

# SPEICHEREINSATZ ZUR INTEGRATION ERNEUERBARER ENERGIEN UND ZUR UNTERSTÜTZUNG DES VERTEILNETZES

Thomas Nacht, Manfred Tragner

4ward Energy Research GmbH, Zweigstelle Graz: Reininghausstraße 13a, 8020 Graz,  
+43 664 88500336, [thomas.nacht@4wardenergy.at](mailto:thomas.nacht@4wardenergy.at), <http://www.4wardenergy.at/>

4ward Energy Research GmbH, Tannengasse 18/6, 1150 Wien,  
+43 664 88500337, [manfred.tragner@4wardenergy.at](mailto:manfred.tragner@4wardenergy.at), <http://www.4wardenergy.at/>

## **Kurzfassung:**

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Auswirkungen durch den Einsatz eines dezentralen Speichers im Verteilnetz einer Stadt untersucht. Es werden Speicher unterschiedlicher Kapazität und installierter Leistung hinsichtlich ihres Beitrags zur Integration erneuerbarer Erzeugung, ihrer Auslastung sowie ihrer Auswirkung auf die Vergleichmäßigung des gesamten Lastprofils der Verbraucher im betrachteten Netzgebiet miteinander verglichen. Als Speichersysteme werden Batteriegroßspeicher der Marke Durathon sowie die Batterie-wechselstationen der Firma GreenWay E-Mobility GmbH herangezogen. Auf Basis dieses Vergleichs wird es möglich, unterschiedliche Standorte für die Speicher bezüglich der Auswirkungen auf die Betriebsparameter (Leitungsauslastung und Knotenspannungshöhen) des Verteilnetzes zu bewerten.

Der Speichereinsatz basiert auf der Überlegung durch die Vergleichmäßigung des Lastprofils im Einsatzgebiet die gewünschten Effekte zu erzielen. Hohe Lastspitzen werden gekappt und Überschüsse an erneuerbarer Energie abgefangen. Durch dieses Betriebsverhalten soll der Speicher zusätzlich den Knotenspannungsanhebungen durch die dezentralen erneuerbaren Erzeuger entgegenwirken und allgemein eine netzentlastende Rolle einnehmen.

Zur Ermittlung der gesuchten Ergebnisse wird eine detaillierte Analyse des betreffenden Netzgebietes durchgeführt, um die Informationen der Erzeugungs- und Verbrauchscharakteristika zu ermitteln, anhand derer die Bewertung der Speicher erfolgt. Aufbauend auf den so gewonnenen Erkenntnissen werden die Auswirkungen auf das Netz anhand von Lastflussberechnungen ermittelt. Neben den technischen Gegebenheiten wird ebenso die Wirtschaftlichkeit der Anwendung überprüft.

**Keywords:** Stromspeicher, erneuerbare Energien, Verteilnetze, Flexibilität

## **1 Einleitung**

Das Elektrizitätssystem sieht sich mit der Herausforderung steigender Anteile erneuerbarer und intermittierender Stromerzeugung konfrontiert. Das Bestreben einen möglichst hohen Prozentsatz des verbrauchten Stromes aus Quellen erneuerbarer Energie zu decken, führt weiterhin zu einem starken Ausbau dieser Erzeugungskapazitäten. Dieser Ausbau findet mittlerweile verstärkt gerade auch auf der Ebene der Verteil- und Niederspannungsnetze statt, in der unter anderem private Stromkunden Erzeugungsanlagen errichten. Aus dieser Situation resultieren zwei, weitestgehend bereits bekannte Effekte: (1) Es kommt zu einer zeitlichen Entkoppelung von Erzeugung und Verbrauch. (2) Die lokale Erzeugung übersteigt den lokalen

Verbrauch, was in weiterer Folge im Extremfall zu einer Umkehrung der Energieflussrichtung führen kann.

Diese Effekte haben Auswirkungen auf die Betriebsparameter der Netze. Generell stellte sich bislang die Situation ein, dass die Knotenspannungen im Netz von der Verbindungsstelle zum übergeordneten Netz hin zum Endkunden in Abhängigkeit der Netztopologie und Verbrauchssituation abnahmen. Dabei dürfen die auftretenden Spannungen ein Band von  $\pm 10\%$ <sup>1</sup> der Nennspannung der jeweiligen Netzebene nicht über- oder unterschreiten.

Durch die dezentralen Erzeuger verändert sich diese Situation dahingehend, dass durch die Einspeisung eine Erhöhung der Knotenspannung erfolgt. Diese Situation kann, wenn sie nicht kontrolliert wird, zu einer Verletzung (durch Überschreitung) der Knotenspannungsgrenzen führen. Aus diesem Grund werden in den Technisch- Organisatorischen Richtlinien Grenzen für die Spannungserhöhungen in einem Netz durch dezentrale Erzeuger festgelegt<sup>2</sup>. Diese belaufen sich auf:

- Mittelspannungsebene:  $\Delta U_{AN, zul} = 2\%$
- Niederspannungsebene:  $\Delta U_{AN, zul} = 3\%$

Im Umgang mit dem Effekt der Knotenspannungsanhebung können Speicher eine entscheidende Rolle spielen. Wenn sie ihre Funktion der zeitlichen Verlagerung erneuerbarer Erzeugung wahrnehmen, wird sich das positiv auf die Knotenspannungen auswirken. Damit wird durch den Einsatz der Speicher den beiden genannten Herausforderungen der dezentralen erneuerbaren Erzeugung begegnet.

## 2 Methodik

Für die Ermittlung der positiven Effekte durch den Einsatz des Speichers ist es notwendig zuerst die allgemeine Situation im betrachteten Netzgebiet zu analysieren. Die Grundlage für diese Analyse stellen die Daten des Energieversorgers dar. Anhand der Daten aus dieser Analyse ist es möglich den Einsatz der Speicher zu ermitteln und anschließend auf Basis dieses Speichereinsatzes die Netzauswirkungen mittels Lastflussrechnungen festzustellen.

### 2.1 Analyse der Daten

Aus der Analyse der Daten sollen Zeitreihen für Lasten und Erzeuger im betrachteten Netzgebiet resultieren. Um eine sinnvolle Aussagen über den Einsatz der Speicher treffen zu können, ist es notwendig, dass die Zeitreihen in entsprechend hoher zeitlicher Auflösung vorliegen. Für diese Untersuchung wird die zeitliche Auflösung mit 15 Minuten festgelegt. Problematisch dabei ist, dass aktuell für die meisten Verbraucher im Netz lediglich eine Messung des Jahresstromverbrauchs erfolgt und keine zeitlich hoch aufgelösten Messwerte der tatsächlichen Verbräuche zur Verfügung stehen. Aus den Daten des Energieversorgers gehen die Jahres- bzw. Monatsverbräuche, letztere für Kunden mit einem Lastprofilzähler,

---

<sup>1</sup> (ÖNORM, 2008)

<sup>2</sup> (E-Control, 2002)

sowie die Information darüber, welchem Standardlastprofil (SLP<sup>3</sup>) der Kunde entspricht, hervor. Anhand dieser Daten lassen sich, durch Hochskalierung der SLP-Werte auf den Verbrauch der Kunden, Jahreslastkurven erzeugen, die als Basis für die Berechnung dienen. Für Kunden die über einen Lastprofilzähler verfügen, wird ein ähnlicher Ansatz gewählt. Die Auswertung der ¼-Stunden Messwerte der Lastprofilzähler kann im Rahmen des Forschungsprojektes nicht durchgeführt werden, weshalb ebenfalls eine Skalierung vorhandener Daten (maximaler Leistungsbezug sowie monatliche Verbräuche) angewendet werden muss.

Neben den Daten für Verbräuche sind vor allem auch Daten über die Einspeisungen der einzelnen Erzeuger von Relevanz. Im betrachteten Netzgebiet befinden sich dezentrale PV-Anlagen (Jahreserzeugung: 530 GWh) sowie Biogas- und Biomasseanlagen (Jahreserzeugung 28.000 GWh).

Die Erzeugungsverläufe der bedarfsgerechten Anlagen werden ebenfalls anhand der Daten des Energieversorgers abgeschätzt.

Für die Einspeisung der PV-Erzeugung wird auf die Verwendung eines Modells<sup>4</sup> zurückgegriffen, welches auf Basis von Globalstrahlungsmesswerten die Einspeisung einzelner PV-Module ermittelt. Die Kalibrierung und Validierung der Modellergebnisse erfolgt unter Verwendung tatsächlich gemessener Einspeisewerte von lokalen Erzeugungseinheiten.

Als Datengrundlage für die Berechnungen der Zeitreihen dienen Messwerte aus dem Jahr 2014. Die installierten Leistungen beziehen sich auf Werte aus dem Jahr 2015.

Die für die abschließenden Netzberechnungen notwendigen Informationen über das Verteilnetz stammen weitestgehend vom Energieversorger des Betrachtungsgebietes. Für die Netzberechnungen wird die Mittelspannungsebene berücksichtigt, die Verbraucher der Niederspannungs-Netzebene werden auf den entsprechenden Knoten der Mittelspannungsebene aggregiert. Die Daten des Energieversorgers beinhalten Informationen über die Verteilung der Kunden auf die einzelnen Knoten und den grundsätzlichen Aufbau des Netzes, sowie Informationen über die verbauten Leitungen. Für die Leitungsparameter wird auf eine Diplomarbeit<sup>5</sup> zurückgegriffen, welche sich mit der dezentralen Einspeisesituation im Untersuchungsgebiet befasst. Bei dem berücksichtigten Netz handelt es sich um ein 20 kV Mittelspannungsnetz, welches zum Untersuchungszeitpunkt mit einer Spannung von 20,7 kV betrieben wird.

## 2.2 Einsatzstrategie der Speicher

Auf Basis der ermittelten Datengrundlage soll der Einsatz der Speicher erfolgen. Für diese Forschungsfrage werden zwei unterschiedliche Speichertechnologien berücksichtigt, der Durathon Speicher von GE, dessen Produktion mittlerweile stark reduziert wurde<sup>6</sup>, sowie ein

---

<sup>3</sup> (APCS, 2015)

<sup>4</sup> (Wiedemayer, 2015)

<sup>5</sup> (Schnitzer, 2014)

<sup>6</sup> (Green Tech Media, 2015)

Batteriewechselsystem (BWS) von GreenWay E-Mobility GmbH. Die Kosten für die Durathon Speicher sind mit 104 € pro kWh und Jahr angenommen. Die Parameter der einzelnen Speicher sind in Tabelle 1 angeführt. Die beiden Technologien unterscheiden sich dahingehend, dass Speicher der Durathon Technologie ausschließlich für den Ausgleich im betrachteten Netzgebiet verwendet werden, wohingegen der Hauptverwendungszweck der BWS darin liegt, Elektrofahrzeuge mit Energie zu versorgen. Unternehmen die über Lieferwagen verfügen, können in den BWS die leeren Batterien ihrer Fahrzeuge gegen vollgeladene Batterien tauschen. Im Laufe des Tages werden die entleerten Batterien wieder geladen. Da die Ladung aber meist nicht den ganzen Tag in Anspruch nimmt, ist es möglich die BWS als Flexibilität für das System zu nutzen. Voraussetzung dafür ist, dass die Batterien zum Zeitpunkt des Wechsels wieder vollkommen beladen sind.

**Tabelle 1: Technische Parameter der berücksichtigten Speichertechnologien<sup>7</sup>**

Speichergröße	Durathon Speicher						GreenWay Batterie- wechselstation	
	MWh	1	2	3	4	5	6	
Lade-/Entladeleistung	kW	500	1000	1000	1000	1000	1000	0,33
Zykluswirkungsgrad	%	85						66
Lade-/Entladewirkungsgrad	%	92,2						82
								90,6

Das Ziel des Speichereinsatzes ist es, einen zeitlichen Abgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch zu schaffen, wodurch ein möglichst konstanter Summenlastgang des gesamten Untersuchungsgebietes erreicht werden soll. Mit dieser Einsatzstrategie verbunden ist die Integration erneuerbarer Erzeugung durch eine zeitliche Verlagerung von erneuerbarem Überschuss, sowie die positive Beeinflussung von Netzbetriebsparametern.

Um die gewünschten Effekte zu erreichen, wird das in Abbildung 1 dargestellte Einsatzschema für die Speicher zugrunde gelegt. Die Speichereinsatzstrategie basiert darauf, dass für jeden Tag eine Lade- und Entladegrenze im Vorfeld festgelegt wird. Diese Grenze basiert auf den Prognosen für den Last- und Erzeugungsverlauf dieses Tages. Die entscheidende Stellgröße, neben der Lade- und Entladegrenze, ist die Residuallast des Betrachtungsgebietes. Darunter ist der Wert der Last abzüglich der gesamt vorhandenen erneuerbaren Erzeugung zu verstehen. Ein positiver Residuallastwert ist einem Energiebezug gleichzusetzen, ein negativer Residuallastwert einer lokalen Überproduktion an erneuerbarer Energie. Unterschreitet die Residuallast die Ladegrenze des Speichers, wird die Differenz zur Ladegrenze vom Speicher durch Energiebezug kompensiert. Überschreitet die Residuallast die Entladegrenze, so agiert der Speicher hier als Erzeuger und kompensiert die Last. Dadurch wird der Effekt erreicht, dass sich der gesamte resultierende Lastverlauf des betrachteten Gebietes homogenisiert, und dass bevorzugt erneuerbare Energie, und zwar nur in dem Ausmaß in dem sie nicht benötigt wird, vom Speicher kompensiert wird.

Dieser Speichereinsatz zeichnet sich dadurch aus, dass er nur von Parametern im Netz und nicht etwa durch Preise gesteuert wird. Eine Umsetzung dieser Strategie in der Realität würde einen Prognoseaufwand für Last und Erzeugung mit sich bringen, sowie einen Messaufwand für die Erfassung der tatsächlichen Residuallastwerte.

---

<sup>7</sup> Daten basierend auf (GE, 2015) und (GreenWay, 2015)

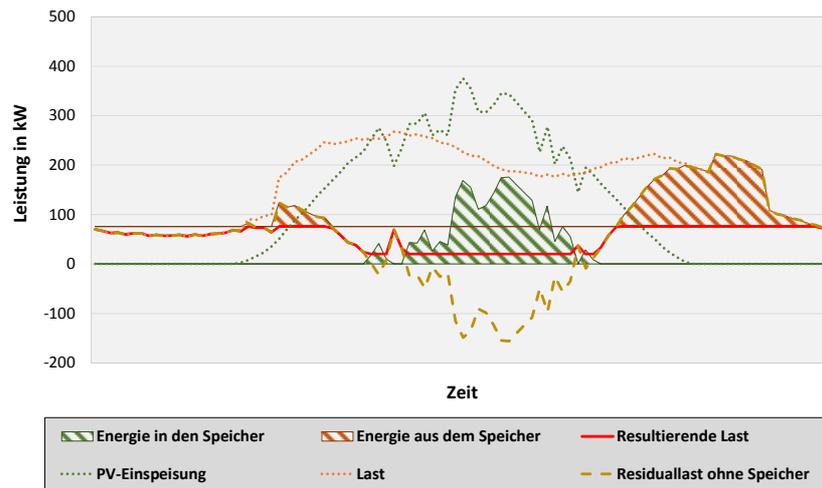


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Speichereinsatzstrategie

### 2.2.1 Berücksichtigung des Speichereinsatzgebietes

Wie bei der Beschreibung der Speichereinsatzstrategie erwähnt, ist eine der entscheidenden Größen für den Einsatz des Speichers die Residuallast. Für die in dieser Arbeit zugrundeliegenden Untersuchungen werden unterschiedliche netztopologische Einsatzgebiete des Speichers definiert. Mittels dieser Methode soll ermittelt werden, ob es sinnvoll ist, den Speicher als Ausgleichsmechanismus für das gesamte Netzgebiet zu verwenden, oder ihn nur für einen Teilbereich des Netzes einzusetzen. Abbildung 2 zeigt die Aufteilung des Netzes in die einzelnen Teilbereiche.

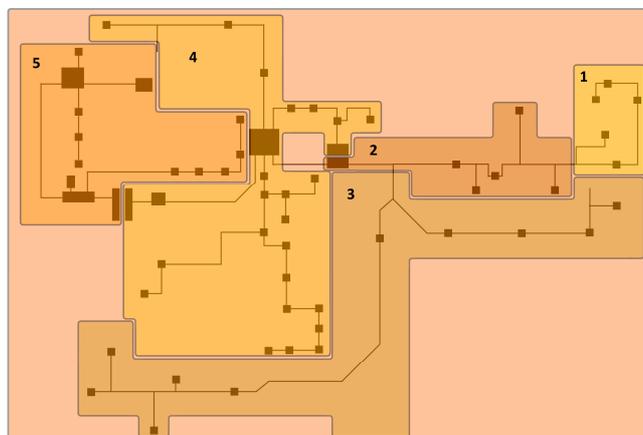


Abbildung 2: Abstrahierte Darstellung des Netzes mit den einzelnen, für den Speichereinsatz berücksichtigten Teilbereichen

Ausgehend von der Erzeugungs- und Verbrauchssituation in den einzelnen Netzgebieten wird die für den Speichereinsatz notwendige Residuallast gebildet und der Einsatz des Speichers ermittelt. Durch die unterschiedlichen Charakteristika der einzelnen Gebiete kann ein guter Querschnitt über die verschiedenen Einsatzbereiche eines Speichers gebildet werden. Außerdem ist es möglich, die Wirkungsweise unterschiedlicher Speichergößen in diesen Umgebungen zu ermitteln.

### 2.2.2 Bewertung des Speichereinsatzes

Um die in den verschiedenen Gebieten eingesetzten Speicher miteinander vergleichen zu können, ist es notwendig, Bewertungskriterien zu definieren:

- Leistungsauslastung des Speichers: Über diesen Wert kann festgestellt werden, wie viel der installierten Lade- und Entladeleistung des Speichers tatsächlich genutzt wird.
- Reduktion des erneuerbaren Überschusses: Dieser Wert gibt an, wie viel des im gesamten Netz erzeugten Überschusses an erneuerbarer Energie durch den lokalen Betrieb des Speichers kompensiert werden kann.
- Verlagerung von Leistung aus der Peak- in die Offpeak-Periode: Der Speichereinsatz soll neben der Integration erneuerbarer Erzeugung auch eine Reduktion der Spitzenlastbezüge des gesamten Netzbereichs unterstützen. Die Verlagerung der Peaklasten in Offpeak-Perioden ist eine Kenngröße für diese Reduktion.
- Kostenreduktion durch den Speichereinsatz: Ein weiteres Vergleichskriterium stellt die Kostenreduktion, die aus dem Einsatz des Speichers resultiert, dar. Die Ermittlung der Kostenreduktion basiert auf den Kosten für einen Strombezug zu EEX-Börsenpreisen. Durch die Verlagerung von Peak- zu Offpeak-Bezügen kann Strom günstiger bezogen werden, wodurch sich eine Kostenreduktion ergibt. Dabei handelt es sich lediglich um eine grobe Abschätzung der Kostenreduktion, die aber für den Vergleich ausreichend ist.

### 2.3 Durchführung der Netzberechnungen

Nach der Bewertung und Auswahl der Speicherparameter stellt sich die Frage der Positionierung des Speichers im Netz. Die bisherigen Untersuchungen sind unabhängig vom physikalischen Standort des Speichers. Ebenso lassen sich aus den bisherigen Betrachtungen noch keine Auswirkungen auf das Netz ermitteln. Aus diesem Grund werden in weitere Folge Netzberechnungen durchgeführt. Dafür werden die nach den oben angeführten Kriterien als positiv bewerteten Speicher an unterschiedlichen Stellen im Netz positioniert und für jede Kombination aus Speicher, Position und Lastfall Lastflussrechnungen durchgeführt. Für die Analyse der Netzauswirkungen werden AC-Lastflussrechnungen mit dem Tool MatPower<sup>8</sup> ausgeführt. Für die Lastflussrechnungen wird in Ermangelung einer besseren Datenlage, die Blindleistung vernachlässigt. Aus den Lastflussrechnungen werden die Knotenspannungen sowie die Leistungsflüsse je Leitung ermittelt und daraus die Belastung des Netzes abgeleitet.

Um die Auswirkungen des Speichereinsatzes ermitteln zu können, wird eine Basisrechnung ohne den Einsatz eines Speichers durchgeführt. Diese dient als Vergleichsgrundlage für die Berechnungen mit Speichereinsatz. Anschließend werden Netzberechnungen unter Berücksichtigung des Speichereinsatzes behandelt. Durch den Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Netzberechnungen wird es möglich, die Auswirkungen des Speichereinsatzes auf das betrachtete Netzgebiet abzuleiten.

---

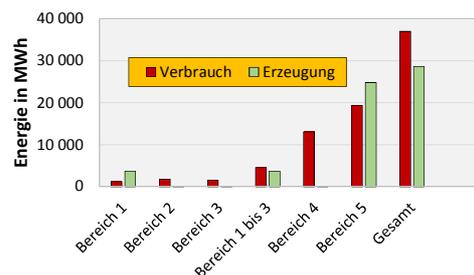
<sup>8</sup> (Zimmerman, et al., 2011)

Anhand der bereits durchgeführten Untersuchungen der Speicher ist eine Einschränkung der notwendigen Anzahl von Netzberechnungen möglich, die sich durch eine sinnvolle Vorauswahl möglicher Speicherstandorte noch weiter reduzieren lässt. Bei dieser Vorauswahl werden die folgenden Kriterien berücksichtigt:

- Die Lokalisierung der Speicher wird auf die Bereiche beschränkt, für die die jeweiligen Speicher eingesetzt werden. Das bedeutet, wird ein Speicher für den Ausgleich in Gebiet „1“ eingesetzt, werden auch nur Netzknoten des Bereichs „1“ für die Lokalisierung herangezogen.
- Es werden Netzknoten für die Speicherimplementierung herangezogen, die sich durch ihre starke Anbindung an das Netz auszeichnen, oder Netzknoten die aufgrund ihrer Erzeugungscharakteristik und Position im Netz einen starken Einfluss auf die Netzparameter haben.

### 3 Ergebnisse

Die Analyse zeigt die unterschiedlichen Charakteristika der einzelnen Netzbereiche. Dieser Umstand ist für die Untersuchung der verschiedenen Speichereinsatzorte von Vorteil, da dadurch eine hohe Bandbreite möglicher Ergebnisse und Effekte abgedeckt werden kann. Die Erzeugung und der Verbrauch der einzelnen Netzbereiche ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3: Gegenüberstellung der Verbräuche und Erzeugungen in den einzelnen betrachteten Netzbereichen**

Aus den Gegenüberstellungen geht eindeutig hervor, dass die verschiedenen Bereiche des betrachteten Netzes sehr unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Die Bereiche 1 bis 3 sind, was Verbrauch und Erzeugung angeht, in Summe gut ausgeglichen, spielen im gesamten Netz jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Der Bereich 4 wird beinahe ausschließlich von Verbrauchern dominiert, während im Bereich 5, der über den höchsten Verbrauch verfügt, über ein Jahr gesehen mehr Energie erzeugt als verbraucht wird. Die unterschiedlichen Charakteristika sind von Vorteil, da aus diesen Eigenschaften mit der Variation des Speichereinsatzortes die Ergebnisse eindeutig beurteilbar werden.

Die unterschiedlichen Bereiche im betrachteten Netzgebiet unterscheiden sich in der Art der Erzeugung dadurch, dass im Bereich 1 sowohl eine Biogas- als auch der Großteil der PV-Anlagen positioniert sind, wohingegen im Bereich 5 fast ausschließlich bedarfsgerechte Anlagen vorhanden sind.

Gemäß der in Kapitel 2.2 dargestellten Speichereinsatzstrategie werden die unterschiedlichen in Tabelle 1 angeführten Speicher in den verschiedenen Netzgebieten eingesetzt. Aus dem Einsatz und der anschließenden Auswertung der Ergebnisse mit einer Bewertung auf Basis der in Kapitel 2.2.2 aufgelisteten Kriterien lassen sich die folgenden allgemeinen Erkenntnisse ableiten:

- Die Wahl des Speichertyps und des Einsatzortes haben maßgebliche Auswirkungen auf die Ergebnisse der Simulationen.
- Durch den Einsatz des Speichers werden die Spitzenlastbezüge in jedem betrachteten Fall reduziert. Gleich verhält es sich mit den Überschüssen erneuerbarer Erzeugung, die ebenfalls eine deutliche Reduktion erfahren.
- Die Wirtschaftlichkeit der Durathon Speicher, wenn eine Finanzierung nur auf Basis der Differenzen zwischen den Marktpreisen zu Peak- und Offpeakzeiten erfolgt, ist in keinem der betrachteten Fälle gegeben. Es ist daher notwendig nach einer anderen Möglichkeit der Finanzierung zu suchen. Außerdem weisen die Durathon Speicher zu hohe Leistungen für das betrachtete Einsatzgebiet auf.
- Die Problematik der fehlenden Wirtschaftlichkeit ergibt sich für die Batteriewechselstation nicht, da hier das Geschäftsmodell nicht ausschließlich auf der oben genannten Marktpreisdifferenz basiert. Die BWS erlaubt zusätzlich zum normalen Betrieb die freigewordene Flexibilität zur Homogenisierung des resultierenden Lastverlaufs zu nutzen.

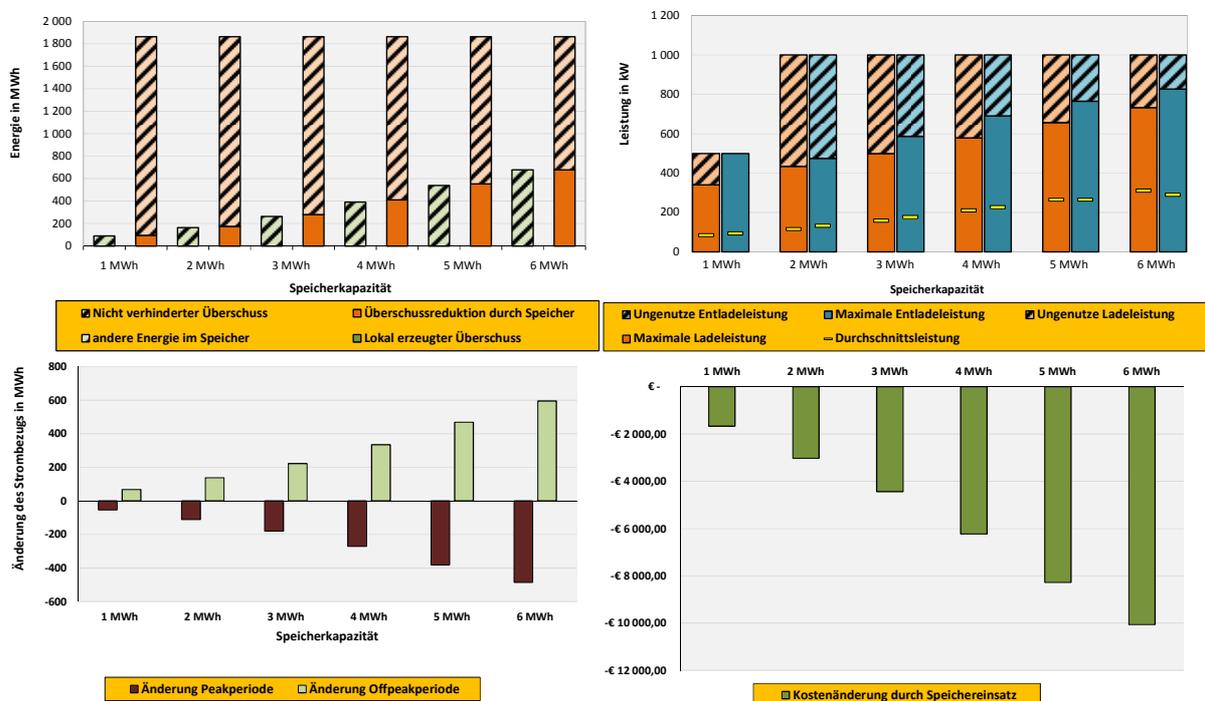


Abbildung 4: Vergleich der unterschiedlichen Ergebnisse für die Entscheidungskriterien der Durathon Speichertechnologien für einen Einsatz im Netzgebiet „1 bis 4“

Aus der Betrachtung und dem Vergleich der Ergebnisse, siehe Abbildung 4, der unterschiedlichen Speicher mit dem jeweiligen Einsatz in den verschiedenen Netzgebieten lassen sich die folgenden spezifischen Ergebnisse ableiten:

- Die Verwendung des 6 MWh Durathon Speichers ist für den Zusammenschluss der Bereiche 1 bis 4 zu empfehlen, da hier im Vergleich zu den anderen Bereichen die besten Ergebnisse erzielt werden.
- Für den Bereich 1 bis 3, führt ein 4 MWh Durathon Speicher zu den besten Ergebnissen unter den Durathon Speichern.
- Für die Verwendung der GreenWay BWS – Technologie ist ein Einsatz im Zusammenschluss der Bereiche „1 und 2“ die sinnvollste Variante. Da hier gemäß der Bewertungskriterien die besten Ergebnisse erzielt werden.

Aufgrund der stark unterschiedlichen Parameter der Speicher, vergleiche Tabelle 1, ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Speicher nur dann sinnvoll, wenn man die jeweiligen Speicherparameter berücksichtigt. Aus den Bewertungen mit den zuvor definierten Kriterien geht hervor, dass der 6 MWh und der 4 MWh Speicher von Durathon, die in absoluten Werten gemessen besten Ergebnisse erzielen, die BWS von GreenWay jedoch in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit die größten Vorteile generieren kann. Der Vergleich der Ergebnisse für die besagten Speicher ist in Tabelle 2 angeführt.

**Tabelle 2: Vergleich der relevanten Ergebnisse der einzelnen Speicher**

Speicher	Einsatzgebiet	Kapazität	Leistung	Überschuss-	Mittlere	Änderung der
		[kWh]	[kW]	reduktion	Auslastung	Peakbezüge
				[kWh]	[kW]	[kWh]
Durathon 6 MWh	1 bis 4	6 000	1 000	676 703	301	-485 884
Durathon 4 MWh	1 bis 3	4 000	1 000	445 818	152	-303 455
GreenWay	1 und 2	330	66	101 946	46	-21 101

Anhand der in Tabelle 2 dargestellten Bewertungskriterien lassen sich die oben angeführten Ergebnisse sehr gut veranschaulichen. Die Speicher der Durathon Technologie führen zu einer deutlich höheren Reduktion des erneuerbaren Überschusses als die BWS von Green Way, jedoch ist dieser Wert immer unter Berücksichtigung der Speicherparameter zu betrachten. Das Speichersystem von GreenWay weist eine deutlich geringere Kapazität und Leistung als die Speicher der Durathon Technologie auf. Ebenso zeichnet sich die BWS durch eine deutlich höhere leistungsmäßige Auslastung im Vergleich zu den Durathon Speichern aus. Ähnlich verhält es sich bei der Änderung der Peakbezüge, diese fallen für die Durathon Speicher deutlich höher aus als für die BWS von GreenWay. Wieder sind die Speicherparameter zu berücksichtigen.

Aus den Berechnungen der Kostenersparnisse am Energiemarkt geht hervor, dass dieses Geschäftsmodell nicht für die Wirtschaftlichkeit der Speicher garantiert. Die Investitionskosten der Durathon Speicher müssten um etwa 98 % reduziert werden, um einen wirtschaftlichen Einsatz zu ermöglichen. Damit geht klar hervor, dass das hier angewendete Geschäftsmodell in Kombination mit der verwendeten Speichertechnologie und der Speichereinsatzstrategie nicht zielführend ist.



- Keine, oder nur sehr geringe Beeinflussungen der höchsten auftretenden Knotenspannungen ergeben sich bei einer Positionierung des Speichers fernab des Verursachungsortes, wie im Fall des 6 MWh Durathon Speichers. Dabei ist die Distanz zum Verursachungsort nur einer der Gründe, ein zweiter wesentlicher Faktor ist, dass der 6 MWh Durathon Speicher für die Vergleichmäßigung der Residuallast eines wesentlich größeren Gebietes herangezogen wird, bei dem die Effekte des Bereiches „1“ nur noch eine untergeordnete Rolle spielen. Damit wirkt der im Bereich „4“ eingesetzte Speicher den spannungserhöhenden Effekten im Bereich „1“ nicht entgegen. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich annehmen, dass eine Beeinflussung der Knotenspannungen nur dann sinnvoll ist, wenn die Ursachen der Knotenspannungserhöhungen einen maßgeblichen Einfluss auf den Einsatz des Speichers haben und der Speicher außerdem in der Nähe des Verursachers der Spannungserhöhungen positioniert ist. Werden die maximalen Leitungsauslastungen betrachtet, lässt sich ebenfalls ableiten, dass der Standort des Speichers einen maßgeblichen Einfluss hat. Durch die im betrachteten Netz vorhandene Schalttopologie und die sich einstellende Lastflussrichtung zum Zeitpunkt der Maximalauslastung kommt es zu einer Veränderung der Leitungsauslastungen bis zum Standort des Speichers. Netzabzweigungen oder hinter dem Speicher angelagerte Netzabschnitte werden durch den Speichereinsatz bezüglich der Leitungsauslastungen nicht wesentlich beeinflusst. In den meisten Fällen wirkt sich der Einsatz des Speichers positiv auf die maximalen Leitungsauslastungen aus.

#### **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Die in diesem Projekt durchgeführten Analysen, Simulationen und Auswertungen zeigen, dass der gezielte Einsatz von Speichertechnologien in einem Verteilnetz weitläufige Auswirkungen haben kann. Wird die Einsatzstrategie des Speichers so gewählt, dass er zu einer Vergleichmäßigung des Residuallastgangs führen soll, werden dadurch die folgenden Effekte erreicht: (1) Reduktion der erneuerbaren Überschusserzeugung durch zeitliche Verlagerung zu verbrauchsstärkeren Zeitpunkten. (2) Reduktion der im System auftretenden Maximallast durch Vergleichmäßigung des Lastganges. (3) Reduktion der Strombezugskosten durch Verlagerung von teuren Peak-Bezügen in günstigere Offpeakzeiten. (4) Bei richtiger Positionierung und einer auf das Einsatzgebiet abgestimmten Charakterisierung des Speichers trägt dieser zur Entlastung des Netzes bei. Dies kann an der Reduktion der durch die erneuerbaren Erzeuger angehobenen Knotenspannungen sowie an den reduzierten maximalen Leitungsauslastungen bemessen werden.

Dennoch zeigt sich, dass eine Investition in die hier untersuchten Speicher zum ausschließlichen Ausgleich des Lastverlaufs des Systems wirtschaftlich nicht zielführend ist, da unter dem angenommenen Geschäftsmodell die Investitionskosten nicht erwirtschaftet werden können. Während das Beispiels der GreenWay BWS zeigt, dass die Nutzung von im eigentlichen Geschäftsmodell nicht verwendeten Freiheitsgraden sich als lukrativ und

zielführend herausstellen kann, da die oben genannten Effekte, wenn auch in abgeschwächter Form, zu erkennen sind.

Für zukünftige Forschungsvorhaben ist es notwendig verschiedene Speichertechnologien hinsichtlich ihrer Effekte sowie deren Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Detaillierte Ermittlungen von Last- und Erzeugungsverläufen auf Basis tatsächlicher Messwerte kann die Qualität der Berechnungen und Simulationen maßgeblich erhöhen, wodurch eindeutigere Aussagen getroffen werden können. Durch die Durchführung von Sensitivitätsanalysen mit einer größeren Bandbreite an Speichern ließe sich ein für das betrachtete Netz optimaler Speicher ableiten.

Durch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, sowie die Weiterentwicklung der Speichertechnologien und die damit in Verbindung stehende Reduktion der Investitionskosten ließe sich zukünftig ein wirtschaftlicher Betrieb des Speichers bewerkstelligen. Dadurch wäre es möglich in Zukunft Speicher als Stütze von lokalen Verteilnetzen einzusetzen und dabei gleichermaßen die Integration erneuerbarer Energie zu fördern.

## 5 Literaturverzeichnis

**APCS. 2015.** Synthetische Lastprofile : APCS - Power Clearing & Settlement. [Online] 2015. [Zitat vom: 04. 07 2015.] <http://www.apcs.at/de/clearing/technisches-clearing/lastprofile>.

**E-Control. 2002.** Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen (TOR). Wien : -, 2002.

**GE. 2015.** Projektinterne Datenweitergabe. 2015.

**Green Tech Media. 2015.** GE Scales Back Production of Grid-Scale Durathon Batteries. [Online] 2015. [Zitat vom: 10. 01 2016.] <http://www.greentechmedia.com/articles/read/ge-scales-back-production-of-grid-scale-durathon-batteries>.

**GreenWay. 2015.** Projektinterne Datenweitergabe. 2015.

**ÖNORM. 2008.** Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen. ÖVE/ÖNORM EN 50160, Ausgabe: 2008. 2008.

**Schnitzer, Christopher. 2014.** *Netzanalyse eines kleinstädtischen EVUs*. Graz : TU Graz, 2014.

**Wiedemayer, Christina. 2015.** *Die Integration eines Batteriespeichersystems in das Microgrid Güssing*. Wien : Fachhochschule Technikum Wien, 2015.

**Zimmerman, R. D., Murillo-Sánchez, C. E. und Thomas, R. J. 2011.** MATPOWER: Steady State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education. *Power Systems, IEEE Transactions*. 2 2011, S. 12-19.

Das zugrundeliegende Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „SMART CITIES–FIT for SET“ durchgeführt.

