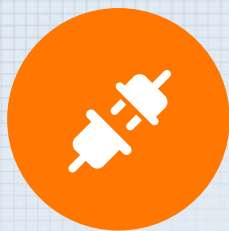
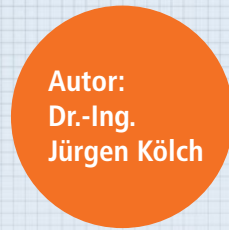
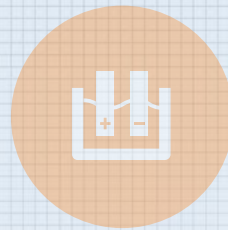


Whitepaper

*Verantwortung leben -
Zukunft gestalten*



Stationäre Energiespeicher im Smart Home
und ihre Verbindung zur E-Mobilität
mit zukünftigem Smart Grid

Zusammenfassung

Mit prognostizierten Solarerträgen und einer gewissen Intelligenz des Haussystems (Smart Home) können Speicher, Stromerzeuger und Stromverbraucher vernetzt werden. Neben der Aufladung von Elektrofahrzeugen können auch energieintensive Haushaltsgeräte, wie beispielsweise eine elektrische Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser bedarfsgerecht gesteuert und mit gespeichertem Solarstrom betrieben werden. Während ein Fahrzeug seine Energie stets mit sich führt, kann mit einem Batteriespeicher auch ein Haus nahezu autark mit Strom betrieben werden.

Für Industrieunternehmen und die Energiewirtschaft kann durch den Einsatz von gebündelten stationären Energiespeichern mit der Herausnahme von Lastspitzen der Leistungspreis gesenkt und Geld eingespart werden. Im größeren Maßstab kann durch Zusammenschalten vieler Speicher das öffentliche Stromnetz stabilisiert und für diese Energiedienstleistung Erlöse erwirtschaftet werden.

1. Einleitung

Weltweit wird immer mehr erneuerbare Energie, wie Solar- und Windstrom, ausgebaut (Energiewende), deren Erzeugung starken Schwankungen unterliegt. Der Ausbau von Energiespeichern, um diese Schwan-

kungen auszugleichen, wird in Zukunft ein wichtiges Thema werden. Mit Energiespeichern lässt sich beispielsweise Photovoltaik- (PV-) Strom über den Tag speichern und kann bedarfsgerecht bei sonnenarmen Phasen wieder entnommen werden.

2. Erneuerbarer Strom am Beispiel Photovoltaik

2.1 Sinkende Photovoltaik-Modulpreise

In Abbildung 1 ist die weltweit installierte Photovoltaik- (PV-) Leistung in Gigawatt (GW; Peakleistung) doppellogarithmisch über den Modulpreis aufgetragen. Die Modulkosten machen etwa die Hälfte der kompletten Kosten einer PV-Anlage aus. Mit der orange eingezeichneten Geraden lässt sich als Trend eine mehr als 20%-ige Preisreduktion für Photovoltaikmodule bei einer Verdopplung der installierten Leistung näherungsweise feststellen. Ende 2015 waren nach [1] weltweit ca. 245 GW PV-Leistung installiert. Für eine PV-Anlage mit einem Kilowatt-Peak (kWp) werden acht bis zehn Quadratmeter Modulfläche benötigt. In Deutschland kann man pro kWp und Jahr mit 800 bis 1.000 kWh rechnen. Bei ungünstig erscheinenden Dachausrichtungen, wie ein West- oder Ostdach, kann bei angenommener Dachneigung von 40° mit ca. 25% Ertragseinbuße im Vergleich zu einem idealen Süddach ausgegangen werden. Dabei kann allerdings doppelt so viel Modulfläche im Vergleich zu einem Süddach verbaut werden. Selbst ein Norddach mit einer flachen Dachneigung von 20° kann mit ca. 30% Ertragseinbuße noch in Erwägung gezogen werden.

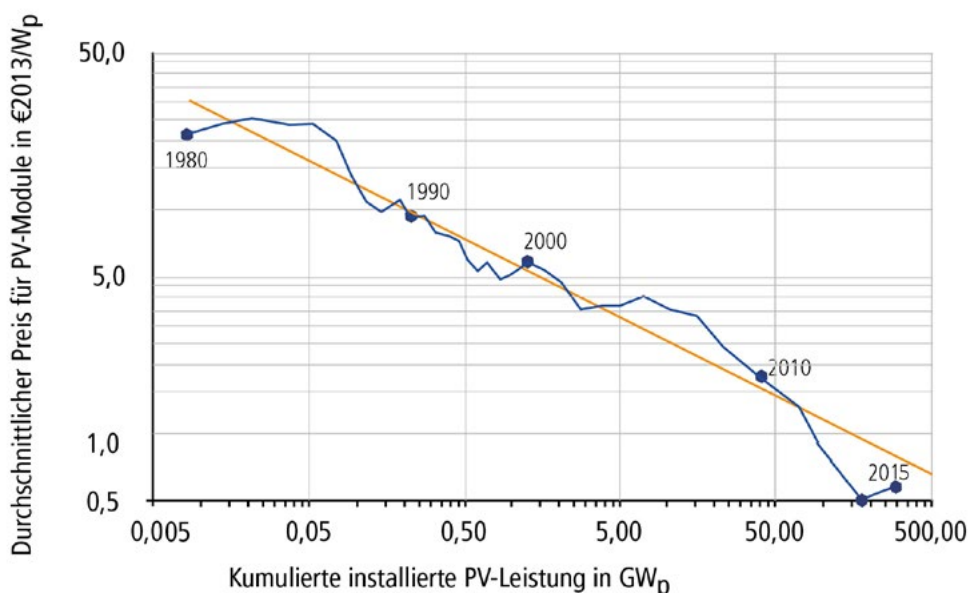


Abbildung 1: Trend der historischen Preisentwicklung für Photovoltaik-Module in Abhängigkeit der installierten PV-Leistung, Quelle: eigene Darstellung nach [1]

Whitepaper

Stationäre Energiespeicher im Smart Home und ihre Verbindung zur E-Mobilität mit zukünftigem Smart Grid

2.2 Das Erreichen der Grid-Parity für Photovoltaik-Strom in Deutschland

Mit der Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 wurde der komplett erzeugte Solarstrom ins Netz eingespeist, da die Vergütung wesentlich höher als der Preis für Haushaltsstrom war. Seit 2013 ist nun der Zeitpunkt erreicht, an dem es wirtschaftlicher ist, zuerst den Eigenverbrauch mit Solarstrom abzudecken und nur die solaren Überschüsse ins Netz einzuspeisen (Grid-Parity). Umso stärker nun der Haushaltsstrompreis in der Zukunft steigt (und Solarstrom weiter sinkt), steigt der Kostenvorteil durch den Eigenverbrauch des selbst erzeugten Solarstroms (siehe Abbildung 2).

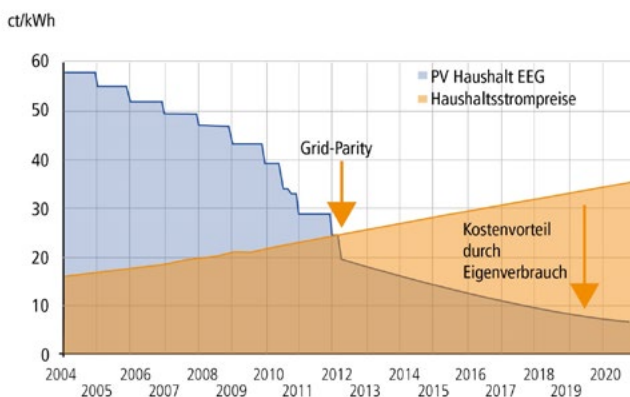


Abbildung 2: Vergleich der Kostenentwicklung der EEG-Vergütung für Photovoltaik-Systeme mit einer installierten Leistung von weniger als 10 kWp mit den Haushaltsstrompreisen, Quelle: eigene Darstellung nach [2]

2.3 Erhöhung des Eigenverbrauchs durch stationäre Stromspeicher

Im Privathaushalt kann der individuelle Lastgang der Haushaltsgeräte nicht beliebig in den Bereich hoher Solareinstrahlung verschoben werden. Von daher ist eine Limitierung des Eigenverbrauchs vorhanden. Nutzt man dagegen zusätzlich zur Photovoltaik-Anlage einen stationären Stromspeicher, kann der Eigenverbrauch erhöht werden, da nun auch Strom für sonnenarme Energieverbrauchsseiten gespeichert werden kann.

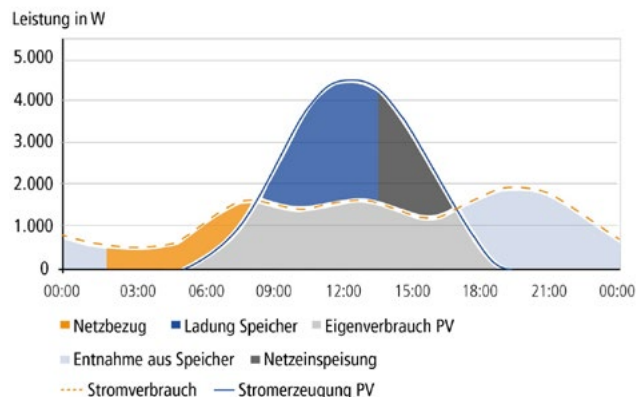


Abbildung 3: Charakteristischer Leistungsverlauf über einen Tag einer typischen PV-Speicher-Kombination, Quelle: Eigene Darstellung nach [3]

Einen charakteristischen Leistungsverlauf über einen Tag einer typischen PV-Speicher-Kombination zeigt Abbildung 3. Während des Tages bei starker Sonneneinstrahlung wird zuerst die Batterie vollgeladen und dann die PV-Strom-Überschüsse ins öffentliche Netz eingespeist. In den Abendstunden, wenn die Leistung der Photovoltaik-Anlage zurückgeht, wird der benötigte Haushaltsstrom aus der Batterie wieder entnommen. Ist die Batterie leer (im dargestellten Beispiel in den Nachtstunden ab ca. 2 Uhr), wird solange Strom vom Netz bezogen, bis der erzeugte PV-Strom wieder den Stromverbrauch übersteigt und die Batterie mit Überschüssen geladen werden kann.

3. Smart Home

Der Begriff Smart Home beinhaltet vielerlei Sicherheits- und Überwachungsaufgaben rund um den Haushalt. Die Vernetzung kann dabei beispielhaft von der Alarmanlage über den Stromzähler, die Heizung bis hin zur Waschmaschine und Solaranlage gehen. Ein Teilgebiet davon ist das Smart Metering, bei dem Energieströme erfasst und gesteuert werden können. Der Energieverbrauch soll damit intelligent geregelt und der Wohnkomfort und die Sicherheit erhöht werden. In Deutschland herrscht ein Wildwuchs unterschiedlichster Systeme, die meist nicht zueinander kompatibel sind. Neben Energieversorgern wie EWE und RWE sind z. B. auch Telekommunikationsanbieter wie die Telekom im deutschen Markt aktiv. Interessant ist die Konkurrenz großer Internet- bzw. Softwarefirmen, wie Google, Apple oder Microsoft. Hier könnten Produkte in Zukunft entstehen, die dem Smart Home zu einem Durchbruch verhelfen.

3.1 Bedarfsgesteuerter Betrieb elektrischer Verbraucher mit PV-Strom im Smart Home

Wird ein Haushalt mit Warmwasser und Heizwärme aus einer elektrischen Wärmepumpe versorgt, bietet sich deren Einbindung in ein Energiemanagementsystem an. Mit Heizungs- / Warmwasserspeichern ist zudem eine thermische Energiespeicherung gegeben. Eigenerzeugter PV-Strom ist deutlich günstiger als ein spezieller Stromtarif für Wärmepumpen. Hier werden oft seitens des Energieversorgungsunternehmens (EVU) Sperrzeiten gefordert, bei dem die Wärmepumpe von außen steuerbar abgeschaltet werden kann.

Nach einer Wärmepumpe sind Waschmaschine, Trockner und Spülmaschine im Haushalt von der Energiemenge her die nächstmöglichen Geräte zur sinnvollen Einbindung in ein Energiemanagementsystem im Smart Home. Der Start der Geräte kann aber nur im Stundenbereich in sonnenreiche Zeiten verschoben werden, da der Kunde beispielsweise die Wäsche bis zum Abend fertig gewaschen haben möchte.

Ein Elektrofahrzeug ist mit seiner meist 20 kWh großen nutzbaren Batterie um eine Größenordnung wertiger als typische Haushaltsgeräte in der Einbindung in ein Smart Home System und wird im nächsten Abschnitt genauer betrachtet.

3.2 Das Laden eines Elektrofahrzeugs im Smart Home

Bei der Ladung von Elektrofahrzeugen im Smart Home prallen zwei unterschiedliche Sichtweisen aufeinander. Aus OEM-Sicht hat das E-Fahrzeug stets die Hoheit über die Ladung und kennt den Ladezustand und eventuell auch schon den Zeitpunkt der nächsten Fahrt. Zudem kann für mehr Reichweite und größeren Komfort eine gewünschte Vorkonditionierung (Vor-Heizen des Fahrzeugs im Winter oder Vor-Kühlen im Sommer) koordiniert werden. Für die Hausautomatisierung ist das E-Fahrzeug nur ein elektrischer Verbraucher, den man beliebig wie einen elektrischen Heizstab im Warmwasserspeicher ein- und ausschalten kann. Das schrofte Ein / Aus kann bei manchen E-Fahrzeugen auch zu Ladeabbrüchen führen. In gemeinsamen Förderprojekten führte diese unterschiedliche Herangehensweise zu aufwendiger Kommunikation des Fahrzeugs mit einem Home-Energiemanagementsystem (HEMS). So gibt das HEMS dem Fahrzeug eine Empfehlung für eine bevorzugte Ladezeit bei erwarteter zeitlich aufgelöster PV-Leistung. Das Fahrzeug nimmt diese Information als Input, um seinen eigenen Lade-

fahrplan zu berechnen und das Ergebnis spiegelt er wieder dem HEMS zurück. Zeitpunkt und Energiemenge des E-Fahrzeugs plant das HEMS so wieder sinnvoll in seinen Fahrplan ein. Was sich in der Theorie gut anhört, funktioniert in der Praxis nur, wenn der Fahrzeugnutzer sein E-Fahrzeug nach Ankunft stets in der Garage an der Wallbox ansteckt. Mehr Komfort würde hier das induktive Laden bieten, dies steckt aber noch in der Entwicklung.

Unterschiede gibt es bei der Intelligenz des HEMS. Gute Systeme werten neben der Wettervorhersage mit PV-Prognose auch das Benutzerverhalten aus und können dazulernen. Wichtig für die Planung ist auch die Art des Elektrofahrzeugs. In der Regel können alle Fahrzeuge einphasig zwischen 10 und 16 A (2,3 bis 3,7 kW) geladen werden, was in den meisten Fällen ausreichend ist. Besitzt das E-Fahrzeug eine dreiphasige Lademöglichkeit, können auch höhere Ladeleistungen (typischerweise dreiphasig mit max. 32 A, entspricht 22 kW) realisiert werden, was allerdings nur bei großen PV-Anlagen sinnvoll ist.

3.3 Benötigte Dachfläche zur PV-Ladung von Elektrofahrzeugen

Der statistische Ein-Personen-Haushalt in Deutschland verbraucht 2.050 kWh Strom pro Jahr (der Zwei-Personen-Haushalt 3.150 kWh, 75% aller Haushalte mit ein bis zwei Personen nach BDEW [4]). Elektrofahrzeuge ersetzen aufgrund ihrer geringeren Reichweite und typischen Fahrprofile eher Benzinfahrzeuge als Dieselfahrzeuge, die höhere jährliche Laufleistungen und größere Einzelfahrten am Tag aufweisen. Die durchschnittliche Fahrleistung für Benzinfahrzeuge sind 11.100 km im Jahr (D 2012) nach DIW 2013 [5]. Der Verbrauch eines durchschnittlichen Elektrofahrzeugs in der Praxis kann konservativ mit 18 kWh/100 km (eigene Abschätzung Realverbrauch Nissan Leaf nach spritmonitor.de) angenommen werden. Über das Jahr verbraucht ein Elektrofahrzeug damit schätzungsweise 2.000 kWh, was zum bestehenden Stromvertrag nochmal den Verbrauch eines durchschnittlichen Ein-Personen-Haushalt in etwa entsprechen würde. Um die 2.000 kWh für das oben definierte Elektrofahrzeug über das Jahr zu „ernten“, wird eine Fläche von ungefähr 20 m² (ca. 2,2 kWp Südausrichtung) benötigt. Ein typisches Garagendach mit 3 x 6 m = 18 m² reicht damit fast schon aus, um zumindest rechnerisch den Strom eines Elektrofahrzeugs über das Jahr zu produzieren.

Whitepaper

Stationäre Energiespeicher im Smart Home und ihre Verbindung zur E-Mobilität mit zukünftigem Smart Grid

4. Smart Grid

Die nächsthöhere Ebene nach dem Smart Home ist das Smart Grid. Die Stromverteilstruktur war bisher in einer Richtung von den großen Stromerzeugern auf der Höchstspannungsebene hin zu den Verbrauchern auf Mittel- und Niederspannungsebene als Einbahnstraße ausgelegt.

Das zukünftige System beinhaltet nun auch Stromeinspeicher von den unteren Verteilebenen her mit zunehmendem Anteil an fluktuierender EE-Energie, was zunehmend eine intelligente (smarte) Steuerung des gesamten Stromnetzes (Grid) in Form eines Smart Grid erforderlich macht. Als Ziel müssten alle Energieerzeuger und Energieverbraucher (plus Energiespeicher) in Zukunft miteinander kommunizieren, es ist schon von einem „Internet der Energie“ die Rede. Damit könnten schwankende Nachfrage und Angebot des Stroms gesteuert und ausgeglichen werden.

Ein- und ausgespeicherter Strom für Batteriespeicher, die zur Erhöhung des Eigenverbrauchs betrieben werden, sind derzeit doppelt mit der EEG-Umlage belastet. Bei der Einspeicherung wird der Batteriespeicher wie ein Verbraucher behandelt, bei der Ausspeicherung wie eine Stromerzeugungsanlage. Ausgenommen sind vereinfacht nur Speicher kleiner 10 kW Entlade-/Lade-Leistung in Kombination mit PV-Anlagen unter 10 kW Peakleistung sowie Batteriespeicher, die nur zur Stabilisierung des Netzes eingebunden sind.

Diese doppelte EEG-Umlagepflicht macht es Batteriespeichern (beispielsweise für Gewerbebetriebe) wirtschaftlich nahezu unmöglich, den Eigenverbrauch der PV-Anlage zu steigern und nebenbei ein sinnvolles Lastmanagement unter Vermeidung von Lastspitzen durchzuführen. Auch eine mögliche Versorgung des firmeneigenen E-Fuhrparks wäre zusätzlich durch die doppelte EEG-Umlage auf eigenerzeugten PV-Strom belastet.

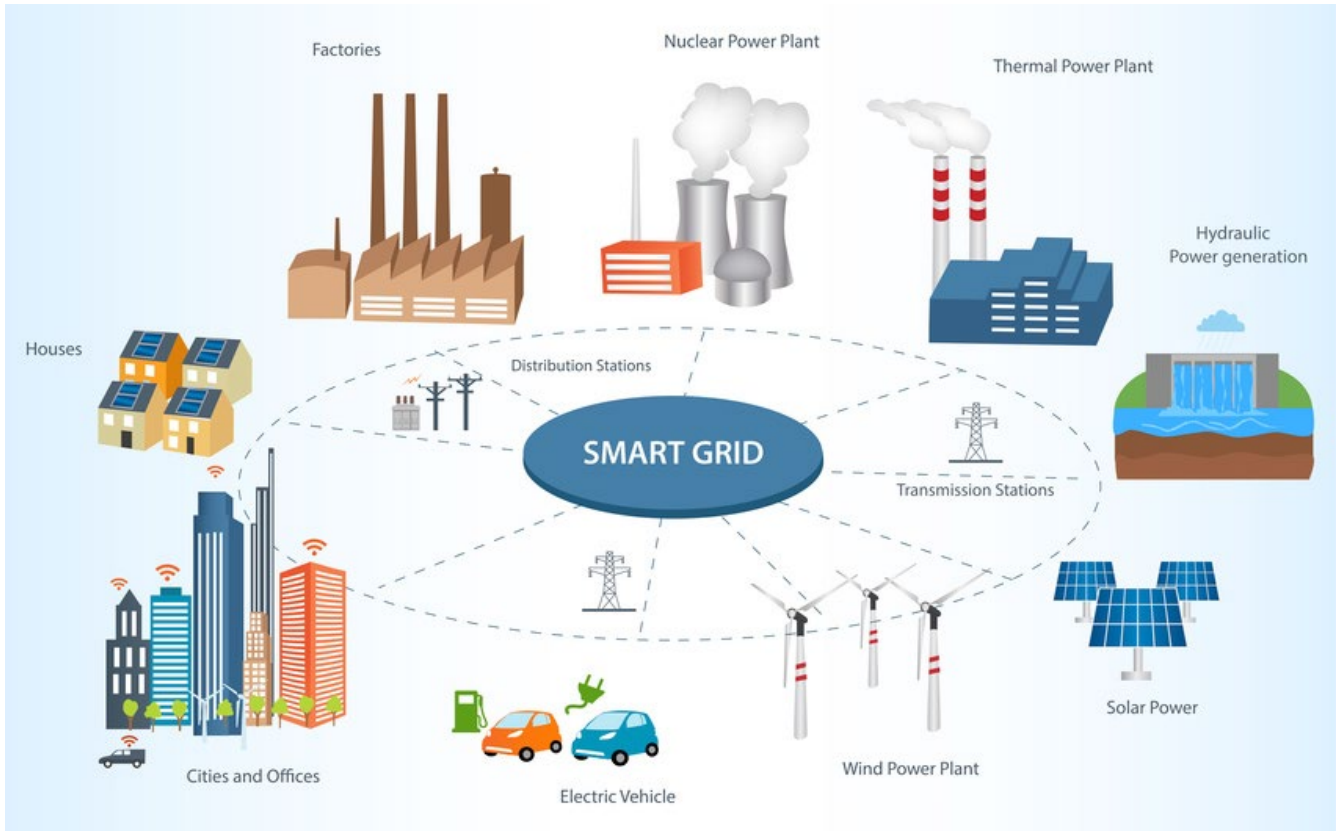


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Smart Grid, Quelle: Fotolia.com

5. Batterien als Energiespeicher im Smart Grid

Schon seit mehr als hundert Jahren werden Bleibatterien zur Stromspeicherung eingesetzt. Die etablierten Blei-Säure-Systeme findet man beispielsweise bei der Notstromversorgung von Krankenhäusern. Für mobile Anwendungen ist das hohe spezifische Gewicht ein gewaltiger Nachteil, der bei stationärer Anwendung keine entscheidende Rolle spielt. Die teurere Lithium-Batterie löst allerdings nun von der mobilen Anwendung kommend zunehmend im stationären Bereich die etablierte Bleibatterie ab und punktet stark bei Lebensdauer (höhere Zyklenzahl) und größerer Entladetiefe. Weitere Vorteile der Lithium-Batterie sind der höhere Wirkungsgrad und niedrigere Selbstentladung.

Bei einem starken Hochlauf von Elektrofahrzeugen (ausschließlich mit Lithium-Batterien) könnte die Zweitnutzung gebrauchter E-Fahrzeugbatterien (Battery 2nd Life) für stationäre Anwendungen ein großes Thema werden. Für die Einbindung in ein Smart Home oder Smart Grid könnten verschiedene technische Varianten dargestellt werden. Im Haushaltsbereich wäre auf der 400 V-Ebene eine direkte Gleichstrom-Einbindung mit der PV-Anlage mit einem DC / DC-Wandler vorstellbar, wie derzeit beispielsweise die Tesla Powerwall auf dem Markt für neue Stationärspeicher. Daneben kann über einen zusätzlichen Wechselrichter die einphasige Einbindung des 400 V-Batteriespeichers an das 230 V-Wechselstromsystem erfolgen. Diese Variante eignet sich gut für eine nachträgliche Einbindung eines Batteriespeichers bei einer bestehenden PV-Anlage, zum Beispiel wenn diese nach 20 Jahren Laufzeit aus der damaligen EEG-Vergütung herausfällt.

Für gewerbliche Kunden könnten zwei 400 V DC-Batteriespeicher auf 800 V seriell verschaltet und damit einfach mit einem Wechselrichter auf das 400 V-Wechselstromnetz eingebunden werden. Hier gibt es die Möglichkeit beispielsweise in einer Rackbauweise (siehe Abbildung 5) die Hochvoltpeicher im stationären Bereich für ein Smart Grid einzubinden.



Abbildung 5: Gebrauchte Elektrofahrzeug-Hochvolt-Speicher von vier Fahrzeugen als stationärer Gesamtspeicher in Rackbauweise
Quelle: EVA Fahrzeugtechnik

Eine andere Möglichkeit ist die Herausnahme einzelner Module aus einem Fahrzeug-Hochvolt-Speicher in einen Batterieschrank und diesen seriell auf 800 V zu bringen. Die Abbildung 6 zeigt einen einzelnen Batterieschrank (die Module aus zwei Fahrzeug-Hochvolt-Speichern zusammen in einem Schrank) und den exemplarischen Zusammenschluss vieler Batterieschränke zu einer Gesamtanlage im 500 kW-Maßstab.

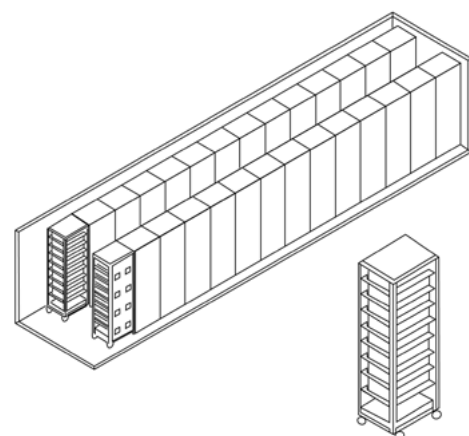


Abbildung 6: Darstellung von gebrauchten Batterie-Modulen aus zwei Elektrofahrzeugen in einem Batterieschrank und die exemplarische Gesamtanlage vieler Schränke, Quelle: EVA Fahrzeugtechnik

In einer noch größeren Ausbaustufe kann der Zusammenschluss mehrerer Container mit Batterieschränken zu einem Großbatteriespeicher im Megawatt-Bereich führen. Neben der Teilnahme am Primärregelungs-Markt kann auch die Pufferung von Windenergieparks ein mögliches Anwendungsgebiet sein.

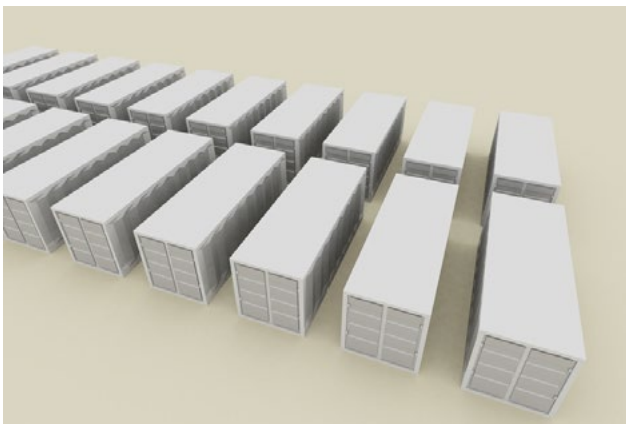


Abbildung 7: Batteriecontaineranordnung für Großbatteriespeicher im Megawatt-Bereich, Quelle: Fotolia.com

6. Ausblick

Sinkende Preise bei Photovoltaik-Modulen führten in den letzten Jahren zur Grid-Parity. Nun ist es wirtschaftlich interessant bei einer neu installierten PV-Anlage auf den solaren Eigenverbrauch zu achten. Neben der Einbindung eines stationären Energiespeichers bietet sich die Nutzung eines intelligenten Energiemanagement-Systems im Smart Home an. Eine weitere Ausbaustufe ist die Einbindung von Elektrofahrzeugen in ein intelligentes Gesamtsystem. Hier können fossile Kraftstoffe umweltfreundlich mit regenerativ erzeugtem Strom fossile Kraftstoffe ersetzt werden. Die Vernetzung vieler, auch gebrauchter, Batteriespeicher kann im Smart Grid für einen Ausgleich von fluktuierender erneuerbarer Energie (z. B. für Windparks) und im Regelleistungsmarkt zu Erlösen führen.

Literaturverzeichnis

- [1] Fraunhofer ISE: Aktuelle Fakten zu Photovoltaik in Deutschland, Fassung vom 22.04.2016, www.ise.fraunhofer.de.
- [2] Quaschnig, Volker, in: BWK , Band 64 (2012), Nr. 7/8, S. 25-28
- [3] EuPD Research/E3DC: „Auswahlkriterien für Batteriespeicher“, November 2014, http://www.e3dc.com/fileadmin/mediacenter/downloads-fuer-installateure/EuPD_2014.pdf, letzter Zugriff: 05/2016
- [4] BDEW, Energie-Info: „Stromverbrauch im Haushalt“, Berlin, Oktober 2013, [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/6FE5E98B43647E00C1257C0F003314E5/\\$file/708-2_Beiblatt_zu%20BDEW-Charts%20Stromverbrauch%20im%20Haushalt_2013-10-23.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/6FE5E98B43647E00C1257C0F003314E5/$file/708-2_Beiblatt_zu%20BDEW-Charts%20Stromverbrauch%20im%20Haushalt_2013-10-23.pdf), letzter Zugriff: 05/2016
- [5] DIW Berlin - Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW) Wochenbericht, 50/2013, https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.433442.de/13-50.pdf, Wletzter Zugriff: 05/2016



Dr.-Ing. Jürgen Kölch

Forschung/Vorentwicklung, Neue Technologien
juergen.koelch@evafahrzeugtechnik.de

hat an der TU München über die Abgasreinigung pflanzenölbetriebener Dieselmotoren promoviert. Als Post-Doc untersuchte er am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Ulm die Langlebigkeit von PEM-Brennstoffzellen. Seit über zehn Jahren ist er bei EVA Fahrzeugtechnik GmbH in unterschiedlichsten Bereichen wie der Antriebsvorentwicklung alter-

nativer Kraftstoffe, Infrastrukturthemen Wasserstoff / Elektromobilität, Vorketten-Betrachtungen, Ladethemen und der Zweitnutzung gebrauchter Elektrofahrzeugbatterien im Einsatz.

Dr. Kölch ist neben seiner Tätigkeit bei der EVA Fahrzeugtechnik GmbH an der Technischen Hochschule Ingolstadt Lehrbeauftragter für „Elektromobilität und alternative Antriebskonzepte in der Automobilindustrie“ und „Politische und soziale Trends im Bereich der Mobilität“.

Wir entwickeln innovative Lösungen
für die Mobilität von morgen.

EVA Fahrzeugtechnik GmbH
Unternehmenskommunikation
Heidemannstraße 41a
80939 München

Tel +49 (0)89 377 79 - 0
Fax +49 (0)89 377 79 - 111
marketing@evafahrzeugtechnik.de
www.evafahrzeugtechnik.de

Autor:
Dr.-Ing. Jürgen Kölch, EVA Fahrzeugtechnik GmbH
Gestaltung:
EVA Fahrzeugtechnik GmbH

Copyright © 10/2017 EVA Fahrzeugtechnik GmbH, München, Alle Rechte vorbehalten