

# Erneuerbare Energien in der Servicewelt – Geschäftsmodelle und Herausforderungen

## 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: Kuhl

Vorname: Sophie



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Ort, den Hannover, den 21.09.2022

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VII
1. Einleitung .....	1
1.1. Forschungsbedarf und Forschungsfragen .....	1
1.2. Ziele und Forschungsmethoden der Arbeit.....	4
2. Experteninterviews .....	5
3. Potenzialanalyse der LUH Dachflächen .....	7
3.1. Photovoltaikanlagen.....	8
3.1.1. Gebäudeauswahl.....	8
3.1.2. Potenzielle Modulflächen, installierbare Leistungen und Stromerträge .....	10
3.1.3. Modulauswahl und Kostenbestimmung einzelner Komponenten .....	15
3.2. Dachbegrünung und Biodiversität.....	21
4. Rechtliche Rahmenbedingungen.....	23
5. Energetische Sanierung .....	25
5.1. Wärmedämmung.....	28
5.2. Wärmepumpen.....	32
5.3. Batterie - Elektrischer und Warmwasserspeicher .....	35
6. Finanzierungs- und Betriebskonzepte .....	37
6.1. Photovoltaikanlagen.....	39
6.1.1. Modell 1: Dachvermietung an Energiedienstleister .....	40
6.1.2. Modell 2: Dachvermietung und Anlagenpacht.....	43
6.1.3. Modell 3: Anlagenkauf .....	53
6.1.4. Modell 4: Dachvermietung und Abschluss eines PPA.....	57
6.2. Ladesäulen für Elektroautomobile .....	62
6.2.1. Modell 1: Kauf und Betriebsführung.....	63
6.2.2. Modell 2: PauLa – Parken und Laden.....	66
7. Diskussion, Implikationen und Handlungsstrategien.....	67
8. Limitationen.....	73
9. Fazit .....	74
10. Ausblick auf weitere Forschung und auf die Praxis.....	76
Literaturverzeichnis .....	77
Anhang.....	82

## 1. Einleitung

### 1.1. Forschungsbedarf und Forschungsfragen

Trockenheit, Überschwemmungen und starke Hitze: Diese extremen Wetterereignisse häufen sich auch in Deutschland zunehmend. In den letzten 50 Jahren hat sich die Anzahl mehr als verdreifacht. Der Meeresspiegel steigt und Ökosysteme drohen zusammenzubrechen. Die Ursache für diese Ereignisse ist der Klimawandel (vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2019).

Die Folgen des Klimawandels reichen weit: Besonders dramatisch ist die Erderwärmung in der Arktis. Alle zehn Jahre nimmt die Fläche des Meereises um etwa zehn Prozent ab. Damit verschwindet nicht nur ein großer Lebensraum für Tiere, sondern es entsteht eine verstärkte Imbalance der Ozeane und des Klimas. Die Ozeane transportieren riesige Wassermengen und haben einen großen Einfluss auf das Erdklima. Der Golfstrom sorgt beispielsweise für ein mildes Klima in Deutschland und Mitteleuropa. Wenn das Eis an den Polkappen weiter schmilzt, fließen große Mengen Süßwasser in das Meer. Das führt zu einer Abnahme des Salzgehaltes und damit zu einer Verlangsamung bis hin zu einer vollkommenen Stilllegung einiger wichtiger Strömungen in den Ozeanen. Ein Abreißen des Golfstroms würde in Nordeuropa ein drastisches Temperaturgefälle bewirken (vgl. Buckow, 2022).

Weitere Folge ist die Ausbreitung von trockenen Klimaregionen und Wüsten, die sich nicht nur auf einzelne Regionen beschränkt, sondern globales Ausmaß annimmt und beispielsweise in Deutschland zu Waldbränden führt.

Dabei verlaufen diese negativen Entwicklungen schneller als es bisher von der Klimawissenschaft erwartet wurde. Das gab der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) in seinem sechsten Sachstandsbericht zur Klimakrise im Jahr 2022 bekannt (vgl. Buckow, 2022).

Umso dringlicher ist es, diesen negativen Entwicklungen entgegenzuwirken. Das Problem sollte nicht nur global, sondern auch lokal von jedem Einzelnen und jeder Institution angegangen werden. Eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen hilft, den Prozess des Klimawandels abzuschwächen.

So wurde auch in der aktuellen Novelle des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) festgehalten, dass der Ausbau von CO<sub>2</sub>-neutralen, erneuerbaren Energien bis 2030 einen Anteil von 80 % des Bruttostromverbrauchs ausmachen soll (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022). Heute werden etwa 240 TWh Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt. Bis 2030 soll der Anteil der Erneuerbaren durch jährlichen Zubau von PV auf 600 TWh steigen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

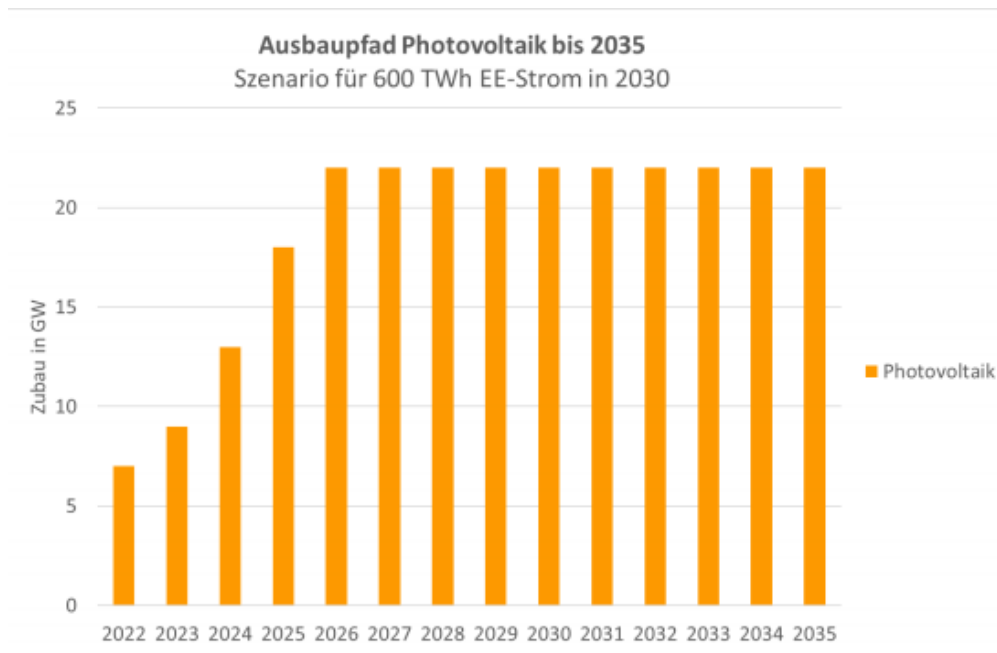


Abbildung 1: Ausbaupfad Photovoltaik bis 2035, Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022

In diesem Bewusstsein möchte die Leibniz Universität Hannover (LUH) einen Beitrag leisten und ihrer gesellschaftspolitischen Verantwortung und Vorbildfunktion nachkommen (vgl. LUH, 2021).

Die Leibniz Universität Hannover hat mit ihren 160 Gebäuden, ca. 30.000 Studierenden und 5.200 Beschäftigten einen erheblichen Anteil an den den lokalen CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Das Präsidium der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität, 2022).

Seit 2017 bezieht die LUH Ökostrom über die Landesauschreibung des Landes Niedersachsen, der vom Land selbst mit der Emissionsmenge  $0 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$  bilanziert wird, da dieser ausschließlich aus Erneuerbaren Energien gewonnen wird<sup>1</sup>.

Zum Heizen wird Fernwärme von enercity bezogen (vgl. Experte 1, 2022). Diese wird energetisch mit einem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 91 kg CO<sub>2</sub> pro MWh bilanziert (vgl. Poyry Deutschland GmbH; Dr. - Ing. Daniel Schwier, 2022).

<sup>1</sup> Anmerkung: Diese Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen betrachtet lediglich den Betrieb der Anlagen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Herstellung der Anlagen wird nicht betrachtet. Deshalb ist die Bilanzierung des Ökostroms mit  $0 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$  unvollständig.

Das Gebäude 2501 (der Altbau Chemie) hatte im Jahr 2020<sup>2</sup> einen Wärmeverbrauch von 2.579 MWh wie man der Tabelle 28 im Anhang entnehmen kann. Dies entspricht dem Energiebedarf von über 550 Vier-Personen-Haushalten und einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 237.707 kg.

Es wird deutlich, dass die Strom- und Wärmeverbräuche erheblich sind. Es werden unterschiedliche Konzepte, wie beispielsweise der Ausbau von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) auf Universitätsgebäuden, die Installation von Ladesäulen für Elektroautos oder die energetische Sanierung einiger Gebäude z.B. durch den Einsatz von Wärmepumpen untersucht.

Es wird weiterhin untersucht, ob selbst erzeugter Solarstrom die Energiekosten der LUH senkt. Diese betragen im Jahr 2020 über zwölf Millionen Euro. Der Stromverbrauch betrug 57.700 MWh und der Strompreis lag bei 21,2 ct/kWh (vgl. LUH, 2021).

Im Jahr 2015 hat das Präsidium der LUH ein Integriertes Klimaschutzkonzept (IKSK) entworfen. Das IKSK umfasst unter anderem die Erarbeitung einer Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz, Prognosen für den Stromverbrauch der LUH bis 2049, sowie die Analyse und das Aufstellen von Zukunftsszenarien. Es werden umfangreiche Potentiale für die LUH aufgezeigt und drei Szenarien vorgestellt, die verschiedene Entwicklungspfade für die LUH beinhalten.

Im Trendszenario unter den gesetzten Rahmenbedingungen der stetigen Preissteigerungen wird davon ausgegangen, dass Mehrkosten von etwa 58 Millionen Euro für die LUH entstehen würden.

Im Szenario der ambitionierten Verbrauchsreduktion können Einsparungen von 14,5 Millionen Euro entstehen. Das klimaneutrale Szenario kann zu Einsparungen von bis zu 84 Millionen Euro führen (vgl. Energie- und Umweltmanagement Dezernat 2 Gebäudemanagement, 2019).

Es sind unterschiedliche Finanzierungen für den Ausbau der PV-Anlagen möglich. Die Wirtschaftlichkeit muss gewährleistet sein. Ein vollständiger und geeigneter Plan für die Finanzierung ist essenziell. Diese Arbeit vergleicht unterschiedliche Finanzierungs- und Betriebskonzepte für den Ausbau von PV-Anlagen auf Universitätsgebäuden, sowie E-Ladesäulen und die energetische Sanierung der Leibniz Universität Hannover. Sie soll damit einen Beitrag zur Realisierung von klimafreundlichen Konzepten leisten und zur Erreichung des übergeordneten Ziels, die LUH bis 2031 bilanziell klimaneutral zu gestalten, beitragen.

---

<sup>2</sup> Anmerkung: Die Jahre 2020 und 2021 waren in vielerlei Hinsicht stark von der Covid19-Pandemie beeinflusst. Zum Infektionsschutz wurden Maßnahmen ergriffen, die sich auf den Gebäudebetrieb ausgewirkt haben (vgl. Stinner, Kümpel und Müller, 2021). Zeitweise war Studierenden und Mitarbeitenden der Zugang zu Gebäuden der LUH nicht mehr möglich (vgl. LUH, 2020). Laut einer Studie von Stinner, F., Kümpel, A. und Müller, D., die den Energieverbrauch in kommunalen Gebäuden während Covid-19 Maßnahmen untersucht hat, wurde in den Jahren 2020/2021 eine durchschnittliche Senkung des Stromverbrauchs von ca. 12 % erreicht. Durch die Schließung von Gebäuden ist von einer Senkung des Wärmeverbrauchs im Jahr 2020 auszugehen. Die durchschnittlichen Strom- und Wärmeverbräuche können dementsprechend unter normalen Bedingungen höher angesetzt werden.

## 1.2. Ziele und Forschungsmethoden der Arbeit

Zunächst wird eine Potenzialanalyse der Dachflächen der Leibniz Universität durchgeführt. Hier werden die Potenziale hinsichtlich ihrer Nutzung für den Ausbau von Photovoltaik und der Begrünung von Dachflächen und damit Schaffung von mehr Biodiversität beurteilt.

Im Zuge der Potenzialbeurteilung für Photovoltaik werden unterschiedliche Methoden angewendet, um adäquate Forschungsergebnisse zu erzielen.

Zu diesen zählt die Befragung und der Austausch mit Experten der LUH, sowie des Energiedienstleisters enercity. Weiterhin werden anhand verschiedener Tools die potenziellen Modulflächen, installierbaren Leistungen und Stromerträge der Dachflächen bestimmt.

Im Rahmen umfangreicher Recherchen werden die Kosten des Ausbaus von PV bestimmt und Möglichkeiten für eine energetische Sanierung vorgestellt.

Weiterhin werden die wichtigen Forschungsfragen **„Welche Finanzierungs- und Betriebsmodelle stehen für den Ausbau von Photovoltaik und einer Ladeinfrastruktur zur Verfügung?“**, sowie **„Welches Finanzierungs- und Betriebsmodell ist für die LUH am besten geeignet?“** beantwortet.

Wesentliche Ziele sind die Ausarbeitung, der Vergleich und die Beurteilung der Modelle hinsichtlich ihrer Eignung für die LUH. Die Ergebnisse werden diskutiert und es werden Handlungsempfehlungen für die LUH abgeleitet. Zudem werden allgemeingültige Empfehlungen bezüglich des Entwurfs von Geschäftsmodellen für den Ausbau erneuerbarer Energien gegeben.

Durch die Befragung und den Austausch mit Experten unterschiedlicher Bereiche soll das Forschungsziel erreicht werden. Es werden die Chancen und Herausforderungen der Modelle sowie die Herausforderungen der Kombinationen der Modelle verdeutlicht.

## 9. Fazit

In dieser Arbeit konnten viele Themen behandelt und umfassende Erkenntnisse gewonnen werden.

Aus der durchgeführten Potenzialanalyse der Dachflächen der LUH konnten unterschiedliche Daten wie potenzielle Modulflächen, mögliche Stromerträge und installierbare Leistungen für PV-Anlagen ermittelt werden. Dies war unter anderem durch die Nutzung des Solarkatasters möglich. In diesem Schritt konnte eine Kostenanalyse für mögliche PV-Module durchgeführt werden. Weiterhin wurde im Rahmen der Potenzialanalyse die Möglichkeit der Dachbegrünung aufgegriffen und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt. Die Dachbegrünung kann temperatenausgleichend wirken und die Biodiversität fördern. Nachteil der Dachbegrünung in Kombination mit dem Ausbau von PV sind die höheren Montagekosten.

In den weiteren Schritten wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen der LUH geklärt und der Aspekt der energetischen Sanierung aufgegriffen und diskutiert. Dabei wurde auf die Möglichkeiten der Wärmedämmung, den Einsatz von Wärmepumpen und von batterie-elektrischen Speichern, sowie Warmwasserspeichern eingegangen. Durch eine Diskussion wurde deutlich, dass im Rahmen der Wärmedämmung großes Ausbaupotential besteht und eine Fachberatung für die LUH sinnvoll ist. Ebenso wurde deutlich, welches Potenzial Wärmepumpen in Kombination mit PV-Anlagen aufweisen können. Es wurde aufgezeigt, dass der Kauf von batterie-elektrischen Speichern zurzeit noch nicht wirtschaftlich ist und dass die Wirtschaftlichkeit von Warmwasserspeichern in einer weiteren Analyse untersucht werden muss, um konkrete Aussagen zur Wirtschaftlichkeit liefern zu können.

Im Hauptteil der Arbeit wurden die verschiedenen Finanzierungs- und Betriebskonzepte für PV-Anlagen und Ladesäulen umfassend vorgestellt. Deren einzelne Vor- und Nachteile wurden dargestellt und einzelne Kosten aufgeschlüsselt. Dabei wurden nach Absprachen mit Experten Annahmen getroffen, um einen konkreten Vergleich für eine 200 kWp-Anlage aufstellen zu können.

In der anschließenden Diskussion wurden die Finanzierungs- und Betriebskonzepte hinsichtlich ihrer Kosten und Erträge, sowie potenziellen Risiken bewertet und Handlungsstrategien für die LUH aufgezeigt.

Dabei erwies sich das Geschäftsmodell 4 „Dachvermietung und Abschluss eines PPAs“ als das lukrativste für die LUH, die wie in Kapitel 4 herausgearbeitet ab 2023 in eine Trägerschaft einer rechtsfähigen Stiftung des öffentlichen Rechts überführt wird. Im vierten Geschäftsmodell lassen sich unter Ausschluss von Risiken unter den getroffenen Annahmen die dritthöchsten Erträge für die LUH generieren. Für die Anwendung des vierten Geschäftsmodells müssen Lastgänge abgeglichen und damit ein PPA-Preis bestimmt werden. Der einzige Nachteil gegenüber dem Modell 1 ist die Ausschreibungspflicht, die die Umsetzung des Projektes verzögert.

Geschäftsmodell 1 „Dachvermietung an Energiedienstleister“ kann an zweiter Stelle zur Umsetzung empfohlen werden. In diesem Modell treten ebenfalls keine Risiken auf. Die Erlöse sind jedoch geringer.

Das dritte Geschäftsmodell „Anlagenkauf“ wird der LUH zur Umsetzung nicht empfohlen, da die Erträge selbst im optimalen Fall nicht so hoch wie die des vierten Geschäftsmodells ausfallen und für die LUH in diesem Modell die relativ höchsten Risiken bestehen.

Das zweite Geschäftsmodell „Dachvermietung und Anlagenkauf“ kann in zwei Szenarien höhere Erträge als Geschäftsmodell 4 liefern, ist aber wesentlich risikoreicher, weshalb es nicht empfohlen wird.

Von den beiden vorgestellten Geschäftsmodellen für Ladesäulen ist das Modell Kauf und Betriebsführung zu empfehlen, da die jährlichen Kosten lediglich 200 € über denen im Modell „PauLa“ liegen. Dafür ist die LUH im Modell Kauf und Betriebsführung im Besitz der ZAS und kann den Strom kostenfrei für Mitarbeitende und Studierende anbieten. Der geladene Strom kann jährlich zu einer Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 28.000 kg<sup>20</sup> während des Fahrbetriebs beitragen.

Allgemein wurde festgestellt, dass es lohnend ist, die Geschäftsfelder für Photovoltaik, Ladesäulen und Wärmepumpen weiterhin stetig zu verknüpfen und auch dort Ausbaupfade für weitere Geschäftsmodelle zu schaffen. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Leibniz Universität kann stark reduziert werden, sodass die Maßnahmen die geplante bilanzielle Klimaneutralität der Leibniz Universität bis 2031 unterstützen.

Die zentralen Fragestellungen dieser Arbeit konnten damit beantwortet und die Hauptziele erreicht werden.

Ein Ausblick auf die weitere Forschung und Praxis folgt.

---

<sup>20</sup> Dies gilt unter der Annahme, dass an 300 Tagen im Jahr täglich sechs Personen ihr Elektroauto an einer ZAS vollladen, anstatt ihren Diesel-PKW zu betanken.