

# Der PRL-Hybrid

## Regelleistung in Zukunft noch wirtschaftlicher

### Primärregelleistung oft wesentlicher Anteil der Speicherrendite

Im Zusammenhang mit der viel diskutierten Energiewende übernimmt der Einsatz von Großspeichersystemen in Gewerbe, Industrie und auch bei Energieversorgern eine immer wichtigere Rolle. Speicher sollen in Zukunft die Brücke bilden zwischen der volatilen Einspeisung erneuerbarer Energieträger einerseits und der Strom-Nachfrage in den Netzen andererseits. Für jeden Speicher muss es natürlich auch jemand geben, der ein wirtschaftliches Interesse hat, ihn zu errichten bzw. zu investieren und das setzt wiederum gewisse minimale Renditekennzahlen oder anders ausgedrückt einen entsprechend kurzfristigen Return on Investment voraus. Die wirtschaftliche Bewertung von Speicherprojekten zeigt, dass ein Batteriespeicher meist mehrere Aufgaben erfüllen muss, um eine gute Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Jede dieser Aufgaben bringt in der Regel einen gewissen Beitrag zur Gesamt-Wirtschaftlichkeit eines Speichers. Manche Aufgaben sind gut miteinander kombinierbar, andere wiederum weniger. Manche Aufgaben haben einen größeren Anteil an der Wirtschaftlichkeit oder bilden sogar deren Basis, andere sind eher als Ergänzungen zu sehen. In sehr vielen Fällen ist z.B. die Lastspitzkappung (auch: Peak-Shaving) die wesentliche Säule der Wirtschaftlichkeit, sei es beim Strombezug eines Industrieunternehmens oder aber auch im Netz eines kleineren oder mittleren Stadtwerkes, das für die bezogenen Leistungsspitzen ebenfalls oft hohe Netzentgelte zahlen muss. Fast ebenso häufig ist bei größeren Projekten die **Regelleistungserbringung**, speziell die Bereitstellung von Primärregelleistung die wirtschaftliche Basis einer Speicherinvestition.

Im Europäischen Verbundnetz werden Differenzen zwischen Stromeinspeisung und Stromentnahme i.a. durch netzdienliche Speicher oder Kraftwerke ausgeglichen, die Regelleistung liefern. Sie erkennen an der Abweichung der Netzfrequenz vom Sollwert (50,00Hz), ob das Angebot oder die Nachfrage an Leistung überwiegt und reagieren dementsprechend. Bei Überfrequenz wird gemäß einer vorgegebenen Kennlinie Leistung aus dem Netz entnommen, bei Unterfrequenz wird Leistung ins Netz abgegeben. Die sogenannte Primärregelleistung (kurz: PRL) ist nach den rotierenden Massen im Netz (die sog. Momentanreserve) die schnellste Form der Regelleistung. Für längerfristige Abweichungen ist die Sekundärregelleistung oder die sogenannte Minutenreserve vorgesehen.

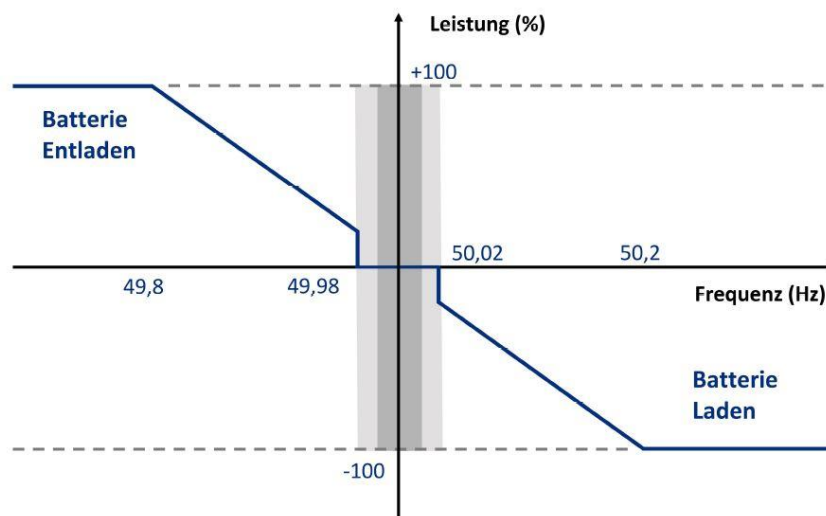


Bild 1: Normierte Kennlinie der Regelleistungserbringung in Abhängigkeit von der Frequenzabweichung

Die Erbringung der PRL wird wöchentlich an der Strombörse ausgeschrieben. Ein Speicher in relevanter Größenordnung kann also die Bereitschaft, Regelleistung zu erbringen, an der Strombörse anbieten und vermarkten. Vorher muss er dem ÜNB (Übertragungsnetzbetreiber) aber im Rahmen einer Präqualifizierung nachweisen, dass er die erforderlichen Rahmenbedingungen auch einhält, dass also sein System bei Anforderung ausreichend schnell und über den erforderlichen Zeitraum hinweg Leistung abnehmen oder liefern kann. Auch eine entsprechende Redundanz bzw. Ausfallsicherheit muss gewährleistet sein, die man u.U. auch über den Zusammenschluss mit anderen Anbietern über einen Vermarkter nachweisen kann. Ausgeschrieben wird nur eine begrenzte Menge an Regelleistung, was den Börsenpreis für diese Leistungsbereitstellung auch in den letzten Monaten immer mehr unter Druck gesetzt hat. Der Erlös für einen Speicher aus der PRL ist also einerseits recht einfach anhand des momentanen Marktpreises zu berechnen, andererseits ist die Preisstabilität für längere Zeiträume nur schwer abzuschätzen, was sich auf die Verlässlichkeit von langfristigen Wirtschaftlichkeitsprognosen für Speicher nicht unbedingt positiv auswirkt. Wirtschaftlich sinnvoll ist PRL nur bei größeren Speichersystemen, denn der Aufwand zur Präqualifizierung und zur Vermarktung ist für kleinere Systeme schlicht unwirtschaftlich.

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von PRL-Speichern ist nicht ganz trivial, da sie von vielen Rahmenbedingungen abhängt. Ein Speicher gilt ja nach wie vor als Verbraucher und/oder Energieerzeuger, je nachdem, ob er gerade Energie einspeichert oder ausspeichert. Generell gilt in diesem Anwendungsfall eine Befreiung von der Stromsteuer, was aber nicht immer sofort rechtlich anerkannt wird. Sowohl die ein- und ausgespeicherten Strommengen, als auch die Speicherverluste sind nach §118 (6) EnWG von Netzentgelten befreit. Voraussetzung für die Anerkennung ist aber ein Vertrag mit dem Verteilnetzbetreiber. Die im Strompreis enthaltene EEG-Umlage muss ebenfalls für ein- und ausgespeicherte Strommengen nicht entrichtet werden. Allerdings ist für die im Speicher entstehenden Verluste sowohl die EEG-Umlage, als auch die Stromsteuer zu entrichten.

Generell geht man davon aus, dass die Wirtschaftlichkeit von PRL in den nächsten Jahren weiter unter Druck geraten wird, da einerseits die ausgeschriebenen Mengen an Regelleistung weitgehend konstant bleiben, andererseits aber immer mehr Speicherprojekte in Betrieb genommen werden und diesen „Kuchen“ unter sich und den konventionellen Kraftwerken, die ebenfalls teilweise Regelleistung mit anbieten, entsprechend aufteilen. Manche Speicherinvestoren überlegen auch, die PRL-Erlöse mittelfristig durch Erlöse aus kurzfristigen Stromhandelsgeschäften zu ersetzen, aber derzeit kann damit das Niveau der PRL-Einkünfte damit noch nicht erreicht bzw. adäquat ersetzt werden, wie z.B. kürzlich die Energy Brainpool in einem Fachvortrag gezeigt hat.

## Second-Life-Batterien für PRL-Speicher

Insbesondere bei größeren Speichersystemen für den gewerblichen Einsatz können statt neuen Batteriesystemen auch sogenannte Second-Life-Systeme, also gebrauchte Akkus aus Fahrzeugen zum Einsatz kommen. Batterieelektrische Fahrzeuge waren zwar in den letzten Jahren noch relativ wenig verbreitet, dennoch stehen derzeit schon größere Posten an ausrangierten Akku-Paketen aus den ersten Serienfahrzeugen zur Verfügung. Betrachtet man den rasanten Anstieg der Zulassungszahlen seit Mitte 2017 wird sich diese Entwicklung schnell weitere Dynamik aufnehmen. Gerade auch wegen der kurzen Innovationszyklen in diesem noch jungen Bereich werden in vielen Fällen auch Produkte nicht deswegen dem Verkehr genommen, weil Ihre Lebenszyklen schon weitgehend abgelaufen sind, sondern vielmehr werden auch in laufende Fahrzeuge mitunter Akkupakete einer neueren Generation eingesetzt, weil inzwischen größere Kapazitäten zur Verfügung stehen und zu besseren Reichweiten und somit zu mehr Praxistauglichkeit führen. Da im stationären Betrieb das Verhältnis von Kapazität

zu Gewicht aber eine eher untergeordnete Rolle spielt, steht hier in den nächsten Jahren eine durchaus relevante Größenordnung an Akkukapazität für netzdienliche Anwendungen zur Verfügung.

Vom ökologischen Standpunkt her ist diese Zweitverwendung von Kapazitäten aus dem Automotive-Bereich sicher sehr zu begrüßen, denn zum momentanen Zeitpunkt sind Recyclingkapazitäten für Zellen erst im Aufbau, so dass die enthaltenen Wertstoffe bis dato kaum zurückgewonnen werden können. Man kann aber sicher davon ausgehen, dass nach einem „zweiten Akkuleben“, also in einigen Jahren, ausreichende Recyclingkapazitäten zur Verfügung stehen werden. Die Rohstoffe aus diesen Zellen werden also dann wohl ihr drittes Leben beginnen. Natürlich hat der Einsatz dieser gebrauchten Batteriesysteme auch einen wirtschaftlichen Aspekt, werden sie doch von den Autoherstellern zu weitaus geringeren Preisen abgegeben, als man für neue Systeme ausgeben müsste. Hier sind zwar zusätzliche Aufwendungen für die mechanische Unterbringung, für die Spannungsanpassung und ggfs. für Garantierückstellungen zu berücksichtigen, aber dennoch ist die Systemtechnik im Vergleich zur Neubeschaffung immer noch wesentlich günstiger, so dass man mit Blick auf die gesamte Wirtschaftlichkeit auch von einem zusätzlichen „virtuellen Erlöspfad“ der Zweitverwertung sprechen könnte, der die Rendite des gesamten Projektes nochmals ein wenig attraktiver macht.

## Lebensdauer von Second Life-Batterien im PRL-Einsatz

Betrachtet man nun die bereits geschilderte sehr knappe Wirtschaftlichkeit von Speichern in reiner PRL-Anwendung, so kommt der Zuverlässigkeit und Haltbarkeit der Akkupakete eine ganz wesentliche Bedeutung zu, denn eine Investition mit knapper Rendite ist dann interessant, wenn sie zumindest kein hohes Risiko beinhaltet. Während die Lebensdauer der verwendeten leistungselektronischen Komponenten und der restlichen Peripherie i.d.R. recht gut abgeschätzt werden kann, gibt es zur Lebensdauer von Lithiumzellen in ihren verschiedenen Technologien noch keine sehr langfristigen Erkenntnisse. Allerdings lässt sich zusammenfassen, dass eine Alterung von Zellen immer von mehreren Faktoren beeinflusst wird.

- Die **kalendarische Alterung** beschreibt die „natürliche“ chemische Altersgrenze einer Zelle. Auch wenn die Zelle nicht belastet wird, begrenzen dennoch chemische Prozesse die Zell-Lebensdauer. Hier hat auch der SOC, also der Ladezustand oder „State of Charge“ einen ganz wesentlichen Einfluss, denn die Zelle altert z.B. bei 50% weit weniger als nahe 0% (komplett entladen) oder bei 100% (komplett geladen). Das ist auch einer der Gründe, warum die intelligente Betriebsführung eines Speichersystems die Alterung sehr positiv beeinflussen kann.
- Der zweite wesentliche Hauptfaktor ist die **zyklische Alterung**, also die Alterung durch das Laden und Entladen. Hier gibt es sehr viele beeinflussende Parameter, wie z.B. die Häufigkeit, aber auch die Höhe der jeweiligen Belastung, die Zelltemperatur während der Belastung und auch die Gradienten der Temperatur im Inneren der Zelle, weshalb dem Thermomanagement i.a. eine sehr hohe Bedeutung zukommt.

**Für den Unterschied vom stationären PRL-Einsatz zum mobilen Einsatz im Fahrzeug** kann man im Vergleich nun den Einfluss einiger Parameter zumindest qualitativ recht gut abschätzen:

1. Batteriesysteme im stationären Einsatz werden i.d.R. in klimatisierten Gebäuden und Behältern untergebracht und bei idealen Temperaturbedingungen betrieben. Im Vergleich zu

einem Einsatz im Fahrzeug, wo die Zellen bei Temperaturen von Minus 25 Grad bis oft über 35 Grad Außentemperatur nicht nur gelagert, sondern auch mit Volllastzyklen betrieben werden, lässt der Einsatz im idealen Temperaturfenster eine vergleichsweise viel höhere Rest-Lebensdauer erwarten.

2. Stationäre Speicher arbeiten meist mit Belastungsraten von maximal 1C, also einem Laststrom, der die Zelle in minimal einer Stunde lädt oder entlädt. In Fahrzeugen sind Belastungen bis 3C vollkommen üblich, auf vollen Entladestrom (beim Beschleunigen) folgt oft im nächsten Moment (beim Rekuperieren des Fahrzeuges) der volle Ladestrom und das Ganze im ungünstigsten Fall noch bei Minus 25 Grad.
3. In Fahrzeugen treten üblicherweise sehr starke mechanische Wechselbelastungen, die zu sporadischen Frühausfällen führen können. Im stationären Einsatz entfallen diese Einflüsse komplett.

**Im Vergleich zum Einsatz in Fahrzeugen bei extremen Wechselbelastungen und extremen Temperaturen stellt also der Einsatz in einem industriellen Umfeld vergleichsweise wesentlich geringe Anforderungen für dieses „zweite Akkuleben“ dar. Dennoch gibt es kein System, das man nicht noch weiter verbessern könnte, wie der nächste Abschnitt zeigen soll.**

## **Der „PRL-Hybrid“: Optimierung der Lebensdauer im Gesamtsystem**

Die Smart Power GmbH & Co. KG beschäftigt sich seit einiger Zeit im Rahmen verschiedener Projekte mit dem Einsatz von 2nd use-Akkus für stationäre Anwendungen. In den meisten Fällen ist dabei die PRL-Anwendung der maßgebliche Anwendungsfall. Auch in den Fällen, bei denen verschiedene Anwendungen kombiniert werden (z.B. PRL mit Peak Shaving), überwiegt im zeitlichen Einsatz meist die PRL und ist damit auch mehr oder weniger bestimmend für die Akku-Lebensdauer. Im Rahmen dieser Projekte entstand das hier beschriebene Systemkonzept, im folgenden „PRL-Hybrid“ genannt.

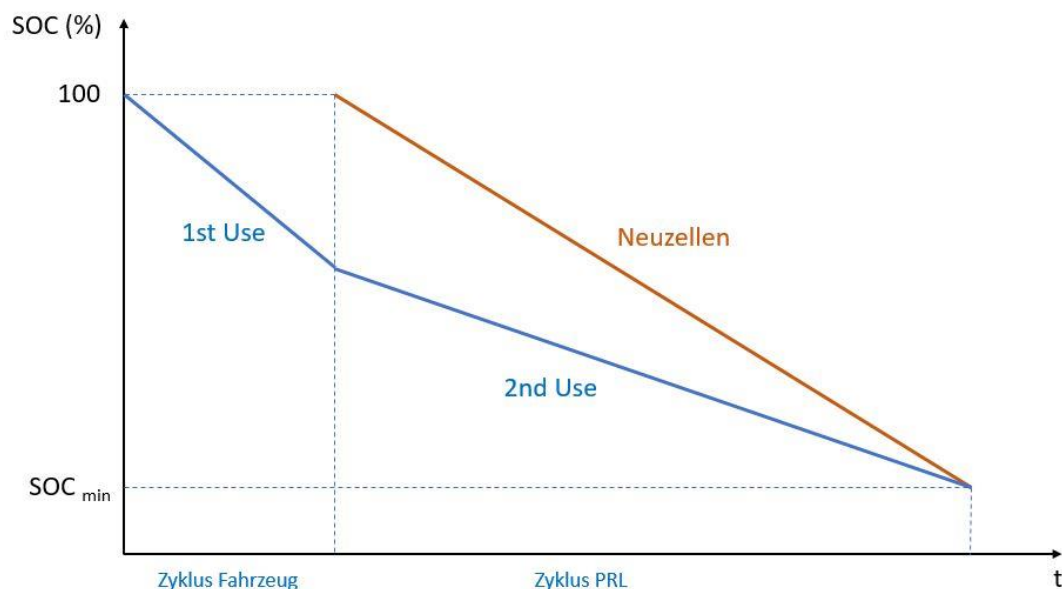
Beim Aufbau eines PRL-Speichers nach diesem Konzept wird nicht der ganze Speicher, sondern nur ein gewisser Prozentsatz (i.a. um 80%) mit 2nd-Use-Akkus aufgebaut. Der Rest des Speichers wird mit neuen Zellen bestückt. Jeder Systemteil wird mit getrennt steuerbaren Umrichtersträngen betrieben, so dass die Lastaufteilung zwischen gebrauchten und neuen Zellen zu jedem Zeitpunkt frei bestimmt werden kann.

Über einen optimierten Regelalgorithmus wird diese Anlage im PRL-Einsatz nun so angesteuert, dass bei den recht häufigen **kleinen Leistungen und Regeleinsätzen i.a. nur die neuen Zellen** zum Einsatz kommen. Die Einheiten mit den gebrauchten Zellblöcken wird dagegen dann zusätzlich aktiviert, wenn entweder die abgerufene Leistung oder auch deren Gradient von Anfang an einen gewissen Schwellwert überschreitet, also die Netzfrequenz vom Sollwert um einen entsprechenden Betrag abweicht, oder wenn die Einsatzzeit des Regeleingriffes länger anhält.

Mit diesem Algorithmus wird also erreicht, dass die neuen Zellen sehr häufige Zyklen und Einsatzzeiten erfahren, während die gebrauchten Zellen über weite Strecken beim optimalen SOC von 50% verweilen und nur selten als zusätzliche „Energiereserve“ mit herangezogen werden. Mit diesem Regelverfahren wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass PRL-Speicher zwar im Rahmen der Präqualifikation grob formuliert über 30 Minuten die volle Leistung erbringen müssen, dass aber diese Anforderungen im praktischen Regelleistungseinsatz fast nie vorkommen.

So werden mit diesem Verfahren folgende Vorteile erreicht:

- Der Speicheranteil mit neuen Zellen erfährt im Normalbetrieb die meisten Zykleneinsätze. Diese Zykleneinsätze der Neuzellen erfolgen mit hoher Performanz und gleichzeitig mit einem hohen Wirkungsgrad. Der mittlere Speicher-Wirkungsgrad wird damit im Normalbetrieb hauptsächlich durch die neuen Zellen bestimmt und ist im Mittel entsprechend hoch.
- Die eingesetzten neuen Zellen stammen i.d.R. aus einer wesentlich neueren Generation als die gebrauchten Zellen. Performanz und Wirkungsgrad des gesamten Speichers sind damit trotz des Einsatzes günstiger Gebraucht-Zellen auf dem jeweils aktuell neuesten technischen Stand.
- Der Speicheranteil mit gebrauchten Zellen erfährt im Normalbetrieb nur sehr wenig Zyklen. Die Zyklen-Alterung dieses Teils wird dadurch sehr verlangsamt und die Lebensdauer damit verlängert.
- Durch die Lastaufteilung ist es im Allgemeinen ausreichend, nur für den Teil mit den neuen Zellen ein aktives Thermomanagement vorzusehen. Der meist wesentlich größere Teil mit den gebrauchten Zellen kann mit einer vergleichsweise günstigen passiven Klimatisierung betrieben werden, was den Preis des gesamten Speichers positiv beeinflusst.



SOH: State of Health – Maß für die Alterung der Zellen  
 SOH<sub>min</sub>: Gemeinsames Ende der Prognoselebensdauer für das Gesamtsystem

**Bild 2: Gesteuerter Alterungsprozess über den Lebenszyklus eines PRL-Hybrid**

Das Diagramm zeigt den Alterungsprozess der beiden Zelltypen im PRL-Hybrid im qualitativen Vergleich, vereinfacht linear dargestellt. Die 2nd-Use-Zellen erfahren zuerst in ihrem mobilen Einsatz eine vergleichsweise schnelle Alterung und werden dann mit ihrer vorhandenen Rest-Lebensdauer in den 2nd Use-Einsatz übergeführt. Die Alterung dieser Zellen ist im weiteren Lebenszyklus aus den oben geschilderten Gründen wesentlich verlangsamt. Die neuen Zellen gehen sozusagen ohne Voralterung in den PRL-Einsatz, erfahren aber wegen der starken dynamischen Belastung eine vergleichsweise hohe Zyklenalterung.

Das Optimierungsziel des Betriebsalgorithmus wird nun so gewählt, dass die gesamte Anlage über die Einsatzjahre gleichmäßig „altert“ und ein am Schluss der Betriebsphase möglichst beide Batterieteile

gleichzeitig das Ende der technischen und/oder wirtschaftlichen Lebensdauer erreichen. Zu diesem Zeitpunkt kann dann entschieden werden, ob oder in welcher Form die gesamte Anlage ggfs. repowert werden kann.

Insgesamt wird also mit diesem Verfahren eine wesentliche wirtschaftliche Optimierung von PRL-Batteriespeichern erreicht. Der Einsatz eines großen Prozentsatzes von 2nd-Use-Zellen ergibt eine hohe präqualifizierbare Leistung zu geringen Kosten. Durch die vergleichsweise geringe Beimischung hochperformanter Neuzellen wird die Lebensdauer der Gebraucht-Zellen wesentlich verlängert und damit die Nutzungszeit des gesamten Speichers maximiert. Nicht zu vernachlässigen ist auch der positive Einfluss auf die Umweltverträglichkeit, da mit diesem Konzept vorhandene Rohstoffe weitergenutzt und neue Rohstoffe eingespart werden.

**Dipl.-Ing. Hans Urban**  
Business Development  
urban@smart-power.net  
**Smart Power GmbH & Co. KG**  
Dornacher Straße 3  
85622 Feldkirchen bei München