

# Nachhaltige Entwicklung dezentraler Solarstromspeicher aus wissenschaftlicher Sicht

■ Ergebnisse der Begleitforschung



Nachhaltige Entwicklung dezentraler Solarstromspeicher  
aus wissenschaftlicher Sicht

### Autoren

Kai-Philipp Kairies  
Dirk Magnor  
Julia Badeda  
Dirk Uwe Sauer

© 2015 Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen

### Internet

<http://www.speichermonitoring.de>

### Förderung

Das vorliegende Dokument entstand im Rahmen des Forschungsvorhabens "Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher (WMEP PV-Speicher)", das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Technische Rahmenbedingungen geförderter PV-Speicher

## 1.1 Ziel und Umfang des Dokuments

Das vorliegende Dokument stellt eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung zur Entwicklung des Förderprogramms für dezentrale Solarstromspeicher dar. Es soll damit eine Ergänzung zum veröffentlichten Jahresbericht (verfügbar unter [www.speichermonitoring.de](http://www.speichermonitoring.de)) darstellen und die aus wissenschaftlicher bzw. technischer Sicht wesentlichen Aspekte einer möglichen Fortführung des KfW-Förderprogramms Erneuerbare Energien 'Speicher' aufgreifen und kondensieren. Um den Umfang des Dokuments überschaubar zu halten, werden Ergebnisse und Schlussfolgerungen durchweg zusammenfassend dargestellt. Unabhängig von einer tatsächlichen Fortführung des Förderprogramms können die genannten Punkte als Diskussionsanstoß einer zukünftigen Neugestaltung der allgemeinen Netzanschlussregeln für dezentrale Speichersysteme gesehen werden.

## 1.2 Über die Autoren

Im Rahmen des Projektes *Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher (WMEP PV-Speicher)* übernimmt das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) an der RWTH Aachen die wissenschaftliche Begleitforschung zum Förderprogramm für dezentrale und stationäre Batteriespeicher. Das Monitoring umfasst dabei die in den *Richtlinien zur Förderung von stationären und dezentralen Batteriespeichersystemen zur Nutzung in Verbindung mit Photovoltaikanlagen*, Abschnitt 3.2, festgelegten Schritte zur Evaluierung des Förderprogramms. Darüber hinaus werden im Rahmen des sogenannten Intensiv-Monitorings in bis zu zwanzig Feldversuchen hochauflösende Messungen an geförderten Solarstromspeichern (PV-Speichern) vorgenommen um detaillierte Informationen über den heutigen Stand von Betriebsstrategien, Netzurückwirkung, Effizienzen, Batteriealterung sowie die Potentiale für bidirektionale Netzdienstleistungen unter realistischen Bedingungen auszuwerten.

Über den Verlauf des Projektes WMEP PV-Speicher hinaus beschäftigt sich das ISEA in einer eigenen interdisziplinären Arbeitsgruppe intensiv mit der Thematik netzgekoppelter Solarstromspeicher. In diesem Rahmen entwickelt und prüft das Institut Systemhardware, Batteriezellen und -module sowie Energiemanagementsysteme, ermittelt die Netzauswirkungen von Speichern in der Verteilnetzebene vergleichend mit alternativen Maßnahmen der Systemintegration (z.B. Netzausbau, DSM, Abregelung) und führt privat- sowie volkswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsberechnungen durch. Die stetige Kooperation mit zahlreichen internationalen Forschungs- und Industriepartnern sowie eine umfangreiche wissenschaftliche Vernetzung auf Konferenzen, Messen und in Gremien stellen eine kontinuierliche Weiterentwicklung des bestehenden Know-Hows sicher.

## 2 Entwicklung der technischen Rahmenbedingungen geförderter PV-Speicher

**>> Die Reduzierung der maximalen Einspeiseleistung sollte mittelfristig dynamisch durch den Netzbetreiber angepasst werden können.**

Dezentrale Solarstromspeicher können durch ihre einspeisevermindernde Wirkung die Verteilnetze signifikant entlasten. Zurzeit dürfen staatlich geförderte PV-Speicher-Kombinationen maximal 60% der Nennleistung ihrer PV-Anlage in das Stromnetz einspeisen. Dies stellt sicher, dass die Verteilnetze insbesondere zu Zeiten hoher solarer Einstrahlung nicht übermäßig belastet werden. Da die tatsächliche Belastung der Verteilnetze jedoch neben der Einspeisung von Strom aus Photovoltaikanlagen von zahlreichen weiteren Faktoren beeinflusst wird, ist eine generelle Abregelung der Einspeisung nicht immer zwingend notwendig. Es sollte daher mittelfristig eine dynamische, netzpunkt- und netzzustandsabhängige Regulierung der maximalen Einspeiseleistung durch die Netzbetreiber angestrebt werden. So kann auch bei einem hohen Anteil dezentraler erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung

sichergestellt werden, dass nur dann PV-Strom abgeregelt wird, wenn die Abregelung einen unmittelbaren Netznutzen aufweist. Entsprechende Kommunikationsmittel sind bereits heute technisch verfügbar. Um ein dynamisches System nachhaltig betreiben zu können und einseitige Belastungen zu vermeiden, werden zwei Grenzen der dynamischen Einspeisereduzierung vorgeschlagen, innerhalb derer ein Netzbetreiber seine Netze betreiben kann:

- **Eine obere Grenze der maximalen Einspeisereduzierung** sollte zum Schutz der Betreiber von PV-Speichern auf 40% der Nennleistung der PV-Anlage gelegt werden. Dies ist die Grenze bei der ein nach aktuellem Stand der Technik ausgelegter PV-Speicher bei geeigneter Betriebsstrategie dauerhaft weniger als 5% Abregelungsverluste gegenüber einem Betrieb ohne Abregelung hinnehmen muss. Die tatsächlichen Verluste werden dabei geringer ausfallen, da die Abregelung nicht durchgängig angewendet werden wird. Die auftretenden Energieverluste werden durch die zurzeit geltenden Fördersätze mehr als kompensiert.
- Eine **untere Grenze der maximalen Einspeisereduzierung** sollte weiterhin bei 60% der Nennleistung der PV-Anlage verbleiben. Dies ist bereits mit heute verfügbaren Betriebsstrategien ohne nennenswerte Energieverluste für den Betreiber des PV-Speichers realisierbar und deckt sich mit den bisherigen Anforderungen des Förderprogramms. Für den Netzbetreiber erleichtert eine untere Grenze der maximalen Einspeisung die Kalkulation der erwarteten Netzzustände, da sie die maximal eingespeiste PV-Leistung dauerhaft und verlässlich begrenzt.

**>> Alternativ zu einem dynamisch betriebenen System kann eine generelle Reduzierung der maximalen Einspeiseleistung der PV-Anlagen auf 40% umgesetzt werden.**

Dies reduziert einerseits den Regelungsaufwand des Netzbetreibers; es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass eine zu restriktive Reduzierung der maximalen Einspeiseleistung die Attraktivität des Förderprogramms (oder von

Solarstromspeichern im Allgemeinen) bei potentiellen Käufern schmälert, was wiederum den volkswirtschaftlichen Gesamtnutzen verringert. Eine Reduzierung der maximalen Einspeiseleistung auf 40% erscheint hier als belastbarer Kompromiss.

**>> Die Zeitwertersatzgarantie geförderter Batteriespeicher sollte auf zehn Jahre erhöht werden.**

Hohe Batterielebensdauern sind eine zentrale Anforderung um die wirtschaftliche und ökologische Nachhaltigkeit der geförderten Speichersysteme langfristig zu gewährleisten. Da PV-Anlagen heutzutage auf eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren ausgelegt werden ist es naheliegend, auch Speicher für einen sicheren Betrieb von mindestens zehn Jahren auszulegen. Bei einer durchschnittlichen Anzahl von jährlich etwa 250 Lade- / Entladezyklen eines PV-Speichers in Deutschland entspricht dies auf eine zehnjährige Lebensdauer betrachtet einer benötigten Zyklfestigkeit von insgesamt 2.500 Zyklen. Aus technischer Sicht ist eine Lebensdauer von zehn Jahren bzw. 2.500 Zyklen bereits heute mit den meisten am Markt vertretenen Batterietypen möglich:

- Hersteller von Speichersystemen mit **Lithium-Ionen Batterien** bewerben aktuell Lebensdauern von z.T. mehr als 15 Jahren kalendarischer Lebensdauer bzw. 4.000-5.000 äquivalenten Vollzyklen. Für diese Systeme sollte nach eigener Produktwerbung eine Zeitwertersatzgarantie von zehn Jahren keinen negativen Einfluss haben.
- Auch Hersteller von Speichersystemen mit **Blei-Säure Batterien** bewerben zum Teil bereits Lebensdauern von über 3.000 Zyklen bei einer vorgegebenen Zykltiefe von in der Regel 50-60 % oder bieten unkomplizierte Batteriewechsel zu günstigen Festpreisen an.

Eine Erhöhung der Zeitwertersatzgarantien würde die Nachhaltigkeit von PV-Speichern betonen und so auch das Vertrauen der Verbraucher in die Technologie stärken. Darüber hinaus wird so der kontinuierlichen Entwicklung der Technologie Rechnung getragen.

# Einschätzung des Nutzens einer Fortführung der Förderung

## >> Dezentrale Speicher können durch Wirkleistungsregelung an der Frequenzhaltung des Stromnetzes beteiligt werden

Die vermehrte Durchdringung des deutschen Stromsystems mit erneuerbaren Energien macht es notwendig, diese mittelfristig auch in höherem Maß an der Aufrechterhaltung der Systemstabilität zu beteiligen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass dezentrale Speicher das technologische Potential aufweisen, sowohl Momentanreserve als auch Primärregelleistung bereitzustellen. Eine verpflichtende, kennlinienbasierte Unterstützung des Stromnetzes würde dabei einen volkswirtschaftlichen Gegenwert für die ausgezahlte Förderung darstellen.

Die technische Umsetzung dieser Maßnahmen kann analog zur verpflichtenden Bereitstellung von Blindleistung bei PV-Wechselrichtern erfolgen. Durch lokales Messen der Netzfrequenz wird dann anhand der definierten Kennlinie durch den Speicher positive oder negative Wirkleistung bereitgestellt. Durch die im Rahmen des Förderprogramms bereits etablierte Möglichkeit der Fernparametrierung der Speichersysteme können geeignete Verfahren dabei zunächst schrittweise implementiert und unter realistischen Bedingungen getestet werden. Über geeignete Abrechnungs- bzw. Regelungsverfahren kann sichergestellt werden, dass die im Verlauf eines Monats eingespeisten und bezogenen zusätzlichen Strommengen keine Mehrbelastung für den Speicherbetreiber darstellen.

Der Einfluss einer erhöhten Anzahl frequenzstabilisierender dezentraler Speicher auf den bestehenden Regelenenergiemarkt ist als gering einzuschätzen:

- Die Bereitstellung von Momentanreserve wird zurzeit nicht gehandelt, sondern im Wesentlichen durch die rotierenden Massen konventioneller Kraftwerke bereitgestellt. Die Implementierung einer geeigneten Frequenzunterstützung ist somit regulatorisch unproblematisch. Marktübliche Regelungsstrategien der eingesetzten Batteriewechselrichter sind derzeit allerdings tendenziell

zu langsam ausgelegt.

- Die Bereitstellung von Primärregelleistung wird zurzeit von Kraftwerks- oder Speicherbetreibern an der Strombörse vermarktet. Eine kostenfreie Bereitstellung von Primärregelleistung durch dezentrale Speicher würde den Bedarf an gehandelter Regelleistung qualitativ gesehen verkleinern. Der tatsächliche Einfluss auf den Handel, der durch die Bereitstellung von Primärregelleistung zu erwarten ist, ist jedoch als gering einzuschätzen: Selbst bei einer Menge von 50.000 zusätzlichen geförderten dezentralen Speichern in Deutschland, die jeweils mit bis zu 500 W an der Primärregelung beteiligt werden, würde ein Anteil von nur ca. 4% des derzeit in Deutschland ausgeschriebenen Primärregelleistungsbedarfs von ca. 600 MW gedeckt.

## 3 Einschätzung des Nutzens einer möglichen Fortführung des Förderprogramms aus wissenschaftlicher Sicht

>> Eine Fortführung der Förderung von dezentralen Solarstromspeichern unter erweiterten technischen Anforderungen stellt eine geeignete Maßnahme zur verbesserten Integration dezentraler Speicher in das deutsche Energiesystem dar.

Dezentrale PV-Speichersysteme werden sich mittelfristig als ökonomisch selbsttragender Markt für Batteriespeicher im Stromnetz etablieren. Die dadurch entstehenden Speicherkapazitäten in der Verteilnetzebene bieten **bei geeigneter Betriebsweise** ein signifikantes Potenzial zur verbesserten Integration von dezentral erzeugtem Solarstrom und können durch vermiedenen Netzausbau und bi-direktionale Netzdienstleistungen einen hohen volkswirtschaftlichen Nutzen erbringen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine klare Definition des netzdienlichen Betriebs sowie geeignete Anreize um diesen in möglichst allen in Deutschland installierten PV-Speichern umzusetzen.

Eine Fortsetzung der Förderung unter erweiterten technischen Anforderungen erscheint hier einen schlüssigen Ansatz darzustellen. Bei Anwendung der in diesem Dokument vorgeschlagenen Rahmenbedingungen kann die Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Solarstrom gegenüber dem Stand ohne technische Restriktionen um einen Faktor von bis zu 2,5 erhöht werden. Der größte Teil der Investitionen wird dabei von Privatpersonen finanziert, die ihre Speicher primär zur Eigenverbrauchsoptimierung einsetzen und damit marktgetrieben handeln. Die geringe Minderung des Eigenverbrauchs, die ein netzdienlicher Betrieb der Speicher mit sich bringt, wird durch die Förderung kompensiert, so dass der volkswirtschaftliche Nutzen des Speichers ohne wirtschaftliche Nachteile für den Betreiber optimiert wird. Darüber hinaus erhöht eine signifikante Anzahl geförderter (netzdienlicher) PV-Speicher den Innovationsdruck zur nachhaltigen Entwicklung der Technologie insgesamt und beeinflusst somit den gesamten Markt für dezentrale Speicher langfristig positiv. So hat das Förderprogramm bereits bei mittlerer Marktabdeckung (derzeit etwa 55 % der installierten Systeme) eine positive, steuernde Wirkung auf die technologische Entwicklung. Hierdurch wird dafür gesorgt, dass Hersteller bei einer möglichen zukünftigen Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen bereits vorbereitet sind und mit den am Markt befindlichen Systemen alle technischen Anforderungen erfüllen können. Diese steuernde Wirkung sollte genutzt werden, um zukünftig sinnvolle Anforderungen an dezentrale PV-Speichersysteme bereits in einer folgenden Förderperiode zu fordern und anzureizen. Wichtig ist hierbei, dass eine kritische Masse an geförderten Anlagen erreicht wird, um diese steuernde Wirkung zu erzielen.

**>> Die Förderung sollte für Bestandsanlagen geöffnet werden, die vor dem 01.01.2013 errichtet werden.**

Ein Kernziel des Förderprogrammes ist es, eine langfristige Entwicklung der Speichertechnologie hin zu einem volkswirtschaftlich positiven, selbsttragenden Konzept zu gestalten. Dazu ist es notwendig, dass eine möglichst große

Anzahl der in Deutschland installierten PV-Speicher über das Förderprogramm angeschafft werden, da zur Zeit nur so die erarbeiteten technischen Rahmenbedingungen sicher umgesetzt werden. Um daher einen möglichst großen Einfluss des Förderprogrammes sicherzustellen, sollten grundsätzlich keine potenziellen Zielgruppen ohne triftigen Grund von der Förderung ausgeschlossen werden. Darüber hinaus können insbesondere alte PV-Anlagen, deren Einspeisevergütung oberhalb der jeweiligen Strombezugspreise liegen durch eine Erhöhung Ihres Eigenverbrauchs zu einer Entlastung des EEG-Kontos beitragen. Eine Sonderregelung für Photovoltaikanlagen die von einer Eigenverbrauchsprämie profitieren oder die bereits so lange am Netz betrieben wurden, dass sie in absehbarer Zeit aus der Einspeisevergütung herausfallen werden, sollte dabei in Betracht gezogen werden.

