

BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Batteriekraftwerk zur Teilnahme am Primärregelleistungsmarkt

Zuwendungsempfänger/-in

WEMAG AG

Umweltbereich

Ressourcen, Klimaschutz

Laufzeit des Vorhabens

September 2013 – September 2014

Autor

Dipl. Ing. (FH) Tobias Struck

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

08.12.2016

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 70 441-9/1	Projekt-Nr.: 20258
Titel des Vorhabens: Batteriekraftwerk zur Teilnahme am Primärregelleistungsmarkt	
Autor: Dipl. Ing. (FH) Tobias Struck	Vorhabenbeginn: September 2013
	Vorhabenende: September 2014
Zuwendungsempfängerin : WEMAG AG Obotritenring 40 19053 Schwerin	Veröffentlichungsdatum: Dezember 2015
	Seitenzahl: 40
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit	
Kurzfassung: Der vorliegende Bericht beschreibt die Planung und Errichtung des Batteriespeicherkraftwerks (BSKW) mit 5MW / 5MWh in Schwerin-Lankow. Neben der Planung, dem Bau und der Inbetriebnahme wird auf das wesentliche Projektziel, die Präqualifikation eines BSKW am Primärregelleistungsmarkt, sowie das erste Jahr Betriebsführung eingegangen. Im Zusammenhang mit dem Bau des BSKW werden detailliert die einzelnen Gebäudebestandteile, die Primärtechnik, Sekundärtechnik, Leittechnik und Kraftwerkssteuerung beschrieben. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die erfolgreiche Präqualifizierung am Primärregelleistungsmarkt dar. Darüber hinaus werden die Erfahrungen des ersten Betriebsjahres dargestellt, Lerneffekte aufgezeigt und Herausforderungen benannt. Im Ergebnis war das BSKW in der Lage sehr zuverlässig Primärregelleistung bereitzustellen und dies zu einem durchschnittlichen Leistungspreis, der über den Erwartungen zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung liegt. Im Zusammenhang mit den Herausforderungen wird auch auf die aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen eingegangen.	
Schlagwörter: Batteriespeicherkraftwerk, Lithium-Manganoxid, Netzstabilität, Präqualifikation, Primärregelleistung, Samsung SDI, Stromnetzfrequenz, Umweltbilanz, WEMAG AG, Younicos AG	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 2 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: - Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite: www.umweltinnovationsprogramm.de

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 70 441-9/1	Project-No.: 20258
Report Title: Battery power plant to participate in the primary control power market	
Author: Dipl. Ing. (FH) Tobias Struck	Start of project: September 2013
	End of project: September 2014
Performing Organisation : WEMAG AG Obotritenring 40 19053 Schwerin	Publication Date: December 2015
	No. of Pages: 40
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety	
<p>Summary:</p> <p>The report describes the planning, engineering and construction phase of the 5MW / 5MWh battery power plant (BPP) in Schwerin-Lankow, Germany.</p> <p>Additionally to the planning, engineering and construction one of the main goals of the project, the prequalification of a BPP at the primary control reserve market and the first year of operation is described.</p> <p>Concerning the construction phase of the BPP the primary and secondary technology and the battery power plant management system (BPPMS) are described in detail.</p> <p>Another focal point of the report is the successful prequalification of the BPP at the primary control reserve market. This prequalification process is described in detail.</p> <p>Furthermore the report deals with the experiences made and the challenges faced during the first year of operation. Overall, the BPP has proven both its technical reliability in offering power on the primary reserve market and its economic feasibility by realizing a higher price per MW than assumed during the investment decision. The experiences and challenges faced will be discussed within the context of the current regulatory framework as well.</p>	
Keywords: Battery power plant (BPP), Lithium-manganese dioxide , grid stability , prequalification , primary control reserve, Samsung SDI , grid frequency , environmental assessment , WEMAG AG, Younicos AG	

BMUB – Umweltinnovationsprogramm

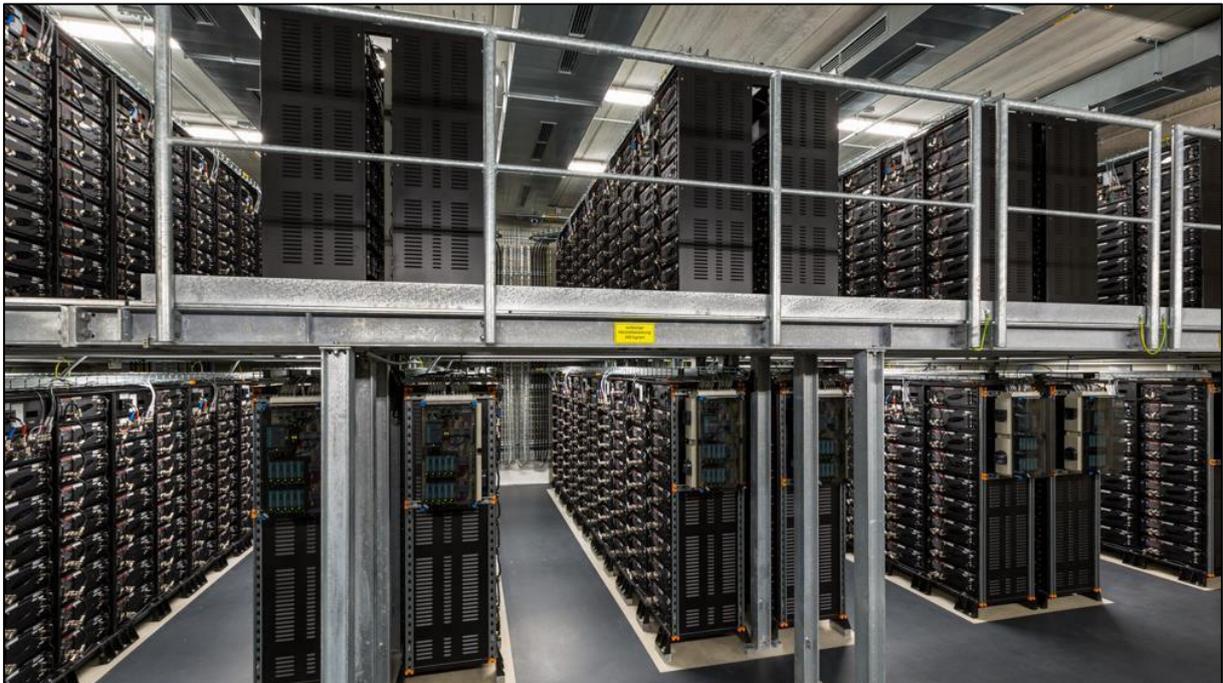
Abschlussbericht

Zum Vorhaben:

„Batteriekraftwerk zur Teilnahme am
Primärregelleistungsmarkt“

Fördernehmer:

WEMAG AG



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	6
1.1.	Über die WEMAG.....	6
1.2.	Über Younicos.....	6
1.3.	Ausgangssituation.....	6
2.	Vorhabenumsetzung.....	9
2.1.	Ziel des Vorhabens	9
2.2.	Technische Lösung	9
2.3.	Umsetzung des Vorhabens	12
2.3.1	Errichtung Gebäude und Infrastruktur.....	12
2.3.2	Montage Primärtechnik	14
2.3.3	Montage Sekundärtechnik	17
2.3.4	Installation Leittechnik und Kraftwerkssteuerung (BPPMS)	19
2.3.5	Vom Testbetrieb über die Präqualifikation zum Probetrieb	19
2.3.6	Feierliche Inbetriebnahme.....	19
2.3.7	Modifikationen / Änderungen zum ursprünglichen Vorhaben	20
2.3.8	Softwareupdate	21
2.4.	Innovative Aspekte des Vorhabens	21
2.5.	Behördliche Anforderungen.....	21
3.	Ergebnisse	22
3.1.	Zielerreichung / Bewertung der Vorhabendurchführung	22
3.2.	Stoff- und Energiebilanz	25
3.3.	Umweltbilanz.....	26
3.4.	Ergebnisse Präqualifikation	27
3.5.	Vermarktung	28
3.6.	Vergleich zu konventioneller Kraftwerkstechnik.....	30
4.	Empfehlungen	31
4.1.	Erfahrungen aus der Praxis.....	31
4.2.	Skalierbarkeit von 200kW (Yunicos-Labor) auf 5.000kW.....	32
4.3.	Besondere Erfahrungen/Erkenntnisse/Optimierungsbedarf	32
4.4.	Störungen und Probleme	33
4.5.	Messwerte.....	33
4.6.	Weitere erbrachte Netzdienstleistungen.....	34
4.7.	Auswertung, inwieweit andere Must-Run Kapazitäten ersetzt werden können	35
5.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	36

6. Sonstiges.....39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prognose der Stromerzeugung in Deutschland bis 2050	7
Abbildung 2: Schematischer Aufbau BSWK Schwerin-Lankow.....	10
Abbildung 3: Grafische Darstellung des Gebäudes BSKW Schwerin-Lankow	12
Abbildung 4: Feierliche Grundsteinlegung / Erdarbeiten, Fundament, Erdung und Verlegung der Grundleitungen.....	13
Abbildung 5: Montage Fertigteile, Decke und Fassade sowie Außenanlagen - Rohbau	13
Abbildung 6: Innenausbau und Elektroinstallationen inkl. Brandschutz und HVAC	14
Abbildung 8: Auf- und Einbau der Batterieeinschübe.....	15
Abbildung 9: Installation der Umrichter	15
Abbildung 10: Einbringen der Transformatoren	16
Abbildung 11: Mittelspannungsschaltanlage.....	16
Abbildung 12: Hilfsspannungsversorgung / USV	17
Abbildung 13: Sicherheitsbereich / Löschanlage	18
Abbildung 14: Klimazonen im BSKW.....	18
Abbildung 14: Feierliche Eröffnung.....	20
Abbildung 15: Vorgabe zum Arbeitsbereich in Abhängigkeit von Leistung zu Kapazität (Vorhaltezeit von 30 Minuten).....	23
Abbildung 16: Vorgabe zum Arbeitsbereich in Abhängigkeit von Leistung zu Kapazität (Vorhaltezeit von 15 Minuten).....	24
Abbildung 17: Schematische Gegenüberstellung Präqualifikation Batteriespeicherkraftwerk (links) und konventionelles Kraftwerk (rechts)	27
Abbildung 18: Präqualifikation tatsächlicher Verlauf	28
Abbildung 19: Gebotsverlauf 1. Betriebsjahr.....	29
Abbildung 20: Verfügbarkeit und Marktteilnahme	31
Abbildung 21: Entwicklung Preis Monatsmittel Primärregelungspreis.....	32
Abbildung 22: Screenshot und Darstellung der Primärregelung.....	32
Abbildung 23: Tatsächlich abgeforderte Energie	34
Abbildung 24: Monatsverlauf (November 2014) PRL-Betrieb.....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich thermisches Kraftwerk und Batteriespeicherkraftwerk in der Primärregelung.....	30
Tabelle 2: Investitionsübersicht	36
Tabelle 3: Betriebsaufwendungen 2015	37
Tabelle 4: Besucherstatistik.....	39

1. Einleitung

1.1. Über die WEMAG

Die Schweriner WEMAG AG ist ein bundesweit aktiver Öko-Energieversorger mit regionalen Wurzeln und Stromnetzbetrieb in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Zusammen mit der WEMAG Netz GmbH ist sie für ca. 15.000 Kilometer Stromleitungen verantwortlich, vom Hausanschluss bis zur Überlandleitung. Das Energieunternehmen liefert Strom, Gas und Netzdienstleistungen an Privat- und Gewerbekunden.

Regionale Verbundenheit, Umweltschutz und Nachhaltigkeit bestimmen das Handeln der WEMAG AG. So liefert das Unternehmen unter der Marke wemio Ökostrom aus erneuerbaren Energiequellen an Haushalte sowie an Sondervertragskunden aus Gewerbe und Landwirtschaft. Seit 2011 werden klimafreundliche Gasprodukte angeboten. Die WEMAG AG leistet erhebliche Investitionen in erneuerbare Energien, berät zu Fragen der Energieeffizienz und bietet die Möglichkeit der Bürgerbeteiligung über die Norddeutsche Energiegemeinschaft eG. Die WEMAG AG befindet sich seit Januar 2010 im Mehrheitsbesitz der Kommunen ihres Versorgungsgebietes.

1.2. Über Younicos

Der ausführende Projektpartner, die Firma Younicos, ist weltweit führend bei intelligenten Netz- und Energiespeicherlösungen auf Basis von Batterietechnologie. Weltweit hat Younicos über 20 Batteriekraftwerke mit einer Gesamtleistung von knapp 100 Megawatt installiert.

Die Kernkompetenzen von Younicos liegen in der Verknüpfung von unterschiedlichen Batterietechnologien und Leistungselektronik mithilfe von hochintelligenter Software sowie die Integration des Speichersystems in Verbund- oder Inselnetze. Die Batteriekraftwerke von Younicos stellen dabei über 20 verschiedene Energiedienstleistungen bereit und sorgen so für eine sichere, stabile und effiziente Stromversorgung.

1.3. Ausgangssituation

Vor dem Hintergrund der Energiewende in Deutschland entwickelt sich die installierte Kraftwerksleistung von einer dargebotsunabhängigen (konventionellen) Stromerzeugung in Richtung einer dargebotsabhängigen (erneuerbaren) Stromerzeugung. Zu erkennen ist diese Entwicklung in Abbildung 1.

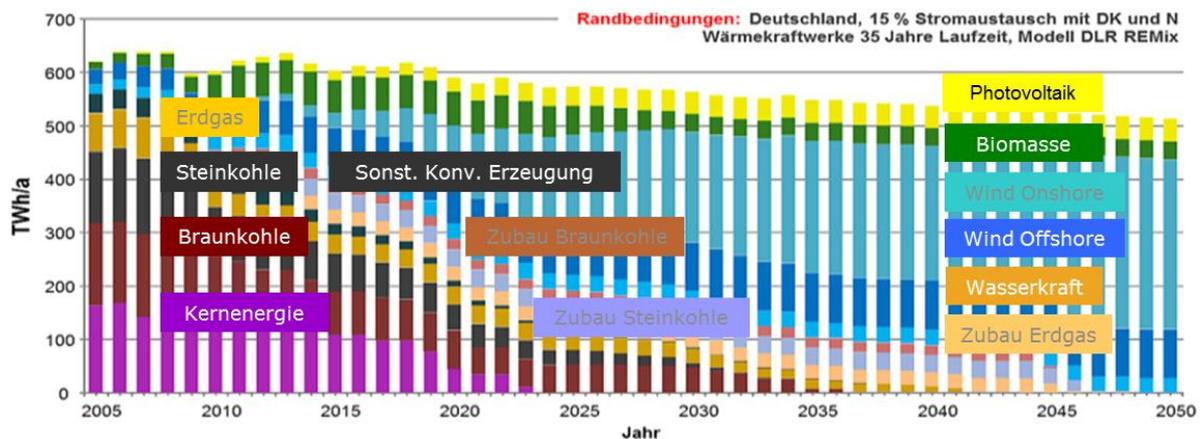


Abbildung 1: Prognose der Stromerzeugung in Deutschland bis 2050¹

Ausgehend von dieser Entwicklung wird das Stromnetz, insbesondere auf der Verteilnetzebene, mit zahlreichen neuen Herausforderungen konfrontiert.

Zum einen wird die installierte konventionelle Kraftwerksleistung, die Grundlast bereitstellt, abnehmen. Diese Entwicklung hat durch das Abschalten von Kernkraftwerken im Jahr 2011 begonnen und wird durch die geplante Minimierung der Stromerzeugung aus Kohle weiter an Bedeutung gewinnen. Daraus resultiert ein steigender Bedarf an Kraftwerken, die Mittel- und Spitzenleistung bereitstellen können, um die im Stromnetz auftretende Volatilität auszugleichen.

Darüber hinaus stellen die dargebotsunabhängigen (konventionellen) Kraftwerke aber aktuell auch einen großen Anteil der benötigten Systemdienstleistungen (z.B. Primärregelleistung (PRL)) bereit. Mit der Abschaltung konventioneller Kraftwerke ist deshalb auch eine Minimierung des Angebots an Systemdienstleistungen verbunden, die dann von anderen Kraftwerken bereitgestellt werden müssen.

Neben dieser energiepolitischen Entwicklung spielen auch technische Aspekte eine bedeutende Rolle für Überlegungen, Systemdienstleistungen anstatt von konventionellen Kraftwerken durch alternative Kraftwerkstypen (z.B. Batteriespeicherkraftwerke (BSKW)) bereitzustellen. So können große thermische Kraftwerke Primärregelleistung nur erbringen, wenn sie gleichzeitig oberhalb ihrer Mindestleistung betrieben werden, d.h. dass sie für die Primärregelung einige Prozent ihrer Erzeugungsleistung als Reserve freihalten. Diese Mindestleistung beträgt je nach Kraftwerkstyp, -größe und -alter zwischen 35 und 60% der installierten Leistung. Diese so genannte Must-Run-Kapazität bzw. Mindestleistung der Grundlastkraftwerke steht jedoch im systemischen Widerspruch zum Einspeisevorrang der erneuerbaren Energien und dem erklärten Ziel der Bundesregierung, im Rahmen der Energiewende den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu erhöhen. Die Must-Run-Kapazität aus

¹ Quelle: Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 2010

konventionellen Kraftwerken wird unabhängig vom tatsächlichen Bedarf in das Stromnetz eingespeist und führt zu Abregelungen von Erneuerbaren-Energie-Anlagen. Aus diesem Grund werden Einheiten benötigt, die Primärregelleistung vorhalten können, ohne mit einer Mindestleistung am Netz sein zu müssen. Dazu sind insbesondere Speicher ideal geeignet, da diese 100% ihrer Leistung symmetrisch in beiden Richtungen (negativ und positiv) für die Erbringung von Primärregelleistung einsetzen können.

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Das Projekt „Aufbau und Betrieb eines Batteriekraftwerks zur Erbringung von Primärregelleistung“ hatte drei Zielvorgaben:

1. Der Batteriespeicher soll mit einer Leistung von 5MW und einer Kapazität von 5MWh errichtet werden.
2. 5 MW sollen für den Primärregelenergiemarkt präqualifiziert werden.
3. Der Batteriespeicher soll erfolgreich am Primärregelenergiemarkt teilnehmen.

2.2. Technische Lösung

Das geplante Batteriekraftwerk wurde als alleinstehende Anlage so ausgelegt, dass es unabhängig von einem Kraftwerkspool sicher und zuverlässig betrieben werden kann sowie die Präqualifikationsbedingungen zur Teilnahme am Regelenergiemarkt erfüllt. Hierzu wurde eine eigens entwickelte Leistungs-Frequenzregelung implementiert, die der Regelungsstatik gemäß Transmission Code 2007 entspricht. Im Mittelpunkt dieser Leistungs-Frequenzregelung steht das Battery Power Plant Management System (BPPMS). In einer Datenbank wird ein Fahrplan hinterlegt, der sich aus unterschiedlichen Kenngrößen (u.a. Minimalfrequenz, Untergrenze Totband, Nennfrequenz, Obergrenze Totband, Maximalfrequenz / Leistung bei Maximalfrequenz, Leistung bei Nominalfrequenz, Leistung der Minimalfrequenz) zusammensetzt. Dadurch kann das Batteriekraftwerk unmittelbar und quasi verzögerungsfrei auf Frequenzänderungen reagieren, bei Unterfrequenz einspeisen und bei Oberfrequenz Leistung entnehmen.

Die Bereitstellung der Primärregelleistung außerhalb eines bestehenden Kraftwerkspools stellt hinsichtlich der Bereitstellung der für die Präqualifizierung notwendigen Leistungs- und Kapazitätsparameter eine technisch deutlich anspruchsvollere Lösung dar. So muss die bereitzustellende Leistung durch vorhandene Redundanzen z.B. bei den Wechselrichtern und die bereitzustellende Kapazität durch einen Kapazitätsüberbau z.B. durch den Einbau zusätzlicher Batterieracks abgesichert werden.

Das System ist vollständig in einem festen Gebäude untergebracht (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2: Schematischer Aufbau BSWK Schwerin-Lankow²

Die Errichtung eines festen Gebäudes wurde der Containerlösung u.a. vorgezogen, da mit Ausnahme der Traforäume alle Räume Betriebsmittel enthalten, die nicht direkt der Außentemperatur und der eindringenden Luftfeuchtigkeit ausgesetzt sind. So ist der Batterieraum beispielsweise für eine maximale Lebensdauer der Batterien konstant in einem Temperaturbereich zwischen 12 und 18°C zu halten. Die maximale Lebensdauer orientiert sich dabei an der 20-jährigen Performance-Garantie von Samsung SDI.

Das Batteriespeicherkraftwerk Schwerin-Lankow ist über eine Mittelspannungsschaltanlage auf der Spannungsebene 20kV mit dem angrenzenden Umspannwerk Schwerin-Lankow verbunden.

Zur Sicherstellung des Eigenbedarfs befinden sich im Gebäude ein Eigenbedarfstransformator und eine Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Die USV ist redundant ausgelegt, so dass bei einem Ausfall einer Anlage die andere Anlage ohne Unterbrechung übernimmt. Mit Hilfe dieser USV kann eine Überbrückungszeit von 60 Minuten (Bemessungsfall) garantiert werden.

Die Gleichstrom-(DC)-Batterie selbst besteht aus modularen Einheiten, den sogenannten (Batterie-) Racks von je 50kW/50kWh. Zur Sicherstellung einer hohen Anlagenverfügbarkeit wurden insgesamt je zehn Racks auf einem Strang parallel (ähnlich wie bei PV-Anlagen) zusammengeschaltet, die dann über einen bidirektionalen AC/DC-Umrichter (Nominalleistung: 730kW) und einen Trafo (Bemessungsleistung: 800kVA) auf eine Wechselstrom-(AC)-Sammelschiene speisen. Die Verfügbarkeit wird durch die Überlastfähigkeit von 1,5C (für 80

² Quelle: WEMAG AG

Minuten am Tag) der Batteriekomponenten und des Umrichters auch bei Komponentenausfall gewährleistet.

Jede AC-Sammelschiene ist mit einer Unterverteilung ausgestattet, welche sowohl die Schütze („Switch Power“) als auch das Batteriemangement („BMS Power“) der Batterieracks mit Strom aus der USV versorgt. In der Unterverteilung befinden sich zwei Trennschalter: einer für alle Switch Power je AC-Batterie, einer für alle BMS Power je AC-Batterie. Bei den Schützen handelt es sich um das Modell SITOP PSU300S von Siemens.

Somit wird das Batteriemangement nicht aus der vorhandenen Speicherkapazität der Batterien versorgt.

Das Batteriekraftwerk ist mit einer zentralen Steuer- und Überwachungseinheit, dem Battery-Power-Plant-Management-System (BPPMS), ausgestattet. Das BPPMS, die Leittechnik und Kraftwerkssteuerung des BSKW, ist eine Eigenentwicklung von Younicos.

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Detaillierte Planung und Beantragung der Baugenehmigung

Der Umsetzung des Vorhabens liegt ein detaillierter Bauablaufplan zugrunde. Die detaillierte Planung kann unterteilt werden in

- Gebäude und Infrastruktur (Absatz 2.3.1)
- Montage Primärtechnik (Absatz 2.3.2)
- Montage externe Kommunikation / Verkabelung Leittechnik / Messtechnik
- Montage Sekundärtechnik (Absatz 2.3.3)
- Installation Leittechnik und Kraftwerkssteuerung (BPPMS) (Absatz 2.3.4)
- Kommunikations- und Funktionstests / Testbetrieb / Präqualifikation / Probetrieb (Absatz 2.3.5)

2.3.1 Errichtung Gebäude und Infrastruktur

Ziel bei der Planung und Umsetzung des Gebäudes war es, eine kompakte Batteriespeicherhalle zu konzipieren, die bei Bedarf auf dem vorhandenen Grundstück eine Erweiterung zulässt. Der Batterieraum konnte durch eine Stahlkonstruktion und Fixierung der Batterieracks zweistöckig geplant werden. Durch die Zweistöckigkeit des Gebäudes konnten die Batterien im Batterieraum auf zwei Ebenen installiert werden, wodurch der erforderliche Platz für die Batterien minimiert werden konnte. Diese Bauweise hat zur Folge, dass im Batterieraum zusätzlicher Platz für eine Erweiterung um 20 Batterieracks vorhanden ist (vgl. Abschnitt 3.1). Darüber hinaus bietet das Gebäude einen geräumigen Ausstellungsraum, der insbesondere vor dem Hintergrund des großen öffentlichen Interesses notwendig ist.



Abbildung 3: Grafische Darstellung des Gebäudes BSKW Schwerin-Lankow³

³ Quelle: WEMAG AG

Durch die Unterstützung der Stadtverwaltung Schwerin wurde das Bauvorhaben mit Priorität behandelt und die Baugenehmigung zügig erteilt. Die feierliche Grundsteinlegung erfolgte am 3. September 2013.



Abbildung 4: Feierliche Grundsteinlegung / Erdarbeiten, Fundament, Erdung und Verlegung der Grundleitungen⁴



Abbildung 5: Montage Fertigteile, Decke und Fassade sowie Außenanlagen - Rohbau⁵

Im November 2013 wurden die Betonwände nach Detailplanung aufgestellt und verankert. Bereits im Folgemonat erhielten Batterieraum und Mittelspannungsraum zur erhöhten Druckfestigkeit eine Betondecke. Alle weiteren Räume wurden mit Trapezblechdach gedeckt sowie Fugen und Dach entsprechend abgedichtet.

⁴ Quelle: WEMAG AG

⁵ Quelle: WEMAG AG

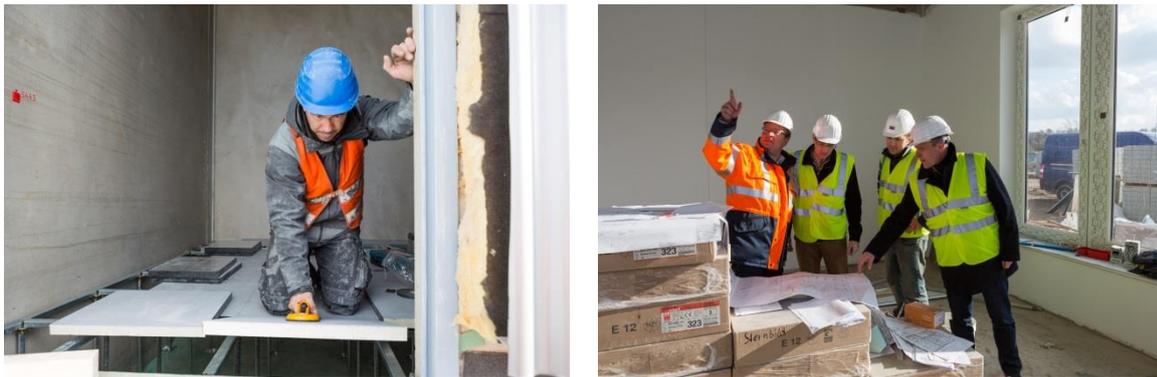


Abbildung 6: Innenausbau und Elektroinstallationen inkl. Brandschutz und HVAC⁶

Von Dezember 2013 bis Mai 2014 fand der Innenausbau des Batteriespeichers statt. Mit der baulichen Ausgestaltung der Halle, gezielt platzierten Brandschutzwänden, der Branderkennung und einer CO₂-Brandlöschanlage wurde ein allumfassendes Brandschutzkonzept realisiert.

Eine zusätzliche Trockenbauwand trennt Umrichter und Transformatoren. Dadurch wurde der Schallschutz optimiert.

Um den modernen Charakter des Batteriespeichers zu unterstreichen, wurde bei der Ausstattung auf stromsparende LED-Leuchten, die Einrichtung einer Energietankstelle für Elektrofahrzeuge und eine ansprechende Außenfassade besonderer Wert gelegt.

2.3.2 Montage Primärtechnik

Die Primärtechnik beinhaltet alle Komponenten, die unmittelbar am Leistungsfluss der Primärregelleistung beteiligt sind, dazu zählen:

- 100 Batterieracks mit je 256 Zellen,
- 10 bidirektionale Umrichter,
- 5 Umrichtertransformatoren,
- Mittelspannungsschaltanlage,
- Mittel- und niederspannungsseitige Leistungsverkabelung.

Die Installation der Primärtechnik erfolgte im März/April 2014.

⁶ Quelle: WEMAG AG

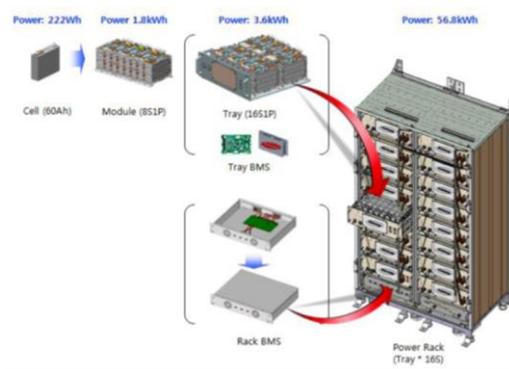


Abbildung 7: Auf- und Einbau der Batterieeinschübe



Abbildung 8: Installation der Umrichter

Batterieracks

Im Batteriespeicher Schwerin-Lankow sind 100 Batterieracks mit jeweils 256 in Reihe geschalteten Zellen (Lithium-Manganoxid-Zellchemie) des Herstellers Samsung SDI verbaut. Jedes Batterierack besteht aus 16 Batterietrays und einem Steuer- und Schaltgerät mit Batteriemanagementsystem (siehe Abbildung 7⁷).

Die Zellkonstruktion enthält zahlreiche chemische und elektromechanische Sicherheitsmechanismen, welche unabhängig vom Batteriemanagement ihre Funktion erfüllen. Im Batterieraum ist zudem eine Gaslöschanlage installiert. Durch das integrierte Überwachungs- und Sicherheitskonzept können sich die Batterieracks selbst bei Ausfall der zentralen Kraftwerkssteuerung selbsttätig abschalten und sich damit in einen sicheren Zustand versetzen.

Umrichter

Als Umrichter werden in diesem Projekt 10 Stück bidirektionale AC/DC-Umrichter vom Typ Solo S des Herstellers IDT verwendet. Die Umrichter werden AC-seitig bei 480 V und DC-seitig in Abhängigkeit vom Ladezustand der Batterien mit variabler Spannung zwischen 800 und 1050 V betrieben. Die nominale Leistung bei Nennspannung pro Umrichter beträgt 727 kVA. Die Umrichter arbeiten unabhängig voneinander. Damit ist eine Redundanz vorgesehen, die zwei

⁷ Quelle: Samsung SDI / WEMAG AG

gleichzeitige Umrichter ausfälle erlaubt, ohne die Gesamtverfügbarkeit des Systems zu beeinträchtigen.



Abbildung 9: Einbringen der Transformatoren

Transformatoren

Jeweils 10 AC-Batterien, bestehend aus einem Umrichter, zehn parallel geschalteten Batterieracks und dem für die Verschaltung zwischen Umrichter und Batterieracks notwendigen Batteriemanagementsystem, werden jeweils über insgesamt fünf Dreiwicklungstransformatoren des Herstellers SGB Starkstrom-Gerätebau GmbH zusammenschaltet. Die Transformatoren werden aufgrund der besseren Sicherheitseigenschaften in Gießharzbauweise ausgeführt.



Abbildung 10: Mittelspannungsschaltanlage

Mittelspannungsschaltanlage

Als Schaltanlage ist eine fabrikfertige, typgeprüfte Mittelspannungsschaltanlage der Firma Schneider Electric installiert.

Mess- und Zählwandler sind mit den gemäß der TAB und Gesprächen mit 50 Hertz Transmission GmbH vorgeschriebenen Genauigkeiten in der Wandlerklasse 0.5 ausgeführt. Jedes Leistungsschalterfeld ist mit kombinierten Feldsteuer- und Schutzgeräten ausgestattet.

2.3.3 Montage Sekundärtechnik

In der Sekundärtechnik sind alle Hilfseinrichtungen zusammengefasst, die neben der Primärtechnik zum Betrieb der Anlage erforderlich sind. Dazu zählen:

- gesicherte und ungesicherte Hilfsspannungsversorgung
- Haus- und Sicherheitstechnik
- Heiz- und Kühlsystem
- Eigenbedarfstransformator



Abbildung 11: Hilfsspannungsversorgung / USV

Hilfsspannungsversorgung / USV

Der Aufbau der Hilfsspannungsversorgung ist in Abbildung 11 dargestellt. Das BSKW Schwerin-Lankow ist für die sichere Versorgung des BSKW-Eigenbedarfs mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) ausgestattet (vgl. Abbildung 11). Die USV besteht aus zwei Geräten mit einer Nennleistung von je 27KW/30kVA.

Die USV ist redundant ausgelegt. Fällt eine Anlage aus, übernimmt die andere Anlage ohne Unterbrechung. Die USV garantiert eine Überbrückungszeit von 60 Minuten (Bemessungsfall).

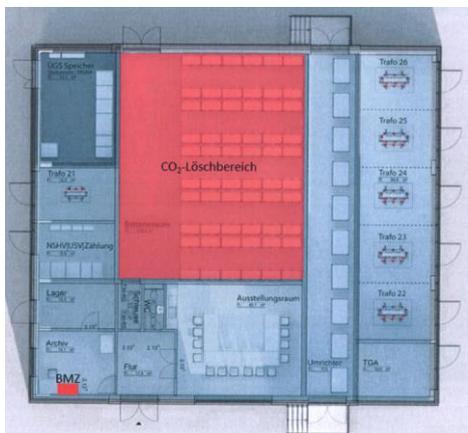


Abbildung 12: Sicherheitsbereich / Löschanlage

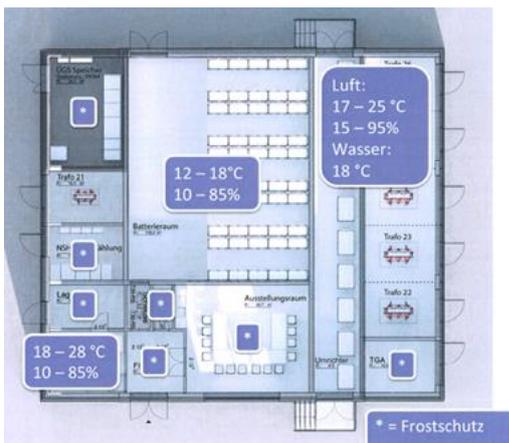


Abbildung 13: Klimazonen im BSKW

Haus- und Sicherheitstechnik

Aufgrund der Tatsache, dass das BSKW unbemannt und fernüberwacht betrieben werden kann, zählt zu der Haus- und Sicherheitstechnik der Einbau einer Einbruchmeldeanlage. Das BSKW ist in drei unterschiedliche Sicherheitsbereiche eingeteilt, die einzeln aktiviert bzw. deaktiviert werden.

Für den Fall einer Brand- und Rauchentwicklung wurde in dem BSKW eine Brandmelde- und Löschanlage installiert. Der Löschbereich der CO₂-Löschanlage ist ausschließlich der Batterieraum.

Heiz- und Kühlsystem

Im BSKW Schwerin-Lankow ist ein Heiz- und Kühlsystem eingebaut. Dieses hat insbesondere die Aufgabe die Batterien, Umrichter und die Kraftwerkssteuerung unter gleichbleibenden Raumluftbedingungen zu betreiben (vgl. Abbildung 13). Insbesondere für die Garantiebedingungen der Batterien sind eine konstante Lufttemperatur von 15°C ±3°C und Luftfeuchtigkeit von Bedeutung.

2.3.4 Installation Leittechnik und Kraftwerkssteuerung (BPPMS)

Die Leittechnik und Kraftwerkssteuerung, das sogenannte Battery Power Plant Management System (BPPMS) wurde von der Younicos AG für das BSKW in Schwerin-Lankow entwickelt. Es bildet die Schnittstelle zwischen Primärtechnik, Sekundärtechnik (intern), Mittelspannungsschaltanlage, Leitstelle und Vermarktung (extern).

Das BPPMS stellt für das BSKW in Schwerin-Lankow folgende Funktionen zur Verfügung:

- automatische, optimierte Leistungsregelung der AC-Batterien zur Erbringung der PRL mit Anbindung zur kommerziellen Betriebsführung der WEMAG,
- Anbindung an die Leitstelle der WEMAG,
- eine lokale grafische Benutzerbedienschnittstelle „Y-SCADA HMI“,
- eine zentrale Überwachung aller im BSKW verbauten Komponenten,
- eine lokale Protokollierung aller Betriebswerte, Meldungen und Alarmer.

2.3.5 Vom Testbetrieb über die Präqualifikation zum Probebetrieb

Nach der Installation des BPPMS wurden umfangreiche Tests durchgeführt. Die Tests bestanden in chronologischer Reihenfolge aus Kommunikationstests und Funktionstests.

Begonnen wurde dabei jeweils mit kalten Tests. Dies bedeutet, dass die Tests in einem Zustand durchgeführt wurden, in dem alle Überwachungs- und Kommunikationssysteme aktiv waren, das BSKW allerdings keine Leistung in das Netz einspeiste oder aus dem Netz aufnahm.

Anschließend wurden heiße Funktionstests durchgeführt. Dies bedeutet, dass die Tests in einem Übergangszustand für die Zuschaltung einer oder mehrerer AC-Batterien durchgeführt wurden. Im Juni 2014 fand die Präqualifikation des Batteriespeicherkraftwerks statt.

An die erfolgreiche Präqualifizierung am Primärregelenergiemarkt schloss sich der Probebetrieb an. Im September 2014 nahm das Batteriespeicherkraftwerk erstmals am Primärregelleistungsmarkt teil.

2.3.6 Feierliche Inbetriebnahme

Nach rund einem Jahr Bauzeit, unterbrochen von zwei Wochen Winterpause, konnte das Batteriekraftwerk am 16. September 2014 feierlich eröffnet werden. Neben zahlreichen Gästen aus Wirtschaft und Politik waren auch Ministerpräsident Erwin Sellering (SPD) und Bundeswirtschaftsminister Sigmar Gabriel (SPD) anwesend.



Abbildung 14: Feierliche Eröffnung⁸

Eine Übersicht über die Medienberichterstattung / Pressemeldungen findet sich im Anhang.

2.3.7 Modifikationen / Änderungen zum ursprünglichen Vorhaben

Im Mittelspannungsraum wurde nachträglich ein Leitbildschirm installiert, damit das im Störfall eintreffende Personal sich sofort einen Überblick über die Anlage verschaffen kann. Weiterhin wurde im USV-Raum eine temperaturabhängige Lüftung installiert, um eine mögliche Überhitzung der Technik auszuschließen.

Noch für 2015 ist die Installation eines Feuerwehr-Informations-und-Bedienungssystems (FIBS) geplant. Nach verschiedenen Absprachen mit der Feuerwehr wurde dies als notwendig und optimal eingestuft.

Um den Geräuschpegel der Klimapumpen bei nachbarschaftlichen Gebäuden zu minimieren, wird zeitnah eine Schallschutzwand auf dem Dach errichtet.

Bei den Umrichtern wurden vorsorglich die DC-Schütze gewechselt, da es bei baugleichen Geräten zu Verschleißerscheinungen gekommen war. Die Kosten wurden im Rahmen der Gewährleistung durch die Herstellerfirma getragen.

⁸ Quelle: WEMAG AG

2.3.8 Softwareupdate

In der 23. Kalenderwoche 2015 wurde ein umfangreiches Softwareupdate vorgenommen. Hauptsächlich wurden Routinen angepasst, die auf nunmehr erhaltenen Erfahrungswerten aufbauten. Dadurch fand eine Optimierung der Betriebsweise statt. Weiterhin wurde die Bedienbarkeit des Systems verbessert.

2.4. Innovative Aspekte des Vorhabens

Mit Bezug auf den Abschnitt 1.3 besteht der innovative Aspekt des Vorhabens in der Bereitstellung von Primärregelleistung mit Hilfe eines BSKWs.

Um sich als erstes BSKW für die Erbringung von Primärregelleistung zu präqualifizieren, musste insbesondere das BPPMS von der Firma Younicos weiterentwickelt werden und die Schnittstellen zu den anderen Komponenten des BSKWs angepasst werden.

Im Zusammenhang mit der Herausstellung der innovativen Aspekte des BSKW werden darüber hinaus in Abschnitt 4.6 weitere mögliche Netzdienstleistungen vorgestellt. Diese bieten über den innovativen Charakter zum Zeitpunkt der Errichtung weiteres Innovationspotential für die Zukunft.

2.5. Behördliche Anforderungen

Besondere Anforderungen an den Brandschutz und die Schallemissionen bestanden nicht. Die Speicheranlage fällt nicht unter die Störfallverordnung.

3. Ergebnisse

3.1. Zielerreichung / Bewertung der Vorhabendurchführung

Die Ziele gemäß Punkt 2.1 wurden weitestgehend erreicht.

Mit der technischen Abnahme der Mittelspannungsanlage am 17. April 2014 begann die Vorbereitung der Präqualifikationsphase am Regelenergiemarkt. Diese wurde am 16.09.2014 mit der Inbetriebnahme des Batteriespeichers erfolgreich abgeschlossen.

Seitdem vermarktet der Batteriespeicher Primärleistung am Regelenergiemarkt.

Einzigste Abweichung von den in 2.1 genannten Zielen ist, dass vom Regelzonenbetreiber 50Hertz in Abstimmung mit den anderen drei Regelzonenbetreibern bisher maximal 4 MW Leistung für die Vermarktung am Primärregelenergiemarkt zugelassen wurde. Ursache dafür ist unter anderem, dass die Bedingungen für die Teilnahme von Batteriespeichern am Primärregelenergiemarkt derzeit geändert bzw. neu erstellt werden. Wichtigstes Kriterium ist die für eine geplante Änderung des Network-Codes angedachte Vorhaltung der vollen Leistung für einen Zeitraum von 30 Minuten (bisher: 15 Minuten). Dies macht den Betrieb des BSKW mit 5 MW und 5 MWh per se unmöglich, da der SOC (State of Charge, Ladestand) von 50% immer eingehalten werden muss. Wie aus nachfolgender Grafik (Abbildung 15) zu entnehmen ist, kann bei einem Verhältnis von 1:1,2 (4 MW: 5 MWh) ein Arbeitsbereich von 42-58% SOC eingestellt werden.

Wir sind aktuell dabei, uns in die Diskussion der Regelzonenbetreiber einzubringen und unsere Darstellung des Regelenergiemarktes zu verdeutlichen. In der bisherigen Beschreibung des Regelmechanismus wird die Primärregelenergie nach 5 bis 15 Minuten von der Sekundärregelenergie abgelöst. Die ÜNB vertreten die Auffassung, dass die angebotene Leistung ständig und ohne Unterbrechung vorgehalten werden muss. Da es bei der Erbringung von Primärregelenergie (PRL) durch fossil befeuerte Kraftwerke zu keinem Energieengpass kommen kann (Energiespeicher ist hier der praktisch unendlich große Kohlehaufen bzw. Öltank vor dem Kraftwerk oder der Gasanschluss), wird dies wohl nun auch bei Batteriespeichern vorausgesetzt. Batterien sind jedoch in der Energieaufnahme und -abgabe begrenzt, weshalb wir uns zum Nachladen/Entladen am Spotmarkt bedienen.

Aktuell beabsichtigt die EU, abweichend vom aktuellen Entwurf im Network Code Load-Frequency Control and Reserves (NC LFCR) die Vorhaltung von maximal 15 Minuten Kapazität für die PRL vorzuschreiben. Diese Entscheidung könnte noch im November 2015 veröffentlicht werden. Anschließend würde ein Komitologieverfahren folgen, in dem der Network

Code allenfalls noch von den Ländern gänzlich abgelehnt werden könnte. Das Inkrafttreten wird für Januar 2016 erwartet. Vorher werden die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB, engl. TSOs) voraussichtlich keine Änderung vornehmen.

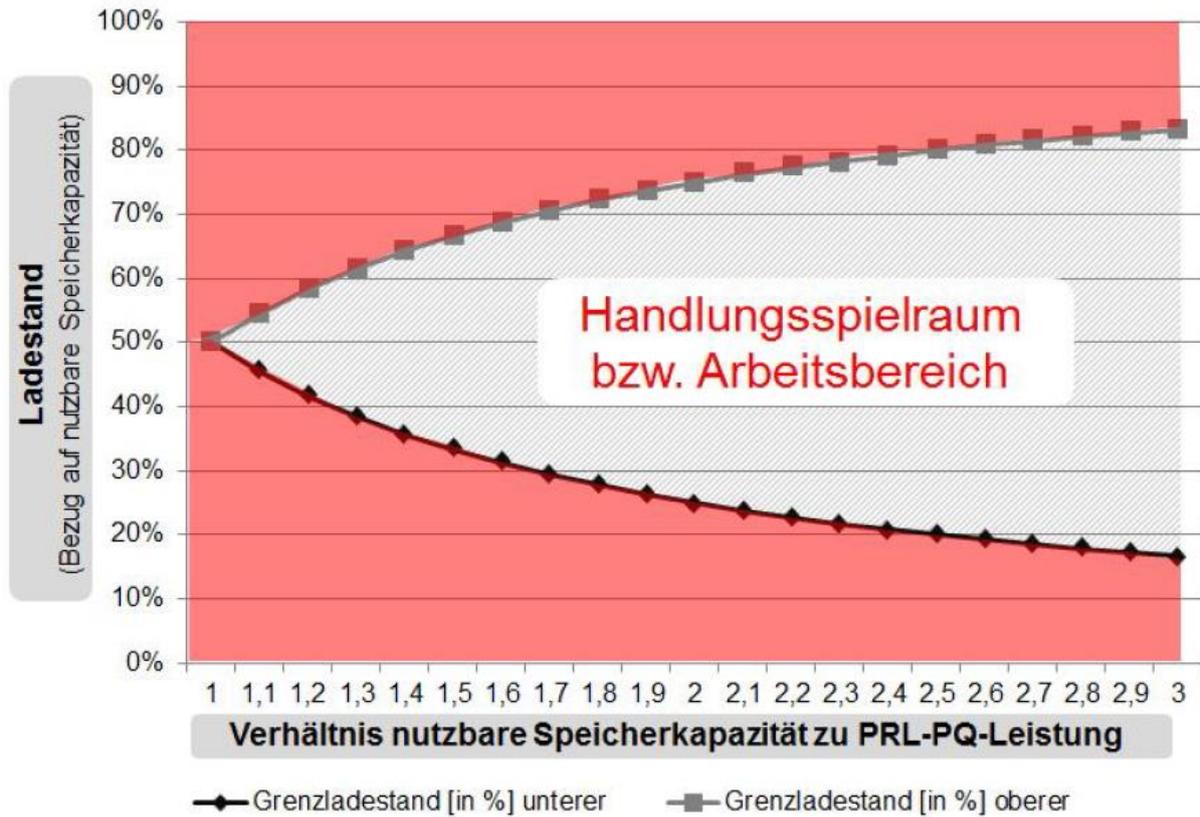


Abbildung 15: Vorgabe zum Arbeitsbereich in Abhängigkeit von Leistung zu Kapazität (Vorhaltezeit von 30 Minuten)⁹

⁹ Deutsche ÜNB 2015

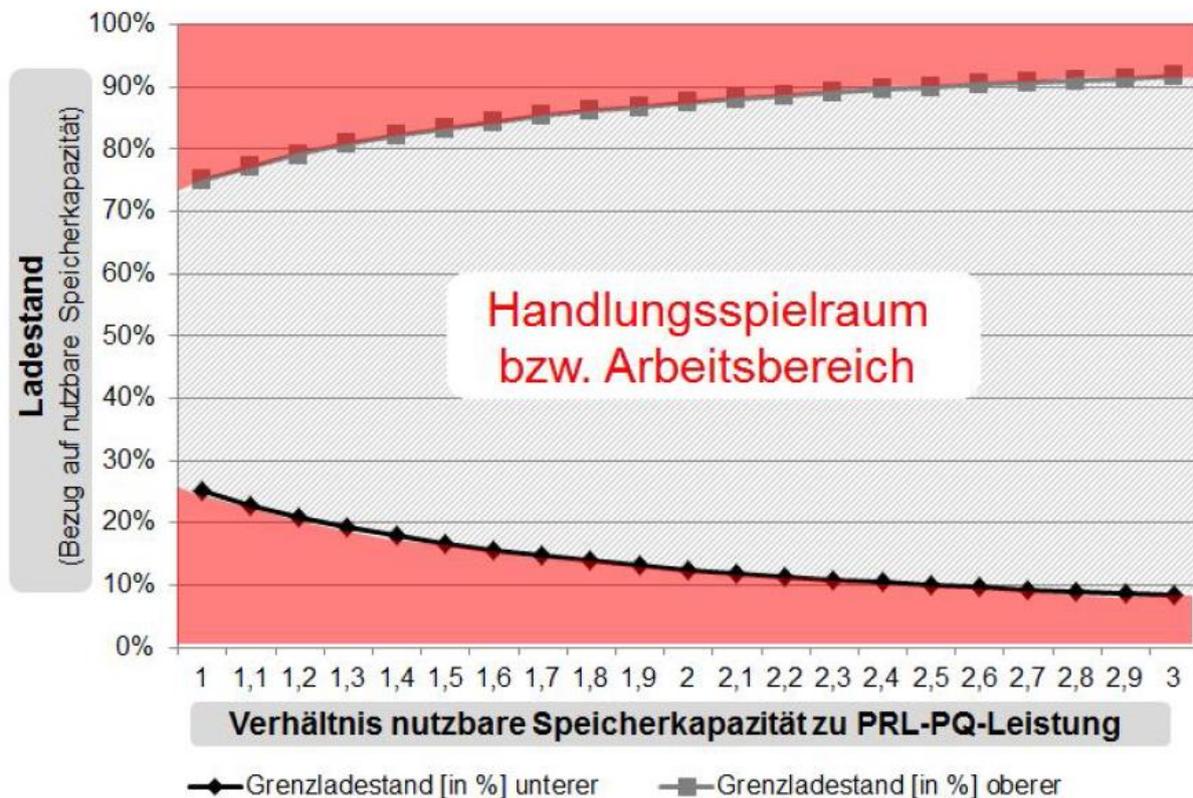


Abbildung 16: Vorgabe zum Arbeitsbereich in Abhängigkeit von Leistung zu Kapazität (Vorhaltezeit von 15 Minuten)¹⁰

Aus unserer Sicht bestehen vier Möglichkeiten zur Lösung des Problems:

1. 30-Minuten-Regel wird nicht eingeführt
2. Erweiterung der Kapazität des bestehenden Speichers um 1,25 MWh (Verhältnis von 1:1,25)
3. Weiterbetrieb des bestehenden Speichers mit 4 MW (Verhältnis von 1:1,2)
4. Klage.

Zu 1. 30-Minuten-Regel wird nicht eingeführt:

Im Oktober wurde gemeldet, dass die EU-Kommission den Network Code on Load Frequency Control & Reserves (NC LFCR), der zukünftig die Vorhaltung von Reserveenergie und den Systembetrieb der Stromnetze regelt und im November veröffentlicht werden soll, in entscheidenden Punkten abgeändert hat. Im Mittelpunkt steht dabei, dass die ursprünglich vorgesehenen 30 Minuten als zeitliches Kriterium der Leistungserbringung speziell für Batteriespeicher zugunsten einer einheitlichen 15 Minuten-Regel ersetzt werden. Sollte sich dies bewahrheiten, müssten die deutschen ÜNB die europäischen Vorgaben übernehmen, und

¹⁰ Deutsche ÜNB 2015

eine Präqualifizierung mit 5MW wäre auch unter den aktuellen baulichen Bedingungen des Batteriespeichers möglich.

Zu 2. Erweiterung der Kapazität des bestehenden Speichers um 1,25 MWh:

Ziel wäre in diesem Fall die Präqualifikation mit 5MW bei einer installierten Kapazität von 6,25MWh, also im Verhältnis 1:1,25. Die Erweiterung des Speichers würde einen Zuwachs von 20 Batterieracks (à 63kWh) bedeuten. Der nötige Platz dafür wäre vorhanden. Ursprünglich war dieser jedoch für Samsung SDI reserviert, um bei Kapazitätsabfall der ursprünglich installierten Batterien die garantierte PRL zu gewährleisten. Die Zusatzinvestition würde sich auf ca. 600T€ belaufen.

Zu 3. Weiterbetrieb des bestehenden Speichers mit 4 MW:

Der Betrieb mit 4 MW würde auf Dauer zu einer wirtschaftlichen Unterdeckung führen und wäre damit für die WEMAG ein Zuschussprojekt, das wirtschaftlich nicht darstellbar ist.

Zu 4. Klage:

Es besteht die Möglichkeit, auf der Vorhaltung von nur 15 Minuten zu bestehen, wie sie in der Errichtungsphase des BSKW vorausgesetzt wurde. Es liegt uns ein Schriftstück vor, in dem die Regelzonenbetreiber das Konzept vor Baubeginn bestätigt haben. Eine Klage gegen die Übertragungsnetzbetreiber sollte jedoch aus unserer Sicht der letzte Weg sein.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Für den Betrieb des Kraftwerkes wurden im ersten Betriebsjahr rund 210 MWh benötigt. Das entspricht einer mittleren Leistung von etwa 24 kW. Diese wird hauptsächlich für die Rechen-technik und die Klimatisierung aufgewendet.

Die Systembilanz setzt sich aus den eingespeisten abzüglich den rückgespeisten Energiemengen zusammen. Über das erste Jahr wurden 1.333 MWh aus dem Stromnetz bezogen und 784 MWh in dieses wieder eingespeist.¹¹

Die Verluste treten hauptsächlich als Leerlaufverluste bei den Transformatoren und Wechselrichtern auf und betragen im Mittel 63 kW. Der Wirkungsgrad ist im Wesentlichen abhängig von der Auslastung des Energiespeichers und beträgt bei Nennlast ca. 85%. Da der Speicher in der Primärregelenergie weit über 90 % des Jahres mit nicht einmal 10% der Leistung betrieben wird, ist der Einfluss der Leerlaufverluste signifikant. Die Tatsache, dass das BSKW in weit über 90% des Jahres mit nicht einmal 10% der Leistung betrieben wird, liegt insbesondere in den geringen Frequenzschwankungen, die das Stromnetz in Deutsch-

¹¹ Gesamtwirkungsgrad ca. 60%.

land aufweist. Da die Leistung im Verhältnis zur Frequenz (Differenz zu 50 Hertz) abgerufen wird, kommen nur sehr geringe Leistungswerte zustande. Im Gegenzug dazu muss aber jederzeit die am Markt angebotene und im Notfall abgerufene Leistung voll zur Verfügung stehen.

Hinzu kommen sechs Wochen Stillstand aufgrund von Wartungsarbeiten und die bisherige präqualifikationsbedingte Beschränkung der Vermarktung auf 4 MW.

3.3. Umweltbilanz

Es lassen sich in Zusammenhang mit dem Einsatz eines Batteriekraftwerks zur Erbringung von Primärregelleistung direkte und indirekte Einsparpotentiale zur Minderung klimaschädlicher CO₂-Emission identifizieren.

Direkte Umweltentlastung

Durch den Einsatz von Batterietechnologie zur Erbringung von Primärregelleistung lässt sich der Einsatz fossiler Brennstoffe (insbesondere Braun- und Steinkohle) für die Erbringung von Regelarbeit und somit die direkten CO₂-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger vermeiden. Unter der Annahme, dass bei einer Kapazitätsvorhaltung [C] von 5 MW für Primärregelleistung 2%¹² reelle Arbeitsleistung [AL] durch Braunkohlekraftwerke erbracht wird, ergibt sich bei einem CO₂-Äquivalent [CO₂-Äq] von 1,153 t CO₂/MWh_{el} und Kraftwerkslaufzeit [t_{JBL}] von 8.760 Stunden folgendes Einsparpotential:

$$\begin{aligned}\text{Pot_CO2_A} &= C * AL * \text{CO2_Äq} * T_JBL \\ &= 5 \text{ MW} * 2 \% * 1,153 \text{ t CO2/MWh} * 8760 \text{ h/a} \\ &= \mathbf{1.010 \text{ t CO2/a}}\end{aligned}$$

Indirekte Umweltentlastung

Wegen der beschriebenen Must-Run-Problematik muss ein Braunkohleblock erfahrungsgemäß bei mindestens 60 % seiner Nennleistung [P_{Nenn}] im Grundlastbetrieb fahren. Aufgrund der Tatsache, dass diese Kraftwerke zum Erhalt der Netzstabilität am Netz gehalten und gleichzeitig erneuerbare Energien abgeregelt werden, ergeben sich erheblich Einsparpotentiale durch das Implementieren neuer technologischer Einheiten zur Erbringung von Primärregelleistung. Unter der Annahme, dass mittels eines Batteriekraftwerkes jährlich 2000 h¹³

¹² Das ist erfahrungsgemäß der Anteil der Leistung von Kohlekraftwerken, der für die PRL bereitgestellt werden kann.

¹³ 2000 h ergeben sich aus der Annahme, dass im Durchschnitt der nächsten 20 Jahre in 2000 Betriebsstunden im Jahr (knapp ein Viertel des Jahres) die Erzeugung aus nicht-primärregelfähigen Erzeugungseinheiten wie

[t_{JBL}] Laufleistung von Braunkohleblöcken eingespart werden könnte, ergibt sich eine Minderung der CO₂-Emissionen von:

$$\begin{aligned} \text{Pot_CO2_B} &= P_{\text{Nenn}} * 60 \% * \text{CO2_Äq} * T_{\text{JBL}} \\ &= 500 \text{ MW}^{14} * 60 \% * 1,153 \text{ t CO2/MWh} * 2000 \text{ h/a} \\ &= \mathbf{691.800 \text{ t CO2/a}} \end{aligned}$$

3.4. Ergebnisse Präqualifikation

Bereits am 10. Juni 2014 konnte der sogenannte Doppelhöcker zur Erreichung der Präqualifikation erfolgreich abgefahren werden. In der Abbildung 17 links ist das Ergebnis der Präqualifikation des BSKWs als schematische Darstellung zu sehen (Abfahren des Doppelhöckers). In Abbildung 18 ist der tatsächliche Präqualifikationsnachweis des BSKW in Schwerin-Lankow dargestellt.

Zu erkennen ist die hohe Präzession und die kurze Reaktionszeit (<200ms), die im Ergebnis ein optimales Abfahren des Doppelhöckers mit dem Batteriespeicherkraftwerk erlauben. Zum Vergleich ist rechts das Abfahren des Doppelhöckers mit einem konventionellen Kraftwerk zu sehen.

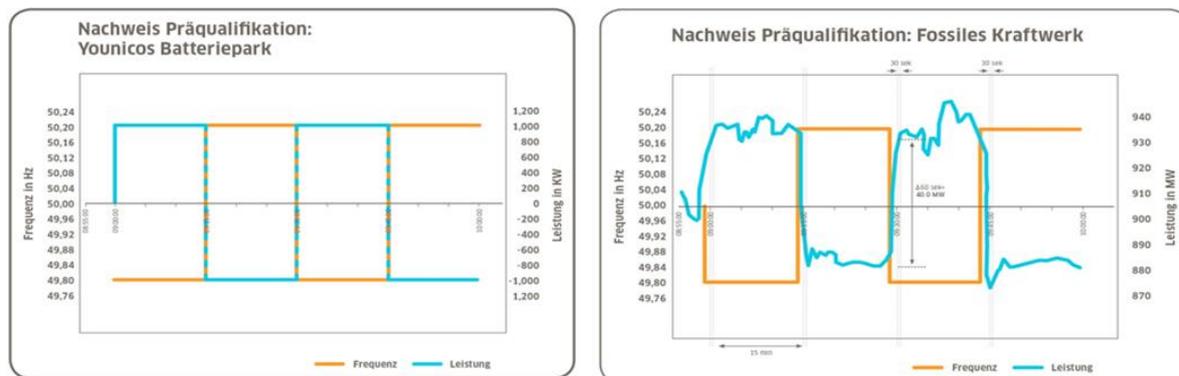


Abbildung 17: Schematische Gegenüberstellung Präqualifikation Batteriespeicherkraftwerk (links) und konventionelles Kraftwerk (rechts)¹⁵

Wind und PV die Nachfrage in Deutschland abdecken wird; in diesen Stunden wäre es volkswirtschaftlich effizient, thermische Kraftwerke auf ein absolutes Minimum herunterzufahren bzw. abzuschalten.

¹⁴ 500 MW ergeben sich, wenn man die installierten 5 MW Leistung durch vier Prozent teilt, um die Nennleistung eines konventionellen Kraftwerks zu ermitteln, das die gleiche PRL bereitstellen kann. Vier Prozent ergeben sich aus der Fähigkeit des BSKWs, die Arbeitsleistung synchron (nach oben und nach unten) anzubieten.

¹⁵ Quelle: Yunicos AG

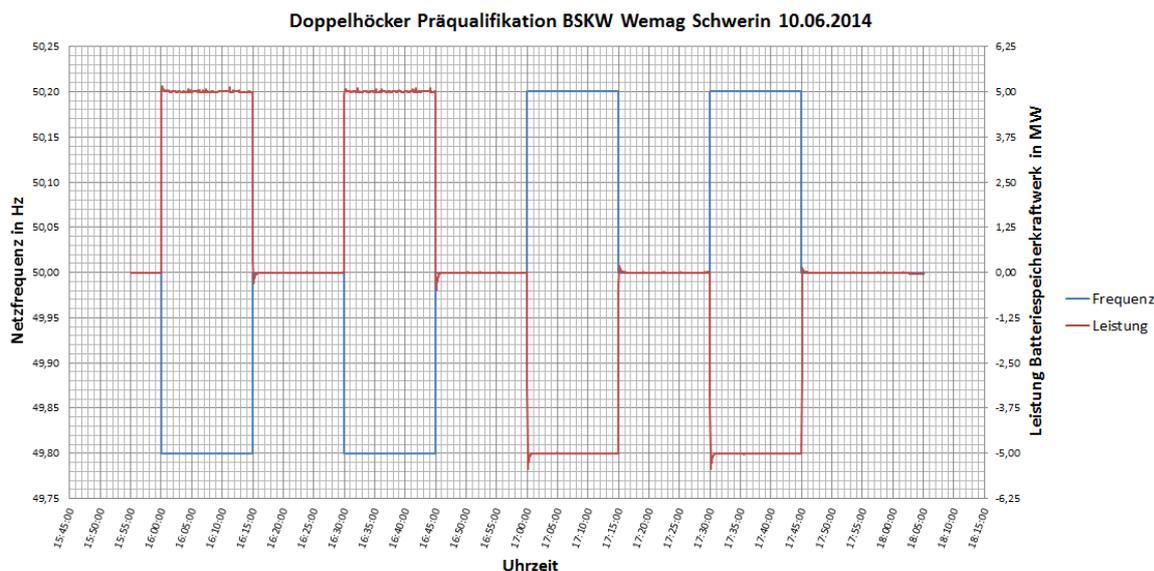


Abbildung 18: Präqualifikation tatsächlicher Verlauf¹⁶

Im September 2014 erhielt die WEMAG die Zusage zur Teilnahme am PRL-Markt mit 3 MW befristet für 3 Monate. Seit November 2014 wird der Speicher mit 4 MW vermarktet, jedoch mit sich immer wiederholender Befristung von drei Monaten (üblich ist ein Jahr). Eine Teilnahme mit 5 MW ist aus o.g. Gründen vorerst nicht absehbar.

Auszüge der protokollierten Messwerte vom Testbetrieb (4. September 2014, Dauer: 1 Stunde) und von der Präqualifikation (10. Juni 2014) sind in den Anlagen 2 und 3 diesem Bericht beigefügt.

3.5. Vermarktung

Seit der feierlichen Inbetriebnahme des Batteriespeichers wird dieser erfolgreich vermarktet (Vermarktungsbeginn: 22.09.2014). Jedes abgegebene Angebot bekam über die Internetplattform *regelleistung.net* den Zuschlag. Die WEMAG verfolgt eine konservative Gebotsstrategie. Somit können möglichst viele Zuschläge erreicht und Leerlaufzeiten des Speichers vermieden werden. In Abbildung 19 ist der Gebotsverlauf dargestellt.

Im ersten Betriebsjahr wurden der Betrieb und die Vermarktung durch Wartungen in den Zeiträumen

vom 13.10.2014 – 02.11.2014 (3 Wochen)

vom 16.03.2015 – 29.03.2015 (2 Wochen)

vom 01.06.2015 – 07.06.2015 (1 Woche)

unterbrochen. Alle Wartungen waren planmäßig. Verzögerungen traten keine auf.

¹⁶ Quelle: WEMAG AG

Seit dem 03.11.2014 werden 4 MW anstatt der bis dahin präqualifizierten 3 MW vermarktet.

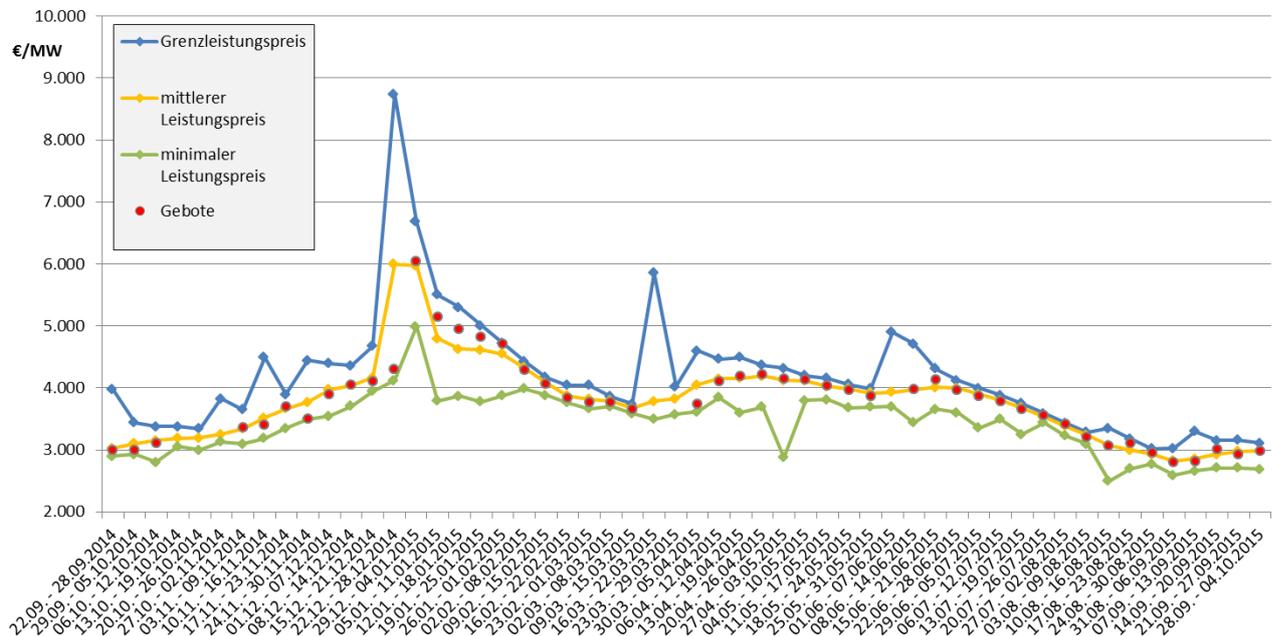


Abbildung 19: Gebotsverlauf 1. Betriebsjahr¹⁷

Um die Speicherverluste auszugleichen und den SOC im Band zwischen 30 und 70 % zu halten, gibt es einen Handelsvertrag mit dem Energiehändler DANSKE. Mit einem Vorlauf von 30 Minuten sendet der Speicher bei möglichem Überschreiten der SOC-Grenze automatisch die Marktorder zum Kauf oder Verkauf von 1 MW für jeweils 15 Minuten. Dieses Verfahren funktioniert ohne Probleme, auch für mehrere Einheiten nacheinander. Pro Woche wurden vor dem Update der Steuerungssoftware drei bis fünf dieser Marktorder, nach dem Update nur noch ca. ein bis drei Marktorder versendet.

¹⁷ Quelle: WEMAG AG

3.6. Vergleich zu konventioneller Kraftwerkstechnik

Thermisches Kraftwerk	Batteriespeicherkraftwerk
<ul style="list-style-type: none"> • Thermische Kraftwerke sind relativ träge, wodurch die Regelung ungenau erfolgt. Dies kann dazu führen, dass, wenn schnelle Anpassungen notwendig sind, kurzfristig in die dem Bedarf entgegengesetzte Richtung geregelt wird. Der damit verbundene Regelfehler erhöht den Regelenergiebedarf • Die Erbringung von Primärregelleistung mit konventionellen Kraftwerken führt zu <ul style="list-style-type: none"> - sinkenden Wirkungsgraden, - höherem Brennstoffeinsatz, - höheren CO₂-Emissionen, - verkürzter Kraftwerkslebensdauer und - vermehrter ungeplanter technischer Nichtverfügbarkeit (Quelle: KEMA). • Um Primärregelleistung vorzuhalten, muss ein thermisches Kraftwerk mindestens mit seiner Mindestleistung am Netz sein, auch wenn dies dem Energiesystem schadet (beschriebene Must-Run-Problematik) 	<ul style="list-style-type: none"> • Batterien sind schneller und genauer bei der Erbringung von Regelarbeit. Da Batterien innerhalb von Millisekunden reagieren können, sind schnelle Anpassungen möglich. Dadurch wird die Regelung genauer und die Netzstabilität erhöht. • Erbringung von Primärregelleistung mit Batterien zeichnet sich aus durch: <ul style="list-style-type: none"> + hohe Effizienz, + keinen Brennstoffeinsatz, + keine Emissionen, + keine variablen Kosten. • 100% der verfügbaren Kapazität können in der Primärregelung eingesetzt werden, womit verhindert wird, dass der Regelenergiemarkt andere Bereiche des Energiesystems negativ beeinflusst.

Tabelle 1: Vergleich thermisches Kraftwerk und Batteriespeicherkraftwerk in der Primärregelung

4. Empfehlungen

4.1. Erfahrungen aus der Praxis

Seit der Inbetriebnahme hat der Batteriespeicher keine Ausfälle zu verzeichnen. Der Betrieb erfolgt automatisiert und autark. Bei Ereignissen erhält die Netzleitstelle der WEMAG alle relevanten Informationen. Die Netzleitstelle überwacht die Anlage 24 Stunden täglich, 7 Tage die Woche. Außerdem erhalten das Servicepersonal sowie alle Projektverantwortlichen automatisch eine E-Mail bei Störungen.

Die Zuverlässigkeit des Batteriespeichers wird in der Abbildung 20 deutlich. Seit der ersten Inbetriebnahme im September 2014 lieferte der Batteriespeicher, abgesehen von den terminierten Wartungsterminen, Primärregelleistung im normalen Betrieb. Das waren 7.752 Betriebsstunden im ersten Betriebsjahr, was einer Verfügbarkeit von 88,5% entspricht. Für das zweite Betriebsjahr ist eine Verfügbarkeit von >95% geplant.



Abbildung 20: Verfügbarkeit und Marktteilnahme¹⁸

Da die Primärregelleistung immer an einem Wochentag für den Zeitraum einer Woche ausgeschrieben wird, findet in der Abbildung 20 eine Unterscheidung zwischen „bid was accepted“ (Angebot wurde innerhalb der Auktionierung gewonnen) und „normal operation“ (Batteriespeicher lieferte über den Zeitraum der gesamten ausgeschriebenen Woche PRL) statt.

Eine wichtige Erfahrung aus der Praxis ist die Terminierung notwendiger Wartungsintervalle unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankungen der Primärregelleistungspreise. In Abbildung 21 ist zu erkennen, dass insbesondere in den Frühlings- und Herbstmonaten das Monatsmittel stets unterhalb der Werte der Sommer- und Wintermonate liegt.

¹⁸ Quelle: WEMAG AG

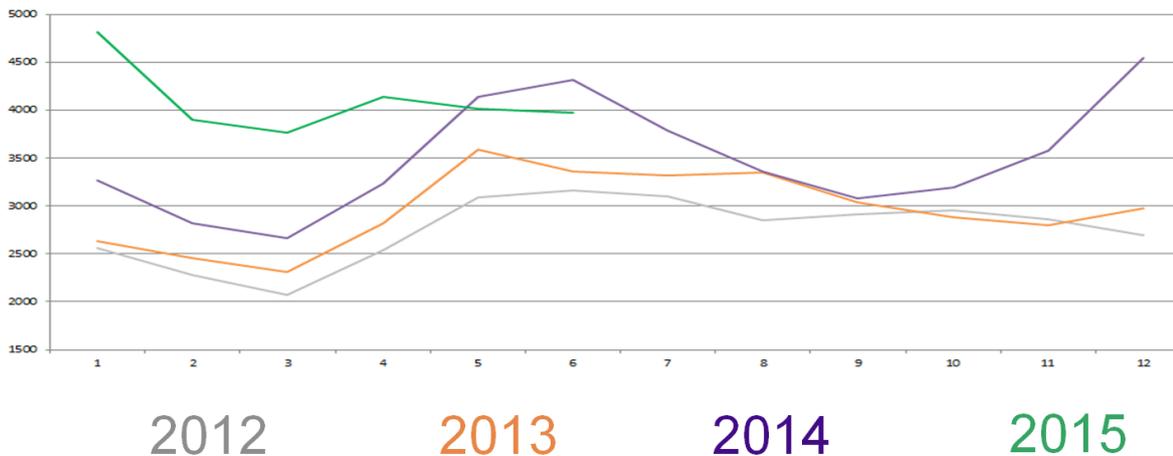


Abbildung 21: Entwicklung Preis Monatsmittel Primärregelleistungspreis¹⁹

4.2. Skalierbarkeit von 200kW (Yunicos-Labor) auf 5.000kW

Die Skalierbarkeit vom Laborsystem auf das Industrieniveau konnte mit diesem Projekt demonstriert werden.

4.3. Besondere Erfahrungen/Erkenntnisse/Optimierungsbedarf

Messgenauigkeit

Die Messgenauigkeit von Frequenz (+/-1mHz) und Leistung entspricht den Erwartungen. Die Messgenauigkeit wird in der Abbildung 22 deutlich.

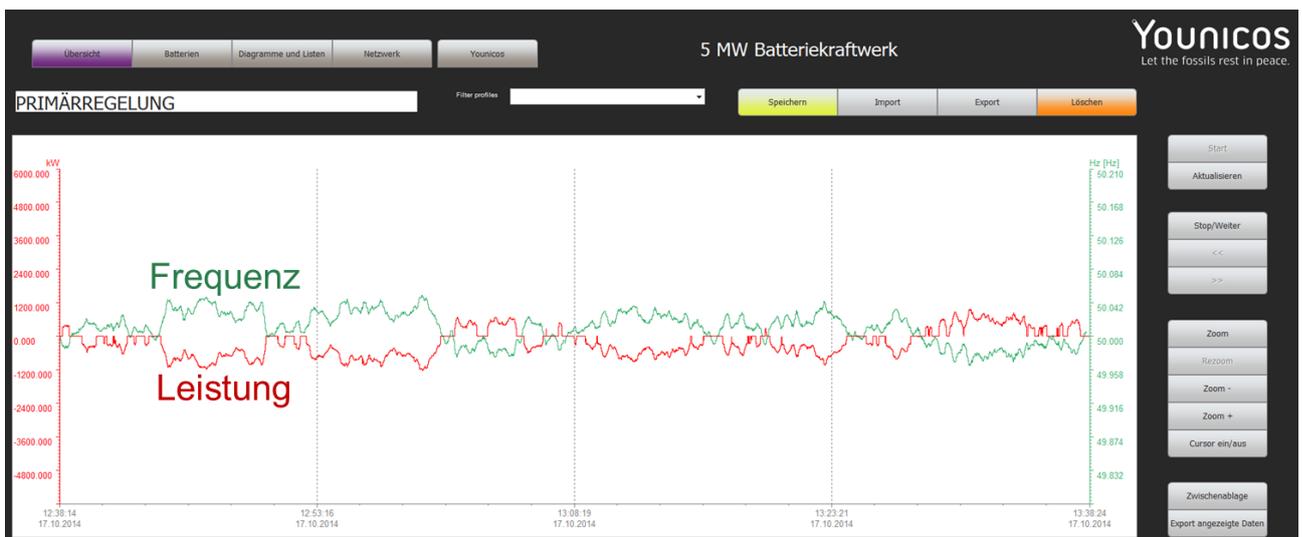


Abbildung 22: Screenshot und Darstellung der Primärregelung²⁰

¹⁹ Quelle: WEMAG AG

²⁰ Quelle: Yunicos AG

Verfügbarkeit der Batterien

Das Batteriesystem war über den gesamten Zeitraum verfügbar. Die benötigte Leistung konnte jederzeit zur Verfügung gestellt werden.

Regelalgorithmus

Der Regelalgorithmus funktioniert entsprechend den Erwartungen und konnte weiter optimiert werden.

Einhaltung Präqualifikationsbedingungen

Die Präqualifikationsbedingungen zum Zeitpunkt der Errichtung können weiterhin eingehalten werden. Bei Umsetzung der neuen Anforderungen (30-Minuten Regel, vgl. Abschnitt 3.1) können maximal 4 MW vermarktet werden.

4.4. Störungen und Probleme

Im bisherigen Betriebszeitraum sind keine Störungen und Probleme aufgetreten, die den Betriebsablauf beeinträchtigt haben.

Allerdings war im bisherigen Betriebszeitraum der Austausch kleinerer Komponenten notwendig. So wurde z.B. in KW40/2014 bei der Klimaanlage ein Drosselventil getauscht, die Klimaleistung wurde durch den redundanten Aufbau nicht beeinflusst.

Die in Abschnitt 2.2 beschriebene Überlastfähigkeit musste im bisherigen Betriebszeitraum nicht in Anspruch genommen werden.

4.5. Messwerte

Die Messwerte der tatsächlich durch den Übertragungsnetzbetreiber abgeforderten Energie sind in Abbildung 23 als Fläche oberhalb und unterhalb der X-Achse dargestellt. Zu erkennen ist, dass die bezogene Energiemenge (negative Regelenergie) größer ist als die gelieferte Energiemenge (positive Regelenergie), da ein Teil für den Eigenbedarf benötigt wird.

Darüber hinaus zeigt die Grafik die Verteilung der abgerufenen Leistungswerte. Der größte Teil der abgerufenen Leistungswerte befindet sich im Bereich zwischen 100 und 500 kW, nur in Ausnahmefällen werden Leistungswerte >1MW abgerufen.

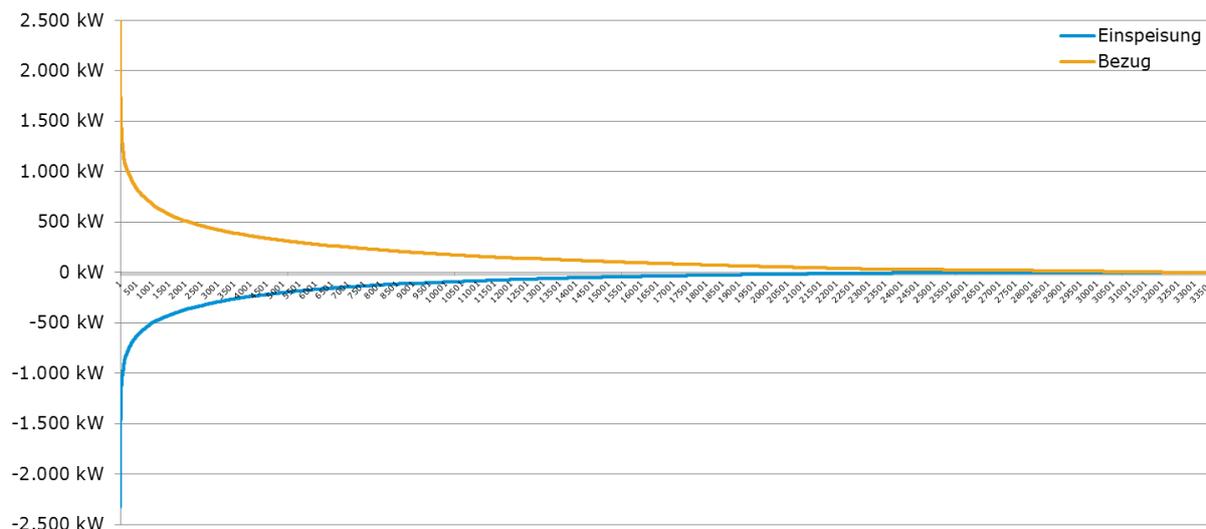


Abbildung 23: Tatsächlich abgeforderte Energie²¹

In der Abbildung 24 ist die tatsächlich abgeforderte Energie noch einmal exemplarisch im Monatsverlauf (hier: November 2014) dargestellt. Die Messdaten für einen Tag sind in der Anlage 4 zu finden. Auch hier ist zu erkennen, dass sich die abgeforderte Leistung hauptsächlich im Bereich zwischen 100 und 500kW befindet. Nur vereinzelt sind Ausschläge über 1MW hinaus zu erkennen.

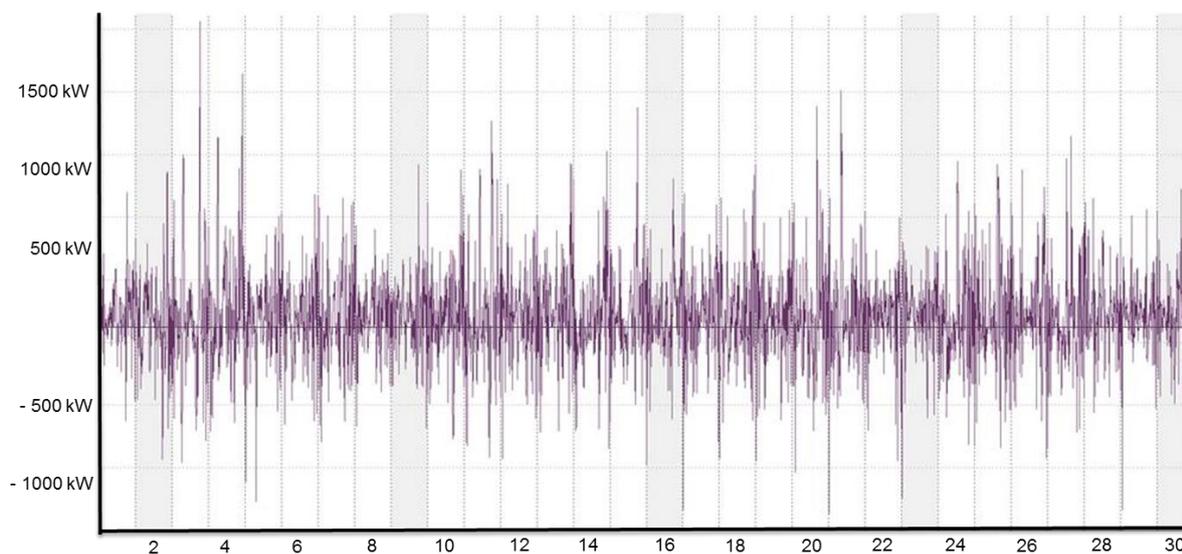


Abbildung 24: Monatsverlauf (November 2014) PRL-Betrieb²²

4.6. Weitere erbrachte Netzdienstleistungen

Aktuell erbringt das Batteriespeicherkraftwerk in Schwerin-Lankow Netzdienstleistungen im Bereich Primärregelleistung. Daneben bietet das BSKW auch die Möglichkeit im Bereich der

²¹ Quelle: WEMAG AG

²² Quelle: WEMAG AG

Blindleistungskompensation, der Spannungshaltung, der Kurzschlussleistung und der Schwarzstartfähigkeit eingesetzt zu werden. Um den Anwendungsbereich der Schwarzstartfähigkeit zu entwickeln und in der Praxis zu erproben, hat die WEMAG zusammen mit Partnern (Stadtwerke Schwerin, Universität Rostock, Younicos) einen Förderantrag beim Projektträger Jülich eingereicht. Inhalt des Förderantrags ist die Prüfung, wie ein Netzwiederaufbau mit Hilfe eines stationären Großbatteriespeichers unter Einbeziehung von EEG-Anlagen bzw. von nicht schwarzstartfähigen Gas-und-Dampf-(GuD)-Anlagen möglich ist. Mit Beginn des Förderprojekts wird im Dezember 2015 gerechnet.

4.7. Auswertung, inwieweit andere Must-Run Kapazitäten ersetzt werden können

Für eine Auswertung, inwieweit andere Must-Run-Kapazitäten durch Batteriespeicherkraftwerke ersetzt werden können, wird auf eine Studie des Forschungszentrums Jülich (Institut für Energie- und Klimaforschung Systemforschung und Technologische Entwicklung) zusammen mit dem Projektpartner Younicos AG verwiesen (vgl. Anlage 5).

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.1 Investition

Die geplanten Investitionskosten von 6.600 TEUR wurden mit 40 TEUR nur in geringem Maße überschritten. Diese Mehrinvestitionen setzten sich zum einem aus 31 TEUR geringeren Kosten für den Netzanschluss und zum anderen 71 TEUR höheren Investitionen für das Batteriekraftwerk zusammen. Für den Netzanschluss konnte die vorhandene Schutztechnik der Zellen im Umspannwerk ohne Einschränkungen genutzt werden, wodurch die aus Erfahrungswerten geplanten Kosten unterschritten wurden.

Teilvorhaben	Geplante Investition	Tatsächliche Investition	Differenz
Batteriekraftwerk	6.500 TEUR	6.571 TEUR	71 TEUR
Netzanschluss	100 TEUR	69 TEUR	- 31 TEUR
Gesamt- ausgaben	6.600 TEUR	6.640 TEUR	40 TEUR

Tabelle 2: Investitionsübersicht

5.2 Betriebskosten

Die Aufwendungen für den Betrieb des Batteriekraftwerkes sind in der Tabelle 3 für das Jahr 2015 dargestellt und belaufen sich auf etwa 116 TEUR. Für die folgenden Betriebsjahre wird eine jährliche Teuerungsrate von 1,5 % angenommen.

Betriebskosten	2015
Anlagenkosten	
Software O&M Rahmenvertrag Younicos	
Wartungskosten Schaltanlagen / Transformatoren	
Kosten Messbetrieb / Netzleitstelle	
Gebäudekosten	
Brandmelde- und Gaslöschtechnik	
Klimaanlage	
Rauch- und Wärmeabzug	
Sicherheitsbeleuchtung	
USV-Anlage	
EMZ	
Feuerlöscher	
Gebäude elektrisch (GHV, NSHV) & Freifläche	
kaufmännische Kosten	
Energiehandel Auktionierung, Bilanzierung	
Energiehandel Marktanbindung	
Energiehandel Kosten Ausgleichsenergie	
Stromsteuer Eigenbedarf	
Versicherung: Betriebsausfall	
Versicherung: Maschinenversicherung	
Versicherung: Gebäude	
Summe	116.370 EUR

Tabelle 3: Betriebsaufwendungen 2015

5.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt mittels des Verfahrens des Internen Zinsfußes (IRR), welches eine dynamische Investitionsmethode darstellt. Dabei wird derjenige Zinssatz gesucht, bei dem der Kapitalwert der Investition gleich Null ist.

Die detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung des Batteriekraftwerkes ist in der Anlage 6 dargestellt. Für die Berechnung wurden die o.g. Betriebsaufwendungen, die Abschreibungen, die Finanzierungskosten und die Erlöse gegenübergestellt. Bei den Erlösen wurden 48 Gebote pro Jahr ab 2016 sowie die Präqualifikation der vollen Leistung von 5MW angenommen. Die Gebotspreise pro MW sinken hierbei von 3.800 EUR (2015) jährlich um 100 EUR auf 2.700 EUR (2026). Bei den Abschreibungen wurde eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angesetzt.

Der IRR wird mit dem iterativen Näherungsverfahren ermittelt, wofür der Free Cash Flow (FCF) benötigt wird. In MS Excel wird dazu die Funktion „IKV“ verwendet. Aus der in der Anlage befindlichen Wirtschaftlichkeitsberechnung ist ersichtlich, dass der IRR (vor Finanzierung) 3,0 % beträgt und die Eigenkapitalrendite bei 7 % liegt.

Das in Schwerin-Lankow umgesetzte Gebäudedesign ist grundsätzlich auch auf andere Standorte übertragbar. Es besteht sogar die Möglichkeit, das Gebäudedesign weiterzuentwickeln, um das BSKW z.B. an Standorten mit geringerer Platzverfügbarkeit umzusetzen. Bei einer möglichen Übertragbarkeit des Konzeptes aus Schwerin-Lankow sind allerdings die Weiterentwicklungen im Zusammenhang mit den verwendeten Komponenten zu beachten.

Bei der Abschätzung der Kosten- und Ertragssituation für mögliche Folgeanlagen sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen, die Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung haben.

An erster Stelle sei auf der Kostenseite die Entwicklung der Batteriepreise genannt. Hier wird von einer zukünftigen Kostensenkung ausgegangen, die sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit von BSKWs auswirken würde.

Auf der Ertragsseite spielt die Entwicklung der PRL-Preise eine große Rolle. Hier geht die WEMAG bis 2020 von leicht steigenden Preisen und anschließend von leicht fallenden Preisen aus. Insgesamt erwartet die WEMAG für die kommenden 20 Jahre einen durchschnittlichen PRL-Leistungspreis von 3.500€/MW.

6. Sonstiges

Seit der Inbetriebnahme ist das Interesse an der Besichtigung des Batteriespeichers anhaltend groß. Die WEMAG hat bis heute mehr als 90 Besichtigungen für diverse Gemeinden, Unternehmen, Verbände (u.a. VKU, VSHEW, BDEW) und internationale Delegationen (u.a. aus Finnland, Norwegen, Japan, den USA, der Türkei und China) durchgeführt. Tabelle 4 gibt die Besucherstatistik wieder.

Anzahl der Besuche		Anzahl Besucher
Deutschland	68	745
Dänemark	2	247
Finnland	2	
China	4	
UK	3	
Polen	2	
Norwegen	1	
Belgien	1	
Japan	3	
Russland	2	
Türkei	1	
USA	2	
insgesamt	91	

Tabelle 4: Besucherstatistik

Neben den regelmäßigen Führungen und den Feierlichkeiten zur Grundsteinlegung und Eröffnung des Batteriespeichers informiert die WEMAG in regelmäßigen Abständen über Entwicklungen und Ergebnisse des Batteriespeichers auf der eigenen Internetseite²³ und im WEMAG-Blog²⁴. Darüber hinaus berichten zahlreiche Medien (z.B. FAZ²⁵, PV Magazin Deutschland²⁶, NDR²⁷) in regelmäßigen Abständen über das BSKW in Schwerin-Lankow.

²³ <http://www.wemag.com/>, Abrufdatum: 02.12.2015

²⁴ <https://www.wemagblog.com/>, Abrufdatum: 02.12.2015

²⁵ <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/sigmar-gabriel-eroeffnet-batterie-speicher-in-schwerin-13156226.html>, Abrufdatum: 02.12.2015

²⁶ http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/wemag-erffnet-batterie-kraftwerk-in-schwerin_100016577/, Abrufdatum: 02.12.2015

Des Weiteren finden monatlich 3-8 Veranstaltungen statt, auf denen wir über das Projekt und den laufenden Betrieb berichten.

²⁷ <http://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Die-Super-Batterie-laeuft-und-laeuft-und-energiespeicher116.html>, Abrufdatum: 02.12.2015