

Einsatz eines sektorkoppelnden Hybridspeichers zur Erbringung von Regelleistung

Formatiert: Block

**Christian Alács*, Jürgen Marchgraber*, Elmira Torabi*, Georg Lettner*,
Wolfgang Gawlik*, Christian Messner†, Günter Wailzer‡**

*TU Wien Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Gußhausstraße 25 E370-1,
{alacs, marchgraber, torabi, lettner, gawlik}@ea.tuwien.ac.at,
<https://www.ea.tuwien.ac.at/home/>

†AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Giefinggasse 2, 1210 Wien,
christian.messner@ait.ac.at, <https://www.ait.ac.at/>

‡ EVN Wärmekraftwerke GmbH, EVN Platz, 2344 Maria Enzersdorf,
guenter.wailzer@evn.at, <https://www.evn.at/>

Kurzfassung: Im vorliegenden Beitrag wird ein in Planung befindliches System eines sektorkoppelnden Hybridspeichers, bestehend aus einem thermischen- bzw. einem batterieelektrischen Energiespeicher, vorgestellt. Es wird auf die Dimensionierung des Energieinhalts und des Leistungsvermögens unter Berücksichtigung relevanter regulatorischer Rahmenbedingungen eingegangen. Hierfür werden mehrere Zeitreihen-Simulationen durchgeführt. Dabei werden Investitionskosten, erzielbare Erlöse, sowie arbeitsabhängige Steuern und Abgaben auf Nachladekosten berücksichtigt, welche in den Simulationsergebnissen für unterschiedliche Energieinhalte schlussendlich zu einem optimalen Energieinhalt führen. Neben der Betrachtung einer optimalen Dimensionierung, wird auch auf mögliche Ansätze für eine Optimierung des Betriebs des Hybridspeichers auf Basis von Wärmeprognozen eingegangen.

Keywords: Hybridspeicher, Batterie-Energiespeichersystem, Regelleistung

1 Einleitung

Der Einsatz von Batterie-Energiespeichersystemen (BESS) zur Erbringung von Primärregelleistung hat insbesondere in Deutschland in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen [1]. Auch in Österreich sind in den letzten Jahren einige solcher Anlagen in Betrieb genommen worden [2,3]. Aufgrund der steigenden Anzahl von Teilnehmern am Markt für Primärregelleistung, engl. Frequency Containment Reserve (FCR), konnte in den letzten Jahren jedoch ein Abwärtstrend der erzielbaren Erlöse beobachtet werden [4]. Trotz sinkender Preise für Li-Ionen Batteriezellen, welche heute überwiegend in BESS eingesetzt werden, ist die Wirtschaftlichkeit von neuen Anlagen dadurch gefährdet. Die Investitionskosten für BESS sind insbesondere durch die strengen regulatorischen Rahmenbedingungen [5,6], welche für speicherbegrenzte Anlagen zur Teilnahme am Markt für Primärregelleistung herrschen, definiert. Eine Kopplung eines BESS mit einem thermischen Energiespeichersystem (TESS), welches durch eine Power-to-Heat Anlage gespeist wird, in Form eines hybriden Energiespeichersystems (HESS) bietet die Möglichkeit die Investitionskosten des BESS zu reduzieren und gleichzeitig sämtliche regulatorische Rahmenbedingungen einhalten zu können. Solch ein HESS wurde in jüngster Vergangenheit

bereits in Deutschland in Betrieb genommen [7]. Im Projekt SEKOHS Theiß (Sektorkoppelnder Hybridspeicher Theiß), welches sich aus einem Demonstrationsprojekt und einem zugehörigen Forschungsprojekt zusammensetzt, wird erstmals solch ein HESS in Österreich in Betrieb genommen und wissenschaftlich untersucht.

1.1 Beschreibung des Hybridspeichersystems

Das geplante HESS im Projekt SEKOHS Theiß baut auf bestehende Komponenten im Kraftwerk Theiß auf. Dabei bildet der bestehende Fernwärmespeicher mit einem Volumen von 50.000 m³ das TESS (mit 1650 MWh), welches unter anderem (neben einer Ladung aus dem laufenden GuD-Betrieb, im Stillstandsbetrieb aus einem Gasheizkessel oder mit einer neuen Biomasse-KWK-Anlage) mit einer bestehenden Power-to-Heat Anlage mit einer Leistung von bis zu 5 MW beladen werden kann. Das TESS wird mit einem neu anzuschaffenden BESS gekoppelt, welche zusammen jenes HESS bilden, mit welchem die Teilnahme am Primär- sowie am Sekundärregelleistungsmarkt mit einer Leistung von bis zu 5 MW geplant ist. Neben dem BESS wird eine Photovoltaik (PV-) Anlage mit einer Leistung von 3,43 MWp neu errichtet, welche im Idealfall zur (Nach-)ladung des HESS eingesetzt werden kann. Sämtliche Komponenten sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Im Forschungsprojekt werden neben einer Prognose der PV-Leistung, die Betriebsweise des HESS, die Dimensionierung des BESS auf Basis regulatorischer Rahmenbedingungen, unterschiedliche Use Cases zum Einsatz des HESS, und eine Optimierung der Fahrweise des Fernwärmespeichers im Fernwärmenetz betrachtet.

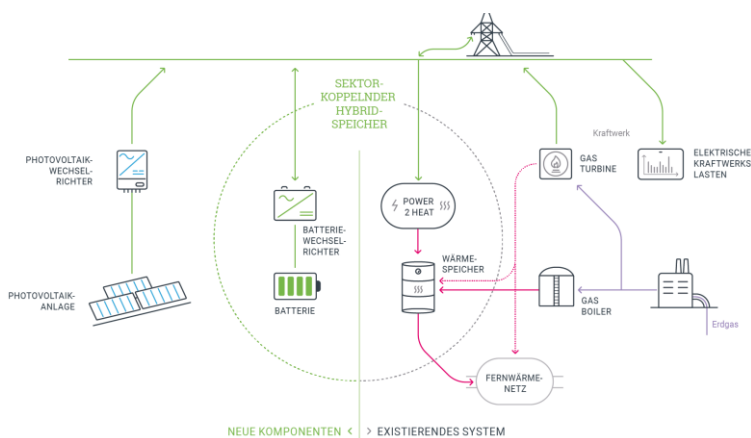


Abbildung 1-1: Blockschaltbild des sektorkoppelnden Hybridspeichers

1.2 Methodik

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich insbesondere auf die Dimensionierung des BESS und die geplante Herangehensweise bei der Optimierung des Fernwärmespeichers. Zur Dimensionierung des BESS sind insbesondere die regulatorischen Rahmenbedingungen auf ENTSO-E Ebene [5,6] ausschlaggebend, welche derzeit teilweise noch in Diskussion sind. Dazu wird im vorliegenden Beitrag ein aktueller Stand zusammengefasst und auf die Ergebnisse einer optimalen Dimensionierung des BESS eingegangen. Aufgrund des

begrenzten Energieinhalts des BESS ist ein geeignetes Lademanagement, dessen Umsetzung ebenfalls durch regulatorische Rahmenbedingungen eingeschränkt ist, unumgänglich. Im vorliegenden Beitrag werden neben einer Umsetzung solch eines Lademanagements die Besonderheiten einer Präqualifikation solch eines HESS zusammengefasst.

Darüber hinaus werden im vorliegenden Beitrag für die geplante Optimierung der Fahrweise des Fernwärmespeichers die angedachten Use Cases beschrieben und auf die Herangehensweise bei der Optimierung dieser Use Cases eingegangen.

2 Dimensionierung des Hybridspeichers

Die Erbringung von Primärregelleistung wird das Hauptanwendungsfeld des HESS darstellen. Die geplante Höhe an Primärregelleistung, welche vom HESS am Markt für Primärregelleistung angeboten werden soll, beträgt bis zu 5 MW. Dieser Betrag ist auf Basis des bestehenden Energiewandlers im Kraftwerk Theiß festgelegt, welcher in der Lage ist eine maximale Leistung von 5 MW zu beziehen. Auf dieser Basis muss für das BESS eine Dimensionierung hinsichtlich Leistungsvermögen und Energieinhalt vorgenommen werden.

Neben den regulatorischen Rahmenbedingungen auf ENTSO-E Ebene [5,6] müssen die regulatorischen Anforderungen gemäß TOR Erzeuger [10] zur Dimensionierung des BESS berücksichtigt werden.

2.1 Regulatorische Rahmenbedingungen

Neben den generellen Präqualifikationsbedingungen zur Erbringung von PRL gemäß APG [8], bestehen Anforderungen, welche sich aus den Regularien auf europäischer Ebene in den „additional properties of FCR“ [6] im Rahmen der System Operation Guideline (SOGL) [5] ergeben. Diese Regularien unterliegen einem noch andauernden Konsultationsprozess, weshalb die derzeitige Fassung womöglich Änderungen unterliegt. Ein aktueller Stand der Diskussionen zu den Anforderungen wird in [9] beschrieben.

Auf Basis dieser Regularien kann eine Leistungsdimensionierung bzw. eine energetische Dimensionierung des BESS vorgenommen werden, wobei zur Leistungsdimensionierung zusätzlich die Vorgaben der TOR Erzeuger [10] berücksichtigt werden müssen. In den folgenden beiden Abschnitten wird auf die Leistungsdimensionierung und energetische Dimensionierung gesondert eingegangen.

2.1.1 Leistungsdimensionierung

Eine wesentliche Vorgabe zur Leistungsdimensionierung des HESS ergibt sich aus der Forderung zur 25 %igen Überdimensionierung (auf 125 % der vorgehaltenen Primärregelleistung, von stand-alone Systemen mit begrenztem Energieinhalt). Entsprechende weiterführende Erläuterungen zu diesen Anforderungen sind in im Anhang der „additional properties for FCR“ beschrieben und illustriert.

Die Notwendigkeit dieser Überdimensionierung ergibt sich aus der erforderlichen Implementierung eines Lademanagements. Die SOGL definiert den Normalbereich („normal state“) der Frequenz auf Basis von mehreren Fällen von kontinuierlichen Frequenzabweichungen über einen gewissen Zeitbereich. Treten diese

Frequenzabweichungen länger als die zugehörigen Zeitbereiche auf, so liegt ein Alarmzustand („alert state“) vor. Während des Normalzustands ist zu gewährleisten, dass durchgehend entsprechende Energiereserven für eine Vollaktivierung über eine Zeitdauer von derzeit 30 Minuten vorgehalten werden. Dadurch ist ein entsprechender Grenzfall für das Lademanagement während des Normalzustands definiert, welcher einer langandauernden Frequenzabweichung knapp innerhalb von ± 50 mHz entspricht. Die Leistung für das Lademanagement ist daher mit einem Viertel der angebotenen Primärregelleistung auszuführen. Da während eines Nachladevorgangs eine Vollaktivierung der Primärregelleistung eintreten kann, ergibt sich die Notwendigkeit der Überdimensionierung mit 125 % der vorgehaltenen Primärregelleistung, welche beispielsweise durch eine negative Vollaktivierung von FCR bei gleichzeitiger Nachladung des BESS verdeutlicht werden kann.

Aufgrund der sehr großen aufnehmbaren Energiemenge des TESS verglichen mit dem BESS kann dieser jedoch als nicht-speicherbegrenzte Anlage betrachtet werden. Die Anforderung zur 25 %igen Überdimensionierung der Leistung des BESS kann demnach grundsätzlich entfallen, sofern das Zusammenspiel zwischen TESS und BESS geeignet umgesetzt wird. Es kann argumentiert werden, dass die generell geforderte Leistungsüberdimensionierung von speicherbegrenzten Anlagen (hier der BESS) laut den „additional properties of FCR“ auf 125 % der angebotenen Primärregelleistung durch den TESS abgedeckt wird. Dies gilt, da in den relevanten Fällen die beiden Systeme additiv Leistung verarbeiten können und damit während dieser Situationen eine Leistung von 200 % der angebotenen Primärregelleistung verarbeitet werden kann. Beispielsweise müssen deshalb beim Anbieten einer Primärregelleistung von 5 MW durch das HESS sowohl das BESS als auch das TESS eine maximale Gesamtleistung von jeweils 5 MW verarbeiten können; das BESS dabei als Einspeiser und das TESS als Abnehmer von Leistung aus dem System.

Gemäß TOR Erzeuger Typ D [10] Abschnitt 5.3.3.1 müssen nichtsynchrone Stromerzeugungsanlagen in der Lage sein, einen $\cos\phi = 0,925$ (ind.) ... 0,9 (kap.) am Netzanschlusspunkt bereitstellen zu können. Diese Anforderung ist im Spannungsbereich zwischen (0,875 ... 1,1) p.u., bezogen auf die Betriebsspannung. Da diese Anforderung am Netzanschlusspunkt gewährleistet sein muss und damit allfällige Verluste bzw. Blindleistungsbedarfe der Verbindungsstrecke gedeckt werden müssen, ergibt sich die Notwendigkeit einer Überdimensionierung der Scheinleistung des BESS. Diese Überdimensionierung ergibt sich im konkreten Fall auf Basis einer Worst-Case Betrachtung eines übererregten Betriebs, bei minimaler Spannung und maximaler Wirkleistung des BESS bzw. HESS. Eine entsprechende Lastflussrechnung dieser Situation für die geplante Anlagenkonfiguration im Kraftwerk Theiß ist demnach für die Dimensionierung des BESS-Umrichters relevant.

Zusammenfassend ergibt sich eine nötige Leistungsdimensionierung des BESS in der Höhe von etwa 6 MVA.

2.1.2 Energetische Dimensionierung

Zur Dimensionierung des Energieinhalts des BESS ist das gemäß [5,8] geforderte 30-Minuten-Kriterium hauptausschlaggebend, welches gewährleistet, dass im Falle eines Vollabrufs von Primärregelleistung speicherbegrenzte Anlagen die angebotene Primärregelleistung für eine halbe Stunde kontinuierlich zur Verfügung stellen können. Neben diesem Kriterium sind jedoch noch weitere Anforderungen für die Dimensionierung relevant. In [6] wird dazu die

Berücksichtigung von Vorlaufzeiten des Lademanagements formuliert. Zudem muss ein ausreichender Handlungsspielraum des Ladezustands vorgesehen werden, sodass ein Nachlademanagement nicht ständig initiiert werden muss. Die Berücksichtigung der Degradation des BESS muss außerdem berücksichtigt werden, sodass über die gesamte Laufzeit die obigen Anforderungen erfüllt werden können. Die unterschiedlichen Anforderungen umfassen demnach:

- (a) das 30-Minuten-Kriterium,
- (b) die Berücksichtigung von Vorlaufzeiten des Lademanagements,
- (c) die Gewährleistung eines geeigneten Handlungsspielraums des Ladezustands und
- (d) die Berücksichtigung der Degradation des BESS.

Während die Anforderungen (a) und (b) auf Basis der angebotenen Primärregelleistung festgesetzt werden können und die Anforderung (d) auf Basis von Erfahrungswerten durch Altersdegradation gut abgeschätzt werden kann, ist die Auslegung eines geeigneten Handlungsspielraums in Anforderung (c) stark abhängig von den Kosten und erzielbaren Erlösen, weshalb die Größenordnung auf Basis von Simulationen in Abschnitt 2.2 bestimmt wird.

2.2 Simulationsbasierte Dimensionierung des Energieinhalts des BESS

Auf Basis der obigen Ausführungen wird mithilfe von Simulationen eine sinnvolle Abschätzung zur Dimensionierung des nutzbaren Energieinhalts getroffen. Der grundsätzliche Gedanke hinter der Simulation ist die simulationstechnische Abbildung der Speicherzustände der beiden Komponenten des HESS, also des BESS und des TESS, auf Basis von historischen Inputdaten (z.B. Frequenzzeitreihen), durch welche sämtliche, die Speicherzustände beeinflussenden, Komponenten und Funktionen vereinfacht abgebildet werden. Darauf aufbauend können die nötigen Investitionen den erzielbaren Einnahmen, unter Berücksichtigung unterschiedlicher globaler Betriebsstrategien, gegenübergestellt werden.

2.2.1 Technische Modellierung der Komponenten

Während das BESS mittels Batteriemodell abgebildet wird, wird für das TESS ein einfacher Integrator eingesetzt, um dessen Speicherzustand abzubilden. Folgende Eckpunkte werden in den Modellen berücksichtigt:

- Berücksichtigung der Verluste bei der Energieumwandlung im BESS/TESS über fixe Faktoren (z.B. 95 % für den BESS), jedoch keine explizite Berücksichtigung sonstiger Betriebsmittel (Trafos, Leitungen, etc.).
- Die Leistung des BESS wird auf 5 MW fixiert, der nutzbare Energieinhalt jedoch im Zuge der Simulationen variiert, mit dem Ziel die geeignetste Größenordnung des Energieinhalts zu identifizieren. Ausgangspunkt für den nutzbaren Energieinhalt sind die Vorgaben für die Präqualifikation zur Erbringung von FCR, worauf aufbauend der Energieinhalt in 100 kWh-Schritten erhöht wird (jeweils ein Simulationsdurchlauf), um dessen Einfluss auf die Investitionen bzw. Erlöse untersuchen zu können.
- Im Rahmen der Simulation wird die Altersdegradation der Batterie nicht berücksichtigt.
- Das Leistungsverhalten der Funktion FCR wird auf Basis der Inputdaten errechnet und berücksichtigt optional die Fähigkeit zur Aktivierung von Freiheitsgraden [11].

Unter technischen Betriebsstrategien wird im Folgenden verstanden, wie der Verbrauch bzw. die Erzeugung sämtlicher Komponenten der Anlage am HESS als Arbeitspunkte auf das BESS bzw. das TESS aufgeteilt werden. Im Folgenden werden einige Eckpunkte zusammengefasst:

- Das BESS bedient die Funktion FCR symmetrisch, solange dessen SoC kleiner als 100 % ist. Tritt dieser Fall ein, übernimmt das TESS die negative FCR Erbringung.
- Das Lademanagement setzt mit einer Leistung in der Höhe von einem Viertel der angebotenen Primärregelleistung dann ein, wenn eine entsprechende untere Grenze des Ladezustands gemäß den Anforderungen in [6] erreicht wird. Dabei wird eine Vorlaufzeit $T_{\text{vor}}=15$ Minuten angenommen.

2.2.2 Inputdaten

Es werden Inputdaten auf Basis des zweiten Halbjahrs des Jahres 2020 verwendet, da ab 01.07.2020 die Umstellung des Primärregelmarkts auf 4 h-Intervalle stattfand, was mit einigen Veränderungen des Preisverhaltens einherging. Die zeitliche Auflösung der Simulation beträgt 1 Sekunde. Sämtliche Inputdaten wurden, wo möglich, in derselben zeitlichen Auflösung erhoben. Folgend die Eckpunkte und Parameter der Simulationen und daran anschließender Untersuchungen:

- Verwendung von historischen Frequenzdaten zur Nachbildung des Primärregelungsverhaltens,
- Verwendung historischer Energiepreise am kontinuierlichen Intradaymarkt in Österreich zur Ermittlung der Kosten für die Nachladung während der Erbringung von Primärregelleistung. Dabei werden für die Untersuchungen die maximalen Preise verwendet,
- Einspeisetarif von Wärmeenergie in das Fernwärmenetz aus dem TESS (auf Basis der aufgenommenen FCR-Energie): 10 €/MWh,
- Projektlaufzeit: 10 Jahre,
- Zinssatz: 5 %,
- Investitionskosten für das BESS (inkl. Installation, Umrichter, etc.): 600 €/kWh,
- Berücksichtigung von arbeitsabhängigen Steuern und Abgaben für die Nachladeenergie unter Annahme eines Netzanschlusspunkts auf Netzebene 3,
- Sämtliche Freiheitsgrade gemäß [11] sind aktiviert.

2.2.3 Ergebnis zur simulationsbasierten Dimensionierung

Abbildung 2-1(a) zeigt den Einfluss auf die Kapitalwerte/Net Present Values (NPV) unter Berücksichtigung obiger Annahmen für unterschiedliche nutzbare Energieinhalte des BESS. Als Bezugswert wird ein Kapitalwert bei einem nutzbaren Energieinhalt von 3,3 MWh in der Höhe von circa 300 k€ herangezogen.

In Abbildung 2-1(b), welche die Zusammensetzung der Kapitalwerte darstellt, zeigt sich, dass für relativ kleine nutzbare Energieinhalte die Kosten für das Nachlademanagement derart ansteigen, dass die verringerten Investitionskosten durch kleinere Energieinhalte überstiegen werden. Bei relativ großen Energieinhalten sinken jedoch die Kosten für das Nachlademanagement, sodass die höheren Investitionskosten für größere Energieinhalte dominieren. Dadurch ergibt sich ein Optimum bzgl. des erreichbaren Kapitalwerts bei in etwa 3,5 MWh.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass den in Abbildung 2-1 gezeigten Kapitalwerten nur der nutzbare Energieinhalt zugrunde liegt. Dabei wird also nicht die in Abschnitt 2.1 erwähnte

alterungsbedingte Überdimensionierung berücksichtigt, welche die Kapitalwerte nochmals erheblich senkt. Zudem werden keine Wartungsintervalle berücksichtigt, welche die Kapitalwerte nochmals erheblich senken würden. Darüber hinaus werden lediglich arbeitsabhängige Steuern und Abgaben ausschließlich in Bezug auf die Nachladeenergie berücksichtigt. Da die Berücksichtigung derartiger Effekte jedoch in Abbildung 2-1 ausschließlich zu einer parallelen Verschiebung der dargestellten Kurve führen würde, werden lediglich die Differenzen in Bezug auf den Kapitalwert beim kleinsten untersuchten Energieinhalt dargestellt. Denn unabhängig vom tatsächlichen Absolutwert der Kapitalwerte ergäbe sich trotzdem ein Optimum in der dargestellten Kurve bei in etwa 3,5 MWh nutzbaren Energieinhalts.

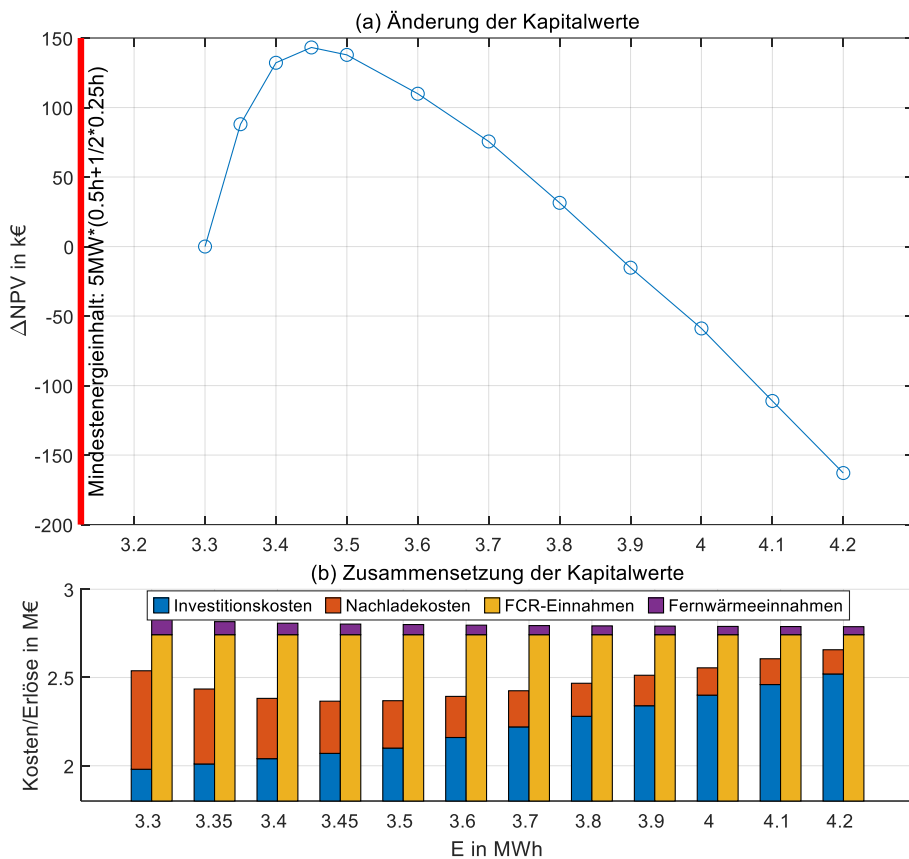


Abbildung 2-1: (a) Vergleich des Einflusses auf die Kapitalwerte/Net Present Values (NPV), (b) Zusammensetzung der Kapitalwerte; für Simulationsergebnisse bei unterschiedlichen nutzbaren Energieinhalten des BESS.

3 Optimierung des Betriebs des Hybridspeichers

Zusätzlich zur Dimensionierung des BESS soll auch eine Optimierung der Fahrweise des Hybridspeichers erfolgen. Dies ist notwendig, um die sich durch Errichtung eines TESS ergebenden Synergien effizient nutzen zu können und eine Einhaltung der verschiedenen

regulatorischen Vorgaben gewährleisten zu können. Hierfür werden in den folgenden Unterabschnitten zunächst die Use Cases für den HESS vorgestellt und anschließend verschiedene Aspekte sowie mögliche Ansätze für die Optimierung der Fahrweise des HESS beschrieben.

3.1 Use Cases

Der primäre Use Case des Fernwärmespeichers und somit auch des HESS ist es die bestehende Fernwärmeversorgung sicherzustellen. Hierfür muss der jeweilige Wärmebedarf bekannt sein und immer ein ausreichender Speicherstand des TESS gewährleistet werden, um diesen Wärmebedarf decken zu können. Um dies zu erreichen, muss für den HESS ein geeignetes Lademanagement implementiert werden. Dabei spielt sowohl für das Lademanagement als auch für die kurzfristige Optimierung insbesondere die Prognose des Wärmebedarfs eine wichtige Rolle. Auf diese Prognose und die entsprechenden Aspekte wird im nächsten Unterabschnitt näher eingegangen.

Einen weiteren Use Case stellt die Erbringung von Primärregelleistung dar, welcher neben der Fernwärmeversorgung, wie bereits zuvor beschrieben, das Hauptanwendungsfeld des HESS darstellt. Auch für diesen Use Case spielt ein geeignetes Lademanagement eine zentrale Rolle. Einerseits dient das Lademanagement in Verbindung mit der Wärmeprognose dazu eine Entscheidung für die Teilnahme am Primärregelmarkt zu treffen. Andererseits ist es notwendig, um das bereits erwähnte 30-Minuten-Kriterium einhalten zu können.

Zusätzlich ist ein weiterer Use Case für das HESS die Erbringung von Sekundärregelleistung. Insbesondere kann dies durch die Möglichkeit Sekundärregelleistung asymmetrisch anbieten zu können, dazu genutzt werden den Ladestand des HESS positiv zu beeinflussen.

3.2 Mögliche Ansätze zur Optimierung der Fahrweise des HESS

Wie bereits beschrieben, spielt die Wärmeprognose eine wichtige Rolle für eine allfällige Optimierung der Fahrweise, weswegen im Folgenden zunächst auf die Überlegungen zu solchen Prognosen in Verbindung mit einer kurzfristigen Optimierung eingegangen wird.

Für eine kurzfristige Optimierung wird versucht anhand einer Analyse des Wärmebedarfs und der Wetterdaten der vergangenen Jahre einen Algorithmus zu entwickeln, welcher zukünftige Wetterdaten auf einen zukünftigen Wärmebedarf abbilden kann. Mit Hilfe des Algorithmus werden mittels Wetterprognosen Wärmebedarfsprognosen für einen Zeitraum von wenigen Tagen bis höchstens ein bis zwei Wochen erstellt. Dabei dienen die einzelnen prognostizierten Wärmebedarfswerte für sich, aufgrund der Dimensionen des TESS, nicht als entscheidende Optimierungsgrundlage. Vielmehr ist die Energiemenge über einen gewissen Zeitraum relevant, sowie der sich so ergebende Ladestand des TESS. Dies wird verdeutlicht, wenn betrachtet wird, dass sich der Ladestand des TESS selbst mit einer Dauerleistung von 5 MW über 24 Stunden lediglich um etwa 7,3 % ändern kann. Entsprechend ist das eigentliche Ziel der Wärmebedarfsprognosen den Ladestand des TESS zu prognostizieren und diesen Wert dafür heranzuziehen, um zu entscheiden, wie der HESS eingesetzt werden soll. Ein Beispiel für solch eine Abschätzung wäre, in einem Zeitraum in welchem der TESS laut Prognose entladen wird, negative Sekundärregelleistung anzubieten, um den Speicher mittels E-Heater wieder zu laden und somit einen Ladestand zu erreichen bei welchem die notwendige Energie

entsprechend den Wärmebedarfsprognosen gewährleistet werden kann. Ein weiteres Beispiel wäre in einem Zeitraum in welchem der TESS laut Prognose vollgeladen wird, keine volle PRL anzubieten, da der E-Heater nicht in der Lage wäre den TESS zu beladen und das 30-Minuten-Kriterium womöglich nicht eingehalten werden könnte. Die Optimierungsentscheidungen bezüglich des Einsatzzwecks des TESS und somit auch des HESS sollten also nicht direkt anhand des prognostizierten Wärmebedarfs, sondern anhand des Ladestands vom Wärmespeicher getroffen werden.

3.2.1 Technische Modellierung der Komponenten

Bei der technischen Modellierung werden sowohl der TESS als auch der BESS entsprechend abgebildet. Im ersten Schritt der Optimierung werden dabei anhand der Ladestände des TESS und des BESS sowie der vorliegenden Wärmeprognosen Entscheidungen getroffen, wie der HESS eingesetzt werden soll. Im Weiteren wird schließlich entsprechend den bereits beschriebenen Betriebsstrategien entschieden, wie der jeweilige Verbrauch bzw. die Erzeugung für den ausgewählten Use Case als Arbeitspunkte auf den TESS und BESS aufgeteilt werden. Bei Erbringung von Primärregelleistung gelten schließlich bezüglich des Lademanagements des BESS noch die Überlegungen aus Unterabschnitt 2.2.1 zur Einhaltung des 30-Minuten-Kriteriums.

3.2.2 Inputdaten

Für die Wärmebedarfsprognose und somit auch das Lademanagement des TESS werden Inputdaten beginnend mit dem 01.01.2019 herangezogen. Die zeitliche Auflösung der Messdaten beträgt dabei 30 Minuten für die historischen Wetterdaten bzw. eine Stunde für die historischen Daten zum Wärmebedarf. Da die Wärmebedarfsdaten mit einer Auflösung von einer Stunde vorliegen und die einzelnen prognostizierten Wärmebedarfswerte aufgrund der Dimensionen des TESS nicht ausschlaggebend sind, werden die Simulationen mit einer Auflösung von 1 h durchgeführt. Für die Prognose werden hierbei neben der Temperatur noch der Luftdruck, die Uhrzeit und das Datum sowie historische Wärmebedarfsdaten herangezogen. Mittels dieser Prognosen wird die Energiemenge über mittlere Zeiträume von einigen Tagen bis zu ein bis zwei Wochen bestimmt und somit versucht den zukünftigen Ladestand des TESS zu prognostizieren. Dieser dient schließlich dazu den Einsatzzweck des HESS zu bestimmen, sowie die Arbeitspunkte zwischen TESS und BESS optimal aufzuteilen.

Für das Lademanagement des BESS sind die Wärmebedarfsprognosen, bis auf die möglicherweise geänderte Aufteilung der Arbeitspunkte, irrelevant und die jeweilige Strategie zum Lademanagement hängt lediglich vom aktuellen Einsatzzweck des HESS ab. Insbesondere soll das Lademanagement des BESS gewährleisten können, dass das HESS bei Erbringung von Primärregelleistung das 30-Minuten-Kriterium einhalten kann.

3.2.3 Erste Ergebnisse zur Untersuchung der Wärmeprognosen

Die ersten Ergebnisse zur Untersuchung der historischen Wetter- und Wärmebedarfsdaten zeigen, dass die einzelnen Daten stark korrelieren und somit eine Prognose des zukünftigen Wärmebedarfs mit den beschriebenen Inputdaten durchaus möglich ist. Die Korrelationsmatrix für das Jahr 2021 mit den Messdaten der Lufttemperatur beim Kraftwerk in Theiß (T_{KW}) und in St. Pölten (T_S), dem Luftdruck beim Kraftwerk (p_L) sowie dem Wärmebedarf von Krems (P_{Kr}) und Gedersdorf (P_{Ge}) sind in Abbildung 3-1 dargestellt.

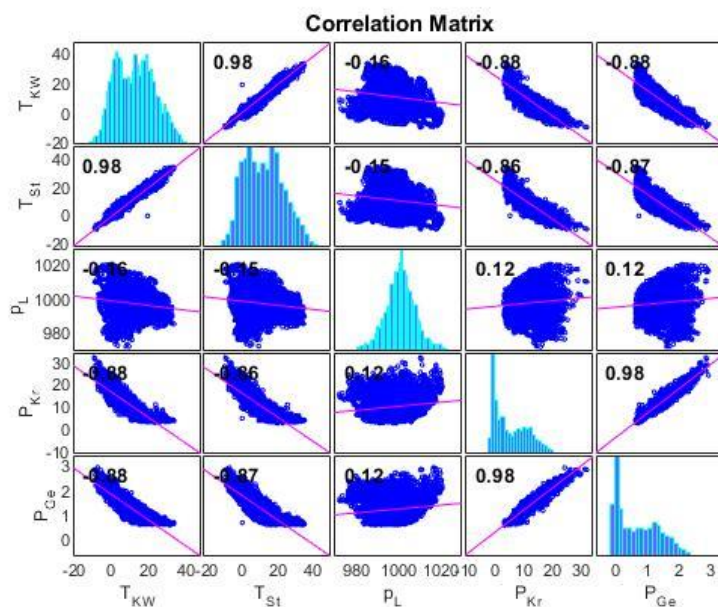


Abbildung 3-1: Korrelationsmatrix der Inputdaten für das Jahr 2021

Aus Abbildung 3-1 ist ersichtlich, dass die Temperatur indirekt mit dem Wärmebedarf korreliert und die Temperaturwerte in Theiß und St. Pölten bzw. die Wärmebedarfswerte in Krems und Gedersdorf erwartungsgemäß sehr stark korrelieren. Entsprechend bieten die Wetter- und insbesondere die Temperaturprognosen einen guten Ausgangspunkt für die Prognose des Wärmebedarfs. Für die Entwicklung eines geeigneten Algorithmus müssen jedoch noch zusätzliche Größen und Aspekte berücksichtigt werden, welche im Rahmen weiterer Untersuchungen im Laufe des Projekts analysiert werden sollen.



VORZEIGEREGION
ENERGIE

Das Projekt „SEKOHs Theiß“ wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen der FTI-Initiative „Vorzeigeregion Energie“ durchgeführt.

Referenzen

- [1] Figgner, Jan, et al. "The development of stationary battery storage systems in Germany—A market review." *Journal of energy storage* 29 (2020): 101153.
- [2] Verbund AG, „BlueBattery“, <https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/news-presse/presse/2020/09/17/blue-battery-eroeffnung> (Aufgerufen 26.11.2021).
- [3] J. Marchgraber, C. Alacs, G. Lettner, W. Gawlik, P. Jonke, M. Wurm, R. Lechner, R. Igelspacher, G. Wailzer, und W. Vitovec, "Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt BatterieSTABIL," in Proc. of the 16th Symposium Energieinnovation (EnInnov 2020), Graz, Austria, Feb. 12 – 14, 2020, pp. 1–13.

17. Symposium Energieinnovation, 16.-18.02.2022, Graz/Austria

- [4] Figgener, Jan, et al. "The development of stationary battery storage systems in Germany – status 2020." *Journal of Energy Storage* 33 (2021): 101982.
- [5] European Commission, "Commission regulation (EU) 2017/1485; establishing a guideline on electricity transmission system operation; System Operator guideline (SO GL)," Policy, Brussels, Belgium, 2017, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/1485/oj> (Aufgerufen 26.11.2021).
- [6] ENTSO-E, "All CE TSOs' proposal for additional properties of FCR in accordance with Article 154(2) of the Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operations," Policy, 2018, <https://bit.ly/3cTBP22> (Aufgerufen 26.11.2021).
- [7] Schlachter, Uli, et al. "Optimised capacity and operating strategy for providing frequency containment reserve with batteries and power-to-heat." *Journal of Energy Storage* 32 (2020): 101964.
- [8] Austrian Power Grid (APG), "Erläuterungen Regelreserven," Policy, Oct. 09, 2015, <https://www.apg.at/-/media/3F8C9277B7684F1FBFC1CFF6D933E1AF.pdf> (Aufgerufen 19.03.2019).
- [9] Regulatory Authorities of Continental Europe, "Position Paper of the regulatory authorities of Continental Europe synchronous area on the additional properties of FCR in accordance with Article 154(2) of the Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation", Position Paper, 21.01.2021, <https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Decisions/B2133Annex6.pdf> (Aufgerufen 04.01.2022)
- [10] E-Control, "Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen: TOR Erzeuger: Anschluss und Parallelbetrieb von Stromerzeugungsanlagen des Typs D," Policy, 2019, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/marktregeln/tor> (Aufgerufen 08.02.2022).
- [11] 50Hertz, Amprion, Tennet, and Transnet BW, "Eckpunkte und Freiheitsgrade bei Erbringung von Primärregelleistung," Policy, 2014, <https://www.regelleistung.net/ext/download/eckpunktePRL> (Aufgerufen 04.01.2022);