

Verhalten eines Photovoltaik-Anlagenbetreibers
beim Stromselbstverbrauch nach EEG
unter Verwendung von Speichern

Masterarbeit

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

vorgelegt von

Name: Tickenheinrich

Vorname: Jens



Erstprüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner



Hannover, den 30.09.2012

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	- 8 -
1.1 Motivation und Zielsetzung	- 8 -
1.2 Aufbau der Arbeit	- 9 -
2 Grundlagen	- 10 -
2.1 Ausgangssituation „e-Home Energieprojekt 2020“	- 11 -
2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen	- 12 -
2.2.1 Eigenverbrauch nach EEG 2009	- 12 -
2.2.2 Änderungen im Zuge des EEG 2012	- 14 -
2.3 Speichertechnologien	- 15 -
2.3.1 Energiespeicher	- 15 -
2.3.2 Batterietechnologien	- 16 -
3 Anforderungen an eine Speichereinheit.....	- 17 -
3.1 Kostenneutralität	- 18 -
3.2 Aufbau und Verschaltung.....	- 18 -
3.3 Kapazitäts- und Leistungsparameter	- 20 -
3.4 Kostenbewertete Verschiebeenergie	- 21 -
3.5 Erweiterter Anforderungskatalog	- 22 -
3.6 Intelligente Steuerung	- 25 -

4	Modellerstellung für technisch-ökonomische Gesamtbetrachtung	- 26 -
4.1	Berechnungsmodell auf Basis von Excel(-VBA)	- 26 -
4.1.1	Modellstruktur und Zielsetzung	- 26 -
4.1.2	Handhabung	- 27 -
4.2	Einflussfaktoren und Variablen	- 35 -
4.2.1	Technische Faktoren	- 35 -
4.2.2	Ökonomische Faktoren	- 37 -
5	Bewertung und Verwendung von realen Messdaten	- 39 -
5.1	Verfügbarkeit realer e-Home Messdaten	- 40 -
5.1.1	Datenlage im e-Home Datenportal	- 40 -
5.1.2	Zeiträume nutzbarer Datensätze	- 41 -
5.2	Bekannte Modellproblematiken realer Eingangsparameter	- 43 -
6	Ergebnisse	- 46 -
6.1	Profilverläufe mit Speichereinheit	- 49 -
6.2	Eigenverbrauchs- und Autarkiequote	- 55 -
6.3	Zyklusvariable Entladetiefe	- 59 -
6.4	Speicherauslastung	- 62 -
6.5	Kostenbewertete Verschiebeenergie	- 65 -
6.6	Renditen	- 65 -
6.7	Sensitivitätsanalyse	- 68 -
6.7.1	Prozentuale Strompreissteigerung	- 68 -
6.7.2	Kapazitätsbezogene Speicherkosten	- 70 -
6.8	Netzauswirkungen aus Sicht des Verteilnetzbetreibers	- 70 -

7	Hilfsansatz synthetisches Lastprofil und Referenzeinspeisung	- 73 -
7.1	Grundüberlegung.....	- 73 -
7.1.1	Referenzeinspeisung aus Photovoltaik.....	- 74 -
7.1.2	VDI Richtlinie 4655	- 74 -
7.1.3	Wetterdaten	- 75 -
7.2	Bekannte Modellproblematiken synthetischer Eingangsparameter	- 76 -
7.3	Ergebnisvergleich realer und synthetischer Eingangsparameter	- 77 -
8	Einordnung und Bewertung der Ergebnisse	- 79 -
8.1	Vor- und Nachteile realer und synthetischer Berechnungen.....	- 79 -
8.2	Potenzialabschätzung.....	- 81 -
8.3	Kritische Bewertung im Gesamtkontext	- 83 -
8.3.1	Modellunsicherheiten.....	- 84 -
8.3.2	Grenzen der Arbeit	- 85 -
8.3.3	Energiepolitische Bedeutung der Ergebnisse	- 85 -
9	Handlungsempfehlungen	- 87 -
10	Fazit und Ausblick	- 88 -
	Literaturverzeichnis	- 90 -
	Anhang	- 94 -
	I Ergebnisübersicht	- 94 -
	II Überlagerungsverläufe der betrachteten zehn e-Home Haushalte	- 96 -
	III VBA-Code für Renditeberechnung im Excel-Tool.....	- 116 -
	Sperrvermerk	- 125 -
	Ehrenwörtliche Erklärung	- 126 -

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Der Zubau an dezentralen Erzeugungsanlagen im Bereich der erneuerbaren Energien hat in Deutschland unter der direkten Förderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung vollzogen. Insbesondere in den Jahren 2010 und 2011 kam es zu einem massiven Zubau an dezentralen, regenerativen Erzeugungsanlagen. Hierbei erfuhr speziell der Bereich der Photovoltaik (PV) einen regelrechten Boom (vgl. BMU 2012a, S. 17, Tab. 6). Trotz diverser regulierender Anpassungen auf Gesetzesebene ist auch in den kommenden Jahren weiterhin mit einem dynamischen Zubau zu rechnen (vgl. Solarserver 2012). Diese Entwicklung stellt die Verteilnetzbetreiber wegen der technologiebedingten un stetigen Einspeisung von Strom aus Photovoltaik in ihr Netz vor neue Herausforderungen. Speziell in den Niederspannungsnetzen kommt es dadurch zu ungewollten Spannungshüben, die aufwendig ausgeglichen werden müssen.

Vor dem Hintergrund dieser energiepolitischen Entwicklungen rund um die Energiewende hat die E.ON Avacon AG im Jahr 2011 als eines der größten regionalen Energieversorgungsunternehmen das „e-Home Energieprojekt 2020“ (kurz: e-Home Projekt) ins Leben gerufen. Hierbei handelt es sich um ein Forschungsprojekt, welches in Zusammenarbeit mit diversen Kooperationspartnern aus dem wissenschaftlichen, industriellen sowie öffentlichen Bereich durchgeführt wird. Ziel des Projekts ist es, die Auswirkungen des Einspeise- und Verbraucherverhaltens in einem zukünftigen, technologisch modern ausgestatteten Haushalt auf das Netz zu analysieren und auszuwerten. Hierfür wurden 32 Haushalte in zwei ausgewählten Gemeinden jeweils mit PV-Anlage, Klimatechnik, Elektrofahrzeug und intelligenter Messtechnik ausgestattet, um mithilfe von regelbaren Ortsnetztransformatoren (rONT) exemplarisch zukünftige Ortsnetze aufzubauen.

Auf der Datengrundlage dieser speziell ausgestatteten Haushalte und der aus dem Projekt beziehbaren Messwerte soll im Rahmen dieser Masterarbeit das Verhalten eines PV-Anlagenbetreibers bei einem teilweisen Selbstverbrauch (auch Eigenverbrauch genannt) des produzierten Stroms nach EEG untersucht werden.

Der Fokus soll dabei auf einer potenziellen Steigerung des Eigenverbrauchsanteils unter Verwendung von Kombinationslösungen bestehend aus PV-Anlage und zusätzlicher Speichereinheit liegen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Im Folgenden soll die Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Arbeit erläutert werden. Unterstützend gibt Abbildung 1 hierzu parallel einen bildhaften Überblick.

Zu Beginn erfolgt in Kapitel 2 eine einführende Grundlagenbetrachtung, bei der zunächst die Ausgangssituation des e-Home Projekts vorgestellt wird. Anschließend werden die rechtlich relevanten Rahmenbedingungen zur Förderung erneuerbarer Energien sowie grundlegende technische Zusammenhänge der Speichertechnologien erläutert.

Im weiteren Verlauf wird in Kapitel 3 auf die Anforderungen an eine Speichereinheit eingegangen. Dabei wird neben technischen und ökonomischen Anforderungen auch eine intelligente Steuerung des Speichers betrachtet.

Nachdem die Anforderungen bestimmt wurden, folgt im nächsten Schritt (Kapitel 4) die Modellierung und Programmierung eines Berechnungstools auf Basis von Microsoft Excel-VBA. Dieses soll unter Berücksichtigung einer technischen und ökonomischen Gesamtbetrachtung in der Lage sein, für einen bestimmten Haushalt die jeweils individuell optimale Speicherkonfiguration zu ermitteln. Neben einer Kurzeinführung zur Handhabung des Tools werden darüber hinaus die für eine Berechnung maßgeblichen Einflussfaktoren und Variablen eingehend erläutert.

In Kapitel 5 werden anschließend die zur Verfügung stehenden realen Messdaten der e-Home Haushalte analysiert, bewertet und schließlich im Rahmen ihrer Qualität genutzt, um ausgewählte Haushalte messtechnisch abzubilden.

Im weiteren Verlauf werden in Kapitel 6 die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt. Darauf aufbauend wird danach auf verschiedene charakteristische Faktoren sowie gegenseitige Abhängigkeiten eingegangen.

Nach Darstellung der Ergebnisse mit realen Messdaten eines bestimmten Zeitbereichs, wird in Kapitel 7 zu Vergleichszwecken ein Hilfsansatz mit synthetischem Jahreslastprofil sowie einer Referenzeinspeisung für einen ausgewählten Haushalt angewandt und die synthetischen Berechnungsergebnisse anschließend mit den realen verglichen.

Anschließend folgt in Kapitel 8 im Rahmen der Einordnung und Bewertung der Ergebnisse eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der verwendeten Messdatenvarianten. Mittels einer Potenzialabschätzung werden die Ergebnisse zudem auf ihre Plausibilität überprüft und im Rahmen des Gesamtkontextes der Thematik eingeordnet sowie einer kritischen Bewertung unterzogen.

Nach dieser Einordnung sollen dem Anlagenbetreiber schließlich in Kapitel 9 Handlungsempfehlungen gegeben sowie in Kapitel 10 ein Fazit gezogen und ein Ausblick über zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich skizziert werden.



Abbildung 1: Aufbau der Masterarbeit | Quelle: Eigene Darstellung

2 Grundlagen

Als Basis für die spätere Modellerstellung dienen die Haushalte im e-Home Projekt. Im Folgenden sollen hierfür zunächst technische sowie rechtliche Grundlagen in Bezug auf das Forschungsprojekt erläutert werden. Außerdem wird im Anschluss eine grundlegende Betrachtung verschiedener Speichertechnologien durchgeführt.

10 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die Renditen einer Speichereinheit für die e-Home Haushalte in einem Bereich von -3 bis 0 Prozent bewegen. Somit befinden sich diese noch nicht in einem Bereich, der sich aus rein ökonomischen Gesichtspunkten als lohnenswert herausstellt. Betrachtet man Haushalte nach dem aktuell gültigen EEG 2012, ist eine Speichereinheit, insbesondere wegen der nicht vorhandenen gesonderten Eigenverbrauchsförderung, noch weit von einem wirtschaftlichen Betrieb entfernt. Es existiert unabhängig von der geltenden gesetzlichen Regelung ein Subventionsbedarf, der bei den modern ausgestatteten e-Home Haushalten (inkl. e-Kfz und Klimaanlage) zwischen 1500 und 3000 Euro anzusiedeln ist. Ein konventionell ausgestatteter Haushalt (ohne e-Kfz und Klimaanlage) benötigt dagegen nur Investitionszuschüsse in Höhe von 1500-2000 Euro. Die zu refinanzierenden Kosten für jede im Speicher zwischengespeicherte Kilowattstunde liegen zwischen 20 und 30 Eurocent. Die Eigenverbrauchsquoten können in den modernen ebenso wie in konventionellen Haushalten absolut um 15-30 Prozentpunkte auf Werte von 35 bis über 90 Prozent gesteigert werden. Für die jeweilige Ausprägung der Eigenverbrauchsquote sind sowohl haushaltsspezifische und als auch individuelle Verbrauchsverhalten von entscheidender Bedeutung. Die Autarkiequoten können absolut um 15-25 Prozentpunkte in modernen Haushalten auf Werte von 35-50 Prozent, in konventionellen Haushalten in engerer Bandbreite auf 45-55 Prozent gesteigert werden. Aus Sicht des Netzbetreibers am Verknüpfungspunkt ergeben sich bezüglich der Leistungsspitzen kaum Veränderungen, was somit keine Auswirkungen auf seine Netzplanung, jedoch tendenziell auf den effizienten Netzbetrieb hat. Aus Sicht der Netznutzungsentgelte besteht wegen der zunehmenden Autarkie der Haushalte in diesem Zusammenhang die Gefahr, dass ihm die ökonomische Grundlage entzogen wird und die Netznutzungsentgelte bei flächendeckender Verbreitung von Speichersystemen als Folge daraus steigen könnten. Kurzfristig ist die Speichertechnologie jedoch weder wirtschaftlich noch technisch ohne ein zumindest moderat einzustufendes Ausfallrisiko nutzbar, da noch keine Langzeittests für eine Lebensdauer von über 20 Jahren existieren, was dem EEG-Förderzeitraum entspricht, über den die Funktionsfähigkeit der Speichereinheit gewährleistet sein soll.

Mittel- und langfristig sind gesellschaftliche und vor allem politische Entscheidungen darüber nötig, ob Speicher zusätzlich gefördert werden sollen. Ohne eine aktive staatliche Förderung der Speichertechnologien werden sich diese, abhängig von den künftigen Fortschritten in Forschung und Entwicklung, zwar voraussichtlich mittelfristig selbst amortisieren können, jedoch erst langfristig in der Lage sein, hinsichtlich ihrer Renditeerwartungen eine Alternative zu anderen Anlageformen, wie einer PV-Anlage ohne Speichereinheit, darzustellen.