

Optimierung  
der Energieversorgung  
von Ein- und Mehrfamilienhäusern

# 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: Stargardt

Vorname: Maximilian



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Betreuer: Tim Brauner

Hannover, den 28.09.2018

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Transformation der Energieversorgung .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Gesetzliche Grundlagen als Ausgangspunkt .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Energieversorgung im Wandel.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Von fossilem Brennstoff zu regenerativen Energiequellen .....	6
2.2.2 Der Mix aus erneuerbaren Energien .....	10
<b>2.3 Energieversorgung von Wohnimmobilien.....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Versorgungssituation und Rebound-Effekt .....	13
2.3.2 Dezentrale Energieversorgung von Wohnimmobilien .....	14
2.3.3 Erneuerbare Energien in Wohnimmobilien .....	15
<b>3 Stand der Technik - Energiekomponenten in Wohnimmobilien.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Photovoltaik-Anlage.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Solartherme.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Wärmepumpe.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Energiespeicher .....</b>	<b>26</b>
3.4.1 Batterien als elektrischer Hausspeicher .....	26
3.4.2 Wasserspeicher als Wärmespeicher des Hauses.....	27
<b>3.5 Elektrisch betriebene Kraftfahrzeuge.....</b>	<b>28</b>
<b>4 Optimierung des Energiesystems einer Wohnimmobilie .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Grundlagen des Modells.....</b>	<b>30</b>
4.1.1 Grundannahmen.....	30
4.1.2 Photovoltaik-Anlage .....	33
4.1.3 Batterie.....	35
4.1.4 Wärmepumpe.....	37
4.1.5 Warmwasserspeicher .....	39
4.1.6 Elektromobilität .....	41
4.1.7 Lastprofile.....	42
4.1.8 Finanzielles Investment .....	43
4.1.9 Nutzungsdauer der Komponenten als Wirtschaftlichkeitsfaktor .....	44

---

<b>4.2 Simulationsführung im Modell .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Energieanalyse eines Mehrfamilienhauses für Singlehaushalte .....</b>	<b>47</b>
4.3.1 Ausgangssituation.....	47
4.3.2 Simulationsergebnisse .....	48
<b>4.4 Energieanalyse eines kinderfreundlichen Mehrfamilienhauses .....</b>	<b>50</b>
4.4.1 Ausgangssituation.....	50
4.4.2 Simulationsergebnisse .....	51
<b>4.5 Energieanalyse eines ländlichen Einfamilienhauses .....</b>	<b>53</b>
4.5.1 Ausgangssituationen.....	53
4.5.2 Simulationsergebnisse .....	54
<b>4.6 Konklusion der Szenarien .....</b>	<b>56</b>
<b>4.7 Limitation des Simulationsmodells .....</b>	<b>60</b>
<b>5 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>63</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Internetverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>A</b>
<b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>IX</b>

# 1 Einleitung

*„Die Energiewende jedes Einzelnen ist unser  
aller Weg in eine bessere Zukunft.“<sup>1</sup>*  
(Torben Gösch, Fachjournalist der Energiewirtschaft)

Die Energiewende ist zu einem zentralen Bestandteil des alltäglichen Lebens in Deutschland geworden. Kein Regierungsvertrag wird geschlossen, in dem nicht in einer vielfältigen Art und Weise die Gestaltung der kommenden Legislaturperiode bestimmt wird. Oberstes Ziel ist dabei, die unter weltweiter Zustimmung vereinbarten Weltklimaabkommen aus dem Jahr 2009 in Kyoto, respektive aus dem Jahr 2015 in Paris einzuhalten. Darin enthalten ist die Reduktion der Klimaerwärmung auf unter 2 % im Vergleich zu vorindustriellen Werten. Da die Klimaerwärmung vorrangig durch die Emission von Treibhausgasen begründet wird, ist eine Reduktion dieser unerlässlich. Stromproduktion durch Kohle und Gas stellt einen der größten Produzenten von Treibhausgasen dar. Da auch die schrittweise Abkehr von der Stromgewinnung aus Kernenergie in Deutschland beschlossen ist, sind erneuerbare Energien als Stromerzeuger die einzig logische Möglichkeit, um den benötigten Strom zu liefern.

Durch die eingeleitete Energiewende und der damit verbundenen Nutzung von erneuerbaren Energien ist der Strompreis inflationsbereinigt im Vergleich zum Jahr 1980 um 300 % gestiegen.<sup>2</sup> Ein Grund dafür sind die gestiegenen Investitionskosten in der Stromerzeugung, die den Preis beeinflussen. Dieses Problem wird im Kapitel 2.1 wieder aufgegriffen.

Ein zentraler Bestandteil der Energiewende ist die Stromerzeugung aus Sonnenenergie mittels Photovoltaikanlagen. Dieser Strom kann sowohl in großen Kraftwerken als auch in kleineren Anlagen auf Wohnimmobilien produziert werden. Der so erzeugte Strom wird jedoch immer schlechter vergütet, wenn er ins öffentliche Netz eingespeist wird. Welcher Gedanke wäre also naheliegender, als den Strom aus der hauseigenen Photovoltaik-Anlage nicht ins öffentliche Netz einzuspeisen, sondern selbst effizient zu verbrauchen und die gesamte Haustechnik darauf abzustimmen, sodass auch eine Speicherung der Energie vorübergehend möglich ist. Sollte das installierte System auch noch eine Kostenersparnis gegenüber einem reinen Netzbezug darstellen, wird aus der logischen Idee eine wirkliche Alternative. Die Ausgestaltung des Energiesystems und die damit verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen werden in dieser Ausarbeitung eruiert.

---

<sup>1</sup> Thomas Schefter (2018a) (siehe Internetverzeichnis).

<sup>2</sup> vgl. Oehler, Stefan (2018), S. 139.

## 5 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend wird aus der aufgegriffenen Idee des möglichst intensiven Verbrauchs von eigens produziertem Strom eine wirkliche Alternative für die Energieversorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern. Durch die optimale Abstimmung der einzelnen Komponenten des Energiesystems wird, gemessen am zur Verfügung stehenden Budget, ein hohes Autarkielevel erreicht. In Bezug auf das investierte Budget steigt die Autarkiequote allerdings nicht proportional, sondern folgt immer dem Verlauf einer klassischen Sättigungskurve. Daher stellt sich beim Aufbau des Energiesystems in einer Immobilie immer auch die Frage, ob Erhöhungen des Investitionsbudgets noch lohnend sind.

Prinzipiell existiert immer eine natürliche Grenze, an der die Kosten durch die das installierte System, das zu einem Teil noch durch Netzbezug des Stroms ergänzt wird, die Kosten des reinen Netzbezuges übersteigen. Eine Autarkiequote nahe 100 % ist nie zu erreichen. Lediglich, wenn davon ausgegangen werden kann, dass auch in Zukunft eine Einspeisung des überschüssigen Stroms ausreichend vergütet wird, kann regelmäßig ein positiver Beitrag zur Deckung der Kosten des installierten Systems geleistet werden.

Unter Beachtung des Wachstums der Autarkiequote im Zuge sukzessiver Erweiterung des Investitionsbudgets ist die Photovoltaik-Anlage immer die erste Komponente, die installiert werden muss. Anschließend wird der saisonale Wasserspeicher installiert. Erst danach ist die Installation einer Hausbatterie unter der Prämisse der Maximierung von Autarkie die Komponente, die zur höchsten Autarkiesteigerung führt. Danach weist die Rangfolge je nach Last der Immobilie verschiedene Varianten der Investitionen auf. Die getätigten Simulationen der Rangfolge von Investitionsmöglichkeiten stellen jedoch eine fiktive Betrachtung dar. Letztendlich sind die Ergebnisse der Simulationen dieser Ausarbeitung immer gesamthaft zu installierende Energiesysteme.

Nicht außer Acht zu lassen ist jedoch, dass die Schlussfolgerungen dieser Arbeit sich auf ein Forschungsfeld beziehen, das einer sehr dynamischen Entwicklung unterliegt. An den Technologien der Energiekomponenten wird fortlaufend geforscht. Eine stetige Entwicklung der Eingangsparameter in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Kosten lässt die Folgerungen dieser Ausarbeitung nicht dauerhaft gültig sein. Eine regelmäßige Aktualisierung auch weiterer Eingangsparameter des Modells muss gewährleistet werden. Weiterhin muss auch überprüft werden, ob das Modell um zusätzliche Komponenten erweitert werden kann. So werden gerade bei Ein- und Mehrfamilienhäusern Fahrräder mit elektrischer Antriebsunterstützung oder auch Rasenmäher-Roboter möglicherweise zu regelmäßigen Komponenten zukünftiger Haushalte.

Aus den Limitationen des Modells ergeben sich weitere Forschungsfelder, die Thema vertiefter wissenschaftlicher Arbeiten werden können.

Letztendlich muss jeder Eigentümer von Wohnimmobilien selbst entscheiden, ob die Installation eines Energiesystems auf Basis erneuerbarer Energien für ihn sinnvoll erscheint. Unter dem Aspekt der Energiewende stellt der Einsatz eines solchen Systems auf jeden Fall eine sinnvolle Investition dar. Wie diese wissenschaftliche Arbeit verdeutlicht, ist die Umstellung in der ökonomischen Betrachtung unter der Voraussetzung der adäquaten Ausgestaltung des installierten Energiesystems letztlich immer positiv.