

Optimierung von Erneuerbare Energien Anlagen in Gewerbeimmobilien

Bachelorarbeit

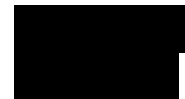
zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B.Sc.)“ im
Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Pieper



Vorname: Sven



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Betreuer: M. Sc. Tim Brauner

Ort, den¹ Hannover, 11.10.18

¹Datum der Beendigung der Arbeit

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iv
Abkürzungsverzeichnis	v
Symbolverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Forschungsfrage der Arbeit	1
1.2 Ziel der Arbeit	2
2 Theorie	3
2.1 Energieverbrauch und Einsparungspotenziale der Industrie in Deutschland	3
2.2 Energiesystemkomponenten	4
2.2.1 Photovoltaikanlage	4
2.2.2 Lithium - Ionen - Akkumulator	6
2.2.3 Elektromobilität	7
2.2.4 Wärmepumpe	8
2.2.5 Warmwasser - Speicher und Beton - Speicher	10
2.3 Anwendungsbeispiel: Green Factory Allgäu	11
2.4 Modelle der Kostenberechnung	12
2.4.1 Nettobarwert und Amortisationsrechnung	12
2.4.2 Annuitätenmethode	14
3 Vorstellung des Modells der Gewerbeimmobilie	15
3.1 Ausgangssimulationsmodell: Energieplus - Haus	15
3.2 Modell der Gewerbeimmobilie	17
3.2.1 Lastprofil	18
3.2.2 Energierzeuger	20
3.2.3 Energiespeicher	26
3.2.4 Energieverbraucher	29
3.2.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	31

4 Implementierung in den Matlab - Code	40
4.1 Autarkiequote maximieren	40
4.2 Ideale Auslegung der Wärmepumpe berechnen	44
5 Anwendung des Modells	47
5.1 Szenarioanalyse	47
5.1.1 1. Szenario - Kleinbetrieb	47
5.1.2 2. Szenario - Großbetrieb	51
5.2 Erkenntnisse	55
5.3 Limitationen	56
6 Fazit und Ausblick	58
Literaturverzeichnis	60
A Anhang	A 1

1. Einleitung

1.1. Forschungsfrage der Arbeit

Sommer 2018. Seit dem Beginn der Wetteraufzeichnungen vor rund 130 Jahren gab es in Deutschland noch nie so viele Tage, an denen es wärmer als $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ war [Lin18]. Auch in anderen Teilen auf der Welt wurden viele Temperaturrekorde gebrochen, wie etwa in Südkalifornien mit mehr als $43\text{ }^{\circ}\text{C}$, in Montreal fast $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ und selbst in Irland wurde von $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ berichtet [Schb]. Der Klimawandel erhöht dabei das Risiko einer solchen Hitzewelle deutlich. Laut einer Studie des Netzwerks World Weather Attribution erhöht sich die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens eines solchen Klimas in Nordeuropa um das Doppelte [AH18]. Es ist schwer möglich einzelne Wetterereignisse auf den Klimawandel zurückzuführen. Jedoch lässt sich erkennen, dass die Wettervorkommnisse auf der Welt zunehmend extremer werden und häufiger vorkommen. Beispiele aus den vergangenen Jahren sind Februar 2011 und 2013: Blizzard in Nordamerika, Mai 2017: Monsun in Sri Lanka und August 2017: Hurrikan Irma in der Karibik.

Seit Beginn der Industrialisierung am Anfang des 19. Jahrhunderts, ist die CO_2 - Konzentration in der Atmosphäre um 40 Prozent gestiegen. Wichtige Gründe hierfür sind die Verbrennung fossiler Ressourcen, wie Öl, Gas, Stein- und Braunkohle, aber auch die Abholzung ganzer Wälder und die Viehwirtschaft [BMU14].

Die sich in der Erdatmosphäre befindenden Treibhausgase, wie Wasserdampf, Methan und Kohlenstoffdioxid bewirken, dass die vom Erdboden reflektierte langwellige Wärmestrahlung der Sonne teilweise absorbiert und anschließend wieder zurück in Richtung Erde emittiert wird. Die Erde erwärmt sich [Umw14].

Bis zum Jahr 2100 wird, durch den Treibhauseffekt verursacht, von einem mittleren globalen Temperaturanstieg zwischen $1,8$ und $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgegangen [Umw13].

Insbesondere der Industriesektor weist den höchsten Energieverbrauch in Deutschland auf. Er trägt sowohl zur wirtschaftlichen Leistung, als auch zur CO_2 - Erzeugung und dem Abbau der endlichen Ressourcen bei [Deu17].

Die Politik versucht dagegen zu steuern. Das zuletzt abgeschlossene Klimaabkommen von Paris im Dezember 2015 ist ein wichtiger Schritt, um den negativen Auswirkungen auf das Klima entgegen zu wirken. Jedoch sind die Klimaziele nur erreichbar, wenn alle Länder weltweit an diesem Ziel mitarbeiten.

Deutschland hat seine bis 2020 gesetzten Ziele revidiert. Nach den eigenen Vorga-

ben, die Treibhausgasemissionen (TRE) bis 2020 um 40 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 zu senken, geht man nun davon aus, dass wohl nur 32 Prozent deutschlandweit eingespart werden können [FAZ18]. Im April 2017 gab das Umweltbundesamt bekannt, dass die erfassten Kraftwerke und Industrieanlagen in Deutschland zum zehnten Mal in Folge ihre TRE in wesentlich geringerem Umfang reduziert haben, als der europäische Durchschnitt [Deu17]. Demnach kann die Bundesrepublik kaum als Vorbild für eine erfolgreiche CO_2 - Reduzierung gelten.

Das Ziel ist die TRE stärker zu reduzieren. Dabei ist das Problem zu lösen, wie durch eine auf erneuerbaren Quellen basierte Energiebereitstellung die Energienachfrage effizient gedeckt werden kann!

1.2. Ziel der Arbeit

Einen bedeutenden Anteil an der CO_2 - Reduzierung und einer effizienten Energiebereitstellung können Erneuerbare Energien haben. Sie nutzen regenerative Energiequellen und ersetzen somit die fossilen limitierten Ressourcen der Erde. Um die TRE reduzieren und dabei die Energienachfrage bedienen zu können, wird die Nutzung regenerativer Energiequellen immer notwendiger.

Derzeit gibt es vermehrt mehr lokale Produzenten, die in der Lage sind durch regenerative Energien Teile ihres eigenen Bedarfs zu decken. Dazu trägt eine Optimierung der Energiesysteme durch eine effiziente Kombination von einzelnen Energiesystemkomponenten (ESK), wie Energieerzeuger und -speicher bei.

In diesem Punkt setzt die Arbeit an. Ziel ist eine Optimierung von Erneuerbare Energien Anlagen am Beispiel einer Gewerbeimmobilie. Dabei soll untersucht werden, in welcher Höhe sich Investitionen in die einzelnen ESK für ein Unternehmen rechnen und welche Autarkiequoten sich dadurch ergeben. Es stellen sich die Fragen: Wie sieht ein optimales Zusammenspiel der ESK für unterschiedliche Betriebsgrößen aus? Wie hoch ist dabei die optimale Autarkiequote? Welche Kosten und Einnahmen ergeben sich? Wie können die dafür benötigten Investitionen finanziert werden?

Kapitel 2 gibt den aktuellen Stand der Technik der verwendeten ESK wieder. Zudem werden entsprechende Kostenberechnungsmodelle vorgestellt. Im 3. Teil ist der Aufbau des verwendeten Energiesystems und die Anwendung des Simulationstools dargestellt. Kapitel 4 erläutert dabei die in Matlab implementierten Algorithmen. Mit dem Modell werden dann im 5. Teil zwei Szenarien von Betriebsgrößen simuliert und die Erkenntnisse und Limitationen genannt. Abschließend konsolidiert Kapitel 6 die wichtigsten Erkenntnisse und Limitationen und bietet mögliche Anregungen zur Weiterführung dieser Arbeit.

6. Fazit und Ausblick

Abschließend fasst dieser Teil die Vorgehensweise in meiner Arbeit zusammen und legt die wichtigsten Erkenntnisse und Limitationen dar. Zudem wird auf mögliche Erweiterungen des Modells eingegangen und ein Bezug zur weiteren Forschung hergestellt.

Die Zielsetzung dieser Arbeit war, für Unternehmen einen effizienten Einsatz von erneuerbaren Energien aufzuzeigen und dabei technische Alternativen zu fossilen Brennstoffträgern zu finden. Dazu ist ein effizientes Zusammenspiel der einzelnen Energiesystemkomponenten erforderlich. Aus wirtschaftlicher Sicht muss eine Optimierung für die Investitionen, als auch für die Finanzierung gefunden werden.

Auf Grundlage der Hausarbeit wurde in dieser Arbeit das Modell des Energieplus - Hauses weiterentwickelt. Das ergänzte Simulationsmodell berechnet dabei die Investitionssumme, bei der die für den Betrieb wirtschaftlich optimale Autarkiequote erreicht ist und zeigt dabei die entstehenden Kosten und Einnahmen pro Jahr auf. Unter Berücksichtigung der Maximierung der Autarkiequote identifiziert das Programm die optimale Investitionsreihenfolge in die einzelnen Energiesystemkomponenten und bietet weitere Möglichkeiten der Effizienzsteigerung durch eine geeignete Auslegung der Wärmepumpe.

Dazu war es zunächst notwendig im ersten Kapitel auf die Relevanz und Aktualität der Thematik hinzuweisen. Die Grundlagen zum aktuellen Stand der Technik stellte Kapitel zwei vor. Dabei wurde auf die Funktionsweisen der Energiesystemkomponenten Photovoltaik, Lithium - Ionen - Akkumulator, Elektromobilität, Wärmepumpe, Warmwasser- und Betonspeicher eingegangen. Zusätzlich erläuterte das Kapitel die Methoden der Kostenberechnung. Die im Simulationsmodell angewandten Techniken wurden im dritten Kapitel beschrieben und die anfallenden Kosten und Ersparnisse in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung untersucht. Zusätzlich sind für die Berechnungen im Simulationsmodell benötigten Formeln erläutert und für die darin verwendeten spezifischen Parameter möglichst realitätsnahe Werte angesetzt worden. Die Möglichkeiten zur Anwendung des Simulationstools wurden mittels Eingabemasken erläutert. Kapitel vier ging dabei auf die implementierten Algorithmen im Programm - Code von Matlab ein. Die Methodik zur Maximierung der Autarkiequote und der optimalen Auslegung der Wärmepumpe ist dabei erläutert worden. Anhand dessen konnte im fünften Kapitel die Maximierung der Autarkie und die Optimierung der Wärmepumpe an dem Szenario eines Klein- sowie Großbetriebes analysiert werden.

Dabei wurde deutlich, dass Investitionen maximal nur bis zu einer Autarkiequote von 90 Prozent wirtschaftlich sein können. Die Größe der Wärmepumpe sollte dabei im Zweifel immer kleiner als zu groß gewählt werden.

Bei Auswertung dieser Ergebnisse müssen dabei vor allem die Limitationen des ungenauen Lastprofils, der zu großen Amortisationszeiten und der COP - Berechnung aus Kapitel 5.3 berücksichtigt werden. Dies kann zu Ungenauigkeiten der resultierenden Ergebnisse führen und von der Realität abweichen.

Eine Weiterführung dieser Arbeit kann vor allem die Erweiterung der Lastprofile sein. Demnach könnten neue Lastprofile für die unterschiedlichen Gewerbearten implementiert werden. Wünschenswert wäre auch eine Implementation des Lastprofils eines real existierenden Betriebes. Beim thermischen Lastprofil könnte zudem noch die Kühllast neben der benötigten Heizlast betrachtet werden. Darüber hinaus kann das Modell um weitere Einsparungen und Kostenfaktoren aus dem Betrieb von Erneuerbare Energien Anlagen erweitert werden.

Im Hinblick auf die zukünftige Forschung können diese Ergebnisse dazu beitragen, das Verständnis von Kosten der Erneuerbaren Energiesysteme zu verbessern. Demnach ist ein effizienter Einsatz der Anlagekomponenten möglich und kann zu vermehrten Investitionen in diesem Bereich führen.