

UNTERSUCHUNG VON ENERGIESPEICHERN IM RAHMEN DES FORSCHUNGSVERBUNDES ENERGIE NIEDERSACHSEN

A. Guetif

1 EINFÜHRUNG

In zukünftigen Netzen mit hohem Anteil an dezentralen und regenerativen Erzeugern muss die klassische Energiekette um zusätzliche Energiespeichersysteme erweitert werden. Das Teilprojekt 2 des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen (FEN) befasst sich mit der Untersuchung elektrischer, elektromechanischer und elektrochemischer Systeme zur Speicherung elektrischer Energie. Die geplanten Arbeiten verfolgen das Ziel, die Vielzahl der verschiedenen bekannten Speichertechnologien hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Einsatzgebiete und wirtschaftlicher Merkmale zu klassifizieren und einen fundierten Vergleich der technischen und ökonomischen Speichereigenschaften zu ermöglichen. Damit können die Randbedingungen für den Einsatz solcher Speicher klarer definiert und Speicher sinnvoller ausgelegt werden. Darüber hinaus lassen sich dann auch Entwicklungspotenziale für neuartige oder verbesserte Energiespeicher ableiten.

2 ERGEBNISSE

2.1 Klassifizierung von Energiespeichern

Für die Klassifizierung der Energiespeicher war es zuerst notwendig, eine gemeinsame Vergleichsbasis zu definieren. Dies ist der Netzanschlusspunkt, über den der Energieaustausch mit dem Netz erfolgt. Der dahinter befindliche Speicher kann nun aus den unterschiedlichsten maschinenbaulichen, elektrotechnischen oder elektrochemischen Komponenten aufgebaut sein. Somit besteht der Energiespeicher aus einem (z. B. Schwungmassenspeicher) oder mehreren Speicherelementen (z. B. Batterien) sowie allen Energiekonditionierungs- und Energiewandlungseinrichtungen, die notwendig sind, um den Speicher mit dem Netz zu verbinden.

Aus der Betrachtung ausgeschlossen wurden solche Energiespeicher, die ihre Ladeenergie nicht aus dem Netz beziehen oder nicht in das Netz zurückspeisen, wie z. B. Blockheizkraftwerke. Der Untersuchungsumfang wurde daher auf die folgenden Speicherarten begrenzt:

- Elektrochemische Batteriespeicher
- Superkondensatoren
- Brennstoffzellen mit über Elektrolyse erzeugtem Wasserstoff
- Supraleitende Spulen (SMES)
- Druckluft- und Pumpspeicher
- Schwungmassenspeicher

Für die einzelnen Speicherarten wurden auf der Basis von Literaturangaben sowie eigener Untersuchungen die spezifischen Daten (gravimetrisch und volumetrisch) sowie auf der Basis der Herstellerangaben auch die absoluten und die spezifischen Speicherkosten inklusive der Einflüsse und Kosten der erforderlichen weiteren Komponenten ermittelt. Hierzu wurde ein umfangreicher Bericht erstellt, der für die untersuchten Speicherprinzipien jeweils Auslegungsbeispiele enthält [1].

Die Speicher können nach ihrer Einsatzzeit entsprechend den Regelaufgaben im Netz in Kurzzeitspeicher für die Primärregelung, in mittelfristige Speicher für die Sekundärregelung und in Langzeitspeicher für die Tertiärregelung unterteilt werden (**Bild 1**).

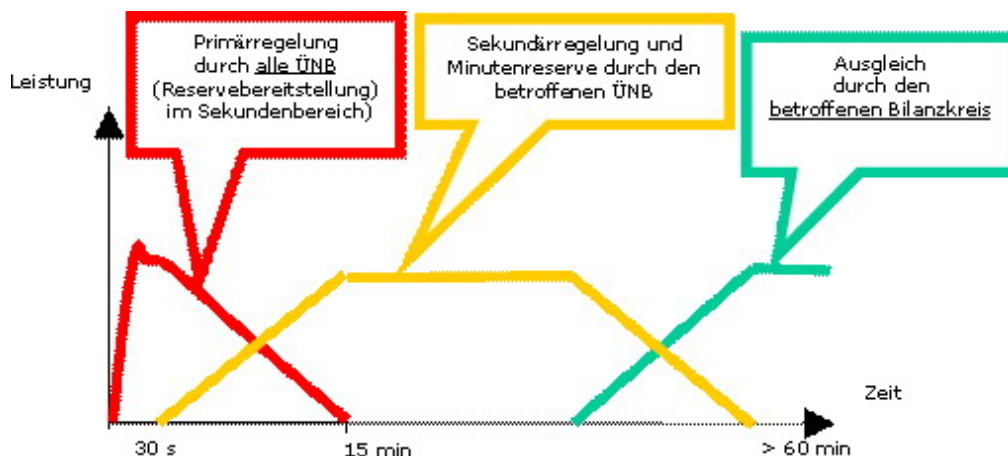


Bild 1: Einteilung der Speicher für die entsprechenden Netzregelaufgaben

Die verwendeten Beurteilungskriterien bzw. Ordnungsmerkmale sind:

- Entladezeit über Energieform
- Leistung über Energieinhalt
- Zyklischer Wirkungsgrad über Lebensdauer
- Investitionskosten über Leistung und Energieinhalt
- Kapitalkosten pro Zyklus über dem Speichertyp

Zusätzlich sind eine Reihe von Einzelkriterien zu diskutieren, die bei der Auswahl eines Speichers und seiner Bemessung zu berücksichtigen sind und die separat beleuchtet werden müssen [1]:

- Selbstentladungsrate / Bereitschaftsverluste
- Ansprechzeit
- Skalierbarkeit
- Kombinierbarkeit
- Kumulierter Energieumsatz
- Kurzschlussstrom / Selektivität

Bild 2 gibt einen Überblick über die in Frage kommenden Speicherarten:

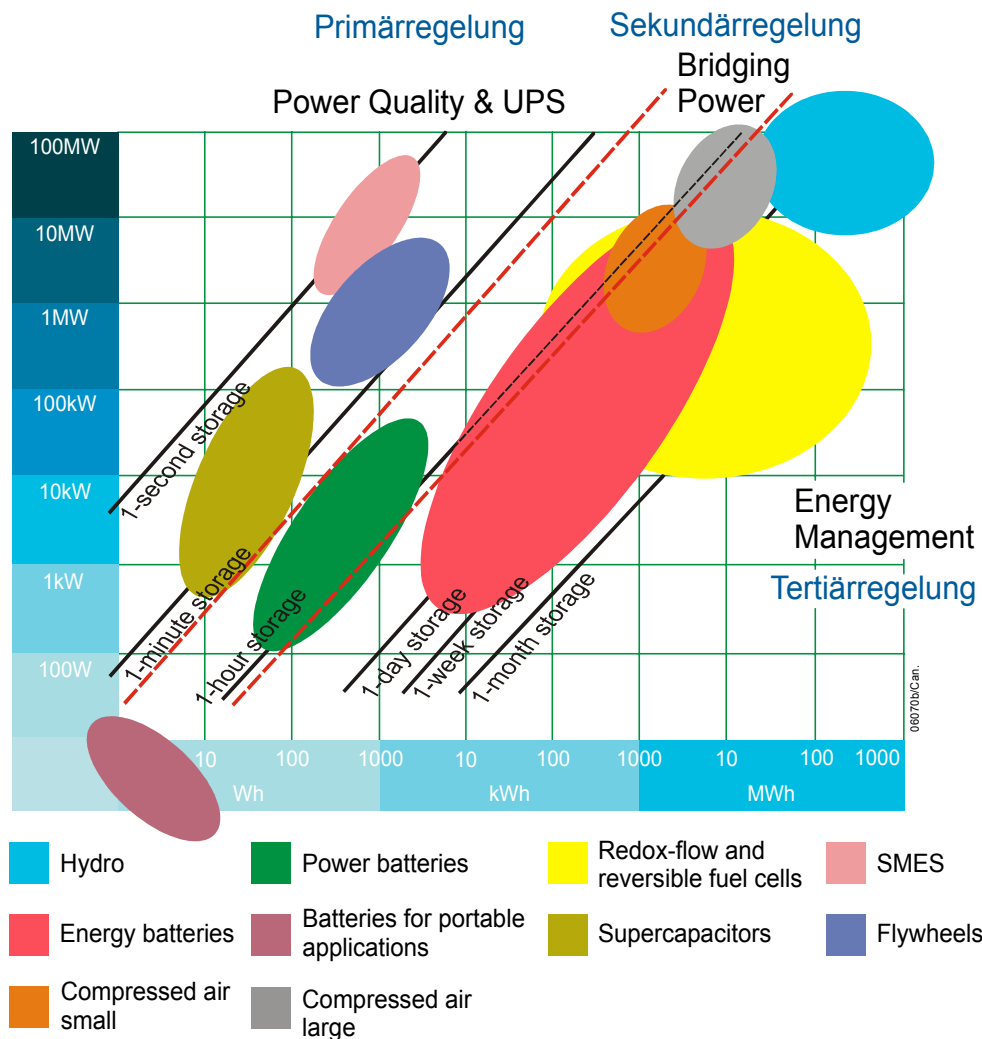


Bild 2: Klassifizierung nach Leistung und Energieinhalt
(Quellen: EU 2001, ISET-Kassel, IMAB)

In **Bild 3** sind als wichtigstes Ergebnis die bei den Untersuchungen ermittelten Kosten der Abgabeenergie pro Zyklus dargestellt. Dadurch sind sowohl die Lebensdauer (Anzahl der Zyklen) und der Speicherwirkungsgrad berücksichtigt.

Die weitere Differenzierung durch die o. g. Sonderkriterien muss anwendungsspezifisch erfolgen. Die gewonnenen Ergebnisse stehen allen Teilprojekten zur Verfügung und werden speziell in den Teilprojekten TP01, TP03 und TP04 genutzt.

2.2 Druckgasspeicher

Im Bereich der Langzeitspeicher bilden die Druckgasspeicher eine interessante Gruppe, die sich vor allem durch deutlich längere Lebensdauer und spezifisch geringere Kosten als Batterien auszeichnen. Während großtechnische Anlagen sich im Wesentlichen auf Salzkavernen oder ähnliche geologische Formationen als Speicherelement abstützen, gibt es

inzwischen auch Vorschläge, Druckgasspeicher kleinerer Leistung unabhängig von solchen Standortbedingungen aufzubauen. Deshalb wurden diese Speicher hinsichtlich ihrer Potenziale genauer untersucht. Die Ergebnisse der Betrachtungen wurden ebenfalls in einer ausführlichen Dokumentation zusammengefasst [2].

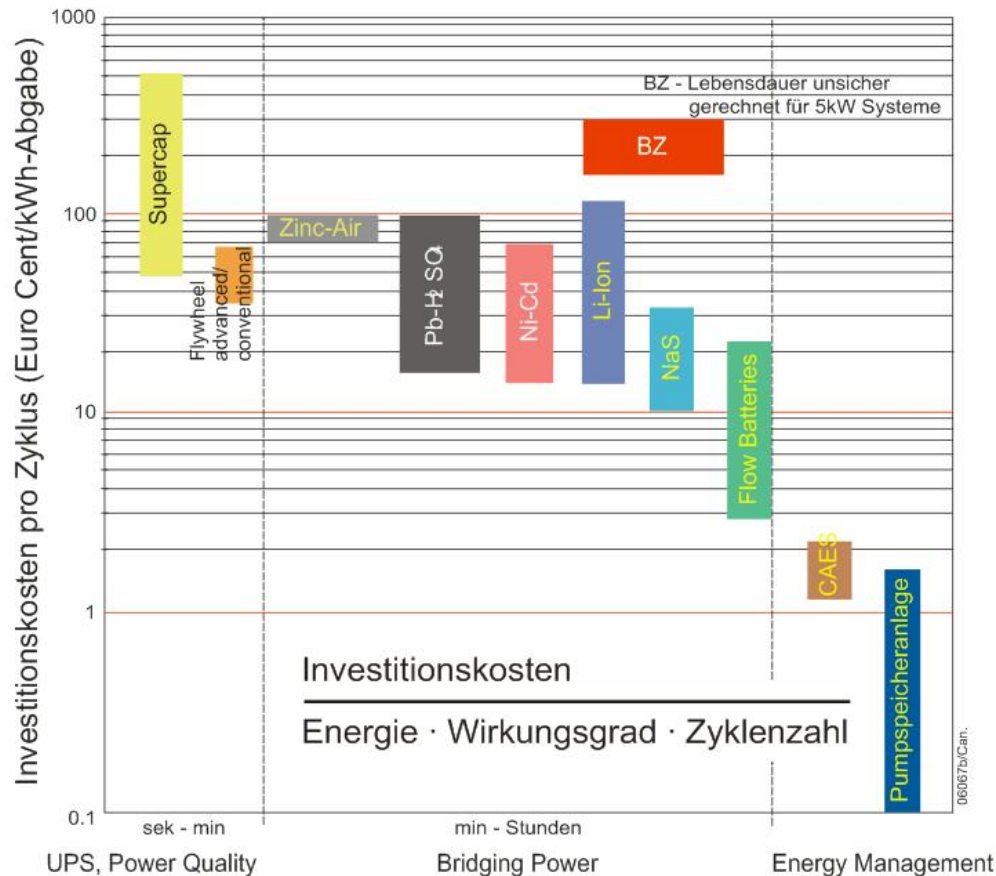


Bild 3: Investitionskosten pro Zyklen

Wie verschiedene Studien zeigen, lassen sich solche Speicher als sogenannte Pipelinespeicher aufbauen, die unter Zuhilfenahme von Erdgas oder Deponiegas in konventioneller Weise den Lastfluss einer regenerativen Energieerzeugungsanlage vergleichmäßigen können (**Bild 4**). Der Hauptnachteil der Druckgasspeicher ist der geringe energetische Wirkungsgrad (ca. 30%) und die weitere Nutzung von fossiler Energie. Diese Nachteile lassen sich jedoch sowohl durch Optimierung der Komponenten als auch durch Konservierung der Kompressionswärme (adiabater Speicher) vermeiden. Insgesamt könnte der Wirkungsgrad auf Werte angehoben werden, die mit denen chemischer Speicher gleichwertig sind. Ein entsprechendes Forschungsprojekt am Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN) befindet sich in der Beantragungsphase.

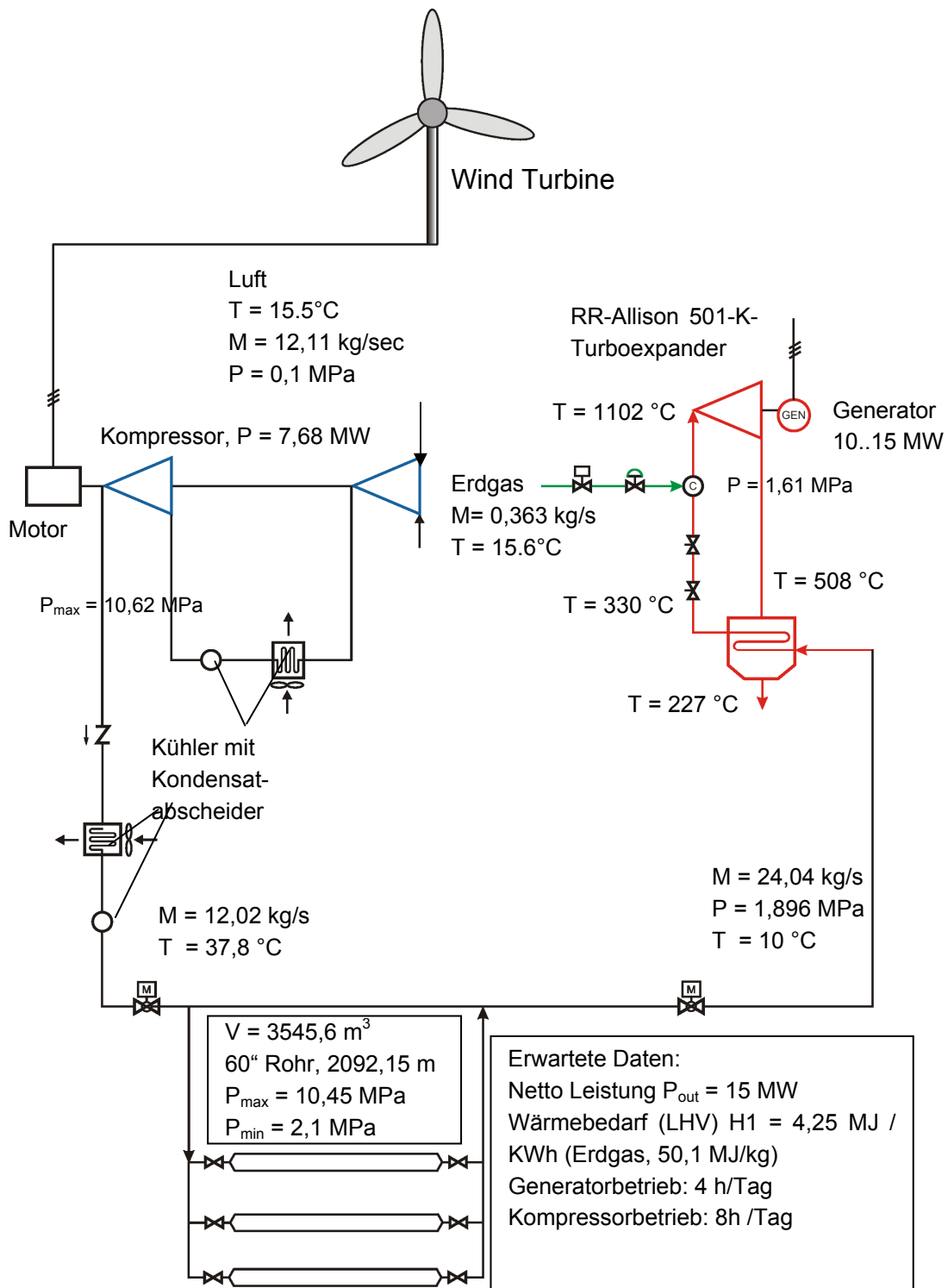


Bild 4: Druckluftspeichersystem mit Pipeline-Speicherröhren (Sub Surface CAES),
 z. B. in Kombination mit einem Windpark

2.3 Brennstoffzellenspeicher

Im Rahmen des Teilprojekts TP02 wurden die verschiedenen Typen von Brennstoffzellen hinsichtlich ihrer Eignung als Elemente eines Energiespeicherungssystems untersucht. Des Weiteren werden in diesem Teilprojekt die Varianten der derzeit kommerziell erhältlichen Elektrolyseure sowie Möglichkeiten der Wasserstoffspeicherung (Druckgastanks, Metallhydride) inkl. der verfügbaren technischen Realisierungen diskutiert.

Am Beispiel eines Brennstoffzellensystems mit ca. 100 kW elektrischer Nennleistung und 10 kWh nutzbarem Energieinhalt ist die Auslegung eines kompletten Speichersystems, bestehend aus Elektrolyseur, Wasserstoffspeicher und Brennstoffzelle kostenmäßig und bezüglich der zu erzielenden energetischen Effizienz für verschiedene Betriebsmodi durchgerechnet worden. Dabei zeigte sich, dass zurzeit solche Speicher noch sehr teuer sind und nur einen Zyklus-Wirkungsgrad von ca. 30 .. 35% aufweisen. Die Kostensituation könnte sich durch eine Doppelnutzung des Wasserstoffs für verkehrstechnische Anwendungen verbessern lassen. Für die Erhöhung des Wirkungsgrades ist die thermodynamische Verbesserung der beiden zentralen Komponenten Elektrolyseur und Brennstoffzelle dringend erforderlich.

2.4 Experimentelle Untersuchungen an neuartigen Superkondensatoren

Superkondensatoren sind noch verhältnismäßig neue Bauelemente, die den Helmholtzeffekt nutzen. Mit Hilfe von Materialien mit sehr großen aktiven Oberflächen (Aktivkohle) können so Kondensatoren mit bis zu einigen 1000 F aufgebaut werden. Allerdings liegen die Spannungen bei nur ca. 2,5 .. 2,7 V und die spezifischen Kosten [1] sind noch sehr hoch. Da auch hohe Zyklenzahlen und hohe Leistungen zu erwarten sind, könnten solche Elemente auch als Kurzzeitspeicher eingesetzt werden. Es war daher notwendig, experimentell gesicherte Daten gerade hinsichtlich Zyklenfestigkeit, Verlusten, Selbstentladung und Alterung sowie thermischem Verhalten zu ermitteln.

Für die vorgesehenen experimentellen Untersuchungen wurden Superkondensatoren beschafft (**Bild 5**) und eine Testeinrichtung für diese Speicher aufgebaut. Mit Hilfe dieses Prüfaufbaus wurden die Zyklus- und die Temperaturbeanspruchungen von Superkondensatoren getestet, um die zum Teil widersprüchlichen Herstellerangaben zu prüfen.

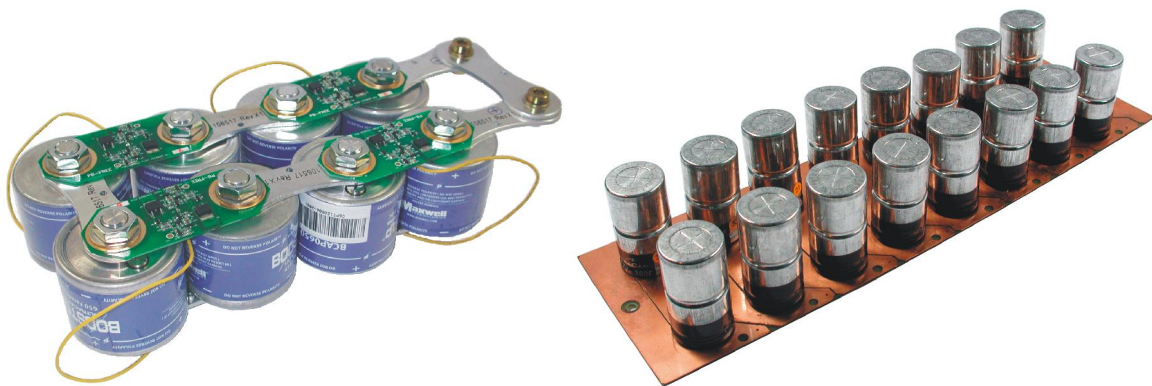


Bild 5: Superkondensatormodule zweier Hersteller (links: Maxwell, rechts: Nesscap) mit aktiver (Maxwell) und passiver (Nesscap) Symmetrierung

Parallel dazu wurden die internen Widerstände (ESR) und die Kapazität untersucht bzw. gemessen. Die Messergebnisse (ESR, Kapazität, Zyklenzahl, Selbstentladung, Temperatur, Leckstrom...) ermöglichen Rückschlüsse über den Alterungsprozess der Maxwell- bzw. Nesscap-Zellen. **Bild 6** zeigt exemplarisch die gemessenen Zellenspannungen bei den Lade-/Entladezyklen der Kondensatoren.

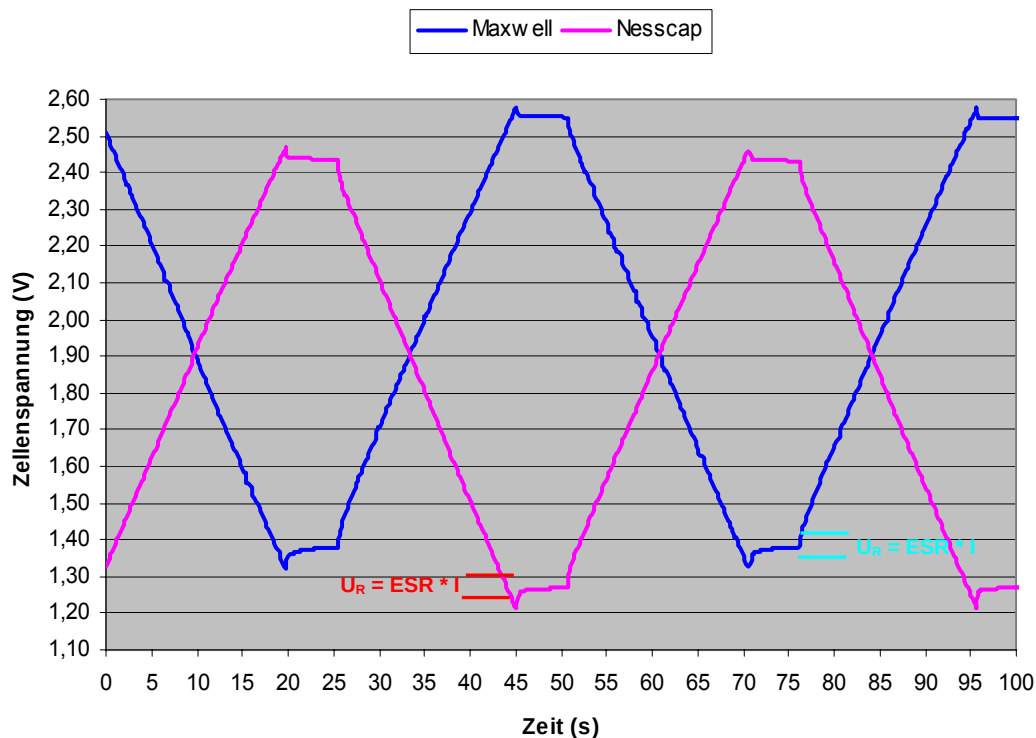


Bild 6: Spannungen (rot und blau) an den Prüflingen bei Belastungsmessung mit Konstantstrom



Bild 7: Maxwell HTM Power Modul 125 V, 63 F

Analog zur oben genannten Untersuchung bearbeitet das Teilprojekt TP02 eine Simulation und den Aufbau von einem Kurzzeitspeichersystem mit Superkondensatoren zur hochdynamischen Verbesserung der Netzqualität z. B. Stabilisierung von ausgewählten Knotenpunkten in ländlichen Netzen.

Hierzu wurden 4 Maxwell HTM Power Module (**Bild 7**) beschafft (insgesamt 16 F und $4 \times 125 \text{ V} = 500 \text{ V DC}$). Die Netzanbindung dieser Module soll über einen Hochsetz-Tiefsetzsteller und einen netzseitigen Pulswechselrichter erfolgen. Die Ergebnisse werden anschließend von den Teilprojekten TP3 und TP4 genutzt.

3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die durchgeführte Klassifizierung der Energiespeicher ermöglicht die Auslegung und Bemessung von unterschiedlichen Speichern für die zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten in dezentralen Netzen. Als zusätzliche Aufgabe wurde hier eine genauere Betrachtung der Flow-Batterien aufgenommen. Die Druckluftspeicher bilden eine interessante Gruppe von Langzeitspeichern, von denen vor allem die adiabaten Systeme sehr vielversprechend sind. Ein weiterführendes Forschungsprojekt wurde hier beantragt, das am EFZN durchgeführt werden soll. Als neue Aufgabe wurde der Aufbau eines Superkondensatorspeichers aufgenommen, was sich aus der Aktualität dieser Speicherart und der bisher unzureichenden Informationslage ergab.

LITERATUR

- [1] W.-R. Canders: *Klassifizierung von Energiespeichern*,
Technischer Bericht des IMAB, TU Braunschweig, 2007-2008
- [2] W.-R. Canders: *Compressed Air Energy Storage (CAES)*,
Technischer Bericht des IMAB, TU Braunschweig, 2007
- [3] A. Guetif, J. Meins: *Energiespeicher*,
1. Statusseminar des Forschungsverbund Niedersachsen, 18. - 19. Juni 2007, Goslar
- [4] A. Guetif, J. Meins: *Untersuchungen von Energiespeichersystemen mit Superkondensatoren*,
Technischer Bericht des IMAB, TU Braunschweig, 2007
- [5] R. Schicke, A. Guetif, J. Meins: *Brennstoffzellensysteme zur Energiespeicherung*,
Technischer Bericht des IMAB, TU Braunschweig, 2008