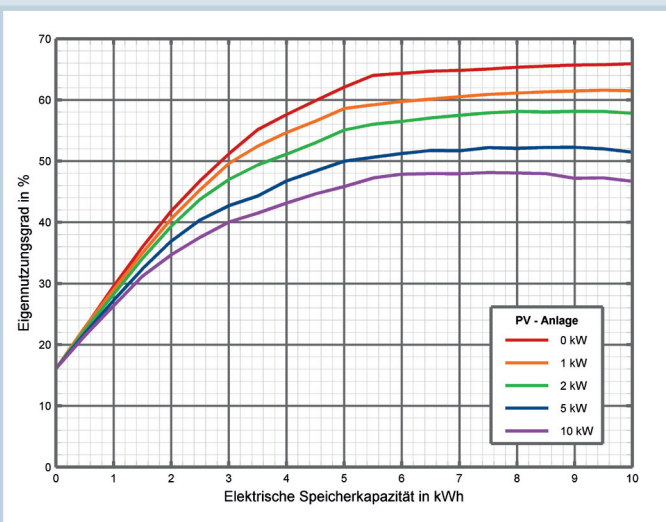


Abb. 4: Prozentualer Anteil des BHKW-Stroms, der im Gebäude verbraucht wird. Aufgetragen für verschiedene Photovoltaik-Anlagen in Abhängigkeit der elektrischen Speicherkapazität. Darstellung für ein durchschnittliches Einfamilienhaus (siehe Tab. 1).

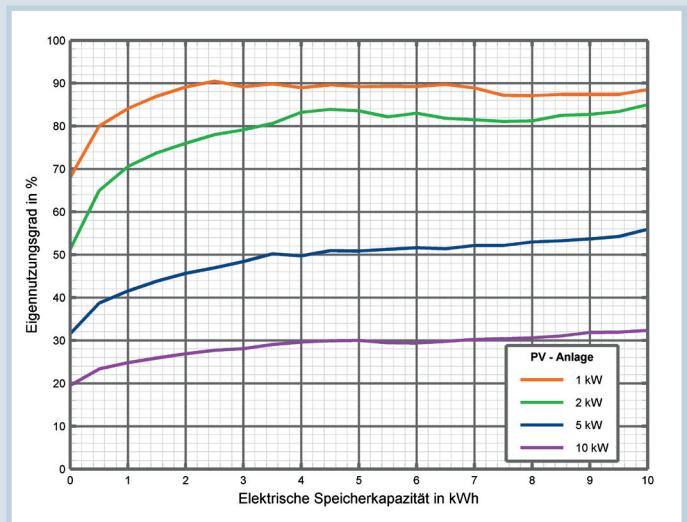


Abb. 5: Grad der Eigennutzung von PV-Strom bei Installation verschiedener Photovoltaik-Anlagen in Abhängigkeit der elektrischen Speicherkapazität. Darstellung für ein durchschnittliches Einfamilienhaus (siehe Tab. 1).

Eigenverbrauchsanteil – bis zu 97 % beim BHKW – wird in einem Niedrigenergiehaus erreicht. Dies beruht wiederum auf der geringeren Stromerzeugung.

Ein Eigennutzungsgrad kleiner 100 % bedingt, dass ein Teil des erzeugten Stroms in das Netz eingespeist wird. In dem betrachteten Einfamilienhaus mit durchschnittlichem Heizbedarf erfolgen etwa zwei Drittel der Stromerzeugung durch das BHKW. Somit fällt ein Großteil der Überschüsse auf die Winterperiode. Bei den Tagen mit Strombezug handelt es sich ausschließlich um bedeckte Tage in den Sommer- und Übergangsmonaten. Demgegenüber erzeugt das BHKW in einem Niedrigenergiehaus sogar geringfügig weniger Strom als die installierte PV-Anlage. Die Tage mit Strombezug sind dadurch wesentlich gleichmäßiger über das Jahr verteilt.

Positive ökologische Auswirkungen

Sowohl KWK- als auch Photovoltaik-Anlagen werden aufgrund ihrer ökologischen Vorteile durch das KWK-Gesetz beziehungsweise das EEG gefördert. Durch die Verbindung beider Technologien entsteht eine Energieversorgung, die wesentlich weniger fossile Energieträger benötigt als der Status quo. Auf der einen Seite findet intern – im Gebäude – ein höherer Energieeinsatz statt, da zusätzlich zur benötigten Wärme auch Strom erzeugt wird. Auf der anderen Seite verringert dieser Strom den Netzbezug, wodurch in einem externen Kraftwerk weniger Primärenergie aufgewendet werden muss. Analog zum Eigenversorgungsgrad betragen die Einsparungen an dieser Stelle 95 %. Denselben Effekt erreicht Strom, der ins Netz eingespeist wird. Der dadurch verminderte Energieeinsatz wird dem Gebäude wiederum angerechnet. Insgesamt verringert sich der Aufwand an Primärenergie durch das betrachtete System um etwa 50 %. Dieser niedrigere Aufwand ist lediglich durch eine alternative Energieerzeugung entstanden, speziell durch den Einsatz von erneuerbaren Energien und einen hohen Gesamtwirkungsgrad bei der Verwendung fossiler Rohstoffe. Die Verbraucher mussten dagegen auf keinerlei Endenergie verzichten. Hier besteht sogar weiteres Potenzial für Einsparungen.

Betrachtung weiterer Gebäude und Ausblick

Neben den vorgestellten Einfamilienhäusern werden verschiedene Mehrfamilienhäuser betrachtet. Auch in diesen kann durch das erläuterte System ein Eigenversorgungsgrad

Tab. 1: Vergleich des untersuchten Systems mit der konventionellen Energiebereitstellung. Jeweils für ein durchschnittliches Einfamilienhaus und ein Niedrigenergiehaus.

Energieversorgung	Durchschnittliches Einfamilienhaus ¹		Einfamilienhaus mit Niedrigenergiestandard ¹	
	Betrachtetes System	Konventionell	Betrachtetes System	Konventionell
Energiestandard	150 kWh/(m ² *a)		KfW 40	
Blockheizkraftwerk	SenerTec Dachs	-	Vaillant ecoPOWER 1.0	-
PV-Nennleistung	5 kW	-	5 kW	-
Elektrische Speicherkapazität	5 kWh	-	8 kWh	-
Eigenversorgungsgrad	94,90 %	-	91,20 %	-
Eigennutzungsgrad PV	51,20 %	-	64,60 %	-
Eigennutzungsgrad BHKW	49,80 %	-	97,40 %	-
Energieaufwand				
- extern (Stromerzeugung) ²	0,9 MWh	18,1 MWh	1,6 MWh	18,1 MWh
- intern (BHKW)	38,4 MWh	23,8 MWh	15,6 MWh	7,8 MWh
- gesamt	39,4 MWh	41,8 MWh	17,1 MWh	25,9 MWh
Gutschrift für Stromspeisung ²	-17,4 MWh	0 MWh	-4,6 MWh	0 MWh
Primärenergieeinsatz	21,9 MWh	41,8 MWh	12,6 MWh	25,9 MWh
Erdgasäquivalent	2137,5 m ³	4075,2 m ³	1224,6 m ³	2522,3 m ³
Prozentualer Anteil	52 %	100 %	49 %	100 %

¹ Strombedarf: 7.000 kWh, Energiebedarf für Brauchwassererhitzung: 2.000 kWh, Wohnfläche: 140 m² [4]

² Elektrischer Wirkungsgrad: 41 %, Netzverluste: 5,5 %, keine Nutzung der Abwärme [5][6]

von über 90 % erreicht werden. Die Größenordnung von PV-Generator und Stromspeicher ist dabei – bezogen auf den Energiebedarf – geringer anzusetzen als bei Einfamilienhäusern. Grund hierfür ist vor allem der erhöhte Brauchwasserbedarf, wodurch in den Sommermonaten eine höhere BHKW-Stromerzeugung gegeben ist. Die Ergebnisse hinsichtlich Eigennutzung und Energieeinsparung sind mit denen für Einfamilienhäuser vergleichbar.

Das vorgestellte System ist mit den betrachteten Komponenten voll funktionsfähig, kann jedoch noch ergänzt werden. Sinnvolle Erweiterungen können beispielsweise eine Lastregelung oder eine Ladestation für Elektroautos sein. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mehrere Systeme in einem übergeordneten Smart-Grid zu vereinen.

Zusammenfassung

Durch das beschriebene Energiekonzept können Wohngebäude sinnvoll mit Energie versorgt werden. In einem Gesamtkonzept erzeugt die PV-Anlage ökologisch Strom zusammen mit dem BHKW, das mit hohem Gesamtwirkungsgrad Strom und Wärme bereitstellt. Die Kombination beider Technologien erzeugt das gesamte Jahr über Energie, die durch thermische und elektrische Kurzzeitspeicher auf den Verbrauch angepasst wird. Insgesamt entsteht durch hohe elektri-

sche Eigendeckung – bis zu 95 % – eine gesteigerte Unabhängigkeit von Stromanbietern sowie eine Halbierung des fossilen Primärenergieaufwands.

Franz Lukas, Mike Zehner

Franz Lukas ist Absolvent des Studiengangs Regenerative Energien der Hochschule München und seit vielen Jahren mit Installation und Betrieb von Blockheizkraftwerken und PV-Anlagen vertraut.

Mike Zehner ist Professor für nachhaltige Energietechnik im Studiengang Energie- und Gebäudetechnologie der HS Rosenheim und leitet dort zusammen mit Kollegen das Solar Engineering Labor.

Quellenverzeichnis

- [1] IÖW – Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Publikation: Effekte von Eigenverbrauch und Netzparität bei der Photovoltaik (Berlin, Hamburg, 2011)
- [2] IBC Solar – Datenblatt IBC-SolStore (Bad Staffelstein, 2014)
- [3] Bruno Burger, Messdatensatz der Einstrahlungsleistung zur Modellierung der PV-Anlage, Fraunhofer ISE (Freiburg, 2004)
- [4] Strom- und Wärmebedarf sind der VDI 4655 entnommen und mit klimatischen Daten des DWD unterlegt (Düsseldorf, 2008) (Lahr, 2004)
- [5] Deutsches Statistisches Bundesamt, Berechnet aus den Angaben für das Quartal III und IV des Jahres 2013 (Wiesbaden, 2014)
- [6] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Publikation: Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland (Seite 13) (Berlin, Köln, 2013)