

# Integration von Speichern in elektrische Versorgungsnetze

DI Roland Wasmayr, Dr. Johannes Schmid, DI Klaus Kafka

ALPINE-ENERGIE Österreich GmbH, Winetzhammerstr. 6, ++43/732/90610/366,  
roland.wasmayr@alpine-energie.com, www.alpine-energie.com

## **Kurzfassung:**

Nachdem der Anteil dezentraler, erneuerbarer Energiequellen in Niederspannungsnetzen in den letzten Jahren stark gestiegen ist, wird nun der Speicherung dieser fluktuierenden Energieform vermehrt Beachtung geschenkt, um die Stabilität der elektrischen Versorgungsnetze in gewohnter Weise garantieren zu können [1]. Diese Arbeit beschäftigt sich mit unterschiedlichen Topologien von handelsüblichen elektrochemischen Speichern, sowie möglicher Regelstrategien zum Betrieb dieser.

Dieser Artikel basiert auf Arbeiten, die im Rahmen des kooperativen Forschungsprojektes „Vision Step I“ durchgeführt werden (smartcityvillach.at). Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „SMART ENERGY DEMO – FIT for SET“ durchgeführt [2].

**Keywords:** Batterie, Speicher, Netzparallel, Qualität, Lastgang, Ertragsgang, Regelung, Steuerung

## **1 Einsatzmöglichkeiten netzparalleler Batteriespeicher**

Beschränkt man sich, wie bereits oben erwähnt, auf elektrochemische Speicher zur Stabilisierung von Niederspannungsnetzen, ist es sinnvoll, zuerst mögliche Ursachen von unterschiedlichen Netzproblemen zu betrachten. Für einige dieser Probleme können Speicher eine Lösung sein, jedoch sollten sie dafür an verschiedenen Netzpunkten integriert werden. In Abbildung 1 werden vier mögliche Anbindungspunkte gezeigt, die für die weiteren Betrachtungen herangezogen werden.

- „Energieausgleich“: An zentralen Netzknoten könnten die Speicher Energie ins Niederspannungsnetz liefern bzw. überschüssige, regional erzeugte Energie aufnehmen. Eventuell könnten diese Speicher auch primäre Regelenergie bereitstellen.
- „Netzqualität“: In einzelnen kritischen Abzweigen könnten die Speicher die Spannungsqualität verbessern (Phasen-Symmetrierung, Oberwellendämpfung)
- „Lastgang“ (Consumer): Bei einzelnen Verbrauchern könnten Spitzenleistungen verringert werden, um Netzurückwirkungen zu minimieren.
- „Ertrags- und Lastgang“ (Prosumer): Eigenverbrauchsoptimierung einzelner Kunden mit kleinen Energieerzeugungsanlagen.

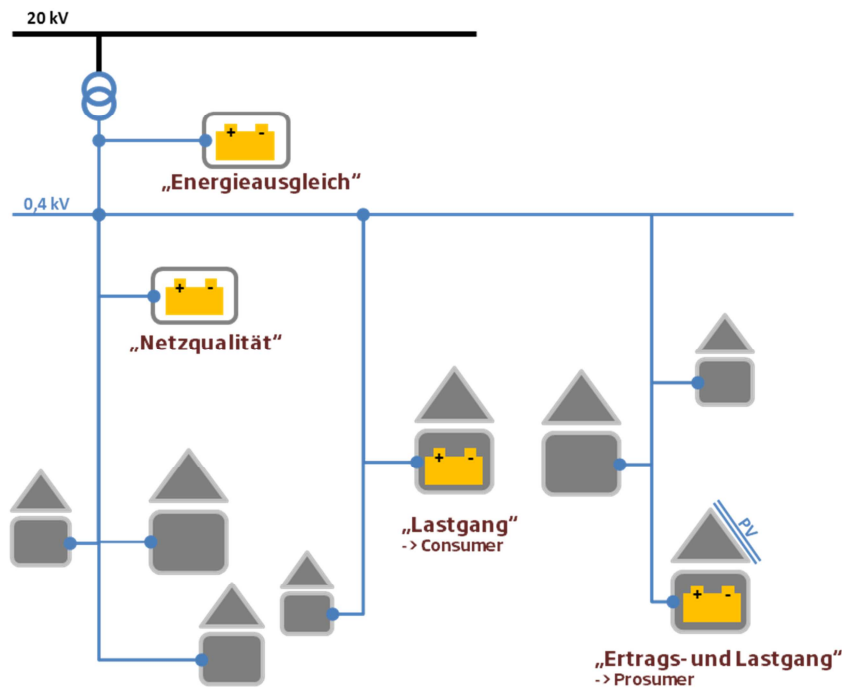


Abbildung 1: Vier mögliche Positionen, um Speicher in ein Niederspannungsnetz zu integrieren

## 1.1 Energieausgleich

Diese zentral angeordneten Speicher werden hauptsächlich zum Energieausgleich eingesetzt. Die gewählte Speichergroße definiert den Zeitraum, in dem Energieschwankungen ausgeregelt werden können. Derzeit übernehmen diese Aufgabe Stelltransformatoren, Längsregler, steuerbare Induktivitäten oder Ähnliches.

Werden mehrere kleine, regenerative Energiequellen in kritische Netzabschnitte eingebunden, kann mit Hilfe der oben erwähnten Mittel ebenfalls ein Energieausgleich geschaffen werden. Greifen diese Maßnahmen nicht, dann wird üblicherweise das Installieren weiterer Kleinkraftwerke untersagt, bis das Netz entsprechend ausgebaut ist. Auch für diesen Fall können elektrochemische Speicher eine interessante Alternative darstellen, sodass der Anteil regenerativer Energiequellen erhöht werden kann.

Ein weiterer Anwendungsfall, wäre die Bereitstellung primärer Regelenergie. Diese Regelenergie wird derzeit aus rotierenden Massen (der Kraftwerksgeneratoren), schnellen Speicherkraftwerken oder Energiereserven bestimmter kalorischer Kraftwerke bereitgestellt [3]. Entsprechende Batterien könnten in Zukunft einen gewissen Anteil dieser notwendigen Regelenergie übernehmen. Dabei wäre es auch denkbar, mehrere kleinere, im Niederspannungsnetz verteilte, Batterien zu einem Verbund zusammenzuschließen und gemeinsam zu betreiben [4].

Herkömmliche Lieferanten von primärer Regelenergie sind typischerweise im Mittel- bzw. Hochspannungsnetz angesiedelt.

Die Positionierung von Batteriespeichern im Niederspannungsnetz bietet künftig die Möglichkeit, hochverfügbare primäre Regelenergie in unmittelbarer Verbrauchernähe bereit zu halten. Dies bietet den Vorteil noch rascher und gezielter auf gewisse Ereignisse zu reagieren,

sodass Verluste und Kosten gespart werden, weil bereits wenig Regelenergie ausreicht um die Netzbedingungen vor Ort auszugleichen.

Wie weit die Regel- und Steuerungsalgorithmen von Speichern aus dem Mittel- bzw. Hochspannungsnetz verwendet werden können, muss untersucht werden.

Abgesehen von der (technischen) Notwendigkeit, primäre Regelenergie für stabile Netze bereitzustellen, kann damit in Zukunft unter Umständen auch Geld verdient werden, wenn beim Laden- bzw. Entladen der Batterie unterschiedliche, tageszeitabhängige Strompreise berücksichtigt werden. Diese wirtschaftliche Komponente muss auf alle Fälle mitbetrachtet werden.

## **1.2 Netzqualität**

Ein zunehmender Anteil der Verbraucher hat elektronische Schaltnetzteile bzw. Leistungselektronik integriert. Durch Alterung oder unsachgemäßer Verwendung lässt die Wirkung der integrierten EMV-Filter nach, sodass hochfrequente Störungen im Netz auftreten können. Ein weitere Art von Störungen sind Oberwellen, die beispielsweise von passiven Gleichrichtern verursacht werden. Werden viele kleinere einphasige Verbraucher gleichzeitig an einer Phase betrieben, dann erfolgt unter Umständen eine Verschiebung des Sternpunktes durch die unsymmetrische Belastung der drei Phasen.

## **1.3 Lastgang (Consumer)**

Ein bestimmter (großer) Verbraucher weist einen speziellen Lastgang auf, der eine oder mehrere sehr große Leistungsspitzen beinhaltet. Wenn das Auftreten dieser Leistungsspitzen vorhersehbar und regelmäßig sind, dann könnten diese durch einen Speicher abgefedert werden, sodass ein möglichst konstanter Energiefluss aus dem Netz erreicht werden kann. Neben der besseren Netzausnutzung können für den Kunden Vorteile entstehen, da die Kosten für einen Netzanschluss meist nach der Maximalleistung berechnet werden. Außerdem könnten zukünftig tageszeitabhängige Strompreise beim Laden bzw. Entladen des Speichers Berücksichtigung finden, wodurch ein erneuter Mehrwert gegeben wäre.

## **1.4 Ertrags- und Lastgang (Prosumer)**

In Analogie zum Lastgang (Kapitel 1.3) wird hier noch zusätzlich eine Energieerzeugungsanlage (meist bestehend aus regenerativen Energiequellen) mitbetrachtet.

In diesem Fall hat der Speicher die Aufgabe, neben den Lastspitzen auch die Erzeugungsspitzen abzufedern, sodass regenerative Energie dann bereitgestellt werden kann, wenn sie im Netz benötigt wird [5].

Ein weiterer Anwendungsfall dieses Speichers kann die Erhöhung des Eigenverbrauches mit Hilfe eines Energiemanagers sein.

Entscheidend für die optimale Nutzung des Speichers ist eine möglichst exakte Wetterprognose. Wie diese aussehen kann und in welcher Weise das Lademanagement auf eine Wetterprognose abgestimmt wird, muss näher betrachtet werden.

## 2 Mögliche Topologien und Betriebsarten zur optimalen Speicherbewirtschaftung

Entsprechend der in Kapitel 1 vorgestellten Einsatzmöglichkeiten, müssen auch die Regelstrategien gesondert betrachtet werden. Während der Einsatz als „Energieausgleich“ (siehe Kapitel 1.1) und „Netzqualität“ (siehe Kapitel 1.2) vorrangig zur Netzregulierung und Energiebereitstellung dienen, können die Speicher „Lastgang“ (Kapitel 1.3) und „Ertrags- und Lastgang“ (Kapitel 1.4) neben diesen Funktionen auch zur Optimierung des Eigenbedarfs verwendet werden. Die Maximierung des Eigenverbrauchs wird nicht immer mit den Wünschen des Energieversorgers konform gehen.

### 2.1 Energieausgleich

Werden Speicher zum Ausgleichen der Energie verwendet (siehe Abbildung 2), können zwei unterschiedliche Betriebsfälle auftreten: Wird eine autarke Betriebsstrategie gewählt, dann regelt der Speicher selbstständig, nach einem vorbestimmten Algorithmus die Netzgrößen Spannung und Frequenz phasenunabhängig aus. Eine schnelle präzise Messung der einzelnen Netzgrößen ist die Grundvoraussetzung für eine effiziente Regelung.

Eine andere Einsatzmöglichkeit stellt die gezielte Steuerung des Speichers durch eine übergeordnete Netzregelung dar. Diese Anwendung setzt die Fernsteuerbarkeit des Speichers über eine entsprechende Schnittstelle voraus.

Über diese Schnittstelle können mehrere solcher Speicher gemeinsam betrieben werden. Solche Konzepte werden bereits für kleine Kraftwerke angedacht. Diese

sogenannten „virtuellen Kraftwerke“ [4] bestehen auch aus vielen kleinen, dezentralen Energieerzeugungsanlagen, die von einer übergeordneten intelligenten Steuerung kontrolliert werden.

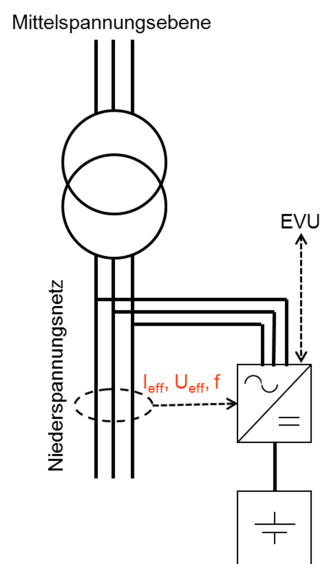


Abbildung 2: Die Einbindung eines Speichers unmittelbar am Mittelspannungs-Transformator zur Energiebereitstellung

### 2.2 Netzqualität

Das Entstören von Energieübertragungsnetzen wird im Allgemeinen durch Filterung erzielt, wobei dabei aktive und passive Filter zum Einsatz kommen. [6]. Während bei passiver Filterung vor allem Induktivitäten und Kapazitäten die Spannungs- bzw. Stromform verbessern, werden bei aktiver Filterung mithilfe geregelter Leistungselektronik den aktuell auftretenden Störungen gezielt entgegengewirkt. Ein netzgebundener Speicher kann somit auch als aktiver Filter eingesetzt werden, wenn die Mess- und Regeltechnik schnell genug ist (siehe Abbildung 3).

Die Symmetrierung der Phasen kann durch einen Energiefluss von einer weniger belasteten Phase zu einer stark belasteten erfolgen. Dies kann über die einzelnen Phasen der Wechselrichter und die Batterie erfolgen.

Dreiphasige Wechselrichter könnten möglicherweise den Energieausgleich über den Zwischenkreis durchführen und so die Batterie, durch die geringere Zyklenbelastung, schonen.

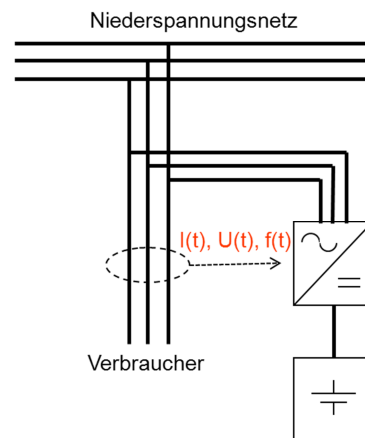


Abbildung 3: Integration eines Speichers an einer beliebigen, kritischen Stelle im Niederspannungsnetz

### 2.3 Typische Topologien für Heimspeichersysteme

Unter dem allgemeinen Begriff „Heimspeicher“ werden bereits von vielen Unternehmen kleine Speicher angeboten. Meist dienen diese der Optimierung des Eigenverbrauchs. Unter Umständen deckt sich die Erhöhung des Eigenverbrauchs mit den Anliegen des Netzbetreibers oder des Energieversorgers. Wenn die Interessen des Speicherbesitzers, des Netzbetreibers und des Energielieferanten gegenläufig sind, gilt es eine Priorisierung zu vereinbaren.

Da sich nicht jeder dieser angebotenen Heimspeicher für die Netzstabilisierung eignet, muss eine Unterscheidung hinsichtlich der derzeit bekannten Topologien vorgenommen werden:

- AC-Kopplung
- AC-Kopplung: eigener Verbraucheranschluss
- DC-Kopplung
- DC-Kopplung: eigener Verbraucheranschluss

Für das Entwickeln und Optimieren von Regelstrategien sind vor allem die möglichen Energieflüsse von Interesse. Für alle Topologien können folgende Grundlagen angenommen werden:

- Wenn die erzeugte PV-Leistung kleiner ist als die Verbraucherleistung und die Batterie leer ist, dann wird die fehlende Leistung vom elektrischen Netz gedeckt.
- Wenn die erzeugte PV-Leistung die Verbraucherleistung übersteigt und die Batterie vollgeladen ist, wird die überschüssige Leistung ins Netz eingespeist.
- Fällt die erzeugte PV-Leistung über einen längeren Zeitraum kleiner aus als die benötigte Leistung, wird es notwendig sein, die Batterie aus dem Netz nachzuladen, um die Batterie nicht zu schädigen. Aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen sollte dies aber nur in Ausnahmefällen geschehen. Dieses sehr wichtige Thema der „leeren Batterie“ würde den Rahmen dieses Papers sprengen und wird gesondert betrachtet [7].

- In Sonderfällen können diese Heimspeicher auch zur Netzstabilisierung beitragen, indem sie Energie in das Netz liefern. Dafür müssten aber die Speicher über Schnittstellen verfügen, über die die Netzbetreiber den Energiefluss der Heimspeicher direkt steuern können.

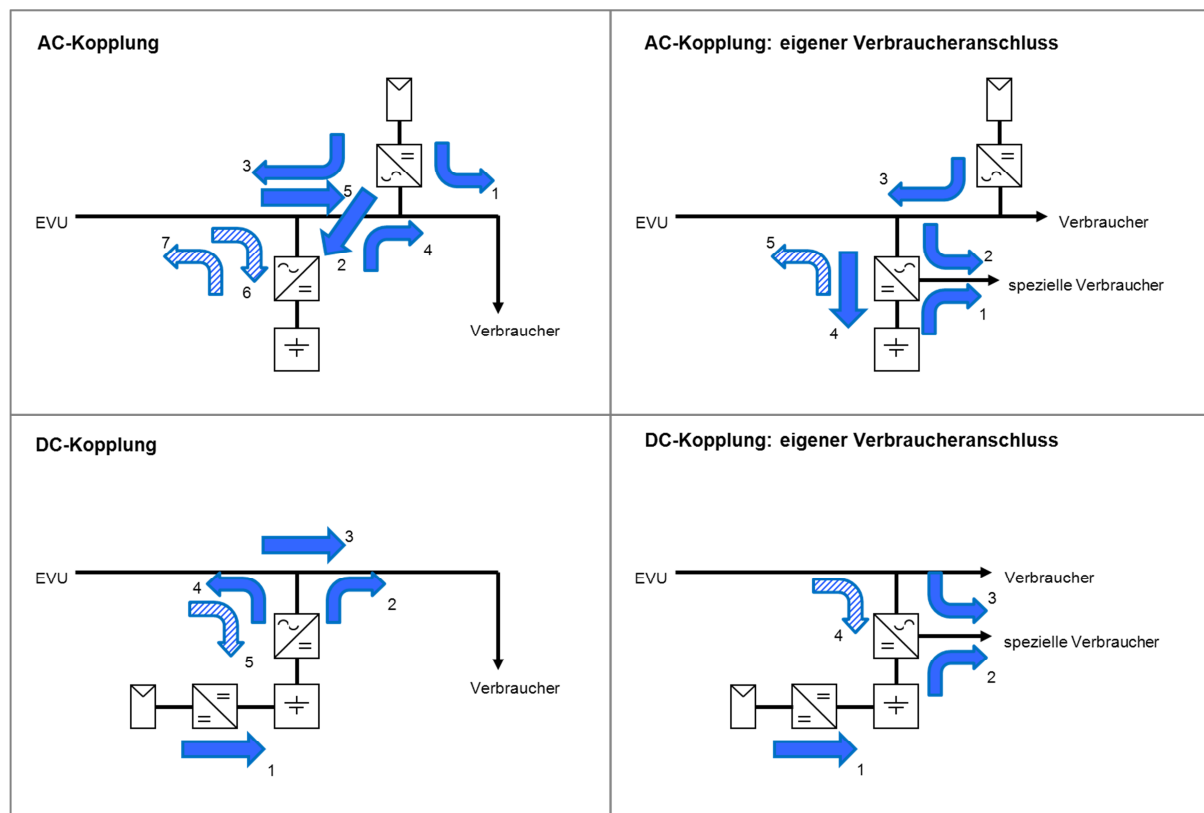


Abbildung 4: Die vier derzeit verwendeten Topologien im Bereich der Heimspeicher

### 2.3.1 AC-Kopplung

Der Zusammenschluss der einzelnen Komponenten auf der Netzseite (siehe Abbildung 4) erlaubt eine größtmögliche Vielfalt an Energieflüssen. Jeder mögliche Versorgungsfall wird durch sehr kurze Wege realisiert, sodass die Verluste auf ein Minimum reduziert werden. Die AC-Kopplung erlaubt es auch, bestehende PV-Anlagen mit Batteriespeichern nachzurüsten. Der große Nachteil dieser AC-Kopplung liegt im hohen Mess- und Regelaufwand.

### 2.3.2 AC-Kopplung mit eigenem Verbraucheranschluss

Einen deutlich geringeren Steueraufwand weist die in Abbildung 4 rechts oben vorgestellte Topologie auf. Nur bestimmte, extra angeschlossene Verbraucher können aus der Batterie versorgt werden. Ein Rückspeisen ins Netz (Energiefluss Nr. 5) ist bei den meisten Modellen nicht möglich, da kein bidirektional arbeitendes AC-Leistungsteil verbaut ist. Ein konventionelles Batterieladegerät (Energiefluss Nr. 4) wird mit einem Batteriewechselrichter (Energiefluss Nr. 1) kombiniert. Mithilfe eines Relais werden der oder die „speziellen Verbraucher“ auf das Netz geschaltet, wenn die Batterie leer ist (Energiefluss Nr. 2).

### 2.3.3 DC-Kopplung

Die in Abbildung 4 im unteren Teil vorgestellte Topologie findet man häufig bei kleinen und mittleren Inselanlagen vor. Eine PV-Anlage lädt mittels DC/DC-Wandler eine Batterie, die

über einen Batteriewechselrichter eine bestimmte Last versorgt. Mit einer geringfügigen Firmwareänderung des Batteriewechselrichters lässt sich die Funktionalität derart erweitern, dass solche Inselanlagen auch in bestehende Netze einspeisen können. Diese kostengünstige Alternative hat vor allem den Nachteil, dass bestehende PV-Anlagen nicht verwendet werden können. Aufgrund von Sicherheitsbestimmungen darf nämlich die Spannung am PV-Generator maximal 120V betragen. Typische PV-Generatoren für Netzeinspeisung weisen Spannungen zwischen 250V und 1000V auf. Ein weiterer Nachteil dieser Systeme ist der geringe Wirkungsgrad, hervorgerufen durch die kleine Spannung des PV-Generators und der Tatsache, dass Verbraucher nicht direkt mittels PV-Energie versorgt werden können. In jedem Fall führt der Energiefluss über die Batterie, was unnötige Zyklen und Verluste verursacht.

#### **2.3.4 DC-Kopplung miteigenem Verbraucheranschluss**

Eine weitere Vereinfachung der Steuerung, aber mit einer neuerlichen Reduktion der Flexibilität verbunden, bringt die DC-Kopplung mit einem separaten Anschluss für spezielle Verbraucher (siehe Abbildung 4 rechts unten). Hierbei handelt es sich um eine Kombination der beiden bereits in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 vorgestellten Topologien. Wiederum wird die gesamte PV-Energie zum Laden der Batterie verwendet um damit nur speziell ausgewählte Verbraucher zu versorgen. Eine Netzeinspeisung ist meist nicht vorgesehen. Das verringert den Mess- und Regelaufwand auf ein Minimum, bringt aber dafür den Nachteil, unflexibel und ineffizient zu sein. Wird beispielsweise bei voller Batterie mehr PV-Energie erzeugt als momentan verbraucht wird, kann diese nicht ins Netz gespeist werden.

### **3 Grundlegende Regelstrategien der einzelnen Anforderungen**

Die hier vorgestellten Regelstrategien stellen eine Basis dar, von der aus spezielle, an den jeweiligen Versorgungsfall individuell angepasste Regelalgorithmen entwickelt werden können. Keine der in Kapitel 2 aufgezählten Topologien kann als Universallösung gesehen werden. Aufgrund ihrer jeweiligen Vorzüge wird für jeden speziellen Anwendungsfall, die geeignete Topologie ausgewählt.

#### **3.1 Energieausgleich im Niederspannungsnetz**

Ausgehend von der Forderung, das Niederspannungsnetz zu stabilisieren, hat sich das Verhalten des Synchrongenerators als sehr geeignet erwiesen [8]. Während die Frequenz ein Maß der Wirkleistung ist, ändert sich die Amplitude der Spannung in Abhängigkeit der Blindleistung.

Abbildung 5 zeigt das Regeldiagramm für Speicher die einen Synchrongenerator simulieren, sodass primäre Regelenergie zur Verfügung gestellt werden kann.

Hauptsächlich wird diese Regelung für den „Energieausgleich“ (aus Kapitel 1.1) Verwendung finden. Zurzeit wird primäre Regelenergie von den Generatoren über das Mittelspannungsnetz bereitgestellt, sodass von symmetrischen Verhältnissen ausgegangen werden kann.

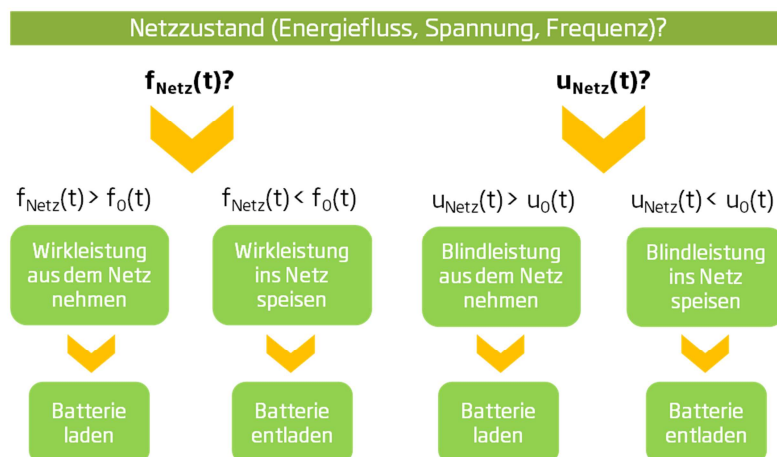


Abbildung 5: Simulation eines Synchrongenerators durch einen netzgebundenen Speicher

### 3.2 Verbesserung der Netzqualität

Im Gegensatz zur Bereitstellung bzw. Aufnahme von elektrischer Energie, wird hier mit Hilfe von Speichern die Netzqualität im Sinne aktiver Filter verbessert (siehe Abbildung 6). Aktive Filter, sogenannte „stationäre Kompensationsanlagen“, abgekürzt Statcoms [9], sind aus der Mittel- und Hochspannungsebene bekannt, wo diese Oberwellen und Störungen von Strom und Spannung herausfiltern um eine perfekte Sinusform zu garantieren. Statcoms speichern die Energie meist in Hochspannungskondensatoren.

Batteriespeicher könnten diese Aufgabe im Niederspannungsnetz wahrnehmen.

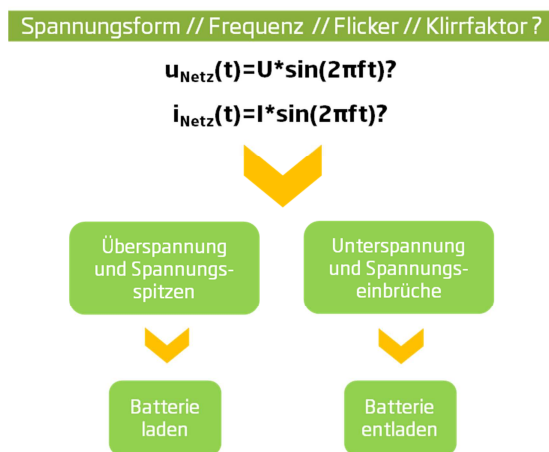


Abbildung 6: Regelgrundlage für Speicher zum Filtern von Netzstörungen

### 3.3 Ausgleich und Symmetrierung des Energieflusses

Phasenunsymmetrien und Schiefasten einzelner Phasen verursachen eine Verschiebung des Nullleiters (Trafo-Sternpunkt) [10]. Dies hat verzerrte Spannungen und in weiterer Folge unerwünschte Stromflüsse und möglicherweise auch Überspannungen zur Folge. Nachdem unsymmetrische Lasten bzw. einphasig einspeisende PV-Anlagen im Niederspannungsnetz für diese Nullpunktverschiebung verantwortlich sind, kann eine Symmetrierung direkt im Niederspannungsnetz (siehe Abbildung 7) Vorteile gegenüber Statcoms oder rotierende Generatoren im Mittel- und Hochspannungsnetz bieten.



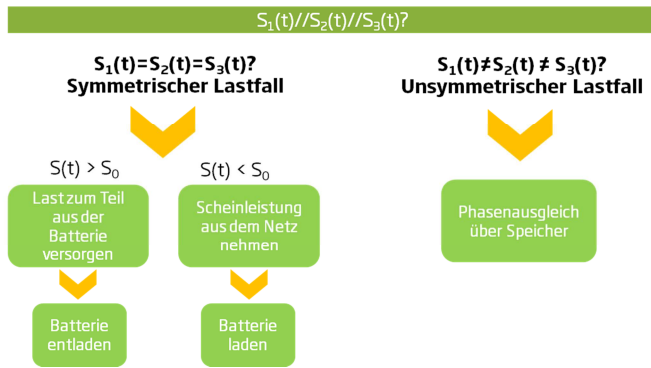


Abbildung 7: Regelgrundlage für Speicher zum Symmetrieren von Niederspannungsnetzen

### 3.4 Nutzung der Volatilität des Strompreises am Markt

Steht mehr Energie aus regenerativen Quellen zur Verfügung als momentan benötigt wird, muss diese zwischengespeichert werden, um nicht verloren zu gehen [11]. Ein dynamischer Strompreis könnte auf diesen Effekt Rücksicht nehmen.

Der Netzspeicher entscheidet aufgrund der momentanen Kosten, ob Energie vom Netz gekauft und somit der Speicher geladen wird, oder ob Energie ins Netz geliefert werden soll (Abbildung 8). Dieses Modell wird hauptsächlich den „Last- und Ertragsgang“ Speicher und den „Energieausgleich“ betreffen.

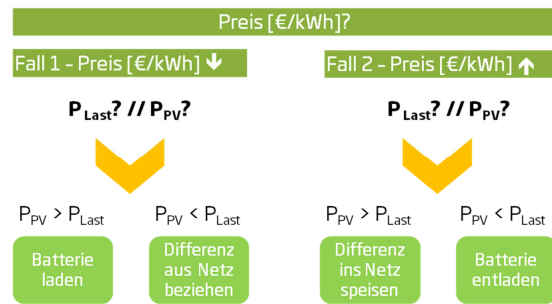


Abbildung 8: Der Energiepreis stellt die Entscheidungsgrundlage für die Speicherbewirtschaftung dar.

### 3.5 Eigenverbrauchsoptimierung

Soll der Eigenverbrauch optimiert werden, darf das Netz nur in Ausnahmefällen als Energielieferant dienen. Im Regelfall wird bei PV-Unterproduktion die Batterie entladen bzw. bei PV-Überproduktion sofort wieder geladen (siehe Abbildung 9).

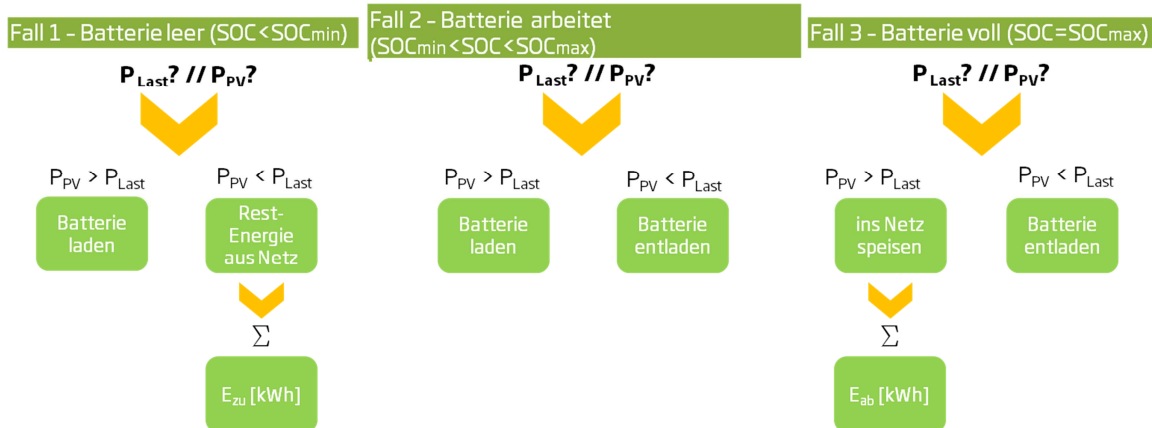


Abbildung 9: Grundlegende Regelstrategie für Heimspeicher zur Optimierung des Eigenverbrauches

Nur wenn die Batterie „leer“ ist, muss aus dem Netz Energie zugekauft werden. Analog dazu wird nur Energie ins Netz gespeist, wenn die Batterie „voll“ ist. Die aktuellen Netzbedingungen werden bei der Eigenverbrauchsoptimierung nicht berücksichtigt.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Speichern elektrischer Energie ist eine herausfordernde, kostenintensive Aufgabe, die aber in naher Zukunft mehr und mehr an Bedeutung gewinnen wird. Um diese Speicher bestmöglich zu nutzen und so die Verluste auf ein Minimum zu reduzieren, ist es notwendig, die möglichen Einsatzszenarien für Speicher gesondert zu betrachten.

Bestimmte Regelstrategien zur Speicherbewirtschaftung helfen die jeweiligen Aufgaben zu erfüllen. Die hier vorgestellten Topologien und Regelstrategien stellen eine Grundlage dar, auf der weitere Verfeinerungen folgen können. Beispielsweise könnte in Zukunft der Wetterbericht (im Speziellen die erwartete Einstrahlung) oder ein prognostizierter Energieverbrauch das Regeln der Speicher mitbeeinflussen.

Weitere zukünftige Arbeiten könnten sich mit dem Platzieren von elektrochemischen Speichern in Mittel- und Hochspannungsnetzen beschäftigen, in denen herkömmliche Pumpspeicherkraftwerke nicht einsetzbar sind.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] T. B. Prof. Dr. Georg Erdmann, „Marktintegration von Stromspeichern,“ in *PV-Austria Sonnenstrom auf Vorrat*, Wien, 2012.
- [2] „Smart City Villach - Vision 2050,“ [Online]. Available: <http://smartcityvillach.at/>.
- [3] E-Control, Technische und organisatorische Regeln für Betreiber von Netzen (TOR) - Teil A, Wien, 2011.
- [4] A. f. E. Energien, „Kombikraftwerk 2,“ 30 10 2013. [Online]. Available: <http://www.kombikraftwerk.de/start.html>. [Zugriff am 27 01 2014].
- [5] M. H. Prokschy, Auswirkungen von Speichertechnologien und nachhaltigen Energiesystemen auf ein betriebsübergreifendes Lastmanagement, Pinkafeld, 2012.
- [6] D. Schröder, Leistungselektronische Schaltungen - Funktion, Auslegung und Anwendung, Berlin: Springer, 2008.
- [7] T. Wohlmuth, „Optimizing self-consumption of grid-connected PV/storage systems,“ WESD next! Wels, 2014.
- [8] W. Roth, „Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik,“ OTTI, Freiburg, 2007.
- [9] H. A. R. D. D. Subhashish Battacharya, „Power Electronics Specialists Conference (PESC),“ in *Power Converters for Utility Applications*, Jeju, Südkorea, 2006.
- [10] R. Seyr, Elektroinstallation, Bohmann Verlag, 1989.
- [11] P. Mukund R. Patel, Wind and Solar Power Systems, U. M. M. Academy, Hrsg., Boca Raton, Florida: CRC Press, 1999.