



Analyse der Kostenstruktur von Batteriespeichersystemen und Entwicklung eines entsprechenden Kostenmodells

Bachelorarbeit

**zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B.Sc.)“ im
Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und
Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen
Fakultät der Leibniz Universität Hannover**

vorgelegt von

Name: Fabienne Marwede



Prüfer: Prof. Dr.-Ing. R. Hanke-Rauschenbach

Betreuer: Dipl.-Ing. A. Bensmann;
Prof. Dr.-Ing. R. Hanke-Rauschenbach;
Prof. Dr. M. Breitner

Hannover, den 16.07.2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung der Arbeit	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Dynamische Investitionsrechnung	5
2.1 Methodische Grundlagen und deren Anwendung auf Speichersysteme	5
2.2 Ersatzbeschaffungen mit unterschiedlichen Lebensdauern	10
2.3 Vereinfachung und Beurteilung der Gleichungen	14
3 Kostenanalyse	16
3.1 Kosten für Batterie und Leistungselektronik	16
3.2 Kosten für die Peripherie	18
3.3 Installations-, Liefer- und Betriebskosten	18
4 Formulierung des Kostenmodells	20
4.1 Fehlerquadratminimierung zur Lösung eines Optimierungsproblems	20
4.2 Komponentenanalyse	20
4.2.1 Leistungselektronik	21
4.2.2 Batterie	23
4.3 Alternativer Kostenansatz	33
5 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse	34
5.1 Vergleich des Gesamtmodells mit den Werten für Gesamtsystem	34
5.2 Unsicherheitsabschätzung	36
6 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	39
7 Literaturverzeichnis	41
Anhang	42
A1: Tabelle: Gesamtkostenübersicht	42
A2 Tabelle: Gesamtübersicht für Kostenverhältnisse	52
A3 Tabelle: Übersicht Kosten Leistungselektronik	55
A4 Tabelle: Übersicht Kosten Bleibatterie	56
A5 Übersicht Kosten Lithium-Ionen-Batterie	59
Ehrenwörtliche Erklärung	60

1 Einleitung

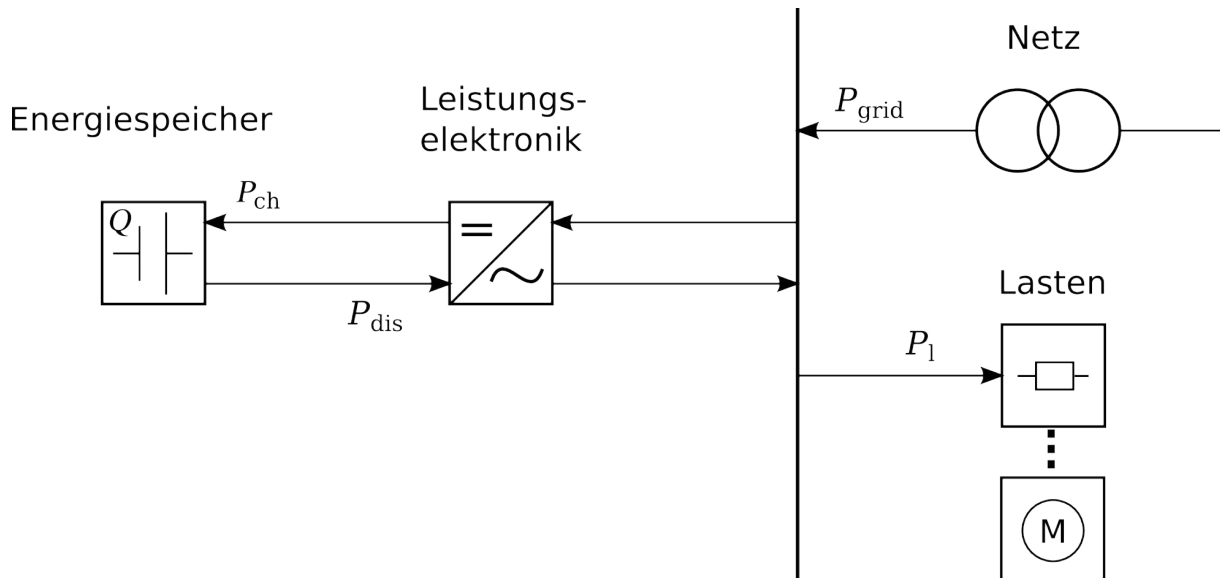
„Der deutsche Elektrizitätsmarkt durchläuft aktuell signifikante Veränderungen.“
(Hayn, 2014)

Diese Aussage bezieht sich auf die Veränderung, die durch die starke Zunahme erneuerbarer Energiequellen bedingt ist und zu einer fluktuierenden, dezentralen und unsicheren Energieerzeugung führt. In der Vergangenheit gab es am Energiemarkt wenige große, konventionelle Kraftwerke, die den Markt dominierten. Heutzutage ist eine Vielzahl kleiner Erzeuger in den Markt integriert. (Hayn, 2014)

Die Veränderungen des Elektrizitätsmarktes wirken sich auf das energiepolitische Zieldreieck aus, welches im Energiewirtschaftsgesetz festgehalten ist. Dieses Zieldreieck besteht aus Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit (McKenna, 2013). Insbesondere der Punkt der Versorgungssicherheit wird im Zuge der fluktuierenden Energieerzeugung zum Problem. Als Maßnahme werden von Anbieterseite unter anderem der Netzausbau und die Installation dezentraler elektrischer Speicherkapazitäten diskutiert. Aber auch die Nachfrageseite kann einen Beitrag zur Versorgungssicherheit und Netzstabilität leisten.

Besonders Industrieunternehmen mit sehr hohen kurzzeitigen Lastspitzen, welche die Energieversorger abdecken müssen, können die Ziele der Energiepolitik positiv beeinflussen. Einen Beitrag zur Netzstabilität kann mit der Hilfe eines Energiespeichers geleistet werden.

Diese mögliche Anwendung eines Energiespeichers mit den zugehörigen Komponenten ist in Abbildung 1-1 skizziert. Dabei würde das System aus dem Energiespeicher, der notwendigen Leistungselektronik, dem Netzanschluss und den Lasten der Unternehmen bestehen. Dabei wird zu Zeiten eines geringen Energiebedarfes des Unternehmens der Speicher mit der Kapazität Q mit der Leistung P_{ch} geladen. Zu Zeiten der Spitzenlast, wird der Bedarf P_1 zum Teil durch die Speicherentladeleistung P_{dis} gedeckt. Auf diese Weise wird die notwendige Spitzenleistung P_{grid} minimiert.



**Abbildung 1-1: Übersicht Anwendung eines Speichersystems,
(in Anlehnung an Hanke-Rauschenbach, 2015)**

Aus Unternehmenssicht reicht im Allgemeinen der Anreiz einen Teil zur Netzstabilität beizutragen jedoch nicht aus um die Investition eines Energiespeichers zu rechtfertigen. Das wesentliche Argument ist daher, dass Unternehmen auf diese Weise vor allem Kosten für die Stromversorgung einsparen. Denn Industriekunden bzw. Kunden mit einem Bedarf über 100.000 kWh/a müssen ihren Bedarf an gesicherter Leistung im Rahmen ihrer Elektrizitätsverträge festlegen und mit einem Leistungspreis (in €/kW) bezahlen (Hayn, 2014).

Aus diesem Grund ist es wichtig für Unternehmen eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Speichieranwendungen im direkten Vergleich durchzuführen. Dabei sollte die optimale Speichertechnologie für die spezifischen Anforderungen eines einzelnen Unternehmens bestimmt werden. Außerdem sollte die Speicherkapazität und -leistung so dimensioniert werden, dass der Gewinn der Unternehmen maximal wird.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Batteriespeicher als eine mögliche Technologie analysiert und ein Kostenmodell für diese konkrete Speichertechnologie formuliert. Dieses Kostenmodell soll im Rahmen der vorher beschriebenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eingesetzt werden.

6 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Die Veränderungen des Elektrizitätsmarktes erfordern einen Beitrag sämtlicher Akteure. Industrieunternehmen können ihrerseits einen Beitrag leisten indem sie ihren Leistungsbedarf minimieren, da auf diese Weise das Netz entlastet wird. Wie lukrativ dieses für die Unternehmen sein kann soll in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung analysiert werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine allgemeingültige Funktion erarbeitet, die es erlaubt Kosten verschiedener Speichertechnologien miteinander zu vergleichen. Dies geschieht indem sämtliche mit dem Speichersystem verbundene Kosten in jährliche Kosten umgerechnet werden. Des Weiteren wurden die wesentlichen Komponenten analysiert, hierbei ergab sich, dass die Hauptkomponenten die Batterie und die Leistungselektronik sind. Für diese Komponenten wurden die Kostenfunktionen in Abhängigkeit der Speicherkapazität und der Leistung bestimmt. Hierfür wurden die Bleibatterie sowie die Lithium-Ionen-Batterie analysiert. Die Funktionen der einzelnen Komponenten wurden addiert und mit den Datensätzen des Gesamtsystems verglichen. Beispielhaft für die Bleibatterie wurde eine Worst-Best-Case-Analyse durchgeführt.

Nun werden die grundlegenden Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit aufgezeigt. Die Kostenfunktionen für Batteriespeicher sind eine vereinfachte Abbildung der Realität. Diese Näherung reicht aber aus um eine Abschätzung für das Unternehmen zu tätigen. Wichtig ist, dass das Modell bei der Entscheidung für oder gegen eine Speicheranschaffung hilft. Außerdem soll auf Basis des Modells die optimale Technologie und Speichergröße bestimmt werden. Für den Fall, dass ein Unternehmen sich auf Basis dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Anschaffung eines Speichers entscheidet, müssten im nächsten Schritt ohnehin konkrete Angebote von Anbietern eingeholt werden. Daher besteht kein Risiko für die Unternehmen.

Im Folgenden wird ein Ausblick gegeben, der sich aus den Resultaten dieser Arbeit ableiten lässt. Damit die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden kann, ist es notwendig, in folgenden Arbeiten, weitere Speichertechnologien zu analysieren. Nur wenn für sämtliche Speichertechnologien ähnlich aufgebaute Kostenfunktionen bestehen, können Vergleiche zwischen den Technologien erfolgen.

Für einige Speichertechnologien könnte es schwierig sein, eine gute Datenlage zu schaffen auf der das Kostenmodell aufbauen kann. Eine direkte Kooperation mit den Speicherherstellern könnte daher sinnvoll sein.

Die Grundlagen für die Herangehensweise der Erstellung von Kostenfunktionen wurden in dieser Arbeit geschaffen, daher können folgende Arbeiten auf diesem Konzept aufbauen. Auch die dynamische Investitionsrechnung und die Kostenfunktionen die dafür entwickelt wurden, können auf andere Technologien übertragen werden.

Des Weiteren kann es sinnvoll sein, über eine bessere stochastische Unsicherheitsabschätzung nachzudenken, da die Daten sehr variieren. Die Worst-Case-Analyse hat aber sehr große Intervalle. Vertrauensintervalle begrenzter Größen könnten daher eine bessere Möglichkeit darstellen.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist in jedem Fall eine ausgezeichnete Möglichkeit für Unternehmen, die hohe Leistungsspitzen und schwankenden Stromverbrauch vorweisen. Insbesondere mit Hinblick auf sinkende Speicherkosten und steigende Kosten für die Stromversorgung, bietet die Idee der Speicheranschaffung sehr großes Potential für die Kosteneinsparung.