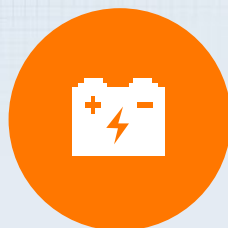
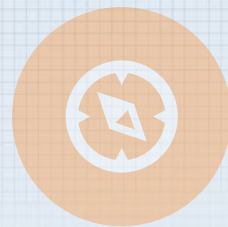
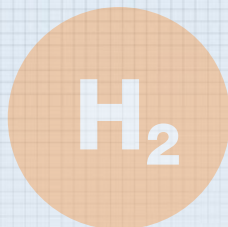
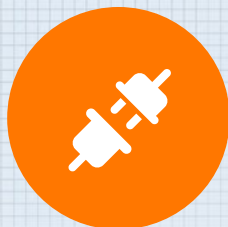
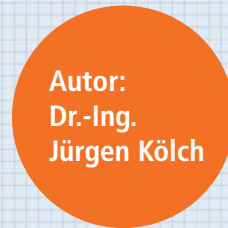
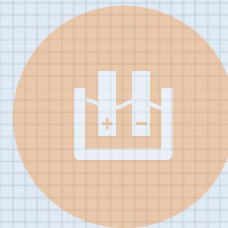
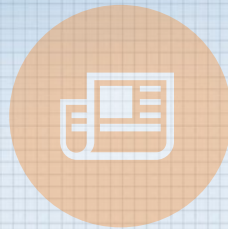


Whitepaper

*Verantwortung leben -
Zukunft gestalten*



Die Wiederverwendung von gebrauchten
Elektrofahrzeug-Batterien in stationären
Anwendungen

Whitepaper

Die Wiederverwendung von gebrauchten Elektrofahrzeug-Batterien in stationären Anwendungen



1. Einleitung

Die während eines Elektrofahrzeuglebens gealterten Batterien können für unterschiedliche stationäre Anwendungen eingesetzt werden. So lassen sich auf Modulebene in Kombination mit Photovoltaik höhere Eigenverbrauchsquoten erreichen. Auf der Ebene von ganzen Fahrzeughochvoltspeichern lassen sich beispielhaft DC-Schnellladestationen mit schwachen Stromanschlüssen oder Lastmanagement (Peak-Shaving) für Industriekunden darstellen. In der größten Ausbaustufe im MW-Bereich können gebrauchte Elektrofahrzeugbatterien zur Netzstützung beitragen oder zur Verstärkung von Energie aus Windparks eingesetzt werden. Damit das zweite Leben der Batterie genauso lange wie im Fahrzeug sein kann, wird u.a. der Ladezustandsbereich der Batterie eingeschränkt. Außerdem müssen Komponenten rund um den Energiespeicher auf deren Tauglichkeit für eine stationäre Anwendung überprüft und gegebenenfalls ausgetauscht werden. Das Zusammenschalten unterschiedlich gealterter Fahrzeugbatterien stellt besondere Anforderungen dar.

Die Umweltvorteile eines Elektrofahrzeugs sind immer wieder in der Kritik. Neben der angeführten Verwendung von CO₂-intensivem Kohlestrom beim Fahrzeugbetrieb ist der ökologische Rucksack der Batterie im Hauptfokus. Wird nach Ende des Fahrzeuglebens die Batterie einer zweiten Verwendung zugeführt (Battery 2nd Life, B2L), sind die Umweltvorteile bei weitem höher als durch ein übliches Recycling.

2. Umweltbilanz

Bei einer Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment = LCA) können bei einem Fahrzeug drei Bereiche unterschieden werden. Zuerst die Herstellung, die Nutzung durch den Kunden und am Ende des Fahrzeuglebens das Recycling. Bei Elektrofahrzeugen werden vor allem durch die energie- und rohstoffintensive Herstellung der Fahrzeugbatterie die Klimagas fast verdoppelt, bezogen auf ein herkömmliches Benzin- oder Dieselfahrzeug. [1] Der Einsatz alter Elektrofahrzeugbatterien für eine stationäre Anwendung kann den Herstellungsaufwand einer sonst für diese Anwendung hergestellten Batterie obsolet machen und die Gesamtumweltbilanz dadurch nachhaltig verbessern.

3. Anwendungen für Battery 2nd Life (B2L)

Aus einer Vielzahl möglicher Anwendungen für gebrauchte Elektrofahrzeugbatterien wurden folgende Anwendungen identifiziert und nach Größe in drei Bereiche unterteilt. (siehe Abbildung 1)

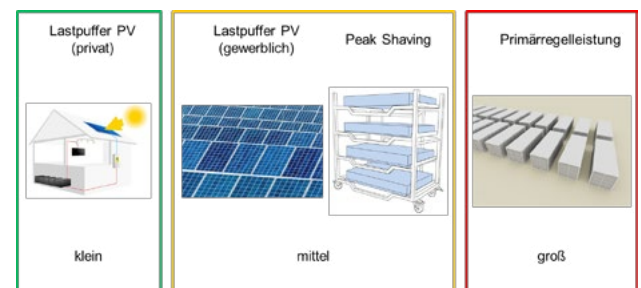


Abbildung 1:
Übersicht möglicher Anwendungen im Bereich Battery 2nd Life
© Fotolia.com

3.1 Kleine Anwendung: PV-Anlage privat

Wird der Fahrzeughochvoltspeicher (HVS) bis auf die Modulebene zerlegt, lassen sich mit den Modulen durch Parallelisierung Systeme beispielsweise für ein privates Photovoltaik-(PV-) Stromspeichersystem aufbauen, siehe Abbildung 2. Diese sind oft unter einem Spannungsbereich von 60 V DC als Sicherheitskleinspannung (engl. Safety Extra Low Voltage, SELV) ausgelegt. Unterhalb dieses Spannungsbereichs muss ein Schutz gegen Berühren nicht sichergestellt werden, was gerade im Einfamilienhaus mit Privatanwendern als Anlagenbetreiber geboten ist.

Seit 2013 ist in Deutschland die Erzeugung von PV-Strom in der Regel günstiger als die Haushaltsstromkosten (grid parity). Ab diesem Zeitpunkt eröffnet sich nun ein Markt für Batteriespeicher, um den Eigenverbrauchsanteil zu steigern und bei sinkenden Batteriekosten eine höhere Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage zu erreichen. Der wachsende Markt für Elektrofahrzeuge erhöht einerseits den Strombedarf als auch in weiter Zukunft den Rücklauf von gebrauchten Fahrzeugbatterien, die nicht mehr gut genug für die mobile Anwendung sind, stationär aber noch gut eingesetzt werden können.

[1] Volkswagen, Der e-Golf – Umweltprädikat – Hintergrundbericht, <http://www.volkswagen.de>, 01/2014

Whitepaper

Die Wiederverwendung von gebrauchten Elektrofahrzeug-Batterien in stationären Anwendungen



Abbildung 2:
Beispielhafte Darstellung eines B2L-Batteriespeichers für ein Einfamilienhaus
© Fotolia.com

3.2 Mittlere Anwendung: Peak-Shaving und PV-Anlage gewerblich

Für den Leistungsbereich um 100 kW kann die Gesamtanlage mehrere HVS umfassen. Hohe Leistungen und der Einsatz im gewerblichen Bereich mit geschultem Personal lassen die notwendigen Spannungslagen von 800 V DC zu. Dabei werden zwei HVS mit 400 V DC seriell zusammenschaltet. Beispielhaft für diesen Anwendungsbereich ist ein Rack mit vier HVS in Abbildung 3 dargestellt. Jeweils die beiden oberen und unteren HVS werden zu einer Einheit zusammenschaltet und können je nach Anwendung in Leistung und Energie skaliert werden mit einer dafür passenden Auslegung der Wechselrichter. Anwendungsbereiche sind neben großen gewerblichen PV-Anlagen das Peak Shaving, das Lastmanagement um Strombedarfsspitzen eines Unternehmens zu glätten. Mit diesen Batterieracks können auch DC-Schnellladestationen zur Ladung von Elektrofahrzeugen versorgt werden, die damit keinen starken Netzanschluss benötigen.



Abbildung 3:
Rack mit vier Hochvoltspeichern
© EVA Fahrzeugtechnik GmbH

3.3 Große Anwendung: Frequenzstabilisierung im MW-Maßstab

Zur Teilnahme am Primärregelleistungs-Markt muss eine Mindestleistung von 1 MW angeboten werden können. [2] Für diese Größe wäre prinzipiell die Rackbauweise wie in der mittleren Anwendung (3.2) auch möglich, erfordert aber sehr viel Raum. Eine dichtere Bauweise ist die Konfiguration von einzelnen Modulen in Batterieschränken, die ihrerseits in Containern oder geeigneten Hallen aufgestellt werden können. Die ausgebauten Module von zwei HVS befinden sich in einem Batterieschrank. Neben der Frequenzstabilisierung ist auch die Pufferung von Windparks als Anwendung denkbar.

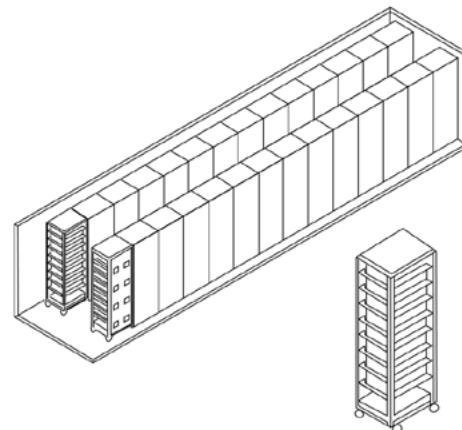


Abbildung 4:
Verbund von Batterieschränken mit einzelnen Modulen eines HVS
© EVA Fahrzeugtechnik GmbH

4. Auslegungskriterien von Battery 2nd Life-Anwendungen im Unterschied zum E-Fahrzeug

Ein typisches Fahrzeug ist nur ca. 1-2 h pro Tag in Betrieb. Der Ladezustand (State of Charge = SOC) wird stark ausgenutzt (ganz leer bis ganz voll) und die Temperatur der Batterie kann in einem weiten (zum Teil extremen) Bereich liegen. In der stationären Anwendung verhält es sich dagegen eher andersherum: Der Batteriespeicher soll viele Betriebsjahre mit 24 h/Tag und 365 Tage/Jahr in Bereitschaft sein. Das SOC-Band wird eingeschränkt und es wird im Unterschied zum Fahrzeug auf niedrigere Ströme und damit Leistung ausgelegt. Die Batterietemperatur befindet sich im Wohlfühlbereich von 20 bis 25 °C. Alle genannten Maßnahmen sollen eine möglichst hohe Lebensdauer im zweiten Leben der Batterie ermöglichen.

[2] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung,
<http://www.regelleistung.net>, 05/2015

Whitepaper

Die Wiederverwendung von gebrauchten Elektrofahrzeug-Batterien in stationären Anwendungen

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht unterschiedlichster Auslegungskriterien auf, die bei einer stationären Anwendung mit gebrauchten Elektrofahrzeugbatterien zu beachten sind.

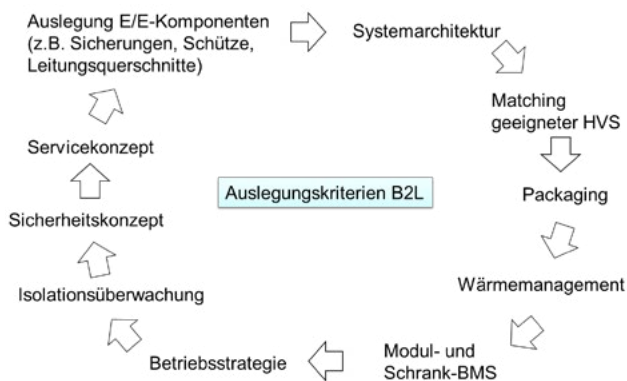


Abbildung 5:
Übersicht der Auslegungskriterien für Battery 2nd Life

Im Folgenden sollen einige Aspekte der Auslegungskriterien für gebrauchte Elektrofahrzeugbatterien näher beleuchtet werden.

4.1 Auslegung E/E-Komponenten

Durch den Betrieb mit niedrigeren Strömen (C-Raten) als im Fahrzeug und anderen Auslegungsparametern, müssen E/E-Komponenten wie Sicherungen und Schütze im stationären Bereich neu ausgelegt und implementiert werden. Dies betrifft auch unterschiedliche Kabelquerschnitte und neue Hochvoltkabel, die nicht vom Fahrzeug in die stationäre Anwendung übernommen werden können.

4.2 Packaging

Wird der HVS bis auf Modulebene zerlegt, müssen die Module sinnvoll in Batterieschränke geometrisch eingeplant werden. Für Sicherheits- und E/E-Komponenten ist eine eigene Serviceebene sinnvoll, die für einen späteren Austausch von Komponenten leicht erreichbar sein sollte. Die Planung der Hochvolt- und Kommunikationsleitungen spielt auch hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) eine wichtige Rolle.

4.3 Wärmemanagement

Oft werden HVS im E-Fahrzeug flüssigkeitsgekühlt. Der Aufwand, dies im stationären Bereich ebenfalls zu unternehmen, ist sehr hoch, so dass besser auf eine bedarfsgerechte Luftkühlung übergegangen wird. Sind Batterieschränke mit Einzelmodulen zu kühlen, so kann die Luft z.B. durch den Einsatz von vielen Einzellüftern von vorne durch jede Modulebene gebla-

sen werden. In Abbildung 6 ist eine Luftkühlung mit einzelnen Lüftern mit einer Durchströmung unterhalb des Moduls dargestellt.

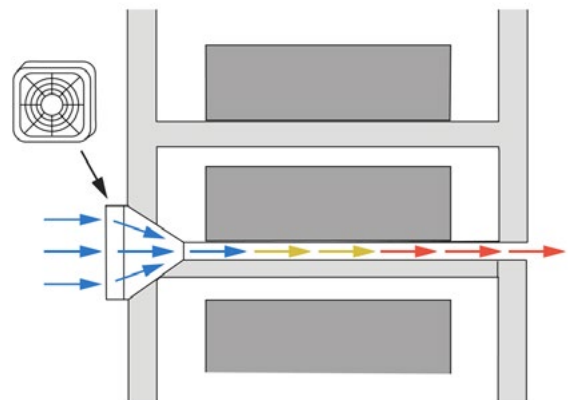


Abbildung 6:
Luftkühlung einzelner Module auf der Unterseite von vorne angeströmt
© EVA Fahrzeugtechnik GmbH

Einen ganzen Batterieschrank, der von vorne mit Einzellüftern gekühlt wird, ist in Abbildung 7 dargestellt.

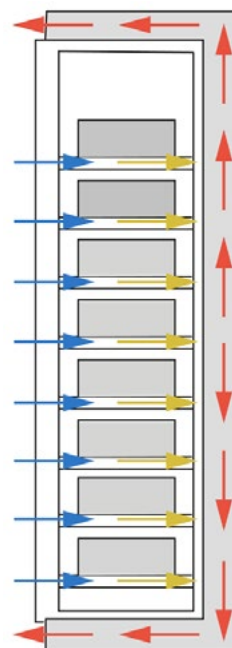


Abbildung 7:
Luftkühlung eines Batterieschranks von vorne mit Einzellüftern
© EVA Fahrzeugtechnik GmbH

4.5 Systemarchitekturen mit 800 V und 400 V Spannungslage

4.5.1 800 V Architektur

Typische Fahrzeug-Hochvoltspeicher (HVS) haben eine Gleichspannung von max. 400 V DC. Dies macht es schwierig mit standardmäßig verfügbaren Wechselrichtern auf die übliche Wechselspannungslage von 3 x 400 V AC (Niederspannungsnetz) zu kommen. Der typische Arbeitsbereich von weit verbreiteten, industriellen Wechselrichtern verlangt eine doppelt so hohe Gleichspannung (800 V DC) auf der Seite des HVS. Dies hat allerdings umfangreiche Änderungen z.B. bei den E/E-Komponenten und Einhaltung der Luft- und Kriechstrecken zur Folge. Zudem müssen zwei ähnlich gealterte HVS seriell miteinander zusammengeschaltet werden. (siehe Abbildung 8)

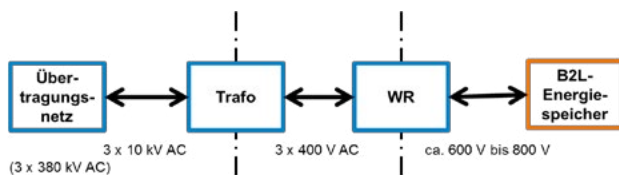


Abbildung 8:
Verschaltung von Energiespeicher bis Übertragungsnetz (800 V Systemarchitektur)

4.5.2 400 V Architektur ohne DC/DC-Wandler

Sollen die HVS mit ihrer Spannungslage von 400 V ohne eine serielle Verschaltung zweier HVS verwendet werden, entsteht ein höherer Aufwand bei den Wechselrichtern. So ist die Verwendung eines Wechselrichters mit niedrigerer AC-Niederspannung (z.B. 3 x 200 V) sowie eines für die Einspeisung in das Mittelspannungsnetz bei geringerer AC-Niederspannung geeigneten Transformators erforderlich. Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass für den vorliegenden Spannungsbereich des HVS kaum geeignete Wechselrichter am Markt zu finden sind. Darüber hinaus ergibt sich aus der geringeren Spannungslage auch eine Verringerung des Wirkungsgrades um einige Prozentpunkte sowohl beim Wechselrichter als auch beim Transformator. Mittelspannungstransformatoren für geringere AC-Niederspannungen sind zwar als Sonderformen verfügbar, kosten jedoch mehr als ein Standard-Mittelspannungstransformator. (siehe Abbildung 9)

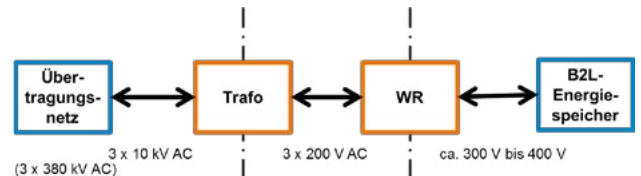


Abbildung 9:
Verschaltung von Energiespeicher bis Übertragungsnetz (400 V Systemarchitektur)

4.5.3 400 V Architektur mit DC/DC-Wandler

Eine andere Variante ist die Verwendung eines zusätzlichen DC/DC-Wandlers (Hochsetzstellers) für die Anpassung der DC-Spannung des HVS auf den Arbeitsbereich eines Standard-Wechselrichters. Dies führt zu zusätzlichen Kosten für den DC/DC-Wandler sowie einer Verringerung des Wirkungsgrades von mehreren Prozentpunkten. Geeignete DC/DC-Wandler sind darüber hinaus am Markt kaum verfügbar. (siehe Abbildung 10)

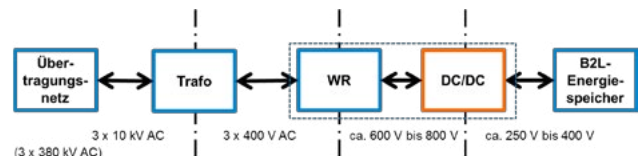


Abbildung 10:
Verschaltung von Energiespeicher bis Übertragungsnetz (400 V Systemarchitektur mit DC/DC-Wandler)

5. Ausblick

Die Verwendung von gebrauchten Elektrofahrzeugbatterien ist ein noch neues Thema. Bisher sind kaum Elektrofahrzeuge auf dem Markt, und gebrauchte Fahrzeugbatterien für eine stationäre Anwendung stehen erst zur Verfügung, wenn Reichweite und Performance dem Kunden nicht mehr ausreichend erscheinen. Dies bedeutet, dass mit einer relevanten Menge an gebrauchten Elektrofahrzeugbatterien erst in ca. sieben Jahren mit ansteigender Tendenz gekoppelt mit einem Hochlauf von Elektrofahrzeugen in den kommenden Jahren gerechnet werden kann. Durch zukünftige neue Batteriegenerationen mit deutlich mehr Reichweite, könnte bei einem attraktiven Upgrade-Angebot viel früher ein Austausch der Fahrzeugbatterie für den Kunden anstehen und damit das Thema Battery 2nd Life (B2L) durch die schnell ansteigende Menge der alten Fahrzeugbatterien schneller relevant werden, als dies heute der Fall ist.



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