



## Projektarbeit im Fach

# Projektentwicklung, Bewertung und Finanzierung

verfasst von:

Giannina Frazzetta	730529	giannina.frazzetta@stud.h-da.de
Friedrich Horn	754292	friedrich.horn@stud.h-da.de
Jonas Lepping	758725	jonas.lepping@stud.h-da.de
Kevin Bui	758636	kevin.bui@stud.h-da.de

Einzureichen am 16.01.2019

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	III
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
1. Einleitung .....	1
2. Rahmenbedingungen des Mini-WKA-Projektes.....	2
2.1 Gründung einer Projektgesellschaft.....	2
2.2 Pachtmodell .....	3
3. Projektplanung .....	4
3.1 Standortauswahl und Ausrichtung der Mini-WKA.....	5
3.2 Dimensionierung der Mini-WKA.....	8
3.3 Genehmigung von Kleinwindanlagen .....	10
4. Wirtschaftliche Bewertung des Projektes.....	13
4.1 Kostenstruktur der Mini-WKA .....	13
4.1.1 Investitionskosten .....	14
4.1.2 Betriebs- und finanzierungsgebundene Kosten.....	15
4.2 Erlösstruktur der Mini-WKA .....	16
4.2.1 Einspeisevergütung nach dem EEG 2017.....	17
4.2.2 Ermittlung der Eigenverbrauchsquote .....	18
4.3 Finanzierung .....	19
4.3.1 Risikostruktur.....	19
4.3.2 Projektfinanzierung.....	21
4.3.3 Berechnung der Pacht.....	23
4.4 Ermittlung des Kapitalwerts .....	23
5. Fazit .....	24
Literaturverzeichnis .....	26
Quellenverzeichnis .....	27
Quellen des Rechts .....	27
Anhang.....	29

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Logo der gegründeten CampusWind Bui, Frazzetta, Horn & Lepping GbR.....	2
Abbildung 2.2: Schematische Darstellung des Pachtmodells .....	4
Abbildung 3.1: Kumulierte Windgeschwindigkeiten der letzten 10 Jahre in Darmstadt.....	6
Abbildung 3.2: Windrose der letzten 10 Jahre für Darmstadt .....	7
Abbildung 3.3: Positionierung der Mini-WKA auf dem Hochhaus der Hochschule Darmstadt.....	8
Abbildung 3.4: Ausgewählte Mini-WKA vom Typ Aeolos-V 5kW .....	9
Abbildung 3.5: Daten der Mini-WKA Aeolos-V 5kW.....	10
Abbildung 4.1: Verläufe der prognostizierten Verbrauchs- und Erzeugungsleistungen.....	18
Abbildung 4.2: Projektstruktur einer Mini-WKA .....	20

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Grenzwerte für Gebiete nach der TA Lärm .....	11
Tabelle 4.1: Investitionskosten der Mini-WKA.....	14
Tabelle 4.2: Betriebs- und finanzierungsgebundene Kosten der Mini-WKA pro Jahr .....	16
Tabelle 4.3: Projektfinanzierungsstruktur .....	22

## Abkürzungsverzeichnis

BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WKA	Windkraftanlage

# 1. Einleitung

Die fortschreitende Dekarbonisierung des Energiesektors erfordert neben dem Zubau inzwischen etablierter Erneuerbare-Energien-Anlagen wie Photovoltaik und Windkraft auch neue, innovative Vorhaben. Ein möglichst breiter Technologiemix ist Voraussetzung, um die nächste Phase der Energiewende zu meistern. Neben der wirtschaftlichen Tragfähigkeit und technologischen Robustheit neuer Projekte müssen aber auch soziale Faktoren beachtet werden. Projektvorhaben müssen zukunftsorientiert auf die Bedürfnisse der späteren Energienutzer eingehen und sie an der Planung, Umsetzung und Finanzierung teilhaben lassen.

Aus diesem Grund soll in enger Zusammenarbeit mit der Hochschule Darmstadt eine Mini-Windkraftanlage (Mini-WKA) in Form eines Vertikalachsers auf dem Dach des Hochhauses der Hochschule Darmstadt projektiert werden. Diese bislang eher als ungewöhnlich wahrgenommene Technologie ist aufgrund der Höhe des Standorts und den damit verbundenen Windgeschwindigkeiten bestens zur Energieversorgung geeignet. Studierende und Angehörige der Hochschule sollen später nicht nur vom selbstgenutzten Strom profitieren, sondern sich bereits bei der Realisierung und Finanzierung des Projektes einbringen können. Neben einer verbesserten Energiebilanz und der regionalen Wertschöpfung wirkt sich das Projekt daher auch positiv auf die Wahrnehmung der Hochschule Darmstadt als innovativen Standort mit gesellschaftlicher Vorbildfunktion aus.

Bevor die Planung des Projektes beginnen kann, wird in Kapitel 2 zunächst auf die Gründung der Projektgesellschaft und das Vertragsverhältnis der beiden Hauptakteure, der Projektgesellschaft und der Hochschule Darmstadt, eingegangen. Anschließend beginnt in Kapitel 3 mit der Standortauswahl der Mini-WKA, der Dimensionierung der Anlage und dem Einholen von Genehmigungen für den Bau einer Kleinwindkraftanlage die Planung des Projektes. Darauf aufbauend wird das Projekt in Kapitel 4 wirtschaftlich bewertet. Die wirtschaftliche Betrachtung beinhaltet die Aufstellung der Kosten- und Erlösstruktur des Projektes, die Finanzierung und die Ermittlung des Kapitalwertes. Abschließend erfolgt in Kapitel 5 ein zusammenfassendes Fazit.

## 2. Rahmenbedingungen des Mini-WKA-Projektes

Die Ausarbeitung der Rahmenbedingungen des Projektes ist Grundlage für die spätere Planung. Die zwei wesentlichen Akteure des Mini-WKA-Projektes sind die zu gründende Projektgesellschaft sowie die Hochschule Darmstadt. Die Gründung der Projektgesellschaft wird in Kapitel 2.1 mit der Wahl der Rechtsform und ihrer Eigenschaften erläutert. In Kapitel 2.2 wird auf das wirtschaftliche und rechtliche Verhältnis der beiden Hauptakteure des Projektes näher eingegangen.

### 2.1 Gründung einer Projektgesellschaft

Die unternehmerische Tätigkeit beginnt mit der Gründung der Projektgesellschaft. Hierzu ist zunächst die Rechtsform der Projektgesellschaft zu bestimmen. Da die Projektgründer vorerst nur die Projektierung einer Mini-WKA vorsehen, wird die Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) als Rechtsform der Projektgesellschaft gewählt. Diese ermöglicht durch die schnelle und unbürokratische Gründung einen einfachen Einstieg in die Selbstständigkeit. Eine Eintragung in das Handelsregister und eine Mindestkapitaleinlage sind nicht erforderlich. Die Gründung soll unter dem Namen **CampusWind Bui, Frazzetta, Horn & Lepping GbR** (nachfolgend „CampusWind GbR“ genannt) mit dem dazugehörigen Logo in Abbildung 2.1 erfolgen. Die ständige Praxis gibt vor, alle Gesellschafter der GbR namentlich in der Geschäftsbezeichnung zu nennen. Die gewählte Rechtsform kann bei der Aufnahme von weiteren Projekten geändert werden.



**Abbildung 2.1:** Logo der gegründeten CampusWind Bui, Frazzetta, Horn & Lepping GbR (Eigene Darstellung)

Mit der Gründung einer GbR entstehen nahezu keine Kosten. Lediglich die erforderliche Gewerbeanmeldung in Darmstadt und der IHK-Beitrag sind zu ent-

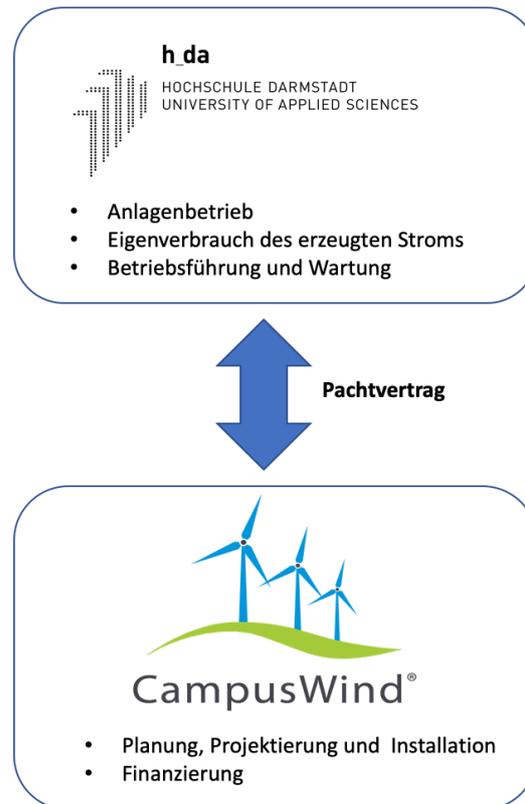
richten. Die GbR wird durch einen GbR-Vertrag, der auf dem Zusammenschluss der Projektgründer zur Erreichung eines gemeinsamen Ziels beruht, gegründet. Die Vertragsgestaltung obliegt den Projektgründern dabei völlig frei. Der GbR-Vertrag soll neben den rechtlichen Grundlagen nach §§ 705 ff. BGB auch die Beschreibung des Projektes beinhalten. Alle Gesellschafter erhalten laut § 709 BGB eine gemeinschaftliche Leitungsfunktion und werden nach § 722 BGB zu gleichen Teilen an Gewinnen und Verlusten beteiligt. Je nach Höhe des Gewinns sind die Gesellschafter einzeln einkommensteuerpflichtig. Für die Gewerbe- und Umsatzsteuer gilt die GbR als Steuersubjekt, wobei sie im ersten Geschäftsjahr, bei einem voraussichtlichen Jahresumsatz von weniger als 17.500 Euro, von der Umsatzsteuer befreit ist. Von Buchführungs- und Bilanzierungspflichten ist die GbR ausgenommen. Somit existieren für die GbR keine Publizitäts- und Prüfungsvorschriften.

Die GbR zählt zu den Personengesellschaften und stellt keine juristische Person dar. Die Gesellschafter haften deshalb unbeschränkt und gesamtschuldnerisch mit ihrem privaten Vermögen für die Schulden der Gesellschaft. Die Kreditwürdigkeit der GbR hängt dadurch stark von der Kreditwürdigkeit der einzelnen Gesellschafter ab (vgl. Wöhe et al., S. 225 f.).

## **2.2 Pachtmodell**

Als Geschäftsmodell kommt das sogenannte Pachtmodell zum Einsatz. Die Projektgesellschaft ist dabei für die Planung, Projektierung und Realisierung der Anlage verantwortlich. Nach der Realisierung der Anlage übernimmt die Hochschule den Betrieb der Anlage. Dafür zahlt die Hochschule eine jährlich festgelegte Pacht an die CampusWind GbR (siehe Kapitel 4.3.3). Das Pachtmodell ermöglicht der Hochschule im rechtlichen Sinne den erzeugten Strom als Eigenverbrauch zu nutzen. Durch den Eigenverbrauch entfallen eine Reihe der staatlich induzierten Preisbestandteile wie die EEG-Umlage und Netzentgelte, sodass der selbsterzeugte Strom günstiger als der bisherige Netzbezug sein wird. Hierfür müssen der Anlagenbetreiber und der Letztverbraucher des Stroms personenidentisch sein sowie die Nutzung in unmittelbarer räumlicher Nähe erfolgen. Beide Bedingungen werden durch das Pachtmodell und die Installation der Anlage auf einem Gebäude der Hochschule erfüllt. Die Hochschule soll von Beginn an unterstützend an der Planung und Umsetzung des

Projekt es beteiligt sein. Die Abbildung 2.2 stellt das Pachtmodell zwischen der Hochschule Darmstadt und der Projektgesellschaft schematisch dar.



**Abbildung 2.2: Schematische Darstellung des Pachtmodells**  
(Eigene Darstellung)

Nach Abschluss des Projektes, d.h. nach 20 Jahren, kann der Besitz der Anlage gegen Zahlung eines auszuhandelnden Kaufpreises vollständig an die Hochschule übergehen.

### 3. Projektplanung

Eine vollumfängliche Planung bildet den Grundstein für die erfolgreiche Umsetzung eines Projektes. Charakterisiert wird ein Projekt durch ein zeitlich begrenztes, einmaliges zu erreichendes Ziel (vgl. Nettelbeck, Vorlesungsunterlagen 2016/2017). Ziel des gegenwärtigen Projektes ist es, eine Kleinwindkraftanlage auf einem Hochschulgebäude der Hochschule Darmstadt zu installieren.

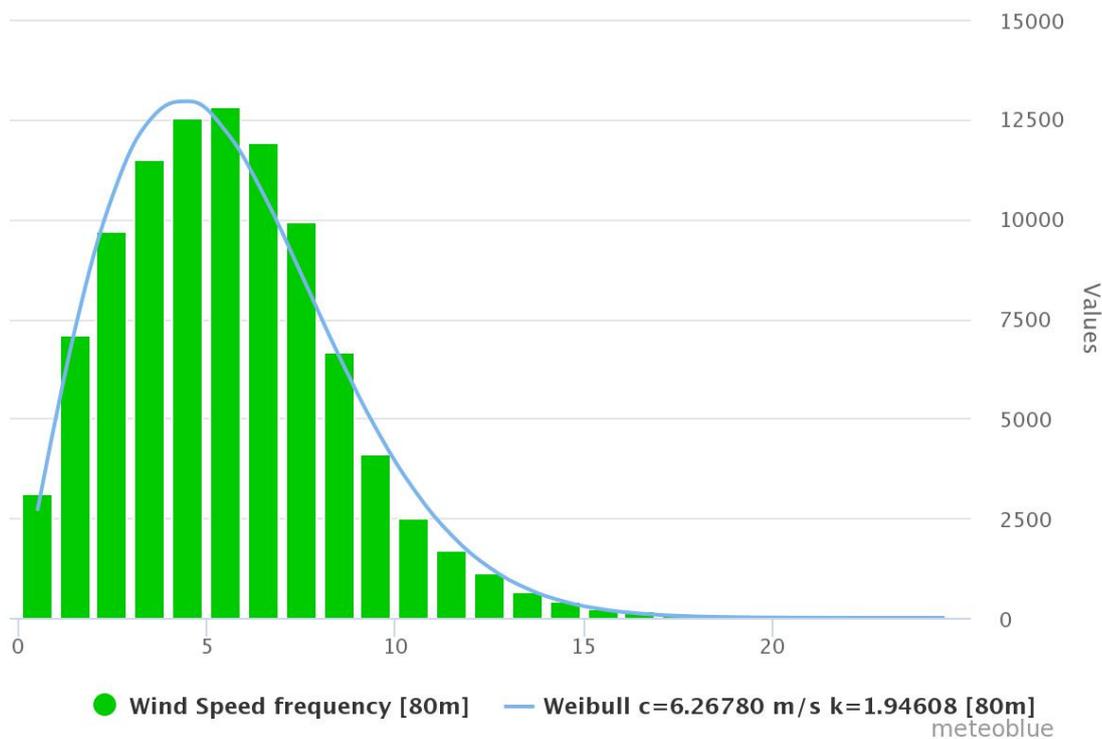
Die Planung kann in unterschiedliche Planungsphasen eingeteilt werden. Bevor die eigentliche Projektierung beginnen kann, sollte in einer Vorplanung zunächst eine Prüfung der Standorteignung und der Windverfügbarkeit vorgenommen werden. Anhand der gewonnenen Daten kann dann eine Standortauswahl getroffen und die Ausrichtung der Mini-WKA bestimmt werden.

Auf die Vorplanung wird in Kapitel 3.1 näher eingegangen. Nach Abschluss der Vorplanung kann mit der Projektierung der Mini-WKA begonnen werden. Diese beinhaltet die Auswahl der Kleinwindkraftanlage und das Einholen von Gutachten und Genehmigungen. Passend zur Standortauswahl wird in Kapitel 3.2 die Kleinwindkraftanlage dimensioniert. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Bau einer solchen Anlage werden in Kapitel 3.3 dargestellt.

### **3.1 Standortauswahl und Ausrichtung der Mini-WKA**

Als Teil der Oberrheinischen Tiefebene ist das Rhein-Main-Gebiet topografisch gekennzeichnet durch großflächig flaches Land mit sehr wenigen, niedrigen Erhebungen. Ausschlaggebend für Darmstadt als Standort war, neben dem regionalen Bezug der Autoren, das sehr gleichmäßige Stadtbild, das sich durch viele in etwa gleich hohe Gebäude auszeichnet und nur durch wenige Hochhäuser durchbrochen wird. Die enge Bebauung im Stadtkern und der näheren Umgebung bremsen den Wind ab, hohe Windgeschwindigkeiten werden in Bodennähe nicht erreicht. Der Mast der Mini-WKA müsste eine Höhe von 50 Metern übersteigen, um oberhalb der Häuser ungestörte Windströmungen zu erlangen. Die Folge wären Instabilität und unverhältnismäßig hohe Kosten.

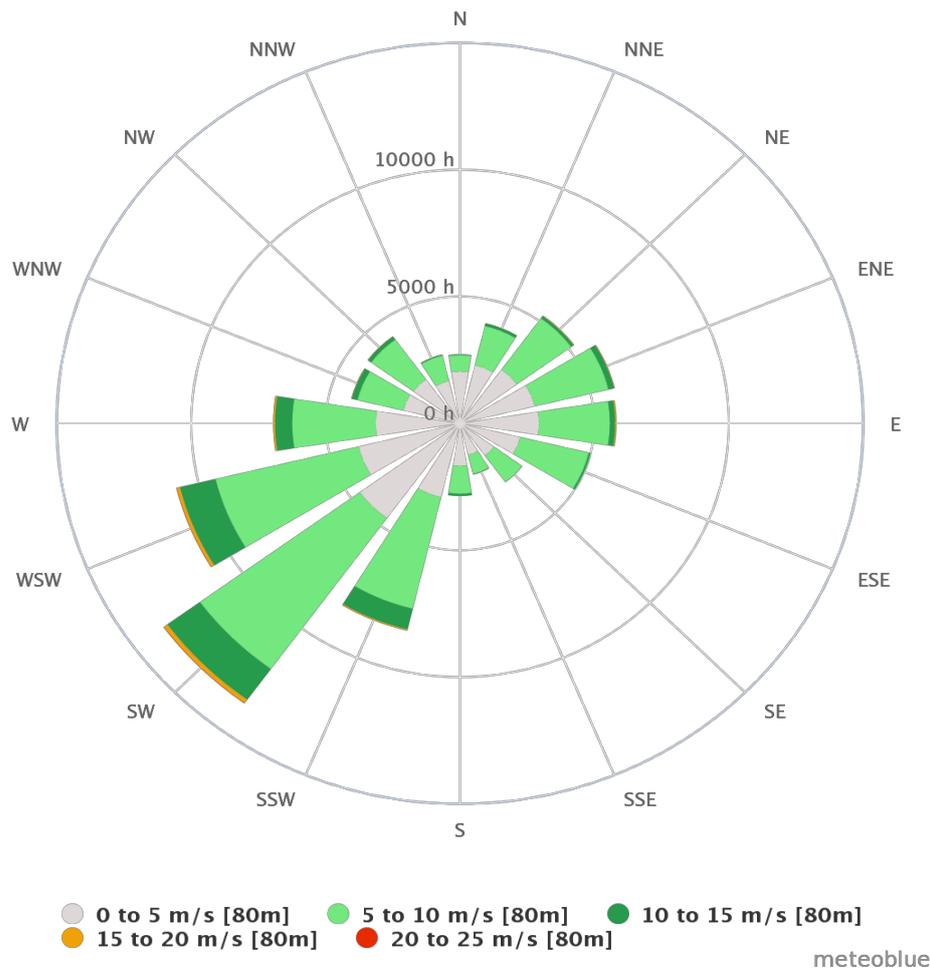
Da die Stromerzeugung der Mini-WKA stark von der Windgeschwindigkeit am Standort abhängt, soll die Anlage auf dem höchsten Gebäude der Stadt positioniert werden – auf dem Hochhaus der Hochschule Darmstadt, Schöfferstr. 3, 64295 Darmstadt. Das Hochhaus stellt mit einer Höhe von 66,39 Metern den höchsten Punkt im Umkreis von 30 Kilometern dar. Die Anlage ist dadurch keinen Hindernissen ausgesetzt und frei anströmbar, weshalb von einer bestmöglichen Windhöflichkeit ausgegangen werden kann. Die folgende Abbildung 3.1 zeigt die kumulierte Messreihe von Windgeschwindigkeiten in einer Höhe von 80 Metern im Zeitraum von 2007 bis 2017. Am häufigsten traten im gemessenen Zeitraum Windgeschwindigkeiten von 4 m/s bis 7 m/s auf. Unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung liegt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 80 Metern gerundet bei 6,27 m/s.



**Abbildung 3.1: Kumulierte Windgeschwindigkeiten der letzten 10 Jahre in Darmstadt**  
(Quelle: Meteoblue AG 2018)

Entscheidend für die optimale Auslastung der Anlage ist allerdings nicht nur die Windgeschwindigkeit am Standort, sondern auch die Häufigkeit einzelner Windrichtungen am Standort. Durch häufige Windrichtungswechsel wirken verstärkt Kräfte auf die Mini-WKA und erhöhen dadurch den Verschleiß der Anlage. Dies hat ebenfalls negative Auswirkungen auf den Energieertrag (vgl. C.A.R.M.E.N. e.V. 2015, S. 13).

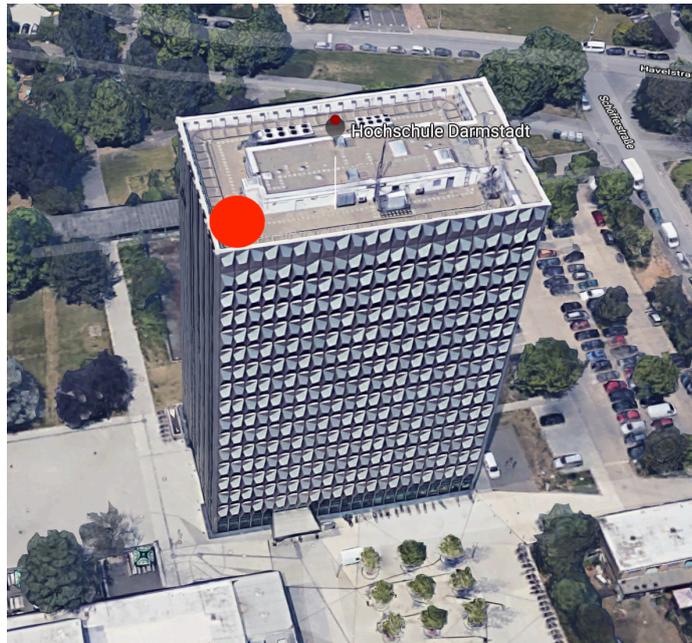
Mit einer Analyse der hauptsächlichsten Windrichtung kann die optimale Position der Anlage für einen wirtschaftlich lohnenden Betrieb bestimmt werden. Die folgende Abbildung 3.2 stellt die Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen der vergangenen zehn Jahre am Standort des Hochhauses in einer Höhe von 80 Metern dar. In Abbildung 3.2 ist deutlich zu erkennen, dass der Wind am Standort des Hochhauses hauptsächlich aus südwestlicher Richtung weht. Aus nördlicher sowie südlicher Richtung weht der Wind extrem selten, etwas häufiger aus dem Osten und dem Nord-Osten.



**Abbildung 3.2: Windrose der letzten 10 Jahre für Darmstadt**  
 (Quelle: Meteoblue AG 2018)

Um den größtmöglichen Ertrag der Mini-WKA zu erzielen, ist es notwendig, die Anlage nach der Häufigkeit der Windrichtung optimal auszurichten. Die Positionierung der Mini-WKA erfolgt deshalb in südwestlicher Himmelsrichtung. Die Abbildung 3.3 zeigt durch den roten Punkt die genaue Positionierung der Mini-WKA auf dem Dach des Hochhauses der Hochschule Darmstadt. Diese ist an dem südwestlichsten Punkt auf dem Dach des Hochhauses vorgesehen.

Das Dach des Hochhauses ist nicht nur durch die hohen Windgeschwindigkeiten, sondern auch durch den Bau des Daches ein idealer Standort für eine Mini-WKA. Das Flachdach ermöglicht die optimale Ausrichtung und eine einfache Montage der Anlage. Ein zusätzlicher Anschluss an das öffentliche Stromnetz muss nicht extra erfolgen, da die Mini-WKA direkt an die Stromversorgung im Hochhaus angeschlossen werden kann. Die nahe Autobahnanbindung des Hochhauses ermöglicht einen reibungslosen Transport der Anlage. Probleme durch schlecht ausgebaute Straßen sind nicht zu erwarten.



**Abbildung 3.3: Positionierung der Mini-WKA auf dem Hochhaus der Hochschule Darmstadt**

(Quelle: Google Earth)

Ein weiterer Faktor für die Auswahl des markanten Bauwerks als Standort der Mini-WKA ist der Träger, die Hochschule Darmstadt. Als Forschungseinrichtung in der Wissenschaftsstadt ist die Hochschule bestrebt, eine Vorreiterrolle in zukunftsrelevanten Fragen einzunehmen. Eine Mini-WKA auf dem Dach stellt deutschlandweit nicht nur ein Alleinstellungsmerkmal dar, was die Attraktivität der Hochschule steigern würde, sondern würde darüber hinaus auch eine größere Unabhängigkeit von Energieversorgern bedeuten und einen Beitrag zur Energiewende leisten. Zusätzlich könnten sich an der Planung und Umsetzung auch andere Fachbereiche der Hochschule beteiligen. Beispielsweise wäre es möglich die Fachbereiche Architektur und Bauingenieurwesen an der Erstellung der Gutachten für den Bau der Anlage zu beteiligen. Anschließend wäre die Mini-WKA für viele weitere Fachbereiche als Forschungsobjekt interessant und lehrreich. Des Weiteren sollen Studierende der Hochschule Darmstadt die Möglichkeit bekommen sich finanziell an dem Projekt zu beteiligen (siehe Kapitel 4.3.2).

### **3.2 Dimensionierung der Mini-WKA**

Die Standortauswahl (vgl. Kapitel 3.1) beeinflusst im Wesentlichen die Dimensionierung und Ausrichtung der Mini-WKA. Das Projektteam entscheidet sich deshalb für eine Anlage mit vertikalen Achsen, dem sogenannten H-Darrieus-Rotor. Hierbei sind die Rotorblätter bei einem konstanten Abstand über Halte-

streben mit der Drehachse verbunden. Vorteil ist, dass die Mini-WKA durch den Aufbau der Anlage keinen Turm benötigt und somit direkt auf dem Dach des Hochhauses montiert werden kann. Im Gegensatz zu Horizontalachsen verursachen Vertikalachsen durch ihre geringere Schnelllaufzahl und dadurch geringere Blattspitzengeschwindigkeit weniger Schallemissionen. Der Hochschulbetrieb im Hochhaus sollte dadurch ohne Einschränkungen fortgeführt werden können. Weitere Pluspunkte von vertikalen Kleinwindkraftanlagen sind, dass sie keinen Mechanismus zur Windnachführung benötigen und Schattenschlag vermeiden, weshalb sie besonders geeignet für den Betrieb in Wohngebieten sind. Zusätzlich können die Rotorflächen als Werbeträger entweder von der Hochschule selbst genutzt oder an externe Firmen verpachtet werden.

Ausgewählt wurde ein Vertikalachser der Marke *Aeolos wind turbine* mit einer Nennleistung von 5 kW, wie in der Abbildung 3.4 dargestellt.



**Abbildung 3.4: Ausgewählte Mini-WKA vom Typ Aeolos-V 5kW**  
(Quelle: Anhang 1)

Das Modell Aeolos-V 5kW besitzt einen Rotordurchmesser von 4,5 m und eine Rotorhöhe von 4,8 m. Die Daten der Mini-WKA Aeolos-V 5kW können der Abbildung 3.5 entnommen werden. Laut Hersteller Aeolos erwirtschaftet die Mini-WKA bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 6 m/s einen Jahresertrag von 13.933 kWh. Auf dem Dach des Hochhauses beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit 6,27 m/s (vgl. Kapitel 3.1), weshalb der Jahresertrag der Mini-WKA einen Wert über 13.933 kWh annehmen dürfte. Die Mini-WKA soll direkt mit der Stromversorgung des Hochhauses verbunden werden und keinen Strom in das öffentliche Stromnetz einspeisen. Der erzeugte

Strom durch die Mini-WKA dient somit lediglich dem Eigenverbrauch des Hochhauses der Hochschule Darmstadt.

<b>Leistung</b>	Nennleistung	<b>5 kW</b>
	Nennwindgeschwindigkeit	<b>11 m/s</b>
	Einschaltgeschwindigkeit	<b>2,5 m/s</b>
	Jahresertrag bei $v_m = 6 \text{ m/s}$	<b>13.933 kWh</b>

<b>Technische Daten</b>	Anlagentyp	<b>Vertikalachser H-Darrieus-Rotor</b>
	Rotordurchmesser	<b>4,5 m</b>
	Rotorhöhe	<b>4,8 m</b>

**Abbildung 3.5: Daten der Mini-WKA Aeolos-V 5kW**  
(Quelle: Anhang 1)

Vertikalachser haben den Nachteil, dass sie durch die vertikale Bauform nicht aus eigener Kraft anlaufen können (vgl. C.A.R.M.E.N. e.V. 2015, S. 22). Ab einer Einschaltgeschwindigkeit von 2,5 m/s benötigt die Mini-WKA eine externe Energieversorgung. Da die Anlage allerdings an das Hausnetz des Hochhauses angeschlossen ist, stellt dies kein größeres Problem dar. Der Generator kann zu Beginn als Motor verwendet werden und die Mini-WKA zum Start mit Strom versorgen.

Demgegenüber haben Vertikalachser den Vorteil, dass sie bereits bei niedrigen Windgeschwindigkeiten Erträge erzielen. Zusätzlich ist das gewählte Modell generell unempfindlich gegenüber Schrägströmungen, häufigen Windrichtungswechseln und Windturbulenzen (vgl. C.A.R.M.E.N. e.V. 2015, S. 21).

### 3.3 Genehmigung von Kleinwindanlagen

Kleinwindanlagen sind bauliche Anlagen und deshalb genehmigungspflichtig. Bevor die Aufstellung der Mini-WKA auf dem Hochhaus beginnen kann, muss somit sichergestellt sein, dass alle rechtlichen Rahmenbedingungen eingehalten werden. Hierzu müssen verschiedene Gutachten eingeholt werden, die neben baurechtlichen Vorgaben sowohl immissionsrelevante Effekte als auch direkte Auswirkungen auf das Gebäude umfassen.

Da kein einheitliches Baurecht auf Bundesebene für die Genehmigung von Kleinwindkraftanlagen besteht, entscheidet die jeweilige Landesbauordnung über das Genehmigungsverfahren. Ob eine Genehmigung nach Baurecht oder Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) erfolgt, hängt von der geplanten Anlagenhöhe ab. Eine Prüfung durch das Bundesimmissionsschutzgesetz wird erst ab einer Anlagenhöhe von 50 Metern fällig. Nach §§ 6 und 7 in Verbindung mit Anlage 1 Nr. 1.6 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) entfällt eine Umweltverträglichkeitsprüfung bei Windkraftanlagen mit einer Anlagenhöhe von weniger als 50 Metern. Da die geplante Mini-WKA Aeolos-V 5kW mit einer Anlagengesamthöhe von ca. 6,5 Metern unter dem Richtwert von 50 Metern liegt, wird diese nach dem Genehmigungsverfahren für Kleinwindkraftanlagen der Hessischen Bauordnung (HBO) genehmigt.

Aus der Anlage zu § 63 Nr. 3.11 der Hessischen Bauordnung, welche baugenehmigungsfreie Vorhaben nach § 63 bestimmt, geht folgendes hervor: *„Windenergieanlagen bis zu 10 m Höhe, gemessen von der Geländeoberfläche bis zum höchsten Punkt der vom Rotor bestrichenen Fläche und einem Rotordurchmesser bis zu 3 m, außer in reinen Wohngebieten.“* Mit einem Rotordurchmesser von 4,5 Metern ist die ausgewählte Anlage somit nach § 66 HBO genehmigungspflichtig. Ohne Baugenehmigung auf Grundlage der Landesbauordnung hat der Betreiber kein Anrecht auf dauerhaften Betrieb der Anlage, was im ungünstigsten Fall den Rückbau der Anlage nach sich ziehen kann (vgl. Jüttemann 2017, S. 13).

Für die Erteilung der Baugenehmigung muss unter anderem nachgewiesen werden, dass die Geräuschentwicklungen am Standort innerhalb der Vorgaben der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) liegen. Nachfolgend sind in Tabelle 3.1 erlaubte Geräuschemissionen dargestellt:

**Tabelle 3.1: Grenzwerte für Gebiete nach der TA Lärm**

	<b>tagsüber</b>	<b>nachts</b>
<b>Industriegebiete</b>	70 dB(A)	70 dB(A)
<b>Gewerbegebiete</b>	65 dB(A)	50 dB(A)
<b>Kern-, Dorf-, Mischgebiete</b>	60 dB(A)	45 dB(A)
<b>Wohn- und Kleinsiedlungsgebiete</b>	55 dB(A)	40 dB(A)
<b>Reine Wohngebiete</b>	50 dB(A)	35 dB(A)
<b>Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten</b>	45 dB(A)	35 dB(A)

Das Gebiet rund um das Hochhaus der Hochschule Darmstadt in der Schöffersstraße fällt unter den Abschnitt der Kern-, Dorf- und Mischgebiete. Laut der Tabelle 3.1 ist in solchen Gebieten tagsüber ein Lärmpegel von maximal 60 dB(A) und nachts ein Lärmpegel von höchstens 45 dB(A) zulässig. Nach Herstellerangaben überschreitet das Modell Aeolos-V 5 kW selbst bei hohen Windgeschwindigkeiten einen Lärmpegel von 45 dB(A) nicht (siehe Anhang 1). Eine schallreduzierte Abregelung auf eine bestimmte Drehzahl und damit einhergehende Ertragsverluste sind dadurch obsolet. Herr Reinhardt vom Bauaufsichtsamt in Darmstadt empfiehlt trotzdem eine Schallmessung durch einen unbeteiligten Sachverständigen durchführen zu lassen. Die Kosten für eine solche Messung belaufen sich auf etwa 450 €.

Weitere immissionsrelevante Effekte sind optische Auswirkungen. Darunter fallen das homogene Einfügen in das jeweilige Baugebiet sowie Schattenschlag und etwaige Diskoeffekte. Die geringe Anlagenhöhe der Mini-WKA von etwa 6,5 Metern im Vergleich zum Hochhaus mit einer Höhe von 66,39 Metern bedeutet eine räumlich-gegenständliche Unterordnung. Dies bedeutet, dass die Anlage die angebrachten Antennen auf dem Dach des Hochhauses nicht allzu weit überragt und sich optisch unterordnet (vgl. Jüttemann 2017, S.14). Es sind deshalb keine optischen Auswirkungen, im immissionsrechtlichen Sinn, durch den Bau der Windkraftanlage zu befürchten. In einigen Kommunen gibt es städtische Satzungen, die einen Bau in die Höhe an bestimmten Standorten verbietet. Allerdings hat die Rückfrage bei dem zuständigen Städteplanungsamt Darmstadt ergeben, dass die Bebauung des Hochhauses gestattet ist.

Unter immissionsrelevante Effekte fallen u.a. Schattenschlag und Diskoeffekte. Als Schattenschlag bezeichnet man einen sich bewegenden Schatten, der durch die Drehbewegung der Rotorblätter, vor allem bei tief stehender Sonne, entstehen kann. Da Vertikalachser keinen Schattenschlag verursachen, wird es keine negativen optischen Auswirkungen auf das Baugebiet geben (vgl. Kapitel 3.2). Durch die matten und mit reflexionsarmer Farbe beschichteten Rotorblätter wird es darüber hinaus auch nicht zu sogenannten Diskoeffekten, die durch Lichtreflexionen an den sich drehenden Rotorblättern entstehen, kommen.

Besonderer Beachtung gilt bei der Installation der Kleinwindanlage auf dem Hochhaus der Statik. Neben dem Gewicht der Turbine, die bei dem ausgewählten Modell 500 kg beträgt, wird die Statik des Daches zusätzlich durch die Auf-

ständerung und den laufenden Betrieb der Anlage belastet. Bei einer 5 kW Anlage ist von einer Belastung des Daches von bis zu zwei Tonnen auszugehen. Ein professionelles Statik-Gutachten ist bei einer solchen Belastung unumgänglich. Hierbei muss nicht nur geprüft werden, ob das Gebäude, selbst unter starken Sturmbedingungen, das Gewicht der Kleinwindanlage tragen kann, sondern auch, ob störende Vibrationen durch die Bewegung der Rotorblätter verursacht werden, die zu lauten Resonanzen im Gebäude-Innenkörper führen können.

*Anmerkung: Zahlreiche Telefonate mit verschiedenen Institutionen und „Experten“ haben ergeben, dass eine allgemein gültige Aussage, ob ein Gebäude für die Installation einer Mini-WKA geeignet ist oder nicht, nicht möglich ist. Da es aber bereits an diversen Standorten vergleichbare Kleinwindkraftanlagen auf Hochhäusern gibt, wird davon ausgegangen, dass das Hochhaus die Last tragen kann.*

Laut Herrn Reinhardt vom Bauamt Darmstadt ist mit Kosten von 12.000 € für das Statik-Gutachten zu rechnen. Hindernisse wie Beeinträchtigungen von heimischen Vogelarten sind nicht zu beachten. Im letzten Schritt erfolgt die Prüfung der Gutachten sowie das Erteilen der Baugenehmigung durch das Bauaufsichtsamt der Stadt. Das Ausstellen der Baugenehmigung wird von Herrn Reinhardt mit 300 € angesetzt.

## **4. Wirtschaftliche Bewertung des Projektes**

Das Projekt soll für die Hauptakteure nicht nur unter ökologischen Gesichtspunkten von Vorteil sein, sondern auch ökonomisch erfolgreich sein. Im folgenden Kapitel wird das Projekt auf Grundlage der Informationen aus der Projektplanung wirtschaftlich bewertet. Zunächst werden in Kapitel 4.1 die Kosten des Projektes aufgeführt. Demgegenüber wird in Kapitel 4.2 auf die Einnahmen des Projektes eingegangen. Die Finanzierung des Projektes wird in Kapitel 4.3 erläutert. Abschließend erfolgt in 4.4 die Berechnung des Kapitalwertes des Projektes.

### **4.1 Kostenstruktur der Mini-WKA**

Die Kostenstruktur einer Kleinwindkraftanlage setzt sich aus den Kosten, die bis zur Realisierung der Anlage entstehen und Kosten, die während des Betriebes der Kleinwindkraftanlage anfallen, zusammen. Die Investitionskosten werden in

Kapitel 4.1.1 dargestellt. Auf die betriebs- und finanzierungsgebundenen Kosten wird in Kapitel 0 näher eingegangen.

#### 4.1.1 Investitionskosten

Zu den Investitionskosten zählen alle Kosten, die bis zur Inbetriebnahme der Kleinwindkraftanlage anfallen. Hierzu zählen für dieses Projekt:

- Anschaffungskosten der Aeolos-V 5kW inklusive Transportkosten, Mast, Wechselrichter, Steuerung und Sensorik
- Planungs-, Projektierungs- und Genehmigungskosten einschließlich der Kosten für notwendige Gutachten
- Standorterschließungs- und Fertigstellungskosten

Tabelle 4.1: Investitionskosten der Mini-WKA

Investitionskosten	Wert in USD	Wert in Euro	Angesetzter Wert	Quelle
<b>Anschaffungskosten</b>				
Aeolos-V 5kW Windkraftanlage	9.800,00 \$	8.624,00 €	0,88 \$/€ (Kursdatum: 13.12.18,15 Uhr)	Anhang 2
Steuerung und Sensorik	2.380,00 \$	2.094,40 €		
Wechselrichter	1.880,00 \$	1.654,40 €		
3 Meter Mast	1.000,00 \$	880,00 €		
Transportkosten nach Hamburg	640,00 \$	563,20 €		
Transportkosten nach Darmstadt		774,00 €	Entfernung: 516 km, Kosten: 1,50 €/km	Elbtainer Trading GmbH 2019
<b>Summe</b>		<b>14.590,00 €</b>		
<b>Planungs-, Projektierungs- und Genehmigungskosten</b>				
Projektierung		7.500,00 €		
Statik-Gutachten		12.000,00 €		Kapitel 3.3
Schallmessung		450,00 €		
Ausstellen der Baugenehmigung		300,00 €		
<b>Summe</b>		<b>20.250,00 €</b>		
<b>Kosten der Standorterschließung und Fertigstellung</b>				
Montage und Inbetriebnahme		5.050,00 €		Schelmer und Denk 2014, S. 67
Netzanschluss		0 €		
Kosten für den Kran		3.043,43 €		Anhang 3
<b>Summe</b>		<b>8.093,43 €</b>		
<b>Investitionskosten Gesamt</b>				
<b>Summe</b>				<b>42.933,43 €</b>

Die Tabelle 4.1 zeigt eine Aufstellung aller für das Projekt relevanten Investitionskosten. Den Anschaffungskosten werden laut dem Angebot der Firma *Aeolos wind turbine* (siehe Anhang 2) zusätzlich Transportkosten für den Transport von Hamburg nach Darmstadt hinzugefügt. Insgesamt ergeben sich dadurch Anschaffungskosten in Höhe von 14.590,00 €. Die Planungs-, Projektierungs- und Genehmigungskosten setzen sich aus den in Kapitel 3.3 ermittelten Kosten zuzüglich der für die Projektierung angesetzten Kosten zusammen und betragen insgesamt 20.250,00 €. Die Kosten für die Standorterschließung und Fertigstellungskosten betragen 8.093,43 €. In der Montage und Inbetriebnahme ist der Anschluss der Anlage an das Hausnetz des Hochhauses mit inbegriffen. Die Kosten orientieren sich am Durchschnittswert vergleichbarer Anlagen in der genannten Quelle. Die Kosten für den Netzanschluss entfallen, da aufgrund des vollkommenen Eigenverbrauchs keine Einspeisung in das öffentliche Netz erfolgt (siehe Kapitel 4.2.2).

Insgesamt ergeben sich für das Projekt Investitionskosten in Höhe von 42.933,43 €.

#### **4.1.2 Betriebs- und finanzierungsgebundene Kosten**

Über die Betriebsdauer von 20 Jahren fallen jährliche Kosten in Form von betriebs- und finanzierungsgebundenen Kosten an. Diese sind in der Tabelle 4.2 aufgeführt. Die Betriebskosten setzen sich in diesem Fall aus den Wartungs- und Reparaturkosten sowie den Kosten für die Versicherung der Anlage, den Rückstellungen und der Marge der Projektgesellschaft zusammen. Vereinfachend wird angenommen, dass das vorhandene Energiemanagement der Hochschule Darmstadt die Betriebsführung und das Monitoring der Anlage übernimmt, weshalb an dieser Stelle die jährlichen Kosten hierfür entfallen. Die Wartungs- und Reparaturkosten werden jährlich mit 0,8 Prozent der Anschaffungskosten angesetzt. Bei Anschaffungskosten von weniger als 25.000 € beträgt die Versicherungsprämie 70 € jährlich. Die Versicherung umfasst Sachschäden an der Mini-WKA und Peripherie, eine Betreiberhaftpflicht- und Elektronikversicherung sowie eine Versicherung bei einem Ertragsausfall. Der Ertragsausfall wird mit einem Pauschalbetrag pro Tag vergütet. Kosten für die Flächenpacht entstehen nicht, da sich das Dach im Besitz der Hochschule Darmstadt befindet. Für den Rückbau der Anlage werden jährlich Rückstellungen in Höhe von 50 € gebildet.

**Tabelle 4.2: Betriebs- und finanzierungsgebundene Kosten der Mini-WKA pro Jahr**

Betriebs- und finanzierungsgebundene Kosten	Wert in Euro	Angesetzter Wert	Quelle
<b>Betriebskosten</b>			
Jährliche Wartungs- und Reparaturkosten	116,72 €	0,8 % p.a. der Anschaffungskosten	C.A.R.M.E.N. e.V. 2015, S. 39
Jährliche Versicherungsprämie	70,00 €		HTW Berlin und Twele 2013, S. 81
Rückstellungen	50,00 €		Festlegung
Marge CampusWind GbR	221,24 €	8,0 % der Erlöse	siehe Kapitel 4.3.3
<b>Summe</b>	<b>457,96 €</b>		
<b>Finanzierungsgebundene Kosten</b>			
Fremdkapitalzinsen	siehe Anhang 5	2,27 % vom Restwert zum jeweiligen Zeitpunkt	siehe Kapitel 4.3.2
Eigenkapitalzinsen	369,33 €	5,0 % vom Eigenkapital	siehe Kapitel 4.3.2

Die jährliche Marge der Projektgesellschaft ist ein prozentualer Anteil der erzielten Erlöse, also der monetäre Vorteil, der sich aus dem Eigenverbrauch ergibt. Bei Windparks sind bis zu 13 Prozent (vgl. Hooß, Vorlesungsunterlagen zum Modul Projektentwicklung, Bewertung und Finanzierung) üblich. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit des Projekts wird dies nicht ausgereizt und stattdessen 8 Prozent angesetzt. Dies ergibt eine jährliche Marge von 221,24 €. Die finanzierungsgebundenen Kosten ergeben sich aus den Fremd- und Eigenkapitalzinsen. Auf die angesetzten Werte der finanzierungsgebundenen Kosten wird in Kapitel 4.3.2 eingegangen.

## 4.2 Erlösstruktur der Mini-WKA

Die Erlösstruktur durch die Stromproduktion einer Mini-WKA ergibt sich aus Einnahmen durch die Einspeisung in das öffentliche Netz in Form von einer EEG-Einspeisevergütung oder durch die Ersparnis der Strombezugskosten bei Eigenverbrauch des erzeugten Stroms. Die Einspeisevergütung nach dem EEG 2017 wird in Kapitel 4.2.1 näher erläutert. Demgegenüber erfolgt in Kapitel 4.2.2 die Ermittlung der Eigenverbrauchsquote.

### 4.2.1 Einspeisevergütung nach dem EEG 2017

Wie auch der Strom aus Photovoltaik-Anlagen, wird der Strom aus Kleinwindkraftanlagen mit einem Anschluss- und Einspeisevorrang in das Netz der allgemeinen Versorgung gemäß § 8 und § 11 des Erneuerbaren-Energie-Gesetz 2017 (EEG 2017) angeschlossen. Bei der Einspeisung des produzierten Stroms der Mini-WKA in das öffentliche Stromnetz erhält der Anlagenbetreiber eine Einspeisevergütung nach dem EEG 2017. Hierbei wird je nach installierter Leistung der Anlage zwischen Groß- und Kleinwindkraftanlagen unterschieden. Nach § 46b Absatz 1 EEG 2017 berechnet sich die Vergütungshöhe für Strom aus Windenergieanlagen an Land, die ab 2019 in Betrieb genommen worden sind und nicht an Ausschreibungen teilnehmen müssen, aus den Zuschlagswerten vorangegangener Ausschreibungen. Dazu zählen Kleinanlagen mit einer installierten Leistung bis zu 750 kW und Pilotanlagen. Der Zuschlagswert für das Jahr 2019 für einen 100 %-Referenzstandort ergibt sich aus dem Durchschnitt der jeweils höchsten bezuschlagten Gebote aus dem Jahr 2017. Der Vergütungssatz für das Jahr 2019 liegt damit bei 4,63 Cent pro Kilowattstunde.

Laut § 46 Absatz 4 EEG 17 wird bei Anlagen mit einer installierten Leistung bis einschließlich 50 kW für die Berechnung des anzulegenden Wertes ein Gütefaktor von 70 Prozent angenommen. Nach § 36h Absatz 1 EEG 17 beträgt der Korrekturfaktor 1,29 bei einem Gütefaktor von 70 Prozent.

Der anzulegende Wert für die zu projektierende Anlage berechnet sich wie folgt:

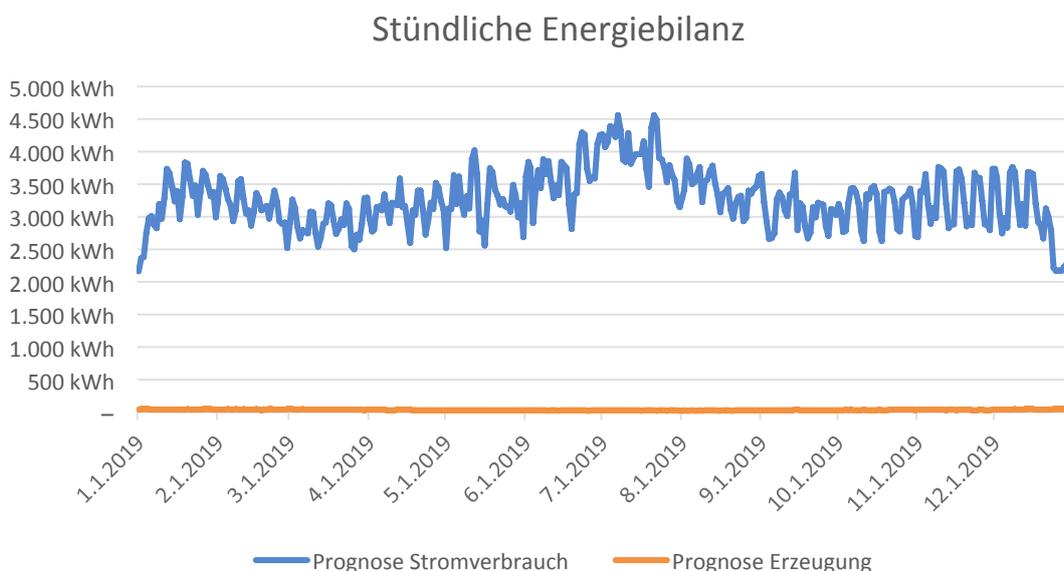
$$\text{Anzulegender Wert} \left[ \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right] = \text{Korrekturfaktor} \times \text{Referenzertrag} \left[ \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right]$$
$$5,97 \left[ \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right] = 1,29 \times 4,63 \left[ \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right]$$

Aufgrund der geringen Einspeisevergütung von 5,97 Cent pro Kilowattstunde, ist die Netzeinspeisung von Strom aus Kleinwindkraftanlagen wirtschaftlich nicht sinnvoll. Vielmehr sollte der erzeugte Strom für den Eigenverbrauch genutzt werden, um den teureren Netzbezug zu vermeiden. Laut Herrn Schulmeyer, dem Energiemanagement-Beauftragten der Hochschule Darmstadt, zahlte die Hochschule 2015 für ihren Strom 18,00 Cent pro Kilowattstunde. Seit 2015 sind die Endkundenstrompreise um 5,9 Prozent gestiegen, sodass von

einem aktuellen Strombezugspreis von 19,06 Cent pro Kilowattstunde ausgegangen werden kann (vgl. Heidjann GmbH 2019). Laut § 61a Absatz 4 EEG 2017 wird eine anteilige EEG-Umlage auf den Eigenverbrauch aufgrund der Unterschreitung der Bagatellgrenze von 10 Kilowatt nicht fällig.

#### 4.2.2 Ermittlung der Eigenverbrauchsquote

Aufgrund der geringen Leistung der Kleinwindanlage im Gegensatz zum hohen Verbrauch des Hochhauses ist eine hohe Eigenverbrauchsquote zu erwarten. Dennoch wird exemplarisch eine stündliche Energiebilanz für das Jahr 2019 aus Verbrauchsdaten des Gebäudes und der Erzeugung der Anlage erstellt, um die Eigenverbrauchsquote zu berechnen. Die Energiebilanz gibt Aufschluss darüber, ob und wann Strom ins öffentliche Netz eingespeist und über die EEG-Vergütung vermarktet wird. Hierzu wird aus den vorliegenden Verbräuchen des Hochhauses der letzten Jahre der Verbrauch für 2019 stundengenau prognostiziert. Die Verbrauchsdaten der letzten Jahre lieferte ebenfalls Herr Schulmeyer. Aus den vorliegenden Windgeschwindigkeiten der letzten Jahre (vgl. Meteoblue AG 2018) in Verbindung mit der Leistungskennlinie der Anlage (siehe Anhang 1) wird analog dazu eine Erzeugungszeitreihe auf Stundenbasis prognostiziert. Eine höhere Auflösung ist aufgrund der vorliegenden Datenbasis leider nicht möglich. Beide Zeitreihen werden bilanziert und gegenübergestellt.



**Abbildung 4.1: Verläufe der prognostizierten Verbrauchs- und Erzeugungsleistungen**  
(Eigene Darstellung)

Die Abbildung 4.1 stellt die Verläufe der prognostizierten Verbrauchs- und Erzeugungszeitreihen für das Jahr 2019 dar. Es zeigt sich, dass der Verbrauch zu

jeder Stunde deutlich höher als die Erzeugung liegt. So ergibt sich eine Eigenverbrauchsquote von 100 Prozent. In keiner der Stunden erfolgt eine Netzeinspeisung. Über das Jahr beträgt der minimale stündliche Verbrauch 2.162 kWh, die maximale Erzeugung hingegen nur 52,9 kWh.

Im Anhang 4 sind die Zeitreihen der prognostizierten Erzeugung und des Verbrauchs jeweils als Tagessumme aggregiert aufgeführt.

Die jährlichen Erträge der Anlage in Höhe von 2.765,53 € ergeben sich über die gesamte Laufzeit aus den Einsparungen durch den Eigenverbrauch der gesamten erzeugten Strommenge.

### **4.3 Finanzierung**

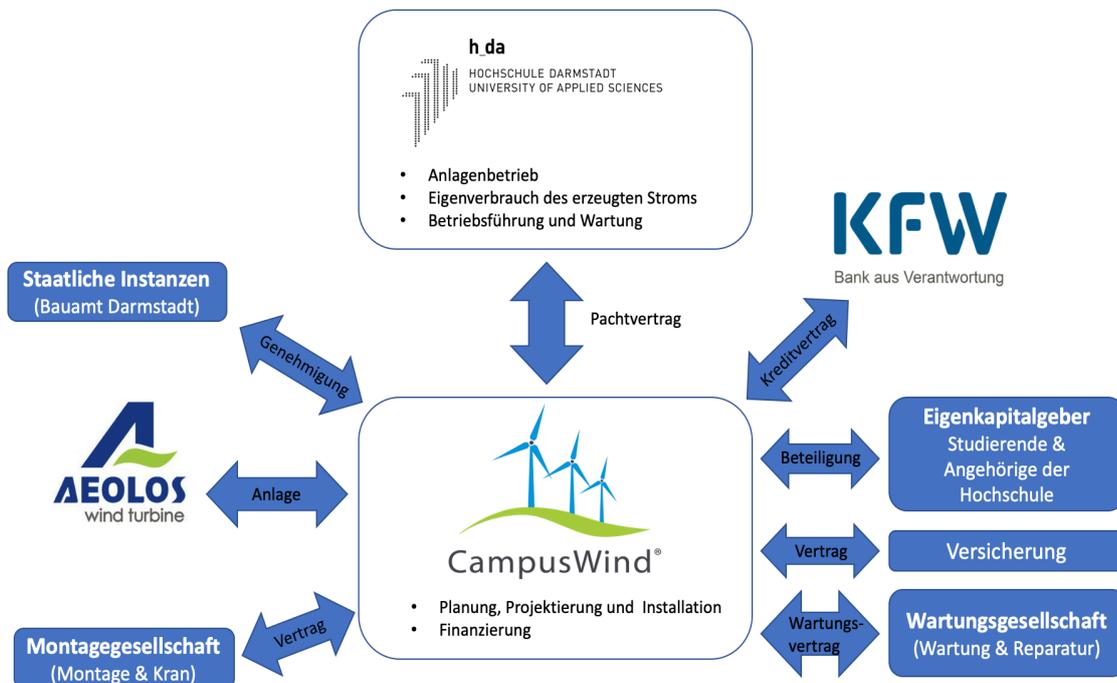
Die Grundlage für die Finanzierung ist die Ermittlung aller Investitionskosten des Projektes, die aus der wirtschaftlichen Bewertung in Kapitel 4.1.1 hervorgehen. Die zentralen Elemente einer Projektfinanzierung setzen sich allerdings nicht nur aus den wirtschaftlichen Komponenten zusammen, sondern auch aus der Ermittlung von möglichen Risiken in Verbindung mit den Projektbeteiligten. Kapitel 4.3.1 gibt Aufschluss über die Risikostruktur des Projektes. Anschließend wird in Kapitel 4.3.2 auf die Projektfinanzierung im Detail eingegangen. Die jährlich von der Hochschule zu zahlende Pacht stellt für das Projekt die Absicherung der Finanzierungsrückzahlungen dar. In Kapitel 4.3.3 wird die Berechnung der zu zahlenden Pacht aufgezeigt.

#### **4.3.1 Risikostruktur**

Eine erfolgreiche Projektdurchführung und -finanzierung bedarf auch immer der Übersicht aller Risiken des Projektes. Dabei verteilen sich die Chancen und Risiken auf die einzelnen Projektbeteiligten. Eine klare Risikostruktur durch die Aufstellung aller Beteiligten des Projektes zeigt die Einflussgrößen des Projektes auf. Die Ausgestaltung der Verträge mit den beteiligten Parteien ist dabei ein entscheidender Risikofaktor und von zentraler Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg des Projektes (vgl. Böttcher 2009, S. 4).

Die Projektstruktur ist in Abbildung 4.2 dargestellt. Die Projektgesellschaft ist Ausgangspunkt des Projektes und verantwortlich für alle rechtlichen und wirtschaftlichen Vorhaben. Als Abnehmer des Projektes ist die Hochschule Darmstadt eng mit der Projektgesellschaft verbunden. Der Pachtvertrag klärt die Details des Pachtmodells (vgl. Kapitel 2.2). Die Hochschule übernimmt nach

Projektierung der Anlage die gesamte Verantwortung der Anlage sowie anfallende Reparaturkosten. Das Risiko eines Ausfalls des Betriebes der Mini-WKA wird dadurch an die Hochschule übertragen. Der abgeschlossene Wartungsvertrag und eine Ertragsausfallversicherung minimieren allerdings das Risiko eines Ertragsausfalls in Folge eines technischen Defektes. Die jährlich an die Projektgesellschaft zu zahlende Pacht deckt sämtliche Kosten des Projektes.



**Abbildung 4.2: Projektstruktur einer Mini-WKA**  
(Eigene Darstellung in Anlehnung an Böttcher 2009, S. 5)

Bevor die Anlage überhaupt projektiert werden kann, muss durch das Bauamt in Darmstadt zunächst eine Genehmigung eingeholt werden. Diese Genehmigung beinhaltet die Durchführung eines Gutachtens zur Statik des Gebäudes und zur Schallmessung (vgl. Kapitel 3.3). Hier verbirgt sich das wohl größte Risiko des Projektes. Bei einem negativen Ergebnis wird keine Genehmigung durch das Bauamt erteilt, die Projektgesellschaft muss nichtsdestotrotz die Kosten für die Erstellung der Gutachten tragen.

Die Projektgesellschaft ist mit dem Anlagenlieferanten Aeolos Windenergie GmbH durch einen Kaufvertrag verbunden. Die Ausgestaltung der Vertragsbeziehung verpflichtet die Projektgesellschaft 30 Prozent der Anschaffungskosten laut dem Angebot des Anlagenlieferanten nach Auftragseingang zu entrichten (siehe Anhang 2). Die restlichen 70 Prozent der Anschaffungskosten sind vor Lieferung fällig. Der Anlagenlieferant rechnet mit einer Produktionszeit von ca. 20 Werktagen und einer Versandzeit von ca. 29 Werktagen. Mit dem Kaufver-

trag gewährt die Aeolos Windenergie GmbH eine Garantie von 5 Jahren. Diese Standardgarantie greift bei ordnungsgemäßem Gebrauch bei Konstruktions-, Material- und Verarbeitungsfehlern der Windturbinen, Steuerungen und Türme (siehe Anhang 2). Eine Klausel, die im Fall einer verspäteten Lieferung eine Entschädigungszahlung garantiert, sollte zusätzlich in den Kaufvertrag aufgenommen werden. Das Risiko einer möglichen Zahlungsunfähigkeit und einer daraus resultierenden Lieferungsunfähigkeit des Anlagenlieferanten trägt die Projektgesellschaft.

Die Montagegesellschaft und die Firma, die den Kran zur Verfügung stellt, kommen aus der näheren Umgebung von Darmstadt. Sie werden erst nach Versand der Anlage beauftragt und nach getaner Arbeit entlohnt, weshalb hier nur ein geringes finanzielles Risiko besteht.

Die Eigenkapitalgeber in Form von Studierenden oder Angehörigen der Hochschule Darmstadt sind mit einem geringen Teil an der Finanzierung des Projektes beteiligt. Da sich das Projekt auch als Innovationsvorhaben und fachbereichsübergreifender Wissensaustausch versteht, investieren die Eigenkapitalgeber nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen. Lerneffekte und die Teilnahme an der Energiewende spielen hier ebenfalls eine große Rolle. Die Verzinsung des Eigenkapitals sollte deshalb nicht ausschlaggebend für eine Investition in das Projekt sein.

Die Fremdkapitalgeber leisten den größten Teil bei der Finanzierung des Projektes. Sie haben ein starkes Interesse daran, dass das Projekt erfolgreich umgesetzt wird. Durch die gewählte Rechtsform der GbR haften die Gesellschafter bei einer Nichtrealisierung des Projektes in vollem Umfang mit ihrem privaten Vermögen. Die Fremdkapitalgeber können sich durch die Analyse der wirtschaftlichen Bewertung des Projektes gegen mögliche Risiken absichern.

#### **4.3.2 Projektfinanzierung**

Im Gegensatz zur klassischen Unternehmensfinanzierung orientieren sich Kapitalgeber eines Projektes an den jährlich generierten Cashflows des Projektes. Die Investoren erwarten ein in sich wirtschaftliches und rechtlich tragfähiges Vorhaben, das die Aussicht auf eine adäquate Eigenkapitalverzinsung und den Fremdkapitalgebern hinreichende Sicherheiten auf Rückzahlung des finanzierten Kapitals bietet (vgl. Böttcher 2009, S. 1). Unwesentlich ist dabei die Bonität

der einzelnen Gesellschafter der CampusWind GbR. Entscheidend für die Projektfinanzierung sind deshalb ausschließlich der finanzielle Überschuss des Projektes und dessen Risikostruktur (vgl. Kapitel 4.3.1).

Anhand der berechneten Investitionssumme aus Kapitel 4.1.1 kann die Höhe der Finanzierung bestimmt werden. Die Finanzierung des Projektes setzt sich aus Eigenkapital und Fremdkapital zusammen. Die Finanzierungsstruktur des Projektes ist in Tabelle 4.3 aufgeführt. Da das Projekt im Rahmen einer Vorlesung entstanden ist, ist von den Gesellschaftern keine Eigenkapitalbeteiligung zu erwarten. Vielmehr sollen sich 20 Prozent des zu finanzierenden Kapitals aus Studierendenbeteiligungen oder Beteiligungen von Angehörigen der Hochschule zusammensetzen. Das benötigte Eigenkapital liegt bei 8.586,69 €. Durch den Vergleich mit ähnlichen Investitionsprojekten und Rücksprache mit der *bettervest GmbH* wird für das Projekt ein Eigenkapitalzinssatz von 5 Prozent festgelegt. Die Eigenkapitalgeber erhalten nicht nur eine marktübliche Rendite, sondern investieren auch in ein regionales, nachhaltiges Projekt. Zusätzlich können die Studierenden aktiv an der Umsetzung des Projektes teilnehmen.

**Tabelle 4.3: Projektfinanzierungsstruktur**

Fremdkapital		Eigenkapital	
Fremdkapitalquote	80 %	Eigenkapitalquote	20 %
Fremdkapital	34.346,74 €	Eigenkapital	8.586,69 €
Kreditbetrag	34.350,00 €	EK-Zinssatz	5,0 %
Laufzeit in a	20		
Annuität p.a.	2.304,59 €		
Sollzinssatz	2,95 %		
Effektiver Zinssatz p.a.	2,98 %		
Zinsturnus	jährlich		
Tilgungsturnus	jährlich		

Die restlichen 80 Prozent des zu finanzierenden Kapitals werden durch Fremdkapital finanziert. Ausgewählt wurde hierfür das Standard-Förderprogramm „Erneuerbare Energie 270“ der KfW zur Finanzierung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (vgl. KfW 2018). Die Bonität der CampusWind GbR wurde durch die Neugründung und die einschlägigen Risikofaktoren des

Projektes als niedrig eingestuft. Daraus ergibt sich für das Projekt die Preisklasse D des KfW-Kredites. Die Preisklassen ordnen dem Kredit den notwendigen Fremdkapitalzinssatz zu. Bei einer Laufzeit von 20 Jahren und einer 10-jährigen Zinsbindung beträgt der Sollzinssatz 2,95 Prozent. Die effektive Fremdkapitalverzinsung liegt bei 2,98 Prozent (vgl. KfW 2019). Das benötigte Fremdkapital beträgt 34.346,74 €. Aufgerundet soll ein Darlehen in Höhe von 34.350,00 € aufgenommen werden.

Das Darlehen soll in Form eines Annuitätendarlehens beglichen werden. Bei einer Darlehenssumme von 34.350,00 € und einer Laufzeit von 20 Jahren ergibt sich eine jährliche Annuität von 2.304,59 €. Im Anhang 5 ist der Finanzierungsplan des Darlehens dargestellt, welcher Aufschluss über die jährliche Tilgungs- und Zinsbelastung der CampusWind GbR gibt.

### **4.3.3 Berechnung der Pacht**

Die von der Hochschule jährlich zu zahlende Pacht soll die Kosten des Projektes tragen. Diese ergibt sich aus den Investitionskosten des Projektes und den periodischen Kosten, die die CampusWind GbR für das Projekt zu zahlen hat. Die laufenden Kosten ergeben sich aus der Summe der Betriebskosten zuzüglich einer Marge, um das unternehmerische Risiko auszugleichen und der finanzierungsgebundenen Kosten. Um alle Kosten des Projektes decken zu können, müsste die Hochschule eine Pacht in Höhe von 3.621,22 € pro Jahr an die CampusWind GbR für die Anlage zahlen.

## **4.4 Ermittlung des Kapitalwerts**

Das geplante Projekt wird im folgenden Abschnitt mit Hilfe der Kapitalwertmethode wirtschaftlich bewertet. Die Kapitalwertmethode ist ein dynamisches Investitionsrechnungsverfahren, bei dem die einzelnen Zahlungsströme in Abhängigkeit von ihrem Zeitfaktor mit dem gewichteten durchschnittlichen Kapitalkostensatz WACC diskontiert werden. Der WACC beträgt bei gegebener Finanzierungsstruktur 3,38 Prozent. Für die Kapitalwertermittlung werden die Investitionskosten aus Kapitel 4.1.1 sowie die periodischen Auszahlungen aus Kapitel 4.1.2 und Einsparungen aus Kapitel 4.2 und benötigt. Die Barwerte repräsentieren dabei den Wert, den zukünftige Zahlungen in der Gegenwart besitzen (vgl. Kruschwitz und Husmann 2012, S. 6). Der Hersteller garantiert eine Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren, weshalb die Nutzungsdauer für die

Wirtschaftlichkeitsberechnung ebenfalls mit 20 Jahren angesetzt wird (siehe Anhang 1). Die über die gesamte Laufzeit des Projekts aufsummierten Barwerte ergeben den Kapitalwert. Der Kapitalwert für das Projekt beträgt minus 25.175,13 €. In Anhang 6 sind die Details der Kapitalwertberechnung tabellarisch über die gesamte Projektlaufzeit dargestellt.

Das Projekt ist damit unter den getroffenen Annahmen nicht wirtschaftlich. Um den Kapitalwert positiv zu beeinflussen, sollten die Investitions- und Finanzierungskosten gesenkt werden. Insbesondere beim Anlagenpreis sollte nachverhandelt werden. Das Statik-Gutachten kann gegebenenfalls über Studierende der Hochschule erstellt werden. Weiterhin können Zuschüsse und Förderungen für die energetische Sanierung beim Bund, Land Hessen oder der Europäischen Union beantragt werden. Ein geeignetes Förderprogramm existiert nach Aussage der Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen momentan nicht, was sich in Zukunft jedoch ändern kann und daher berücksichtigt werden sollte. Die Höhe der Einsparung wurde auf Grundlage eines konstanten Strombezugspreises berechnet. Sollte dieser, wie in der Vergangenheit weiter ansteigen, erhöhen sich die Einsparungen und gleichzeitig auch der Kapitalwert des Projektes.

Mit Hilfe der entwickelten und elektronisch zur Verfügung gestellten Excel-Datei in Anhang 7 kann die Kapitalwertberechnung auch für geänderte Rahmenbedingungen unkompliziert durchgeführt werden.

## **5. Fazit**

Auf den vorherigen Seiten wurde dargelegt, wie das Vorhaben, eine Mini-WKA auf das Hochhaus der Hochschule Darmstadt zu projektieren, umzusetzen ist. Es wurde herausgearbeitet, dass die Anlage idealerweise 5 kW Leistung haben und ein Vertikalachser sein, am südwestlichsten Punkt des Daches aufgestellt und der produzierte Strom vollständig zum Eigenverbrauch genutzt werden sollte. Im Rahmen eines Pachtmodells projiziert die CampusWind GbR das Projekt und verpachtet die Anlage an die Hochschule Darmstadt. Durch kostspielige Gutachten sind die Investitionskosten allerdings zu hoch, als dass sich ein positiver Kapitalwert und somit eine, zumindest aus finanzieller Sicht, lohnende Investition ergeben könnte.

Dennoch hat dieses Projekt große Chancen, sich als profitabel für die Hochschule Darmstadt herauszustellen. Die Durchführung des Baus hätte nicht nur

eine große Strahlkraft in der gesamten deutschen Hochschullandschaft, sondern zöge eine große Publicity in Tageszeitungen und ein großes Renommee nach sich. Bei Studieninteressierten kann das Argument einer eigenen Mini-WKA den Ausschlag bei der Wahl der Hochschule hin zu Darmstadt bedeuten, was zu einer Mehrzahl an Bewerbern und Studierenden führen sowie die Attraktivität des Standorts Darmstadt erhöhen würde. Zusätzlich bestärkt die Beteiligung an der Mini-WKA die Identifikation der Studierenden mit der Hochschule. Darüber hinaus ergeben sich für die Lehre vielfältige Möglichkeiten. Den Studierenden kann nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis die Funktionsweise von Windkraftanlagen – und allen weiteren zu erbringenden Voraussetzungen, die bis zur endgültigen Fertigstellung erbracht werden müssen – nähergebracht werden. Im Rahmen eines Semesterprojektes des Fachbereichs Bauingenieurwesen könnten unter der Leitung eines Professors die notwendigen Gutachten erstellt und nicht, wie in der Projektplanung aufgeführt, ein externes Gutachten angefordert werden. Dadurch wäre eine Verbesserung des Kapitalwertes möglich und das Projekt fast wirtschaftlich.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Durchführung des Projektes nicht ausschließlich von der Wirtschaftlichkeit abhängig gemacht werden sollte. Die Umsetzung solcher innovativen Vorhaben kann durch die fachbereichsübergreifende Zusammenarbeit, nicht nur das Image der Hochschule, sondern auch den Praxisbezug der Studierenden fördern. Eine technische und logistische Umsetzung des Vorhabens ist nach Senkung des Kapitalwertes durch die oben genannten Möglichkeiten zu empfehlen.

## Literaturverzeichnis

- Böttcher, Jörg (2009):** *Finanzierung von Erneuerbare-Energien-Vorhaben*, München: Oldenbourg Verlag.
- C.A.R.M.E.N. e.V. - Centrales-Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk (2015):** Kleinwindkraftanlagen. Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen. Online unter: <https://www.carmen-ev.de/files/informationen/Broschüren/Kleinwindkraftanlagen.pdf>, zuletzt geprüft am 17.12.2018.
- HTW Berlin; Twele, Jochen (2013):** Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum. Ein Leitfaden. Online unter [http://www.aee-now.at/cms/fileadmin/downloads/allgemein/Kleinwind/Kleinwind\\_Handlungsempfehlungen\\_HTW-Berlin.pdf](http://www.aee-now.at/cms/fileadmin/downloads/allgemein/Kleinwind/Kleinwind_Handlungsempfehlungen_HTW-Berlin.pdf), zuletzt geprüft am 07.01.2019.
- Jüttemann, Patrick (2017):** Wegweiser Kleinwindkraft. Online unter <http://energiewende-egersberg.de/Down.asp?Name={URANCBGWEN-4222013124120-YRZOSFHDDA}.pdf>, zuletzt geprüft am 10.01.2019.
- KFW (2018):** Merkblatt Erneuerbare Energien. KFW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“. Online unter [https://www.kfw.de/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000000178-Merkblatt-270-274.pdf](https://www.kfw.de/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000000178-Merkblatt-270-274.pdf), zuletzt geprüft am 10.01.2019
- Kruschwitz, Lutz; Husmann, Sven (2012):** *Finanzierung und Investition*, 7. Auflage, Berlin: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Schelmer, Ramona; Denk, Petra (2014):** *Vertikale Kleinwindanlagen in Bayern – Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse*, Wiesbaden: Springer Gabler.
- Verbraucherzentrale NRW e.V. (2017):** Pachtmodelle für Photovoltaikanlagen. Online unter <https://www.verbraucherzentrale.nrw/sites/default/files/2017-12/Solaranlagen-pachten.pdf>, zuletzt geprüft am 12.01.2019
- Wöhe, Günther; Döring, Ulrich (2010):** *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 24. Auflage, München: Vahlen.

## Quellenverzeichnis

**Aeolos Windenergie GmbH (2018):** Aeolos-V 5kW Vertikal Windrad. Online unter <http://www.windturbinestar.com/vertikal-windrad.html>, zuletzt geprüft am 14.12.2018.

**Elbtainer Trading GmbH (2019):** Container Transport - Möglichkeiten & Überblick. Online unter <https://www.containerbasis.de/container-transport/>, zuletzt geprüft am 09.01.2019.

**Heidjann GmbH (2019):** Strompreise in Deutschland - 2002 bis 2019. Online unter <https://www.stromauskunft.de/strompreise/strompreisentwicklung/>, zuletzt geprüft am 09.01.2019.

**KFW (2019):** Konditionsübersicht für Endkreditnehmer. Online unter <https://www.kfw-formularsamm-lung.de/KonditionenanzeigerINet/KonditionenAnzeiger?ProgrammNameNr=270>, zuletzt geprüft am 10.01.2019.

**Meteoblue AG (2018):** history+. Online unter <https://www.meteoblue.com/en/historyplus>, zuletzt geprüft am 17.12.2018.

## Quellen des Rechts

**BGB** Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 12. Juli 2018 (BGBl. I S. 1151) geändert worden ist.

**BImSchG** Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist

**HBO** Hessische Bauordnung vom 28. Mai 2018 (GVBl. S. 198).

**EEG 2017** Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2532) geändert worden ist.

**TA Lärm** Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm -

TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503). Geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5).

**UVPG** Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. September 2017 (BGBl. I S. 3370) geändert worden ist.

## Anhang

Anhang 1: PDF-Datei „Broschüre_Aeolos-V 5kW“ .....	29
Anhang 2: PDF-Datei "Angebot_Aeolos-V 5kW" .....	35
Anhang 3: PDF-Datei "Angebot_Kran_BKL" .....	40
Anhang 4: PDF-Datei "Energiebilanz täglich" .....	44
Anhang 5: PDF-Datei "Finanzierungsplan_KfW-Kredit" .....	50
Anhang 6: PDF-Datei " Kapitalwertberechnung" .....	53
Anhang 7: Excel-Datei "Wirtschaftlichkeitsberechnung" .....	57

### **Anhang 1: PDF-Datei „Broschüre\_Aeolos-V 5kW“**

Die beigefügte Broschüre enthält die notwendigen Daten der im Projekt vorgestellten Anlage Aeolos-V 5kW.

**Anhang 2: PDF-Datei "Angebot\_Aeolos-V 5kW"**

Das angehängte Angebot der Firma *Aerolos wind turbine* beinhaltet eine Preisaufstellung der Mini-WKA inkl. Zubehör und Transport des Modells Aeolos-V 5kW.

### **Anhang 3: PDF-Datei "Angebot\_Kran\_BKL"**

Das Angebot der Firma *BKL Baukran Logistik GmbH* beinhaltet eine Preisaufstellung der Kosten für die Vermietung eines geeigneten Krans zur Installation der Mini-WKA auf dem Dach des Hochhauses. Dafür wurden fünf Arbeitsstunden veranschlagt.

#### **Anhang 4: PDF-Datei "Energiebilanz täglich"**

Die Datei enthält die Kapitel 4.2.2 erläuterten Zeitreihen des prognostizierten Verbrauchs, der Erzeugung und deren Differenz. Die Zeitreihen dienen zur Ermittlung der Eigenverbrauchsquote.

## **Anhang 5: PDF-Datei "Finanzierungsplan\_KfW-Kredit"**

Der Finanzierungsplan stellt den Restwert, die Tilgung und die Zinsbelastung für den aufgenommenen KfW-Kredit für die gesamte Laufzeit dar.

## **Anhang 6: PDF-Datei " Kapitalwertberechnung"**

In der Kapitalwertberechnung ist die tabellarische Auflistung aller Erträge, Aufwendungen, der Ergebnisse und Barwerte über die gesamte Laufzeit des Projekts dargestellt. Ganz unten befindet sich der berechnete Kapitalwert.

## **Anhang 7: Excel-Datei "Wirtschaftlichkeitsberechnung"**

Die Excel-Datei beinhaltet nähere Informationen zu den in Kapitel 4 genannten Berechnungen.