Fachbereich Ingenieurswissenschaften

-Energetisch Ökologischer Stadtumbau-

Potenzialanalyse der Dachflächen für Photovoltaiknutzung in einem gründerzeitlichen Quartier und Optionen des genossenschaftlichen Betriebes

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Engineering (M.Eng.)

Vorgelegt von

Julia Schließauf

39526

Betreuer: *Prof. Dr.-Ing. Rainer Große – Hochschule Nordhausen*

Zweitbetreuer: *Dr. Kersten Roselt -JENA-GEOS – Ingenieurbüro GmbH*

Abstrakt

Die vorliegende Masterarbeit zielt einerseits darauf ab zu bestimmen, welche Dachflächen sich in einem bestehenden Quartier in Altenburg (Thüringen) für die Nutzung für Photovoltaikanlagen eignen und andererseits die erwartbaren jährlichen, solaren Erträge dieser Anlagen zu bestimmen Diese Photovoltaikanlagen sollen durch eine Energiegenossenschaft verwaltet werden. Zur Organisation der Energiegenossenschaft braucht es ein Modell zur Vor-Ort-Versorgung mit Strom. Verschiedene Modelle werden betrachtet und ein Modell wird zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit angewendet.

Zur Ermittlung der solaren Erträge wurden Daten des „Solarrechner Thüringen“ verwendet und die Ergebnisse grafisch dargestellt. Ungeeignete Häuser werden mittels Kriterien ausgeschlossen, um mögliche Häuser zu identifizieren. Es erfolgt eine wirtschaftliche Betrachtung verschiedener Haustypen und es wird herausgefunden, ob ein wirtschaftlicher Betrieb durch eine Energiegenossenschaft im Quartier möglich ist.

Abstract

The present master thesis aims to identify which kind of roof areas in a whilhelminian district in Altenburg (Thüringen) are suited for solar power. Further the thesis aims to estimate the expected anual earnings solar power. The photovoltaic sytems are to be organized and managed by an energy cooperative. Different models for an on-site supply will be considered and one of those models will be applied.

To determine solar earnings, data from the „Solarrechner Thüringen“ are analysed and presented graphically. Potential buildings are choosen using criteria, resulting in a set of suitable buildings for on site supply with solar power. An economic evalution of different building types is performed.

Danksagung

Herzlicher Dank gebührt meinen Betreuern Prof.Dr.-Ing. Rainer Große und Dr. Kersten Roselt, deren Hinweise und Ratschläge mir stets eine große Hilfe bei der Erstellung dieser Arbeit waren. Außerdem danke ich Daniel Cebulla von JENA GEOS® für seine Unterstützung.

Ich danke auch Markus Lohr von der DE[NK]ZENTRALE ENERGIE GmbH für die Bereitstellung des „Kalkulationstolls Mieterstrom“ und Sebastian Albert-Seifried von Ö-quadrat GmbH für die Bereitstellung des „EWS Batteriespeichertool“.

Ein besonderes Dankeschön von ganzem Herzen gebührt meinen Eltern für den Rückhalt und deren Mithilfe bei dieser Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS ..... **VII**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ..... **VIII**

TABELLENVERZEICHNIS ..... **X**

1 EINLEITUNG **1**

2 TECHNISCHE UND RECHTLICHE VORAUSSETZUNGEN **3**

2.1 Photovoltaik-Anlagen zur Stromproduktion 3
2.1.1 Photovoltaik-Ausbau in Deutschland 4
2.1.2 Arten der Solarzellen 6
2.1.3 Kosten und Wirtschaftlichkeit 8
2.1.4 Fördernde und hemmende Faktoren 9
2.1.5 Prognose und Potenzial 11

2.2 Batterien zur Stromspeicherung 11
2.2.1 Batterie-Ausbau in Deutschland 12
2.2.2 Arten der Batteriespeicher 14
2.2.3 Kosten und Wirtschaftlichkeit 16
2.2.4 Fördernde und hemmende Faktoren 16
2.2.5 Prognose und Potenzial 17

2.3 Modelle für die Vor-Ort-Versorgung 18
2.3.1 Direktverbrauchmodell 18
2.3.2 Eigenverbrauchsmodell 20
2.3.3 Pachtmodell 21
2.3.4 Mieterstrommodell 22
2.3.5 Quartiersmodell 23
2.3.6 Übersicht der Vor-Ort-Versorgung 25

2.4 Energiegenossenschaft als Rechtsform 26

2.4.1 Ausbau in Deutschland 28
2.4.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit 29
2.4.3 Fördernde und hemmende Faktoren 30
2.4.4 Prognose und Potenziale 32

2.5 Mieterstrom-Modell als Geschäftsmodell 34
2.5.1 Ausbau in Deutschland 34
2.5.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit 36
2.5.3 Fördernde und hemmende Faktoren 39
2.5.4 Prognose und Potenziale 41

3 METHODIK 43

3.1 Ortsbegehung 43

3.2 Ermittlung Solare Erträge mittels Solarrechner Thüringen 45

3.3 Ermittlung potenzieller Gebäude für Photovoltaik-Anlagen 46

3.4 Auswahl des Werkzeuges für die Wirtschaftlichkeitsberechnung 46

3.5 Befragungen von Akteur*innen 47

4 BESCHREIBUNG DES MODELLQUARTIERS 48

4.1 Quartierseingrenzung 48

4.2 Stadtraumtypen 49

4.3 Demografische Entwicklung 52

4.4 Wirtschaftliche Lage 53

4.5 Klimatische Bedingungen 54

4.6 Leerstand 54

4.7 Bauzustand - Sanierungszustand der Häuser 55

4.8 Aktueller Stand Nutzung Photovoltaikanlagen 57

4.9 Aktueller Strombedarf ... 58

5 POTENZIALANALYSE UND BEWERTUNG DER GEBÄUDE IM MODELLQUARTIER ... 62

5.1 Auswahl potenzieller Häuser: Selektionsschritte ... 64
5.1.1 Ungeeigneten Dachflächen ... 64
5.1.2 Anforderungen des Mieterstromgesetzes ... 66
5.1.3 Kleinteilige und verwinkelte Dachformen ... 68
5.1.4 Denkmalschutz ... 69
5.1.5 Zusammenfassung ... 70

5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Vergleich typischer Gebäudetypen des Quartiers ... 72
5.2.1 Beschreiben der Gebäudetypen ... 73
5.2.2 Kostenannahmen für die Berechnung ... 76
5.2.3 Vergleich der Gebäudetypen im Quartier ... 78

5.3 Bewertung von Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Mieterstromprojekten ... 86
5.3.1 Anzahl der Wohneinheiten ... 86
5.3.2 Beteiligungsquote ... 88
5.3.3 Steigerung des Strompreises ... 90
5.3.4 Anlagengröße ... 91

5.4 Darstellung potenzieller Häuser für die Anwendung des Mieterstrommodells im Quartier ... 92

5.5 Technischer und wirtschaftlicher Betrachtung eines bautypischen Gebäudes ... 95
5.5.1 Beschreiben des Gebäudes ... 96
5.5.2 Lastgangprofile ... 97
5.5.3 Rendite ... 100

5.6 Potential der Freiflächen ... 101

5.7 Bewertung des wirtschaftlichen Betriebes als Energiegenossenschaft 103

6 ZUSAMMENFASSUNG 105

LITERATURVERZEICHNIS 107

ANHANG 113

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit
CO_2	Kohlenstoffdioxid
Dena	Deutsche Energie-Agentur
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
€	Euro
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr
kWh/kW_p	Kilowattstunden pro Kilowattpeak
kWh/kWp pro a	Kilowattstunde pro Kilowattpeak pro Jahr
kWp	Kilowattpeak
m^2	Quadratmeter
MWh/a	Megawattstunden pro Jahr
PV	Photovoltaik
ThEGA	Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur
t/a	Tonnen pro Jahr

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung des Anteils Erneuerbarer Energien am Netto-Stromverbrauch in Deutschland 4

Abbildung 2: Anteil der Photovoltaik in Städten 5

Abbildung 3: Durchschnittlicher Preis (Netto) für installierte Aufdachanlagen von 10- 100 kWp 8

Abbildung 4: Entwicklung der EEG-Umlage 10

Abbildung 5: Geographische Verteilung der Solarspeicher in Deutschland 13

Abbildung 6: Anteile der Eigentümer von Photovoltaikanlagen Ende 2016 29

Abbildung 7: Geographische Verteilung nach Bundesländern 35

Abbildung 8 Quartiersgrenze des Modellquartiers 49

Abbildung 9 Stadtraumtypen im Modellquartier 51

Abbildung 10 Leerstand der Häuser im Modellquartier 55

Abbildung 11 Bauzustand der Häuser im Modellquartier 56

Abbildung 12 Strombedarf in kWh pro Jahr der potenziellen Gebäude für das Mieterstrommodel 60

Abbildung 13 Basisszenario: Potenzieller jährlicher Gesamtertrag in kWh aller Dachflächen für das Modellquartier 63

Abbildung 14 Solare Eignung der Dachflächen im Quartier für die Nutzung von Photovoltaikanlagen 65

Abbildung 15 Potenzielle Dachflächen mit Erträgen nach Wegfall von Dachflächen durch Einschränkungen des Denkmalschutzes 70

Abbildung 16 Ergebnis der Sensitivberechnung Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude 87

Abbildung 17 Ergebnis der Sensitivberechnung Beteiligungsquote am Mieterstromprojekt im Gebäude 88

Abbildung 18 Ergebnis der Sensitivberechnung Strompreissteigerung 90

Abbildung 19 Ergebnis der Sensitivberechnung Größe der Photovoltaikanlage 91

Abbildung 20 Darstellung aller potenziellen Dachflächen für die Anwendung des Mieterstrommodells im Quartier 93

Abbildung 21 Kartenausschnitt mit Luftbildaufnahme der Wenzelstraße 38 96

Abbildung 22 Straßenansicht des Hauses in der Wenzelstraße 38 96

Abbildung 23 Lastgangprofil Winter Kalenderwoche 1 97

Abbildung 24 Lastgangprofil Sommer Kalenderwoche 21 98

Abbildung 25 Verteilung der Solarproduktion in Eigenverbrauch und Einspeisung 99

Abbildung 26 Verbrauchsperspektive der beteiligten Mieter*innen 100

Abbildung 27 Erzeugungsperspektive der Photovoltaikanlage 100

Abbildung 28 Potenzielle Freiflächen zur Photovoltaiknutzung im Quartier 101

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Übersicht Solarzellen 6

Tabelle 2 Übersicht über Batteriespeicherarten 14

Tabelle 3 Übersicht über die Modelle der Vor-Ort-Versorgung 25

Tabelle 4 Übersicht Rechtsformen 27

Tabelle 5 Übersicht der Gebäudemerkmale aus der Ortsbegehung 44

Tabelle 6 Übersicht der Akteur*innen 47

Tabelle 7 Übersicht der im Quartier vorhandenen Stadtraumtypen nach Everding und Kloos (2007) angepasst 50

Tabelle 8 Übersicht der Sanierungsarten- und Verteilung..... 57

Tabelle 9 Übersicht der Gewerbe- und städtischen Gebäude mit den potenziellen solaren Erträgen, Leistungen und dem tatsächlichen Strombedarf..... 67

Tabelle 10 Übersicht der unterschiedlichen Szenarien mit den potenziellen solaren Erträgen aus Photovoltaikanagen und CO_2-Einsparung..... 71

Tabelle 11 Haustypen im Modellquartier 73

Tabelle 12 Übersicht aller Gebäudetypen im Quartier mit Haus- und Photovoltaikeigenschaften und wirtschaftlicher Bewertung..... 82

Tabelle 13 Übersicht der unterschiedlichen Szenarien mit den potenziellen solaren Erträgen aus Photovoltaikanagen 94

Tabelle 14 Mengenverteilung der Haustypen im Quartier 95

Tabelle 15 Potenzielle Erträge der Freiflächen im Quartier 102

Tabelle 16 Vergleich der möglichen Varianten im Quartier für den wirtschaftlichen Betrieb einer Energiegenossenschaft 103

1 EINLEITUNG

Um den zukünftigen Energiebedarf auf umweltgerechte Weise zu erzeugen, bietet die Anwendung von Photovoltaik gute Voraussetzungen. Zudem ist es sinnvoll den Strom dort zu erzeugen, wo er verbraucht wird, und zwar in den Städten.

Städte sind für 80 % der Treibhausgase verantwortlich und verbrauchen 75 % der produzierten Energie. Durch die zunehmende Landflucht werden Städte zukünftig weiter wachsen. Schon heute leben 67 % der Menschen in Städten und Prognosen besagen, dass bis 2050 80% der Menschen in Städten leben werden (Doleski 2017, 658; BMZ).

Und dennoch werden regenerative Anlagen, wie Photovoltaikanlagen meist nur im ländlichen Raum verbaut (Will und Zuber 2017, 10). Dies wirft die Frage auf, ob es im urbanen Raum keine solaren Potenziale gibt.

Oft wird argumentiert, dass die Auflagen des Denkmalschutzes in einem denkmalgeschützten Quartier die Installation von Photovoltaikanlagen ausschließen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird anhand eines bestehenden gründerzeitlichen, denkmalgeschützten Quartiers ermittelt, welche Dachflächen sich für die Nutzung von Photovoltaikanlagen eignen. Kriterien wie Denkmalschutz, Eignung der Dachflächen für eine Photovoltaiknutzung und die Wirtschaftlichkeit des Betriebes der Photovoltaikanlagen werden berücksichtigt. Dafür werden unterschiedlichste Gebäudetypen im Quartier untersucht.

Für eine erfolgreiche Energiewende braucht es die Beteiligung der Bürger*innen. Daher soll die Organisation der Photovoltaikanlagen und der Vertrieb des entstandenen Stromes innerhalb einer Energiegenossenschaft

erfolgen. Dazu werden unterschiedlichste Vor-Ort-Versorgungs-Modelle betrachtet und die Wirtschaftlichkeit anhand eines Modells berechnet.

Häufig ist die Wirtschaftlichkeit von Energiegenossenschaften nur durch reines Ehrenamt möglich. Im Rahmen dieser Arbeitet wird betrachtet, ob die Ressourcen des Quartiers ausreichen, um Arbeitsstellen in einer Energiegenossenschaft zu schaffen.

2 TECHNISCHE UND RECHTLICHE VORAUSSETZUNGEN

Für die Durchführung der Potentialanalyse von Photovoltaikanlagen auf Dachflächen werden technische und rechtliche Rahmenbedingungen benötigt.

Diese sind:

- Photovoltaikanlagen zur Stromproduktion
- Batteriespeicher zu Speicherung des selbst produzierten Stromes

und

- Modelle der Vor-Ort-Versorgung als Organisationsformen
- Energiegenossenschaft als Rechtsform

2.1 Photovoltaik-Anlagen zur Stromproduktion

Um Strom aus regenerativen Energiequellen und unabhängig von Stromlieferanten zu produzieren, können Photovoltaikanlagen genutzt werden. Vor allem in städtischen Quartieren sind Photovoltaikanlagen eine einfache zu installierende und unauffällige Alternative zu anderen stromproduzierenden, regenerativen Anlagen. Daher sind Photovoltaikanlagen eine gute Wahl, um im urbanen Raum regenerativen Strom zu erzeugen.

Eine Photovoltaikanlage besteht aus einer Vielzahl aus einzelnen Solarzellen, die Strahlungsenergie direkt in elektrische Energie umwandeln (Wesselak und Schabbach 2012, 70).

2.1.1 Photovoltaik-Ausbau in Deutschland

Bis heute gab es eine schnelle Entwicklung im Photovoltaikanlagenausbau in Deutschland (siehe Abbildung 1). Bis Mitte 2017 wurden in Deutschland mehr als 41,5 Gigawatt Photovoltaikleistung installiert. Diese Leistung entspricht 6 % des Bruttostromverbrauchs in Deutschland. Damit können 10 Millionen Haushalte versorgt werden (Will und Zuber 2017, 9).

In Abbildung 1ist diese Entwicklung des Photovoltaikausbaus in Deutschland in dem Zeitraum von 2008 bis 2018 zu erkennen.

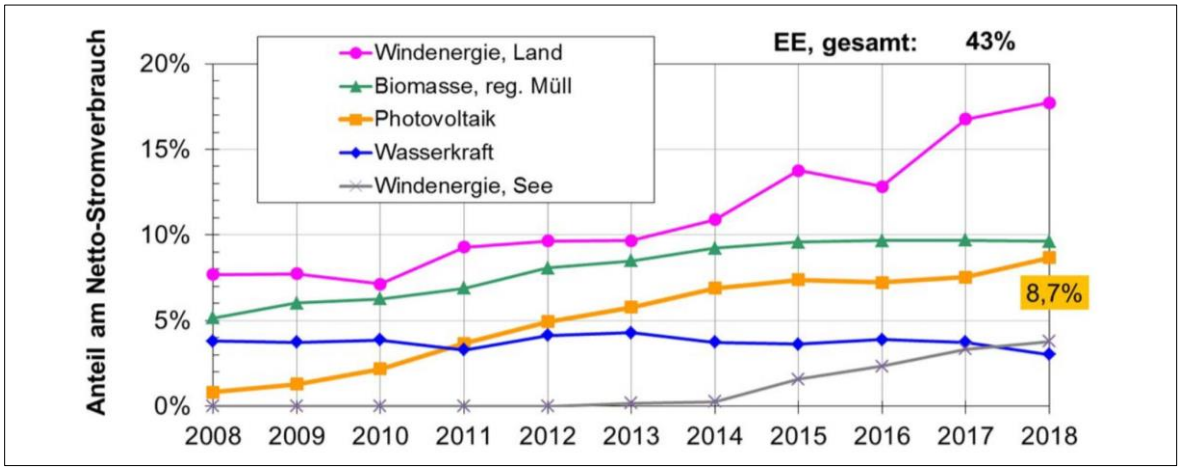


Abbildung 1: Entwicklung des Anteils Erneuerbarer Energien am Netto-Stromverbrauch in Deutschland (Wirth 2019, 6)

Ziel der Bundesregierung ist es, den Strombedarf vollständig aus erneuerbaren Energien zu gewinnen. Um dies zu erreichen werden 150-200 GW installierte Leistung benötigt. Dies entspricht einem Zubau von 4-5 MW Photovoltaik im Jahr (Wirth 2019, 5).

Der Ausbau von Photovoltaikanlagen fand bisher überwiegend im ländlichen Raum statt. In den Städten ist der Ausbau noch nicht in der Breite angekommen. In Abbildung 2 ist dargestellt, dass in zehn Städten mit 11,2 Millionen Einwohner*innen, die 14 % der Gesamtbevölkerung ausmachen, nur

446 MW Photovoltaikanlagenleistung installiert wurde. Dies entspricht 1,4 % der Gesamtleistung (Will und Zuber 2017, 10).

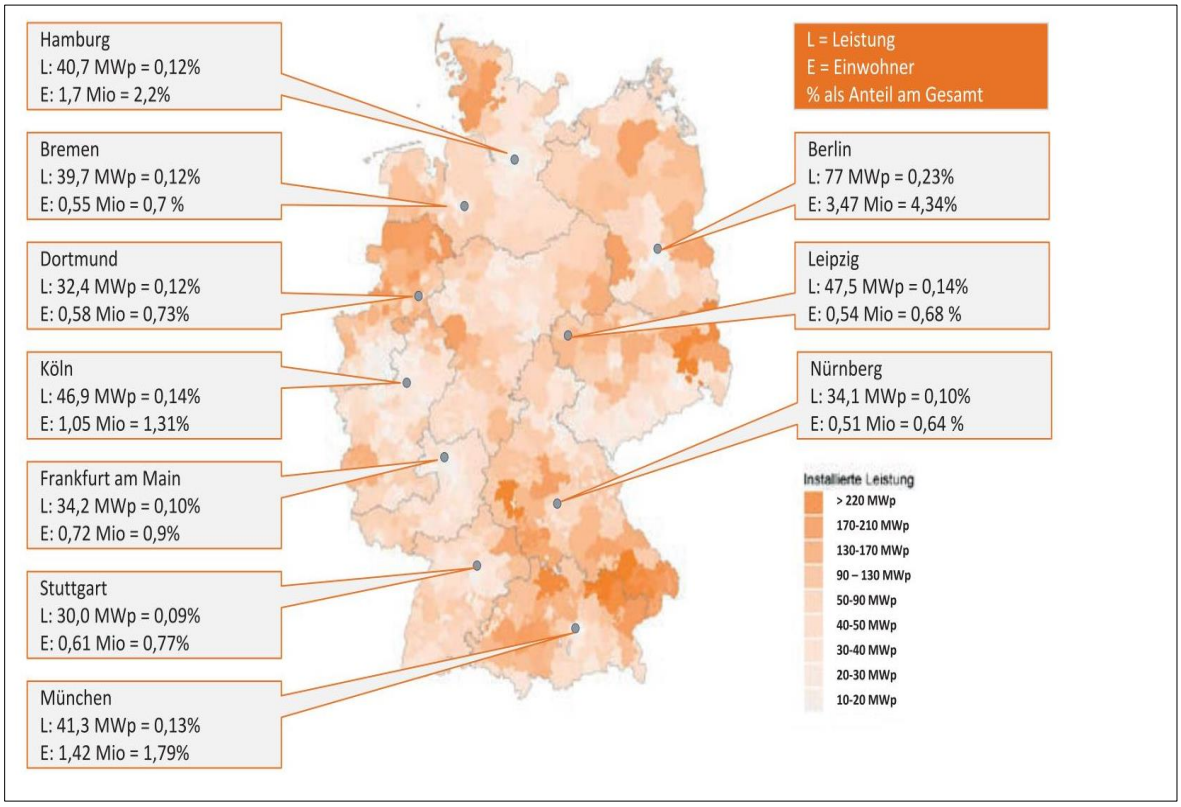


Abbildung 2: Anteil der Photovoltaik in Städten (Will und Zuber 2017, 10)

Die Abbildung wird durch die Aussagen von Will und Zuber (2017, 10) gestützt. Die Auswertung der Markstammdaten der Bundesnetzagentur zeigt, dass nur knapp 1,6 Millionen Photovoltaikanlagen in Deutschland auf Mehrfamilienhausdächern verbaut wurden. Daher besteht hier ein großes, bisher noch fast ungenutztes Potential (Will und Zuber 2017, 10).

In Deutschland sind 75% der Photovoltaikanlagen auf Wohngebäuden und dort hauptsächlich auf Einfamilienhäusern installiert (Koepp et al. 2017, 84). Geringere Rentabilität der Anlagen auf Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu Industriedächern und unterschiedliche Besitzverhältnisse können Gründe für den bislang geringen Ausbau von Photovoltaikanlagen auf Mehrfamilienhäusern sein (Will und Zuber 2017, 10).

2.1.2 Arten der Solarzellen

Auf dem Solarzellenmarkt gibt es diverse Arten von Solarzellen, welche sich in kristalline Solarzellen und Dünnschichtzellen unterteilen. Die Herstellung erfolgt nach unterschiedlichen Technologien (Wesselak und Voswinckel 2012, 43).

In Tabelle 1 sind für die jeweiligen Arten die Modulwirkungsgrade und benötigte Photovoltaikflächen angegeben. Im Vergleich haben die kristallinen Solarzellen den höheren Wirkungsgrad und benötigen geringere Flächen, um ein 1 kWp Strom zu erzeugen. Deshalb bestehen 85 % der installierten Photovoltaikanlagen aus kristallinen Solarzellen (Wesselak und Voswinckel 2012, 43).

Tabelle 1 Übersicht Solarzellen (Eigene Darstellung aus (Staab 2018, 34; Wesselak und Voswinckel 2012, 41; 2012, 52))

	Kristalline		**Dünnschicht**		
Solarzellen nach Material	**Mono-kristallin**	**Poly-kristallin**	**Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)**	**Cadmium-Tellurid (CdTe)**	**amorph (a-Si)**
Modulwirkungsgrad	15-18 %	13-16 %	9-11%	9-11 %	6-8 %
Benötigte PV-Fläche für ein kWp	7-9 (m^2)	8-9 (m^2)	9-11 (m^2)	11-13 (m^2)	13-20 (m^2)
Kumulierter Primärenergieaufwand	7.500 (kWh/kW_p)	7.500 (kWh/kW_p)	6.000-6.500 (kWh/kW_p)	3.500 (kWh/kW_p)	5.500-6.000 (kWh/kW_p)

Das Trägermaterial von Dünnschicht-Modulen ist Kunststoff und nicht wie bei Kristallinen Modulen aus Glas. Durch das leichtere Trägermaterial sind die Module biegsamer, leichter und lichtdurchlässig. Und die Module sind in verschiedenen Farben verfügbar, wodurch der Einsatz auf

denkmalgeschützten Dächern möglicher ist. Da die Farbe der Module an die Dacheindeckung angepasst werden kann, fügen sich die Module mehr in die Architektur der Dachlandschaft. Das geringe Gewicht begünstigt den Einsatz auf Dächern, deren Tragwerke nicht für eine schwerere kristalline Anlage ausgelegt sind (Rosenkranz 2019).

Seitens der Photovoltaikindustrie gibt es große Bemühungen serienfertige Dünnschichtmodule zu entwickeln. Durch geringen Materialeinsatz können Produktionskosten gesenkt werden (Wesselak und Schabbach 2012, 74). Der Wirkungsgrad der Dünnschichtmodule ist geringer als bei den Kristallinen Modulen. Verschiedenste Dünnschichtmodule sind bereits auf dem Markt erhältlich, aber es besteht noch Potenzial den Wirkungsgraden zu erhöhen (Wesselak und Schabbach 2012, 74 f.).

Die Betriebsdauer von Photovoltaikanlagen beträgt 20 bis 25 Jahre (Wesselak und Voswinckel 2012, 60).

Dünnschichtmodule bieten sehr viele Vorteile und haben ein sehr großes, noch ausbaufähiges Potenzial, dennoch wird in der weiteren Betrachtung von kristallinen Modulen ausgegangen. Sie sind aktuell die preiswertere und leistungsstärkere Variante.

2.1.3 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Durch ein stetiges Weiterentwickeln konnten die Kosten für Module mit einer Leistung zwischen 10 und 100 kWp um insgesamt 75 % gesenkt werden (siehe Abbildung 3). Dies wurde besonders bei kristallinen Solarzellen erreicht (Wesselak und Voswinckel 2012, 54; Wirth 2019, 7 f.).

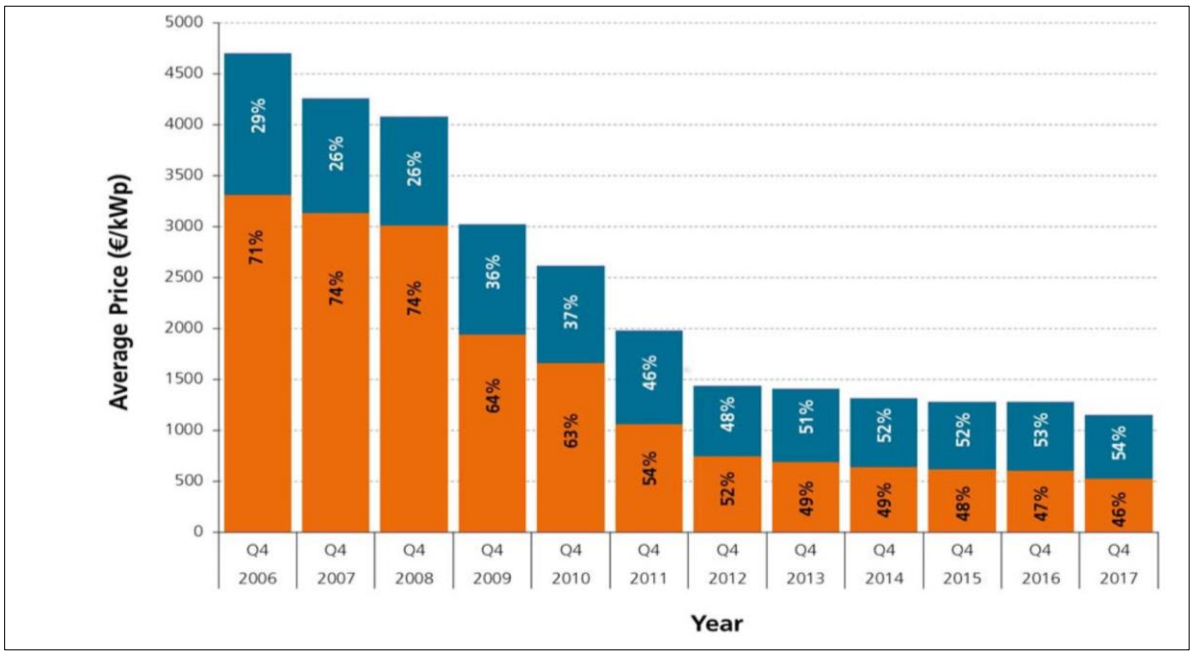


Abbildung 3: Durchschnittlicher Preis (Netto) für installierte Aufdachanlagen von 10- 100 kWp (Wirth 2019, 8)

Für Anlagen mit einer Leistung kleiner 10 kWp ist mit Kosten um die 1500 € pro kWp zur rechnen (Graulich et al. 2018, 51).

Es kann angenommen werden, dass die Preise für Photovoltaikanlagen weiter sinken, insofern zukünftig in die Weiterentwicklungen investiert werden (Wirth 2019, 8). Durch die Kostenentwicklung für Photovoltaikanlagen können gute Renditen erwirtschaftet werden (Wirth 2019, 24).

2.1.4 Fördernde und hemmende Faktoren

Ein förderndes Instrument ist die Einspeisevergütung nach dem Erneuerbaren Energiegesetz. Die Einspeisevergütung wird auf den in das Netz eingespeiste Strom erhoben und ist für 20 Jahre gesichert (Graulich et al. 2018, 53).

Die Förderung wird nach dem „atmenden Deckel“ vollzogen. Umso besser der Photovoltaikausbau erfolgt, umso weniger Vergütung gibt es. Dies hat zu Folge, dass in den letzten Jahren die Einspeisevergütung stark sank. Das ist wiederum zurzeit ein Hemmnis, da durch weniger Einspeisevergütung die Anreize für den Zubau neuer Anlagen fehlen. Dadurch liegt der Ausbau hinter den Zielen der Bundesregierung zurück (Will und Zuber 2017, 9). Im Rahmen dieser Arbeit wird darauf nicht weiter eingegangen.

Ergänzend ist zu erwähnen, dass die Einspeisevergütung für Strom aus Photovoltaikanlagen schneller sinkt, als bei anderen regenerativen stromerzeugenden Quellen (Wirth 2019, 11) .

Der Kauf einer Photovoltaikanlage kann durch ein günstigen Kredit durch das kfW-Programm 270 wirtschaftlicher werden (Graulich et al. 2018, 52).

Wirth 2019, 9 f. schreibt "Das EEG 2017 legt einen Ausbaukorridor für den Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch fest und versucht, den PV-Ausbau gleichzeitig zu fördern und zu behindern:“

Gegensätzlich zur sinkenden Einspeisevergütung, steigt die EEG-Umlage (siehe Abbildung 4). Welche Auswirkungen die EEG-Umlagen auf die potenziellen Geschäftsmodelle haben, wird in Kapitel 2.3 Modelle für die Vor-Ort-Versorgung erklärt.

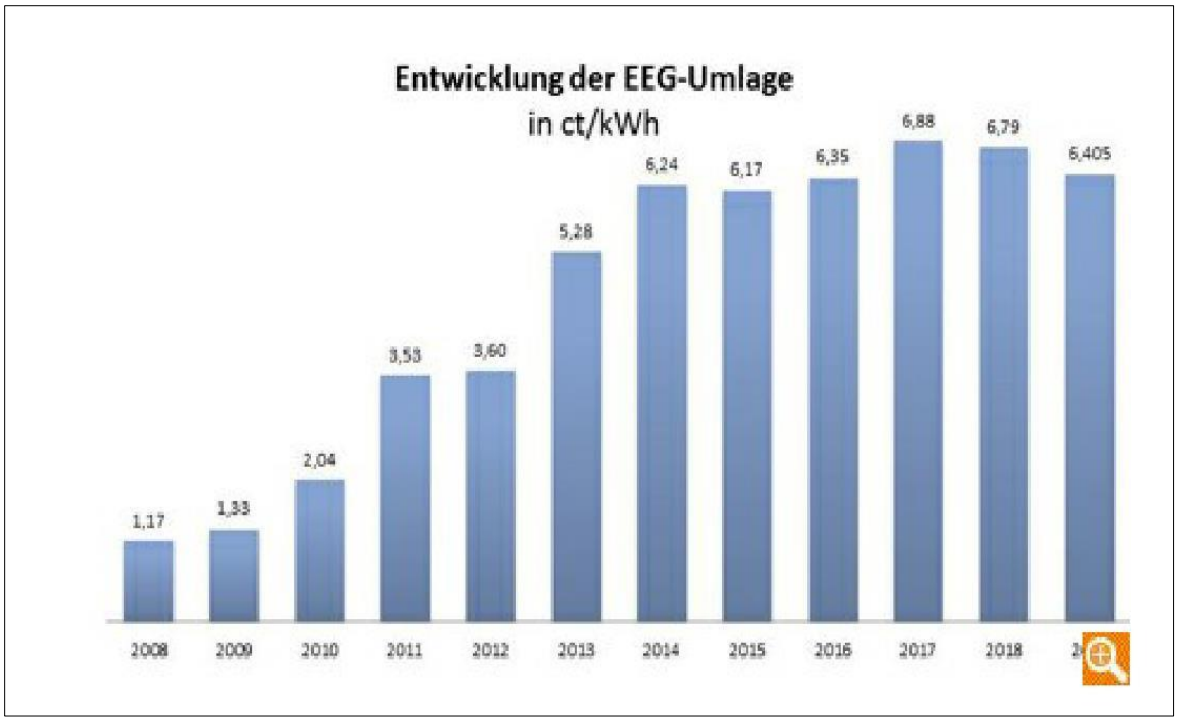


Abbildung 4: Entwicklung der EEG-Umlage (Bundesnetzagentur 2018)

Im innerstädtischen denkmalgeschützten Bereichen können potentielle Dachflächen nicht mit Photovoltaikanlagen belegt werden, da die Vorgaben des Denkmalschutzes dies verhindern (Koepp et al. 2017, 81). Das Thema wird in Kapitel 5.1.4 anhand des Beispiel Quartiers weiter vertieft.

2.1.5 Prognose und Potenzial

Eine Solaranlage erhöht den Immobilienwert und macht das Haus unabhängiger von den Preisentwicklungen für Energie und ebenso unabhängiger von fossilen Brennstoffen (Staab 2018, 143).

Durch eine stetige Weiterentwicklung der Photovoltaikanlagen kann angenommen werden, dass die Preise für Photovoltaikanlagen weiter sinken, damit steigt die Wirtschaftlichkeit der Modelle mit einer Vor-Ort-Versorgung (Wirth 2019, 8). Die Weiterentwicklung von Dünnschichtmodulen lässt vermuten, dass die Kosten für diese Module sinken werden (Wesselak und Schabbach 2012, 74).

Aktuelle Ausschlusskriterien für die Installation wie fehlende statische Voraussetzungen oder nicht erfüllbare Forderungen des Denkmalschutzes könnten mit leichteren und optisch unauffälligeren Dünnschichtmodulen umgangen werden.

Nach wie vor gibt es in Deutschland ein sehr großes Ausbaupotenzial von 150 GW Photovoltaik auf bisher ungenutzten Dachflächen (Wirth 2019, 38).

2.2 Batterien zur Stromspeicherung

Strom aus Photovoltaikanlagen wird selten zu den Zeiten produziert, wenn der Bedarf am größten ist. Dies ist in den Morgen- und Abendstunden der Fall. Die Stromproduktion der Photovoltaikanlage ist in der Mittagszeit am größten. Durch diese unterschiedlichen Zeiten von Bedarf und Produktion ist es schwer einen hohen Eigenverbrauch des regenerativ erzeugten Stroms zu erlangen. Mit einer Batterie kann das Problem gelöst und der produzierte

Strom bis zum Zeitpunkt des Bedarfes zwischengespeichert werden (Graulich et al. 2018, 19; Staab 2018, 89).

Es gibt verschiedene Verfahren zur Stromspeicherung, wie zum Beispiel, Pumpspeicher und Batterien. Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich auf die Batteriespeicher eingegangen, da diese am besten den Leistungsbereich von überschüssigen Strom in Mehrfamilienhäusern abdecken (Jülch et al. 2017, 85).

Laut Jülch et al. 2017, 95 sind Energiespeicher für die Energiewende sehr wichtig. Vor allem im Bereich der dezentral organisierten Energieversorgung und für Bürgerenergiegenossenschaften können sie einen wichtigen Beitrag, zur Umsetzung einer Stromversorgung aus bis zu 100 % erneuerbaren Energien leisten.

2.2.1 Batterie-Ausbau in Deutschland

In Deutschland wurden bei 1,6 Millionen Photovoltaikanlagen, 61.000 Batteriespeicher mit einer Speicherkapazität von 400 MWh verbaut (Graulich 2018, 6). Durch sinkende Preise von Speichern, vor allem bei Lithium-Ionen-Batteriespeichern ist ein großes Wachstumspotenzial zu erwarten (Graulich et al. 2018, 9) .

Der größte Ausbau von Solarspeichern erfolgte bisher in den südlichen Bundesländern Deutschlands (siehe Abbildung 5).

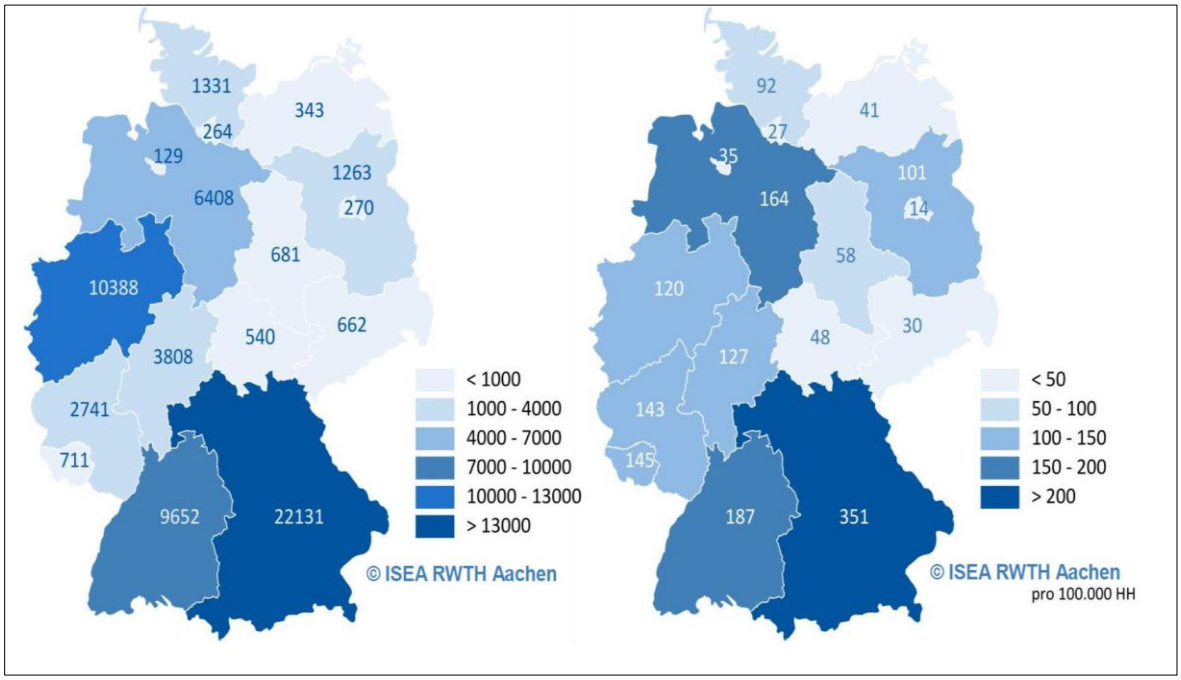


Abbildung 5: Geographische Verteilung der Solarspeicher in Deutschland (Graulich et al. 2018, 33)

Die linke Karte zeigt die absolute Anzahl an Stromspeichern und die rechte Karte die Speicher pro 100.000 Haushalten.

2.2.2 Arten der Batteriespeicher

Zur stationären Speicherung von Strom gibt es diverse Speichertechnologien (Graulich et al. 2018, 25). In Tabelle 2 sind einige der wichtigsten Batteriespeicherarten in Mehrfamilienhäusern aufgeführt

Tabelle 2 Übersicht über Batteriespeicherarten

	Blei-Säure-Batterie	**Lithium-Ionen**	**Keramikbatterie**
Lebensdauer	10-20 Jahre [1] (überwiegend 10 Jahre)	10-20 Jahre [1] (überwiegend 20 Jahre)	> 10 Jahre[2]
Zyklen-Lebensdauer	2.500-4.200[1] Vollzyklen	4.000-15.000[1] Vollzyklen	4.500 [2] Vollzyklen
Kosten	660-1.050 €/kWh[3]	1.500- 2.800 €/kWh [3]	>100-€/kWh [4]
Wirkungsgrad	80-85 %[1]	90-95 %[1]	> 90 % [2]
Wartungs-aufwand	Hoch [1]	Gering – sehr gering [1]	Wartungsfrei [2]
Einsatzgebiet	Autobatterie, PV-Speicher [5]	Handy- Laptopspeicher, PV-Speicher [6]	PV-Speicher [2]

Aktuell sind Blei- und Lithium-Ionen-Batterien die wichtigsten Technologien (Jülch et al. 2017, 87).

[1] Graulich (2018, 22).

[2] Schulz (2019).

[3] Jülch et al. (2017, 89).

[4] Preiß (2019).

[5] Staab (2018, 89).

[6] Jülch et al. (2017, 87).

Die Lithium-Ionen-Batterie ist die derzeit am Markt etablierteste Batteriespeicherform, welche in einem Mehrfamilienhaus zur Stromspeicherung von Photovoltaikstrom zur Anwendung kommt (Jülch et al. 2017, 88). Durch die schnelle Reaktionsfähigkeit, hohe Zyklenfestigkeit und schnelle Ladefähigkeit ist diese Batterieart zur Speicherung von Photovoltaikstrom gut geeignet Das Entwicklungspotenzial dieser Batterieart ist hoch (Sperling 2018; Staab 2018, 89 f.). Deshalb wird in dieser Arbeit diese Batterie als Standard-Speicherform betrachtet.

Vom dem Fraunhofer Institut IKTS wurde eine keramische Batterie entwickelt, die eine preiswerte und vor allem auch umweltfreundlichere Alternative zu Lithium-Ionen und Blei-Batterien ist und auch für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern zur Stromspeicherung entwickelt wurde (Fraunhofer IKTS 2019). Die Batterie steht kurz vor der Marktreife (Fraunhofer IKTS 2019).

Die verschiedenen Speichergrößen der Batterien ermöglichen unterschiedliche Einsatzgebiete. Für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern sollte eine Speichergröße um 10 kW verwendet werden. Diese Speichergröße ist auch derzeit noch die wirtschaftlichste Größe (Jülch et al. 2016, 60; 2016, 67). Häufig werden kleiner Anlagen (kleiner 10 kW) in Einfamilienhäuser verwendet (Sperling 2018). Größere Anlagen eignen sich für den Einsatz in der Industrie, als Quartiersspeicher oder zur Netzentlastung (Sperling 2018; Wraneschitz 2015). Im Rahmen dieser Arbeit werden nur die Speichergrößen um die 10 kW betrachtet.

2.2.3 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für eine Lithium-Ionen-Batterie belaufen sich derzeit auf etwa 1500 bis 2800 €/kWh, was sehr hoch ist. Laut Jülch et al. (2017, 87) ist zu erwarten, dass sich die Kosten für Lithium-Ionen-Batterien in Zukunft senken werden (Jülch et al. 2017, 89). Die Preise sanken in den Jahren 2013 bis 2016 um rund 40 % (Graulich et al. 2018, 58).

Aktuelle Speicher sind zurzeit zu teuer, um wirtschaftlich zu sein. Erst bei einem Speicherpreis von 500 €/kWh kann bei einer Speichergröße von 10 kWh 6 % Rendite erwirtschaftet werden, wenn der Eigenstromanteil 50% ist (Jülch et al. 2016, 63). Den gespeicherten Strom an der Strombörse zu vermarkten ist nicht wirtschaftlich (Jülch et al. 2016, 64).

2.2.4 Fördernde und hemmende Faktoren

Für den Einsatz eines Batteriespeichersystems bei bestehenden oder neuen Photovoltaikanlage können verschiedene Förderprogramme genutzt werden. Eines der bekanntesten ist die Förderung durch die KfW mit den Förderprogrammen 270 und 275. Dabei kann ein zinsgünstiger Kredit mit einem Tilgungszuschuss gewährt werden, der es ermöglich die Wirtschaftlichkeit des Speichers zu erhöhen (Jülch et al. 2017, 49; Graulich 2018, 7).

Von der Bundesnetzagentur gibt es eine Förderung im Rahmen des Erneuerbaren Energiegesetz von 2017, bei denen Photovoltaikanlagen mit Speichern bei speziellen Ausschreibungen begünstigt werden (Jülch et al. 2017, 96).

In der Anwendung dieser Förderungen sind regulatorische Rahmenbedingungen unklar und es gibt wenig Erfahrungen mit diesen (Jülch et al. 2017, 8).

2.2.5 Prognose und Potenzial

Es ist zu erwarten, dass die Speicherkosten geringer werden und damit ein wirtschaftlicher Betrieb gesichert werden kann (Jülch et al. 2016, 48 f.).

Zukünftig werden viele feste Einspeisevergütungen von Photovoltaikanlagen auslaufen. Es ist anzunehmen, dass durch den weiteren Betrieb dieser Anlagen und den geringeren Verkaufspreis Alternativen wie Stromspeicher in den Fokus rücken. Die aktuelle feste Einspeisevergütung von 12,7 Cent pro Kilowattstunde ist zu gering und der Strompreis mit rund 30 Cent pro Kilowattstunde ist zu teuer, sodass sich das Einspeisen nicht lohnt. Daher ist es wirtschaftlich attraktiver den selbst erzeugten Strom auch zu nutzen (Graulich et al. 2018, 20).

Zudem können Stromspeicher zur Stabilisierung des Netzes beitragen, da sie die Stromproduktionsspitzen kappen können (Ajaz Shah 2017; Jülch et al. 2017, 10).

Derzeit sind die Batteriekosten noch zu hoch für die Anwendung in einem Mehrfamilienhaus. Daher wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass keine Speicherformen angewendet werden.

2.3 Modelle für die Vor-Ort-Versorgung

Für die Vor-Ort-Versorgung mit elektrischer Energie aus Photovoltaikanlagen gibt es verschieden Modelle.

Diese werden unterteilt in:

- Direktverbrauch
- Eigenverbrauch
- Pachtmodell
- Mieterstrommodell
- Quartiersmodell

2.3.1 Direktverbrauchmodell

Bei dem Direktverbrauchsmodell wird der auf dem eigenen Dach produzierte Strom direkt im Haus genutzt. Das öffentliche Netz wird nicht in Anspruch genommen. Es fallen somit keine Netzentgelte an. Netzentgelte müssen gezahlt werden, wenn überschüssiger Strom in das Netz eingespeist wird. Eine Forderung, die Personenidentität einzuhalten ist nicht notwendig. (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 32). Die Personenidentität beschreibt, dass nur Eigentümer*innen der Anlage den Strom auch selbst verbrauchen dürfen.

Ein erheblicher Vorteil des Direktverkaufs sind die höheren Erlösmöglichkeiten, als bei reiner Einspeisung. So erhält eine im Herbst 2015 installierte Anlage als Einspeisevergütung nach EEG, abhängig von der Größe der Anlage zwischen 10-12 Cent pro kWh. Vergleichsweise können bei einem

Direktvertrieb 11-16 Cent pro kWh erzielt werden (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33) .

Ein Nachteil des Direktvertriebs ist die große Abhängigkeit vom Kunden. Die Höhe des Preises wird mit dem Kunden verhandelt. Die Vertragsbindung eines Stromvertrages darf maximal zwei Jahre betragen. Die Zeiträume für die Amortisation der Investitionskosten und die Länge der Einspeisevergütung sind sehr viel länger. So dass bei Kündigung eine erneute Kundenakquise bei den Mieter*innen des Hauses betrieben werden muss. Die Anzahl an potentiellen Kunden*innen ist damit stark einschränkt (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33) .

Auf den verbrauchten Strom muss der Erzeuger die volle EEG-Umlage an den Übertragungsnetzbetreiber bezahlen. Die Kosten dafür können komplett an die Endkunden weitergegeben werden (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33) .

Wird überschüssiger Strom in das Netz eingespeist, erhält der Erzeuger eine Einspeisevergütung nach dem EEG. (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 32)

Das Direktverbrauchsmodell ist mit geringem Aufwand aufzubauen (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 32).

Ein entscheidender Nachteil des Direktstrommodells für die Nutzer*innen ist, dass die Energiegenossenschaft nicht als Energieversorger für den gesamten Strombedarf auftritt. Die Energiegenossenschaft verkauft den selbst erzeugten Strom an die Bewohner*innen eines Hauses. Den Reststrom müssen sich die Bewohner*innen über einen zweiten Stromlieferanten hinzukaufen. Dieser Umstand senkt die Bereitschaft der Bewohner*innen ihren Strom über dieses Modell zu beziehen, da es für sie mit einem Mehraufwand verbunden ist. Ein Vertreter einer befragten Energiegenossenschaft bestätigte diese Aussage (Trenkmann 2019, 4).

2.3.2 Eigenverbrauchsmodell

Bei diesem Modell muss die Personenidentität von Betreiber und Verbraucher vorliegen. (Will und Zuber 2017, 7). Daher sind klassische Anwendungsbeispiele für das Modell des Eigenverbrauchs Einfamilienhaus oder Gewerbehallen. Die Besitzer*innen der Anlage und des Dachs sind gleiche Personen, wie die Stromabnehmer*innen.

Für eine Genossenschaft ist Eigenverbrauch nur möglich, wenn die Photovoltaikanlage auf dem Dach von der Genossenschaft installiert, von der Genossenschaft betrieben und der Strom vor Ort verbraucht wird. Da die Personenidentität für den Eigenverbrauch notwendig ist, kann das Modell des Eigenverbrauchs nicht als Geschäftsmodell für Genossenschaften angewendet werden, wenn diese Photovoltaikanlagen auf anderen Dächern errichten werden soll (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 32) .

Selbst produzierter Strom wird genauso wie beim Direktverbrauch im gleichen Haus verbraucht, daher werden öffentliche Netze nur bei eingespeisten Überschussstrom genutzt. Somit entstehen für selbst verbrauchten Strom keine Netzentgelte (Will und Zuber 2017, 8) .

Für Anlagen mit einer Anlagengröße von kleiner als 10 kW bis zu einem Eigenverbrauch von maximal 10 MWh pro Jahr sind diese zu 100 % von der EEG-Umlage-befreit (Will und Zuber 2017, 8) .Seit dem EEG 2017 müssen Anlagen größer 10 kW 40 % der EEG-Umlage entrichten (Will und Zuber 2017, 8; Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 32)

Sobald Strom selbst verbraucht und nicht in das Netz eingespeist wird, erfolgt keine EEG-Vergütung (Will und Zuber 2017, 8) .

2.3.3 Pachtmodell

Die Besitzer*in der Photovoltaikanlage verpachtet diese an die Stromabnehmer*innen. Im Gegenzug erhalten stromabnehmende Personen preiswerten Strom. Der überschüssige Strom kann gegen eine Einspeisevergütung in das öffentliche Netz eingespeist werden. Reststrom bezieht der Stromabnehmer aus dem öffentlichen Netz (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33).

Das Pachtmodell ist dem Eigenverbrauchsmodell sehr ähnlich. Der einzige Unterschied ist, dass dem Stromabnehmer die Anlage nicht gehört, sondern diese gemietet wird.

Genauso wie bei dem Eigenverbrauch kann die EEG-Umlage entfallen, wenn die Anlage kleiner als 10 kWp ist. Bei größeren Anlagen fällt eine verringerte EEG-Umlage an (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33) .

Eine EEG-Vergütung kann ebenso wie bei dem Eigenverbrauchsmodell erhalten werden, wenn überschüssiger Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird (Will und Zuber 2017, 8).

Die Wirtschaftlichkeit bei dem Pachtmodell wird von der Art der Pachtverträge beeinflusst. Es ist darauf zu achten, dass das Modell nicht als Finanzierungsleasing bewertet wird. Ohne Betreibereigenschaft ist kein Eigenverbrauch zulässig. Die Anlagenmiete kann an die Anlagenleistung gekoppelt werden. Eine Kopplung an den Ertrag ist nicht zulässig (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33 f.) .

Vorteil des Pachtmodells ist das Erzielen höherer Erlöse, also durch reine Einspeisung. Nachteil ist die starke Abhängigkeit zu den Kunden (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 34) .

Der Arbeitsaufwand bei diesem Modell ist aufwendiger, als bei reiner Einspeisung. Für eine gute Wirtschaftlichkeit sind gut ausgearbeitete

rechtliche Verträge sehr entscheidend (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 35).

2.3.4 Mieterstrommodell

Die Betreiber*in des Mieterstrommodells realisiert auf einem gepachteten Dach eine Photovoltaikanlage und betreibt diese. Der durch die Photovoltaikanlage produzierte Strom und der Reststrom wird an die Mieter*innen des Hauses verkauft. Daher tritt die Betreiber*in als Stromlieferant auf (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 34; Will und Zuber 2017, 7).

Für den Erhalt der Förderung aus dem Mieterstromgesetz gibt es folgende Anforderungen

- nur für Wohnhäuser anwendbar
- Stromproduzierende Anlage und die Stromabnahme müssen in unmittelbarere Nähe zueinander erfolgen
- der Strom für Mieterstromprojekte muss 10 % preiswerter sein, als der Tarif der Grundversorgung (Will und Zuber 2017, 24 f.)

Das Mieterstrommodell kann zum Beispiel ein Geschäftsmodell für ein Wohnungsbauunternehmen sein (Großklos et al. 2015, 8). Im Rahmen dieser Arbeit wird das Modell für eine Energiegenossenschaft betrachtet.

Beim Mieterstrom-Modell muss die volle EEG-Umlage auf den Strom bezahlt werden (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 34). Wie auch bei den anderen Modellen müssen keine Netzentgelte bezahlt werden, so lange der Strom selbst verbraucht wird. Auf eingespeisten Strom fallen Netzentgelte an (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 37).

Es ist kein Personenidentität notwendig (Will und Zuber 2017, 25). Dadurch entfallen aber auch Privilegien wie die völlige oder teilweise Befreiung der EEG-Umlage wie beim Eigenverbrauchsmodell (Will und Zuber 2017, 7).

Eine Einspeisevergütung erhält die Genossenschaft lediglich bei der Einspeisung von Reststrom. Für den direkt verkauften Strom erhält die Genossenschaft den vereinbarten Erlös und einen zusätzlichen Mieterstromzuschlag als Förderung (Will und Zuber 2017, 23).

Ein Nachteil dieses Modells ist dessen komplexer Abrechnungsprozess inklusive des aufwendigen Zählerbetriebs. In Kapitel 2.5 wird darauf weiter eingegangen.

2.3.5 Quartiersmodell

Bei dem Quartiersmodell kann eine Energiegenossenschaft als Energieversorger auftreten. Sie vermarktet den im Quartier produzierten Strom direkt an die Anwohner*innen, die diesen Strom verbrauchen (Jülch et al. 2017, 63).

Der vor Ort produzierte Strom kann aus einem Zusammenspiel von Photovoltaikanlagen und Blockkraftheizwerken erfolgen und kann in einem oder mehreren einzelnen Speichern zwischengespeichert werden. Neubaugebiete bieten sich zur Umsetzung dieses Modells an, da die Betreiber*in in die Planung des Quartiers mit eingebunden werden kann und Vorkehrungen wie Dachausrichtungen für Photovoltaik oder Platz für Speicher eingeplant werden können. Um die Netzentgelte zu sparen, könnte auch ein eigenes Quartiersnetz gebaut werden (Jülch et al. 2017, 62 f.).

Die Wirtschaftlichkeit hängt von vielen Faktoren ab und es gibt derzeit kein Vorhaben, dass sich wirtschaftlich trägt (Jülch et al. 2017, 65).

In dem Kanton St. Gallen in der Schweiz wird derzeit in einem bestehenden Quartier das Quartiersmodell umgesetzt und erforscht (Zimmermann 2018). Dabei werden auch mehrere dezentrale Batteriespeicher virtuell verbunden und bilden damit eine Schwarmbatterie, die überschüssigen Strom zwischenspeichert. Es wird untersucht, wieviel Strom in Echtzeit produziert, verbraucht und wie autark und wirtschaftlich die Quartierstrom-Gemeinschaft sein kann (Quartierstrom 2019).

Die Steuerung dieser viele dezentralen Energieproduzenten und -Konsumenten erfolgt über ein virtuelles Kraftwerk. Aktuell bestehende Energieversorgungsstrukturen sind im Zuge der Energiewende im Wandel. Virtuelle Kraftwerke, die in Quartiersmodellen angewendet werden können eine Alternative zu den bestehenden Monopolen sein (Doleski 2017, 654).

Dennoch ist die Umsetzung des Modells ist sehr aufwendig und es hat bisher kaum eine Marktreife (Jülch et al. 2017, 66).

Für eine Umsetzung in Deutschland sind die regulatorischen Rahmenbedingungen nicht gegeben. So sind noch keine einheitlichen Schnittstellen definiert. Der rechtliche Rahmen zum Thema Datenschutz ist nicht klar. Daher ist dieses Modell noch nicht umgesetzt (Limbacher und Richard, 4).

2.3.6 Übersicht der Vor-Ort-Versorgung

Es existieren für die verschiedensten Anwendungszwecke eine Vielzahl an Modellen zur Vor-Ort-Versorgung.

Zusammenfassend sind die zuvor beschriebenen Modelle in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3 Übersicht über die Modelle der Vor-Ort-Versorgung (Will und Zuber 2017, 8) (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 33) .

	Direkt-verbrauchs-modell	**Eigen-Verbrauchs-modell**	**Pachtmodell**	**Mieterstrom-modell**	**Quartiers-modell**
Personenidentität notwendig	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Netznutzung	Nein (nur bei Einspeisung von Überschuss-strom)	Nein (nur bei Einspeisung von Überschuss-strom)	Nein (nur bei Einspeisung von Überschuss-strom)	Nein (nur bei Einspeisung von Überschuss-strom)	ja
EEG-Umlage	100%	0 % < 10 kWp 40 % > 10 kWp	0 % < 10 kWp 40 % > 10 kWp	100 %	100 %
EEG-Vergütung	Ja, für den eingespeisten Strom				
Aufwand	Gering	Gering	mittel	hoch	Sehr hoch
Anwendungs-bereich	Industrie-Gewerbehallen, öffentliche Gebäude	Einfamilien-häuser		Mietshäuser	

Das Mieterstrommodell ist das geeignetste Modell, um Strom in einem Mehrfamilienhaus mit mehreren Wohneinheiten selbst zu erzeugen und zu verbrauchen. Da der Stromerzeuger den Gesamtbedarf der Mieter*innen mit Strom decken muss, sind die Schwellen zum Mitmachen niedriger.

Daher wird das Mieterstrommodell in dem zu betrachtenden Quartier in Altenburg für diese Arbeit angewendet und nach seiner Wirtschaftlichkeit betrachtet. In der weiteren Bewertung wird lediglich auf das Mieterstrommodell eingegangen.

2.4 Energiegenossenschaft als Rechtsform

In einer Genossenschaft soll eine gemeinsame Idee umgesetzt werden, die die Belange Ihrer Mitglieder in wirtschaftlicher, kultureller und sozialer Hinsicht fördern (Klemisch et al. 2016, 10).

Kernprinzipien einer Genossenschaft sind (Klagge et al. 2016, 245; Klemisch et al. 2016, 11):

- Selbsthilfe
- Selbstverwaltung
- Mitgliederorientierung
- Identitätsprinzip
- Demokratieprinzip

Jedes Genossenschaftsmitglied hat, unabhängig von der Anzahl seiner Anteile, nur eine Stimme. Dieser Umstand führt dazu, dass innerhalb einer Genossenschaft alle Mitglieder gleichberechtigt sind. Daher hat die Genossenschaft ein großes partizipatorisches Potenzial. Eigenschaften einer Genossenschaft sind Regionalität, Transparenz und Gemeinschaftlichkeit.

Wichtig dabei ist die Regionale Verankerung, so kann auch in einer Satzung stehen, dass ein Großteil der Mitglieder aus dem Umkreis kommen muss. (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 89; 2016, 94).

In Tabelle 4 werden die in Deutschland gängigen Rechtsformen miteinander verglichen.

Tabelle 4 Übersicht Rechtsformen nach (Grosskopf et al. 2009, 37)

	Personengesellschaft	**Genossenschaft**	**Kapitalgesellschaft**
Unternehmens-formen	e.K GbR Stille Gesellschaft Offene Handelsgesellschaft Kommanditgesellschaft [7]	e.G. [7]	Aktiengesellschaft, GmbH [7]
Gesellschafts-zweck	Jeder Zweck erlaubt	Förderung der Mitglieder	Jeder Zweck erlaubt
Gesellschafts-vermögen	Kapitalbeiträge der Gesellschafter und Rücklagen als gemeinsames Vermögen der Gesellschafter (Gesamthanfvermögen)	Kapitalbeiträge: kündbar Rücklagen: gemeinsames Vermögen der Gesellschafter	Festes, in Aktien zerlegts Grundkapital als Vermögen der Gesellschaft für die Dauer ihres Bestehens
Organisations-struktur	Vertragsfrage, im Gesellschaftsvertrag zu regeln	Körperschaftliche Verfassung, Satzung, Organe	Körperschaftliche Verfassung, Satzung, Organe
Mitgliederschafts-rechte	Personenbezogen, Kopfstimmrecht, Recht auf Teilnahme und Teilhabe	Personenbezogen, Kopfstimmrecht, Recht auf Teilnahme und Teilhabe	Kapitalbezogen, Kapitalstimmrecht, Kapitaldividende, in Aktie in Wertpapier verbrief
Mitgliedschafts-pflichten	Persönliche Mitwirkung und/oder Kapitalbeiträge für die Dauer der Gesellschaft	Persönliche Mitwirkung und Kapitalbeiträge für die Dauer der Mitgliedschaft, Nutzung der genossenschaftlichen Einrichtungen	Leistungen der Kapitalbeiträge, keine weiteren Pflichten
Prüfungen	Vertragsfrage	Gesetzlich vorgeschrieben, Verbandsprüfung, formelle und materielle der Bewertung der Erfüllung des Förderzwecks	Gesetzlich vorgeschrieben durch Wirtschaftsprüfer, formelle Prüfung der Gesetzmäßigkeiten und Ordnungsmäßigkeiten

[7] Rechnungswesen · verstehen.de .

Im Vergleich mit den in Deutschland angewendeten Rechtsformen bietet die Genossenschaft die besten Voraussetzungen als Stromlieferant in Erscheinung zu treten.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich auf die Rechtsform der Genossenschaft eingegangen, da sie das größte Potenzial der Mitbestimmung aller Mitglieder hat (Staab 2018, 19).

2.4.1 Ausbau in Deutschland

Bis 2011 erlebten die Energiegenossenschaften einen Aufschwung. Rechtliche Rahmenbedingungen und gute Einspeisevergütungen waren eine gute Grundlage zur Gründung von Energiegenossenschaften (Kahla et al. 2017, 27).

Mit dem Erneuerbaren Energiegesetz 2014 kamen große Einschnitte und Verschlechterungen für die Energiegenossenschaften. Viele der Förderbegünstigungen entfielen (Klagge et al. 2016, 243; Kahla et al. 2017, 26; 2017, 27). Infolgedessen kam es zu einem erheblichen Rückgang bei den Gründungen von Energiegenossenschaften ab 2014 und bestehende Energiegenossenschaften lösten sich auf (Klagge et al. 2016, 244; Kahla et al. 2017, 26).

Die meisten Photovoltaikanlagen befinden sich bis 2016 im Besitz von Privatpersonen, Landwirten und Gewerbebetreibenden. Nur 0,2 % der Anlagen gehören den großen Kraftwerksbetrieben (siehe Abbildung 6). Dadurch kann vermutet werden, dass dies vier großen Energieunternehmen (E.ON, RWE, EnBW und Vattenfall) in Deutschland kein Interesse an diesem Markt haben. Genau diese Nische können die Energiegenossenschaften besetzen (Wirth 2019, 27).

Derzeit nutzen auch Energiegenossenschaften die Potentiale der Städte nicht (Maron und Maron 2012, 243).

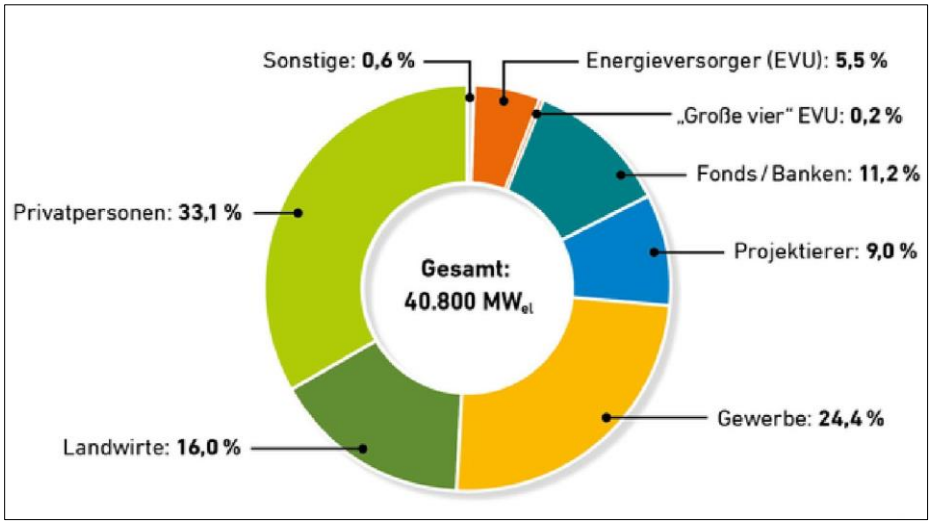


Abbildung 6: Anteile der Eigentümer von Photovoltaikanlagen Ende 2016 (Wirth 2019, 28)

2.4.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Genossenschaft erzeugen im Vergleich zu anderen Rechtsformen hohe Betriebskosten. So entstehen den Genossenschaften durch die aller zwei Jahre, gesetzlich vorgeschriebenen Prüfungen durch den Genossenschaftsverband zusätzliche Kosten (Trenkmann 2019, 13).

Laut Trenkmann (2019, 19 f.) ist die Genossenschaft eine sichere Unternehmensform, da diese gründlich geprüft werden. Das ist auch ein Grund dafür, dass diese Unternehmensform das geringste Insolvenzrisiko aufweist (Maron und Maron 2012).

In Flieger et al. (2018, 64) wird eine Rendite von einer Energiegenossenschaft von 6 % genannt. Dies wird gestützt durch die Akteursbefragung einer

Energiegenossenschaft. Diese hat eine Rendite von 8 %. Davon werden jährlich 4 % an die Genossenschaftsmitglieder ausgezahlt und 4 % werden als Rücklagen einbehalten (Trenkmann 2019, 21).

Energiegenossenschaften sollen die wirtschaftlichen Belange Ihrer Mitglieder verfolgen. Dennoch kann der Mehrwert einer Genossenschaft nicht allein über die Rendite bewertet werden. Für Genossenschaften stehen eine hohe und langfristige Kundenbindung im Fokus (Jülch et al. 2017, 13). Daher können Energiegenossenschaften auch auf einem niedrigen Niveau rentabel sein. Wichtig ist das Wachstumspotenzial (Wulf et al. 2017).

Die Rendite steht bei Genossenschaften ausschließlich nicht im Fokus, sondern die Beteiligung und Unterstützung in der Region (Baur, 52 f.)

Oft gibt es Genossenschaften, vor allem Energiegenossenschaften, deren Wirtschaftliche Stärke nicht ausreicht, um Stellen zu schaffen. Die Arbeit erfolgt dann auf ehrenamtlicher Basis (Trenkmann 2019, 16).

2.4.3 Fördernde und hemmende Faktoren

Hemmende Faktoren

Mit dem EEG 2014 kam es zu erheblichen Einschnitten für Energiegenossenschaften. Vor allem für größere Energiegenossenschaften, die zum Beispiel Windparks betreiben, erschweren neue Rahmenbedingung den Betrieb. Früher konnte Strom vergütet werden, nun muss Strom seit 2016 von Anlagen ab 100 kW direkt vermarktet werden. Dies erfolgt über Ausschreibungen (Klagge et al. 2016, 246 f; Wieg 2018, 78). Energiegenossenschaften sind oft zu klein und nicht so finanzstark und risikobereit wie große Energieunternehmen. Manchmal haben

Energiegenossenschaften nur ein Projekt. Daher können sie Verluste oder Kosten nicht auf andere Projekte übertragen. Daher war es für Energiegenossenschaften schwerer an Ausschreibungen teilzunehmen und den Zuschlag zu erhalten (Klagge et al. 2016, 247; Wieg 2018, 78).

Diese Aussagen werden bestätigt durch die Akteursbefragung der Energiegenossenschaft ENG-O. Jede Teilnahme an Ausschreibungen muss von der Genossenschaft beschlossen werden. Die Mitglieder zu überzeugen, in eine risikoreiche Ausschreibung zu gehen ist schwierig (Trenkmann 2019, 22).

Diese Eigenschaft bildet auf der einen Seite eine sichere „Anlegeform“ für die Mitglieder*innen, behindert aber Energiegenossenschaften an der Teilnahme am Regelenergiemarkt (Flieger et al. 2018, 15).

Energiegenossenschaften agieren lokal und werden von Bürger*innen selbstbestimmt verwaltet. Das schafft regionale Mitbestimmung. Oft werden die Energiegenossenschaften rein ehrenamtlich verwaltet. Eine Hauptschwierigkeit, laut Guthke (11.12.18), ist es Menschen zu finden die diese ehrenamtlichen Aufgaben erledigen wollen (Flieger et al. 2018, 15).

Auch die sukzessive Abschaffung der garantierten Einspeisevergütung schadet den Energiegenossenschaften und führt zum Verlust der Rentabilität und Attraktivität (Klagge et al. 2016, 246 f; Jülch et al. 2017, 13) .

Auch wenn ökologischer, regenerativer Strom produziert wird, muss eine EEG-Umlage entrichtet werden. Die EEG-Umlage kann auf die Stromnutzer umgelegt werden. Der Strom wird dadurch teurer. Herr Trenkmann von der Energiegenossenschaft Eng-O kritisiert diesen Umstand (2019, 43 f.). Würde die EEG-Umlage für Energiegenossenschaften entfallen, so könnten die Energiegenossenschaften wettbewerbsfähigeren Strom anbieten. Es gibt EEG-Umlagebefreiungen für bestimmte Szenarien und Modelle (siehe Kapitel 2.3). Es ist jedoch nicht klar, wie lange diese verringerte EEG-Umlage noch Bestand hat (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 32).-

Fördernde Faktoren

Durch die Novellierung des Erneuerbaren Energiegesetz 2017 wurden Energiegenossenschaften und anderen Bürgerenergien Zugeständnisse gemacht. So brauchen diese keine Genehmigung bei Ausschreibungen nach dem Bundesimmisionsschutzgesetz, haben länger Zeit zur Realisierung von Projekten und erhalten besten Vergütungspreis. Der Nachteil ist, dass diese Vorzüge mehrheitlich von Unternehmen genutzt wurden, die keine Energiegenossenschaften sind. (Wieg 2018, 78; 2018, 78 f.).

2015 gab es eine Gesetzesänderung der BaFin nach dem Kapitalgesetzbuch. Es wurde die Einstufung von Energiegenossenschaften geändert. Eine zweite Gesetzesänderung gab es im Kleinanlegerschutzgesetz. In dem Rahmen wurde das Vermögensanlagengesetz und das Wertpapiergesetz auf die Genossenschaften angepasst. Beide Änderungen der Gesetzte sind Zugeständnisse an Genossenschaften. Und dennoch sind Genossenschaften weiterhin im Fokus von Bundesfinanzministeriums und Finanzaufsichtsbehörden und in Zukunft ist mit einer Verschärfung der Finanzaufsicht für Genossenschaften zu rechnen (Freiherr von Blittersdorf et al. 2016, 92).

2.4.4 Prognose und Potenziale

Die Teilnahme der Energiegenossenschaften am Regelenergiemarkt ist erschwert (siehe Kapitel 2.4.3). Das Potential der Energiegenossenschaften liegt in der Regionalität und der Kleinteiligkeit und im Mieterstrommodell.

Für regenerative Erzeugungsanlagen sind die naturräumlichen Gegebenheiten entscheidend. Von diesen Gegebenheiten leitet sich auch ab, dass zum Beispiel in Bayern und Baden-Württemberg mehr Photovoltaikanlagen verbaut

werden und Schleswig-Holstein hingegen ein geeigneterer Standort für Windkraftanlagen ist. Dabei werden lediglich die Potenziale der Naturräume betrachtet (Kahla et al. 2017, 19). Das Potenzial der innerstädtischen Räume wurde dabei zu wenig untersucht.

Die Einbindung von Bürger*innen in die Energiewende und damit verbundene Akzeptanzsteigerung der Energiewende durch Energiegenossenschaften muss vorangetrieben werden (Wulf et al. 2017).

Durch regionale Verankerung können Energiegenossenschaften lokale Hindernisse besser überwinden als externe und große Energieakteure. Chancen auf den regionalen Ebenen können besser erkannt und umgesetzt werden (Klagge et al. 2016, 246; Maron und Maron 2012; Jülch et al. 2017, 12 f.).

Jülch et al. (2017, 8) erkennt in den Energiegenossenschaften das Potenzial als Vorreiter in der Stromspeicherung zu agieren und schreibt: „Das Mieterstrommodell kann, sofern das geplante Mieterstromgesetz der Bundesregierung umgesetzt wird, für Energiegenossenschaften das interessanteste Geschäftsmodell im Stromspeicherbereich darstellen.“ (Jülch et al. 2017, 49).

In der breiten Bevölkerung werden Genossenschaften positiv wahrgenommen und sind bekannt. Dieses Potential sollte für die Energiewende genutzt werden (Kahla et al. 2017, 24).

Durch den Einsatz von Smart Grid und intelligenten Zählern lassen sich zukünftig Kosten- und Arbeitsersparnisse erzielen (Aichele und Doleski 2014, 324 f.)

Die Energiegenossenschaft kann Verbindungsglied zwischen Banken und Bürgern*innen sein. Eine Zusammenarbeit von Energiegenossenschaften mit ortsansässigen Firmen können den hohen Verwaltungsaufwand und die im Ehrenamt geführten Energiegenossenschaften unterstützen.(Kahla et al.

2017, 25). So wird beispielsweise die Energiegenossenschaft ENG-O von der Raiffeisenbank in Schmölln unterstützt (Trenkmann 2019, 17 f.).

2.5 Mieterstrom-Modell als Geschäftsmodell

Um den Photovoltaik-Ausbau in Ballungszentren zu stärken, wurde in das Erneuerbare Energiegesetz 2017 ein Mieterstromgesetz aufgenommen. Dieses Gesetz soll Mieterstrommodelle stäken (Knoop et al. 2018a).

2.5.1 Ausbau in Deutschland

In Berlin und südlichen Bundesländern wie Bayern und Baden-Württemberg werden die meisten Mieterstrommodelle betrieben (siehe Abbildung 7). Gründe dafür werden im Rahmen dieser Arbeit nicht beleuchtet. Laut dieser Abbildung gibt es nur ein Mieterstrommodell in Thüringen. Diese Zahl wird durch die Zahlen der Bundesnetzagentur (2019) gestützt. In deren Statistik der EEG-Registerdaten und Fördersätze werden zwei Mieterstrommodelle in Thüringen aufgeführt. Diese sind in Erfurt und Mühlhausen (Bundesnetzagentur 2019).

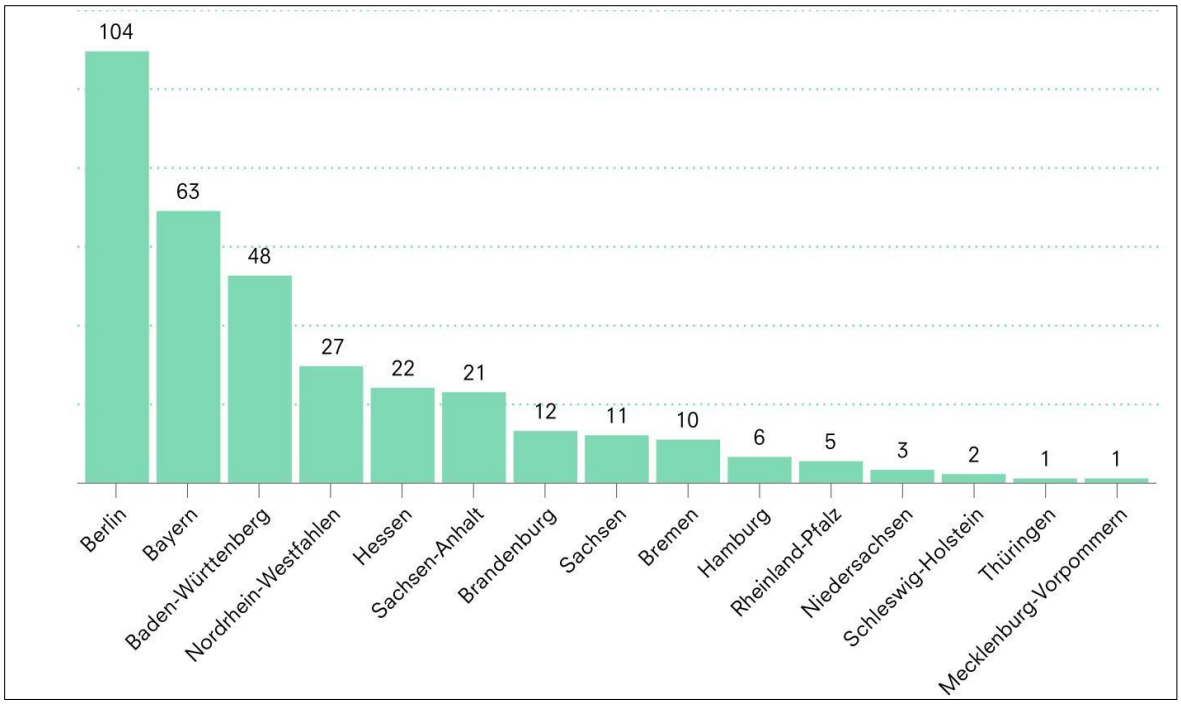


Abbildung 7: Geographische Verteilung nach Bundesländern (Flieger et al. 2018, 23)

Der aktuelle Ausbau von Mieterstrommodellen in Deutschland ist sehr gering. Wenn Mieterstrommodelle realisiert werden, dann meist auf großen, zusammenhängenden Gebäuden. Die Gründerzeithäuser werden kaum für die Mieterstrommodelle in Betracht gezogen (Koepp et al. 2017, 77; Knoop et al. 2018a).

Die Anzahl an Mieterstrommodellen ist nicht hoch, dennoch gibt es Prognosen, dass sich diese erhöhen wird. So gaben laut einer Umfrage des Institut Wohnen und Umwelt die befragten Menschen an, dass das Mieterstrommodell für sie als zukünftiges Geschäftsmodell interessant ist und sie es umsetzen würden (Großklos et al. 2015, 47)

Vor allem in Städten ist das Potenzial, Mieterstromprojekte mittels Photovoltaikanlagen zu etablieren, enorm. Die Dachflächen sind kaum genutzt und die Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ermittelte, dass es in Deutschland von 18,2 Millionen Wohngebäuden, 370 000 potenzielle Gebäude für Mieterstrommodelle gibt. Davon haben die meisten

Häuser sieben bis zwölf Wohneinheiten (Koepp et al., 82). Das sind zusätzlich 14 TWh Photovoltaikstrom in Deutschland. Verglichen mit der Photovoltaikausbau 2015 wäre dies eine Steigerung von 36% (Koepp et al. 2017, 88).

Laut der Studie des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie können sich 18 % der Besitzer*innen der aktuellen vermieteten Wohnungen in Deutschland vorstellen sich an einem Mieterstrommodell zu beteiligen (Koepp et al. 2017, 83).

2.5.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Verschieden Kosten beeinflussen die Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen.

Die Errichtungs- und Betriebskosten einer Photovoltaikanlage auf ein Mehrfamilienhaus in einer Stadt sind meist intensiver als bei gewerblichen Dächern. Höherer Planungsaufwand, statische Besonderheiten, zusätzliche Kosten bei Montage wegen aufwendigerer Dachformen und statische Besonderheiten führen zu diesem Mehraufwand. Im Vergleich zu gewerblichen Flächen oder auch Einfamilienhäusern sind die Dachflächen kleiner, aber die Kosten bedingt durch den Aufwand höher. (Will und Zuber 2017, 17).

Die Erfassung der Stromerzeugung, des Stromverbrauchs, die Verarbeitung der Messwerte und die Abrechnung ist mit einem sehr hohen Arbeitsaufwand bei Mieterstrommodellen verbunden. Ein effizienter und kostengünstiger Messstellenbetrieb und Abrechnung ist wichtig für die Wirtschaftlichkeit des Mieterstromprojektes (Will und Zuber 2017, 17 f.).

Aktuell werden Summenzählermodelle am meisten verbaut. Im Vergleich zu Smart-Meter-Zählern sind diese preiswerter im Einbau. Smart Meter-Zählermodelle bieten ein großes Potential Arbeitsschritte beim Ablesen und der Abrechnung zu erleichtern und zu automatisieren. Die einhergehende Arbeitserleichterung kann zukünftig die Wirtschaftlichkeit erhöhen, wenn die Kosten für den Einbau preiswerter werden (Koepp et al. 2017, 31; Will und Zuber 2017, 16).

Durch ein weiteres Sinken der Einspeisevergütung sind Mieterstrommodelle zukünftig eine gute Alternative zum Einspeisen von Strom (Koepp et al. 2017, 6; Großklos et al. 2015, 8).

Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen, wie die Entrichtung der vollen EEG-Umlage bei Mieterstrommodellen, beeinträchtigen deren Wirtschaftlichkeit sehr (Koepp et al. 2017, 22).

Die geplanten Gesetze der Bundesregierung nehmen einen hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Mieterstrommodelle als die tatsächlichen Erzeugungskosten (Will und Zuber 2017, 11; Jülch et al. 2017, 6).

Zusammenfassend bestimmen folgende Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen:

- Gesetzliche Rahmenbedingungen wie Steuern, EEG-Umlagen
- Anzahl der Wohneinheiten in einem Gebäude
- Beteiligung im Haus an Mieterstrommodell
- Standort des Hauses
- Messstellenbetrieb/Abrechnungsmodell
- Strompreis
- Anteil des Direktverbrauchs des selbst erzeugten Photovoltaikstroms
- Dachmiete

Laut Will und Zuber (2017, 20) bewegt sich eine Renditeerwartung von 5% in einem wirtschaftlichen Rahmen. Aber erst bei 6,7 % Rendite ist ein wirtschaftlicher Betrieb eines Mieterstrommodells möglich. Die Rendite bezieht sich auf das Gesamtkapital. In den Berechnungen von Will und Zuber (2017, 20) sind Renditen von 5% ohne Mieterstromförderung und 6,74 % inkl. Mieterstromförderung möglich bei einem Haus mit 24 Wohneinheiten möglich.

Bei einer Hausgröße ab 10 Wohneinheiten ist mit einer Rendite von 3,32 % ohne Mieterstromförderung und 4,96 % mit Mieterstromförderung zu rechnen (Will und Zuber 2017, 20).

Die berechneten Renditen fallen nicht so hoch aus, dass damit größere Gewinne erzielt werden können. Dennoch sollte die Rendite nicht als alleiniges Entscheidungskriterium herangezogen werden. Eigenschaften wie Partizipation, Erschließen neuer Geschäftsfelder und Vorantreiben der Energiewende sind Eigenschaften, die nicht durch Renditen abbildbar sind (Flieger et al. 2018, 71).

Mehrere Institute beschäftigen sich mit der Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen (Koepp et al. 2017), Knoop et al. (2018b) und Jülch et al. (2017). Alle kommen zu der Erkenntnis, dass sich das Mieterstrommodell erst bei einer gewissen Hausgröße rentabel erweist. Ab eine Hausgröße von 10 Wohneinheiten ist ein Mieterstrommodell erst wirtschaftlich realisierbar, am besten sind Wohnhäuser mit mehr als 20 Wohneinheiten. Diese sind jedoch in gründerzeitlichen Quartieren selten vorhanden.

Über die Höhe der möglichen Renditen gibt es widersprüchliche Quellenaussagen. So benennt Will und Zuber (2017, 20), dass die zu erwartende Rendite eines Mietstrommodells, selbst ohne Mietstromförderung größer ist, als bei einer reinen Einspeisung. Und Koepp et al. (2017, 6) stellt fest, dass Einspeisen von Strom immer noch wirtschaftlicher ist als ein Mieterstrommodell.

Das Mieterstromgesetz deckt nicht die regionalen Besonderheiten, wie unterschiedliche Netzentgelte oder unterschiedliche Witterungsbedingungen ab. Daher ist es nahezu unmöglich pauschale Aussagen zur Wirtschaftlichkeit zu machen (Knoop et al. 2018a).

2.5.3 Fördernde und hemmende Faktoren

Hemmende Faktoren

Nicht bei allen Häusern können Mieterstrommodelle gut umgesetzt werden. Eigenschaften wie zu große Verschattung der Dachflächen, Anforderungen des Denkmalschutzes und komplexe Eigentümerverhältnisse können mindernde bis ausschließende Faktoren sein (Knoop et al. 2018b, 1).

Das Institut Wohnen und Umwelt hat in einer Befragung klären wollen, welche Rahmenbedingungen sich ändern müssten, damit Unternehmen Mieterstrom anbieten.

- Planbare gesetzliche Rahmenbedingungen (72 %)
- Reduktion gesetzlicher Anforderungen (69%)
- Abbau von Hemmnissen im Steuerrecht (67%)
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit als Grund (41 %) (Großklos et al. 2015, 49)

Dies zeigt, dass der ausschlaggebende Punkt nicht unbedingt die schlechte Wirtschaftlichkeit ist, sondern vielmehr die aktuellen rechtlichen und steuerlichen Belastungen. Hohe rechtliche Komplexität wird in verschiedensten Quellen als großes Hemmnis genannt (Flieger et al. 2018, 13; Großklos et al. 2015, 8; Koepp et al. 2017, 21).

Komplexe und undurchsichtige Fördermöglichkeiten erschweren deren Anwendbarkeit. Und regionale Unterschiede, wie zum Beispiel unterschiedliche Netzentgelte und unterschiedliche solare Erträge werden nicht berücksichtigt und erschweren damit die Aussagefähigkeit über die Wirtschaftlichkeit von Projekten (Knoop et al. 2018a, 1).

Es können steuerliche Vergünstigungen (Befreiung der Stromsteuer gemäß § 9 Abs.1 Nr. 1 oder Nr. 3 lit. b StromStG) für Mieterstromprojekten in Anspruch genommen werden. Diese sind jedoch schwer anwendbar (Koepp et al. 2017, 23; Knoop et al. 2018b, 19).

Wie schon in Kapitel 2.1 erwähnt führt der „Atmende Deckel“ zur Senkung der Einspeisevergütung.

Fördernde Faktoren

Die Verringerung der EEG-Umlage für Mieterstrommodelle ist theoretisch möglich. Im Erneuerbaren Energie Gesetz 2017 (§ 95 Nr. 2 EEG 2017) ist eine Verordnungsermächtigung der Bundesregierung aufgenommen, aber noch nicht anwendbar (Koepp et al. 2017, 1).

Für Mieterstrommodelle gibt es Steuererleichterungen. Diese sind jedoch schwer und selten anwendbar (Koepp et al. 2017, 7).

Durch Förderprogramme auf Landesebenen können die anfallenden Kosten für ein aufwendiges Messkonzept gesenkt werden (Koepp et al. 2017, 35).

Die direkte Förderung des Mieterstromzuschlag im Mieterstromgesetz im Erneuerbaren Energie Gesetz von 2017 ist zurzeit die umfangreichste Förderung.

Um den Ausbau von regenerativen Energielieferanten in Ballungsgebieten zu fördern, wurde am 29.07.2017 von der Bundesregierung ein Mieterstromgesetz in dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz 2017

aufgenommen. Das Gesetz fördert Mieterstrommodelle (Knoop et al. 2018b, 1). Die Förderung wird für 20 Jahre gewährt (Will und Zuber 2017, 23). Die Förderhöhe bezieht sich auf den direktverbrauchten Strom und kann zwischen 2 - 4 Cent pro Kilowattstunde betragen (Will und Zuber 2017, 23).

2.5.4 Prognose und Potenziale

Mieterstrommodelle haben Akzeptanz in der Bevölkerung und belegen auch ein Zukunftsfeld (Großklos et al. 2015, 47; Aichele und Doleski 2014, 335).

Durch Mieterstrommodelle können Wohnungsunternehmen Ihre Mieter*innen besser an sich binden. Dies führt auch über die Senkung des Strompreises. Zudem können Nutzer*innen und Mieter*innen einen direkten Beitrag zum Klimaschutz beizutragen (Großklos et al. 2015, 48). Besonders in schrumpfenden Kleinstädten, wie zum Beispiel Altenburg, bringt das Mieterstrommodell Wettbewerbsvorteile mit sich.

Durch praktizierte Mieterstrommodelle werden die Mieter*innen in die Energiewende einbezogen und sind aktiver Teil dieser. Dieser partizipatorische Ansatz ist für das Gelingen der Energiewende unabdingbar (Knoop et al. 2018b, 1; Will und Zuber 2017, 11; Flieger et al. 2018, 15).

Auch können durch die lokale Verankerung von Mieterstromprojekten kleinteilige Marktlücken vor Ort besser erkannt und auch geschlossen werden. Für die großen Energieunternehmen bleiben diese ungenutzt (Flieger et al. 2018, 15).

Bisher ungenutzte Flächen für Photovoltaikanlagen werden sichtbar und genutzt (Graulich et al. 2018, 19).

In Zukunft wird durch die Nutzung von preiswerteren Stromspeichern die Eigennutzung von Elektroenergie auch Mieterstromprojekte profitabler.

Auch der Einsatz von Elektromobilität bei Mieterstromprojekten kann den Autarkiegrad erhöhen und somit sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit von Mieterstromprojekten auswirken (Will und Zuber 2017, 12).

3 METHODIK

In dieser Arbeit wurde sich mehrerer Methodiken bedient

- Literaturrecherche
- Bestimmung der Gebäudemerkmale mittels Ortsbegehung
- Ermittlung der solaren Erträge mittels Solarrechner Thüringen
- Ermittlung potenzieller Gebäude
- Wirtschaftlichkeitsberechnung mittels Excel-basierter Werkzeuge
- Akteurs-Befragungen.

Nachfolgend werden die Methoden, bis auf die Literaturrecherche, beschrieben.

3.1 Ortsbegehung

Notwendige Informationen über das Quartier wurden mittels Karten oder Satellitenbildern eingeholt. Nachfolgende Gebäudemerkmale konnten jedoch nur über Ortsbegehungen bestimmt werden:

- Stadtraumtyp nach Everding und Kloos (2007)
- Leerstand der Gebäude
- Sanierungszustand
- Art des Hauses
- Anzahl der bewohnbaren Geschosse

Dabei wurden die Gebäude von der Straße aus besichtigt und nach äußerlichen Anhaltspunkten bewertet.

In Tabelle 5 sind die Gebäudemerkmale zusammengefasst. Es werden nur Merkmale in der Tabelle dargestellt, die im Quartier vorhanden sind.

Tabelle 5 Übersicht der Gebäudemerkmale aus der Ortsbegehung

Stadtraumtyp		Leerstand	Sanierungszustand	Art des Hauses	Anzahl der zu bewohnenden Geschosse
I	Vorindustrielle Stadt/Altstadt	bewohnt	Altbau saniert	Wohnhaus	Eins
II	Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit	unbewohnt	Altbau teilsaniert Dach alt	Gewerbliche Nutzung des ganzen Hauses	Zwei
III	Wiederaufbauensemble der 50er-Jahre	-	Altbau teilsaniert Dach neu	Gewerbliche Nutzung nur im Erdgeschoss	Drei
V	Werks- und Genossenschafts-siedlungen der Gründer und Vorkriegszeit	-	Altbau unsaniert	-	Vier
XI	Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen Büro- und Infrastrukturkomplexe, Einkaufszentren, Freizeitanlagen	-	Neubau gebaut 1980er Jahre	-	Fünf
-	-	-	Neubau gebaut 1990er Jahre	-	Dachgeschoss
-	-	-	Neubau gebaut 2010er Jahre	-	-

3.2 Ermittlung Solare Erträge mittels Solarrechner Thüringen

Im Rahmen dieser Arbeit werden die potenziellen Erträge durch Photovoltaikanlagen auf den Dächern im Modellquartier ermittelt. Die Daten stammen aus dem Solarrechner Thüringen.

Der Solarrechner Thüringen stellt sämtliche Dächer dar und berechnet den potenziellen solaren Ertrag, Leistung und die Wirtschaftlichkeit durch Photovoltaik - und Solarthermische Anlagen. Durch die Nutzung des Solarrechners sollen Bürger*innen, Unternehmen und Kommunen schnell aufgezeigt werden, welches Potenzial Ihre Dachflächen für eine regenerative Nutzung der Sonnenenergie haben (ThEGA).

Die Daten der Dächer wurden mittels Befliegung ermittelt. Bei der Berechnung des solaren Ertrages werden Sonneneinstrahlung, Ausrichtung, Verschattung, Neigung und Größe des Daches berücksichtigt (ThEGA).

Bei den Berechnungen des solaren Ertrages aus Photovoltaikanlagen wurde von kristallinen Modulen ausgegangen (Solarrechner Thüringen).

Alle notwendigen Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit in einem Geographischen Informationssystem (GIS) verarbeitet.

3.3 Ermittlung potenzieller Gebäude für Photovoltaik-Anlagen

Um für das Mieterstrommodell geeignete Gebäude zu ermitteln, werden die Häuser ausgeschlossen, deren Anforderungen für das Modell nicht genügen (siehe Kapitel 0).

Dabei wurden folgenden Kriterien angewendet:

- Photovoltaik-Eignung
- erfüllt nicht die Anforderungen des Mieterstromgesetzes
- ungeeignete Dach-Geometrien
- Anforderungen des Denkmalschutzes
- Wirtschaftlichkeit der Gebäudetypen

Obwohl die Tragfähigkeit des Dachstuhls für die Montage von Photovoltaikanlagen ein wichtiges Kriterium ist, erfolgt im Rahmen dieser Arbeit keine statische Prüfung der potenziellen Häuser.

3.4 Auswahl des Werkzeuges für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung von Mieterstrommodellen ist sehr komplex. Viele unterschiedliche Faktoren, wie die Höhe der Einspeisevergütung, EEG-Umlagen, Höhe an Förderungen, Entstehungskosten, Betriebskosten Nutzerverhalten der Hausbewohner*innen und Beteiligung bestimmen die Wirtschaftlichkeit. Das Werkzeug „Kalkulationstool Mieterstrom“ der DE[NK]ZENTRALE ENERGIE GmbH vereint alle Faktoren und ermöglich die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von einzelnen Mieterstromhäusern.

Darüber hinaus besitzt das Werkzeug die Funktion der Sensitivberechnung einzelner Kostenpunkte, wie zum Beispiel Anlagenkosten und Steigerung des

Strompreises. Dabei kann betrachtet werden, welche Auswirkungen die Veränderung der Kostenpunkte auf die Wirtschaftlichkeit haben. Im Kapitel 5.3 werden die Ergebnisse der Sensitivberechnungen beschrieben. Diese Eigenschaft besitzen vergleichbare Werkezeuge nicht.

3.5 Befragungen von Akteur*innen

Um praxisnahe Erfahrungen und Erkenntnisse zu erlangen, wurden mehrere Akteur*innen befragt. Alle befragten Personen einschließlich deren beruflichen Funktion sind in der nachfolgenden Tabelle 6 dargestellt.

Die Interviews können dem Anhang 8 entnommen werden.

Tabelle 6 Übersicht der Akteur*innen

	Organisation	**Eigenschaften**
Vertreter*in einer Energiegenossenschaft	Energiegenossenschaft ENG-O	Geschäftsführer*in
Vertreter*in einer Denkmalschutzbehörde	Untere Denkmalschutzbehörde Altenburg	Sachbearbeiter*in
Vertreter*in eines Dachverbandes von Energiegenossenschaften	Bürger Energie Thüringen	Geschäftsführer*in

4 BESCHREIBUNG DES MODELLQUARTIERS

Das Modellquartier befindet sich im Norden von Altenburg und liegt zwischen dem Bahnhof und der Altstadt. Das Quartier wird dem Stadtbezirk Nordvorstadt der Stadt Altenburg zugeordnet (Stadt Altenburg 2011, 16).

Im Süden grenzt das Lindenau Museum und der dazugehörige Schlosspark an das Quartier an.

Dem Anhang 4 können diverse Karten zum Quartier entnommen werden.

4.1 Quartierseingrenzung

Das Quartier wird durch die Bahnhofsstraße, Gabelentzstraße, Dr. Wilhelm-Külz-Straße, Terrassenstraße und Dostojewskistraße eingegrenzt. In Abbildung 8 ist die räumliche Eingrenzung des Modellquartiers zu erkennen.

Das Quartier ist Teil des Denkmalensembles der Stadt Altenburg. Es wird der ersten Stadtteilerweiterung 1860 zugeschrieben (Stadt Altenburg 2006a). Charakteristisch für das Quartier ist die für die Gründerzeit typische Bauform einer geschlossenen Blockrandbebauung. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Wirtschaftlichkeit von Mieterstromprojekten für diese Bauform untersucht. Daher wurde dieser Stadtteil ausgewählt.

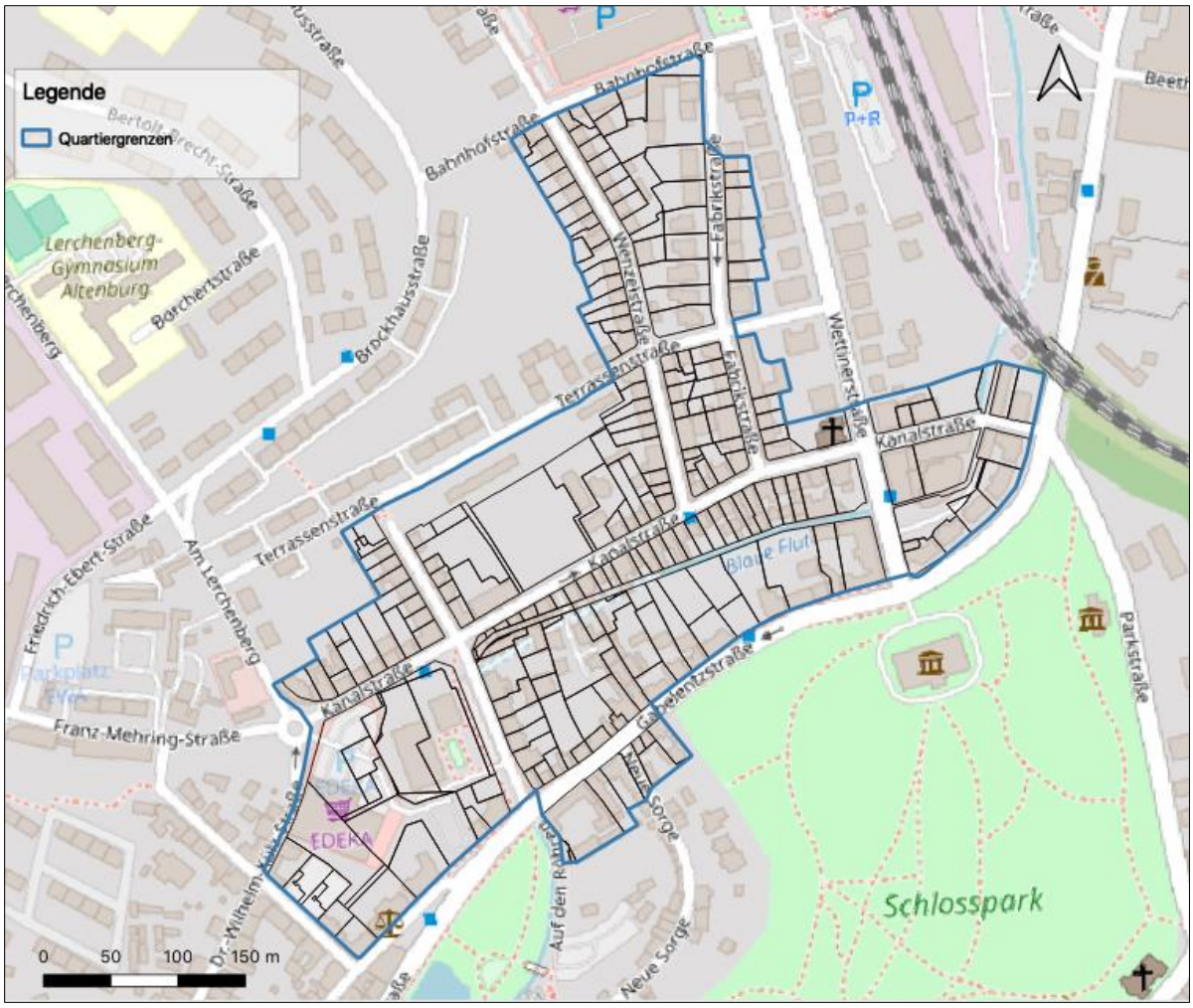


Abbildung 8 Quartiersgrenze des Modellquartiers

4.2 Stadtraumtypen

Die Einteilung der Stadtraumtypen erfolgt nach Everding und Kloos (2007). Dabei werden auf Grund der Architektur, Nutzung und Bauzeit die Gebäude eingeteilt. Die im Quartier vorhandenen Stadtraumtypen sind in der Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7 Übersicht der im Quartier vorhandenen Stadtraumtypen nach Everding und Kloos (2007) angepasst

Überwiegende Art der Nutzung	**Stadtraumtyp**		
Mischnutzung	I	Vorindustrielle Stadt/Altstadt	• Kleinteilige Bebauung, in der Regel gewerbliche Nutzung im Untergeschoss, Wohnen in Obergeschossen, rückwärtig oft Hof mit Nebengebäuden und Gärten
	II	Innerstädtische Baublöcke der Gründer- und Vorkriegszeit	• Geschlossene Bauweise, in den Erdgeschossen oft Ladenlokale, im rückwärtigen Bereich der Parzellen befinden sich oft weitere Wohn-und Gewerbetrakte
	III	Wiederaufbau-Ensembles der 50er-Jahre	• Mehrgeschossige Wohn-und Geschäftshäuser in geschlossener Bauweise, im rückwärtigen Bereich Gewerbetrakte, Garagen und offene Höfe
Wohnen	V	Werks- und Genossenschaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit	• Mehrfamilien-Wohnhäuser als Zeilen oder Wohnhöfe
Zweckbauten	XI	Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen Büro- und Infrastrukturkomplexe, Einkaufszentren, Freizeitanlagen	• Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen in städtischen Gründerzeitgürteln, z.B. Krankenhäuser, Schulen, Schwimmbäder, mit guter Bausubstanz und bis heute unveränderte Nutzung (hohe Dichte) • Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen der Nachkriegszeit bis zu den 70er Jahren als Punkthäuser in Ketten oder als Scheiben in industrieller Bauweise auf größeren Arealen mit eigenem Erschließungssystem und Grünanlagen (mittlere Dichte) • Büro- und Infrastrukturkomplexe der 80er Jahre in mehrgeschossiger Bauweise mit begrünten Innenhöfen und repräsentativer Architektur (hohe Dichte) • Einkaufszentren seit den 80er Jahren in kompakter, flächensparender Bauweise sowie großen Stellplatzanlagen (hohe Dichte) • Großzügige Freizeitanlagen der 80er Jahre am Stadtrand oder in Tourismusgebieten

Aus den Stadtraumtypen lassen sich Energiekennwerte für die Gebäude ableiten. In dieser Arbeit wird der Strombedarf von der Hausgröße und nicht über die angegebenen Stadtraumtypen abgeleitet. So kann ein genauerer Strombedarf aus den Hausgrößen ermittelt werden (siehe Kapitel 4.9).

Zur Darstellung der Quartiersarchitektur werden die Häuser dennoch den entsprechenden Stadtraumtypen zugeordnet und in diesem Kapitel dargestellt (siehe Abbildung 9).

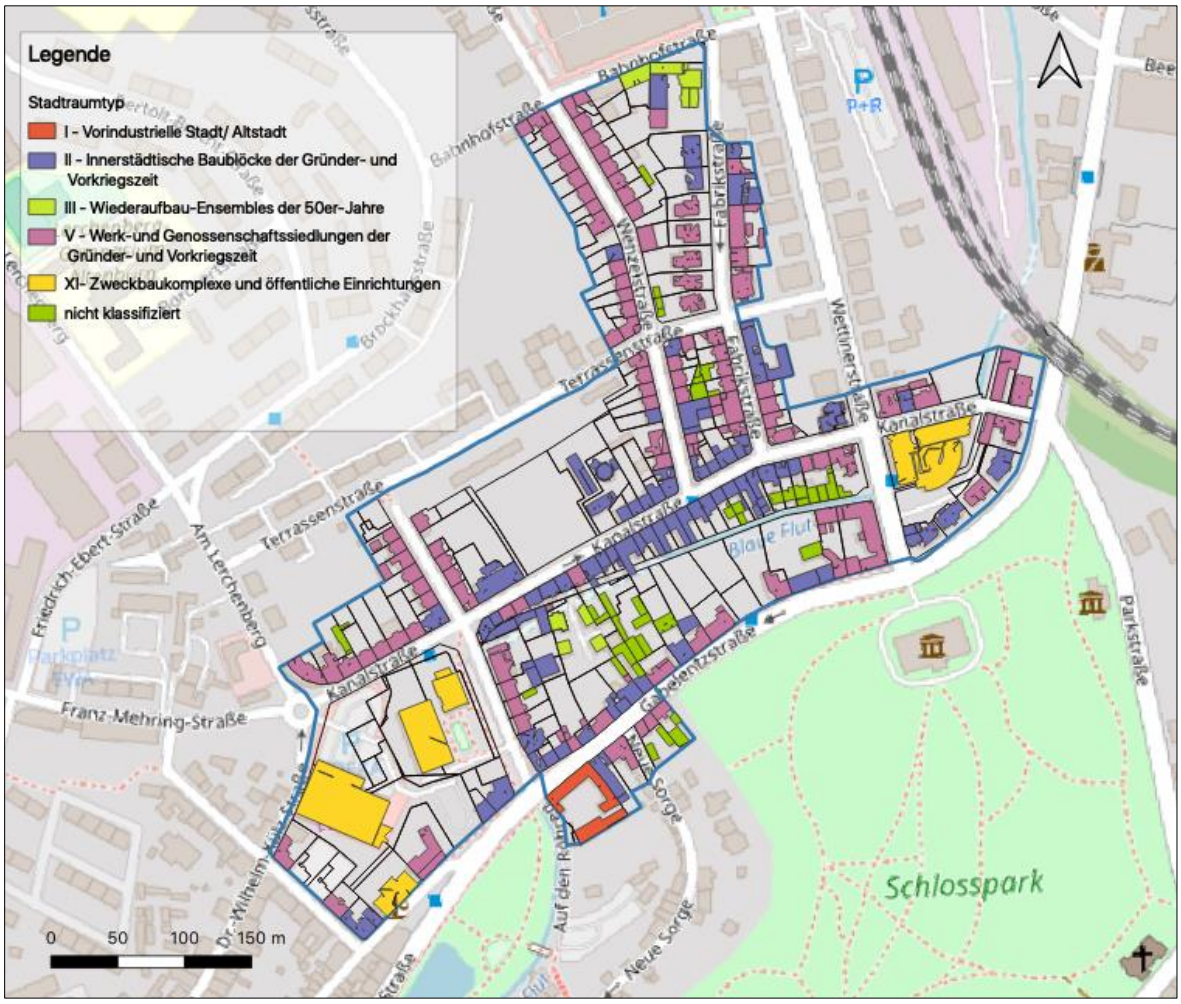


Abbildung 9 Stadtraumtypen im Modellquartier

Das Quartier umfasst hauptsächlich Wohnhäuser. Teilweise sind in den Wohnhäusern die Erdgeschosse als Ladengeschäfte erschlossen. Vor allem die Kanalstraße ist eine Verkaufsstraße.

Die Fabrikstraße war zur Gründerzeit bereits die Straße des produzierenden Gewerbes, wie das Beispiel der alten Kaffeerösterei zeigt. Im nordwestlichen Bereich befinden sich Gewerbe- und Industriegebäude dicht beieinander, wie der Supermarkt Edeka und der Zweckbaukomplex der Poliklinik.

Der größte Teil der Bebauung stammt aus der Gründerzeit. Daher sind diese Gebäude meist denkmalgeschützt.

4.3 Demografische Entwicklung

Aktuell leben in der Stadt Altenburg 32.374 Einwohner*innen (Thüringer Landesamt für Statistik 2018a). 1980 hatte Altenburg mit 55.372 Bewohner*innen die höchste Anzahl. Seitdem sinkt die Einwohnerzahl stetig. Insbesondere nach 1989 gab es einen erhöhten Wegzug von Bewohner*innen (Stadt Altenburg 2006b, 21). Zwischen den Jahren 2004 und 2014 gab es einen Bevölkerungsrückgang von -14,4%. Damit ist der Bevölkerungsrückgang der Stadt Altenburg größer als im umliegenden Landkreis (-13,7%) und als der Landesdurchschnitt mit -8,4% (Stadt Altenburg 2016, 27).

Das Durchschnittsalter liegt in der Stadt Altenburg bei 50,2 Jahren (Bertelsmann Stiftung 2019). Der Anteil an über 65-jährigen Menschen ist mit 30 % größer als der Anteil von Menschen, die jünger als 15 Jahre alt sind. Die Altersstruktur weist auf die Überalterung der Bevölkerung in der Stadt Altenburg hin (Stadt Altenburg 2016, 29) .

Gründe für den anhaltenden Bevölkerungsrückgang ist die erhöhte Abwanderung von jungen Menschen und dass mehr Menschen sterben als geboren werden (Stadt Altenburg 2006b, 21).

Der Stadtteil Nordvorstadt, in dem sich das Modellquartier befindet, ist der zweitgrößte Stadtteil der Stadt Altenburg und hat 5.023 Einwohner*innen (Stadt Altenburg 2014, 35).

Altenburg liegt im Leipziger Umland. Leipzig ist eine wachsende Stadt. Inwiefern der Bevölkerungswachstum von Leipzig in den Prognosen

eingerechnet wurde, ist nicht bekannt. In der weiteren Betrachtung dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass Altenburg von dem Bevölkerungswachstum der Stadt Leipzig profitieren und die Einwohnerzahlen zukünftig wieder steigen werden.

4.4 Wirtschaftliche Lage

Das Bruttoinlandsprodukt des Altenburger Land 2015 betrug 1.758 Millionen Euro (Veränderung zum Vorjahr 3,9) (Thüringer Landesamt für Statistik 2018b, 71).

Die Arbeitslosenquote liegt im Altenburger Land bei 7,2 % und ist damit höher als die Arbeitslosenquote von Thüringen (5,2 %).Sie liegt weit hinter dem Bundesdurchschnitt von 4,9 % (Bundesagentur für Arbeit 2019).

Das negative Pendlersaldo (-931) und die Zahlen der Arbeitslosenquote lassen auf wirtschaftsstrukturelle Probleme deuten (Stadt Altenburg 2016, 30). Für das Modellquartier liegen keine konkreten Zahlen vor. Jedoch ist anzunehmen, dass keine großen Unterschiede zwischen den anderen Stadtteilen bestehen.

4.5 Klimatische Bedingungen

Altenburg liegt in der gemäßigten Klimazone mit Kontinentalklima. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge im Jahr beträgt 551 mm und Altenburg hat eine Jahresmitteltemperatur von 8,6°C (Climate-Data 2019).

Wichtig für die Erzeugung von Strom mittels Photovoltaik ist die Mittlere Jahresglobalstrahlung. Diese beträgt für Altenburg 1061-1080 kWh/a. Im Vergleich zu Deutschland hat Altenburg eine mittelhohe Globalstrahlung (Deutscher Wetterdienst).

4.6 Leerstand

Die Einschätzung des bewohnten Zustandes eines Hauses erfolgte über die Sichtung der Häuser von der Straßenseite. In Abbildung 10 ist die Karte mit den leerstehenden Häusern dargestellt.

In dem Modellquartier sind 73 % der Häuser bewohnt und 27 % der Häuser unbewohnt. Diese für das Modellgebiet ermittelte Leerstandsquote liegt in der Dimension einer statistischen Erhebung für die Stadt Altenburg (2006b, 36), von 34 %. In den Gründerzeithäusern liegt die Quote bei 36 %.

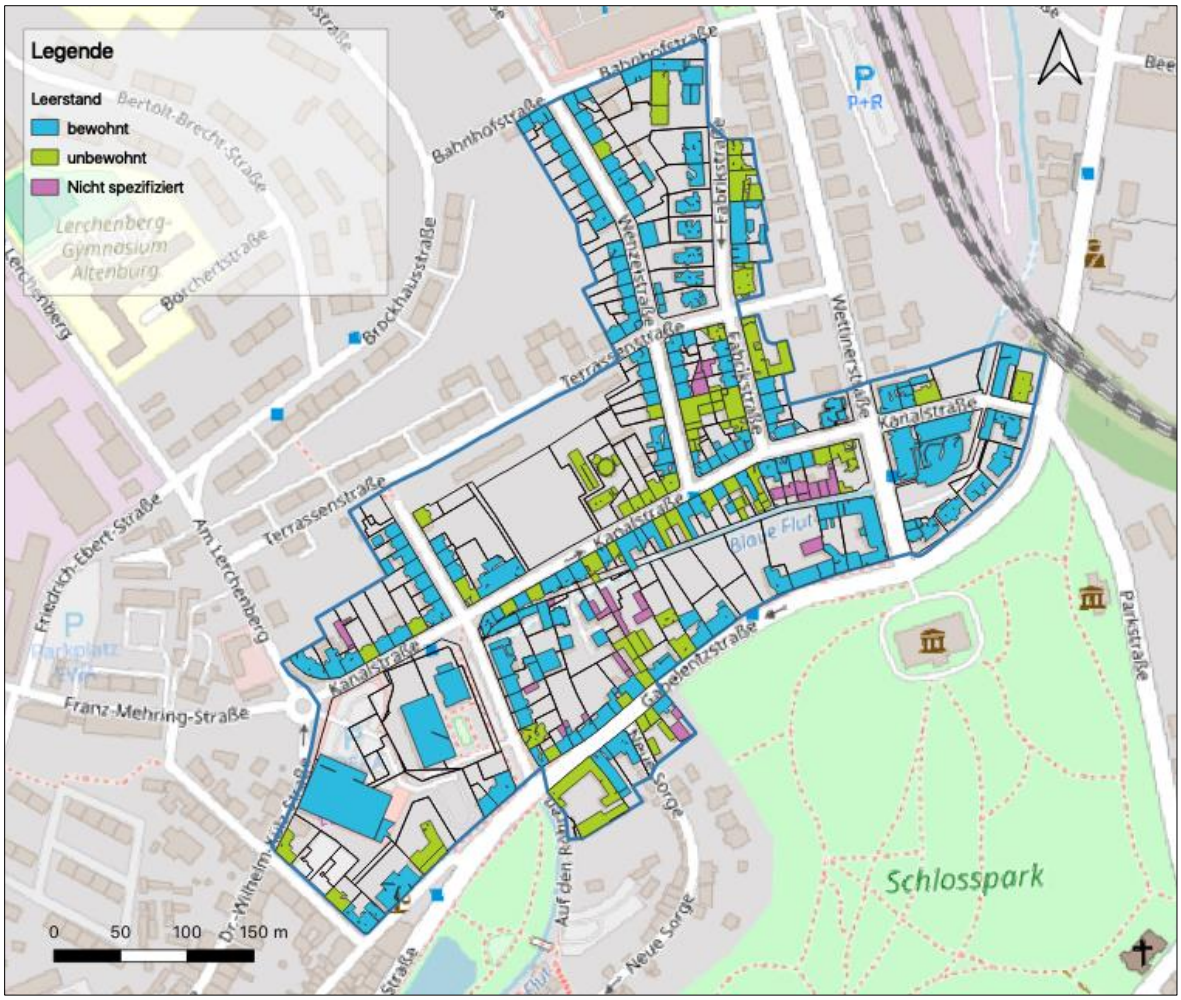


Abbildung 10 Leerstand der Häuser im Modellquartier

4.7 Bauzustand - Sanierungszustand der Häuser

Der Bauzustand ist für die Montage einer Photovoltaikanlage sehr entscheidend. Um Kosten für eine Demontage der Anlage bei einer Dachsanierung zu sparen, sollten Anlagen auf Dächern mit neuer Dacheindeckung verbaut werden.

Zur Bewertung dieser Kategorie wurden die Dacheindeckung und Spengler*innenarbeiten von der Straße aus gesichtet.

In Abbildung 11 sind die jeweiligen Bauzustände der Häuser im Modellquartier dargestellt.

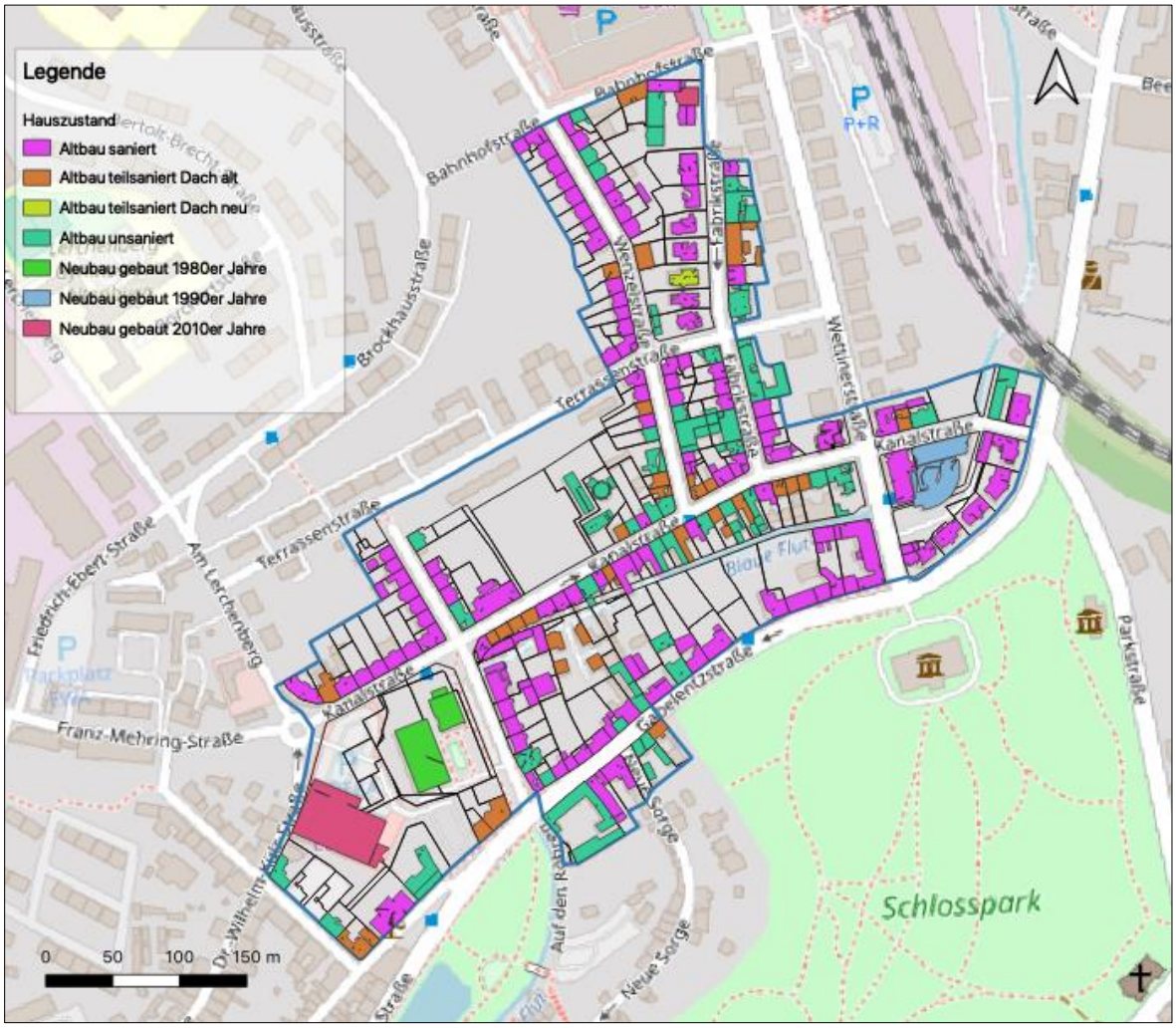


Abbildung 11 Bauzustand der Häuser im Modellquartier

In dem Modellquartier haben 41 % der Häuser ein unsaniertes Dach und bei 59 % der Häuser ist das Dach neu oder vor einigen Jahren saniert (siehe Tabelle 8). Folglich könnten bei 59 % der Dächer in naher Zukunft eine Photovoltaikanlage errichtet werden, ohne dass die Errichtung an eine Dachsanierung geknüpft ist.

Tabelle 8 Übersicht der Sanierungsarten- und Verteilung

Hausart	Bauzustand	Anteil	Anteil von sanierten Dächern und unsanierten Dächern
Altbau	Altbau unsaniert	25,5 %	41 %
	Altbau teilsaniert Dach alt	15,5 %	
	Altbau teilsaniert Dach neu	0,5 %	59 %
	Altbau saniert	55,9 %	
Neubau	Neubau gebaut 1980er Jahre	1,2 %	
	Neubau gebaut 1990er Jahre	0,5 %	
	Neubau gebaut 2010er Jahre	0,9%	

Laut Jürgen Fröhlich, Mitarbeiter der Unteren Denkmalschutzbehörde, erfolgte seit 20 Jahren keine thermische oder statische Ertüchtigung der Dachstühle (Fröhlich 2019, 6). Die statische Prüfung für die Errichtung einer Photovoltaikanlage bei den sanierten Dächern muss im Einzelfall geprüft werden.

Wird von einer Lebensdauer eines Daches von 50 Jahren ausgegangen (Kovacic 2015, 3), so könnten auch die Dächer der Neubauten der 90-er bis 2010-er Jahre mit Photovoltaikanlagen belegt werden. Jedoch ist eine genaue Prüfung im Einzelfall unabdingbar.

4.8 Aktueller Stand Nutzung Photovoltaikanlagen

Auf den Gebäuden der Kanalstraße 4 B, Kanalstraße 4 und dem Hauptgebäude der Poliklinik in der Johann-Sebastian-Bach Straße 2 wurden Photovoltaikanagen auf den Dächern verbaut. Der Ertrag dieser Anlagen ist nicht bekannt (Fröhlich 2019, 1).

4.9 Aktueller Strombedarf

Zur Berechnung des Bedarfes wurden die Anzahl der Geschosse, das ausgebaute Dachgeschoße und die Anzahl der Wohnungen pro Etage berücksichtigt (siehe Anhang 5).

Um den Bedarf jedes Hauses zu ermitteln, wurden folgende Annahmen getroffen.

In Altenburg leben 1,7 Personen pro Haushalt (Stadt Altenburg 2016, 28). Daher wurde für die weitere Betrachtung angenommen, dass pro Haushalt zwei Menschen leben, die einen durchschnittlichen Stromverbrauch von 2.600 kWh/a haben. Dies entspricht einem hohen Stromverbrauch, der über dem bundesdeutschen Durchschnitt liegt. sich Der Haushalt befindet sich in einem Mehrfamilienhaushalt und die Warmwassererwärmung erfolgt nicht elektrisch (Stromspiegel Deutschland 2017).

Für die Berechnungen wird angenommen, dass im Quartier die Häuser Zweispänner sind. Das heißt, es befinden sich auf jeder Etage zwei Wohnungen. Bei Eckhäusern wird von drei Wohnungen pro Etage ausgegangen. Bei den großen alten Industriehäusern wurden die Anzahl der Wohnungen durch die Länge der Häuser festgelegt.

Da das Mieterstrommodell nur für Wohnhäuser anwendbar ist, werden an dieser Stelle nur der Strombedarf von Wohnhäusern betrachtet.

Vor allem in der Kanalstraße befinden sich häufig Ladengeschäfte in den Erdgeschossen. Zur Vereinfachung der Berechnungen wurden diese Flächen in der Berechnung als Wohnfläche eingerechnet.

Bei Gebäuden des Stadtraumtyps XI-Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen kann alternativ zu dem Mieterstrommodell das Direktstrommodell (siehe Kapitel 2.3.1) angewendet werden. Eine kurze Betrachtung dieser Variante erfolgt in Kapitel 5.1.2.

Die alten noch leerstehenden Fabriken in der Fabrikstraße und Wenzelstraße wurden in die Kategorie Wohnhäuser aufgenommen. Durch den Leerstand ist noch unklar, ob in diese Häuser erneut Industrie oder Gewerbe einziehen wird. Es ist anzunehmen, dass durch veränderte Ansprüche an die Industriearchitektur die Gebäude aus der Gründerzeit den neuen Ansprüchen nicht genügen und daher diese Häuser zu Wohnraum oder einer Mischnutzung von Wohn- und Gewerbe umfunktioniert werden. Eine Mieterstromförderung wäre in dem Fall möglich, wenn das Haus aus mindestens 40 % Wohnfläche besteht (Will und Zuber 2017, 24 f.).

Die Stadtraumtypen I, II, III und V enthalten Wohnraum, daher werden fortführend diese Stadtraumtypen betrachtet. In der Summe ergibt sich für die Stadtraumtypen I, II, III und V ein Strombedarf von 4.690 MWh pro Jahr.

Dieser Strombedarf resultiert aus der Annahme, dass alle Häuser bewohnt sind und es keinen Leerstand gibt. Wird der ermittelte Leerstand aus Kapitel 4.6 von 27 % mit dem Strombedarf verrechnet, so ergibt sich ein aktueller Strombedarf für das Modellquartier von 3.424 MWh pro Jahr. Da angenommen wird, dass die Einwohnerzahl steigen wird, kann bei der Potentialanalyse von einem Strombedarf von 4.690 MWh pro Jahr ausgegangen werden.

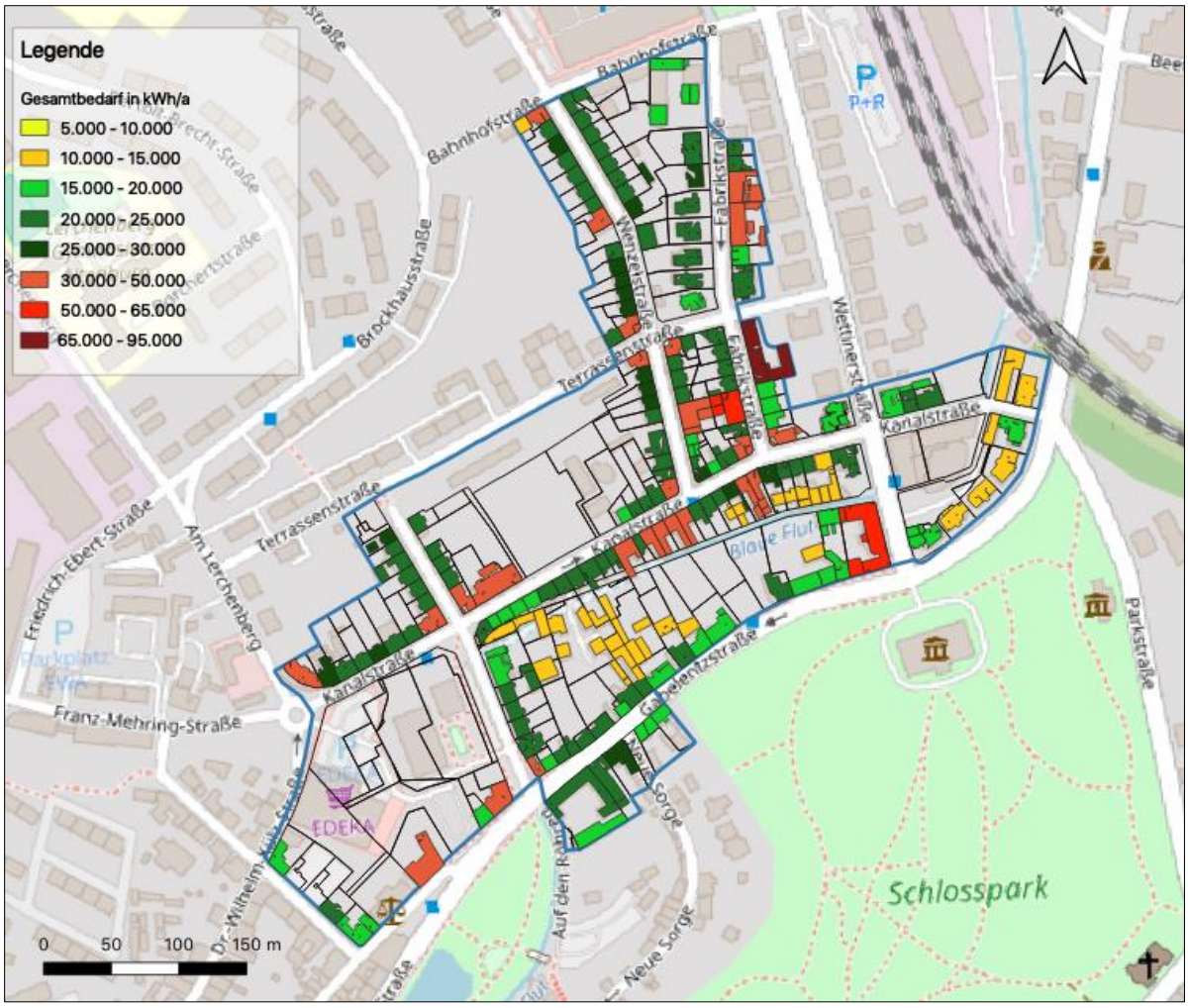


Abbildung 12 Strombedarf in kWh pro Jahr der potenziellen Gebäude für das Mieterstrommodel

Im Zuge der Ortsbegehung konnten die Hinterhäuser nicht eingesehen werden. Eine Aussage über die Geschossigkeit kann nicht getroffen werden. Es wurde die Annahmen getroffen, dass alle Hinterhäuser über zwei bewohnbare Geschosse verfügen und somit vier Wohneinheiten mit je einem Stromverbrauch von 2.600 kWh pro Jahr haben. Folglich haben alle betrachteten Hinterhäuser einen jährlichen Strombedarf von 10.400 kWh.

Durch den Ausbau der Elektromobilität und Zunahme an Wärmepumpenstrom ist anzunehmen, dass der Strombedarf in Zukunft steigen wird beziehungsweise der Mehrbedarf durch Stromeinsparungen kompensiert

wird. Damit kann angenommen werden, dass der Strombedarf im Vergleich zu heute gleichbleibend sein wird (Stadt Nordhausen 2012; Dell-Almak et al. 2018).

Im Rahmen dieser Arbeit werden lediglich die Potenziale der Photovoltaikanwendung der Dachflächen betrachtet. Andere regenerative Energieformen wie Wind- und Wasserkraft werden nicht weiter untersucht.

Alle wärmeliefernden Energiequellen, wie Solarthermie werden nicht betrachtet, da diese Wärme zum Heizen und für die Warmwassergewinnung erzeugen. Es ist ein wassergeführtes Medium, das andere Leitungen und andere Anforderungen an die Speicher stellt. Daher erfolgte keine Betrachtung der Potenziale der Solarthermie im Rahmen dieser Arbeit.

5 POTENZIALANALYSE UND BEWERTUNG DER GEBÄUDE IM MODELLQUARTIER

In dem Modellquartier existieren 238 Wohnhäuser. Es wurden alle Häuser zusammengefasst, die sich auf einem Flurstück befinden. Diese räumliche Nähe begünstigt die Anwendbarkeit für das Mieterstrommodell. Durch ein Ausschlussverfahren werden in Kapitel 5.1 die potenziellen Gebäude ermittelt.

In Kapitel 5.2 wird die Wirtschaftlichkeit der typischen Hausbauarten verglichen. Somit wird sichtbar, bei welchen Haustypen eine Anwendung des Mieterstrommodells möglich ist. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden zu einer weiteren Selektion von Häusern verwendet. Anhand dieser Häuser wird ermittelt, ob sich der Betrieb einer Energiegenossenschaft lohnt.

Mittels eines ausgewählten, für das Quartier typischen Hauses, werden in Kapitel 5.2 technische und wirtschaftliche Ergebnisse dargestellt. Auswahl potenzieller Häuser: Selektionsschritte

Für das Quartier wurde ein Strombedarf von 4.690 MWh pro Jahr ermittelt. Werden auf alle Dachflächen Photovoltaikanlagen verbaut, können 4.113 MWh pro Jahr Strom aus diesen Anlagen produziert werden (siehe Anlagen 5). Dies entspricht 88 % des jährlichen Bedarfes.

Der beschriebene möglich Ertrag stellt keine realistisch umsetzbare Größe dar, da die in Kapitel 5.1 beschriebenen Auswahlkriterien noch nicht berücksichtigt sind.

In der Abbildung 13 ist der potenzielle Ertrag für jedes Haus dargestellt. Es zeigt sich schon hier, dass einige Dachflächen sehr geringe Erträge aufweisen. Diese sind vor allem sehr kleinteilige und nach Norden ausgerichtete Dachformen.

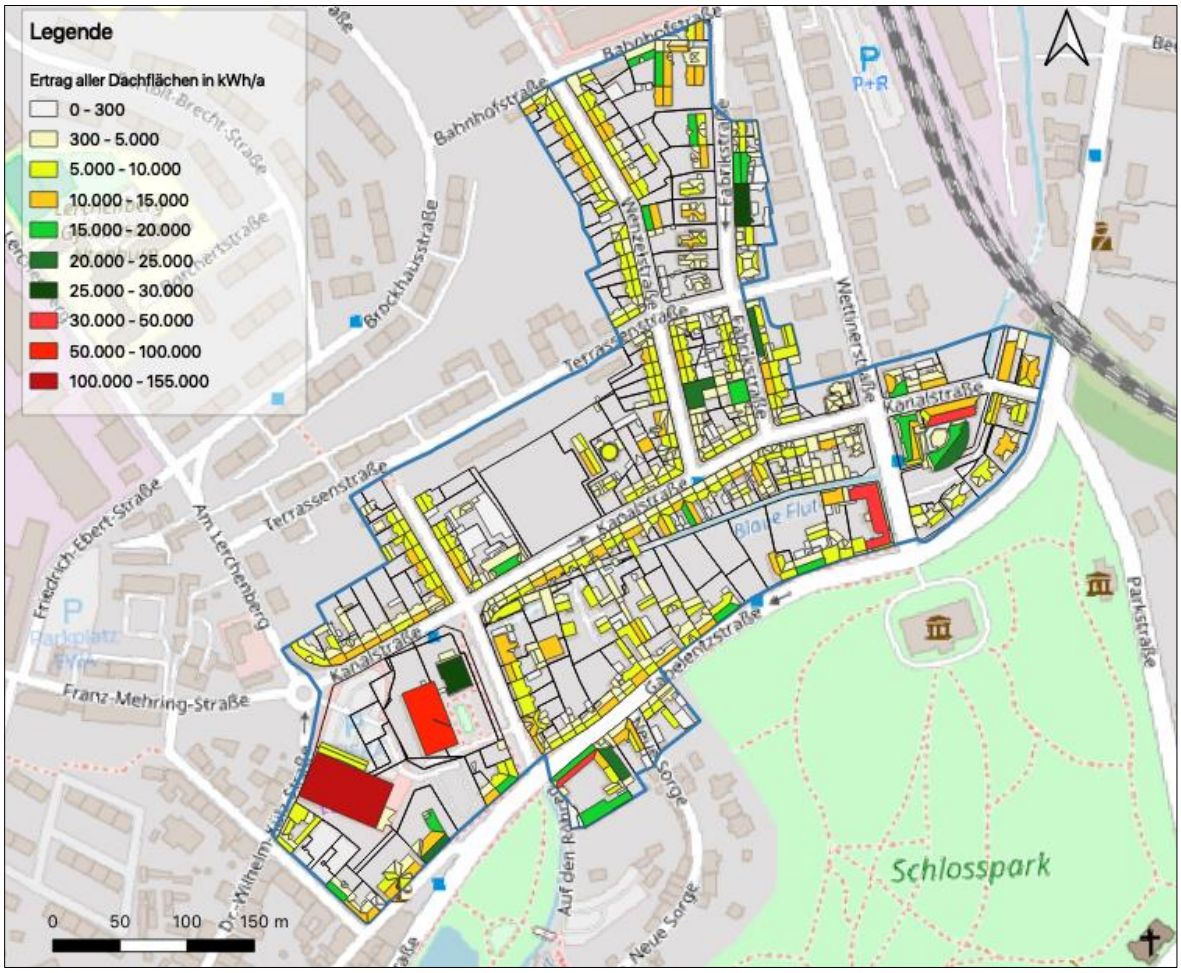


Abbildung 13 Basisszenario: Potenzieller jährlicher Gesamtertrag in kWh aller Dachflächen für das Modellquartier

5.1 Auswahl potenzieller Häuser: Selektionsschritte

Nicht bei allen Häusern im Quartier kann das Mieterstrommodell und die Stromerzeugung durch eine Photovoltaikanlage umgesetzt werden.

Die potenziellen Häuser wurden in mehreren, nachfolgenden Selektionsschritten ermittelt.

- ungeeignete Dachflächen
- Anforderungen des Mieterstrommodells
- kleinteilige und verwinkelte Dachformen
- Denkmalschutz

5.1.1 Ungeeigneten Dachflächen

Nicht alle in Abbildung 13 dargestellten Dachflächen eignen sich für die Nutzung von Photovoltaikanlagen. Verschattung, Dachneigung oder ungeeignete Dachausrichtung haben Einfluss auf die Leistung der Photovoltaikanlage. Daher wurde die Eignung mittels dieser Kriterien für alle Dachflächen im Quartier ermittelt. In Abbildung 14 sind die Dächer mit den dazugehörigen Eignungen für die Nutzung von Photovoltaikanlagen dargestellt. Die Ermittlung der Eignung erfolgte auf Grundlage der Daten des Thüringer Solarrechners.

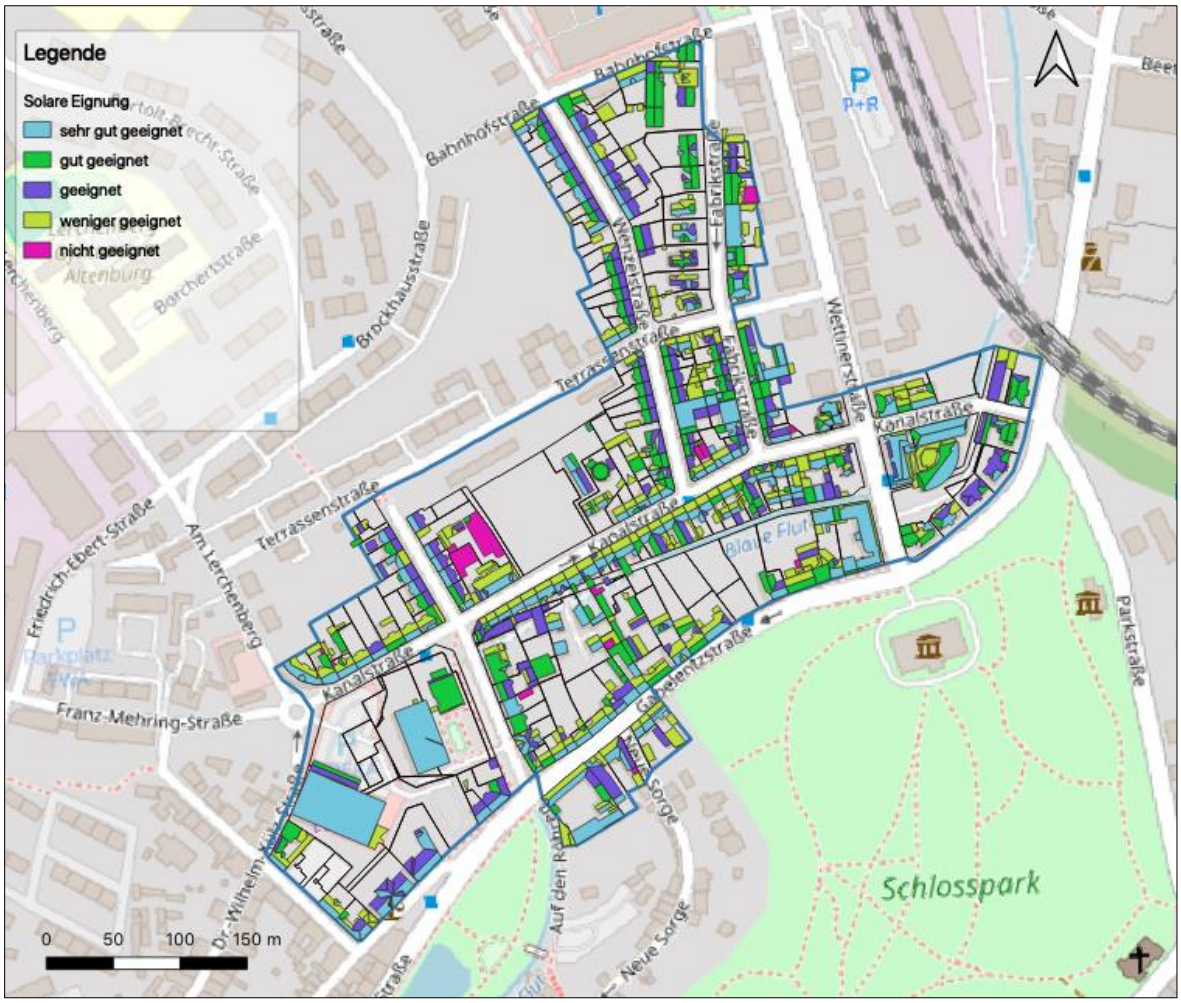


Abbildung 14 Solare Eignung der Dachflächen im Quartier für die Nutzung von Photovoltaikanlagen

Alle Dachflächen, deren solare Eignung

- nicht geeignet
- weniger geeignet
- geeignet

sind, werden in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt.

Die restlichen Dachflächen mit einer Eignung ‚sehr gut geeignet' und ‚gut geeignet' können jährliche 3.075 MWh Strom durch Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von 3.531 kWp produziert. Dem Anhang 4 ist die Karte der potenziellen Dachflächen mit den dazugehörigen solaren Erträgen nach diesem Selektionsschritt zu entnehmen. Durch die Auswahl wird der Ertrag aus Photovoltaikanlagen um 25 % reduziert.

5.1.2 Anforderungen des Mieterstromgesetzes

Zweckbauten, wie Edeka, Sparkasse, Poliklinik und Sozialgericht sind Gebäude der Stadtraumtyps „XI" (siehe Kapitel 4.2). Um das Mieterstrommodell anwenden zu können, müssen mindestens 40 % der Fläche als Wohnfläche genutzt werden und es ist eine Nutzung von privaten Letztverbraucher*innen notwendig (Will und Zuber 2017, 8; 2017, 24 f.). Beide Anforderungen schließen diese Zweckbauten aus.

Hier kann jedoch das Modell des Direktverbrauchs durch die Energiegenossenschaft angewendet werden. Dabei könnten diese Dachflächen folgenden Erträge und Leistungen erzielen (siehe Tabelle 9). Es ist zu erwarten, dass mögliche Renditen höher ausfallen als bei den Mieterstrommodellen. Daher könnte die Energiegenossenschaft durch den Betrieb dieser Anlagen die eigene Rendite erhöhen und schwächere Häuser kompensieren.

Tabelle 9 Übersicht der Gewerbe- und städtischen Gebäude mit den potenziellen solaren Erträgen, Leistungen und dem tatsächlichen Strombedarf

	Ertrag [kWh/a]	Bedarf [kWh/a]	Leistung [kWp]	CO2-Ersparnis [t/a]
Edeka	157.883	541.660	179	92
Poliklinik inkl. Anbau	109.464	Nicht bekannt	124	63
Sparkasse	121.603	286.543	134	71
Sozialgericht	37.556	Nicht bekannt	42	22
Summe	**426.506**	**828.203**	**479**	**248**

Der tatsächliche Strombedarf von Edeka und Sparkasse wurden erfragt (siehe Anhang 1). Für die Poliklinik und das Sozialgericht Altenburg ist der jeweilige Bedarf nicht bekannt.

Nach dem Denkmalschutz dürfen nur Flächen mit Photovoltaikanlagen belegt werden, die nicht einsehbar sind (Fröhlich 2019, 3). Daher entfallen straßenzugewandte Dachflächen. Demnach reduziert sich der solare Ertrag für die Sparkasse auf 90.475 kWh pro Jahr und einer Leistung von 99 kWp und bei dem Sozialgericht auf 5.154 kWh pro Jahr und einer Leistung von 6 kWp.

Die alte Kaffeerösterei und die alten Industriegebäude in der Fabrikstraße, Wenzelstraße und Kanalstraße 42 sind zurzeit ungenutzt. Hier wäre eine Umnutzung zu Wohnbauten sinnvoll, um das Mieterstrommodell für diese Gebäude anwendbar zu machen. Davon wird in der weiteren Betrachtung ausgegangen.

Die Gebäude in der Kanalstraße haben sehr häufig Ladengeschäfte im Erdgeschoss. Strom darf an diese Ladengeschäfte nicht verkauft werden, da sie keine privaten Letztverbraucher sind. Da aber lediglich die Erdgeschossflächen gewerbliche Flächen sind und damit die Anforderung

mindestens 40 % der Fläche Wohnfläche sind, ist die Mieterstromförderung anwendbar.

Werden alle zuvor beschriebenen Gebäude selektiert, so ergibt sich ein potenzieller Ertrag für das Quartier von 2.622 MWh pro Jahr und einer Leistung von 3.022 kWp. Durch die Einschränkungen des Mieterstromgesetzes für die Gebäude wird der Ertrag im Vergleich zum Basisszenario um 36 % reduziert. Bei dem Basisszenario sind alle Dachflächen mit Photovoltaikanlagen belegt. Im Anhang 4 ist die Karte der potenziellen Dachflächen mit den jeweiligen solaren Erträgen nach diesem Selektionsschritt dargestellt.

5.1.3 Kleinteilige und verwinkelte Dachformen

Kleinteilige und verwinkelte Dachformen eignen sich nur begrenzt als mögliche Photovoltaikflächen. Eine Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen ist nicht gegeben. Daher werden diese Dachflächen nicht weiter betrachtet.

Diese Dachflächen sind häufig bei Villen mit Mansardendächern in der Leipziger Straße 2 bis 12 und in der Fabrikstraße 38 bis 40a zu finden.

Durch die Selektion von ungeeigneten Dachformen können 42 % weniger solarer Ertrag produziert werden, als bei dem Basisszenario. Es ergibt sich ein potenzieller jährlicher Ertrag von 2.373 MWh, einer Leistung von 2.726 kWp.

Im Anhang 4 sind alle Dächer nach Wegfall der beschriebenen Kriterien mit dem möglichen solaren Ertrag zu dargestellt.

5.1.4 Denkmalschutz

Das Modellquartier ist Teil des Denkmalensembles der ersten Stadterweiterung nach 1860 (Stadt Altenburg 2006a). Zum Erhalt der Quartiersarchitektur dürfen die Gebäude optisch nicht verändert werden. Dies schließt den Bau einer Photovoltaikanlage auf den Dächern aus, da diese das Erscheinungsbild der Häuser verändern würden (Fröhlich 2019, 1).

Sobald Dachflächen von der Straße aus nicht einsehbar sind, kann eine Photovoltaikanlage errichtet werden. Dies muss im Vorfeld mit der Denkmalschutzbehörde abgeklärt werden (Fröhlich 2019, 3).

Bei Neubauten gelten diese Anforderungen nur bedingt. Bei Flachdächern ist eine Montage einer Photovoltaikanlage auf straßenzugewandten Seiten möglich. Bei beiden Varianten ist der Denkmalschutz zwingend einzubinden. (Fröhlich 2019, 3; 2019, 4).

Durch die Beschränkungen des Denkmalschutzes ergibt sich ein potenzieller Ertrag von 1.449 MWh pro Jahr mit einer Leistung von 1.700 kWp. Durch die Einschränkungen des Denkmalschutzes können 65 % weniger solarer Ertrag produziert werden, als bei dem Basisszenario. In Abbildung 15 sind alle Dachfläche nach der Selektion durch den Denkmalschutz zu erkennen.

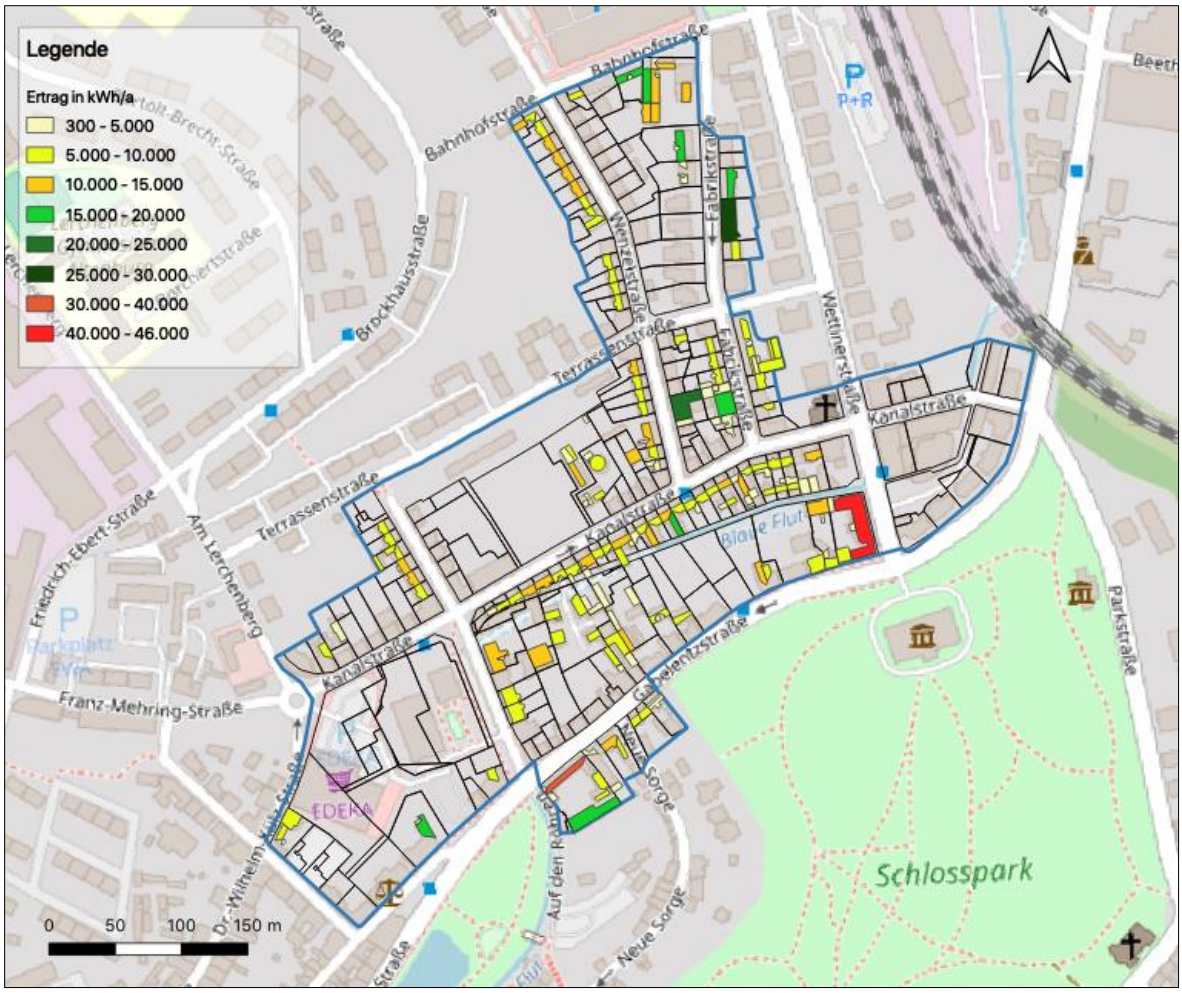


Abbildung 15 Potenzielle Dachflächen mit Erträgen nach Wegfall von Dachflächen durch Einschränkungen des Denkmalschutzes

5.1.5 Zusammenfassung

In der Tabelle 10 sind die Ergebnisse der vorherigen Kapitel zusammengefasst. In der letzten Spalte der Tabelle ist dargestellt, wie viel CO_2 durch die Stromerzeug mittels Photovoltaikanlagen eingespart werden kann.

Laut dem Solarrechner Thüringen werden pro produzierter Kilowattstunde Photovoltaikstrom, 0,58 Kilogramm CO_2 eingespart.

Tabelle 10 Übersicht der unterschiedlichen Szenarien mit den potenziellen solaren Erträgen aus Photovoltaikanagen und CO_2-Einsparung

Selektionskriterium	Leistung [kWp]	solarer Ertrag [MWh/a]	CO_2-Ersparnis [t CO_2/a]
Basis	4.631	4.113	2.386
Ungeeignete Dachflächen	3.531	3.074	1.783
Anforderung Mieterstromgesetz	3.022	2.622	1.520
Kleinteilige, verwinkelte Dachflächen	2.726	2.373	1.376
Denkmalschutz	1.700	1.449	840

Werden alle beschriebenen Selektionsschritte angewendet, so kann ein solarer Ertrag von 1.449 MWh pro Jahr mit einer Leistung von 1.700 kWp produziert werden. Damit können 31 % des Strombedarfs von 4.690 MWh/a im Quartier gedeckt werden.

Laut JENA GEOS (2019) belaufen sich die CO_2-Emission für Strom im Quartier auf jährlich 1.397 Tonnen (siehe Anhang 2) Die CO_2-Einsparung von 840 Tonnen pro Jahr mittels der Photovoltaikanlagen entsprechen 60 % der Gesamt-CO_2-Emission für Strom im Quartier.

5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Vergleich typischer Gebäudetypen des Quartiers

Es gibt diverse Gebäudetypologien, jedoch eignen sich diese nicht für die Anwendung bei Mieterstrommodellen und für die Nutzung von Photovoltaikanlagen. Daher wurden die nachfolgenden Gebäudetypen im Rahmen dieser Arbeit erstellt.

Im Modellquartier befinden sich unterschiedlichste Gebäudetypen, die sich in Hausgröße, Architektur und potenzieller Photovoltaikfläche unterscheiden. Es ist daher nicht möglich, eine pauschale Aussage über deren Wirtschaftlichkeit bei Anwendung eines Mieterstrommodells zu machen.

Daher werden in diesem Kapitel die typischen Haustypen des Quartiers aufgezeigt und anhand konkreter Häuser die Wirtschaftlichkeit berechnet. Aus diesen Berechnungen können konkrete Aussagen über die Wirtschaftlichkeit getroffen werden. Eine Verallgemeinerung der Aussagen ist erst danach möglich.

5.2.1 Beschreiben der Gebäudetypen

Nach der Auswahl der Häuser im Kapitel 5.1 werden folgende Gebäudetypen in Tabelle 11 betrachtet.

Tabelle 11 Haustypen im Modellquartier

Haustypen	
Vorderhaus mit Satteldach	mit kleiner nutzbarer Dachfläche für Photovoltaik und weniger als zehn Wohneinheiten
	mit mittelgroßer nutzbarer Dachfläche für Photovoltaik und weniger als zehn Wohneinheiten
	mit mittelgroßer nutzbarer Dachfläche für Photovoltaik und mehr als zehn Wohneinheiten
Vorderhaus mit Seitenflügel und Satteldach	mehr als zehn Wohneinheiten
Eckhaus	mehr als zehn Wohneinheiten
ein Vorderhaus mit Hinterhaus	mit mehreren Hinterhäusern
	mit einem Hinterhaus
Alte Industriegebäude	mehr als zehn Wohneinheiten

Nachfolgend werden die Gebäudetypen ausführlich beschrieben.

Vorderhäuser

Als Vorderhäuser werden jene Häuser beschrieben, die von der Straße sichtbar sind und direkt mit einem Bürgersteig an eine Straße anschließen. Dieser Haustyp hat in diesem Quartier immer ein Satteldach.

Unterschiedliche Geschossigkeiten der Häuser beeinflussen die Anzahl der Wohneinheiten. Im Quartier haben die Häuser zwischen vier und fünf bewohnbare Vollgeschosse. Es wird angenommen, dass die Häuser pro Etage zwei Wohneinheiten haben.

Eckhäuser

Im Quartier sind Eckhäuser immer von der Straße aus einsehbar. Auch dieser Gebäudetyp hat immer ein Satteldach und besitzt zwischen vier und fünf Vollgeschossen. Durch die Eckausbildung dieses Gebäudetyps hat das Haus eine größere Grundfläche und hat daher Platz für drei Wohnungen pro Etage. Daher haben Eckhäuser immer mehr als zehn Wohneinheiten.

Vorderhäuser mit Seitenflügel

Die Eigenschaften der Vorderhäuser mit Seitenflügeln sind die gleichen wie der Eckhäuser. Nur befinden sich diese nicht an Straßenecken, sondern meist in einer Straßenflucht. Der Seitenflügel ragt in den Hinterhof hinein.

Die Dächer der Seitenflügel sind in der Regel nicht von der Straße erkennbar, daher entstehen keine Auflagen von Seiten des Denkmalschutzes.

Vorderhäuser mit Hinterhäusern

Vor allem zwischen Kanalstraße und Gabelentzstraße befinden sich zahlreiche Vorderhäuser mit Hinterhäusern. Die Vorderhäuser haben, wie bereits beschrieben, ein Satteldach und vier bis fünf Geschosse und befinden sich direkter Nähe zur Straße.

Die Hinterhäuser sind von der Straße meist nicht einsehbar und können nur durch die Vorderhäuser erreicht werden. Sie haben in der Regel ein Flachdach und sind nicht so groß, wie die Vorderhäuser. Da sich die Hinterhäuser in unmittelbarer Nähe zu den Vorderhäusern befinden, können beide Häuser zu einem Mieterstromprojekt zusammengefasst werden. Dadurch erhöht sich die Anzahl der Wohneinheiten und zusätzliche Fläche für die Photovoltaikanlage. Durch die Flachdächer der Hinterhäuser können die Photovoltaikanlagen aufgeständert und nach der besten Ausrichtung aufgestellt werden. Da die Hinterhäuser nicht von der Straße sichtbar sind, entstehen keine Auflagen des Denkmalschutzes.

Alte Industriehäuser

Insgesamt sind es im Quartier fünf Häuser dieses Typs. Vor allem in der Fabrikstraße befinden sich einige alte Industriegebäude.

Diese Gebäude sind größer als die Wohnhäuser und haben meist Flachdächer. In Kapitel 5.1.2 wurde beschrieben, dass den aktuell noch leerstehenden Gebäuden im Rahmen dieser Arbeit eine zukünftige Wohnnutzung zugewiesen wird. Durch die Größe entstehen in diesem Gebäudetyp sehr viele Wohneinheiten. Jedes Gebäude ist sehr individuell. Dadurch können keine pauschalen Aussagen getroffen werden. Alle fünf Gebäude werden in der Tabelle 12 im Kapitel 5.2.3 dargestellt.

Außer dem Gebäude in der Gabelentzstraße 6, 6a-d und 7 und 7a-sind alle anderen Industriegebäude leerstehend. Der Gebäudekomplex der Gabelentzstraße ist bereits in Wohnhäuser umgebaut.

5.2.2 Kostenannahmen für die Berechnung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in diesem Kapitel auf Projektebene. Kosten für den Betrieb einer Energiegenossenschaft werden hier nicht betrachtet.

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird durch viele Faktoren beeinflusst. Daher werden für die Berechnungen folgende Annahmen getroffen.

Die Inbetriebnahme der Anlage ist für September 2020 geplant und hat eine Anlagenlaufzeit von 25 Jahren. Daraus ergeben sich folgende Förderungs- und Vergütungshöhen:

- berechnete EEG-Vergütung: 12,20 Cent/kWh
- berechnete Förderung Mieterstrom: 3,70 Cent/kWh

Das Nutzer*innenverhalten und die Beteiligungsquote im Haus beeinflussen die Wirtschaftlichkeit:

- Beteiligungsquote am Mieterstrommodell im Haus: 50 %
- Stromverbrauch je Wohneinheit: 2.600 kWh pro Jahr
- Eigenverbrauchsoptimierung der Bewohner*innen angestrebt

Für die Inbetriebnahme und den laufenden Betrieb der Anlage und für die Verwaltung fallen folgende Kosten an:

- Systempreis Photovoltaik-Anlage: 1.250 €/kWp (einmalige Kosten)
- Dachpacht: 6 €/kWp pro Jahr
- Kosten Anlagenüberwachung: 4 €/kWp pro Jahr
- Kosten Wartung und Betrieb: 8 €/kWp pro Jahr
- Kosten Versicherung: 2 €/kWp pro Jahr
- Kosten Datenfernüberwachung: 8 € pro Monat
- Kosten Betrieb Summenzähler: 70 € pro Jahr
- Kosten Zählersetzen: 4.000 € (einmalige Kosten)
- Kosten für Messung und Abrechnung: 8 €/Wohneinheit pro Jahr

Um die Investitionen tätigen zu können, bedarf es Geldmittel. Diese können durch einen Bankkredit bereitgestellt werden. Die Annahmen dazu sind:

- Anteil Eigenkapital: 20%
- Tilgungsfreiheit: 3 Jahre
- Tilgungsdauer: 10 Jahre
- Zinssatz: 2,5 %

Der Strompreis ist in der Vergangenheit gestiegen. Es ist anzunehmen, dass der Strompreis zukünftig weiter steigen wird (Jülch et al. 2016, 49). Dennoch wurde die Strompreissteigerung in die Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht mit einkalkuliert. Ein steigender zukünftiger Strompreis wirkt sich positiv auf die Rendite der Mieterstromprojekte aus.

Die Kosten für den Betrieb einer Energiegenossenschaft von jährlich 2.000 € wurden nicht mit in die Berechnungen eingerechnet. da davon ausgegangen werden kann, dass die Energiegenossenschaft mehrere Mieterstrommodelle im Quartier haben wird. Somit können die Kosten auf mehrere Projekte aufteilen werden. In Kapitel 5.7 wird eine überschlägige Aussage getroffen, ob es möglich sei, mit den potenziellen Häusern einen Betrieb der Energiegenossenschaft zu schaffen, der es zulässt Stellen zu schaffen. Und

somit das Bestehen der Energiegenossenschaft nicht abhängig von der ehrenamtlichen Arbeit der Menschen ist.

5.2.3 Vergleich der Gebäudetypen im Quartier

Anhand eines Hauses aus jeder Gebäudeart wurde exemplarisch für die Gebäudeart die Wirtschaftlichkeit eines Mieterstromprojektes berechnet. Ausgenommen davon sind die Industriebauten. Wie bereits in Kapitel 5.2.1 erwähnt, wird die Wirtschaftlichkeit für alle fünf Industriehäuser dargestellt.

Die Ergebnisse und die Darstellung der Häuser mit deren Eigenschaften ist in Tabelle 12 zu erkennen. Dem Anhang 6 können alle dazugehörigen Berechnungen entnommen werden.

Vorwegzunehmen ist, dass sich bei allen Gebäudetypen die Ausgaben nach 12 Jahren amortisiert haben werden (siehe Anhang 6).

Vorderhäuser

Das Vorderhaus mit einer sehr kleinen Grundfläche und damit auch mit einer sehr geringen potenziellen Dachfläche für Photovoltaikanlagen von 50 m^2 erzielt bei einer Leistung von 8 kWp, eine Rendite von 3 % mit Mieterstromförderung. Ohne Förderung wird eine Rendite von 1,63 % erzielt. Beide Renditeerwartungen sind für einen wirtschaftlichen Betrieb zu gering. Durch die geringe Grundfläche hat das Haus nur sechs Wohneinheiten.

Auch bei einer größeren potenziellen Dachfläche von 86 m^2, einer Leistung von 14 kWp und acht Wohneinheiten steigt die Renditeerwartung lediglich auf

3,63 % mit und auf 2,38 % ohne Mieterstromförderung an. Auch diese Renditen sind zu gering für einen wirtschaftlichen Betrieb.

Bei annähernd gleicher potenzieller Photovoltaik-Dachfläche von 84 m^2 und gleicher Leistung von 14 kWp, aber mit elf Wohneinheiten im Gebäude, steigt die Rendite auf 4,77 % mit Mieterstromförderung und 3,32 % ohne Mieterstromförderung an. Laut Will und Zuber (2017, 20) bewegt sich ein Projekt ab einer Renditeerwartung von 5 % in einem wirtschaftlichen Rahmen. Aber erst bei 6,7 % Rendite ist ein wirtschaftlicher Betrieb eines Mieterstrommodells möglich.

Die ermittelten Renditen für das Mehrfamilienhaus mit elf Wohneinheiten decken sich mit den berechneten Renditen von Will und Zuber (2017, 20). Es wurde eine Rendite für ein Mehrfamilienhaus mit zehn Wohneinheiten von 4,96 % mit und von 3,32 % ohne Mieterstromförderung ermittelt.

Vorderhäuser mit Seitenflügel

Mit einer großen Photovoltaikfläche von 176 m^2 mit einer Leistung von 30 kWp und mit 13 Wohneinheiten erreicht dieser Gebäudetyp eine Rendite mit Mieterstromförderung von 5,05 % und ohne von 3,94 %. Damit ist die Renditeerwartung dieses Gebäudetyps höher, als der Häuser des Haustyps Vorderhaus.

Eckhäuser

Eckhäuser haben durch die Eckausbildung eine geringere potenzielle Photovoltaikfläche. Die gesamte potenzielle Dachfläche für Photovoltaik wird ausgeschöpft und dennoch bleiben in dem Beispiel 3.1 lediglich 58 m^2 übrig. Verglichen mit den anderen Haustypen ist dies sehr wenig für 16 Wohneinheiten. Dennoch wird bei einer Photovoltaikanlagenleistung von 10

kWp, eine Rendite von 5,66 % mit Mieterstromförderung und 3,86 % ohne Mieterstromförderung erreicht. Damit ist die Renditeerwartung höher als bei den Gebäudetypen Vorderhaus mit Seitenflügel und Vorderhaus. Dabei muss angemerkt werden, dass hier keine pauschale Aussage getroffen werden kann, ob Eckhäuser wirtschaftlich sind, da die Anzahl der Wohneinheiten abhängig von den Geschossen und der Grundfläche ist. Als Fazit kann aus der Erkenntnis mitgenommen werden, dass Eckhäuser und Vorderhäuser mit Seitenflügel eine gute Renditeerwartung haben.

Vorderhäuser mit Hinterhäusern

Bei dem Gebäudetyp Vorderhaus mit Hinterhaus wurde die Rendite anhand von zwei unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Beim Beispiel in 4.1 gibt es ein Vorderhaus und vier kleinere Hinterhäuser. Dadurch entsteht eine große Photovoltaikfläche von 348 m^2 mit einer Gesamtleistung von 57 kWp und 25 Wohneinheiten im Projekt. Dies bewirkt eine Rendite von 6,5 % mit und von 5,26 % ohne Mieterstromförderung. Damit ist bei der Variante mit Mieterstromförderung ein wirtschaftlicher Betrieb eines Mieterstrommodells möglich. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist der Installationsmehraufwand für die vier nicht zusammenhängenden Hinterhäuser nicht mit eingerechnet.

Bei der Variante 4.2 Vorderhaus mit einem Hinterhaus gibt es zwölf Wohneinheiten und 146 m^2 · Photovoltaikfläche und mit einer Leistung von 21 kWp. Es kann eine Rendite von 5,64 % mit Mieterstromförderung und eine Rendite von 4,37 % ohne Mieterstromförderung erlöst werden.

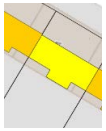
Alte Industriehäuser

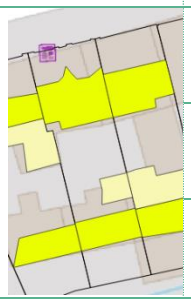
Im Modelquartier wurden fünf ältere Industriegebäude untersucht. Die Photovoltaikflächen von den Gebäuden sind zwischen 320 m^2 und 738 m^2 groß und haben Leistungen von 27 kWp bis 67 kWp. Die Mieterstromprojekte können Renditen von 6,07 % bis 6,78 % mit Mieterstromförderung und zwischen 4,67 % bis 5,52 % ohne Förderung erwirtschaften.

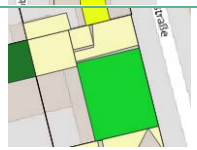
Es wird deutlich, dass die Rendite bei den Objekten am höchsten ist, welche die meisten Wohneinheiten haben. Bei der Sensitivberechnung in Kapitel 5.3 wird näher darauf eingegangen.

Durch die großen, meist Flachdachflächen und die vielen Wohneinheiten können auf den älteren Industriegebäuden Mieterstromprojekte im Quartier initiiert werden, deren Betrieb wirtschaftlich gestaltet werden kann.

Tabelle 12 Übersicht aller Gebäudetypen im Quartier mit Haus- und Photovoltaikeigenschaften und wirtschaftlicher Bewertung

Haustyp		**Straße und Nr.**	**Hauseigenschaften**				**Photovoltaikanlageneigenschaften**					**Rendite**	
Beschreibung	**Bild von Haus mit Ertrag**		**Dachform**	**Photovoltaik-eignung**	**Wohn-einheiten**	**Bedarf [kWh/a]**	**Fläche [m²]**	**Leistung [kWp]**	**Spezifischer Ertrag [kWh/kWp pro a]**	**Ertrag [kWh/a]**	**Ausrichtung**	**Mit Mieter-strom-förderung**	**Ohne Mieter-strom-förderung**
1.Vorderhaus													
1.1 Kleine Dachfläche und weniger als 10 WE		**Kanal-straße 4d**	Sattel-dach	sehr gut	6	15.600	50	8	948	7.584	Süd/Ost	**3 %**	**1,63 %**
1.2 Mittelgroße Dachfläche und weniger als 10 WE		**Wenzel-straße 34**	Sattel-dach	gut	8	20.800	86	14	868	12.152	Süd/West	**3,63 %**	**2,38%**
1.3 Mittelgroße Dachfläche und mehr als 10 WE		**Wenzel-straße 38**	Sattel-dach	sehr gut	11	26.000	84	14	883	12.299	Süd/West	**4,77 %**	**3,32 %**
2. Vorderhaus mit Seitenflügel, Satteldach													
		Kanal-straße 12										**5,05 %**	**3,94 %**
		Vorderhaus	Sattel-dach	sehr gut	13	33.800	64	11	928	10.208	Süd/Ost		
		Seitenflügel	Pultdach	gut			112	19	865	16.435	Süd/West		

Haustyp		Straße und Nr.	Hauseigenschaften				Photovoltaikanlageneigenschaften					Rendite	
Beschreibung	**Bild von Haus mit Ertrag**		**Dachform**	**Photovoltaik-eignung**	**Wohn-einheiten**	**Bedarf [kWh/a]**	**Fläche [m²]**	**Leistung [kWp]**	**Spezifischer Ertrag [kWh/kWp pro a]**	**Ertrag [kWh/a]**	**Ausrichtung**	**Mit Mieter-strom-förderung**	**Ohne Mieter-strom-förderung**
3. Eckhaus													
		Wenzel-straße 42	Sattel-dach	sehr gut/ gut	16	41.600	58	10	893	8.930	Süd/Ost Süd/West	**5,66 %**	**3, 86 %**
4. Vorderhaus mit Hinterhaus													
4.1 Vorderhaus mit mehreren Hinterhäusern		**Kanalstraße 5, 5a-d**										**6,5 %**	**5,26 %**
		Vorderhaus 5	Sattel-dach	sehr gut	9	23.400	53	11	899	9.889	Süd/Ost		
		Hinterhäuser 5a-d	Sattel-dächer und Flach-dächer		16	41.600	295	46	935	43.010			
4.2 Vorderhaus mit einem Hinterhaus		**Kanalstr. 21**										**5,64 %**	**4,37 %**
		Vorderhaus	Sattel-dach	sehr gut	8	20.800	61	10	946	9.460	Süd		
		Hinterhaus	Sattel-dach		4	10.400	85	11	955	10.505			

Haustyp		Straße und Nr.	Hauseigenschaften				Photovoltaikanlageneigenschaften					Rendite	
Beschreibung	**Bild von Haus mit Ertrag**		**Dachform**	**Photovoltaik-eignung**	**Wohn-einheiten**	**Bedarf [kWh/a]**	**Fläche [m²]**	**Leistung [kWp]**	**Spezifischer Ertrag [kWh/kWp pro a]**	**Ertrag [kWh/a]**	**Ausrichtung**	**Mit Mieter-strom-förderung**	**Ohne Mieter-strom-förderung**
5. Alte Industriegebäude													
5.1		**Farbrikstr. 5**										**6,6 %**	**5,01 %**
		Vorderhaus (Sattel-dach)	Sattel-dach	sehr gut/gut/ geeignet	24	62.400	171	23	766	17.618	Nord/ Ost		
		Seitenflügel (Flachdach)	Flachdach	sehr gut/ gut	12	31.200	270	21	879	18.459	Süd		
5.2		**Fabrik-straße 9, 10**	Flachdach	sehr gut	18	46.800	342	29	910	26.390	Süd	**6,11 %**	**4,78 %**
5.3		**Fabrik-straße 44**	Flachdach	sehr gut/gut	22	57.200	320	27	883	23.841	Süd	**6,45 %**	**4,94 %**
5.4		**Wenzel-straße 7**	Flachdach	sehr gut/gut	18	46.800	325	28	887	24.836	Süd	**6,07 %**	**4,67 %**

Haustyp		Straße und Nr.	Hauseigenschaften				Photovoltaikanlageneigenschaften					Rendite	
Beschreibung	Bild von Haus mit Ertrag		Dachform	Photovoltaik-eignung	Wohn-einheiten	Bedarf [kWh/a]	Fläche [m²]	Leistung [kWp]	Spezifischer Ertrag [kWh/kWp pro a]	Ertrag [kWh/a]	Ausrichtung	Mit Mieter-strom-förderung	Ohne Mieter-strom-förderung
5.5		**Gabelentz-straße**										**6,78 %**	**5,52 %**
		6, 6a,6b, 6c, 6d,	Flach-dach	sehr gut	25	65.000	687	58	916	53.128	Süd		
		7 und 7a			12	31.200	51	9	930	8.370	Süd		

5.3 Bewertung von Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Mieterstromprojekten

Die Wirtschaftlichkeit von Mieterstromprojekten wird von verschiedenen Einflussgrößen beeinflusst. In diesem Abschnitt werden einige von den Einflussfaktoren anhand einer Sensitivberechnung des „Kalkulationstool Mieterstrom“ der DE[NK]ZENTRALE ENERGIE GMBH betrachtet und deren Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit berechnet.

Die Berechnung erfolgt anhand des Hauses der Wenzelstraße 38. Die Begründung für die Wahl dieses Hauses ist dem Kapitel 0 zu entnehmen.

5.3.1 Anzahl der Wohneinheiten

Bei den Ergebnissen aus dem Kapitel 5.2.3 wurde sichtbar, dass alle Häuser mit einer hohen Anzahl von Wohneinheiten bessere Renditen erreichen, als bei Häusern mit weniger Wohneinheiten.

Durch die Sensitivberechnung (siehe Abbildung 16) und durch Flieger et al. (2018, 36) wird diese Erkenntnis bestätigt. Laut Will und Zuber (2017, 18) steigt die Wirtschaftlichkeit, je mehr Strom vor Ort verbraucht wird.

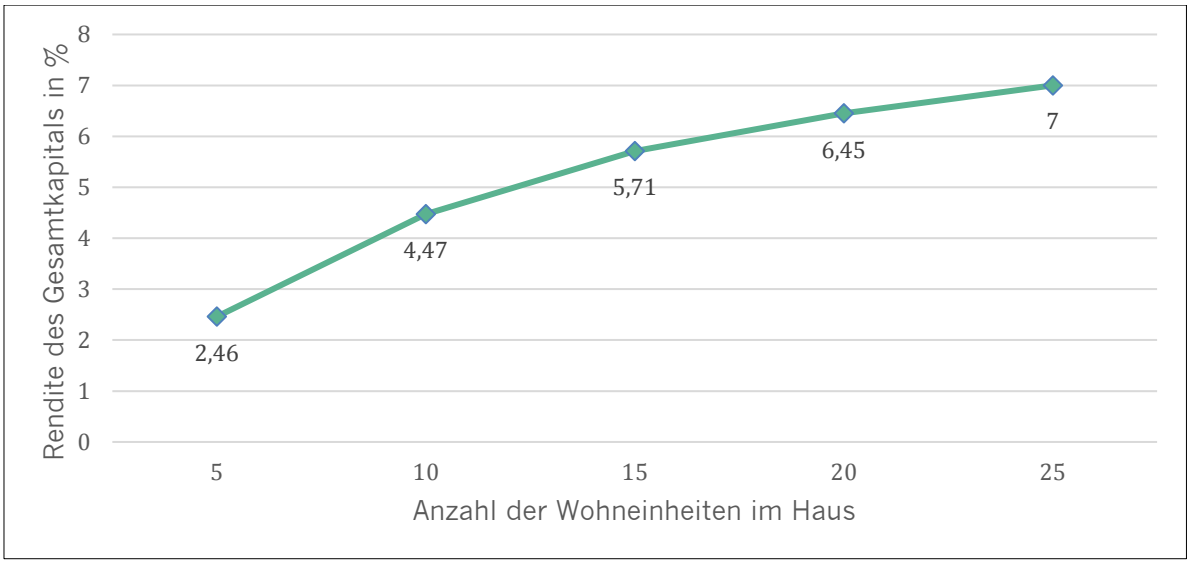


Abbildung 16 Ergebnis der Sensitivberechnung Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude

Im Rahmen dieser Arbeit wurde sichtbar, dass die Anzahl der Wohneinheiten ein entscheidender Faktor für eine gute Rendite ist. Daher ist zu empfehlen bei zukünftigen, weiterführenden Arbeiten die reale Anzahl von Wohneinheiten in Erfahrung zu bringen und anhand dieser die Berechnungen durchzuführen. In dieser Arbeit wurde eine Annahme über die Anzahl der Wohneinheiten in einem Haus getroffen.

5.3.2 Beteiligungsquote

Je mehr Wohneinheiten sich an dem Mieterstrommodell beteiligen, desto mehr steigt der Rendite (siehe Abbildung 17).

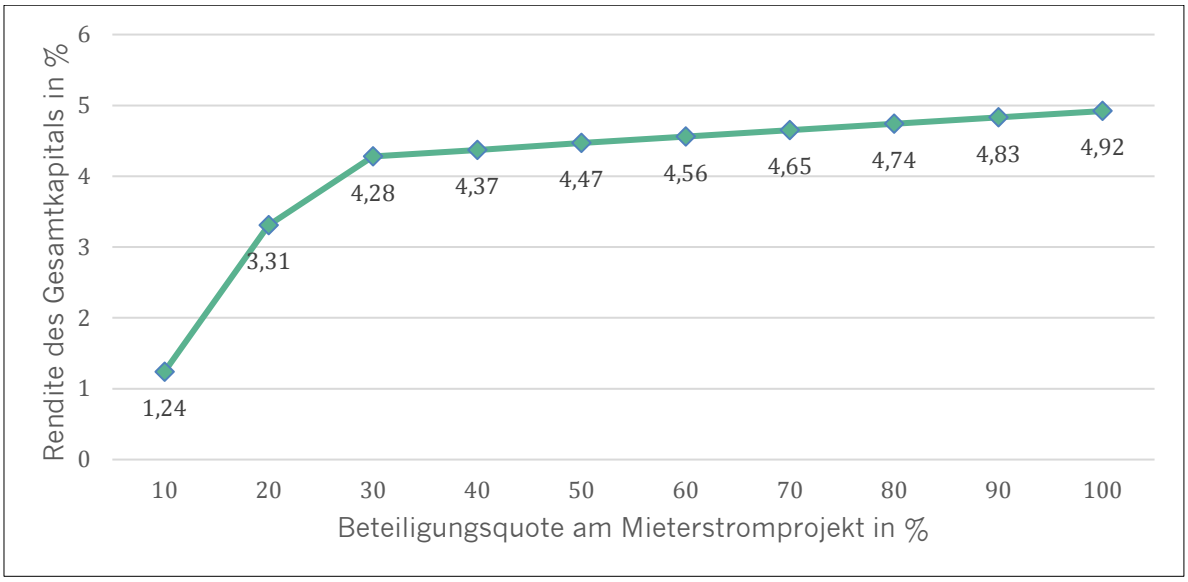


Abbildung 17 Ergebnis der Sensitivberechnung Beteiligungsquote am Mieterstromprojekt im Gebäude

Die Erkenntnis aus der Sensitivberechnung widerspricht den Aussagen von Großklos et al. (2015, 9) und Flieger et al. (2018, 36). Beide Quellen beschreiben, dass eine 100 % Beteiligung von Mieter*innen am Mieterstrommodell nicht die Rendite steigern. Wenn zu viele Mieter*innen beteiligt sind, reicht der Strom aus der Photovoltaikanlage nicht aus und fehlender Strom muss als Reststrom aus dem Netz zugekauft werden. Für die Energiegenossenschaft ist jedoch die Gewinnmarge geringer. Daher sinkt ab einer bestimmten Beteiligungsquote die Rendite. Die Energiegenossenschaft muss Strom preiswerter an die Mieter*innen verkaufen, als örtliche Anbieter. Daher wird der zugekaufte Strom teurer eingekauft, als er an die Mieterstromkund*innen verkauft werden kann. Großklos et al. (2015, 9) benennt eine Beteiligungsquote von 70 % als wirtschaftlichste. In dieser Arbeit wurde eine Beteiligungsquote von 50 %, wie bei der

Wirtschaftlichkeitsberechnung von Will und Zuber (2017, 19), angenommen. Durch die geringere Beteiligungsquote ist davon auszugehen, dass Ergebnisse trotz unterschiedlicher Erkenntnisse richtig sind.

Die Gründe dieser unterschiedlichen Ergebnisse sind nicht bekannt und werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

Die Steigerung der Beteiligung von 50 % auf 70 % führt zu einer Erhöhung der Rendite um 0,18 %.

5.3.3 Steigerung des Strompreises

Bei den Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit wurde davon ausgegangen, dass der Strompreis in Zukunft nicht steigen wird. Seit 2000 bis 2018 stieg der Strompreis kontinuierlich von 13,94 Cent pro Kilowattstunde auf 29,47 Cent pro Kilowattstunde (BDEW 2019). Es wird angenommen, dass der Strompreis auch weiterhin steigen wird.

Ein steigendender Strompreis beeinflusst die Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen positiv (siehe Abbildung 18).

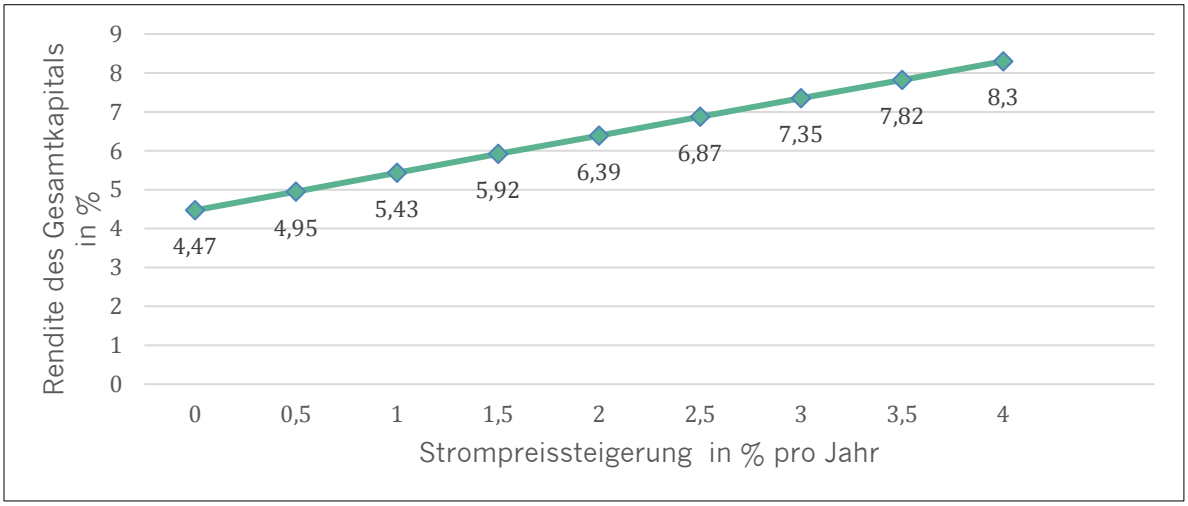


Abbildung 18 Ergebnis der Sensitivberechnung Strompreissteigerung

5.3.4 Anlagengröße

Auch die Anlagengröße der Photovoltaik hat einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Mieterstromprojekten.

Die Anlage der Wenzelstraße 38 hat eine Leistung von 14 kWp und erreicht eine Rendite von 4,47 % ohne Förderung. In der Abbildung 19 werden die Renditen für die unterschiedlichen Anlagengrößen aufgezeigt.

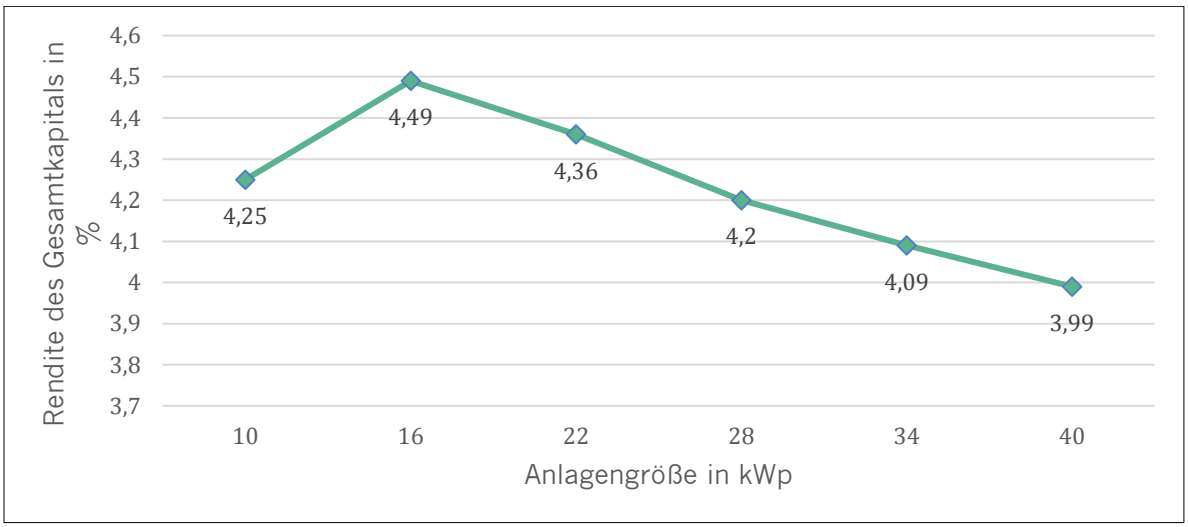


Abbildung 19 Ergebnis der Sensitivberechnung Größe der Photovoltaikanlage

Die beste Rendite mit 4,49 % wird bei einer Leistung von 16 kWp erreicht. Anlagen, die größer sind als 16 kWp lassen die Rendite sinken.

5.4 Darstellung potenzieller Häuser für die Anwendung des Mieterstrommodells im Quartier

Um mögliche Häuser für eine Mieterstromprojekt zu erkennen, wird eine erneute Selektion von Häusern vorgenommen. In diesem Kapitel fließen die Erkenntnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus dem Kapitel 5.2 in die Auswahl mit ein.

Auch wenn ein wirtschaftlicher Betrieb erst ab 6,7 % möglich ist, werden Häuser mit Renditeerwartungen ab 4,5 % weiter betrachtet. Die Berechnungen der Renditen im Kapitel 5.2 wurden mit viel Reserven errechnet. Faktoren wie Beteiligungsquote und steigender Strompreis wurden nicht berücksichtigt oder als sehr gering angenommen. Durch das Erhöhen dieser Faktoren könnten höhere Renditen erreicht werden.

Haustypen mit weniger als zehn Wohneinheiten erzielen zu geringe Renditen, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Daher werden diese Häuser nicht weiter betrachtet. Es bleiben Fünfgeschossige Häuser, Eckhäuser, Vorderhäuser mit Seitenflügeln, Vorderhäuser mit Hinterhäusern und alte Industriehäuser übrig.

Es gibt insgesamt 197 Häuser im Quartier. Dabei wurden die Hinterhäuser den Vorderhäusern zugewiesen und zu einer Einheit zusammengefasst. Daraus kann sich ein Mieterstromprojekt ergeben, wenn sich Hinterhaus und Vorderhaus auf einem Flurstück befinden. Es entfallen alle Häuser mit weniger als zehn Wohneinheiten und somit bleiben 45 Häuser im Quartier übrig, bei denen das Mieterstrommodelle umgesetzt werden kann. Somit können bei 23 % der Häuser im Quartier wirtschaftlich rentable Mieterstrommodelle angewendet werden.

In Abbildung 20 sind alle möglichen Häuser mit deren jährlichen solaren Erträgen in kWh abgebildet.

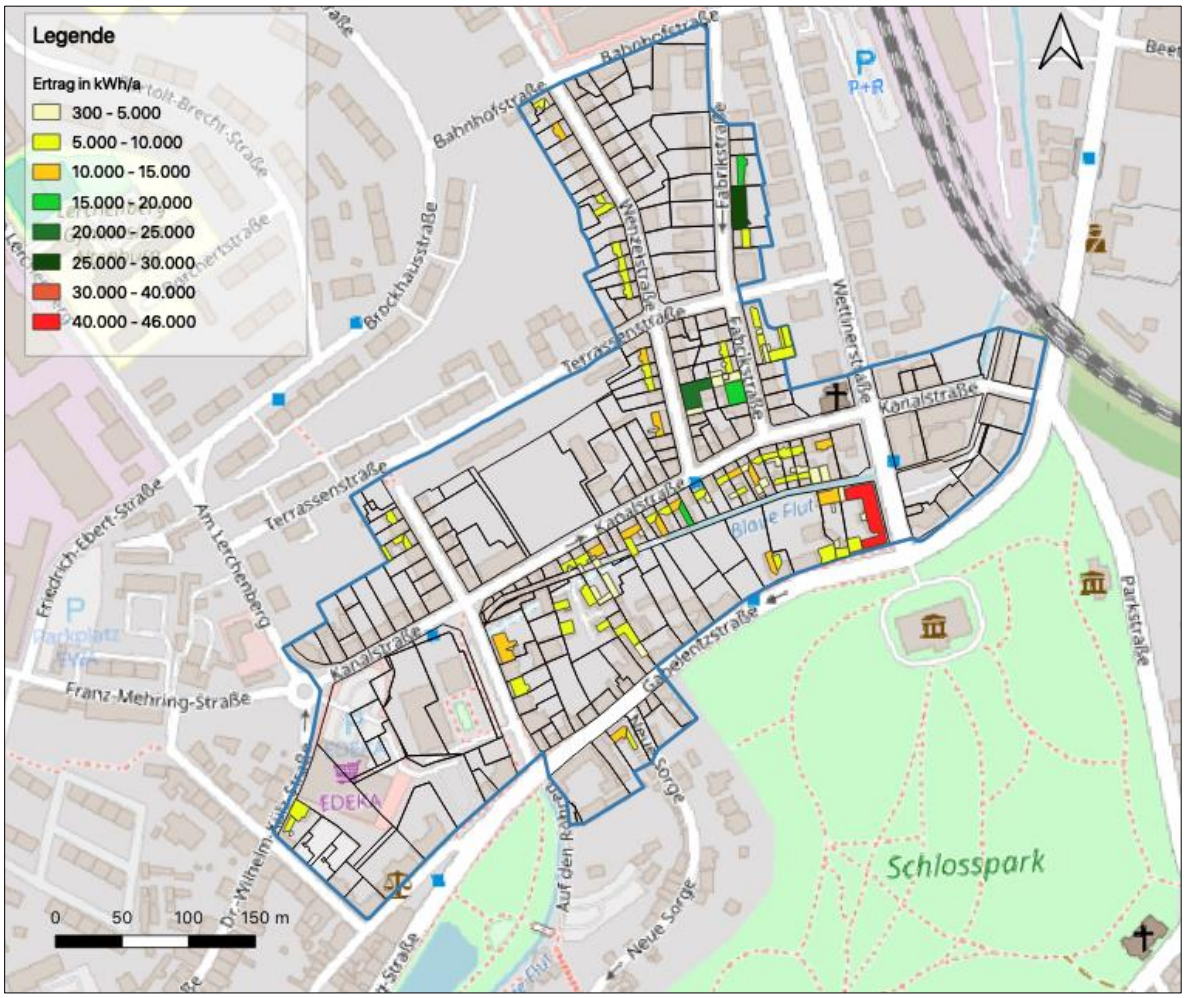


Abbildung 20 Darstellung aller potenziellen Dachflächen für die Anwendung des Mieterstrommodells im Quartier

Diese Häuser bilden die Grundlage für die Betrachtung in den weiterführenden Kapiteln und ergeben einen potenziellen Ertrag von 780 MWh pro Jahr mit einer Leistung von 889 kWp. Durch die Produktion des Stromes aus den Photovoltaikanlagen können jährlich 452 Tonnen CO_2 im Quartier eingespart werden.

Durch die Einschränkungen des Denkmalschutzes können 81 % weniger solarer Ertrag produziert werden, als bei dem Basisszenario.

Tabelle 13 Übersicht der unterschiedlichen Szenarien mit den potenziellen solaren Erträgen aus Photovoltaikanagen

Selektionskriterium	Leistung [kWp]	solarer Ertrag [MWh/a]	CO2-Ersparnis [t CO_2/a]
Basis	4631	4113	2386
Ungeeignete Dachflächen	3531	3074	1783
Anforderung Mieterstromgesetz	3022	2622	1520
Kleinteilige, verwinkelte Dachflächen	2726	2373	1376
Denkmalschutz	1700	1449	840
Wirtschaftlichkeit Mieterstromprojekte	889	780	452

5.5 Technischer und wirtschaftlicher Betrachtung eines bautypischen Gebäudes

In diesem Kapitel erfolgt für ein bautypisches Haus die Auswertung für:

- Lastgangprofil
- Rendite
- Direktverbrauch

In Tabelle 14 sind fünf verschiedene Haustypen und deren vorhandene Anzahl im Quartier dargestellt.

Tabelle 14 Mengenverteilung der Haustypen im Quartier

Haustyp im Quartier	Anzahl der Häuser
Vorderhaus mit mittelgroßer Dachfläche	13
Vorderhaus mit Seitenflügel	9
Eckhaus	5
Vorderhaus mit Hinterhaus	13
Alte Industriegebäude	5

Da der Gebäudetyp Vorderhaus mit mittelgroßer Dachfläche im Quartier mit 13 Häusern sehr oft vorzufinden ist, erfolgt für diesen Gebäudetyp eine ausführlichere Darstellung. Die Betrachtung erfolgt am Objekt der Wenzelstraße 38.

Alle Berechnungen zu der Wenzelstraße 38 können dem Anhang 7 entnommen werden.

5.5.1 Beschreiben des Gebäudes

Das Objekt ist ein typisches Gründerzeithaus und umfasst ein Vorderhaus (siehe Abbildung 21 und 22).

Das Vorderhaus hat ein nach Süd-West ausgerichtetes Satteldach mit einer Dachneigung von 38 °, einer Photovoltaikfläche von 84 m² (siehe Abbildung 21) mit einer Leistung von 14 kWp, einem spezifischen jährliche Solarertrag von 883 kWh/kWp und einem Ertrag von 12.299 kWh pro Jahr.

Abbildung 21 Kartenausschnitt mit Luftbildaufnahme der Wenzelstraße 38

Abbildung 22 Straßenansicht des Hauses in der Wenzelstraße 38

In dem Gebäude befinden sich zehn Wohneinheiten, daraus ergibt sich ein Strombedarf von 26.000 kWh/a.

5.5.2 Lastgangprofile

Die Darstellung und Berechnung der Lastgangprofile (siehe Abbildung 23 bis 24) erfolgt mittels dem Werkzeuge „EWS Batteriespeichertool“ der Elektrizitätswerke Schönau (2018).

In den Lastgangprofilen für das Objekt der Wenzelstraße 38 (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24) wird sichtbar, dass die stromproduzierenden Tageszeiten nicht immer mit den stromkonsumierenden Uhrzeiten übereinstimmen. Vor allem in den Wintermonaten kann lediglich ein Grundbedarf des Stromes gedeckt werden.

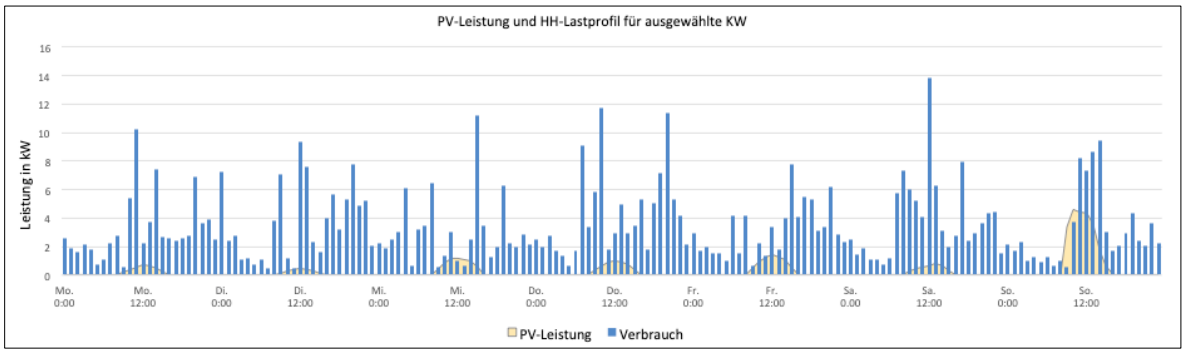


Abbildung 23 Lastgangprofil Winter Kalenderwoche 1

Im Sommer hingegen sind die stromproduzierenden Spitzen so groß, dass überschüssiger Strom eingespeist werden kann. In diesen Zeiten kann eine Batterie unterstützen, den überschüssigen Strom zu speichern bis dieser wiederverwendet werden kann.

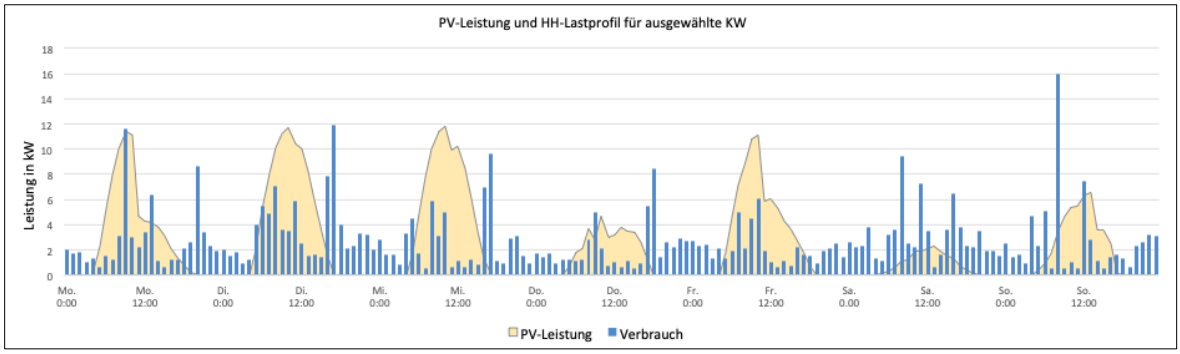


Abbildung 24 Lastgangprofil Sommer Kalenderwoche 21

In der Abbildung 25 sind die Eigenverbrauchsquoten, der Autarkiegrad, der Eigenverbrauch vom solaren Strom und die Einspeisung des solaren Stroms für alle Monate in einem Jahr dargestellt.

In den Sommermonaten kann mehr Strom durch die Photovoltaikanlage produziert werden, daher ist der Eigenverbrauch in dem Zeitraum am höchsten.

Die Eigenverbrauchsquote beschreibt das Verhältnis zwischen dem selbst genutzten Strom zum selbst produzierten Strom. Daher ist die Eigenverbrauchsquote in den Wintermonaten bei dem Objekt am höchsten, weil im Winter weniger Strom produziert und dieser annähernd verbraucht wird.

Der Autarkiegrad beschreibt den Anteil des selbst genutzten Stroms am gesamten Stromverbrauch. In den Sommermonaten ist dieser am höchsten. Der Autarkiegrad kann in den Sommermonaten bei dem Objekt bis zu 40 % und in den Wintermonaten rund 10 % erreichen.

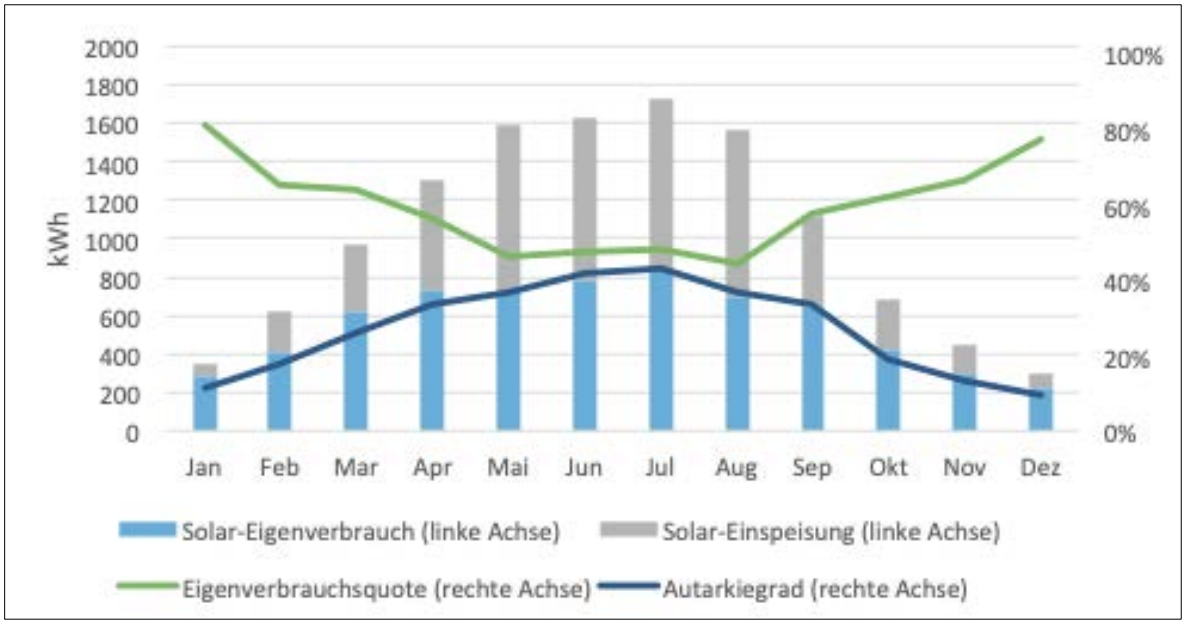


Abbildung 25 Verteilung der Solarproduktion in Eigenverbrauch und Einspeisung

Die Darstellung und Berechnung der Verbrauchs- und Erzeugungsperspektiven (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27) erfolgt mittels dem Werkzeuge „Kalkulationstool Mieterstrom“ der DENKZENTRALE ENERGIE.

Im Jahresmittel werden 54 % des Photovoltaikstromes von den beteiligten Mieter*innen verbraucht. 44 % des Stromes muss aus dem Netz bezogen werden. Dies beschreibt die Verbrauchsperspektive in der Abbildung 26.

Von dem Photovoltaikstrom können 45 % direkt von den Mieter*innen verbraucht werden und 55 % müssen eingespeist werden, da dieser Strom zu Zeiten produziert wird, in denen keine Abnahme des Stromes gegeben ist (siehe Abbildung 26). Diese 55 % Strom könnten in Batteriespeichern für andere tägliche Verbrauchsspitzen zwischengespeichert werden.

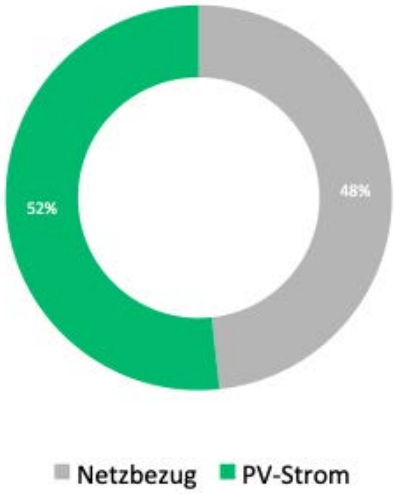


Abbildung 26 Verbrauchsperspektive der beteiligten Mieter*innen

Abbildung 27 Erzeugungsperspektive der Photovoltaikanlage

5.5.3 Rendite

Durch den Betrieb eines Mieterstrommodells in der Wenzelstraße 38 kann eine Rendite von 4,47 % mit Förderung bzw. eine Rendite von 3,06 % ohne Mieterstromförderung erlöst werden. Zur Berechnung der Renditen wurden die Annahmen aus dem Kapitel 5.2.2 übernommen.

5.6 Potential der Freiflächen

Die Wirtschaftlichkeit der Dachflächen wurde anhand von Wohnhäusern berechnet. Es ist aber anzumerken, dass sich in dem Quartier auch Freiflächen befinden, auf denen eine Errichtung von Photovoltaik-Anlagen empfehlenswert wäre. Diese sind in der Abbildung 28 dargestellt.

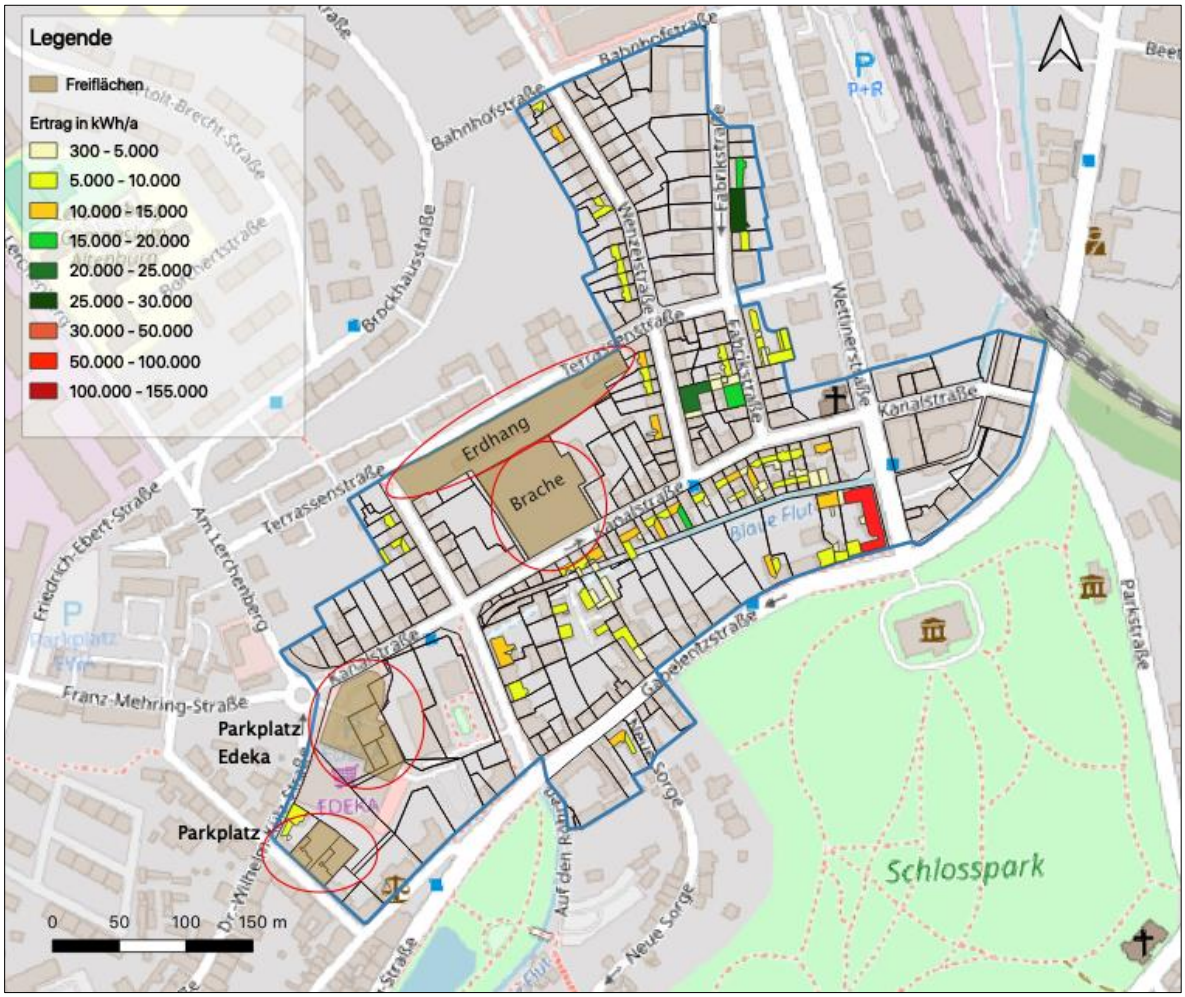


Abbildung 28 Potenzielle Freiflächen zur Photovoltaiknutzung im Quartier

Die beiden bestehenden Parkplatzanlagen könnten mit einer Parkplatzüberdachung mit integrierter Photovoltaikanlage bebaut werden. Der Erdhang der Kanalstraße hat eine Südausrichtung und hat daher eine sehr gute Eignung für die Errichtung einer Photovoltaikanlage. Und für die

angrenzende Brachfläche des ehemaligen Gaswerkes gibt es laut Fröhlich (2019, 9) von den Bewohner*innen des Quartiers die Idee einen Spielplatz errichten zu lassen. Eine Kombination mit einer Photovoltaiküberdachung könnte Schatten spenden.

Die Photovoltaikanlagen der Freiflächen könnten als Direktstrommodell (siehe Kapitel 2.3.1) von der Energiegenossenschaft betrieben werden. Durch den geringeren Verwaltungsaufwand und die größeren Leistungen der Photovoltaikanlagen den Freiflächen könnten höhere Renditen erwirtschaftet werden. Diese höheren Renditen können der Energiegenossenschaft insgesamt einen wirtschaftlicheren Betrieb ermöglichen.

So könnten diese höheren Renditen der Energiegenossenschaft helfen, Projekte mit geringeren Renditen zu kompensieren. In der Tabelle 15 sind die Flächen mit den jeweiligen potenzialen Erträgen dargestellt. Im Anhang 3 sind die dazugehörigen Berechnungen dargestellt.

Tabelle 15 Potenzielle Erträge der Freiflächen im Quartier

Freifläche	Fläche [m²]	Ertrag [MWh/a]	Leistung [kWp]	CO^2-Einsparung [t/a]
Überdachung Edeka Parkplatz	2.800	107	116	62
Überdachung Parkplatz Dostojewskistraße	850	33	35	19
Erdhang Kanalstraße	5.270	203	218	118
Brache Kanalstraße	4.630	187	191	108
Summe	**13.550**	**530**	**560**	**307**

5.7 Bewertung des wirtschaftlichen Betriebes als Energiegenossenschaft

Laut Trenkmann kann ab einer Anlagengesamtleistung von 7.000 kWp und einem Ertrag von 7.000 MWh pro Jahr eine Personalstelle innerhalb der Energiegenossenschaft geschaffen werden, so die dann nicht mehr ehrenamtlich betrieben werden muss (Trenkmann 2019, 16).

Zur Bewertung der solaren Potenziale im Quartier werden diese mit der oben beschriebenen Aussage von Herr Trenkmann in Tabelle 16 miteinander verglichen.

Hauptfokus liegt in dieser Arbeit auf der Untersuchung von möglichen Mieterstromprojekten im Quartier. Wie beschrieben, bietet das Quartier aber auch weitere Potentiale, die für eine Energiegenossenschaft von Interesse sein könnten. Daher werden folgende drei Varianten untersucht.

- Variante 1: Nur Mieterstrom
- Variante 2: Mieterstrom und Dächer der Industriegebäude
- Variante 3: Mieterstrom, Dächer der Industriegebäude und Freiflächen

Tabelle 16 Vergleich der möglichen Varianten im Quartier für den wirtschaftlichen Betrieb einer Energiegenossenschaft

	Anlagengesamtleistung	**Jährlicher Solarer Ertrag**	**CO2-Einsparung**
Ziel	7.000 kWp	7.000 MWh	4060
Variante 1:	1.640 kWp	780 MWh	452 t/a
Variante 2:	2.077 kWp -	1.169 MWh/a	678 t/a
Variante 3:	2.637 kWp	1.699 MWh/a	985 t/a

Bei Variante 2 wird das Dach des Sozialgerichtes nicht mit in der Berechnung einbezogen, da eine Belegung mit Photovoltaikanlagen aus denkmalschutzrechtlichen Gründen nicht gestattet ist.

Keine der Varianten erreicht die Zielvorgabe von 7.000 kWp. Selbst wenn alle potenziellen Häuser zu Mieterstromprojekten, alle Freiflächen und alle Industriedächer verwendet werden würden, kann nur rund die Hälfte des Zieles erreicht werden. Somit würde das Photovoltaikpotenzial des Quartiers nicht ausreichen, um Personalstellen innerhalb der Energiegenossenschaft zu schaffen. Aber schon durch die Einbeziehung eines weiteren ähnlichen Quartieres in Altenburg könnten diese Zielvorgabe erreicht werden. Durch die gewonnenen Erkenntnisse zeigt sich, dass die Stadt Altenburg, trotz der denkmalgeschützten, gründerzeitlichen Architektur, ein großes, bislang noch ungenutztes Potential für die Nutzung von Photovoltaik hat.

Um eine genauere Betrachtung der Wirtschaftlichkeit zu erhalten, müsste eine detailliertere Berechnung erstellt werden. Dies ist nicht Teil der Arbeit. Das benannte Ziel stellt lediglich einen ersten Anhaltspunkt dar.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Dachflächen eines gründerzeitlichen Bestandsquartiers in Altenburg/Thüringen ermittelt, die sich für Installation und Betrieb von Photovoltaikanlagen anbieten. Dabei wurden denkmalschutzrechtliche Anforderungen und die technische Eignung der Dächer für die Photovoltaiknutzung einbezogen. Der Betrieb der Anlagen soll durch eine Genossenschaft erfolgen.

Für die Vermarktung des produzierten Stromes wird das Mieterstrommodell angewendet. Die Untersuchungen zeigen, dass sich dieses Modell für die Vor-Ort-Versorgung von Strom aus Photovoltaikanlagen innerhalb eines Mehrfamilienhauses sehr gut eignet. Die rechtlichen Anforderungen an das Mieterstrommodell und deren gute wirtschaftliche Umsetzung wurden bei der Potenzialanalyse berücksichtigt.

Oft werden die Dächer gründerzeitlicher Quartiere aufgrund der Anforderungen des Denkmalschutzes für die Nutzung mit Photovoltaikanlagen grundsätzlich ausgeschlossen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen jedoch, dass eine solche pauschale Aussage nicht berechtigt ist.

Die Untersuchungen zeigen, dass in dem betrachteten Quartier auf 23 % der Häuser Photovoltaikanlagen errichtet werden können. Die Anlagen haben einen potenziellen Ertrag von 780 MWh und eine Leistung von 889 kWp pro Jahr. So können in dem Quartier 452 Tonnen CO_2 pro Jahr eingespart werden. Eine wirtschaftlich rentable Anwendung des Mieterstrommodells ist gegeben.

Ein wirtschaftlicher Betrieb des Mieterstrommodells wurde für Häuser mit einer Größe von mindestens zehn Wohneinheiten nachgewiesen. Gründerzeit-typische Hausformen haben durch Ihre Geschossigkeit oft nur zehn Wohneinheiten. Werden jedoch die Hinterhäuser oder die Seitenflügel eines

Hauses mit einbezogen, erhöht sich die Anzahl der Hausbewohner*innen und es können solide Renditen mit dem Betrieb eines Mieterstrommodells erzielt werden. In der Regel sind die Hinterhäuser und Seitenflügel von den Anforderungen des Denkmalschutzes ausgeschlossen.

Die Photovoltaiknutzung im untersuchten Quartier einschließlich der Freiflächen und Dächer von gewerblich genutzten Häusern lässt eine Energiegenossenschaft nur im Ehrenamt wirtschaftlich arbeiten. Jedoch kann bereits durch Hinzunahme eines weiteren, ähnlichen Quartieres die Energiegenossenschaft so wirtschaftlich arbeiten, dass es möglich ist, Arbeitsstellen einzurichten.

Solarmodule werden durch die technische Weiterentwicklung preiswerter, dünner, leichter und farblich unauffälliger. Dadurch werden die Anwendungsbereiche deutlich erweitert. Möglicherweise können daher zukünftig die Forderungen des Denkmalschutzes trotz energetischer Nutzung erfüllt werden.

Der Betrieb von Batteriespeichern ist aktuell noch nicht wirtschaftlich. Jedoch werden auch Batteriespeicher preiswerter, was die Möglichkeit eröffnet überschüssigen Strom zukünftig im Quartier zwischen zu speichern. Der Eigenverbrauchsanteil wird steigen und der Bezug aus dem Stromnetz kann verringert werden. Durch eine Vernetzung von mehreren Speichern können Virtuelle Kraftwerke entstehen.

Diese Arbeit zeigt Möglichkeiten auf, wie Quartiere oder Städte vom versorgungsabhängigen Stromverbraucher zum Energieproduzenten werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

Aichele, C. und *Doleski*, O. D. (Hrsg.) (2014) (2014): Smart Market. Vom Smart Grid zum intelligenten Energiemarkt, Wiesbaden: Springer Vieweg.

Ajaz Shah (2017): Projekt Esquire: Stromspeicher für Quartiere, [https://energyload.eu/stromspeicher/esquire-stromspeicher-quartiere/].

Baur, J.: Energiegenossenschaften: Herausforderung Wachstum. Professionalisierung von Strukturen von Energiegenossenschaften als Voraussetzung für komplexe Energieprojekte, in: Going Public Magazin(7/13), 52 – 53.

Bertelsmann Stiftung (2019): Statistische Daten. Demografischer Wandel, [http://www.wegweiser-kommune.de/statistik/altenburg+demographischer-wandel+2015-2017+tabelle], abgerufen am 20.06.2019.

Bundesagentur für Arbeit (2019): Arbeitsmarkt im Überblick-Berichtsmonate April 2019-Altenburger Land, [https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistik-nach-Regionen/Politische-Gebietsstruktur/Thueringen/Altenburger-Land-Nav.html], abgerufen am 20.05.2019.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ): Stadtentwicklung Hintergrund: Das Zeitalter der Städte, [https://www.bmz.de/de/themen/stadtentwicklung/hintergrund/index.html], abgerufen am 15.08.2019.

Bundesnetzagentur (2018): EEG-Umlage. Was ist die EEG-Umlage und wie funktioniert sie?, [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Verbraucher/Energielexikon/EEGUmlage.html], abgerufen am 7.12.18.

Bundesnetzagentur (2019): EEG-Re-gis-ter-da-ten und -För-der-sät-ze, [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html;jsessionid=E3EC7243806DD40AE3E47398317D4E61], abgerufen am 03.06.2019.

Bundesverband Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2019): BDEW-Strompreisanalyse Januar 2019. Haushalte und Industrie, [https://www.bdew.de/media/documents/190115_BDEW-Strompreisanalyse_Januar-2019.pdf].

Climate-Data (2019), [https://de.climate-data.org/europa/deutschland/thueringen/altenburg-46425/], abgerufen am 21.07.2019.

Dell-Almak, O., *Dick*, B., *Dietrich*, A., *Gall*, J., *Hasselmann*, M., *Grunwald*, L., *Kanngießer*, A., *Kippelt*, S., *Rehtanz*, C. und *Weber*, C. (2018): Die Stadt als Speicher. Energietechnische und -wirtschaftliche Bündelung vielfältiger lokaler Speicherkapazitäten innerhalb städtischer Lastzentren zum Ausgleich der Fluktuation erneuerbarer Einspeiser.

DENKZENTRALE ENERGIE: Kalkulationstool Mieterstrom.

Deutscher Wetterdienst: Globalstrahlung der Bundesrepublik Deutschland. Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981-2010.

Doleski, O. D. (Hrsg.) (2017) (2017): Herausforderung Utility 4.0. Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Elektrizitätswerke Schönau (2018): EWS Batteriespeichertool.

Everding, D. und *Kloos*, M. (2007): Solarer Städtebau : vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild, Stuttgart: Kohlhammer.

Flieger, B., *Schachtschneider*, U., *Wolter*, H., *Lautermann*, C., *Aretz*, A., *Gährs*, S. und *Broekmans*, J. (2018): Zukunftsfeld Mieterstrommodelle. Potentiale von Mieterstrom in Deutschland mit dem Fokus auf Bürgerenergie, Oldenburg und Berlin.

Fraunhofer IKTS (2019): Thüringer Forschungspreis für keramische Batterie.

Freiherr von Blittersdorf, D., *Canzler*, W., *Eckerle*, P., *Gißler*, A., *Hock*, K., *Kruse*, O., *Lange*, R., *Mildenberger*, C., *Mono*, R., *Storz*, N. und *Scherer*, D. (2016): Geschäftsmodelle für Bürgerenergiegenossenschaften. Markterfassung und Zukunftsperspektiven.

Fröhlich, J. (2019): Interview Fröhlich, Altenburg.

Graulich, K. (2018): Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Speichern in Privathaushalten, Breisach.

Graulich, K., *Bauknecht*, D., *Heinemann*, C., *Hilbert*, I., *Vogel*, M., *Seifried*, D. und *Albert-Seifried*, S. (2018): Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen. Ergebnisse aus dem BMBF-geförderten Verbundprojekt BuergEn "Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen".

Großklos, M., *Behr*, I., *Paschka*, D., *Lohmann*, G. und *Meixner*, H. (2015): Möglichkeiten der Wohnungswirtschaft zum Einstieg in die Erzeugung elektrischer Energie, Darmstadt.

Grosskopf, W., *Münckner*, H.-H. und *Ringle*, G. (2009): Unsere Genossenschaft: Idee – Auftrag – Leistungen, Wiesbaden.

Guthke, R. (11.12.18): Telefonat über Energiegenossenschaften.

JENA GEOS (2019): CO2-Emissionen für ein Quartier in Altenburg.

Jülch, V., *Hartmann*, N., *Hock*, C., *Welsch*, J., *Fahl*, U., *Ruhland*, S., *Lerm*, V. und *Schäfer-Stradowsky*, S. (2017): Anwenderleitfaden:Möglichkeiten für den Einsatz von Energiespeichern bei genossenschaftlichen Energieprojekten.

Jülch, V., *Thomsen*, J., *Hartmann*, N., *Junne*, T., *Unterreiner*, L., *Arnold*, M., *Reith*, S., *Eltrop*, L., *Wassermann*, S. und *Niederberger*, M. (2016): Betreibermodelle für Stromspeicher. Ökonomisch-ökologische Analyse und Vergleich von Speichern in autonomen, dezentralen Netzen und für regionale und Überregionale Versorgungsaufgaben.

Kahla, F., *Holstenkamp*, L., *Müller*, J. und *Degenhart*, H. (2017): Entwicklung und Stand von Bürgerenergiegesellschaften und Energiegenossenschaften in Deutschland, in: Arbeitspapierreihe Wirtschaft und Recht(27).

Klagge, B., *Schmole*, H., *Seidl*, I. und *Schön*, S. (2016): Zukunft der deutschen Energiegenossenschaften, in: Raumforschung und Raumordnung, 74(3), 243 – 258.

Klemisch, H., *Lange*, R., *Gottwald*, C. und *Brauner*, B. (2016): Gemeinsam Stärker. Wie Kommunen und Bürgereinergiegenossenschaften gut zusammenarbeiten, [https://laneg.de/fileadmin/media/dokumente/downloads/Gemeinsam_Staerker_2016.pdf], abgerufen am 15.01.19.

Knoop, M., *Littwin*, M., *Kesting*, M. und *Ohrdes*, T. (2018a): Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren. Kurzfassaung, Bad Staffelstein.

Knoop, M., *Littwin*, M., *Kesting*, M. und *Ohrdes*, T. (2018b): Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren im Rahmen des Mieterstromgesetzes, Bad Staffelstein.

Koepp, M., *Krampe*, L., *Wünsch*, M. und *Schalle*, H. (2017): Mieterstrom. Rechtliche Einordnung, Organisationsformen, Potenziale und Wirtschaftlichkeit Mieterstrommodellen.

Kovacic, I. (2015): Lebenszyklusanalyse Steildach. Ökonomische und ökologische Vorteile, Wien.

Limbacher, E.-L. und *Richard*, P.: dena-Analyse Schnittstellen und Standards für die Digitalisierung der Energiewende. Übersicht, Status Quo und Handlungsbedarf.

Maron, B. und *Maron*, H. (2012): Genossenschaftliche Unterstützungsstrukturen für eine sozialräumlich orientierte Energiewirtschaft. Machbarkeitsstudie, Köln.

Preiß, S. (2019): Fraunhofer IKTS stellt im März keramische Hochtemperaturbatterie vor.

Quartierstrom (2019): Das Wichtigste in Kürze, [https://quartier-strom.ch/index.php/das-wichtigste-in-kurze/], abgerufen am 17.05.2019.

Rechnungswesen - verstehen.de: Rechtsformenübersicht, [https://www.rechnungswesen-verstehen.de/lexikon/rechtsformen-von-unternehmen.php], abgerufen am 20.05.2019.

Rosenkranz, A. (2019): Solarfolien: Die flexible Photovoltaikanlage, [https://heizung.de/solartechnik/wissen/solarfolie-die-flexible-photovoltaikanlage/], abgerufen am 13.08.2019.

Schulz, M. (2019): cerenergy® - Die Hochtemperaturbatterie für stationäre Energiespeicherung, [https://www.ikts.fraunhofer.de/de/departments/energy_bio-medical_technology/system_integration_technology_transfer/stationary_energy_storage/cerenergy.html], abgerufen am 15.05.2019.

Soba, J. (2019a): Tageslastgang Edeka Soba Februar.

Soba, J. (2019b): Tageslastgang Edeka Soba Januar.

Solarrechner Thüringen, [https://www.solarrechner-thueringen.de/#s=solarinfotext;informationen;2], abgerufen am 21.05.2019.

Solarrechner Thüringen: Solarrechner für Solaranlagen und Photovoltaikanlagen, [https://www.solarrechner-thueringen.de/#s=solarinfotext;informationen;2], abgerufen am 28.11.18.

Sparkasse Altenburg (2019): Strombedarf Sparkasse 2018. E-Mail.

Sperling, C. (2018): Stromspeicherung im Stromnetz: Evolution statt Revolution, [https://www.next-kraftwerke.de/neues/stromspeicher-stromnetz], abgerufen am 07.11.2018.

Staab, J. (2018): Erneuerbare Energien in Kommunen. Energiegenossenschaften gründen, führen und beraten, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Stadt Altenburg (2006a): Denkmale der Stadt Altenburg mit Eingemeinden. 2006.

Stadt Altenburg (2006b): Flächennutzungsplan - Erläuterungsbericht April 2006.

Stadt Altenburg (2011): Statistisches Jahresbuch 2011, 16. Aufl.

Stadt Altenburg (2014): Statistisches Jahrbuch 2014.

Stadt Altenburg (2016): Einzelhandels- und Zentralkonzept für die Stadt Altenburg.

Stadt Nordhausen (2012): Erarbeitung eines integrierten Klimaschutzkonzeptes für die Stadt Nordhausen als Instrument zur zügigen Umsetzung der nationalen und europäischen Klimaziele, Nordhausen.

Stromspiegel Deutschland (2017): Stromspiegel für Deutschland 2017, [https://www.stromspiegel.de/ueber-uns-partner/der-stromspiegel/], abgerufen am 18.07.2019.

Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur (ThEGA). Solarrechner: Ertrag von Photovoltaikanlage und Solarthermie berechnen, [https://www.thega.de/solar/], abgerufen am 14.06.2019.

Thüringer Landesamt für Statistik (2018a): Gemeinde: Altenburg Stadt, [https://www.statistik.thueringen.de/datenbank/portrait.asp?auswahl=gem&nr=77001&vonbis=&TabelleID=gg000102], abgerufen am 18.06.2019.

Thüringer Landesamt für Statistik (2018b): Zahlen-Daten-Fakten. Statistischer Bericht Bruttoinlandsprodukt in Thüringen 2005 bis 2015 nach Kreisen, 15. Aufl., Erfurt.

Trenkmann, L. (2019): Interview Engo, Schmölln.

Wesselak, V. und *Schabbach*, T. (2012): Energie. Die Zukunft wird erneuerbar, Wiesbaden: Springer Vieweg.

Wesselak, V. und *Voswinckel*, S. (2012): Photovoltaik. Wie Sonne zu Strom wird, Wiesbaden: Springer Vieweg.

Wieg, A. (2018): Wie geht es weiter? Genossenschaftliche Energiewende, in: BankInformation(03).

Will, H. und *Zuber*, F. (2017): Geschäftsmodelle mit PV-Mieterstrom, 2. Aufl.

Wirth, H. (2019): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Freiburg.

Wraneschitz, H. (2015): Große Stromspeicher sind im Kommen. Hilft dem Netz- und dem Betreiber, in: Sonnenenergie, 12 – 14, [http://www.sonnenenergie.de/sonnenenergie-redaktion/SE-2015-05/Layout-fertig/PDF/Einzelartikel/SE-2015-05-s012-Energiespeicherung-Grosse_Energiespeicher.pdf].

Wulf, I., *Kramer*, M. und *Sackbrook*, J. L. (2017): Wachstum und Rentabilität badenwürttembergischer, bayerischer und niedersächsischer stromerzeugender Energiegenossenschaften im Zeitraum 2006-2015, in: Zeitschrift für das gesamte Genossenschaftswesen, 67(1).

Zimmermann, M. (2018): Mein Quartier, die Energie-Gemeinschaft, [https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/ueber-uns/medien/magazin/archiv/2018/06/20/mein-quartier-die-energie-gemeinschaft/], abgerufen am 17.05.2019.

ANHANG

ANHANG 1: STROMBEDARF

Sparkasse

Die Sparkasse Altenburg verbrauchte im Jahr 2018 286.543 kWh. Die Lastabnahme erfolgte sehr gleichmäßig (Sparkasse Altenburg 2019).

Edeka

In Abbildung A-1 und A-2 sind Tageslastgänge der Tage vom 31.01.2019 und 6.02.2019 von dem Supermarkt Edeka dargestellt. Ein jährlicher Stromverbrauch ist nicht bekannt, daher wird dieser aus den zwei Werten berechnet. Daraus ergibt sich der tägliche durchschnittliche Stromverbrauch von 1483,5 kWh und ein jährlicher Stromverbrauch von 541.477,5 kWh/a.

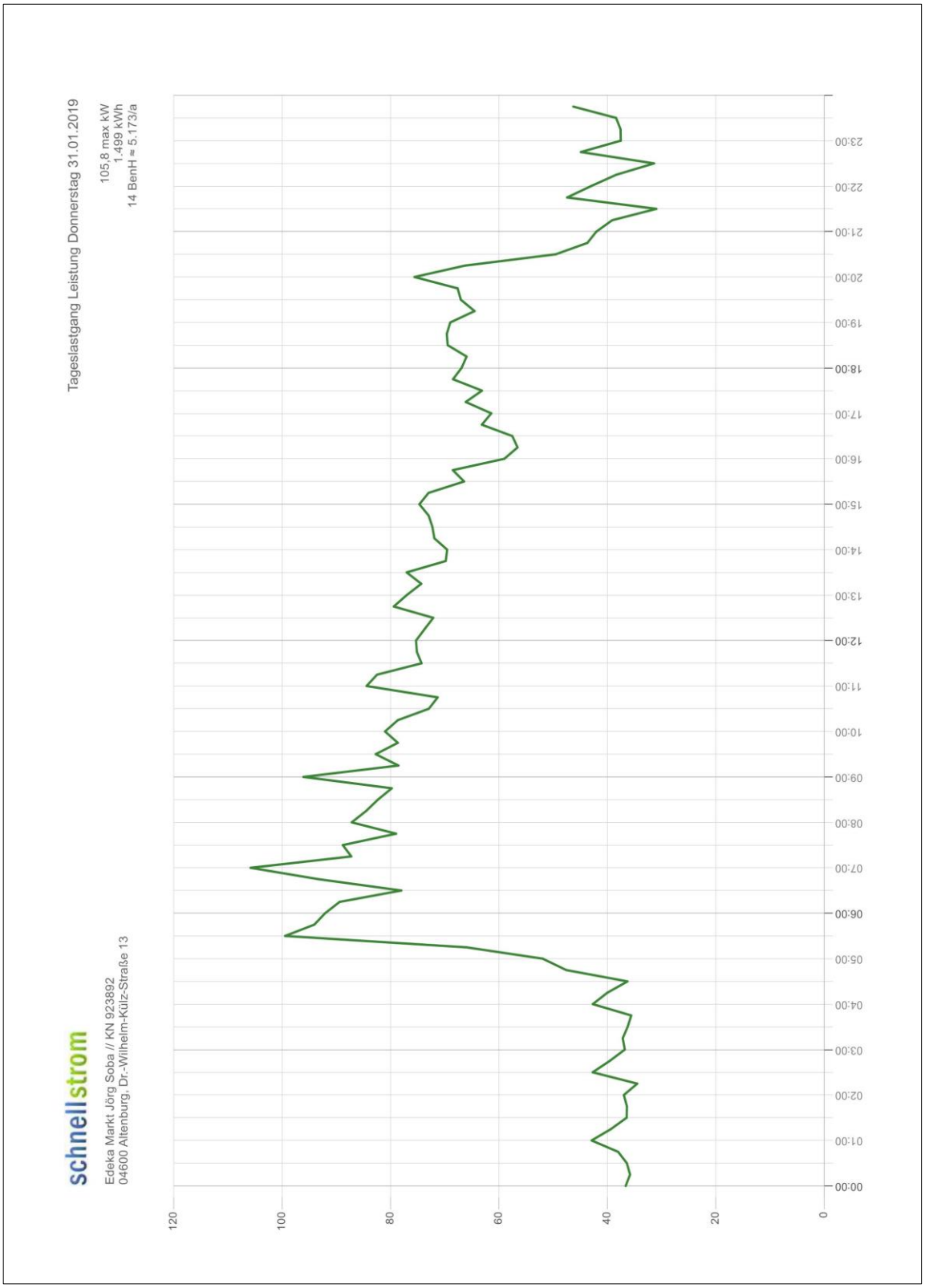


Abbildung A-1 Tageslastgang Edeka Soba Januar (Soba 2019b)

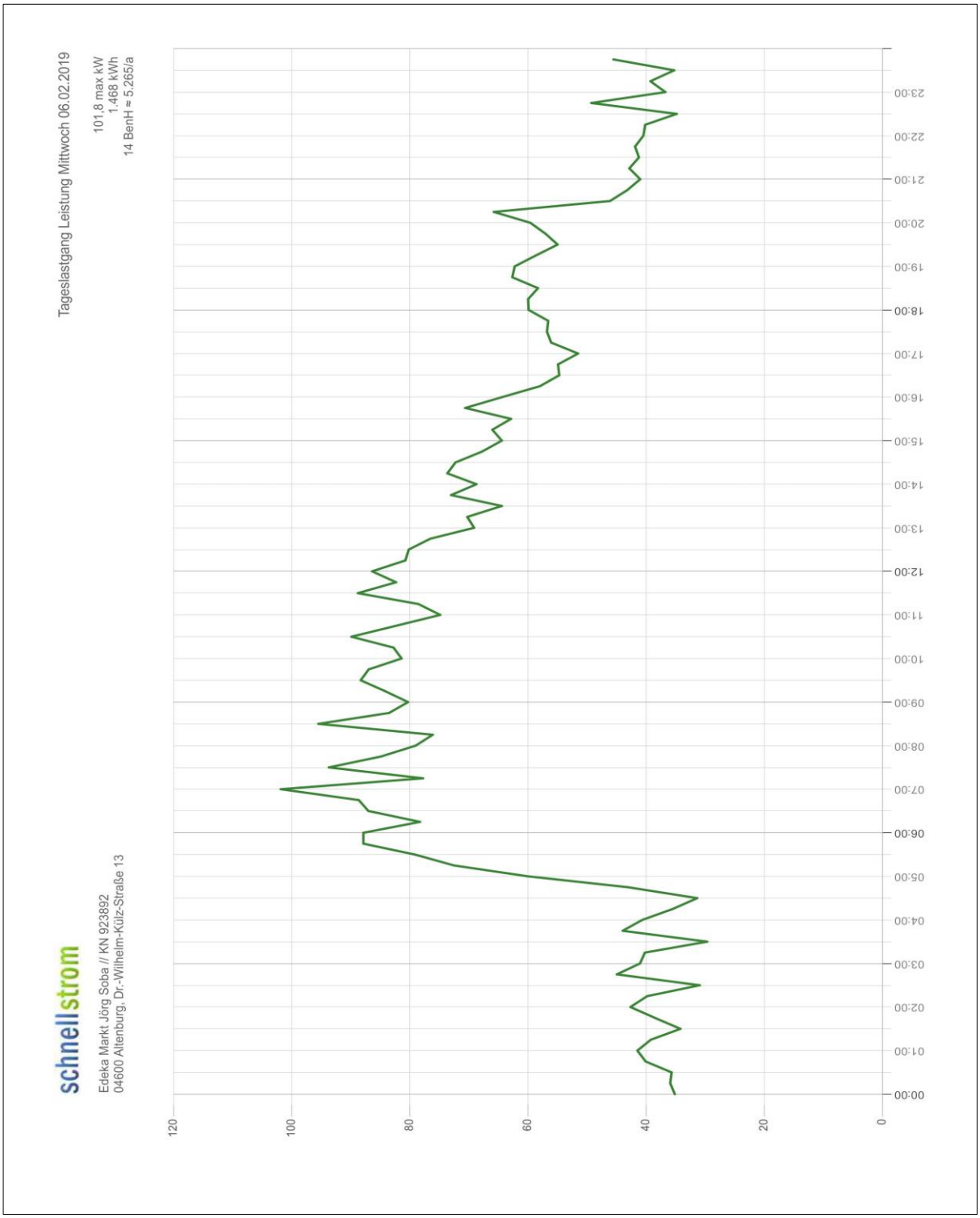


Abbildung A-2: Tageslastgang Edeka Soba Februar.jpg (Soba 2019a)

ANHANG 2: CO_2-EMISSION IM QUARTIER

Tabelle A1: CO_2-Emissionen im Quartier (JENA GEOS 2019)

Variable	Wert	Einheit	Label
S_co2_sum	1.397	t	CO2-Emissionen Strom
W_co2_sum	3.945	t	CO2-Emission Wärme

ANHANG 3: BERECHNUNGEN DER LEISTUNGEN FÜR DIE FREIFLÄCHEN

Um die möglichen Leistungen und solaren Erträge der Freiflächen zu ermitteln, werden die Flächenverbrauchszahlen der Abbildung A-3 für Schleswig-Holstein verwendet.

Standort	Aufständerung	spez. Jahresertrag in kWh/kW$_p$	Fläche pro kW$_p$	Fläche pro MWh/a
Schleswig-Holstein	Reihenaufständerung	990	24,2 m²	26 m²
Allgäu	Reihenaufständerung	1045	18,8 m²	18 m²
Franken	Zweiachsig nachgeführt	1330	40 m²	30 m²
Allgäu (Hanglage)	Reihenaufständerung in Hanglage	980	13,7 m²	14 m²

Abbildung A-3 Ertragsbezogener spezifischer Flächenbedarf für Freilandanlagen mit polykristallinen Solarzellen (Wesselak und Voswinckel 2012, 90)

$$potenzieller\ Ertrag\ Freifläche\ = \frac{\text{Fläche Freifläche}}{\text{Fläche pro MWh/a}}$$

$$potenziellerLeistung\ Freifläche\ = \frac{\text{Fläche Freifläche}}{\text{Fläche pro kWp}}$$

$$CO2 - Einsparung = potenzieller\ Ertrag\ x\ t\ CO_2\ Einsparung$$

<u>Überdachung Edeka Parkplatz</u>

$$potenzieller\ Ertrag\ Freifläche\ = \frac{2.800\ m^2}{26\ m^2/\text{MWh/a}} = 107\ MWh/a$$

$$potenziellerLeistung\ Freifläche\ = \frac{2.800\ m^2}{24{,}2\ m^2/\text{kWp}} = 116\ kWp$$

$$CO2 - Einsparung = 107 \frac{MWh}{a}\ x\ 0{,}58t\ CO_2 = 62\ t$$

Überdachung Parkplatz Dostojewskistraße

$$potenzieller\ Ertrag\ Freifläche\ = \frac{850\ m^2}{26\ m^2/\mathrm{MWh/a}} = 33\ MWh/a$$

$$potenziellerLeistung\ Freifläche\ = \frac{850\ m^2}{24{,}2\ m^2/\mathrm{kWp}} = 35\ kWp$$

$$CO2 - Einsparung = 33\frac{MWh}{a}\ x\ 0{,}58t\ CO_2 = 19\ t$$

Erdhang Kanalstraße

$$potenzieller\ Ertrag\ Freifläche\ = \frac{5.270\ m^2}{26\ m^2/\mathrm{MWh/a}} = 203\ MWh/a$$

$$potenziellerLeistung\ Freifläche\ = \frac{5.270\ m^2}{24{,}2\ m^2/\mathrm{kWp}} = 218\ kWp$$

$$CO2 - Einsparung = 203\frac{MWh}{a}\ x\ 0{,}58t\ CO_2 = 118\ t$$

Brache Kanalstraße

$$potenzieller\ Ertrag\ Freifläche\ = \frac{4.630\ m^2}{26\ m^2/\mathrm{MWh/a}} = 187\ MWh/a$$

$$potenziellerLeistung\ Freifläche\ = \frac{4.630\ m^2}{24{,}2\ m^2/\mathrm{kWp}} = 191\ kWp$$

$$CO2 - Einsparung = 187\frac{MWh}{a}\ x\ 0{,}58t\ CO_2 = 108\ t$$

ANHANG 4: GIS-KARTEN

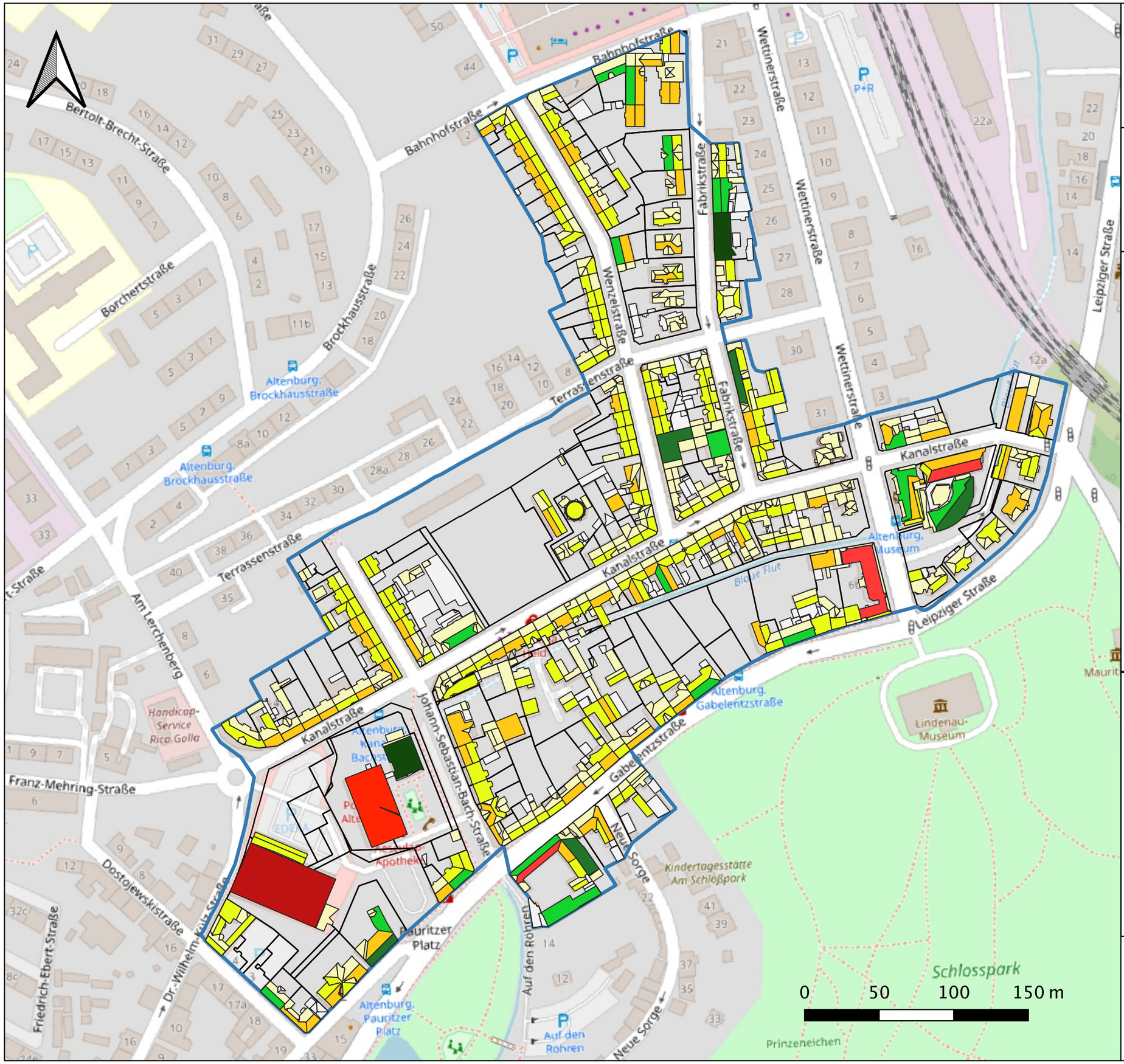
Nachfolgend sind die folgenden Karten dem Anhang beigefügt:

- Basisszenario
- Selektionsschritt: Ungeeignete Dachflächen
- Selektionsschritt: Anforderungen Mieterstromgesetz
- Selektionsschritt: Kleinteilige und verwinkelte Dachformen
- Selektionsschritt: Denkmalschutz
- Selektionsschritt: Wirtschaftlichkeit

Die Ausdrucke der Karten befinden sich in den beigefügten Dateien

- 4.1 Stadtraumtypen.pdf
- 4.2 Leerstand.pdf
- 4.3 Bauzustand.pdf
- 4.4 Strombedarf.pdf
- 4.5 Eignung der Dachflächen.pdf
- 4.6 Eigentümer_innen mit mehreren Grundstücken.pdf
- 4.7 Eigentümer_innen.pdf

im digitalen Anhang.



Energetisch-Ökologischer-Stadtumbau
Masterarbeit Julia Schließauf

Basisszenario: : Jährlicher Gesamtertrag in kWh aller Dachflächen

Legende

Flurstücke

Maximaler Gesamtertrag in kWh/a

- 0 - 300
- 300 - 5.000
- 5.000 - 10.000
- 10.000 - 15.000
- 15.000 - 20.000
- 20.000 - 25.000
- 25.000 - 30.000
- 30.000 - 50.000
- 50.000 - 100.000
- 100.000 - 155.000

Datenquelle: Solarrechner Thüringen

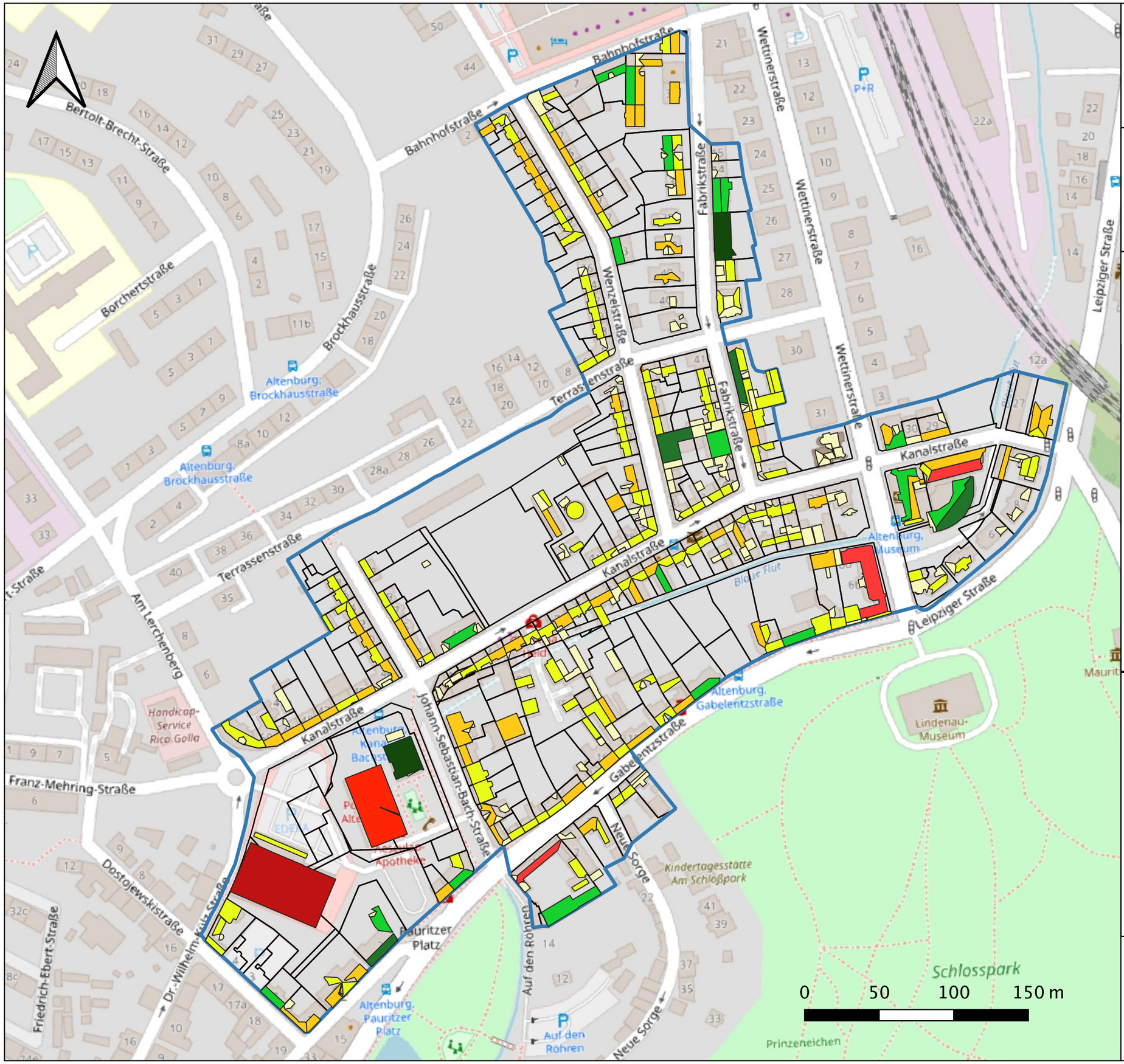
Kartengrundlage: OSM Standard

Kartographische und inhaltliche Bearbeitung: Julia Schließauf

Maßstab: 1:2500

HOCHSCHULE NORDHAUSEN
University of Applied Sciences

JENA GEOS



Energetisch-Ökologischer-Stadtumbau
Masterarbeit Julia Schließauf

Selektionsschritt: Ungeeignete Dachflächen

Legende

Flurstücke

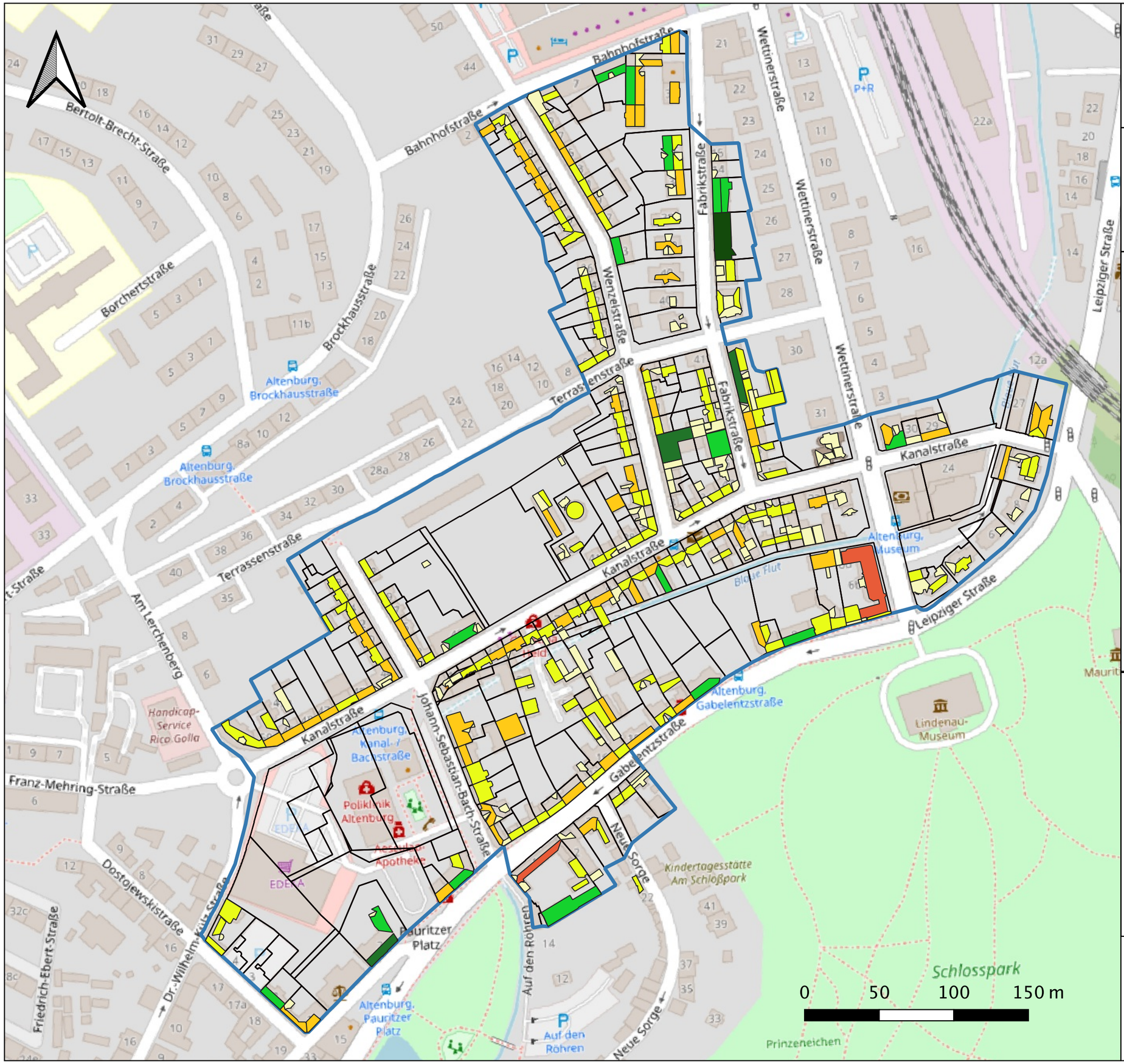
Ertrag in kWh/a

- 300 - 5.000
- 5.000 - 10.000
- 10.000 - 15.000
- 15.000 - 20.000
- 20.000 - 25.000
- 25.000 - 30.000
- 30.000 - 50.000
- 50.000 - 100.000
- 100.000 - 155.000

Datenquelle:	Solarrechner Thüringen
Kartengrundlage:	OSM Standard
Kartographische und inhaltliche Bearbeitung:	Julia Schließauf
Maßstab:	1:2500

HOCHSCHULE NORDHAUSEN
University of Applied Sciences

JENA GEOS



Energetisch-Ökologischer-Stadtumbau
Masterarbeit Julia Schließauf

Selektionsschritt: Anforderungen Mieterstromgesetz

Legende

Flurstücke

Ertrag in kWh/a

- 300 - 5.000
- 5.000 - 10.000
- 10.000 - 15.000
- 15.000 - 20.000
- 20.000 - 25.000
- 25.000 - 30.000
- 30.000 - 50.000
- 50.000 - 100.000
- 100.000 - 155.000

Datenquelle: Solarrechner Thüringen

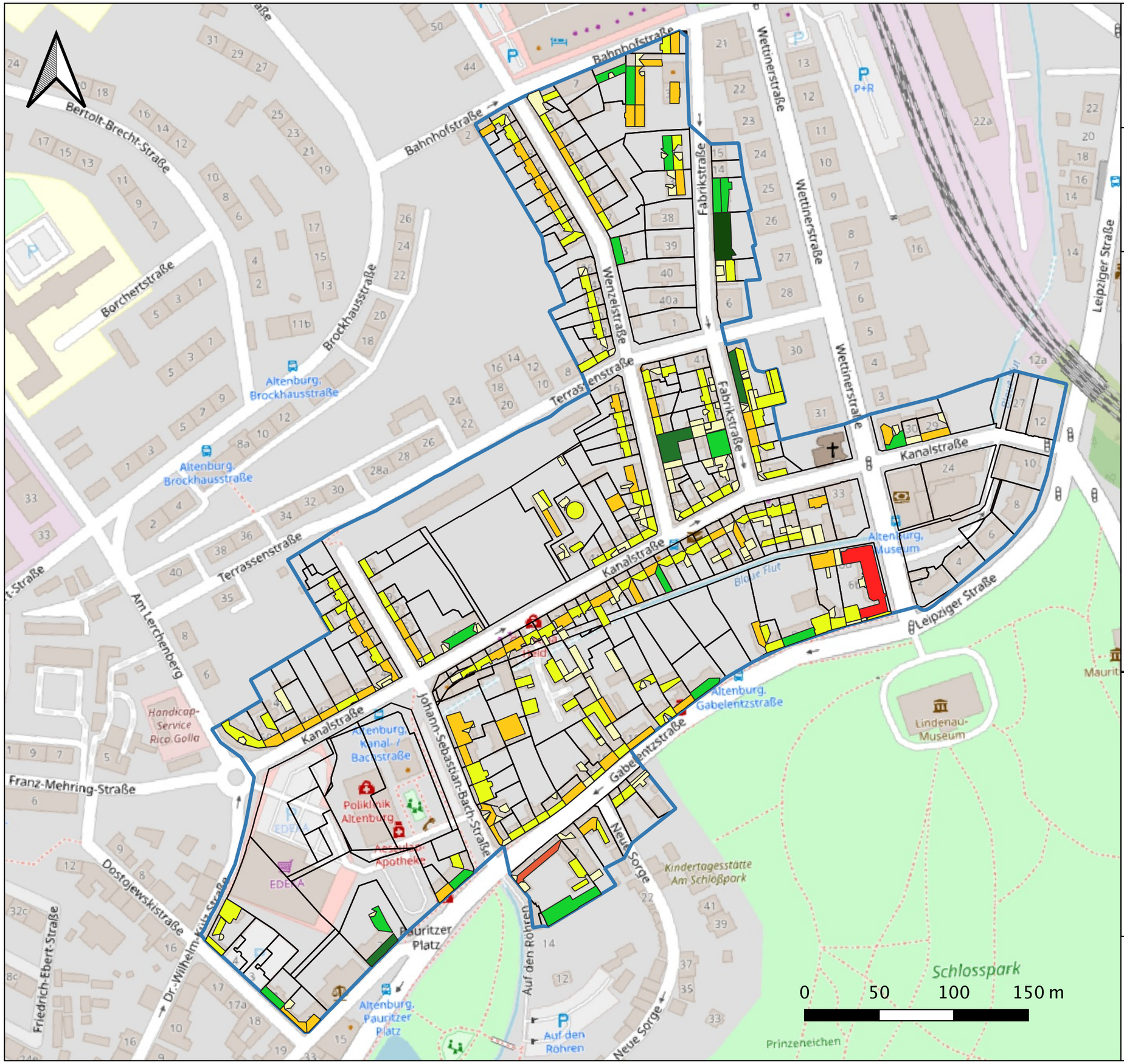
Kartengrundlage: OSM Standard

Kartographische und inhaltliche Bearbeitung: Julia Schließauf

Maßstab: 1:2500

HOCHSCHULE NORDHAUSEN
University of Applied Sciences

JENA GEOS



Energetisch-Ökologischer-Stadtumbau
Masterarbeit Julia Schließauf

Selektionsschritt: Ungeeignete Dachgeometrien

Legende

- Flurstücke

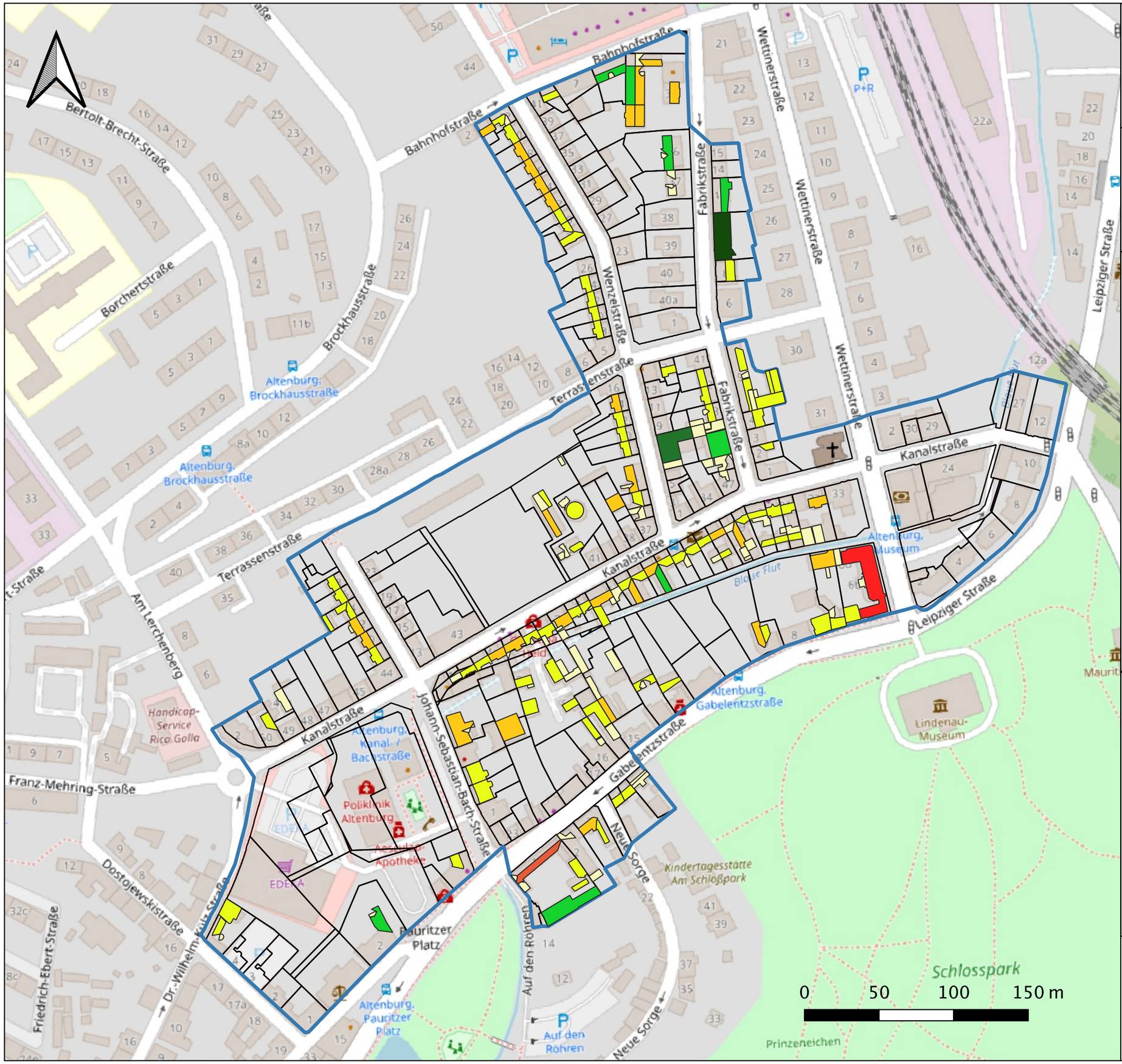
Ertrag in kWh/a

- 300 - 5.000
- 5.000 - 10.000
- 10.000 - 15.000
- 15.000 - 20.000
- 20.000 - 25.000
- 25.000 - 30.000
- 30.000 - 40.000
- 40.000 - 46.000

Datenquelle:	Solarrechner Thüringen
Kartengrundlage:	OSM Standard
Kartographische und inhaltliche Bearbeitung:	Julia Schließauf
Maßstab:	1:2500

Hochschule Nordhausen
University of Applied Sciences

JENA GEOS



Energetisch-Ökologischer-Stadtumbau
Masterarbeit Julia Schließauf

Selektionsschritt: Anforderungen Denkmalschutz

Legende

Flurstücke

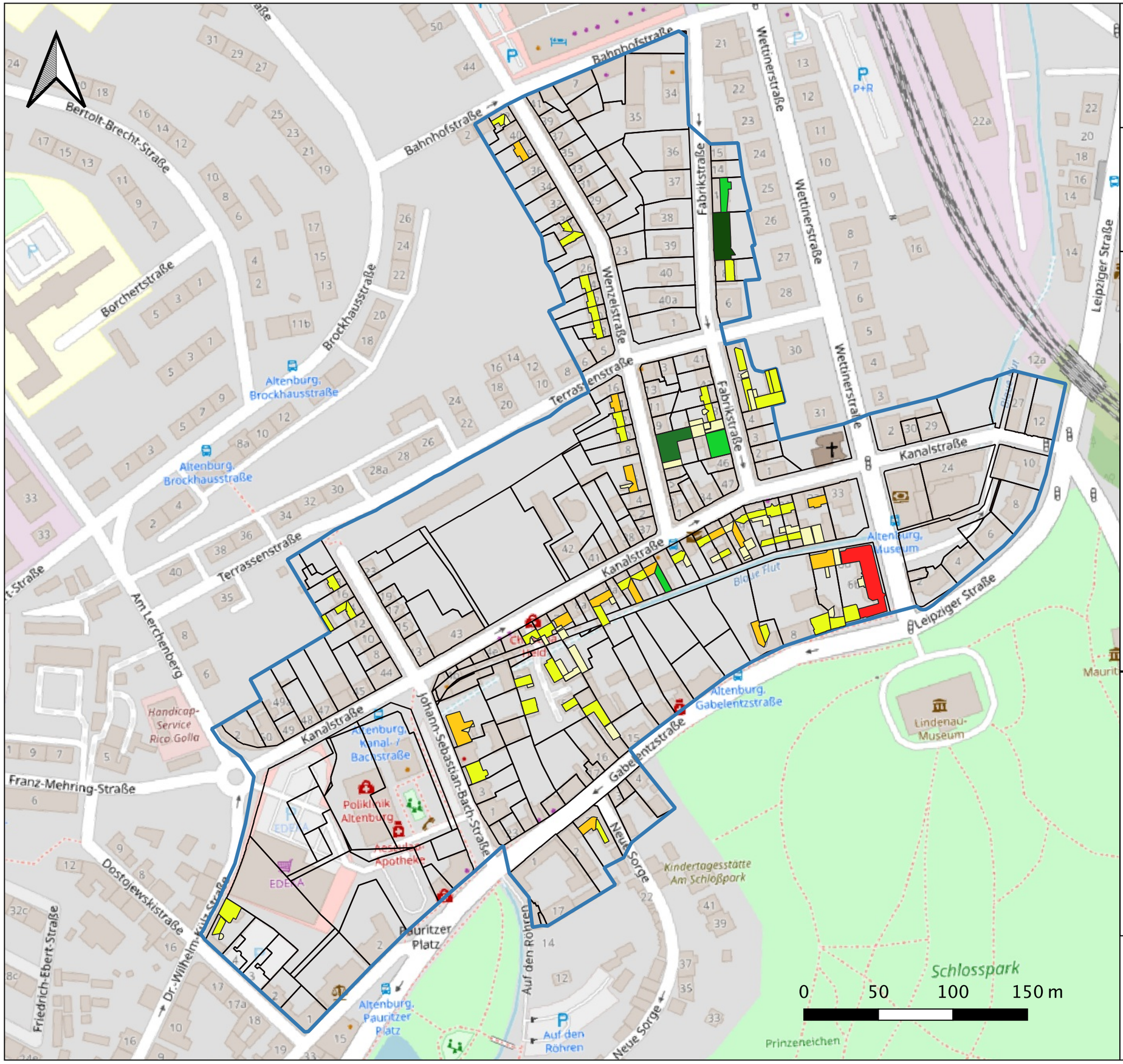
Ertrag in kWh/a

- 300 - 5.000
- 5.000 - 10.000
- 10.000 - 15.000
- 15.000 - 20.000
- 20.000 - 25.000
- 25.000 - 30.000
- 30.000 - 40.000
- 40.000 - 46.000

Datenquelle:	Solarrechner Thüringen
Kartengrundlage:	OSM Standard
Kartographische und inhaltliche Bearbeitung:	Julia Schließauf
Maßstab:	1:2500

HOCHSCHULE NORDHAUSEN
University of Applied Sciences

JENA GEOS



Energetisch-Ökologischer-Stadtumbau
Masterarbeit Julia Schließauf

Selektionsschritt: Wirtschaftlichkeit

Legende

Flurstücke

Ertrag in kWh/a

- 300 - 5.000
- 5.000 - 10.000
- 10.000 - 15.000
- 15.000 - 20.000
- 20.000 - 25.000
- 25.000 - 30.000
- 30.000 - 40.000
- 40.000 - 46.000

Datenquelle: Solarrechner Thüringen

Kartengrundlage: OSM Standard

Kartographische und inhaltliche Bearbeitung: Julia Schließauf

Maßstab: 1:2500

HOCHSCHULE NORDHAUSEN
University of Applied Sciences

JENA GEOS

ANHANG 5: TABELLEN

Die Ausdrucke der erstellten Tabellen befinden sich in den beigefügten Dateien

- 5.1 Eigenschaft und Strombedarf Häuser.pdf
- 5.2 Erträge Dächer.pdf

im digitalen Anhang.

ANHANG 6: RENDITEBERECHNUNGEN

Die erstellten Renditeberechnungen befinden sich in den beigefügten Dateien

- 6.1 Fabrikstr. 5.xlsm
- 6.2 Fabrikstr. 9-10.xlsm
- 6.3 Fabrikstr. 44.xlsm
- 6.4 Gabelentzstr.6-7.xlsm
- 6.5 Kanalstr. 4d.xlsm
- 6.6 Kanalstr. 5.xlsm
- 6.7 Kanalstr. 20.xlsm
- 6.8 Kanalstr. 21.xlsm
- 6.9 Kanalstr.12.xlsm
- 6.10 Kanalstr.17.xlsm
- 6.11 Pauritzer Platz 2.xlsm
- 6.12 Pauritzer Str.4.xlsm
- 6.13 Wenzelstr. 7.xlsm
- 6.14 Wenzelstr. 34.xlsm
- 6.15 Wenzelstr.20.xlsm
- 6.16 Wenzelstr.38.xlsm
- 6.17 Wenzelstr.42.xlsm

im digitalen Anhang.

ANHANG 7: BERECHNUNGEN ZUR WENZELSTRAßE 38

Die erstellten Berechnungen der Wenzelstraße 38 befinden sich in den beigefügten Dateien

- 7.1 Lastgangprofile.xlsb
- 7.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung.xlsm

im digitalen Anhang.

ANHANG 8: INTERVIEWS

Die Ausdrucke der erstellten Interviews befinden sich in den beigefügten Dateien

- 8.1 Fröhlich.pdf
- 8.2 Trenkmann.pdf
- 8.3 Guthke.pdf

im digitalen Anhang.

Schriftliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne zusätzliche Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Beratung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Tätigkeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Arbeit stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form eingereicht und ist als Ganzes auch nicht veröffentlicht worden.

Nordhausen, den 11.10.2019