

5

**Verfahren und Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie
in elektrochemischen Energiespeichern**

10

Beschreibung

- 15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie in elektrochemischen Energiespeichern gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 4.

Zur Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung steigt der Anteil erneuerbarer
20 Energien durch den zunehmenden Anteil an Wind- und Solarkraftwerken. Da die Regelung von Energieversorgungsnetzen zur Bereitstellung einer konstanten Netzspannung und Netzfrequenz derzeit durch konventionelle Kraftwerke mit rotierenden elektrischen Generatoren erfolgt, die auch dann mit den Energieversorgungsnetzen verbunden bleiben, wenn die aus Wind und Sonne bereitgestellte Energie zur Versorgung der an die
25 Energieversorgungsnetze angeschlossenen Verbraucher ausreichen würde, müssen die Wind- und Solarkraftwerke abgeregelt werden, so dass der Anteil, den erneuerbare Energien zur Energieversorgung beitragen können, limitiert ist. Um diese Limitierung aufzuheben, wird ein System zur Energiespeicherung und Netzregelung in elektrischen Energieversorgungsnetzen benötigt, das sowohl die Aufgaben der Netzregelung über-
30 nehmen kann und dadurch ein Abschalten konventioneller Kraftwerke erlaubt, als auch ausreichend Energie in ein Energieversorgungsnetz einspeist, wenn die aus Wind und Sonne bereitgestellte Energie zur Versorgung der an die Energieversorgungsnetze angeschlossenen Verbraucher nicht ausreicht.

- 35 Zur Energiespeicherung werden in einem derartigen System wegen der schnellen Verfügbarkeit elektrischer Leistung vorzugsweise elektrochemische Energiespeichersysteme eingesetzt, die sich unter elektrotechnischen Gesichtspunkten im Wesentlichen durch die C-Rate unterscheiden, d. h. dem Verhältnis von Leistung und Energie. Diese Unter-
scheid-

de ergeben sich hauptsächlich aufgrund unterschiedlicher Akkumulator-Technologien mit verschiedenen Elektrodenkombinationen wie Blei-Säure-Akkumulator, Natrium basierende Hochtemperaturbatterien, Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Redox-Flow-Batterien etc. Aber auch aufgrund von Unterschieden im Design- und Herstellungsverfahren der einzelnen Hersteller von elektrochemischen Energiespeichern ergeben sich selbst bei ähnlicher Zellchemie erhebliche Unterschiede. Weiterhin unterscheiden sich elektrochemische Energiespeichersysteme in sekundären Merkmalen wie Alterungsverhalten, Zyklenfestigkeit, Zyklientiefe, Eigenverbrauch, Selbstentladung und anderen Gesichtspunkten.

- 10 Ein weiterer wesentlicher elektrotechnischer Gesichtspunkt ist die gleichspannungsseitige Ausgangsspannung sowie die Varianz der Spannung zwischen geladenem und entladendem Zustand der elektrochemischen Energiespeichersysteme. Dabei erfordern und ermöglichen die elektrotechnischen Merkmale wie Leistung, Spannung und Spannungsvarianz eine Vielzahl von topologischen Anschlussmöglichkeiten leistungselektronischer
- 15 Komponenten wie DC-DC-Hochsetzer und DC-AC-Umrichter.

Um den elektrotechnischen Anforderungen an ein Gesamtsystem optimal zu genügen, ist eine Kombination aus verschiedenen elektrochemischen Energiespeichersystemen mit unterschiedlichen C-Raten wünschenswert. Daraus ergibt sich aber auch eine Vielzahl an Varianten von Topologien leistungselektronischer Komponenten.

So ist aus der DE 100 18 943 A1 ein Photovoltaik-Inselsystem mit einem Photovoltaik-Generator bekannt, der einerseits über einen Anpasswandler und einen bidirektionalen Lageregler mit einer Batterie verbunden ist und andererseits über einen Inselwechselrichter ausgangsseitig eine Wechselspannung bereitstellt. Das Energiemanagement erfolgt hierbei über eine Steuer- und Regeleinrichtung.

Aus der EP 1 986 306 A1 ist ein Energieversorgungssystem bekannt, bei dem die von Photovoltaikanlagen erzeugte Energie in mehreren Speicherbatterieeinheiten gespeichert wird, denen ein Wechselrichter zur Ankopplung des Energieversorgungssystems an ein Wechselspannungs-Energieversorgungsnetz nachgeschaltet ist. Mittels einer Steuereinheit wird die Zuschaltung der einzelnen Speicherbatterieeinheiten an das Energieversorgungsnetz gesteuert.

Aus der US 2011/029 16 06 A1 ist ein Energiespeichersystem mit einem Managementsystem bekannt, das zwei Hochsetzsteller, einen Wechselrichter, eine Steuereinheit und ein Batteriemanagementsystem umfasst.

5 Aus der AT 509 888 A4 ist ein Verfahren zum Regeln elektrischer Energiespeicher bekannt, die aus mehreren, mit jeweils einem DC/DC-Wandler mit Schalthysterese verbundenen Batterieeinheiten (Zellstacks) bestehen. Zur Optimierung der Effizienz werden die einzelnen elektrischen Energiespeicher gezielt ein- und ausgeschaltet, wobei unterschiedliche Schalthysteresen dadurch erzielt werden, dass die Schalthysteresen der
10 DC/DC-Wandler mit unterschiedlichen Schaltpunkten parametrisiert werden. Weiterhin ist eine dynamische Anpassung der Lade- und Entladekurven der elektrischen Energiespeicher in Abhängigkeit vom SOC (State of Charge) und SOH (State of Health) einzelner Energiespeicher oder des Gesamtsystems durch eine zentrale Steuereinheit vorgesehen.

15

Bei einem aus vielen elektrischen Energiespeichern zusammengesetzten Gesamtsystem und insbesondere bei einer Erweiterung des Gesamtsystems unter Einbeziehung weiterer, auch räumlich entfernt angeordneter elektrischer Energiespeicher tritt das Problem auf, dass die zentrale Steuereinheit die spezifischen Eigenschaften jedes des elektrischen Energiespeichers kennen und bei der Steuerung des Ladezustands der Energiespeicher und des Gesamtsystems berücksichtigen muss, was zu einem erheblichen Aufwand bei der Programmierung der zentralen Steuereinheit und einer signifikanten Störanfälligkeit des Gesamtsystems führt.

25 Aus der Literaturstelle Atcity, S. [et al.]: Summary of State-of-the Art Power Conversion Systems for Energy Storage Applications (SANDIA REPORT SAND98-2019, September 1998) ist eine Zusammenstellung einer Vielzahl leistungselektronischer Umrichtersysteme mit in Reihe oder parallel geschalteten Wechselrichtern und Gleichstromstellern bekannt, die bidirektional mit einer Steuereinheit verbunden und einerseits an eine Energiespeichereinheit und andererseits an ein Energieversorgungsnetz bzw. eine Wechselspannungslast angeschlossen sind.

Bei der Zusammensetzung eines Gesamtsystems aus einer Vielzahl einzelner Umrichtersysteme bzw. einer Erweiterung eines derartigen Gesamtsystems unter Einbeziehung zusätzlicher Umrichtersysteme tritt jedoch ebenfalls das Problem auf, dass die
35

Steuereinheiten der einzelnen Umrichtersysteme zum Erhalt eines vorgegebenen Ladezustands des Gesamtsystems und der Kapazität der einzelnen Energiespeicher mit einer zentralen Steuereinheit verbunden werden müssen, die die spezifischen Eigenschaften der Umrichtersysteme kennen und bei der Steuerung des Ladezustands der Energiespeichersysteme und des Gesamtsystems berücksichtigen muss, was den Programmierungsaufwand und die Störanfälligkeit des Gesamtsystems erhöht bzw. zu Lebensdauereinschränkungen der Energiespeicher führt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabenstellung zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie in elektrochemischen Energiespeichern und zum Austausch elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz der eingangs genannten Art bereitzustellen, das bzw. die den Einsatz unterschiedlicher elektrochemischer Energiespeicher mit einheitlichen Kommunikationsschnittstellen gewährleistet und den Einsatz unterschiedlicher Topologien leistungselektronischer Komponenten und elektrochemischer Energiespeicher unabhängig von der jeweils verwendeten Technologie der elektrochemischen Energiespeicher und Topologie der leistungselektronischen Komponenten in einem Hybridkraftwerk ermöglicht.

Diese Aufgabenstellung wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die erfindungsgemäße Lösung stellt ein Verfahren zur Speicherung elektrischer Energie in elektrochemischen Energiespeichern und zum Austausch elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz bereit, das den Einsatz unterschiedlicher elektrochemischer Energiespeicher mit einheitlichen Kommunikationsschnittstellen gewährleistet und den Einsatz unterschiedlicher Topologien leistungselektronischer Komponenten und elektrochemischer Energiespeicher unabhängig von der jeweils verwendeten Technologie der elektrochemischen Energiespeicher durch Abstraktion der topologie- und speicherspezifischen Eigenschaften ermöglicht, so dass ein Hybridkraftwerk aus unterschiedlich konfigurierten, an einem Netzanschlusspunkt des elektrischen Energieversorgungsnetzes und an den Kommunikationsschnittstellen zu einem übergeordneten Batteriekraftwerk-Managementsystem sich aber identisch verhaltenden Speichereinheiten bzw. Modulen zusammengesetzt werden kann.

Durch den Transfer die spezifischen Daten und Merkmale der elektrochemischen Energiespeicher und der Topologie des Leistungselektroniksystems in für das elektrische Energieversorgungsnetz spezifische Daten und Merkmale werden

- 5 - regelungstechnischen Probleme zur Realisierung des gewünschten elektrischen Verhaltens durch parallel betriebene und dezentral geregelte Wechselrichter transferiert,
- geeignete Betriebsführungskonzepte von Hybridkraftwerken, d.h. Kraftwerken, die mit Batterien unterschiedlicher Batterietechnologien wie Natrium-Schwefel-
- 10 Batterien, Lithium-Ionen-Batterien. Speicher auf Basis von Vanadium-Redox-Flow oder Brennstoffzellen ausgestattet sind, bereitgestellt sowie
- einheitliche bzw. abstrakte Kommunikationsschnittstellen geschaffen, die einen Betrieb und die Abbildung von Batterien und Batteriekraftwerken erlauben, die unabhängig von speziellen technischen Ausführungsvarianten sind.

15 Vorzugsweise werden die spezifischen Daten und Merkmale der elektrochemischen Energiespeicher und der Topologie des Leistungselektroniksystems in einer abstrakten AC-Batterie zusammengefasst und in die Daten und Merkmale des elektrischen Energieversorgungsnetzes transferiert, wobei die AC-Batterie mittels eines AC-

20 Batteriemanagements gesteuert, überwacht und geregelt wird.

Dabei bildet die AC-Batterie die für die jeweils eingesetzte Batterietechnologie charakterisierenden Größen wie Lade- und Entladestrom, Kapazität, Ladezustand und dergleichen in für das elektrische Energieversorgungsnetz relevante Größen wie aktuell verfügbare und maximal erbringbare Leistung und aktuell aufnehmbare und abgebbare Energie

25 durch Transformation der die Batterietechnologie charakterisierenden Größen ab.

Mit der Bereitstellung eines im Unterschied zu einer DC-Batterie als AC-Batterie bezeichneten Basismoduls wird eine regelungstechnisch einheitliche Schnittstelle an ein

30 Gesamtsystem geliefert, die die Voraussetzungen für einen Einsatz unterschiedlicher Topologien leistungselektronischer Komponenten und elektrochemischer Energiespeicher mit unterschiedlicher Technologie schafft.

Durch die abtrahierende Funktion des AC-Batteriemanagements bzw. die Aufteilung in

35 batteriespezifische Funktionalität wird eine optimierte Betriebsführung auf der Grundlage

abstrakter Batteriemodelle in Verbindung mit einem Batteriekraftwerksmanagement geschaffen. Dabei ermöglichen die sich energietechnisch einheitlich verhaltenden AC-Batterien die Auslegung eines Kraftwerksmanagements, das mit unterschiedlichen Batterietechnologien ohne technologiespezifische Anpassungen seine Aufgabe beispielsweise als Hybridkraftwerk erfüllen kann.

Die Definition von AC-Batterien, die gleiche oder unterschiedliche Topologien von Leistungselektroniksystemen wie Wechselrichter, Umrichter und Gleichstromsteller, und gleiche oder unterschiedliche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisende Gleichstrombatterien unter Einschluss von Brennstoffzellen enthalten und die sich an ihren Netzanschlusspunkten und bezüglich ihrer Kommunikationsschnittstellen mit einem übergeordneten Batteriekraftwerk-Managementsystem aber identisch verhalten, ermöglicht eine einfache Steuerung eines aus vielen AC-Batterien zusammengesetzten Gesamtsystems, eine Minimierung der Störanfälligkeit des Gesamtsystems aufgrund einer definierten Steuerung und Erfassung des Ladezustands (SOC) und Funktionszustandes (SOH) jeder einzelnen AC-Batterie und eine problemlose Erweiterung des Gesamtsystems durch Einbeziehung gleichartiger AC-Batterien auch bei deren räumlich entfernter Anordnung sowie einen beliebigen Austausch einzelner AC-Batterien, ohne dass an dem bzw. den Netzanschlusspunkt(en) eine Veränderung auftritt.

20

Eine Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie in elektrochemischen Energiespeichern und zum Austausch elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz über ein die elektrochemischen Energiespeicher mit dem elektrischen Energieversorgungsnetz verbindendes Leistungselektroniksystem ist durch mindestens ein Basismodul (AC-Batterien) mit

25

- einem elektrochemischen Energiespeichermodul mit gleiche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden Gleichstrombatterien (DC-Batterien),
 - einem die DC-Batterien steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem,
 - einem Leistungselektronikmodul,
- 30
- einer Leistungselektronikmodul-Regeleinrichtung und
 - einem AC-Batterie-Management mit Kommunikationsschnittstellen zum Batteriemanagementsystem
- gekennzeichnet.

Die AC-Batterie als funktionales Element eines Energieversorgungsnetzes realisiert somit über ein generisches Modell der batterietypischen Betriebsgrenzen und Phänomene eine einheitliche Abbildung der Gleichstromquelle für eine energietechnische Anwendung, insbesondere

- 5 - eine Abbildung der Abhängigkeit der Kapazität vom Betriebsregime,
- Berücksichtigung der Unschärfe der Ladezustandsbestimmung unter Berücksichtigung von Kalibrierungszyklen,
- eine einheitliche Parametrierung des Wechselspannungsverhaltens, insbesondere der Regelung der leistungselektronischen Komponenten und
- 10 - eine Abbildung von für Batterietechnologien relevanten sowie spezifischen Zusammenhängen zwischen Größen wie Strom, Amperestunden, Ladezustand (SOC) in für ein Energieversorgungssystem relevante Größen wie aktuell verfügbare und maximal erbringbare Leistung und aktuell aufnehmbare und abgebbare Energie vermöge geeigneter Transformationen der Batteriegrößen.

15

Dabei besteht eine AC-Batterie aus mindestens einem DC-AC-Umrichter und gleichspannungsseitig daran angeschlossenen weiteren leistungselektronischen Komponenten und Batterieeinheiten und dient konzeptionell als Entkopplungsebene zwischen einem Managementsystem für das Gesamtsystem zur Aufnahme, Speicherung und Abgabe

20 elektrischer Energie an ein elektrisches Energieversorgungsnetz und der batterietechnologiespezifischen Kombination von leistungselektronischen Komponenten, DC-Batterien und je nach Ausführungsvariante einem Transformator und bildet das Äquivalent zu einer DC-Batterien aus Sicht der elektrischen Energietechnik.

25 Grundsätzlich besteht die AC-Batterie aus

- einer DC-Batterie mit dazugehörigem Batteriemanagementsystem,
- einem Wechselrichter mit Wechselrichterregelung,
- einem AC-Batterie-Managementsystem und
- im Falle einer Auslegung als Mittelspannungsbatterie entweder zusätzlich aus einem
- 30 Mittelspannungstransformator mit Leistungsschalter auf der Mittelspannungsseite bzw. bei Verwendung eines Mittelspannungswechselrichters lediglich zusätzlich aus einem Leistungsschalter auf der Mittelspannungsseite.

Die vorstehend genannten Komponenten einer AC-Batterie stellen Platzhalter für ausführungsspezifisch komplexere Teilkomponenten dar, so dass sich abhängig von der jewei-

35

ligen Batterietechnologie unterschiedliche Topologien für Wechselrichter und DC-Batterien aus unterschiedlichen Randbedingungen wie beispielsweise dem ladezustandsabhängigen Spannungshub von DC-Batterien oder der notwendigen Zwischenkreisspannung für die Ausgangsspannung der Wechselrichter ergeben.

5

Aus den unterschiedlichen Randbedingungen ergeben sich beispielsweise folgende Varianten:

10 In einer ersten Variante weisen die AC-Batterien mehrere parallel geschaltete elektrochemische Energiespeichermodule mit gleiche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien und mit einem jedem elektrochemischen Energiespeichermodule zugeordneten, das elektrochemische Energiespeichermodule steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem auf.

15 In einer zweiten Variante weisen die AC-Batterien mehrere gruppenweise parallel geschaltete elektrochemische Energiespeichermodule mit gleiche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien und mit einem jedem elektrochemischen Energiespeichermodule zugeordneten, jedes elektrochemische Energiespeichermodule steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem auf, wobei die
20 gruppenweise parallel geschalteten elektrochemischen Energiespeichermodule über einen jeder Gruppe zugeordneten Hochsetzsteller mit einem Wechselrichter verbunden sind.

Alternativ weisen die AC-Batterien mehrere parallel geschaltete elektrochemische Energiespeichermodule mit unterschiedliche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien und mit einem jedem elektrochemischen Energiespeichermodule zugeordneten, das elektrochemische Energiespeichermodule steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem auf.
25

30 In dieser Ausführungsform können verschiedenartige DC-Batterien gruppenweise in einer AC-Batterie zusammengefasst werden, wobei dem AC-Batteriemanagement die Daten der jeweiligen DC-Batteriegruppen eingegeben oder vom AC-Batteriemanagement von den Batteriemanagementsystemen abgefragt werden, so dass das AC-Batteriemanagement die unterschiedlichen DC-Batteriegruppen entsprechend steuern
35 und überwachen kann.

Die Leistungselektronikmodule können aus einem gleichstromseitig an die elektrochemischen Energiespeichermodule und wechselstromseitig unmittelbar als Mittelspannungs-Wechselrichter oder über einen Mittelspannungstransformator und einen Mittelspannungs-Leistungsschalter an eine Sammelschiene oder einen Netzanschlusspunkt angeschlossenen Wechselrichter oder aus mindestens einem an die elektrochemischen Energiespeichermodule angeschlossenen Hochsetzsteller und einem gleichstromseitig an den oder die Hochsetzsteller und wechselstromseitig unmittelbar oder über einen Mittelspannungstransformator und einen Mittelspannungs-Leistungsschalter an eine Sammelschiene angeschlossenen Wechselrichter bestehen.

Zur Bereitstellung einer vorgegebenen Gleichspannung können die elektrochemischen Energiespeichermodule mehrere in Reihe geschaltete DC-Batterien mit gleichen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften aufweisen.

AC-Batterien können sowohl als Niederspannungs- als auch als Mittelspannungsbatterien in Verbindung mit unterschiedlichen Topologien leistungselektronischer Komponenten eingesetzt werden.

Als Mittelspannungsbatterien ausgebildete AC-Batterien enthalten - sofern der Wechselrichter nicht als Mittelspannungswechselrichter ausgeführt ist - einen mit dem Ausgang eines Leistungselektronikmoduls verbundenen Mittelspannungstransformator, der über einen Mittelspannungs-Leistungsschalter mit einer Sammelschiene oder einem Netzanschlusspunkt verbunden ist. Dabei enthalten die AC-Batterien zwei elektrochemische Energiespeichermodule mit gleiche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien, die mit jeweils einem Wechselrichter verbunden sind, die an die Primärwicklungen eines sekundärseitig mit der Sammelschiene oder einem Netzanschlusspunkt verbundenen Dreiwicklungstransformator angeschlossen sind.

Die AC-Batterie ist in dieser Ausführungsform als Niederspannungsbatterie ausgebildet, bei der die DC-Batterien unmittelbar oder über einen Hochsetzsteller an einen Wechselrichter angeschlossen sind, wobei die AC-Batterie über einen Transformator und einen Leistungsschalter an eine Sammelschiene oder einen Netzanschlusspunkt angeschlossen wird.

Alternativ kann die AC-Batterie als Mittelspannungsbatterie ausgebildet sein, bei der die DC-Batterien unmittelbar oder über einen Hochsetzsteller an einen Wechselrichter angeschlossen sind, die aber den ggf. ausgeführten Mittelspannungstransformator und den Mittelspannungs-Leistungsschalter beinhaltet, so dass sie unmittelbar mit der Sammelschiene oder dem Netzanschlusspunkt verbunden werden kann.

Ein System bestehend aus mehreren AC-Batterien mit einem gemeinsamen Netzanschlusspunkt wird als Batteriekraftwerk bezeichnet, dessen Steuerung so beschaffen sein muss, dass zugesicherte netzseitige Systemdienstleistungen sichergestellt sind, indem die Einsatz- und Aufgabenverteilung auf die verschiedenen AC-Batterien zur Gewährleistung einer zuverlässigen und dauerhaften Funktionalität des Batteriekraftwerks optimiert wird.

Dabei erfüllt die AC-Batterie beim Einsatz in einem netzformenden Batteriekraftwerk, d.h. im Inselnetzbetrieb, beispielsweise eine Umsetzung der Merkmale

- Frequenzregelung in Abhängigkeit von der Wirkleistung, bei der sich die AC-Batterie gemäß einer Betriebsstatik („droop“) verhält und
- Spannungsregelung in Abhängigkeit von der Blindleistung.

Beim Einsatz der AC-Batterie in einem netzfolgenden Batteriekraftwerk bzw. Regelkraftwerk leistet die AC-Batterie beispielsweise

- einen frequenzabhängiger Wirkleistungsbeitrag und
- einen spannungsabhängigen Blindleistungsbeitrag.

Für jede Anwendung erfüllt die AC-Batterie eine

- Berücksichtigung der Betriebsgrenzen für Wechselrichter und DC-Batterien sowie der notwendigen Wartungsanforderungen, die sowohl technische Verfügbarkeitsgrenzen als auch regelmäßig notwendige Wartungen wie das Kalibrieren von Gleichstrom-Batteriemodulen oder Teilen davon zur verlässlichen Ladezustandsmessung oder das An- bzw. Abfahren von (Teil-)Batterien betreffen,
- Bereitstellung einer einheitlichen Schnittstelle zum übergeordneten Batteriekraftwerk-Managementsystem unabhängig von der speziellen Ausprägung der Wechselrichter-Batterietopologie und Batterietechnologie und

- Bereitstellung von Abschätzungen von Verfügbarkeitseinschränkungen bzw. Leistungs- und Energiebedarf für anstehende Wartungsvorgänge wie z.B. der Ladezustands-Kalibrierung von Gleichstrom-Batteriemodulen.

5 Da beim Einsatz in einem netzformenden Batteriekraftwerk (Inselnetzbetrieb) die parallel betriebenen AC-Batterien als parallele Spannungsquellen arbeiten, die sich die anfallende Last am Netzanschlusspunkt aufteilen, ergibt sich der Lastanteil jeder einzelnen AC-Batterie über die Parametrierung der Betriebsstatiken für Wirk- und Blindleistung über die Schnittstelle durch das Batteriekraftwerks-Managementsystem. Dies ermöglicht unter
10 anderem auch den asymmetrischen Betrieb der einzelnen AC-Batterie, um beispielsweise eine Kalibrierung der Ladezustandsmessung vorzunehmen.

Dabei regelt ein als netzbildendes Kraftwerk ausgebildetes Batteriekraftwerk die Sammelschienenspannung und Sammelschienenfrequenz und stellt Kurzschlussströme zur
15 Auslösung von Überstrom-Schutzmechanismen bereit.

Im Betrieb als netzfolgendes Batteriekraftwerk (z.B. Regelkraftwerk) arbeiten die parallel betriebenen AC-Batterien als parallele Stromquellen, die gemeinsam die am Netzanschlusspunkt geforderte Leistung – z.B. in Abhängigkeit von der Netzfrequenz gemäß
20 einer geforderten Regelstatik - erbringen. Der Lastanteil jeder einzelnen AC-Batterie lässt sich über die einheitliche Schnittstelle durch das Batteriekraftwerks-Managementsystem parametrieren. Dies ermöglicht unter anderem auch den asymmetrischen Betrieb der einzelnen AC-Batterie, um beispielsweise eine Kalibrierung der Ladezustandsmessung vorzunehmen.

25

Neben der Bereitstellung von Wirkleistung können die parallelen AC-Batterien auch zur Spannungshaltung am Netzanschlusspunkt (Bereitstellung von Blindleistung im Rahmen einer Spannungsregelung an der Sammelschiene) verwendet werden.

30 Vorzugsweise ist das AC-Batterie-Managementsystem über Kommunikationsschnittstellen mit einem Batteriekraftwerk-Managementsystem verbunden, das die Mittelspannungs-Leistungsschalter und einen den Netzanschlusspunkt mit dem Energieversorgungsnetz verbindenden Leistungsschalter ansteuert.

Alternativ zur Erbringung von Netzsystemdienstleistungen oder als netzbildendes Kraftwerk kann das Batteriekraftwerk als Hybridkraftwerk im Verbund mit erneuerbaren Energiequellen betrieben werden und zum Beispiel im Lastfolgebetrieb die Einhaltung von Einspeisebegrenzungen am gemeinsamen Einspeisepunkt gewährleisten („Peak-Shaving“), eine vorgegebene Leistung am Netzanschlusspunkt des Energieversorgungsnetzes in Abhängigkeit von der Netzfrequenz, eine Lastfolge oder dergleichen regeln.

Anhand mehrerer in der Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele soll der der Erfindung zugrundeliegende Gedanke näher erläutert werden. Es zeigen:

10

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Zellenspannung von Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit vom Ladezustand für unterschiedliche konstante Endladeströme;

15

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Gleichstromleistung von Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit vom Ladezustand;

Fig. 3 eine schematische Darstellung des Verlaufs der Ladespannung und des Ladestroms einer im Konstantstrom-Konstantspannungs-Ladezyklus vollgeladenen Lithium-Ionen-Zelle;

20

Fig. 4 eine schematische Darstellung des Verlaufs der Ladeleistung einer Lithium-Ionen-Zelle sowie eine mögliche vereinfachte Abschätzung der Ladeleistung;

25

Fig. 5 bis 8 Beispiele für zu einem Batteriekraftwerk zusammengefasste AC-Batterien mit unterschiedlichen Topologien der Leistungselektronikmodule und DC-Batterien mit teilweise verschiedenen Batterietechnologien und

30

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines Batteriekraftwerks, das aus mehreren, gegebenenfalls auch räumlich voneinander getrennt angeordneten, mit einem Batteriekraftwerk-Managementsystem zum Austausch von Daten und Steuersignalen verbundenen AC-Batterien besteht, die unterschiedlichen Topologien der Leistungselektronikmodule und DC-Batterien mit teilweise verschiedener Batterietechnologie aufweisen.

35

Elektrochemische Energiespeicher oder Batterien sind von ihrer Beschaffenheit DC-Systeme, die je nach Batterietechnologie ein unterschiedliches charakteristisches elektrisches Verhalten an einer elektrischen Schnittstelle zeigen.

- 5 So eignen sich Lithium-Ionen-Batterien mit ihrem sehr hohen Verhältnis von Leistung zu Energie (c-rate 1 und höher) besonders als Kurzzeitspeicher und für den Ausgleich großer kurzfristiger Schwankungen durch die Bereitstellung von Regelleistung.

- 10 Natrium-Schwefel-Batterien haben dagegen eine sehr hohe Speicherkapazität mit einer c-rate von 1/6. Damit eignen sich diese Hochtemperaturbatterien besonders für den Ausgleich täglicher Schwankungen von Wind- und Sonnenenergie.

- 15 Speicher auf Basis von Vanadium-Redox-Flow haben fast keine Selbstentladung, so dass sie sich unter anderem hervorragend als Saisonspeicher eignen. Weil der Energieträger von Vanadium-Redox-Flow-Batterien nicht altert oder verschleißt, sind sie bei geringem Wartungsaufwand nahezu unbegrenzt haltbar und je nach Anforderung können Leistung und Energie getrennt und flexibel skaliert werden

- 20 In den Fig. 1 bis 4 sind anhand der Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien Beispiele für typische von einer AC-Batterie zu berücksichtigende Betriebsgrenzen und Eigenschaften von Batterien mit unterschiedlichen Batterietechnologien dargestellt.

- 25 Fig. 1 zeigt die Abhängigkeit der Zellenspannung V vom Ladezustand (Kapazität) für unterschiedliche konstante Entladeströme und Fig. 2 die korrespondierende Gleichstromleistung in Abhängigkeit vom Ladezustand bei unterschiedlichen konstanten Entladeströmen.

- 30 Beide qualitativ dargestellten Kennlinien von Lithium-Ionen-Batterien zeigen u. a. neben einer typischen, vom Ladezustand abhängigen Zellenspannung eine unterschiedliche Kapazität je nach Entladestrom. Darüber hinaus hängt die Zellalterung und damit auch die verbleibende Zellkapazität von unterschiedlichen Einflussfaktoren wie z. B. der Historie der Lade- und Entladeströme, dem vorherrschenden Ladezustand und den Temperaturverhältnissen ab.

Größere DC-Batterien bestehen aus einer geeigneten Verschaltung einzelner Zellen zu Modulen und mehrerer Module zu Batterien, sind aber in der Regel nicht für energietechnische Anwendungen vorbereitet, weil

- Ladeverfahren typischerweise nicht leistungs- sondern strom- und spannungsbezogen sind, d. h. nach außen stellt die Batterie bei idealen Ladezyklen variable Leistungsanforderungen, die vom Ladezustand abhängen,
- mit den Batterien verbundene Batteriemanagementsysteme liefern Batterieinformationen, wie die verbleibende Kapazität oder die gespeicherte Energiemenge nicht in Abhängigkeit vom Betriebsregime, sondern bezüglich eines Nominalbetriebs.

Die AC-Batterie als funktionales Element eines Batteriekraftwerks erfüllt somit die Aufgabe, über ein generisches Modell der batterietypischen Betriebsgrenzen und Phänomene eine einheitliche Abbildung der Gleichspannungsquelle für eine energietechnische Anwendung zu realisieren und umfasst u. a.

- eine Abbildung der Abhängigkeit der Kapazität vom Betriebsregime, d. h. der Energie in Abhängigkeit von der Leistung,
- eine Berücksichtigung der Unschärfe der Ladezustandsbestimmung unter Berücksichtigung von Kalibrierungszyklen,
- eine einheitliche Parametrierung des Wechselladungsverhaltens durch entsprechende Regelung der Leistungselektronikkomponente.

Diese Kapselung batterietypischer Eigenschaften eines elektrochemischen Energiespeichers bzw. einer DC-Batterie sowie die Anforderungen an eine energietechnisch einheitliche AC-Batterie ermöglichen die Auslegung eines Kraftwerksmanagements, das mit unterschiedlichen Batterietechnologien ohne technologiespezifische Anpassungen seine Aufgabe beispielsweise als Hybridkraftwerk erfüllen kann.

Bei der Bestimmung des Ladezustands von Batteriesystemen wird davon ausgegangen, dass die Ladezustandsmessungen von Batteriesystemen in der Regel auf der Bildung einer Energiebilanz unter Berücksichtigung von Modellen für das aktuelle Zellenverhalten basieren. Alle Modelle gehen davon aus, dass die Ladezustandsmessung mit zunehmender Betriebsdauer einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Drift unterliegt, so dass die Ladezustandsmessung eines Batteriesystems mit einer Unbestimmtheit belegt ist, die mit der Zeit stark zunimmt. Daher müssen alle Batteriesysteme regelmäßig definierte Ladezustände anfahren, beispielsweise eine Vollladung, um die Bestimmung des

Ladezustands zu kalibrieren, wobei für die Durchführung der Kalibrierung das Batteriesystem ein festgelegtes Betriebsregime gefahren wird.

Als Beispiel hierfür ist in den Fig. 3 und 4 die Ladekurve einer Lithium-Ionen-Zelle dargestellt, die im Konstantstrom-Konstantspannung-Ladezyklus vollgeladen wird.

Fig. 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Ladespannung V sowie des Ladestroms I während eines Ladevorgangs, wobei in Abhängigkeit vom tatsächlichen Ladezustand die Kalibrierung des Ladezustandes bei einer anliegenden Zellenspannung U_{i0} von beispielsweise 3,2 V beginnt. Bis zum Einstellen einer konstanten Zellenspannung U_K von ca. 4,2 V benötigt die Lithium-Ionen-Zelle einen konstanten Ladestrom. Die hierfür notwendige, in Fig. 4 dargestellte tatsächliche Ladeleistung $P_t(t)$ bei konstanter Ladespannung V und konstantem Ladestroms I steigt dabei proportional zur Zellenspannung an. Beim anschließenden Übergang zur Ladung mit konstanter Spannung bis zum Einstellen des Ladeendstroms fällt gemäß Fig. 4 die Ladeleistung stark ab und sinkt im Anschluss daran weiter proportional zum Ladestrom.

Damit ein dem AC-Batterie-Managementsystem übergeordnete Batteriekraftwerksmanagement den Einfluss der Kalibrierung des Ladezustands auf den Netzanschlusspunkt absichern kann, bietet die AC-Batterie mit der Anzeige des Wunsches einer Kalibrierung eine Abschätzung des Kalibrierungsfahrplans, d. h. des Verlaufs der Ladeleistung über der Zeit, an. Dies ist in Fig. 4 als Kurve $P_g(t)$ dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass es sich nur um eine Schätzung handeln kann, die mit größeren Abständen zwischen Ladezustandskalibrierungen und stark unterschiedlichen Betriebsregimen der AC-Batterie mit zunehmender Unbestimmtheit belegt sind.

Hiervon abweichende Eigenschaften gelten für Natrium-Schwefel-Batterien und Speicher auf Basis von Vanadium-Redox-Flow. Da die genauen Anforderungen an einen Speicher je nach Anwendungsfall und teilweise auch projektspezifisch variieren, was viele Eigenschaften, besonders aber das Verhältnis von Leistung und Energie betrifft, was sowohl bei Lithium-Ionen als auch bei Natrium-Schwefel-Batterien durch den grundsätzlichen Aufbau der Zellen vorgegeben ist, werden bei Bedarf unterschiedliche Technologien in einer hybriden Batterie kombiniert, so dass die Vorteile der unterschiedlichen Technologien genutzt werden können.

In den Fig. 5 bis 7 sind verschiedene Beispiele für zu einem Batteriekraftwerk zusammengefasste AC-Batterien mit unterschiedlichen Topologien der Leistungselektronikmodule, d. h. der Wechselrichter oder Umrichter bzw. Hochsetzsteller, und unterschiedlichen Batterietechnologien dargestellt, wobei die elektrischen Verbindungsleitungen in
5 ausgezogenen Linien und die Kommunikationsverbindungen in gestrichelten Linien dargestellt sind.

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels eines Batteriekraftwerks BKW mit M parallel an einen Netzanschlusspunkt 10 angeschlossenen, als Niederspannungsbatterien ausgebildeten AC-Batterien 1.1 bis 1.M, die jeweils über einen
10 Transformator 7.1 bis 7.M, einen Leistungsschalter 8.1 bis 8.M und einen Netzanschluss-Leistungsschalter 9 mit dem Netzanschlusspunkt 10 eines Energieversorgungsnetzes 11 verbunden sind. Jede AC-Batterie 1.1 bis 1.M weist mehrere parallel geschaltete Gruppen DC-Batterien 2.1 bis 2.M auf, von denen jede Gruppe mehrere in Reihe geschaltete
15 DC-Batterien umfassen kann. Jede der DC-Batterie-Gruppen 2.1 bis 2.M weist ein Batteriemanagementsystem 20.1 bis 20.M auf, die mit einem AC-Batteriemanagement 5.1 bis 5.M für jede AC-Batterie 1.1 bis 1.M verbunden sind.

Die Batteriemanagementsysteme 20.1 -20.M überwachen die DC-Batterien und stellen
20 eine Kommunikationsschnittstelle zum AC-Batteriemanagement bereit.

Die erste AC-Batterie 1.1 weist einen mit den parallel geschalteten DC-Batteriegruppen 2.1 verbundenen Hochsetzsteller 3.1 auf, der mit einem Wechselrichter 4.1 verbunden ist, an den ein erster Transformator 7.1 angeschlossen ist.
25

Weitere AC-Batterien weisen eine Leistungselektronik-Topologie wie die erste AC-Batterie 1.1 auf oder sind entsprechend der M-ten AC-Batterie 1.M aufgebaut, bei der die parallel geschalteten DC-Batterien 2.M unmittelbar mit einem Wechselrichter 4.M verbunden sind, der an einen Transformator 7.M angeschlossen ist. Die unterschiedliche
30 Topologie der einzelnen AC-Batterien 1.1 bzw. 1.M beruht beispielsweise auf einer unterschiedlichen Batterietechnologie und/oder einer unterschiedlichen Anzahl in Reihe geschalteter DC-Batterien der einzelnen DC-Batteriegruppen 2.1 bzw. 2.M.

Das AC-Batteriemanagement 5.1 bzw. 5.M der AC-Batterien 1.1 bis 1.M ist über eine
35 Kommunikationsleitung 16 mit einem Leistungselektronikregler 40.1 bzw. 40.M verbun-

den, der bezüglich der ersten AC-Batterie 1.1 über eine Kommunikationsleitung 17 mit dem Wechselrichter 4.1 und über eine Kommunikationsleitung 18 mit dem Hochsetzsteller 3.1 bzw. bezüglich der M-ten AC-Batterie 1.1 über eine Kommunikationsleitung 17 mit dem Wechselrichter 4.M verbunden ist. Weiterhin ist das AC-Batteriemanagement 5.1
5 bzw. 5.M über eine Kommunikationsleitung 15 mit den Batteriemanagementsystemen 20.1 bzw. 20.M der DC-Batterien 2.1 bis 2.M verbunden.

Ein sämtliche AC-Batterien 1.1 bis 1.M zugeordnetes Batteriekraftwerkmanagement 6 ist über Kommunikationsleitungen 12 mit dem AC-Batteriemanagement 5.1 bis 5.M der AC-
10 Batterien 1.1 bis 1.M sowie über eine Kommunikationsleitung 13 mit den einzelnen AC-Batterien 1.1 bis 1.M zugeordneten Leistungsschaltern 8.1 bis 8.M und über eine Kommunikationsleitung 14 mit dem Netzanschlusspunkt-Leistungsschalter 9 verbunden.

Das AC-Batteriemanagement 5.1 – 5.N optimiert den Einsatz der Teilkomponenten der
15 AC-Batterien 1.1 – 1.N und ermöglicht somit u.a. eine Wartung der Teilkomponenten im laufenden Betrieb, während das Batteriekraftwerkmanagement 6 das Zusammenspiel der AC-Batterien 1.1 – 1.N auf der Wechselstromseite regelt, die AC-Batterien 1.1 – 1.N kalibriert und die Anforderungen an das Batteriekraftwerk auf die einzelnen AC-Batterien 1.1 – 1.N derart verteilt, dass nach außen hin ein homogenes Batteriesystem sichtbar ist.
20 Dabei können – wie nachstehend näher ausgeführt wird – sowohl AC-Batterien 1.1 – 1.N mit unterschiedlicher Leistungselektronik-Topologie als auch DC-Batterien mit unterschiedlicher Batterietechnologie bzw. unterschiedlichem Typs kombiniert und deren gemeinsamer Einsatz optimiert werden.

25 Figur 6 zeigt ein Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Batteriekraftwerks BKW mit M parallel an einen Netzanschlusspunkt-Leistungsschalter 9 angeschlossenen, als Mittelspannungsbatterien ausgebildeten AC-Batterien 1.1 – 1.M, die bei übereinstimmendem Aufbau wie im ersten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 einen Mittelspannungs-Leistungsschalter 8.1 – 8.M und bedarfsweise einen gestrichelt dargestellten Mittelspannungs-Transformator 7.1 bis 7.M enthalten.
30

In einer in Fig. 7 in einem schematischen Blockschaltbild dargestellten dritten Ausführungsform eines Batteriekraftwerks BKW sind parallelgeschaltete DC-Batterien 21.1 bis 21.M gruppenweise an jeweils einen von zwei Hochsetzstellern 31.1, 32.1 bzw. 31.M,

32.M angeschlossen, die mit einem Wechselrichter 4.1 bzw. 4.M wie in der Ausführungsform gemäß Fig. 5 verbunden sind.

5 In dieser Ausführungsform können einzelne oder alle AC-Batterien 1.1 – 1.N DC-Batterien 21.1 – 21.M mit jeweils gleicher oder unterschiedlicher Batterietechnologie enthalten. So kann beispielsweise die AC-Batterie 1.1 DC-Batterien 21.1 mit gleicher Batterietechnologie aufweisen, während die AC-Batterie 1.N gruppenweise parallel geschaltete DC-Batterien 211.M, 212.M aufweist, deren Gruppen 211.M und 212.N die jeweils gleiche Batterietechnologie aufweisen bzw. vom gleichen Batterietyp sind, die aber von
10 Gruppe zu Gruppe unterschiedlich ausgebildet sind.

Bei dieser Konfiguration einer AC-Batterie 1.N übernimmt das AC-Batteriemanagement 5.M die Steuerung und Überwachung der Gruppen 211.M, 212.N mit unterschiedlicher Batterietechnologie, nachdem dem AC-Batteriemanagement 5.M die entsprechenden
15 Daten eingegeben wurden oder nachdem die in einer Gruppe vorgesehenen Batteriemagementsysteme 22.M entsprechende Kennungsdaten an das AC-Batteriemanagement 5.M abgegeben haben.

Eine vierte Ausführungsform ist schematisch als Blockschaltbild in Fig. 8 dargestellt. In
20 dieser Ausführungsform eines Batteriekraftwerks BKW weist die AC-Batterie 1.1 an einen Wechselrichter 4.1 angeschlossene, parallel geschaltete DC-Batterien 2.1 auf, während die M-te AC-Batterie 1.M parallel geschaltete DC-Batterien 2.M oder aus einer Reihenschaltung mehrerer DC-Batterien gebildete DC-Batterie-Racks 2.M enthält, die an einen mit einem Wechselrichter 4.M verbundenen Hochsetzsteller 31.M angeschlossen,
25 sind.

Eine N-te AC-Batterie 1.N ist analog zur Ausführungsform gemäß Fig. 7 mit gruppenweise zusammengefassten, parallel geschalteten DC-Batterien 2.N mit einem Batteriemagementsystem 20.N über jeweils einen Hochsetzsteller 31.N, 32.N mit einem Wechsel-
30 richter 4.N verbunden. Die N-te AC-Batterie 1.N kann – wie vorstehend zur Fig. 7 ausgeführt wurde – gleiche oder unterschiedliche Batterietechnologien der DC-Batterien 2.N mit gleicher oder unterschiedlicher Batterietechnologie vereinen, die gruppenweise zusammengefasst an den einen oder anderen Hochsetzsteller 31.M, 32.M angeschlossen sind.

Selbstverständlich sind die Ausführungsformen gemäß den Fig. 7 und 8 nicht auf zwei jeweils an einen Hochsetzsteller 31.N, 32.N angeschlossenen Gruppen parallel geschalteter DC-Batterien 2.N mit gleicher oder unterschiedlicher Batterietechnologie beschränkt, sondern können mehrere an jeweils einen Hochsetzsteller angeschlossene Gruppen mit gleicher oder unterschiedlicher Batterietechnologie umfassen.

In allen, in den Fig. 5 bis 8 dargestellten Ausführungsbeispielen bildet das Batteriekraftwerkmanagement 6 die zentrale Steuerungsebene für das Batteriekraftwerk, in dem es die von den generischen AC-Batterien 1.1 bis 1.M bzw. 1.N zur Verfügung gestellten Informationen wie beispielsweise hinsichtlich der Unbestimmtheit des Ladezustands zusammenführt, um in Abhängigkeit von den seitens des Energieversorgungsnetzes 11 zu erfüllenden Anforderungen bezüglich der Leistung, Energie bzw. Netzdienstleistung die Arbeitspunktvorgaben für die einzelnen AC-Batterien 1.1 bis 1.N zu optimieren.

Dabei hängt die Form der Parametrierung des Gesamtverhaltens vom jeweiligen Anwendungsfall des Batteriekraftwerks ab. Während im Inselnetzbetrieb Fahrpläne über das erwartete Leistungsband für einen Planungshorizont von Seiten eines Energiemanagementsystems zusammen mit dem gewünschten Regelverhalten um die sich einstellenden Arbeitspunkte kommuniziert werden und somit dem Batteriekraftwerkmanagement 6 eine Optimierung aufgrund von Fahrplänen ermöglicht, ergeben sich die Anforderungen beim Einsatz eines Batteriekraftwerks für Systemdienstleistungen in der Regelkraftwerksanwendung aus einem „Grid Code“ und der aktuellen Netzfrequenz.

Ein Beispiel für die übergeordneten Betriebsführungsaufgaben des Batteriekraftwerkmanagements 6 zur Sicherung der Erfüllung äußerer Anforderungen am Netzanschlusspunkt 10 wie Vorgabe eines erwarteten Leistungsbandes und einer Leistungsstatik unter Berücksichtigung der inneren Anforderungen durch die einzelnen AC-Batterien 1.1 bis 1.N ist eine Kalibrierung des Ladezustands SOC der AC-Batterie 1.N gemäß Fig. 8, bei der das Batteriekraftwerk von dem übergeordneten Energiemanagementsystem für eine Fahrplandauer das vom Batteriekraftwerk abzudeckende Leistungsband nebst den gewünschten Betriebsstatiken am Netzanschlusspunkt 10 als Charakterisierung des Regelverhaltens des Batteriekraftwerks um die Arbeitspunkte am Netzanschlusspunkt 10 erhält.

Aufgrund von Vorgaben A am Netzanschlusspunkt 10 bestimmt das Batteriekraftwerkmanagement 6 angepasste Arbeitspunkte für die verbleibenden Batterien 1.1 bis 1.M zur Einhaltung der Vorgaben A am Netzanschlusspunkt 10 oder es muss die Ladezustandskalibrierung gegebenenfalls unter Bewertung der weiter steigenden Unbestimmtheit des Ladezustands des Batteriekraftwerks für die Dauer des Fahrplans verwerfen. Dabei müssen die Vorgaben A am Netzanschlusspunkt 10 in Übereinstimmung mit vom Batteriekraftwerkmanagement 6 berechneten möglichen Arbeitspunkten sowie den inneren Anforderungen der AC-Batterie 1.N wie der Planung einer Ladezustandskalibrierung SOC für die AC-Batterie 1.N, die in Form des geschätzten Leistungsfahrplans für die Dauer der Kalibrierung Einschränkungen für den Betrieb der AC-Batterie 1.N darstellen, stehen.

Weitere Anforderungen an das Batteriekraftwerkmanagement 6 können aus der

- Handhabung von unterschiedlichen Batterietechnologien über das generische AC-Batteriemodel,
- Verteilung zentraler Messgrößen zur Erzielung stationärer Genauigkeit an dem Netzanschlusspunkt 10 sowie
- Optimierung der AC-Batterie-Arbeitspunkte auf der Grundlage von Fahrplänen bzw. abgeleiteten Führungsgrößen

bestehen.

Das Batteriekraftwerk BKW muss nichtnotwendigerweise an einem Ort installiert sein, sondern kann auch aus vielen räumlich voneinander entfernt angeordneten AC-Batterien bzw. Einheiten zusammengesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 9 dargestellt.

Fig. 9 zeigt in Abwandlung des in Fig. 8 schematisch dargestellten Batteriekraftwerks mehrere über jeweils einen Mittelspannungs-Transformator 7.1 bis 7.N und jeweils einen Mittelspannungs-Leistungsschalter 8.1 bis 8.N an Netzanschlusspunkte 10.1, 10.M und 10.N eines Energieversorgungsnetzes 11 angeschlossene AC-Batterien 1.1 bis 1.N, die mit ihren zugehörigen Netzanschlusspunkten 10.1 bis 10.N räumlich weit voneinander entfernt sein können, insgesamt aber ein Batteriekraftwerk BKW ergeben.

Analog zur Konfiguration eines Batteriekraftwerks BKW gemäß Fig. 8 ist das AC-Batteriemanagement 5.1 bis 5.N der AC-Batterien 1.1 bis 1.N mit einem Batteriekraftwerk-Management 6 über Kommunikationsleitungen verbunden, dass die die AC-

Batterien 1.1 bis 1.N mit dem Energieversorgungsnetz 11 verbindenden oder von diesem trennenden Mittelspannungs-Leistungsschalter 8.1 bis 8.N ansteuert. Das Batteriekraftwerk-Management 6 stellt die zentrale Steuerungsebene für das aus den einzelnen AC-Batterien 1.1 bis 1.N zusammengesetzte Batteriekraftwerk BKW dar und führt die von
5 den AC-Batterien 1.1 bis 1.N zur Verfügung gestellten Informationen unter anderem bezüglich der Unbestimmtheit des Ladezustands der einzelnen AC-Batterien 1.1 bis 1.N bzw. deren DC-Batterien 2.1 bis 2.N zusammen, wobei die an den Energietransfer- und Kommunikations-Schnittstellen übereinstimmende Konfiguration der AC-Batterien 1.1 bis 1.N nicht nur eine einfache Konfiguration bzw. Programmierung der Steuerungsebene
10 des Batteriekraftwerk-Managements 6 sicherstellt, sondern auch in Abhängigkeit von den seitens des Energieversorgungsnetzes 11 zu erfüllenden Anforderungen bezüglich der Leistung, Energie oder Netzdienstleistung wie Konstanthaltung der Netzfrequenz die Arbeitspunktvorgaben für die einzelnen AC-Batterien 1.1 bis 1.N optimiert.

Bezugszeichenliste

1.1 – 1.N	AC-Batterien
2.1 – 2.N	DC-Batterien
3.1	Hochsetzsteller
4.1 – 4.N	Wechselrichter
5.1 – 5.N	AC-Batteriemanagement
6	Batteriekraftwerkmanagement
7.1 – 7.N	Transformatoren
8.1 – 8.N	Leistungsschalter
9	Netzanschlusspunkt-Leistungsschalter
10;10.1, 10.M,10.N	Netzanschlusspunkt
11	Energieversorgungsnetz
12 – 17	Kommunikationsleitungen
20.1 – 20.N	Batteriemanagementsysteme
21.1 – 21.M	parallelgeschaltete DC-Batterien
31.1 – 32.M	Hochsetzsteller
40.1 – 40.N	Leistungselektronikregler
211.M, 212.M	DC-Batterien unterschiedlicher Batterietechnologie
A	Vorgaben
BKW	Batteriekraftwerk
I	Ladestrom
P _g	Geschätzte Ladeleistung
P _t	tatsächliche Ladeleistung
SOC	Ladezustandskalibrierung
V	Ladespannung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Speicherung elektrischer Energie in elektrochemischen Energiespei-
5 chern und zum Austausch elektrischer Energie mit einem elektrischen Energiever-
sorgungsnetz über ein die elektrochemischen Energiespeicher mit dem elektrischen
Energieversorgungsnetz verbindendes Leistungselektroniksystem,

dadurch gekennzeichnet,

10 dass die spezifischen Daten und Merkmale der elektrochemischen Energiespeicher
(2.1 – 2.N; 21.1 – 21.M; 211.M, 212.M) und der Topologie des Leistungselektronik-
systems (3.1; 4.1 – 4.N; 31.1 – 31.M; 31.N, 32.N) in für das elektrische Energiever-
sorgungsnetz (11) spezifische Daten und Merkmale transferiert werden.

- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die spezifischen Daten
und Merkmale der elektrochemischen Energiespeicher (2.1 – 2.N; 21.1 – 21.M;
211.M, 212.M) und der Topologie des Leistungselektroniksystems (3.1; 4.1 – 4.N;
31.1 – 31.M; 31.N, 32.N) in einer abstrakten AC-Batterie (1.1 – 1.N) zusammenge-
20 fasst und in die Daten und Merkmale des elektrischen Energieversorgungsnetzes
(11) transferiert werden und dass die AC-Batterie (1.1 – 1.N) mittels eines AC-
Batteriemanagements (5.1 -5.N) gesteuert, überwacht und geregelt wird.

- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die AC-Batterie (1.1 –
1.N) die für die jeweils eingesetzte Batterietechnologie charakterisierenden Größen
wie Lade- und Entladestrom, Kapazität, Ladezustand und dergleichen in für das
elektrische Energieversorgungsnetz (11) relevante Größen wie aktuell verfügbare
und maximal erbringbare Leistung und aktuell aufnehmbare und abgebbare Energie
30 durch Transformation der die Batterietechnologie charakterisierenden Größen abbil-
det.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere AC-
Batterien (1.1 bis 1.N) über Kommunikationsschnittstellen (12) mit einem Batterie-
kraftwerk-Managementsystem (6) und über jeweils einen Leistungsschalter (8.1 bis

8.N) und einen gemeinsamen Netzanschlusspunkt-Leistungsschalter (9) mit einem Netzanschlusspunkt (10) des Energieversorgungsnetzes (11) verbunden werden.

5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere räumlich getrennte AC-Batterien (1.1 bis 1.N) an einen Netzanschlusspunkt (10) des elektrischen Energieversorgungsnetzes (11) angeschlossen und über Kommunikationsleitungen (12) mit einem gemeinsamen Batteriekraftwerks-Managementsystem (6) verbunden werden.

6. Vorrichtung zur Speicherung elektrischer Energie in elektrochemischen Energiespeichern und zum Austausch elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz über ein die elektrochemischen Energiespeicher mit dem elektrischen Energieversorgungsnetz verbindendes Leistungselektroniksystem,

gekennzeichnet durch

mindestens ein Basismodul (AC-Batterien 1.1 – 1.N) mit

- einem elektrochemischen Energiespeichermodule mit gleiche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden Gleichstrombatterien (DC-Batterien 2.1 – 2.N, 21.1 – 21.M),
- einem die DC-Batterien (2.1 – 2.N, 21.1 – 21.M) steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem (20.1 – 20.N),
- einem Leistungselektronikmodul (3.1, 4.1 – 4.N, 31.1 – 32.M),
- einer Leistungselektronikmodul-Regeleinrichtung (40.1 – 40.N) und
- einem AC-Batteriemanagement (5.1 – 5.N) mit Kommunikationsschnittstellen (15) zum Batteriemanagementsystem (20.1 – 20.N).

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die AC-Batterien (1.1 – 1.N) mehrere parallel geschaltete elektrochemische Energiespeichermodule mit gleiche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien (2.1 – 2.N, 21.1 – 21.M) und mit einem jedem elektrochemischen Energiespeichermodule zugeordneten, das elektrochemische Energiespeichermodule steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem (20.1 – 20.N) aufweisen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistungselektronikmodule (3.1, 4.1 – 4.N, 31.1 – 32.M) aus einem gleichstromseitig an die elektrochemischen Energiespeichermodule und wechselstromseitig unmittelbar oder über einen Mittelspannungstransformator (7.1 – 7.N) an eine Sammelschiene oder einen Netzanschlusspunkt (10) angeschlossenen Wechselrichter (4.1 – 4.N) bestehen.
9. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistungselektronikmodule (3.1, 4.1 – 4.N, 31.1 – 32.M) aus mindestens einem an die elektrochemischen Energiespeichermodule angeschlossenen Hochsetzsteller (3.1, 31.1 – 32.M) und einem gleichstromseitig an den oder die Hochsetzsteller (3.1, 31.1 – 32.M) und wechselstromseitig unmittelbar oder über einen Mittelspannungstransformator (7.1 – 7.N) an eine Sammelschiene oder einen Netzanschlusspunkt (10) angeschlossenen Wechselrichter (4.1 – 4.N) bestehen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die AC-Batterien (1.1 – 1.N) mehrere gruppenweise parallel geschaltete elektrochemische Energiespeichermodule mit gleiche oder unterschiedliche chemische und/oder physikalische Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien (2.1 – 2.N, 21.1 – 21.M) und mit einem jedem elektrochemischen Energiespeichermodul zugeordneten, jedes elektrochemische Energiespeichermodul steuernden und überwachenden Batteriemanagementsystem (20.1 – 20.N) aufweisen und dass die gruppenweise parallel geschalteten elektrochemischen Energiespeichermodule über einen jeder Gruppe zugeordneten Hochsetzsteller (3.1, 31.1 – 32.M) mit einem Wechselrichter (4.1 – 4.N) verbunden sind.
11. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrochemischen Energiespeichermodule mehrere in Reihe geschaltete DC-Batterien (2.1 – 2.N, 21.1 – 21.M) mit gleichen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften aufweisen.
12. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die AC-Batterien (1.1 – 1.N) als Mittelspannungsbatterien ausgebildet sind und über das Leistungselektronikmodul (4.1 – 4.N) und ei-

nen Mittelspannungs-Leistungsschalter (8.1 – 8.N) mit einer Sammelschiene oder einem Netzanschlusspunkt (10) verbunden ist.

5 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgang des Leistungselektronikmoduls (4.1 – 4.N) über einen Mittelspannungstransformator (7.1 – 7.N) mit dem Mittelspannungs-Leistungsschalter (8.1 – 8.N) verbunden ist.

10 14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die AC-Batterien (1.1 – 1.N) zwei elektrochemische Energiespeichermodule mit gleichen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften aufweisenden DC-Batterien (2.1 – 2.N, 21.1 – 21.M) enthalten, die mit jeweils einem Wechselrichter (4.1 – 4.N) verbunden sind und dass die Wechselrichter (4.1 – 4.N) an die Primärwicklungen eines sekundärseitig mit der Sammelschiene oder einem Netzanschlusspunkt (10) verbundenen Dreiwicklungstransformator angeschlossen sind.

15

15. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 14, **gekennzeichnet durch** mindestens zwei ein Batteriekraftwerk (BKW) bildende AC-Batterien (1.1 – 1.N), die unmittelbar oder über einen Mittelspannungs-Leistungsschalter (8.1 – 8.N) oder über einen Mittelspannungs-Leistungsschalter
20 (8.1 – 8.N) und einen Mittelspannungstransformator (7.1 – 7.N) an einen gemeinsamen Netzanschlusspunkt (10) angeschlossen sind und elektrochemische Energiespeichermodule (2.1 – 2.N) mit gleichen oder voneinander verschiedenen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften aufweisen.

25 16. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei ein Batteriekraftwerk (BKW) bildende AC-Batterien (1.1 – 1.N) unterschiedliche Topologien für die Leistungselektronikmodule (3.1, 4.1 – 4.N, 31.1 – 32.M) aufweisen.

30 17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die AC-Batterien (1.1 – 1.N)
– einen mit elektrochemischen Energiespeichermodulen (2.1) verbundenen Wechselrichter (4.1) und/oder

- einen mit parallel geschalteten elektrochemischen Energiespeichermodule 2.N verbundenen Hochsetzsteller (31.N) und einen mit dem Hochsetzsteller (31.N) verbundenen Wechselrichter (4.N) und/oder
 - gruppenweise parallel geschaltete elektrochemische Energiespeichermodule (2.N) und mit jeweils einem an einen Wechselrichter (4.N) angeschlossenen Hochsetzsteller (31.N, 32.N) enthalten.
- 5
- 10 18. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das aus mehreren AC-Batterien (1.1 – 1.N) bestehende Batteriekraftwerk (BKW) als netzbildendes Kraftwerk die Spannung und Frequenz des Energieversorgungsnetzes (11) regelt und Kurzschlussströme zur Auslösung von Überstrom-Schutzmechanismen bereitstellt.
- 15 19. Batteriekraftwerk nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Batteriekraftwerk (BKW) als Leistungsquelle und Leistungssenke arbeitet und dass die von den AC-Batterien (1.1 – 1.N) an das Energieversorgungsnetz (11) abgegebene Leistung in Abhängigkeit von der Netzfrequenz des Energieversorgungsnetzes (11) geregelt wird.
- 20
20. Vorrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das AC-Batteriemanagement (5.1 – 5.N) über Kommunikationsschnittstellen (12) mit einem Batteriekraftwerk-Managementsystem (6) verbunden ist, das die Mittelspannungs-Leistungsschalter (8.1 – 8.N) und einen
- 25 den Netzanschlusspunkt (10) mit dem Energieversorgungsnetz (11) verbindenden Netzanschlusspunkt-Leistungsschalter (9) ansteuert.
- 30 21. Batteriekraftwerk nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche 6 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Batteriekraftwerk (BKW) als Hybridkraftwerk im Verbund mit erneuerbaren Energiequellen betrieben wird und eine vorgegebene Leistung am Netzanschlusspunkt (10) des Energieversorgungsnetzes (11) in Abhängigkeit von der Netzfrequenz regelt.