



© BMW

## Nachhaltiger Stationärspeicher mit gebrauchten E-Fahrzeug-Batterien

AUTOR



**Dr.-Ing. Jürgen Kölich** ist zuständig für die Durchführung von Fachvorträgen bei der EVA Fahrzeugtechnik GmbH in München.

Bisher sind nur wenige Elektrofahrzeuge auf den Straßen unterwegs, doch die Tendenz ist steigend. Damit einher geht die Frage, wie in Zukunft mit gebrauchten Batterien nach dem Ausbau aus E-Fahrzeugen umgegangen wird. EVA Fahrzeugtechnik zeigt, welche Möglichkeiten eine Wiederverwendung in einem Stationärspeicher bietet und wie prototypische Second-Life-Anlagen auch im Megawatt-Maßstab aufgebaut werden.

### HERAUSFORDERUNG

Die Umweltvorteile eines Elektrofahrzeugs stehen immer wieder stark in der Kritik. Neben der Verwendung von CO<sub>2</sub>-intensivem Strommix beim Fahrzeugbetrieb ist auch der ökologische Rucksack der Batterie im Hauptfokus. Daneben gibt es wichtige ethische Aspekte bei der Gewinnung von Batterie-Rohstoffen, die nicht vernachlässigt werden dürfen. So ist beispielsweise die Kinderarbeit in

den Kobaltminen im Kongo oder der Wasserverbrauch zur Gewinnung von Lithium in Südamerika ein wichtiges Thema. Mit steigendem Anteil an elektrifizierten Antrieben wird ein starker Bedarf an Batterierohstoffen für den Verkehrssektor erwartet. Was mit den alten, gebrauchten Batterien nach dem Ausbau aus dem E-Fahrzeug geschieht, ist noch unklar. Bisher sind erst wenige Elektrofahrzeuge auf dem Markt, der überwiegende Anteil davon erst wenige Jahre alt. Mehrere Möglichkeiten bieten sich an, zum Beispiel Recycling, Remanufacturing (beispielsweise werden einzelne Komponenten als Ersatzteil wieder in ein Fahrzeug verbaut) oder Second Life, **BILD 1**. Unter Second-Life ist die Wiederverwendung von gebrauchten E-Fahrzeug-Batterien in einem Stationärspeicher zu verstehen.

## UMWELTBILANZ

Ältere Fahrzeugbatterien beinhalten noch viele wertvolle Rohstoffe. Beispielsweise sind in Lithium-Batterien mit Nickel-Kobalt-Manganoxid (NMC) als Kathodenmaterial noch hohe (und damit wertvolle) Anteile von Kobalt enthalten, wie bei dem oft eingesetzten NMC 111. Die Kobalt-Anteile werden bei moderneren Kathodenmaterialien wie NMC 622 oder 811 immer stärker reduziert. In der übernächsten Batteriegeneration könnte sogar das Kobalt gänzlich aus der Batterie herausgenommen werden. Hier würde zumindest der Wert des enthaltenen Kobalts für ein Recycling herausfallen. Batterien mit Lithium-Eisenphosphat (LFP) als Kathodenmaterial beinhalten von Haus aus weniger wertvolle Rohstoffe. Hier wird sich auch in Zukunft ein Recycling im Unterschied zu anderen Batterietypen weniger lohnen. Vielmehr könnte ein Second-Life-Ansatz zum Zuge kommen.

Bei einer Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse (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, **BILD 2**. Bei Elektrofahrzeugen werden vor allem durch die energie- und rohstoffintensive Herstellung der Fahrzeugbatterie die Klimagase, bezogen auf ein herkömmliches Benzin- oder Dieselfahrzeug, fast verdoppelt [2]. Der Einsatz alter Elektro-

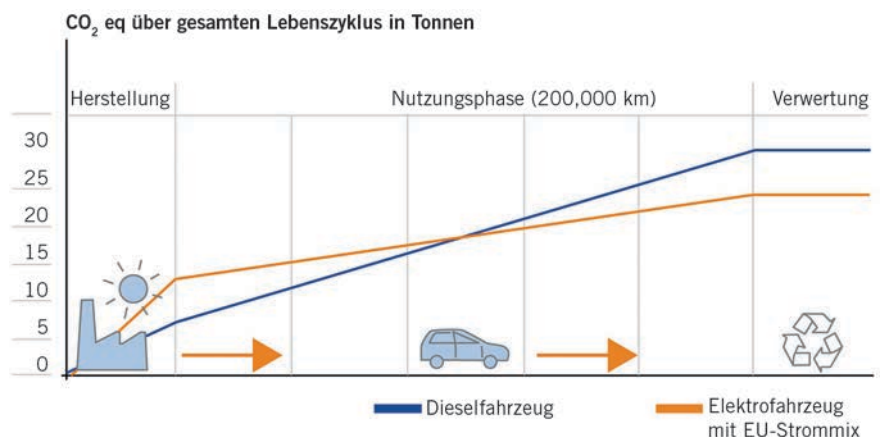


**BILD 1** Darstellung der Wiederverwertungs- und Rückgewinnungspyramide mit unterschiedlichen Verwertungsstufen und jeweiliger Rückgewinnung (© EVA Fahrzeugtechnik nach [1])

fahrzeugbatterien für eine stationäre Anwendung kann den Herstellungsaufwand einer sonst eigens für die stationäre Anwendung hergestellten Batterie obsolet machen und die Gesamtumweltbilanz dadurch nachhaltig verbessern. Ein anderer Aspekt sind die derzeit niedrigen Stückzahlen an alten Batterien. Heutige Recyclingmethoden sind damit oft nicht wirtschaftlich zu betreiben. Second Life würde hier den Vorteil bieten, die Batterien erstmal geplante zehn Jahre im Stationärspeicherbetrieb zu halten und danach aufgrund von Skaleneffekten die Wirtschaftlichkeit eines späteren Recyclings zu erhöhen.

## PRIVATE PV-ANLAGE

Wird der Hochvoltspeicher bis auf die Modulebene zerlegt, lassen sich mit einzelnen Modulen durch Parallelisierung beispielsweise Systeme für ein privates Photovoltaik-(PV)-Stromspeichersystem aufbauen. Diese sind oft unter einem Spannungsbereich von 60 V DC als Sicherheitskleinspannung (Safety Extra Low Voltage, SELV) ausgelegt. Unterhalb dieses Spannungsbereichs muss ein Schutz gegen Berührungen nicht sichergestellt werden, der vor allem im Einfamilienhaus mit Privatanwendern als Anlagenbetreiber geboten ist. Seit



**BILD 2** Klimagasemissionen aufgetragen über den gesamten Lebenszyklus eines Pkw unterteilt in Herstellung, Nutzungsphase und Verwertung (© EVA Fahrzeugtechnik nach [2])

## BATTERIE

2013 ist in Deutschland die Erzeugung von PV-Strom in der Regel günstiger als die Haushaltsstromkosten (Grid Parity). Ab diesem Zeitpunkt eröffnet sich 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 sowohl den Strombedarf als auch in weiter Zukunft den Rücklauf von gebrauchten Fahrzeugbatterien, die nicht mehr ausreichen für die mobile Anwendung, stationär aber noch gut eingesetzt werden können.

### PEAK-SHAVING UND GEWERBLICHE PV-ANLAGE

Für den Leistungsbereich um 100 kW kann die Gesamtanlage mehrere Hochvoltspeicher umfassen. Hohe Leistungen und der Einsatz im gewerblichen Bereich mit geschultem Personal lassen die notwendigen Spannungslagen von 800 V DC zu. Dabei werden zwei Hochvoltspeicher mit 400 V DC seriell zusammenschaltet. Beispielhaft für diesen Anwendungsbereich ist ein Rack mit vier Hochvoltspeichern in **BILD 3** dargestellt. Jeweils die beiden oberen und unteren Hochvoltspeicher werden zu einer Einheit zusammenschaltet und können je nach Anwendung in Leistung und Energie skaliert werden mit einer dafür passenden Auslegung der Wechselrichter. Neben großen gewerblichen PV-Anlagen ist das Peak Shaving (Lastmanagement) ein Anwendungsbereich, um Strombedarfsspitzen eines Unternehmens zu glätten. Mit diesen Batterieracks wurden in der Vergangenheit bereits Anlagen aufgebaut, die DC-Schnellladestationen versorgen können und zur Kosteneinsparung beitragen, da diese keinen starken Netzanschluss benötigen.

### FREQUENZSTABILISIERUNG IM MEGAWATT-MASSSTAB

Zur Teilnahme am Primärregelleistungsmarkt muss eine Mindestleistung von 1 MW angeboten werden können [3]. Für diese Größe wäre prinzipiell die Rackbauweise wie in der mittleren Anwendung auch möglich, erfordert aber sehr viel Raum. Eine dichtere Bauweise ist die Konfiguration von einzelnen Modulen in Batterieschrän-

ken, die ihrerseits in Containern oder geeigneten Hallen aufgestellt werden können. Neben der Frequenzstabilisierung ist auch die Pufferung von Windparks als Anwendung denkbar.

### AUSLEGUNG VON BATTERY-SECOND-LIFE-ANWENDUNGEN

Ein typisches Fahrzeug ist nur circa ein bis zwei Stunden 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 Stunden pro Tag und 365 Tage im 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



**BILD 3** Gebrauchte Elektrofahrzeug-Hochvoltspeicher von vier Fahrzeugen als stationärer Gesamtspeicher in Rackbauweise (© EVA Fahrzeugtechnik)



**BILD 4** Second-Life-Batterieschränke der aufgebauten prototypischen Megawatt-Anlage (© BMW)

zweiten Leben der Batterie ermöglichen. Im Batteriemanagementsystem (BMS) des Stationärspeichers ist darüber hinaus eine andere Balancing-Strategie zu implementieren. So ist es beispielsweise notwendig (analog zum schlafenden Fahrzeug), ganz bewusst den Balancing-Vorgang zu starten.

Im Folgenden werden einige Auslegungskriterien der bereits aufgebauten

prototypischen Second-Life-Anlagen näher beleuchtet.

#### **AUSLEGUNG E/E-KOMPONENTEN**

Durch den Betrieb mit niedrigeren Strömen (C-Rate = Lade- oder Entladestrom bezogen auf die Kapazität) als im Fahrzeug und anderen Auslegungsparametern wurden E/E-Kompo-

nenten wie Sicherungen und Schütze im stationären Bereich neu ausgelegt und implementiert. Dies betrifft auch unterschiedliche Kabelquerschnitte und neue Hochvoltkabel, die nicht vom Fahrzeug in die stationäre Anwendung übernommen werden konnten.

#### **PACKAGING**

Wird der Hochvoltspeicher bis auf Modulebene zerlegt, müssen die Module sinnvoll in Batterieschränke geometrisch eingeplant werden, **BILD 4**. 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.

#### **WÄRMEMANAGEMENT**

Oft werden Hochvoltspeicher im E-Fahrzeug mit Flüssigkeit gekühlt. Da bei den beschriebenen prototypischen stationären Batteriespeichern der Hochvoltspeicher bis auf die Modulebene zerlegt wurde, musste auf eine bedarfsgerechte Luftkühlung übergegangen werden. Diese wird nur bei höheren C-Raten aktiviert (bei den Megawatt-Anlagen ist dies bei Abruf der Leistung durch den Übertragungsnetzbetreiber gegeben), ansonsten reicht die passive Kühlung ohne Lüftung.

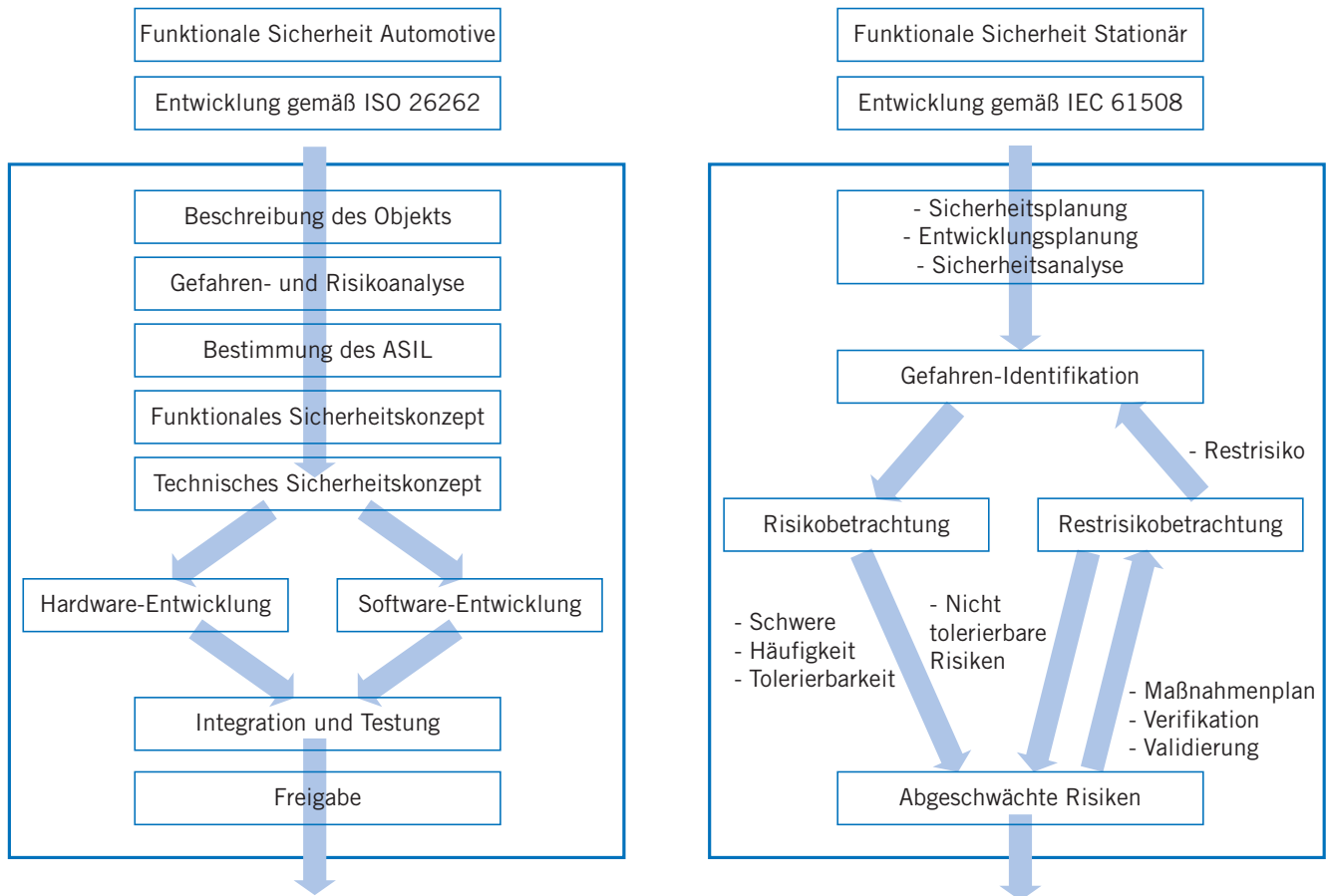


BILD 5 Unterschiede bei der funktionalen Sicherheit von mobilen (links) und stationären (rechts) Hochvoltspeichern © EVA Fahrzeugtechnik

**SYSTEMARCHITEKTUREN MIT 800 UND 400 V SPANNUNGS-LAGE**

Typische Fahrzeug-Hochvoltpeicher haben eine Gleichspannung von maximal 400 V DC. Dies macht es schwierig, mit standardmäßig verfügbaren Wechselrichtern auf die übliche Wechselspannungslage von 3 × 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 Hochvoltspeichers. Dies hat allerdings umfangreiche Änderungen, zum Beispiel bei den E/E-Komponenten, und die Einhaltung der Luft- und Kriechstrecken zur Folge. Zudem müssen zwei ähnlich gealterte Hochvoltpeicher seriell miteinander zusammengeschaltet werden.

**SICHERHEITSAASPEKTE**

Die Unterschiede bei der funktionalen Sicherheit von mobilen und stationären

Hochvoltspeichern zeigt BILD 5. Im Fahrzeugbereich ist die ISO 26262 anzuwenden. Mit einem funktionalen und technischen Sicherheitskonzept geht es in getrennte Hardware- und Software-Entwicklungen, die integriert, getestet und abgesichert werden. Im stationären Bereich kommt die IEC 61508 zum Einsatz, bei der eine umfangreiche Gefahren- und Risikobetrachtung erfolgt.

**AUSBLICK**

Die Verwendung gebrauchter Elektrofahrzeugbatterien ist ein noch neuer Ansatz. Bisher existieren erst vergleichsweise wenige Elektrofahrzeuge auf dem Markt, und gebrauchte Fahrzeugbatterien für eine stationäre Anwendung stehen erst dann zur Verfügung, wenn Reichweite und Performance dem Kunden nicht mehr ausreichend genug erscheinen. Dies bedeutet, dass mit einer relevanten Menge an gebrauchten Elektrofahrzeugbatterien erst in den kommenden Jahren mit ansteigender Tendenz, gekoppelt mit einem Anstieg von Elektrofahr-

zeugen, 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 sinnvoll sein. Mittelfristig wird das Thema Battery Second Life durch die schnell ansteigende Menge an alten Fahrzeugbatterien an Bedeutung gewinnen.

**LITERATURHINWEISE**

- [1] RWTH Aachen University: BatteReMan. Online: <https://www.pem.rwth-aachen.de/cms/PEM/Forschung/Projekte/~kvia/BatteReMan/>, aufgerufen am 25.02.2020
- [2] Volkswagen: Klimabilanz von E-Fahrzeugen & Life Cycle Engineering. Online: [https://uploads.volkswagen-newsroom.com/system/production/uploaded\\_files/14448/file/da01b16ac9b580a3c8b-c190ea2af27db4e0d4546/Klimabilanz\\_von\\_E-Fahrzeugen\\_Life\\_Cycle\\_Engineering.pdf?1556110703](https://uploads.volkswagen-newsroom.com/system/production/uploaded_files/14448/file/da01b16ac9b580a3c8b-c190ea2af27db4e0d4546/Klimabilanz_von_E-Fahrzeugen_Life_Cycle_Engineering.pdf?1556110703), aufgerufen am 24.02.2020
- [3] Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung. Online: <https://www.regelleistung.net/ext/>, aufgerufen am 24.02.2020



DIESER BEITRAG IST IM E-MAGAZIN VERFÜGBAR UNTER:

[www.emag.springerprofessional.de/atx](http://www.emag.springerprofessional.de/atx)

