



Vorträge | Interviews | Bücher | **Artikel** | Grafiken | Statistik | Tools | Fotos | Downloads | Quiz | FAQ | RSS | Impressum

- Home
- News
- Publikationen
- Informativ
- Interviews
- Online-Artikel >
- Statistiken
- Grafiken
- FAQ
- Fotos
- Downloads
- Interaktiv
- Hüters Corner
- Über mich
- English
- mobile Version

Folgen 2.757 Follow

Follow 689

Optimale Dimensionierung von PV-Speichersystemen

erschienen in [pv magazine](#) 01/2013, S.70-75

Systemauslegung: Experten der HTW Berlin erklären, wie PV-Speichersysteme heute und zukünftig kostenoptimal dimensioniert werden können.



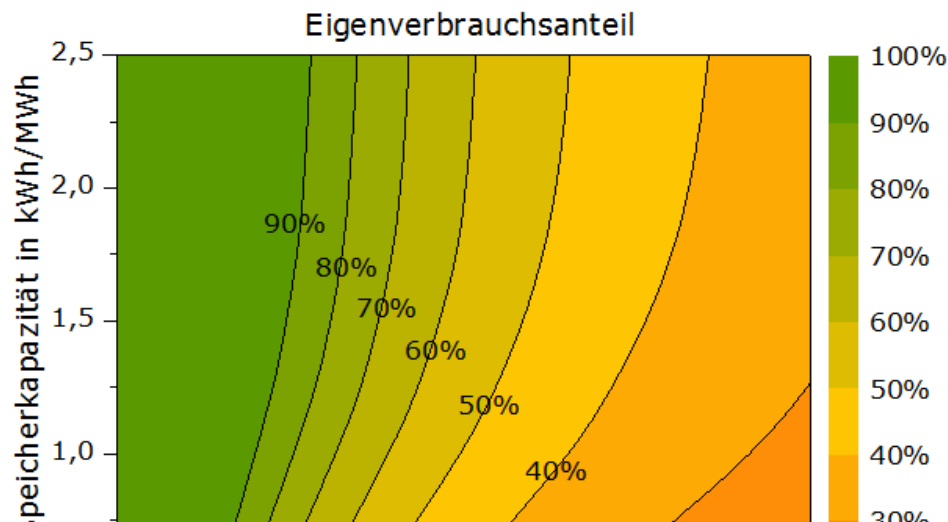
- Links**
- [Zeitschrift pv magazine](#)
 - [Original-Beitrag im pv magazine](#)
 - [pvspeicher.htw-berlin.de](#)

- Zum Thema**
- [Heizen mit PV-Strom - Chance für den Wärmemarkt](#)
 - [Solare Unabhängigkeitserklärung](#)
 - [Der unterschätzte Markt](#)
 - [Sonnenstrom selbst genutzt](#)

Twittern Recommend 94
G+1 4
Teilen 1
INFO

Die Kombination von PV-Systemen mit Batteriespeichern ermöglicht es, einen höheren Anteil der erzeugten PV-Energie vor Ort zu nutzen. Dadurch können Haushalte den Strombezug aus dem Netz und die damit verbundenen Ausgaben reduzieren. Ist die Errichtung eines PV-Speichersystems geplant, müssen Aussagen zur Systemauslegung getroffen werden. Wichtige Bewertungsgrößen hierzu sind der Eigenverbrauchsanteil und der Autarkiegrad. Der Eigenverbrauchsanteil gibt den Anteil der erzeugten PV-Energie an, der zeitgleich vor Ort verbraucht wird. Die PV-Leistung kann entweder zeitgleich durch die Last direkt verbraucht oder zur Batterieladung genutzt werden. Der sogenannte Autarkiegrad (Deckungsgrad) beschreibt den Anteil des Strombedarfs, der durch das PV-Speichersystem zeitgleich versorgt wird. Beide Bewertungsgrößen werden von der Batteriespeicher- und PV-Systemgröße beeinflusst. Auch der Strombedarf des Haushalts bestimmt die Höhe des Eigenverbrauchsanteils und Autarkiegrades. Durch Simulationsrechnungen wurden diese Zusammenhänge für ein typisches PV-System mit AC-gekoppeltem Lithium-Ionen-Speicher untersucht [1].

Abbildung 1 zeigt die jahresmittleren Eigenverbrauchsanteile und Autarkiegrade je nach Größe des PV-Speichersystems. Zusätzlich wurden die PV-Leistung und die nutzbare Speicherkapazität auf den Jahresstrombedarf normiert. Durch die Normierung können beide Bewertungsgrößen in Abhängigkeit des jährlichen Strombedarfs eines Haushalts abgeschätzt werden. Wie die Abbildung zeigt, sinkt mit zunehmender PV-Leistung der Eigenverbrauchsanteil, wohingegen der Autarkiegrad ansteigt. Durch einen zusätzlichen Batteriespeicher lassen sich beide Größen in der Regel erhöhen. Wird in einem Haushalt mit einem Jahresstrombedarf von 4 MWh (4.000 kWh) ein PV-System mit einer Leistung von 4 kWp installiert, entspricht dies einer spezifischen PV-Leistung von 1 kWp/MWh. Bei dieser Systemgröße können Einfamilienhaushalte im Jahresmittel einen Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad von jeweils rund 30 % erzielen.



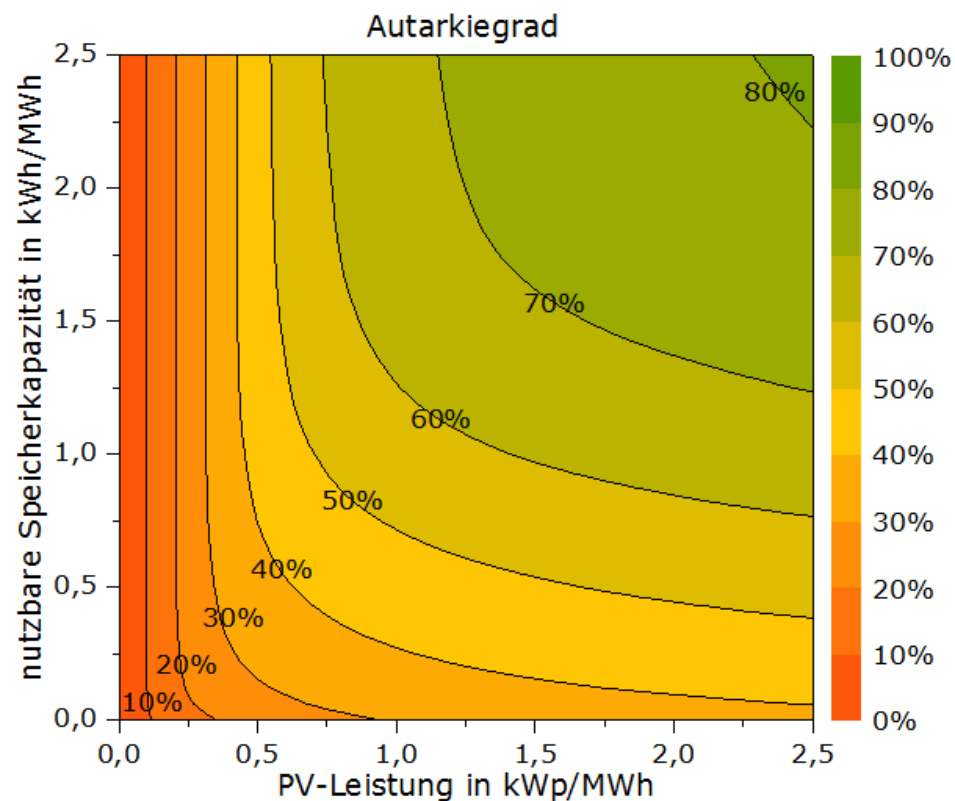
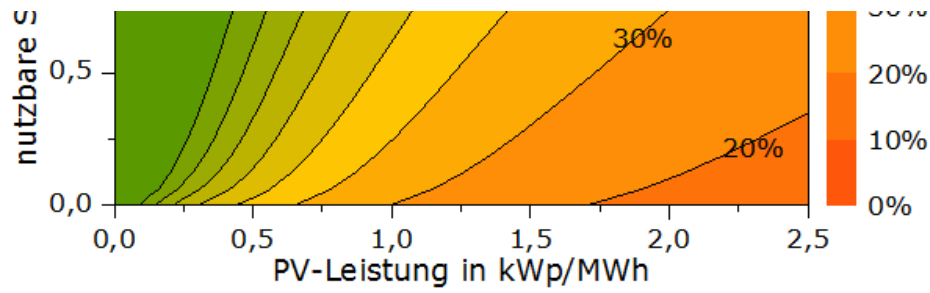


Abbildung 1: Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad in Abhängigkeit der nutzbaren Speicherkapazität und PV-Leistung, jeweils normiert auf den Jahresstrombedarf in MWh. Durch die Normierung lassen sich die Bewertungsgrößen für Haushalte je nach der Höhe des Jahresstrombedarfs abschätzen.

Wird zusätzlich ein Batteriespeicher mit einer nutzbaren Speicherkapazität von 1 kWh/MWh (zum Beispiel 4-kWh-Batteriespeicher bei einem Jahresstrombedarf von 4 MWh) installiert, kann der Eigenverbrauchsanteil auf 60 % und der Autarkiegrad auf 55 % gesteigert werden. Eine Vergrößerung der Speicherkapazität auf über 1,5 kWh/MWh würde den Eigenverbrauchsanteil und

Autarkiegrad nur noch wenig steigern. Dies ist darauf zurückzuführen, dass größere Batteriespeicher in der Nacht nicht vollständig entladen werden [2]. Um hohe Autarkiegrade zu erzielen, ist es aus energetischer Sicht sinnvoll, je 1 kWp PV-Leistung eine nutzbare Speicherkapazität von 1 kWh zu installieren. Allerdings ist mit steigendem Autarkiegrad dessen Vergrößerung mit zunehmendem Aufwand verbunden. Um den Autarkiegrad von 55 % auf 75 % zu steigern, muss sowohl die PV-Leistung auf 2 kWp/MWh als auch die Speicherkapazität auf 2 kWh/MWh verdoppelt werden. Aus dem Verlauf der Linien gleichen Autarkiegrades wird auch deutlich, dass eine nutzbare Speicherkapazität über 2 kWh pro kWp PV-Leistung keine Steigerung des Autarkiegrades zur Folge hat. Aus dieser energetischen Betrachtung können somit Grenzen der sinnvollen Dimensionierung von PV-Speichersystemen abgeleitet werden.

Basierend auf den vorangegangenen Ergebnissen erfolgt eine ökonomische Bewertung von PV-Speichersystemen, die alle mit der Stromversorgung in Verbindung stehenden Ausgaben und Einnahmen einbezieht. Als Bewertungsgröße dienen die mittleren Stromkosten eines Haushalts. Die mittleren Stromkosten entsprechen dem Preis, den der Haushalt für den gesamten Strombedarf während der Nutzungsdauer des PV-Speichersystems durchschnittlich zahlen muss. Die Erlöse aus der Vergütung der in das Netz eingespeisten PV-Energie werden dabei kostenmindernd betrachtet. Die Systemkonfiguration mit den geringsten mittleren Stromkosten entspricht der kostenoptimalen Dimensionierung.

Zur ökonomischen Bewertung von PV-Speichersystemen ist es erforderlich, verschiedene Annahmen und Prognosen zu treffen. Für das PV-System soll eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angenommen werden. Die kalendarische Lebensdauer des Batteriespeichers soll mit 20 Jahren und die Zykluslebensdauer mit 5.000 Zyklen berücksichtigt werden. Die jährlichen Betriebskosten des PV-Systems und Batteriespeichers für Wartung, Reparaturen und Versicherungsprämien werden mit durchschnittlich 1,5 % der jeweiligen Investitionskosten angesetzt. Der Wirtschaftlichkeitsberechnung liegt eine Kapitalverzinsung von 4 % zugrunde. Es wird unterstellt, dass die Kosten des PV-Speichersystems proportional zu dessen Größe sind. Die Abhängigkeit der spezifischen Batteriespeicher- und PV-Systemkosten von der Größe des Batteriespeichers und PV-Systems bleibt somit unberücksichtigt. Tabelle 1 zeigt ein Szenario zur zukünftigen Entwicklung der Kosten von PV-Speichersystemen sowie der Einspeisevergütung. Unabhängig vom Zeitpunkt soll angenommen werden, dass die Netzstrombezugskosten im Mittel während der Nutzungsdauer des PVS-peichersystems 34 ct/kWh (brutto) betragen.

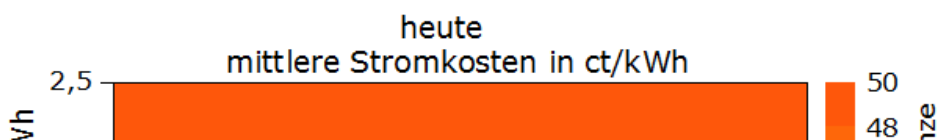
Tabelle 1: Szenario der zukünftigen Kostenentwicklung, das den Berechnungen zugrunde gelegt wurde.

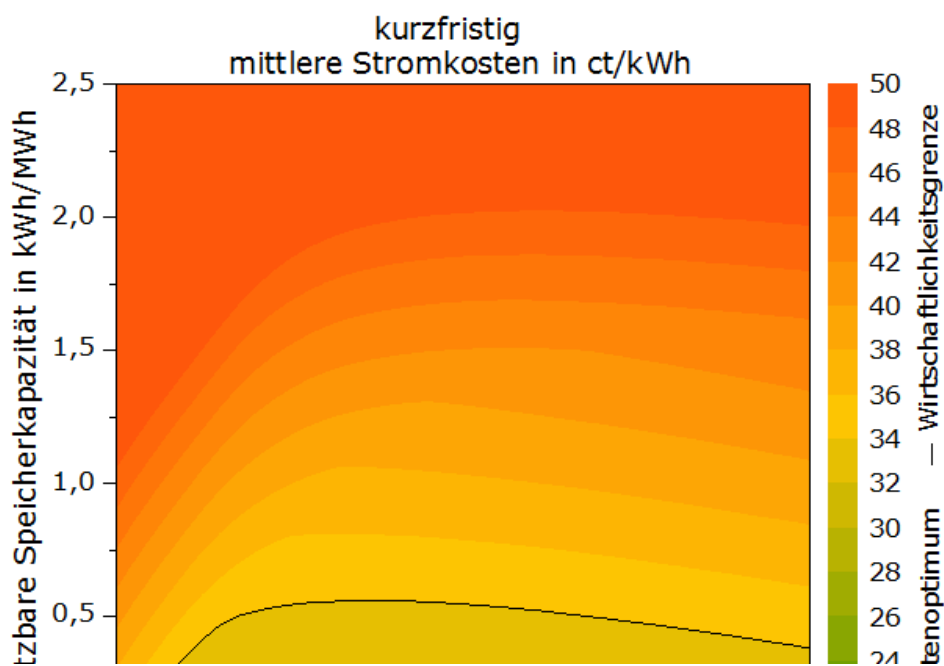
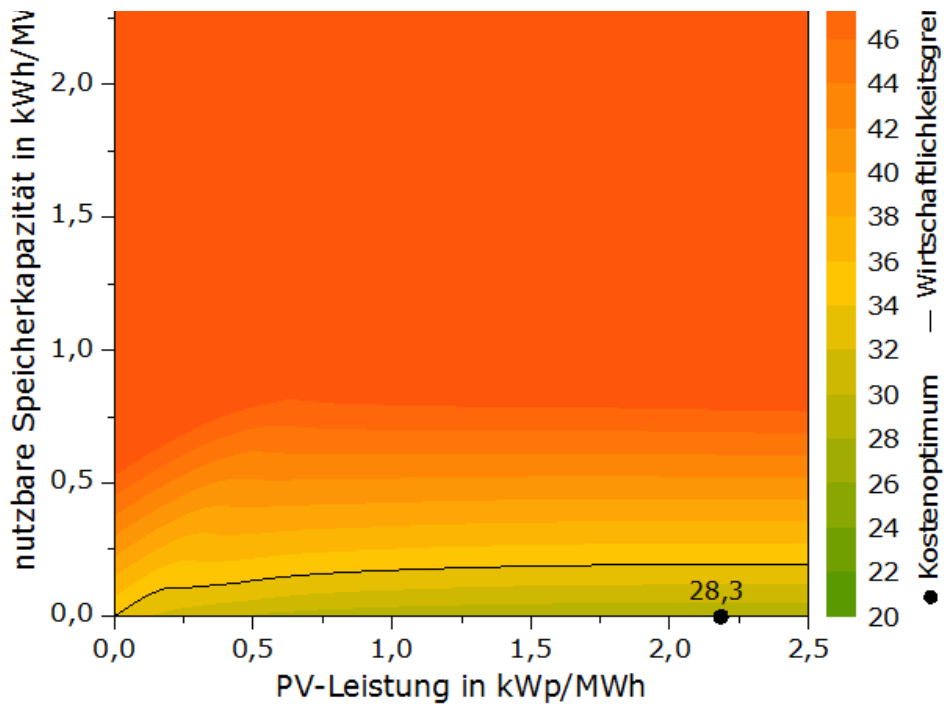
	heute	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
PV-Systemkosten in €/kWp (brutto)	1 800	1 500	1 200	1 000
Batteriespeicherkosten in €/kWh (brutto)	3 000	1 500	1 000	600
Einspeisevergütung in ct/kWh	15	11	6	2

Große PV-Systeme rechnen sich heute noch

Typische Kosten für PV-Systeme unter 10 kWp liegen gegenwärtig in der Größenordnung von 1.800 €/kWp (brutto) bei einer Netzeinspeisevergütung von 15 ct/kWh. Lithium-Batteriespeichersysteme sind für etwa 3.000 € (brutto) pro kWh nutzbarer Speicherkapazität zu erwerben. Allerdings sind die Preisunterschiede zwischen verschiedenen Systemen derzeit sehr hoch. Wird der Tilgungszuschuss des KfW-Programms zur Förderung von Batteriespeichersystemen in Anspruch genommen, lassen sich die Batteriespeicherkosten darüber hinaus reduzieren.

Unter Berücksichtigung der heutigen Kostensituation ergibt sich die in Abbildung 2 dargestellte Abhängigkeit der mittleren Stromkosten von der Größe der PV-Speichersysteme. Wird kein PV-Speichersystem installiert und der gesamte Strombedarf durch Strombezug aus dem Netz gedeckt, entsprechen die mittleren Stromkosten den mittleren Strombezugskosten in Höhe von 34 ct/kWh. Diese Stromkosten ergeben sich im Mittel über 20 Jahre ausgehend von einem Preis von 28 ct/kWh und einer jährlichen Strompreissteigerung von 2 % pro Jahr. Durch ein PV-System ohne Batteriespeicher lassen sich gegenwärtig die mittleren Stromkosten grundsätzlich senken, da die PV-Stromgestehungskosten unter den Strombezugskosten liegen. Begünstigt wird dies auch dadurch, dass die Einspeisevergütung noch in der Größenordnung der Stromgestehungskosten liegt. Daher können heute die geringsten mittleren Stromkosten mit vergleichsweise großen PV-Systemen erzielt werden. Bei einem Haushalt mit einem Jahresstrombedarf von 4 MWh liegt das Kostenoptimum daher bei einer PV-Leistung von rund 9 kWp (2,25 kWp/MWh). Wird zusätzlich zu dem PV-System ein Batteriespeicher installiert, steigen die mittleren Stromkosten bei den derzeitigen Batteriespeicherkosten stark an. Liegen die mittleren Stromkosten eines PV-Speichersystems unter den mittleren Strombezugskosten, ist ein wirtschaftlicher Betrieb der jeweiligen Systemkonfiguration bei der gewünschten Kapitalverzinsung möglich. Die mittleren Strombezugskosten von 34 ct/kWh entsprechen daher der Wirtschaftlichkeitsgrenze.





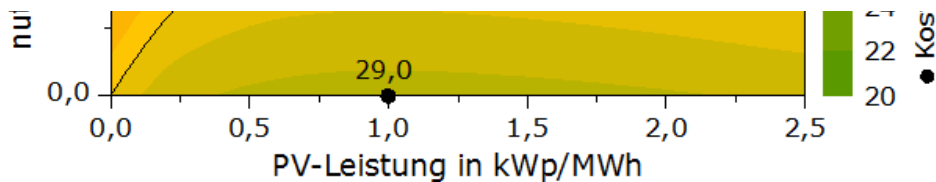


Abbildung 2: Wirtschaftliche Betrachtung Gegenwart und kurzfristiges Szenario. Die Farben geben die mittleren Stromkosten für 20 Jahre in Abhängigkeit von PV-Anlagengröße und nutzbarer Speicherkapazität an. Systemkosten, Batteriespeicherkosten und Einspeisevergütung wurden entsprechend der Szenarien in der Tabelle angenommen.

Rein rechnerisch wäre unter den aktuellen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Betrieb von PV-Systemen in Kombination mit sehr kleinen Batteriespeichern möglich. Wird keine Kapitalverzinsung erwartet, lassen sich trotz der derzeit hohen Batteriespeicherkosten auch kleine Speicher in Kombination mit größeren PV-Systemen wirtschaftlich betreiben. Der wirtschaftliche Betrieb dieser Systeme kann damit begründet werden, dass die Einnahmen aus der Netzeinspeisung von großen PV-Systemen zur Refinanzierung der Speicher beitragen. Der wirtschaftliche Betrieb von größeren Speichern ist auch unter Berücksichtigung von Tilgungszuschüssen bei den derzeitigen Batteriespeicherkosten nur unter optimistischeren Annahmen als bei den hier durchgeführten Untersuchungen möglich.

Kleine Batteriespeicher bereits kurzfristig attraktiv

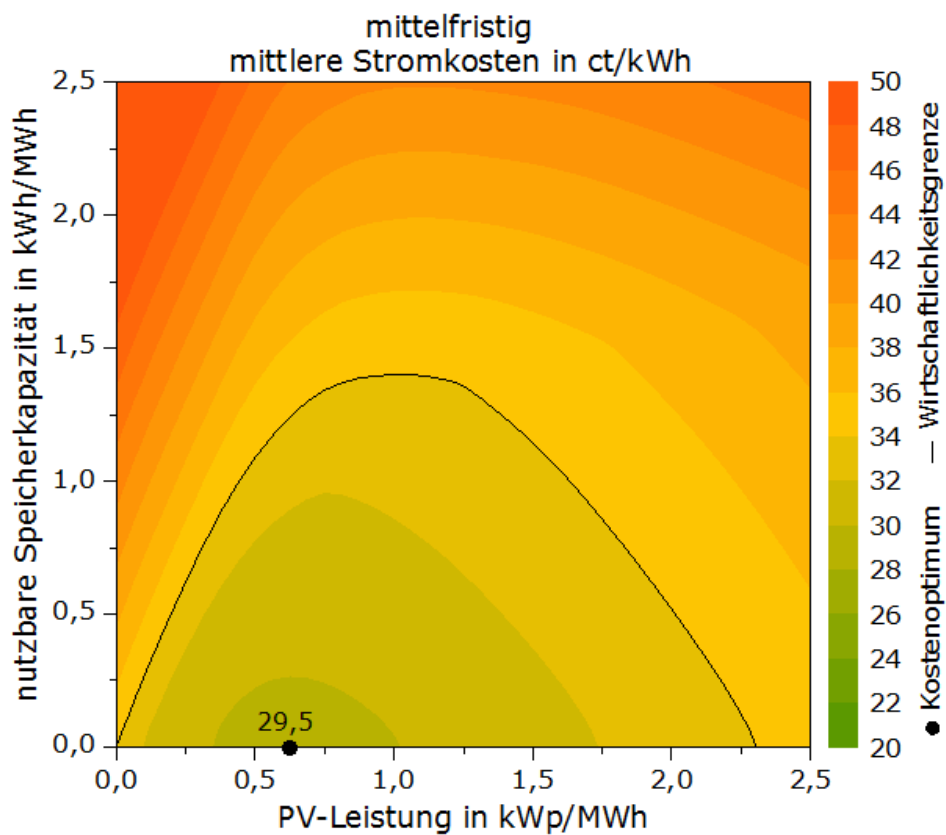
Die Einführung von industriell gefertigten Batteriespeichersystemen und ein zunehmender Preisdruck könnte eine deutliche Senkung der Speicherkosten hervorrufen. Kurzfristig sind daher Batteriespeicherkosten in Höhe von 1.500 €/kWh vorstellbar. Vermutlich wird die Reduktion der PV-Systemkosten im Gegensatz zu den vorangegangenen Jahren zukünftig deutlich geringer ausfallen. Daher ist kurzfristig nur eine moderate Senkung der PV-Systemkosten auf 1.500 €/kWp zu erwarten. Gleichzeitig muss damit gerechnet werden, dass die Degression der Einspeisevergütung in Zukunft deutlich stärker als die der PV-Systemkosten ausfallen wird. Daher wird bereits in

absehbarer Zeit die Einspeisevergütung unter den PV-Stromgestehungskosten liegen. Unter der Annahme, dass kurzfristig die Netzeinspeisung nur noch mit 11 ct/kWh vergütet wird, kommt es dazu, dass große PV-Systeme nicht mehr die geringsten mittleren Stromkosten ermöglichen (Abbildung 2). Da die Netzeinspeisung nur noch unzureichend vergütet wird, rechnen sich nun kleinere PV-Systeme mit höherem Eigenverbrauchsanteil eher als größere PV-Systeme mit geringerem Eigenverbrauchsanteil.

Bei der gegebenen Kostensituation liegt das ökonomische Optimum bei einer PV-Systemgröße von 1 kWp/MWh mit einem Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad von jeweils 30 %. Allerdings hat eine vom Kostenoptimum abweichende PV-Systemgröße nur einen geringfügigen Anstieg der mittleren Stromkosten zur Folge. Im Vergleich zur heutigen Kostensituation wird sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze kurzfristig zu größeren Speicherkapazitäten verlagern. Der wirtschaftliche Betrieb von PV-Speichersystemen mit einer Leistung von 1 kWp/MWh und einer nutzbaren Speicherkapazität von 0,5 kWh/MWh sollte daher bereits in kurzer Zeit machbar sein. Bei einem Jahresstrombedarf von 4 MWh entspricht dies einem 4-kWp-PV-System und einer nutzbaren Speicherkapazität von 2 kWh.

Größere Speicher mittelfristig rentabel

Da bereits kurzfristig der wirtschaftliche Betrieb von kleinen Batteriespeichern möglich sein wird, ist durch die zunehmende Verbreitung von Speichern mittelfristig mit einer weiteren Reduktion der Batteriespeicherkosten auf 1.000 €/kWh zu rechnen. Die PV-Systemkosten könnten dann in der Größenordnung von 1.200 €/kWp liegen. Die zunehmende Durchdringung der Photovoltaik in der Stromversorgung wird vermutlich zu einer stärkeren Degression der Einspeisevergütung für neue PV-Systeme führen. Daher soll angenommen werden, dass die Netzeinspeisung mittelfristig nur noch mit 6 ct/kWh vergütet wird. Die zunehmende Diskrepanz zwischen der Einspeisevergütung und den PV-Stromgestehungskosten wird zu einer weiteren Verkleinerung der kostenoptimalen PV-Systemgröße mit höheren Eigenverbrauchsanteilen führen. Auf Basis dieser Kostenannahmen ergeben sich mittelfristig die geringsten mittleren Stromkosten bei einer PV-Leistung von 0,6 kWp/MWh (Abbildung 3). Dadurch könnte ein Eigenverbrauchsanteil von 40 % und ein Autarkiegrad von 25 % erzielt werden. Allerdings ließe sich mittelfristig durch größere Batteriespeicher der Autarkiegrad zu geringen Mehrkosten deutlich steigern. Eine Verdopplung des Autarkiegrades auf 50 % wäre mit einer PV-Leistung von 1 kWp/MWh und einer nutzbaren Speicherkapazität von 0,75 kWh/MWh möglich. Dadurch würden gegenüber dem Kostenoptimum lediglich um rund 2 ct/kWh höhere mittlere Stromkosten entstehen. Auch größere PV-Systeme hätten nur einen geringen Anstieg der Kosten zur Folge. Dies zeigt auf, dass mittelfristig die Systemkonfiguration die mittleren Stromkosten über einen weiten Bereich nur wenig beeinflusst. Daher lassen sich bereits mittelfristig PV-Systeme mit größeren Batteriespeichern wirtschaftlich betreiben.



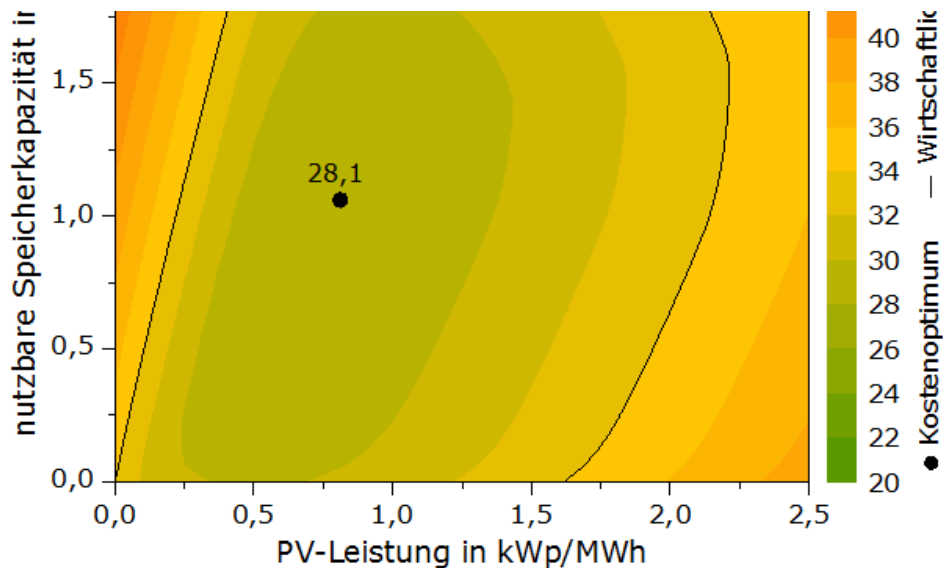


Abbildung 3: Mittelfristiges und langfristiges Szenario, wieder in Form der mittleren Stromkosten (siehe Abbildung 2). Im mittelfristigen Szenario sinken die PV-Systemkosten auf 1.200 €/kWp, die Batteriespeicherkosten auf 1.000 €/kWh, die Einspeisevergütung auf 6 ct/kWh. Im langfristigen Szenario sinken sie auf 1.000 €/kWp, 600 €/kWh, 2 ct/kWh.

PV-Systeme mit Speicher langfristig kostenoptimal

Als langfristig zu erwartende spezifische Kosten sollen für PV-Systeme 1.000 €/kWp und für Batteriespeicher 600 €/kWh angenommen werden. Nach Auslaufen der EEG-Förderung kann davon ausgegangen werden, dass die Netzeinspeisung nur noch zu Marktpreisen vergütet wird. Im Mittel wäre hier eine Einspeisevergütung von 2 ct/kWh durchaus realistisch. Die Einnahmen aus der Netzeinspeisung können dadurch kaum zur Refinanzierung der PV-Speichersysteme beitragen. Daher wird sich die Entwicklung zu Systemkonfigurationen mit hohen Eigenverbrauchsanteilen weiter verstärken, wie Abbildung 3 veranschaulicht. Daher können langfristig mit einem PV-Speichersystem geringere mittlere Stromkosten als mit einem PV-System ohne Speicher erzielt werden. Ein wirtschaftlicher Betrieb von größeren PV-Systemen ohne Speicher mit geringem Eigenverbrauchsanteil wird dann nicht mehr möglich sein.

Unter Berücksichtigung der langfristig zu erwartenden Kosten ergibt sich eine optimale Systemdimensionierung bei einer PV-Leistung von 0,8 kWp/MWh und einer nutzbaren Speicherkapazität von 1,1 kWh/MWh. Das ökonomische Optimum liegt dann bei einem Eigenverbrauchsanteil von 70 % und einem Autarkiegrad von 54 %. Allerdings weisen auch Systemkonfigurationen, die vom Kostenoptimum abweichen, nur unwesentlich höhere mittlere Stromkosten auf. Die Erhöhung der Speicherkapazität bei gleichzeitiger Vergrößerung der PV-Leistung hätte nur geringfügig höhere mittlere Stromkosten zur Folge. Gegenüber dem ökonomischen Optimum würde ein PV-Speichersystem mit einer Leistung von 1 kWp/MWh und einer Kapazität von 1,25 kWh/MWh bei einem Autarkiegrad von 60 % nur zu geringfügig höheren Stromkosten führen. Selbst ein PV-Speichersystem mit einer Größe von 1,5 kWp/MWh und 1,5 kWh/MWh bei einem Autarkiegrad von 70 % könnte wirtschaftlich betrieben werden. Der höhere Autarkiegrad und die geringere Abhängigkeit von möglichen Steigerungen der Strombezugskosten können durchaus die Mehrkosten von knapp 2 ct/kWh gegenüber der kostenoptimierten Auslegung rechtfertigen. Demzufolge sollten Systemkonfigurationen mit höherem Autarkiegrad und etwas höheren Kosten gegenüber dem ökonomischen Optimum bevorzugt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die kostenoptimale Systemdimensionierung einer Vielzahl von Einflussfaktoren unterworfen ist und daher stark in Abhängigkeit von der jeweiligen Kostensituation variiert. Da zum Zeitpunkt der Systemplanung die Kosten des Netzstrombezugs sowie der jährliche Strombedarf für die Zeit während der Nutzung des PV-Speichersystems nur prognostiziert werden können, kann auch die kostenoptimale Systemdimensionierung nur abgeschätzt werden.

Dennoch konnte gezeigt werden, dass die Kombination von PV-Systemen und Batteriespeichern langfristig finanziell vorteilhaft sein wird. Gelingt es, die Batteriespeicher- und PV-Systemkosten weiter zu senken, ist ein wirtschaftlicher Betrieb von PV-Speichersystemen daher auch bei geringer Einspeisevergütung möglich. Geht man langfristig davon aus, dass 1,5 kWp/MWh wirtschaftlich darstellbar sind, liegt das ökonomische Potenzial allein bei Einfamilienhäusern bei rund 90 GWh. Damit können diese Systeme der Energiewende neuen Schwung geben und einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Literatur

- [1] Weniger, J.; Quaschnig, V.: Begrenzung der Einspeiseleistung von netzgekoppelten PV-Systemen mit Batteriespeichern. 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein 2013
 [2] Weniger, J.; Tjaden, T.; Quaschnig, V.: Solare Unabhängigkeitserklärung. In: photovoltaik 10/2012, S. 50-54

Johannes Weniger, Volker Quaschnig, Tjarko Tjaden

Auch einen Klick wert:**Online-Artikel von Volker Quaschnig**

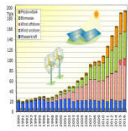
Eine Vielzahl an Artikeln behandelt aktuelle Themen der Energiepolitik, des Klimaschutzes und des Einsatzes erneuerbarer Energien. [mehr...](#)

**Interviews mit Volker Quaschnig**

In verschiedenen Print-, Radio- und TV-Interviews nimmt Volker Quaschnig Stellung zu aktuellen Fragen über die Energiewende und eine klimaverträgliche Energieversorgung. [mehr...](#)

**Fast schlimmer als Trump**

Mit Donald Trump wurde ein radikaler Leugner des Klimawandels als amerikanischer Präsident gewählt. Doch die deutsche Energiepolitik ist nicht viel besser. In der Photovoltaik wurden 80.000 Arbeitsplätze vernichtet und Deutschland hat kein funktionierendes Klimaschutzkonzept. [mehr...](#)

**Zuwachs der erneuerbaren Stromerzeugung stagniert**

Im Jahr 2016 deckten erneuerbare Energien rund ein Drittel des deutschen Stromverbrauchs. Ein windschwaches Jahr und ein politisch gebremster Zuwachs bei der Photovoltaik verhinderten eine spürbare Steigerung gegenüber dem Vorjahr. Die deutschen Klimaschutzziele verkommen damit zur Farce. [mehr...](#)

**Video: Wie viel Kohle spart ein Photovoltaikmodul?**

Kohlekraftwerke verursachen gut 40 Prozent der deutschen Kohlendioxidemissionen. Echter Klimaschutz geht also nur durch einen baldigen Kohleausstieg. Jedes Photovoltaikmodul verdrängt Kohlestrom und bringt uns dem Kohleausstieg näher. Dieses YouTube-Video geht der Frage nach, wie viel Kohle ein Photovoltaikmodul spart. Schätzt doch mal... [mehr...](#)

[▲ nach oben](#)

[Haftungsausschluss](#)
[Impressum](#)

