



**Probabilistische Sensitivitätsanalyse der Wirtschaftlichkeit
einer Mikro-Photovoltaikanlage**

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B.Sc.)“ im Studiengang Wirtschaftswissenschaften der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von:

Name:

Piel

Vorname: Jan-Hendrik



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 11.08.2014

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
Symbolverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Forschungshintergrund.....	3
2.1 Literaturüberblick.....	3
2.2 Forschungsdesign	7
3 Grundlagen der Mikro-Photovoltaik	9
3.1 Komponenten einer Photovoltaikanlage	9
3.2 Konzept der Mikro-Photovoltaik	12
3.3 Mikro-Photovoltaik im Kontext der dezentralen Energieversorgung.....	13
3.4 Marktentwicklung der Mikro-Photovoltaik	15
3.5 Wesentliche Eingangsparameter einer Mikro-Photovoltaik Investition	16
4 Ausgestaltung des Entscheidungsunterstützungssystems	20
4.1 Discounted Cash-Flow Modell.....	20
4.2 Monte Carlo Simulation	23
4.3 System-Architektur	24
5 Wirtschaftlichkeitsrechnung einer Mikro-Photovoltaikanlage	25
5.1 Erträge	25
5.1.1 Gleichstromertrag.....	26
5.1.2 Wechselstromertrag.....	26
5.1.3 Monetäre Erträge.....	27
5.2 Betriebskosten und Anfangsinvestition.....	27
5.3 Herleitung der Bewertungskriterien	28

6	Fallstudie	29
6.1	Darstellung der Szenarien	29
6.2	Hinreichender Stichprobenumfang	35
6.3	Auswirkungen der Monte Carlo Simulation auf die Bewertungskriterien.....	37
6.4	Probabilistische Analyse der Szenarien	39
6.5	Sensitivitätsanalyse	42
7	Diskussion und Limitationen	46
8	Fazit.....	50
	Literaturverzeichnis.....	52
	Anhang	62

1 Einleitung

Angesichts der zunehmenden Energieknappheit und der wachsenden Umweltbelastung hat sich die Bedeutung der Suche nach einem Ersatz für fossile Brennstoffe im letzten Jahrzehnt maßgeblich erhöht. Der nachhaltigen Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen wie beispielsweise Windkraft, Sonnenenergie oder Biomasse wird daher große Aufmerksamkeit und Wichtigkeit beigemessen. Insbesondere Photovoltaikanlagen als eine umweltfreundliche, unerschöpfliche und zuverlässige Energie-Technologie haben sich in diesem Zusammenhang etabliert. Stetig wachsende Zubauraten haben den Anteil der Photovoltaik (PV) an der deutschen Stromerzeugung fortlaufend erhöht. Wie das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufzeigen konnte, wurden im Jahr 2012 bereits 4,3 Prozent des deutschen Bruttostromverbrauchs durch die Photovoltaik abgedeckt. Im selben Jahr wurde mit 7,6 Gigawatt (GW) zusätzlich installierter Leistung ein neuer Photovoltaikzubau-Rekord aufgestellt. Insgesamt waren am Ende des Jahres 2012 etwa 33 GW Photovoltaikleistung in Deutschland installiert (vgl. Musiol & et.al, 2013, S. 6). Aufgrund der am 23. August 2012 im Bundesgesetzblatt veröffentlichten Novellierung des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG), konnte dieser Trend im Jahr 2013 allerdings nicht bestätigt werden. Vielmehr ergab sich ein um ca. 55 Prozent geringerer Zubau an PV-Leistung als im Vorjahr (vgl. Wirth, 2014, S. 10). Dies ist insbesondere auf die signifikante Vergütungsabsenkung und somit die Kürzung der staatlichen Förderung von Investitionen in Photovoltaikanlagen zurückzuführen (vgl. Enkhardt, 2014).

Wie der SolarContact-Index aufzeigen konnte, war der Rückgang im Jahr 2013 allerdings hauptsächlich dem Großanlagensegment geschuldet. Das Interesse an Neuinstallationen von Photovoltaik-Kleinanlagen bis 30 Kilowatt Peak (kWp) ist hingegen gestiegen (vgl. Märtel, 2014a). Diese Erkenntnis deutet auf einen Paradigmenwechsel im Bereich der Photovoltaik hin. Die Bedeutung von PV-Anlagen, welche auf die Stromeinspeisung in das öffentliche Netz ausgelegt sind, geht zurück. Vielmehr zeigt sich eine Entwicklung „*hin zum Willen, Photovoltaik als umweltfreundliche und unabhängige Unterstützung der eigenen Hausstromversorgung einsetzen zu wollen*“ (Märtel, 2014a). Der Eigenverbrauch des selbst erzeugten Stroms wird insbesondere vor dem Hintergrund der Kürzung der staatlichen Förderungen und der steigenden Strompreise immer interessanter. In diesem Zusammenhang hat sich im Bereich der PV-Kleinanlagen besonders die sogenannte Mikro-Photovoltaikanlage als eine neuartige Form der solaren Stromerzeugung hervorgetan. Mit einer installierten Leistung von 190 bis maximal 390

Watt Peak (Wp) sind diese Anlagen vorwiegend auf den Eigenverbrauch ausgelegt. Eine Einspeisung des erzeugten Stroms in das öffentliche Stromnetz soll ausdrücklich vermieden werden (vgl. Haselhuhn, 2013). Auf diese Weise können zusätzlicher bürokratischer Aufwand und gerichtliche Auseinandersetzungen mit den Energieversorgungsunternehmen (EVU) vermieden werden (vgl. Lesch & Rickers, 2014, S. 31).

Vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklung auf dem Photovoltaik-Markt ist somit davon auszugehen, dass eine Evaluation der Wirtschaftlichkeit einer Mikro-Photovoltaikanlage aus der Sicht potenzieller Investoren, von erhöhtem Interesse ist. Diese Arbeit umfasst daher eine probabilistische Sensitivitätsanalyse einer Investition in eine PV-Kleinanlage mit einer installierten Leistung von 390 Wp. In diesem Zusammenhang sollen insbesondere unterschiedliche Speicherkonzepte in Bezug auf das Kriterium der Wirtschaftlichkeit bewertet werden. Die Evaluation wird mit Hilfe eines Excel-Modells simuliert und analysiert. Innerhalb des Modells wird die Discounted-Cash-Flow Methode verwendet. Sie erlaubt eine Kalkulation der klassischen Bewertungskriterien: Kapitalwert (Projektwert), Amortisationszeit und Kapitalverzinsung (Return On Investment) (vgl. Audenaert, et al., 2010, S. 2674). Eine quantitative Erfassung der mit der Investition verbundenen Risiken erfolgt über eine Monte Carlo Simulation, indem für die risikobehafteten Eingangsparameter Wahrscheinlichkeitsverteilungen festgelegt werden. Ein besonderer Fokus wird auf die Empfindlichkeit der einzelnen Zielgrößen in Bezug auf simulierte Veränderungen der Eingangsparameter gelegt. Diese werden unter Zuhilfenahme der Spreadsheet-basierten Anwendung „Oracle Crystal Ball“ innerhalb einer Sensitivitätsanalyse errechnet. Dabei soll aufgezeigt werden, wie stark die Wirtschaftlichkeit einer Investition in Mikro-Photovoltaikanlagen von verschiedenen Eingangsparametern beeinflusst wird. Die erzielten Ergebnisse sollen letztlich potentiellen Käufern von Mikro-Photovoltaikanlagen bei deren Investitionsvorhaben als entscheidungsunterstützende Informationen zur Verfügung stehen.

Das Thema Nachhaltigkeit erfreut sich im Zusammenhang mit der Informationstechnologie (IT) und den Informationssystemen (IS) einer wachsenden Bedeutung. Diese Entwicklung wird maßgeblich durch die Begriffe Green IT bzw. Green IS geprägt (vgl. Koukal, et al., 2014, S. 2). Green IT zielt auf die Reduzierung der Umwelteinflüsse der Produktion und der Nutzung von IT ab. Green IS bezieht sich hingegen insbesondere auf die Nutzung von IS zur Erreichung umweltökologischer Ziele (vgl. Dedrick, 2010, S. 173). Insbesondere im Kontext der Green IS soll in dieser Arbeit ein IS entwickelt werden, welches zur Diskussion und Beantwortung der folgenden Fragestellungen beiträgt:

(1) Wie kann die Option einer Investition in eine Mikro-Photovoltaikanlage aus Sicht potentieller Investoren hinsichtlich wirtschaftlicher Ziele bewertet werden?

(2) Welche Eingangsparameter haben den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Investition in eine Mikro-Photovoltaikanlage?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird im Folgenden zunächst der Forschungshintergrund durch einen umfassenden Literaturüberblick und eine Erläuterung des Forschungsdesigns genauer beleuchtet. Des Weiteren wird ein Überblick zu den notwendigen Grundlagen bzgl. einer Mikro-Photovoltaikanlage dargestellt. Anschließend erfolgen eine Veranschaulichung der Ausgestaltung des Entscheidungsunterstützungssystems (EUS), eine Herleitung der Wirtschaftlichkeitsrechnung sowie eine Modellierung und Auswertung der Fallstudien hinsichtlich unterschiedlicher Speicherkonzepte. Schlussendlich wird anhand einer Diskussion der Forschungsergebnisse und einer Darstellung der Limitationen der Arbeit, ein abschließendes Fazit gezogen.

2 Forschungshintergrund

Um das Forschungsvorhaben und -ziel dieser Arbeit im Folgenden klar und prägnant zu vermitteln, ist vorab eine Einordnung der Thematik in die bisherige Forschung auf diesem Gebiet notwendig. Die Umsetzung dieser Einordnung erfolgt zunächst über einen umfangreichen Literaturüberblick. Anschließend wird im Kontext der Erläuterung des gewählten Forschungsdesigns die Relevanz der Thematik herausgearbeitet. Ein Bezug zum Beitrag der Forschungsergebnisse für Theorie und Praxis wird hergestellt. Um darüber hinaus den Ansprüchen eines transparenten Forschungsvorgehens gerecht zu werden, wird in diesem Zusammenhang ebenfalls eine umfangreiche Erläuterung der gewählten Research-Methodik vorgenommen.

2.1 Literaturüberblick

Im folgenden Literaturüberblick wird zunächst eine Übersicht zu unterschiedlichen Publikationen aufgezeigt, welche sich im Wesentlichen mit der wirtschaftlichen Evaluation und/oder der Sensitivitätsanalyse von Photovoltaikanlagen auseinandersetzen. In diesem Kontext sollen wichtige Implikationen herausgearbeitet und inhaltliche Abgrenzungen zu dieser Arbeit vorgenommen werden. Ziel ist die Eingliederung der Forschungsfragen in die bestehende Literatur. Die gesamte Literaturrecherche wurde unter Zuhilfenahme der digitalen Bibliotheken ScienceDirect, AISel, IEEE Xplore, JSTOR, SpringerLink, ACM Digital Library und Wiley Online Library durchgeführt. Darüber hinaus wurde auf die Internet-Suchmaschinen Google und Yahoo zurückgegriffen. Eine tabellarische Übersicht zu den im Folgenden erläuterten Publikationen zeigt die Tabelle 1.

in Mikro-Photovoltaikanlagen zunehmend interessanter werden. Darüber hinaus sollten die monetären Vorteile aus abnehmenden Herstellungskosten, welche durch Skaleneffekten entstehen, weiterhin über abnehmende Kaufpreise an die potentiellen Kunden weitergegeben werden. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit von Investitionen und kann somit zu einer erhöhten Nachfrage und einer zunehmenden Durchsetzung der Mikro-Photovoltaik am PV-Markt führen.

8 Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine Bewertung einer Investition in eine Mikro-Photovoltaikanlage aus Sicht potentieller Investoren hinsichtlich wirtschaftlicher Kriterien vorzunehmen. Es sollten insbesondere kritische Eingangsparameter ermittelt werden, die in Zusammenhang mit einem solchen Investitionsvorhaben bestehen. Zu diesem Zweck wurde zunächst das Konzept der Mikro-Photovoltaik umfangreich dargestellt und die Identifikation der Eingangsparameter anhand unterschiedlicher Publikationen durchgeführt. Um anschließend eine Bewertung des Einflusses der Eingangsparameter zu ermöglichen, wurde ein eigenes Discounted Cash-Flow Modell entwickelt und um Wahrscheinlichkeitsverteilungen erweitert. Abschließend erfolgte die Auswertung der Szenarien mittels Bewertungskriterien und Sensitivitätsanalysen.

Die probabilistische Analyse des Modells ergab, dass die Wirtschaftlichkeit einer Mikro-Photovoltaik-Investition stets vor dem Hintergrund der erwarteten Lebensdauer der Anlagen bewertet werden muss. Was die Investition in eine Mikro-Photovoltaikanlage ohne integriertes Speichermedium betrifft, so konnte anhand der errechneten Projektwerte aufgezeigt werden, dass die am Markt beobachtbaren Produktgarantien in Höhe von 10 bis 15 Jahren, den Amortisationszeitraum der Investition abdecken. Andererseits musste festgestellt werden, dass vor dem Hintergrund dieser Produktgarantien, eine Investition in Anlagen mit integrierten Lithium Ionen Batterien derzeit nicht sinnvoll ist. Vielmehr sollte aus wirtschaftlicher Sicht auf ein Elektroauto als externes Speichermedium zurückgegriffen werden. Zwar kann anhand dieser Ergebnisse darauf geschlossen werden, dass Mikro-Photovoltaikanlagen in Zukunft vermehrt durch private Investoren nachgefragt werden, jedoch gilt dies wie anhand der Sensitivitätsanalyse aufgezeigt werden konnte, nur wenn das mit den kritischen Eingangsparametern verbundene Risiko verbessert kontrolliert werden kann. Abschließend kann somit festgestellt werden, dass die Frage, ob eine Investition in eine Mikro-Photovoltaikanlage vor dem Hintergrund wirtschaftlicher Bewertungskriterien sinnvoll ist, differenziert beantwortet werden muss. Einerseits

haben die errechneten Ergebnisse die Vorteilhaftigkeit einer solchen Investition bestätigen können. Andererseits beruhen die Ergebnisse stets auf verschiedenen, im Rahmen dieser Arbeit getroffenen Annahmen hinsichtlich der Eingangsparameter. Somit ist eine allgemeine Beantwortung der gestellten Forschungsfrage nicht möglich. Vielmehr ist stets eine auf den spezifischen Gegebenheiten des jeweiligen privaten Investors beruhende Einzelfallbewertung notwendig. Insgesamt ist die Mikro-Photovoltaik eine sehr sinnvolle Alternative der häuslichen, nachhaltigen und somit regenerativen Energieerzeugung. Sie ermöglicht jedem Bürger die Teilnahme an der dezentralen Energiewende und kann folglich zur Lösung der aktuellen Probleme des Energiesektors beitragen.