

Reaktionsvermögen von Solarstromspeichern

erschienen in pv magazine 02/2015, S.50-52 (Online-Langfassung)

PV-Speichersysteme: Inwiefern die zeitliche Trägheit der Speichersystemregelung den Energieaustausch zwischen dem Batteriespeicher und Netz beeinflusst, zeigen Untersuchungen der HTW Berlin.

Dass Eigenheimbesitzer zunehmend an der eigenen Stromversorgung interessiert sind, kommt auch der steigenden Verbreitung von PV-Systemen mit Batteriespeichern zugute. Die vorrangige Aufgabe solcher Batteriespeicher zur Eigenversorgung ist es, solare Überschüsse zu speichern. Die gespeicherte PV-Energie kann dann später zur Hausversorgung genutzt werden, wodurch sich der Strombezug aus dem Netz reduzieren lässt. Damit in einem Haushalt der Batteriespeicher seine Leistungsaufnahme und -abgabe an die jeweilige Situation anpassen kann, ist er auf Informationen zur aktuellen Energiebilanz im Haus angewiesen. Hierzu erfasst in der Regel am Hausanschluss ein Sensor die aktuellen Leistungswerte. Alternativ können die PV-Erzeugung und Haushaltslast getrennt voneinander gemessen werden, was jedoch mit einem höheren Messaufwand einhergeht.

Im Idealfall reagiert der Batteriespeicher ohne Zeitverzug auf Leistungsänderungen. Wird mehr Strom verbraucht als zeitgleich erzeugt, entlädt sich der Batteriespeicher mit der Differenz. Sind Überschüsse vorhanden, wird der Speicher mit der entsprechenden Leistung geladen. Die Regelung sorgt somit dafür, dass die Batterieleistung optimal an die aktuelle Leistungsbilanz angepasst ist. Dadurch findet in der Theorie kein abrechnungsrelevanter Energieaustausch zwischen dem Batteriespeicher und dem Netz statt, sofern die Summenleistung über alle drei Phasen berücksichtigt wird.

Speicher reagiert zeitverzögert

In der Praxis können jedoch durchaus mehrere Sekunden vergehen, bis ein Batteriespeicher auf Leistungsänderungen reagiert. Dadurch hinkt die Lade- und Entladeleistung des Batteriespeichers der geänderten Leistungsbilanz hinterher. Zum einen vergeht aufgrund der Messwerterfassung und Signalverarbeitung einige Zeit, bis der aktuelle Messwert der Systemregelung vorliegt. Zum anderen benötigt die Systemregelung eine gewisse Zeit, bis dem Batteriespeicher ein neuer Leistungswert vorgegeben und der Sollwert eingestellt wird. Diese Reaktionszeit wird von Regelungstechnikern auch als Totzeit bezeichnet. Da sowohl der Lastgang eines Haushalts als auch die Erzeugungskurve einer Photovoltaikanlage stark schwanken, kann die Be- und Entladung des Batteriespeichers nicht immer exakt an die aktuelle Leistungsbilanz angepasst werden. Dadurch wird der Speicher oftmals für kurze Zeit mit zu hoher oder zu geringer Leistung be- oder entladen. Sofern der Batteriespeicher direkt mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt ist, hat dies einen ungewollten Energieaustausch zwischen dem Netz und der Batterie zur Folge (Abbildung 1).

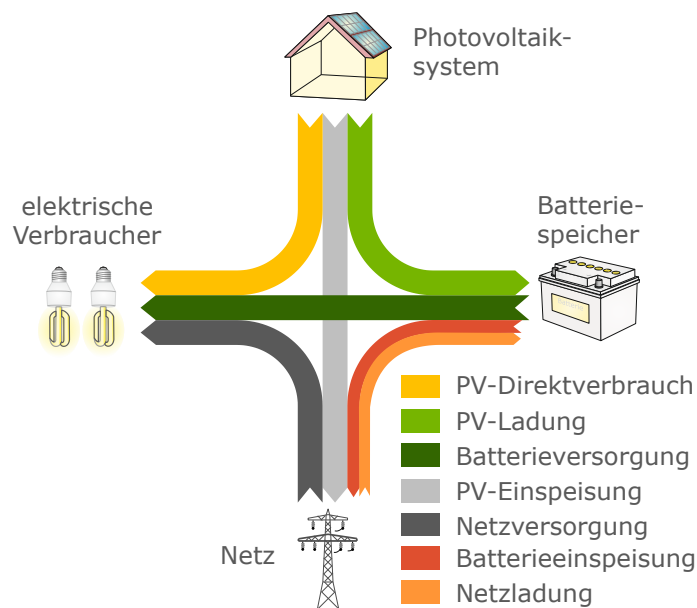


Abbildung 1 Energieflüsse in einem Haus mit PV-Speichersystem unter Berücksichtigung von Regelungsträgheiten. Im Idealfall findet kein Energieaustausch zwischen dem Batteriespeicher und Netz statt. Aufgrund der zeitlichen Trägheit der Regelung lässt sich dies in der Praxis oftmals nicht vermeiden.

Zum besseren Verständnis der resultierenden Energieflüsse ist es hilfreich, den zeitlichen Verlauf der Leistungsbilanz sowie der Batterieleistung näher zu betrachten. Die Auswirkungen der Regelungsträgheit lassen sich anhand des in Abbildung 2 dargestellten theoretischen Beispiels erläutern. Zu sehen ist der Verlauf der sogenannten Differenzleistung sowie der Batterieleistung über sieben Zeitschritte. In den einzelnen Zeitschritten wird die jeweilige Leistung als konstant angenommen. Die Differenzleistung entspricht dabei dem Leistungsunterschied zwischen der PV-Erzeugung und Last. Dementsprechend nimmt die Differenzleistung positive Werte an, wenn mehr Solarstrom erzeugt als im Haus verbraucht wird. Unterschreitet die PV-Leistung den Verbrauch, ergeben sich für die Differenzleistung negative Werte. Des Weiteren ist der Verlauf der Batterieleistung abgebildet, der sich bei einer Reaktionszeit von der Länge eines Zeitschritts ergibt. Je nachdem ob die Batterieleistung positiv oder negativ ist, wird der Speicher be- oder entladen.

Speicherentladung in das Netz

Wie sich aus Abbildung 2 ablesen lässt, liegt im ersten Zeitschritt ein Defizit von -1 kW vor, das durch Strombezug aus dem Netz gedeckt wird. Im darauffolgenden Zeitschritt ist der Leistungsbedarf bereits doppelt so hoch. Da der Speicher aufgrund der angesetzten Reaktionszeit auf den Messwert im ersten Zeitschritt reagiert, wird der Speicher nur mit -1 kW entladen. Somit muss der verbleibende Bedarf durch das Netz bereitgestellt werden. Im dritten Zeitschritt beträgt die Differenzleistung nur noch -1 kW. Der Speicher entlädt sich jedoch mit

-2 kW, da die Differenzleistung im vorherigen Zeitschritt diesen Wert annahm. Die erhöhte Batterieentladung wird durch das Netz aufgenommen. Auch im vierten Zeitschritt entlädt sich der Batteriespeicher in das Netz, obwohl die Differenzleistung bereits positiv ist und Überschüsse vorliegen. Im Anschluss an den Wechsel von negativer zu positiver Differenzleistung speisen daher sowohl das PV-System als auch der Batteriespeicher in das Netz ein. Im darauffolgenden Zeitschritt wird der Speicher bereits geladen, wobei nicht die gesamten Überschüsse gespeichert werden.

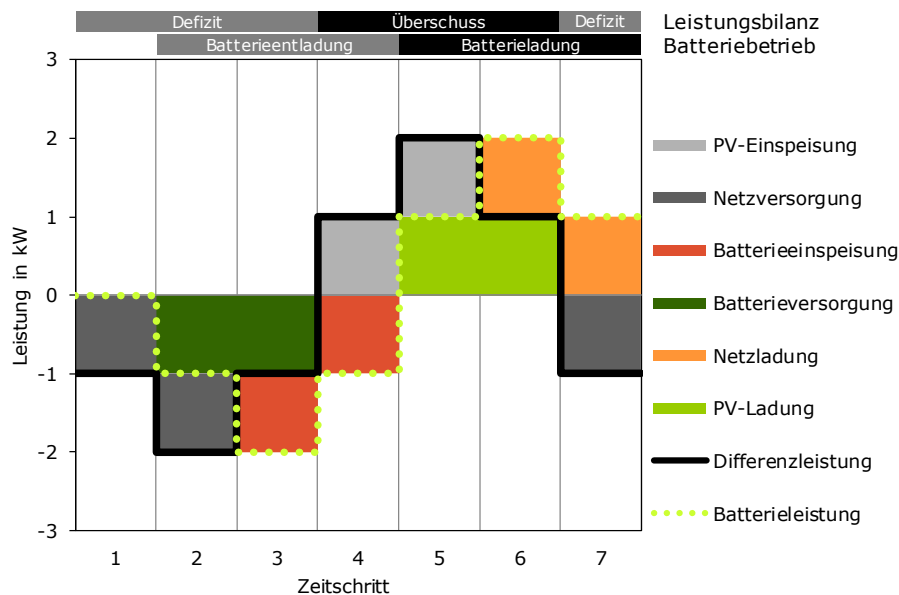


Abbildung 2 Theoretischer Verlauf der Energieflüsse in einem Haus mit PV-Speichersystem. Die Batterieleistung ist aufgrund ihrer Reaktionszeit um einen Zeitschritt zur Differenzleistung (PV-Leistung abzüglich Last) versetzt. Je nach Leistungssituation ist die Batterieleistung zu hoch oder zu niedrig, weshalb es zur Netzeinspeisung des Batteriespeichers sowie zur Batterieladung mit Netzstrom kommt.

Speicherladung aus dem Netz

Die Reduktion der Differenzleistung vom fünften auf den sechsten Zeitschritt hat zur Folge, dass die Batterieladeleistung die vorhandene überschüssige Leistung übersteigt. Zur Deckung der Ladeleistung muss der fehlende Betrag aus dem Netz bezogen werden. Dies ist auch der Fall, wenn wie im siebten Zeitschritt bereits wieder eine negative Differenzleistung resultiert. Sowohl der Batteriespeicher als auch der Lastbedarf werden dann durch das Netz versorgt. Aus diesem theoretischen Beispiel kann man somit die unterschiedlichen Leistungsflusssituationen ableiten, die aufgrund der Regelungsträgheiten auftreten.

Um den resultierenden Energieaustausch zwischen dem Netz und dem Batteriespeicher näher zu bestimmen, wurde das Systemverhalten eines AC-gekoppelten PV-Speichersystems in einsekündiger Auflösung über ein gesamtes Jahr simuliert. Dabei wurde der Einfluss unterschiedlicher Reaktionszeiten für eine typische Systemkonfiguration mit einer PV-Nennleistung von 5 kWp sowie einer nutzbaren Speicherkapazität von 5 kWh für einen Haushalt mit einem Strombedarf von 5000 kWh pro Jahr untersucht.

Leistungssprünge durch Wolkenzug und taktende Verbraucher

In Abbildung 3 (links) ist das Ladeverhalten des simulierten PV-Speichersystems bei einer angenommenen Reaktionszeit von 5 s während eines Zeitraums mit stark schwankender Differenzleistung zu sehen. Ursache für diese Leistungsfluktuationen sind schnelle Änderungen der Leistungsabgabe des PV-Systems aufgrund durchziehender Wolken. Da der Batteriespeicher die Ladeleistung nur zeitversetzt anpasst, wird er zum Teil mit Netzstrom geladen. Gegenüber einer idealen Systemregelung kann demzufolge also weniger überschüssige PV-Energie gespeichert werden.

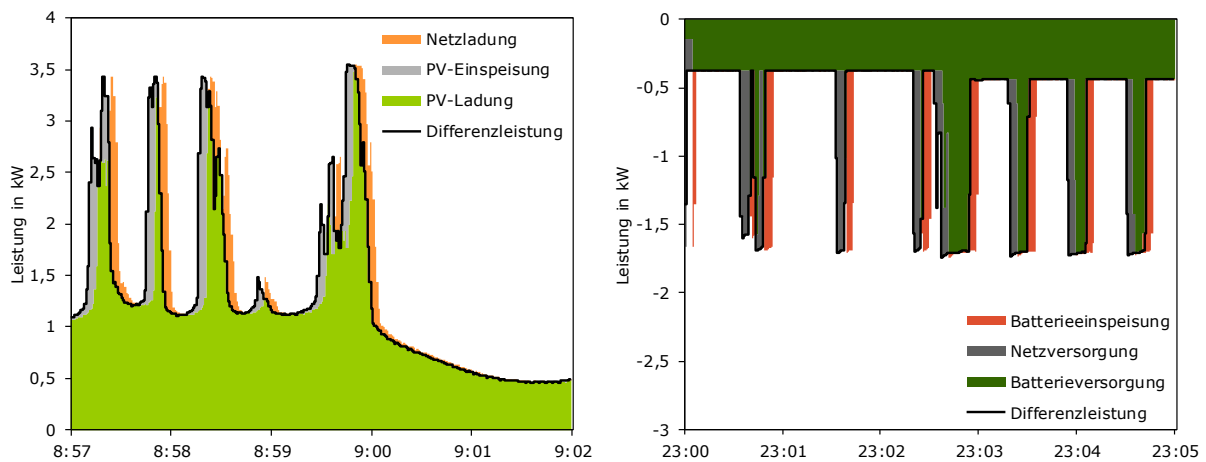


Abbildung 3 Exemplarischer Tagesausschnitt während der Batterieladung (links) und Batterieentladung (rechts) eines PV-Speichersystems mit einer Reaktionszeit von 5 s. Während der Ladung wird nach Einbruch der PV-Leistung der Batteriespeicher kurzzeitig aus dem Netz geladen. Dagegen sorgt eine Verbrauchsreduktion während der Entladung für eine kurzzeitige Netzeinspeisung des Batteriespeichers.

Im Vergleich dazu ist in Abbildung 3 (rechts) das Entladeverhalten des betrachteten Systems für eine Situation mit kurzzeitigen Lastspitzen zu sehen. Solche Lastsprünge können durch die Nutzung unterschiedlicher Haushaltsgeräte oder taktender Verbraucher wie Kochfelder hervorgerufen werden. Der Batteriespeicher mit 5 s Reaktionszeit ist jedoch nicht in der Lage, diesen schnellen Lastfluktuationen durch Anpassung der Entladeleistung umgehend zu folgen. Demzufolge trägt die Batterieentladung in das Netz nicht zur Deckung der Last im Haus bei. Somit kann nicht die gesamte entladene Energiemenge zur Reduktion des Netzstrombezugs genutzt werden.

Anstieg des Netzbezugs und der Netzeinspeisung

Welchen Einfluss die zeitverzögerte Ladung und Entladung des Batteriespeichers auf die jährliche Energiebilanz des Beispielsystems hat, wurde für Reaktionszeiten von bis zu 10 s durch Simulationsrechnungen bestimmt. In Abbildung 4 ist die Zunahme der in das Netz eingespeisten sowie aus dem Netz bezogenen Energiemenge in Abhängigkeit der Reaktionszeit aufgetragen. Als Referenz dienen die Simulationsergebnisse eines ideal regelnden Sys-

tems ohne zeitliche Trägheit. In diesem Fall beträgt der Netzbezug zur Lastversorgung 2220 kWh pro Jahr, die Netzeinspeisung des PV-Systems 2240 kWh pro Jahr.

Wie erwartet nehmen mit steigender Reaktionszeit sowohl die Netzeinspeisung als auch der Netzbezug zu. Auffällig ist, dass die Batterieeinspeisung in das Netz größer als die Batterieladung aus dem Netz ausfällt. Dies lässt sich zum einen mit den stärkeren Fluktuationen der Last gegenüber den geringeren PV-Leistungsschwankungen begründen. Zum anderen wird der Batteriespeicher in der Nacht oftmals länger entladen, als am Tag mit überschüssiger PV-Leistung geladen. Dadurch treten Anpassungsfehler während der Entladung häufiger auf. Aus Abbildung 4 ist ebenfalls zu erkennen, dass mit steigender Reaktionszeit mehr PV-Energie in das Netz eingespeist wird. Zu erklären ist dies durch die Ladung der Batterie aus dem Netz, wodurch weniger PV-Energie gespeichert und somit die PV-Einspeisung höher ausfällt. Dagegen hat die Entladung des Batteriespeichers in das Netz im gleichen Maße einen Anstieg des Netzbezugs zur Lastversorgung zur Folge.

Bei einer Reaktionszeit von 5 s summiert sich die Zunahme der Netzeinspeisung sowie des Netzbezugs im betrachteten Fall auf jeweils 90 kWh pro Jahr. Reagiert der Batteriespeicher um 10 s verzögert, sind es bereits rund 140 kWh. Zusätzlich kann in der Praxis die begrenzte Genauigkeit oder etwaige Mittelwertbildung der Messwerterfassung zusätzliche Fehlanpassungen und somit eine weitere Steigerung des Netzaustauschs zur Folge haben.

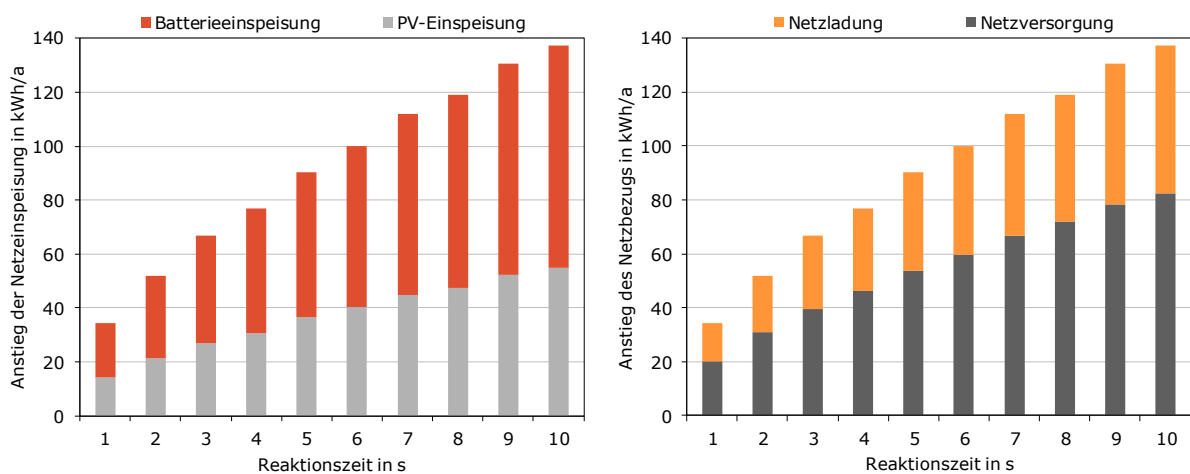


Abbildung 4 Zunahme der jährlichen Netzeinspeisung (links) und des jährlichen Netzbezugs (rechts) als Funktion der Reaktionszeit im Vergleich zum idealen Regelverhalten ohne zeitliche Trägheit. Die Netzeinspeisung und der Netzbezug sind umso höher, je größer die Reaktionszeit ist. Während die höhere Einspeisung überwiegend durch den Batteriespeicher verursacht wird, trägt der gestiegene Netzbezug weitgehend zur Versorgung der Haushaltslast bei.

Kurze Reaktionszeiten sind finanziell vorteilhaft

Bewertet man den gestiegenen Energieaustausch mit dem Netz ökonomisch, lassen sich die finanziellen Auswirkungen einer trägeren Systemregelung bestimmen. Wird die Einspeisevergütung mit 12 ct/kWh sowie der Strombezugspreis mit 28 ct/kWh angesetzt, ergeben sich bei einer Reaktionszeit von 5 s finanzielle Verluste von etwa 15 € pro Jahr. Hochgerechnet auf eine 20-jährige Nutzungsdauer summieren sich die erhöhten Ausgaben auf etwa 300 €.

Der finanzielle Nachteil durch den erhöhten Strombezug kann durch die gestiegene Netzeinspeisung zum Teil aufgehoben werden. Würde die Einspeisung jedoch nicht vergütet werden, wären es über 20 Jahre daher sogar 500 €. Je nach Investitionskosten kann dies den erhöhten technischen Aufwand für eine schnelle Messwerterfassung und Systemregelung rechtfertigen.

Es bleibt festzuhalten, dass aus technischer Sicht eine schnelle Anpassung der Batterieleistung an die jeweils vorherrschende Leistungssituation vorteilhaft ist. Der ökonomische Vorteil einer schnellen Messwerterfassung und Systemregelung kann in einem Zeitraum von 20 Jahren mehrere hundert Euro betragen. Daher sollte man bei der Entwicklung, aber auch beim Vertrieb von PV-Speichersystemen die Regelungsträgheiten nicht außer Acht lassen. Nur so kann das Vertrauen in die Technik von Solarstromspeichern gestärkt und somit deren Verbreitung weiter vorangetrieben werden.

Autoren

Johannes Weniger, Tjarko Tjaden, Volker Quaschnig

Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin



<http://pvspeicher.htw-berlin.de>