

FACHARBEIT

Im Seminarfach C

**Thema: Kleinwindkraftanlagen zur Stromerzeugung in
Einfamilienhäusern**

Verfasserin: Birte Grumpelt _____
Unterschrift der Schülerin/des Schülers

Kursleiter: Herr Dr. Wolfgang Kruse

Ausgabetermin: 06.02.2015

Abgabetermin: 23.03.2015

Note: _____

Punktzahl: _____

Kursleiter

1.	Einleitung	4
2.	Aufbau einer Kleinwindkraftanlage	4
	2.1. Fundament und Turm	5
	2.2. Maschinengondel	5
	2.3. Rotor	5
	2.3.1. Herstellung des Rotors	5
	2.3.2. Art des Rotors	5
	2.3.2.1. Rotor einer Kleinwindkraftanlage mit horizontaler Achse	5
	2.3.2.1.1. Leeläufer	6
	2.3.2.1.2. Luvläufer	6
	2.3.2.2. Rotor einer Kleinwindkraftanlage mit vertikaler Achse	6
	2.3.2.2.1. H-Darrieus-Rotor einer Kleinwindkraftanlage	6
	2.3.2.2.2. Darrieus-Rotor einer Kleinwindkraftanlage	6
	2.3.2.2.3. Savonius-Rotor einer Kleinwindkraftanlage	7
3.	Auswahl des richtigen Standortes für eine Kleinwindkraftanlage	7
4.	Messungen zur richtigen Windgeschwindigkeit für einen Kleinwindkraftanlage	8
	4.1. Auswertung der Windmessdaten	8
5.	Ermittlung des eigenen Energiebedarfes um eine Kleinwindkraftanlage wirtschaftlicher nutzen zu können	9
	5.1. Die Einspeisevergütung für Strom aus Kleinwindkraftanlagen ins öffentliche Stromnetz nach dem EEG 2012	9
	5.2. Grundsätzliche Möglichkeiten den eigenen Energiebedarf zu ermitteln	9
6.	Auslegung der Größe der Kleinwindkraftanlage	10
7.	Aspekte zur Auswahl der persönlich richtigen Kleinwindkraftanlage	10
	7.1. Vergleich von Kleinwindkraftanlagen anhand ihrer Nennleistungen	10
	7.2. Vergleich von Kleinwindkraftanlagen anhand ihrer Rotordurchmesser	11
	7.3. Kritischer Vergleich	11
8.	Rechtliche Grundlagen zum Bau einer Kleinwindkraftanlage	11
	8.1. Verfahrensfreie Vorhaben	12
	8.2. Freigestellte Vorhaben	12
	8.3. Baugenehmigungspflichtige Vorhaben im vereinfachten Verfahren	12
	8.4. Baugenehmigungspflichtige Vorhaben	12
	8.5. BImSch-genehmigungspflichtige Vorhaben	12

8.6. Fazit zur Rechtlichen Grundlage	12
9. Beeinflussung des Natur- und Artenschutzes durch Kleinwindkraftanlagen	13
9.1. Lärmbelästigungen der Menschen und Tiere	13
9.2. Störung des Funk- und Fernsehempfanges	13
10. Betriebsarten einer Kleinwindkraftanlage	13
10.1. Inselbetrieb	13
10.2. Netz-Parallelbetrieb	13
11. Speicherung des erzeugten Stroms	14
11.1. Laderegler	14
11.2. Akku	14
11.2.1. Bleisäureakku	14
11.2.2. Gel-Akku	15
11.3. Lebensdauer eines Akkus	15
12. Art der Stromgewinnung bei einer Kleinwindkraftanlage	15
12.1. Pitch-Regelung	15
12.2. Stall-Regelung	16
13. Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindkraftanlage	16
13.1. Motivation zur Anschaffung einer Kleinwindkraftanlage für den Besitzer	16
13.2. Wirtschaftlichkeit bei einer Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 1 – 3 kW	17
13.3. Wirtschaftlichkeit bei einer Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 1 – 5 kW	17
13.4. Wirtschaftlichkeit bei einer Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 10 -100 kW	17
13.5. Preisrechnung mit Inflationsrate	17
14. Fazit	18
15. Literatur- und Quellenverzeichnis	19
15.1. Literaturquellen	19
15.2. Internetquellen	20
15.3. Zitate	22
16. Anlagen	22
16.1. Anlage 1	22
16.2. Anlage 2	23

16.3. Anlage 3	23
16.4. Anlage 4	24
16.5. Anlage 5	24
16.6. Anlage 6	25
16.7. Anlage 7	25
16.8. Anlage 8	26
16.9. Anlage 9	26
16.10. Anlage 10	26
16.11. Anlage 11	27
16.12. Anlage 12	27

1. Einleitung

Das Thema meiner Facharbeit ist „Kleinwindkraftanlagen zur Stromerzeugung in Einfamilienhäusern“. Die Kraft des Windes wurde schon im Mittelalter zum Mahlen von Getreide genutzt. Später entwickelten sich in Westeuropa und Norddeutschland die charakteristischen Bockwindmühlen und in Südeuropa die Segelwindmühlen. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde der Wind noch nicht zur Stromerzeugung genutzt. Eine Radwindmühle in Brandenburg aus dem Jahr 1926 war die erste Windmühle zur Stromproduktion, so die deutsche Gesellschaft für Mühlenkunde und Mühlenerhaltung. Die Materialbeschaffung für meine Facharbeit stellte sich nicht immer als einfach dar. Ich hatte bereits für meine Hausarbeit bei über 20 verschiedenen Firmen, Vereinen und Verbänden nach Informationen gefragt. Desweiteren haben ich Internetquellen verwendet und mir Bücher aus der Bücherei ausgeliehen. Als ich alle Informationen zusammen hatte, habe ich mir einige Fragen gestellt: Wie ist eine Kleinwindkraftanlage aufgebaut und was muss man bei der Standortauswahl beachten? Welche Windgeschwindigkeiten braucht man, damit sich eine Kleinwindkraftanlage lohnt und wie hoch ist die Einspeisevergütung? Wie groß sollte man eine Kleinwindkraftanlage auslegen und wie kann man mehrere Kleinwindkraftanlagen miteinander vergleichen? Gibt es rechtliche Auflagen, welche beim Errichten einer Kleinwindkraftanlage beachtet werden müssen und was muss man bei Natur- und Atemschutz beachten? Welche grundsätzlichen Betriebsmöglichkeiten hat man bei einer Kleinwindkraftanlage und wie kann man den Storm speichern? Was für Arten der Stromgewinnung gibt es überhaupt und was bedeutet wirtschaftlich? Ich habe mir das Ziel gesetzt, diese Fragen zu beantworten, um in dieser Facharbeit einen kompakten Überblick über die Möglichkeiten und Grenzen von Kleinwindkraftanlagen zu bieten.

2. Aufbau einer Kleinwindkraftanlage

Eine Kleinwindkraftanlage besteht meistens aus einem Fundament, einem Turm, einer Maschinengondel und einem Rotor. Es kommt auf die Art der Kleinwindkraftanlage an, ob sie alle dieser vier Bestandteile besitzt oder nur Teile davon.

2.1. Fundament und Turm

Das Fundament ist die Halterung für den Turm, die Maschinengondel und den Rotor. Es ist im Boden fest verankert und meistens nicht sichtbar.

Der Turm besteht meistens aus Stahl oder Beton, in seltenen Fällen auch aus Stahlgitter. Das aufwändigste Material ist Stahlbeton, dieses hat aber die größte Festigkeit und beherrschbarsten Schwingungsverhältnisse. Trotz dieser guten Eigenschaften werden

meistens Stahlrohtürme verwendet und hohe Türme zusätzlich mit Abspannseilen gesichert.

2.2. Maschinengondel

Die Maschinengondel beinhaltet viele Einzelteile. Zum Beispiel einen Azimutmotor, welcher den Rotor in den Wind stellt oder aus dem Wind stellt, wenn der Wind zu stark weht. Aber auch eine Bremse ist in der Maschinengondel. Diese sichert den Rotor bei Wartungsarbeiten und Sturm. Des Weiteren ist auch ein Generator verbaut, der die Rotationsenergie in elektrische Energie umwandelt. Der Generator ist hochpolig, denn es gilt die Regel: umso höher die Polzahl¹ umso schneller läuft er an. Die Verbindung zwischen dem Generator und dem Rotor ist die Welle. Sie überträgt die Rotationsenergie vom Rotor zum Generator.

2.3. Rotor

Der Rotor wandelt die kinetische Energie² der Luft in Rotationsenergie um.

2.3.1. Herstellung eines Rotors

Die Rotorblätter sind aus Faserverbundstoffen, wie zum Beispiel Glas-Faser-Kunststoff (GFK), hergestellt. Des Weiteren werden Kunststoffharze eingesetzt, welche auch in der Flugzeugproduktion verwendet werden. Allgemein ähnelt die Fertigungsweise der Rotorblätter der Fertigungsweise der Flugzeuge stark. Die äußerste Schicht der Rotorblätter besteht aus einem GFK-verstärktem Laminat. Danach wird die Oberfläche geschliffen und poliert.

2.3.2. Art des Rotors

Es gibt viele verschiedene Formen der Rotorblätter. Alle Arten der Rotorblätter sind aerodynamisch³ gestaltet. Man kann die Rotorblätter in zwei Hauptklassen trennen. In horizontale und vertikale Achsen und diese dann zum Teil in Unterklassen.

2.3.2.1. Rotor einer Kleinwindkraftanlage mit horizontaler Achse

Bei den horizontalen Achsen werden alle Flügel gleichzeitig vom Wind angetrieben. Die gebräuchlichsten Rotoren haben drei bis vier Rotorblätter. Hier ist die Aerodynamik so angelegt, dass die Oberseite gewölbt ist. Dadurch wird die Luft verdichtet und beschleunigt, wodurch ein Unterdruck entsteht. Die Unterseite ist glatt. Dadurch ist die Luft langsamer und es entsteht ein Überdruck (Anlage 1). Das ist das Auftriebsprinzip. Dieses Prinzip der Rotorblätter gab es schon im Mittelalter und wird auch bei den Windmühlen verwendet. Ein Vorteil dieser Rotoren ist das man sie auch im urbanen Raum

¹ Anzahl der Statormagnete im Generator

² Bewegungsenergie

³ eine Form mit möglichst wenig Luftwiderstand

einsetzen kann, wenn sie mit einem Pitch-System⁴ oder einer Drehzahlbegrenzung ausgestattet sind. Des Weiteren hat dieser Rotor den höchsten Wirkungsgrad⁵. Ein Nachteil ist, dass Kleinwindkraftanlagen mit horizontalen Achsen ohne Pitch-System oder Drehbegrenzung lauter sind als andere Kleinwindkraftanlagen mit anderen Bauarten. Aber trotzdem sind 80% aller Kleinwindkraftanlagen in Deutschland von diesem Typ. Desweiteren unterscheidet man hier noch in Leeläufer und Luvläufer.

2.3.2.1.1. Leeläufer

Bei Leeläufern kommt der Wind von hinten (Anlage 2). Der Nachteil dieser Methode ist, dass der Turm einen Windschatten bildet und es dadurch zu Leistungseinbußen und periodischen Schwankungen kommen kann. Vorteile sind, dass die Rotorblätter nicht gegen den Turm gedrückt werden können und sich selbst in den Wind stellen.

2.3.2.1.2. Luvläufer

Bei den Luvläufer ist der große Unterschied, dass der Wind von vorne kommt (Anlage 3) und der Turm so keine Windschatten produziert kann, aber die Rotorblätter bei Sturm gegen den Turm gedrückt werden können. Desweiteren stellen Luvläufer sich nicht selbst in den Wind.

2.3.2.2. Rotor einer Kleinwindkraftanlage mit vertikaler Achse

Bei den vertikalen Achsen wird immer ein Flügel angetrieben und der zurückgehende Flügel wird gebremst. Die Vorteile der vertikalen Achsen sind, dass sie leiser sind und sich besser in die Umgebung integrieren. Der Nachteil ist aber, dass der Turm oft starken Schwingungen ausgesetzt ist, welche dann auf Haus und Boden als Vibrationen übertragen werden. Die meisten der 20% in Deutschland verbauten Kleinwindkraftanlagen sind mit einem H-Darrieus-Rotor ausgestattet.

2.3.2.2.1. H-Darrieus-Rotor

Der H-Darrieus-Rotor, auch Heidelberg-Rotor genannt, ist die robusteste Windkraftanlage und steht zum Beispiel in der Antarktis (Anlage 4). Bei diesem Rotor sind zwei bis drei Rotorblätter vertikal zur Drehachse angeordnet. Der Rotor ist mit einem Wanderfeldgenerator ausgestattet. Ein Wanderfeldgenerator ist ein Dauermagnet, welcher ringartig um den Turm angeordnet ist und sich mit dreht. Der H-Darrieus-Rotor ist die Weiterentwicklung des Darrieus-Rotors.

2.3.2.2.2. Darrieus-Rotor

Der Darrieus-Rotor wurde am 20. August 1931 von George Darrieus in den USA patentiert (Anlage 5). Der Rotor steht zum Beispiel in Windparks in Kalifornien. Der Darrieus-Rotor

⁴ vgl. 12.1. Pitch-Regelung

⁵ Maß für Energieübertragung, hier: von kinetischer Energie in Rotationsenergie

hat zwei bis drei Rotorblätter und ist nicht von der Windrichtung abhängig (Anlage 6). Da manche Modelle leise sind, kann man Kleinwindkraftanlagen mit Darrieus-Rotoren auch in der Stadt verwenden. Obwohl alle mechanischen und elektrischen Bauteile am Boden verbaut sind, kann der Darrieus-Rotor eine hohe Leistung erbringen. Da viele Modelle sehr laut und kostenintensiv sind, gibt es sie kaum. Ein weiterer Nachteil ist, dass der Rotor sehr schlecht von alleine anläuft, daher benötigt er eine Anlaufhilfe. Diese Anlaufhilfe ist oft ein Savonius-Rotor.

2.3.2.2.3. Savonius-Rotor

Der Savonius-Rotor (Anlage 7) wurde vom Finnen Sigurd J. Savonius in Helsingfors erfunden und am 20. März 1930 meldete er im Deutschen Reich ein Patent auf diesen Rotor an: „Windrad mit zwei Hohlflügeln, deren Innenkanten einen zentralen Winddurchla[ss]spalt freigeben können und sich übergreifen.“⁶ (Hallenga & Schneider, 2014, S. 10) Der Savonius-Rotor arbeitet nach dem aerodynamischen Widerstands-Prinzip (Anlage 8). Da der Widerstand bei der Schaufelöffnung größer ist als der bei der Schaufelrückseite, ergibt sich ein Drehmoment, welcher beide Schaufeln abwechselnd in den Wind zieht. Der Savonius-Rotors läuft bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten an und ist sehr leise. Daher ist er auch im urbanen Raum gut einzusetzen. Doch der Savonius-Rotor hat nur eine sehr geringe Leistung. Er wird nicht nur als Antriebshilfe für den Darrieus-Rotor genutzt, sondern auch als Entlüftung für geschlossene Räumen.

3. Auswahl des richtigen Standortes für eine Kleinwindkraftanlage

Die Erdoberfläche beeinflusst die Energie des anströmenden Windes. Durch Hindernisse, zum Beispiel Bäume, gibt es Luftverwirbelungen, welche die Energie des Windes herabsetzen. Daher ist es wichtig, einen möglichst freistehenden Standort für eine Kleinwindkraftanlage auszusuchen, da diese bodennah betrieben wird. Ist keine freie Windanströmung und Windabströmung möglich, sollte man Hindernisse entfernen oder eine höhere Kleinwindkraftanlage auswählen. Denn je höher der Mast ist, umso stärker nimmt die Windgeschwindigkeit und damit die potentielle Energie⁷ zu. Ein höherer Mast der Kleinwindkraftanlage kann aber Abspannseile erforderlich machen. Diese können im eigenen Garten oder im Garten des Nachbarn stören. Darum sollte man mit den Nachbarn sprechen. Desweitem sollte man mit den Nachbarn ebenfalls abklären, ob Schattenwurf sie belästigt. Nachbarn können auch durch Geräusche belästigt werden. Hier sollte man ebenfalls mit ihnen reden und klären, ob sie mit dem Bau einer Kleinwindkraftanlage

⁶ Hallenga, Uwe; Schneider, Roger: Welcher Typ passt zu ihnen? In: Kleinwind Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 10.

⁷ Hat ein Gegenstand aufgrund seiner Lage; z.B. Dachziegel fällt vom Dach, negative potentielle Energie

einverstanden sind. Wenn sich die Nachbarn mit dem Bau der Kleinwindkraftanlage nicht einverstanden erklären sollten, sollte man einen anderen Standort oder eine leisere Kleinwindkraftanlage in Betracht ziehen.

Bei der Standortsuche sollte man das direkte Umfeld betrachten, hinsichtlich freier Anfahrt für Montagefahrzeuge.

Des Weiteren muss man die Genehmigungspflicht der Kleinwindkraftanlage prüfen⁸. Wichtig ist, auch wenn man den bestmöglichen Standort gefunden hat, aber keinen Wind hat, lohnt sich auch die beste Kleinwindkraftanlage nicht. Hier helfen Windmessungen im Voraus.

4. Messungen zur richtigen Windgeschwindigkeit für eine Kleinwindkraftanlage

Am besten ist es, ein Anemometer⁹ über zwei verschiedenen Höhen zu installieren, damit man die Änderungen der Windgeschwindigkeit im Zusammenhang mit der Höhe besser beobachtet kann und Turbulenzbereiche besser abgeschätzt werden können. Die Alternative ist, ein Anemometer auf Narbenhöhe¹⁰ zu anzubringen. Anemometer gibt es in verschiedene Preisklassen, von 100 € bis 10.000 €. Meistens entspricht der Preis aber auch der Genauigkeit und Datenqualität, wobei zumeist Anemometer in den oberen Preisklassen zu preisintensiv sind. Die Windmessung sollte genau am dem Standort der späteren Kleinwindkraftanlage stattfinden¹¹.

4.1. Auswertung der Windmessdaten

Optimal ist es, wenn man ein ganzes Jahr über Windmessungen macht, daran sieht man die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten und damit verbundenen Windänderungen. Wenn man nicht so viel Zeit verstreichen lassen will, reicht auch eine Drei-Monats-Messung, welche dann extrapoliert¹² wird. Zur Hilfe nimmt man hierbei detaillierte Basis-Referenzdaten, also Daten von andern Windmessstationen in der Nahe. Anhand der Drei-Monats-Messung, der Basis-Referenzdaten und dem Geländeprofil kann man dann eine aerodynamische Computer-Simulation erstellen. Falls die Messung nicht auf Narbenhöhe stattfand, extrapoliert man diese ebenfalls mit der logarithmischen Höhenformel (Anlage 9). Mit einer Leistungskennlinie und der Windmessung lässt sich dann eine Jahresenergiebetrag- und Wirtschaftlichkeitsberechnung durchführen.

⁸ vgl. 8. Rechtliche Grundlagen zum Bau einer Kleinwindkraftanlagen

⁹ Windmessgerät

¹⁰ Narbe des Windrotors über Geländefläche

¹¹ vgl. 4. Messungen zur richtigen Windgeschwindigkeit für eine Kleinwindkraftanlage

¹² Funktionswerte außerhalb eines Intervalls aufgrund von bekannter Funktionswerte annäherungsweise bestimmen

Diese Berechnungen sollten immer von Fachleuten durchgeführt werden. Verleiher und Verkäufer von Windmesssystemen, Ingenieurbüros oder Kleinwindkraftanlagen-Installateure bieten diese Leistung üblicherweise an.

5. Ermittlung des eigenen Energiebedarfs, um eine Kleinwindkraftanlage wirtschaftlicher nutzen zu können

5.1. Die Einspeisevergütung für Strom aus Kleinwindkraftanlagen ins öffentliche Stromnetz nach dem EEG 2012

Wenn eine Kleinwindkraftanlage zu groß ausgelegt wird, wird der vergleichsweise teure Strom für einen geringen Erlös ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Einspeisevergütung wird nach dem EEG 2012, welches vom Bundestag 2012 verabschiedet wurde, geregelt. Die derzeitige Einspeisevergütung für 2015 liegt bei 8,53 ct/kWh für Kleinwindkraftanlagen mit einer Leistung bis zu 50 KW. Der Betrag der Einspeisevergütung bleibt für den Erzeuger für 20 Jahre gleich, hierbei ist das Jahr der Inbetriebnahme ausschlaggebend. Der Betrag der Einspeisevergütungen sinkt jedes Jahr für Neuanlagen. Im Jahr 2012 lag die Einspeisevergütung noch bei 8,93 ct/kWh. Im Jahr 2014 lag sie bei 8,66 ct/kWh. Die Einspeisevergütung in 2016 wird bei 8,41 ct/kWh liegen und in 2018 bei 8,16 ct/kWh. Im Jahr 2020 wird die Einspeisevergütung nur noch bei 7,91 ct/kWh liegen (Anlage 10).

5.2. Grundsätzliche Möglichkeiten den eigenen Energiebedarf zu ermitteln

Um den Energiebedarf eines Haushaltes zu ermitteln gibt es verschiedene Möglichkeiten. Das einfachste für netzgebundene Haushalte ist das Ablesen des Stromzählers oder die Übernahme der Verbrauchsdaten aus der Rechnung des Energieversorgers. Dazu sollte man den Jahresdurchschnittsverbrauch der letzten drei bis fünf Jahre in kWh/Jahr ermitteln. Bei netzfernen Gebieten kann es eine Eigenstromerzeugung mit Verbrennungsmotoren geben. Hier kann man ganz einfach den Strombedarf über den jährlichen Brennstoffverbrauch bestimmen. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Energiebedarfs ist eine Auflistung aller elektrischen Verbraucher mit ihren Nennleistungen¹³. Wenn man ihre Nennleistung mit der durchschnittlichen Nutzungsdauer multipliziert, bekommt man den Jahresstrombedarf. Diese Vorgehensweise ist sehr aufwendig.

Nach Feststellung des eigenen Strombedarfs lassen sich ebenfalls die jährlichen Stromkosten bestimmen, welche für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen notwendig

¹³ höchste Dauerleistung ohne Beeinträchtigung der Lebensdauer und Sicherheit.

sind¹⁴. Die Stromkosten können der Einfachheit halber aus der Stromrechnung entnommen werden.

6. Auslegung der Größe der Kleinwindkraftanlage

Wenn man einen durchschnittlichen Jahresverbrauch an Strom von 2000 kWh hat, sollte man die Kleinwindkraftanlage nicht auf 2000 kWh Ertrag/Jahr auslegen. Dieses wird sich als nicht wirtschaftlich herausstellen. Der Grund dafür ist: Ein Haushalt braucht je nach Uhrzeit und Jahreszeit mehr oder weniger Strom. Da aber nicht immer Wind weht, muss man bei wenig Wind und hohem Stromverbrauch Strom für ca. 25 bis 30 Cent/kWh einkaufen. Wenn man nun ziemlich viel Wind hat und der Haushalt kaum Strom benötigt, verkauft man den Strom für 8,53 Cent/kWh¹⁵ an das lokale Stromversorgungsunternehmen. Der Jahresertrag der Kleinwindkraftanlage deckt sich nicht mit dem Jahresverbrauch des Haushaltes. Dies führt zwangsläufig in die „roten Zahlen“.

Das gilt nicht, wenn man eine Form der Zwischenspeicherung mit zum Beispiel einem Batteriesystem¹⁶ hat. Eine andere Form der Speicherung ist, den Strom in Wärmeenergie umzuwandeln und damit Warmwasser zu bereiten.

Aber auch für Kleinwindkraftanlagen ohne Zwischenspeicher braucht man den durchschnittlichen Jahresverbrauch. Die Kleinwindkraftanlage wird auf 50-60% des Jahresverbrauchs ausgelegt. Damit wird sie rentabel für den Eigentümer.

7. Aspekte zur Auswahl der persönlich richtigen Kleinwindkraftanlage

7.1. Vergleich von Kleinwindkraftanlagen anhand ihrer Nennleistungen

Wenn man den richtigen Standort und die richtige Größe gefunden hat, sollte man beim Vergleichen verschiedener Kleinwindkraftanlagen verschiedener Händler und Hersteller auf keinen Fall den Fehler machen und die Nennleistungen vergleichen. Die Nennleistung ist nicht genormt, jeder Hersteller macht das anders. Der eine Hersteller gibt die Nennleistung immer bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s an und ein anderer Hersteller gibt seine Nennleistungen immer bei einer Windgeschwindigkeit von 20 m/s an. Somit haben dann zwei unterschiedliche Kleinwindkraftanlagen mit gleicher Nennleistung, bei dem gleichen Windaufkommen, nicht die gleiche Leistung. Da man vorher eine Windmessung gemacht hat, weiß man, wieviel Windaufkommen es

¹⁴ vgl. 13. Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindkraftanlage

¹⁵ vgl. 5.1. Die Einspeisung für Strom aus Kleinwindkraftanlagen ins öffentliche Stromnetz nach dem EEG 2012

¹⁶ vgl. 11. Speicherung des erzeugten Stroms

am geplanten Standort gibt. Diese Werte kann ich in einer Leistungskurve¹⁷ (Anlage 11) der einzelnen Kleinwindkraftanlagen eintragen. Damit kann ich diese nur vergleichen und ein Preis-Leitungs-Verhältnis ermitteln.

7.2. Vergleich von Kleinwindkraftanlagen anhand ihrer Rotordurchmesser

Desweiteren sollte man auf den Durchmesser des Rotors achten. Denn ein größerer Rotor entzieht dem Wind mehr kinetische Energie als ein kleiner Rotor. An einem windschwächeren Standort sollte man eine Kleinwindkraftanlage mit einem größeren Rotor wählen, da dann mehr kinetische Energie aufgenommen werden kann. An einem windstarken Standort kann man auch eine Kleinwindkraftanlage mit kleinem Rotor nehmen.

7.3. Kritischer Vergleich

Bei Herstellern, Installateuren oder Prospekten, welche einen hohen Jahresenergieertrag versprechen, ohne sich Winddaten angeschaut zu haben, sollte man skeptisch sein. Denn es gibt viele Hochglanzprospekte, mit denen diese Kleinwindkraftanlagen vermarktet werden sollen. Man sollte eher auf unabhängig gemessenen Leistungskurven, zum Beispiel vom TÜV, Vertrauen schenken.

8. Rechtliche Grundlagen zum Bau einer Kleinwindkraftanlage

Bevor man eine Kleinwindkraftanlage baut, sollte man dem örtlichen Bauamt das Vorhaben erläutern. Dieses sollte man möglichst langfristig im Voraus tun. Bei manchen Kleinwindkraftanlagen braucht man nur eine Bauvoranfrage zu machen und bei andern erfordert es eine Baugenehmigung. Welches Verfahren zum Tragen kommt, hängt von Größe der Kleinwindkraftanlage und von dem jeweiligen Landesrecht ab. Je nach Bundesland und Verfahren kommen dann unterschiedlicher Konsequenzen zum Tragen. Doch wenn die Baubehörde offensichtlich überzogene Forderungen stellt, sollte man sich dagegen wehren. Auch wenn dies alles einen bürokratischen Aufwand bedeutet, sollte man doch immer die örtliche Baubehörde mit einbeziehen. Denn wenn sich jemand über den „Schwarzbau“ beschwert, kann man sogar zu einer Abrissverfügung oder einer Rückbauverpflichtung kommen. Auch wenn sich niemand über die Kleinwindkraftanlage beschwert, kann es zum Beispiel zu Sturmschäden kommen und da steht der Eigentümer in unbegrenzter Haftung.

¹⁷ Leistung (Watt) / Windgeschwindigkeit (m/s)

8.1. Verfahrensfreie Vorhaben

In einigen Bundesländern sind Kleinwindkraftanlagen mit einer Gesamthöhe unter 10 m vom Genehmigungsverfahren freigestellt. Das heißt man braucht keinen Bauantrag zu stellen und es muss auch nicht bei der örtlichen Baubehörde angezeigt werden. Man muss aber öffentlich-rechtlichen Vorschriften, wie zum Beispiel zum Natur- und Artenschutz¹⁸ oder zum Lärmschutz, einhalten. Daher empfiehlt es sich eine Bauvoranfrage zu machen um eine maximale Rechtsicherheit zu erreichen.

8.2. Freigestellte Vorhaben

Bei freigestellten Vorhaben braucht man keine Baugenehmigung, aber man muss ein Vorhaben bei der örtlichen Baubehörde anzeigen. Man kann das sogenannte Genehmigungsfreistellungsverfahren beantragen. Diese geht nur unter bestimmten Voraussetzungen (Anlage 12).

8.3. Baugenehmigungspflichtige Vorhaben im vereinfachten Verfahren

Das baugenehmigungspflichtige Vorhaben im vereinfachten Verfahren gilt für Kleinwindkraftanlagen mit einer Gesamthöhe zwischen 10 - 30 m. Diese Bauvorhaben müssen nicht das gesamte Prüfungsspektrum der Baubehörde durchlaufen, dennoch dürfen sie nicht ohne Genehmigung gebaut werden.

8.4. Baugenehmigungspflichtige Vorhaben

Bei dem baugenehmigungspflichtigen Vorhaben muss das Vorhaben das komplette Baugenehmigungsverfahren durchlaufen. Diese gilt für Kleinwindkraftanlagen mit einer Gesamthöhe zwischen 30- 50 m.

8.5. BImSch-genehmigungspflichtige Vorhaben

Windkraftanlagen über 50 m sind genehmigungspflichtig nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSch). Aufgrund der Höhe spricht man hier nicht mehr von einer Kleinwindkraftanlage.

8.6. Fazit zur rechtlichen Grundlage

„Je nach einschlägiger Verfahrensart bestehen ganz unterschiedliche Anforderungen.“¹⁹ (Legler, 2014, S. 18-19) Desweiteren gibt es stark divergierende Anforderungen zwischen den jeweiligen Bundesländern. Um Gewissheit zu bekommen, sollte man sich am besten bei der örtlichen Baubehörde erkundigen. Wenn man bei der Baubehörde nicht weiter kommt, sollte man eventuell sich Hilfe bei einem Verwaltungsjuristen holen.

¹⁸ vgl. 9. Gefährdung des Natur- und Atemschutzes durch Kleinwindkraftanlage

¹⁹ Legler, Dirk: Was ich vor dem Bau der Anlage beachten muss. In: Kleinwind Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 18-19.

9. Gefährdung des Natur- und Artenschutzes durch Kleinwindkraftanlagen

9.1. Lärmbelästigung der Menschen und Tiere

Einer Umweltgefährdung ist die Lärmbelästigung für Menschen und Tiere. Durch die Profilierung²⁰ der Rotorblätter und durch Herabsenken der Rotordrehzahl kann man den Geräuschpegel senken.

9.2. Störung des Funk- und Fernsehempfangs durch Kleinwindkraftanlagen

Desweiteren soll die Kleinwindkraftanlage keine Störung beim Funk- und Fernsehempfang verursachen. Es ist richtig, dass Kleinwindkraftanlagen die Übertragung von elektromagnetischen Wellen stören, deshalb ist das Errichten in Richtfunkstrecken verboten. Ansonsten gibt es eine einfach technische Lösung: Die bessere Ausrichtung der Antenne.

10. Betriebsarten einer Kleinwindkraftanlage

10.1. Inselbetrieb

Der Inselbetrieb zeichnet sich dadurch aus, dass es keine Verbindung zum öffentlichen Stromversorgungsnetz gibt. Diese Art von Nutzung kommt zum Beispiel bei Wochenendhäusern, Einzelhöfen in wenig besiedelten Landstrichen und Alm- und Schutzhütten vor. Da hier die Stromversorgung mit einer Kleinwindkraftanlage eventuell nicht reicht, ergänzt man mit anderen Stromerzeugern oder einen Speicher, zum Beispiel einen Akkumulator²¹.

10.2. Netz-Parallelbetrieb

Der Netz-Parallelbetrieb zeichnet sich dadurch aus, dass es eine Verbindung zum öffentlichen Stromversorgungsnetz gibt. Das heißt, wenn die Kleinwindkraftanlage mehr Strom produziert als der Eigentümer verbraucht, verkauft er den überschüssigen Strom an das lokale Stromversorgungsunternehmen²². Da dieses eine höhere Investition bedeutet, lohnt es sich erst ab Kleinwindkraftanlagen mit mittlerer Leistung. Desweiteren benötigt man eine vertragliche Vereinbarung mit dem lokalen Stromversorgungsunternehmen.

²⁰ Verbesserung/Aufbesserung

²¹ vgl. 11. Speicherung des erzeugten Stroms

²² vgl. 5.1. Die Einspeisevergütung für Strom aus Kleinwindkraftanlagen ins öffentliche Stromnetz nach dem EEG 2012

11. Speicherung des erzeugten Stroms von einer Kleinwindkraftanlage

Die Produktion von Strom durch eine Kleinwindkraftanlage geht nicht auf den Verbrauch eines Haushaltes ein. Das heißt, Strom wird nicht nur dann produziert, wenn Strom von Verbrauchern benötigt wird. Desweiteren ist der Stromverbrauch eines Haushaltes sehr schwankend, nachts zum Beispiel wird im Normalfall weniger verbraucht als tagsüber. Für dieses Problem gibt es eine einfache Lösung, man muss den Strom zwischenspeichern.

11.1. Laderegler

Bei einem Speichersystem wird der Strom über einen Laderegler in den Akkus gespeichert. Der Laderegler sorgt dafür, dass die Akkus nicht überladen werden. Wenn der Akku voll ist schaltet der Laderegler ab und der Strom geht verloren oder in das örtliche Versorgungsnetz, dieses funktioniert nur bei einem Netzparallelbetrieb²³. Es können mehrere Akkus an einen Laderegler angeschlossen werden. So sorgt der Laderegler auch für eine gleichmäßige Ladung und Entladung der Akkus.

11.2. Akku

Der Akku ist das Herz jedes Speichersystems. Akkus sind gut verfügbar und mittlerweile preisgünstig zu haben. Der Akku sollt nur in den vom Hersteller angegebenen Grenzen betrieben werden. Es gibt viele verschiedene Akkus. Jeder dieser Akkus hat seine eigenen Vor- und Nachteile. Bei der Speicherung von Strom aus Kleinwindkraftanlagen nutzt man üblicherweise Bleisäureakkus und Gel-Akkus.

11.2.1. Bleisäureakku

Ein Bleisäureakku ist in jedem Fahrzeug verbaut, da diese preisgünstig sind. Bleisäureakkus haben relativ hohe Lade- und Entladeströme, aber die Energiedichte²⁴ ist nicht besonders hoch. Diese Akkus kann man auch problemlos in eine Reihenschaltung bringen. Bei Bleisäureakkus ist Vorsicht geboten. Man sollte diese nicht in geschlossenen Räumen verwenden, da ab einer Spannung von 14,4 Volt eine Gasung²⁵ von Wasserstoff anfängt und Wasserstoff explosiv ist. Die Gasung ist von der Umgebungstemperatur abhängig. Die Gasung hat aber auch den Vorteil, dass dadurch die Säure an den Elektroden umgeschichtet wird und es weniger Sulfatierung an den Elektroden gibt. Dieses erhöht die Lebensdauer. Bei einem Bleisäureakku sollte man eine Tiefentladung von unter 11,3 Volt vermeiden, da die Lebensdauer sonst sinkt. Daher nutzt ein Bleisäureakku nur ca. 70% seiner Kapazität. Durch das Laden und Entladen geht ca. 20% der Leistung verloren.

²³ vgl. 10.2. Netz-Parallelbetrieb

²⁴ Verteilung von Energie E auf bestimmte Größe X

²⁵ Es wird anstatt Blei und Sulfat nun Wasser elektrolysiert. (Elektrolyse des Wasser: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$)

11.2.2. Gel-Akku

Der Aufbau von einem Gel-Akku gleicht dem Aufbau eines Bleisäureakkus, nur dass die Säure mit Kieselgel eingedickt ist. Dieses verhindert ein Auslaufen der Säure und es kann keine Säureschichtung²⁶ auftreten. Im stationären Betrieb ist der Gel-Akku wartungsärmer als der Bleisäureakku. Desweiteren ist die Selbstentladung ebenfalls geringer. Gel-Akkus dürfen auf keinen Fall überladen werden, da sonst eine Gasung eintritt, welche einen Kapazitätsverlust bedeuten würde. Die Entladeschlussspannung²⁷ liegt bei ca. 11,8 Volt. Die Zyklenzahl ist bei einem Gel-Akku höher als bei einem Bleisäureakku, da die Tendenz zu Säureschichtung geringer ist.

11.3. Lebensdauer eines Akkus

Die Lebensdauer wird von vielen Faktoren beeinflusst. Allgemein wird die Lebensdauer eines Akkus vom Hersteller in Ladezyklen angegeben. Ein Ladezyklus ist eine komplette Ladung und Entladung über den gesamten Kapazitätsbereich. Bei Erreichen der angegeben Ladezyklen sollte der Akku noch eine Restkapazität von ca. 80% haben. Das bedeutet, dass ein Akku nicht defekt ist nach dem Ablauf der Ladezyklen. Der Umgang mit dem Akku beeinflusst die Lebensdauer ebenfalls. Wird ein Akku immer nur bis 50% seiner Kapazität geladen und entladen verdoppelt sich die Zyklenzahl. Wenn man einem Akku nur bis 25% seiner Kapazität geladen und entladen wird, vervierfacht sich die Zyklenzahl.

12. Art der Stromgewinnung bei einer Kleinwindkraftanlage

Eine Kleinwindkraftanlage entzieht dem Wind nicht die gesamte kinetische Energie und läuft auch nicht bei jeder Windstärke. Ist die Windgeschwindigkeit zu gering, läuft sie nicht richtig. Aber bei zu hoher Windgeschwindigkeit schaltet die Kleinwindkraftanlage ab, weil es sonst zu Schäden kommen könnte. Daher beschränkt sich die Nutzung auf einen bestimmten Bereich und man gibt ihre Nennleistung immer bei mittlerem Wind an. Die Regelung der Leistungsaufnahme erfolgt über verschiedene Verfahren. Aber sie alle dienen einem Zweck: Das Erreichen einer konstanten Drehzahl trotz schwankender Windverhältnisse.

12.1. Pitch-Regelung

Eine Möglichkeit der Regelung bei Kleinwindkraftanlagen ist die Pitch-Regelung. Hierbei werden die Rotorblätter direkt und einzeln angesteuert. Bei schwachem Wind stellt der Azimutmotor die Rotorblätter mit voller Breite in den Wind. Je höher die Windgeschwindigkeit, umso paralleler stellt der Azimutmotor die Rotorblätter zum Wind.

²⁶ relevanter Kapazitätsverlust durch Entmischung mit dichter Säure unten, wässriger Anteil oben)

²⁷ Beendigung der Entladung des Akkus, darunter Tiefentladung

Wenn Sturm aufkommt, werden die Rotorblätter ganz parallel gestellt, sodass sie sich nicht mehr drehen und vor Schäden geschützt sind. Für den Notfall gibt es noch eine hydraulisch betriebene Scheibenbremse. Der Begriff „pitch“ kommt aus dem englischen und heißt „Neigung“.

12.2. Stall-Regelung

Eine weitere Regelung ist die Stall-Regelung. Hier kann man die Rotorblätter nicht einzeln verstellen, sondern beim Erreichen einer bestimmten Windgeschwindigkeit gibt es einen Strömungsabriss und die Antriebskraft auf dem Rotor reduziert sich. Eine Notfallbremse ist hier ebenfalls in Form einer hydraulisch betriebenen Scheibenbremse vorhanden. Zusätzlich gibt es noch Bremsklappen an den Rotorblättern, welche ab einer bestimmten Drehzahl ausgeklappt werden. Der Begriff „stall“ kommt ebenfalls aus dem englischen und bedeutet „abrutschen“.

13. Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindkraftanlage

Es gibt viele verschiedene Kleinwindkraftanlagen. Einige Kleinwindkraftanlagen müssen alle sechs Monate gewartet werden und andere Kleinwindkraftanlagen müssen nur jedes Jahr einmal gewartet werden. Dabei benötigen einige Kleinwindkraftanlagen außer etwas Schmierstoff an einigen Stellen keine Ersatzteile andere wiederum benötigen bei jeder Wartung Ersatzteile, wie neue Bremsbeläge, Bremsscheiben oder einen Öl-Wechsel. Desweiteren kann man eine gute Kleinwindkraftanlage versichern, schlechte häufig nicht. Die Nebenkosten einer Kleinwindkraftanlage schwanken entsprechend auch von Kleinwindkraftanlage zur Kleinwindkraftanlage. Daher sollte man beim Kauf nicht nur auf den Einkaufspreis schauen, denn eine etwas teurere Kleinwindkraftanlage kann wirtschaftlicher als eine billige Kleinwindkraftanlage sein.

13.1. Motivation zur Anschaffung einer Kleinwindkraftanlage für den Besitzer

Die Motivation zur Anschaffung einer Kleinwindkraftanlage ist von Besitzer zu Besitzer unterschiedlich. Für den einen ist das der Spaß an der Technik, so einen „Spielzeug“ im Garten zu haben. Für den anderen ist es durch die Einspeisevergütung²⁸ eine langfristige Energiepreis-Sicherung. Eine Kleinwindkraftanlage kann man auch als ein Stück Freiheit oder Unabhängigkeit von den großen Energiekonzernen sehen. Andere Besitzer möchten einen eigenen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz leisten. Roger Schneider sagt: „[Kleinwindkraftanlagen] müssen sicher sein, Spaß machen und länger halten, als sie

²⁸ vgl. 5.1. Die Einspeisevergütung von Strom aus Kleinwindkraftanlagen ins öffentliche Stromnetz nach dem EEG 2012

brauchen, um sich bezahlt zu machen - dann sind sie wirtschaftlich²⁹ (Schneider, 2014, S. 28).

13.2. Wirtschaftlichkeit bei einer Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 1- 3 kW

Wenn man eine Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 1 – 3 kW hat, ist dieses eher ein Spielzeug. Diese Besitzer wollen zu meist nur Spaß an der Technik und sich ein Stück Unabhängigkeit von den großen Energiekonzernen erkaufen. Hier spielt die Wirtschaftlichkeit keine sehr große Rolle. Denn die Meisten gehen nach dem Motto: „Wann rechnet sich meine Alufelge beim Auto oder mein größerer Fernseher? Egal - ich will es!“³⁰ (Schneider, 2014, S.28).

13.3. Wirtschaftlichkeit bei einer Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 1 - 5 kW

Wenn man eine Kleinwindkraftanlage mit eine Nennleistung von 1 – 5 kW hat, liegt die Konzentration eher auf dem Standort, der Kleinwindkraftanlagenauswahl und auf den Erträgen am geplanten Standort, nicht alleine auf dem Kleinwindkraftanlagenpreis. Desweiteren spielt es nicht die entscheidende Rolle, ob die Kleinwindkraftanlage sich in 10 oder 15 Jahren rentiert, sondern die Betreiber möchten, dass sich ihre Kleinwindkraftanlagen überhaupt bezahlt machen und so lange halten wie möglich. Hier ist auch die Unabhängigkeit ein wichtiges Argument.

13.4. Wirtschaftlichkeit bei einer Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 10 – 100 kW

Wenn man eine Kleinwindkraftanlage mit einer Nennleistung von 10 – 100 kW hat, spielt die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle. Wobei das Augenmerk hier auf dem fest kalkulierten kWh-Preis durch die Einspeisevergütung liegt und nicht auf der Ersparnis. Denn wie viel man wirklich spart, kann einem keiner sagen.

13.5. Preisrechnung mit Inflationsrate

Allgemein gibt es viele Faktoren, von denen die Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindkraftanlage abhängt. Daher ist die Wirtschaftlichkeit nicht einfach zu berechnen. Dennoch kann man sich von einem Spezialisten eine Preisrechnung mit einer Inflationsrate machen lassen. Hierbei sollte man darauf achten, dass die Inflationsrate ca. 1,5-2,5% beträgt. Diese Inflationsrate ist realistisch.

²⁹ Schneider, Roger: Wirtschaftlichkeit. In: Kleinwind Fachjournal. Nr.1/2014. Berlin 2014. S. 28.

³⁰ Schneider, Roger: Wirtschaftlichkeit. In: Kleinwind Fachjournal. Nr.1/2014. Berlin 2014. S.28

14. Fazit

Eine Kleinwindkraftanlage besteht aus vielen verschiedenen Teilen, welche alle unterschiedliche Aufgaben und Funktionen haben. Bevor man sich eine Kleinwindkraftanlage kauft, sollte man eine Windmessung durchführen oder eine professionelle Windanalyse am geplanten Standort machen. Des Weiteren sollte man die Kleinwindkraftanlage nach ihrer Leistungskurve aussuchen. Die rechtlichen Grundlagen und Genehmigungspflichten sind zu beachten. Je nach Betriebsart und Art der Stromgewinnung sollte man auch eine Speicherung, mit zum Beispiel einem Gel-Akku, in Betracht ziehen.

Mit meiner Facharbeit habe ich die Ausgangsfragen „Wie ist eine Kleinwindkraftanlage aufgebaut und was muss man bei der Standortauswahl beachten? Welche Windgeschwindigkeiten braucht man, damit sich eine Kleinwindkraftanlage lohnt und wie hoch ist die Einspeisevergütung? Wie groß sollte man eine Kleinwindkraftanlage auslegen und wie kann man mehrere Kleinwindkraftanlagen miteinander vergleichen? Gibt es rechtliche Auflagen, welche beim Errichten einer Kleinwindkraftanlage beachtet werden müssen und was muss man bei Natur- und Artenschutz beachten? Welche grundsätzlichen Betriebsmöglichkeiten hat man bei einer Kleinwindkraftanlage und wie kann man den Strom speichern? Was für Arten der Stromgewinnung gibt es überhaupt und was bedeutet wirtschaftlich?“ beantwortet. Das Thema „Kleinwindkraftanlagen zur Stromerzeugung in Einfamilienhäusern“ ist nicht neu, aber lange in Vergessenheit geraten. Deshalb steckt es trotz der neusten Entwicklungen noch in den Kinderschuhen und muss fast wieder neu entwickelt werden. Die Entwicklung ist unaufhaltsam, denn der Verbraucher will seine eigenen Strom produzieren und unabhängig von den großen Stromkonzernen werden. Kleinwindkraftanlagen kann man wunderbar mit einer Photovoltaikanlage kombinieren, denn Sonne und Wind ergänzen sich.

15. Literatur- und Quellenverzeichnis

15.1. Literaturquellen

- Behringer, Rolf; Wellige, Irina: Basteln und Experimentieren mit Windenergie. Christophorus Verlag GmbH & Co. KG. Freiburg i. Br. 2012. S. 35, S.40.
- Crome, Kira: Natur- und Artenschutz werfen Verfahrensfragen aus. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 16-17.
- Eyhorn, Steffen; Joost, Axel: Speicher. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 24-27.
- Gehling, Matthias: Energiebedarf ermitteln. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 7.
- Gehling, Matthias; Schneider, Roger: Standortsuche. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 4.
- Halbhuber, Winfried: Gesamtsystem Kleinwindkraft: Anlagenkonzepte – Ertragsoptimierung – Netzeinspeisung. Dipomica Verlag GmbH. Hamburg 2014. S. 99.
- Hallenga, Uwe; Schneider, Roger: Welcher Typ passt zu Ihnen? In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 10-11.
- Hennemann, Laura: Was ist Was Band 003: Energie: Was die Welt antreibt. Tessloff Verlag. Nürnberg 2013. S. 9-10.
- Hesse, Christine: Windenergie. In: Energie und Umwelt. Nr. 319. Bonn 2013. S. 13.
- Leger, Dirk: Was ich vor dem Bau der Anlage beachten muss. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 18-19.
- Peterschmidt, Nico: Windmessung. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 5-6.
- Raum, Bernd; Schmidt, Gerd-Dietrich: Duden Natur – Mensch – Technik – Themenbände / Energie. Duden Paetec GmbH. Berlin 2011. S.12 – 13, S. 36 – 37, S. 45, S. 56 – 57.
- Schneider, Roger: Auslegung der KWEA-Größe. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 8.
- Schneider, Roger: Kräfteressen. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 9.
- Schneider, Roger: Wirtschaftlichkeit. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 28.

- Strawbridge, Dick; Strawbridge, James: Das große Buch der Selbstversorgung. Dorling Kindersley Verlag GmbH. München 2011. S. 64 – 67.
- Übelacker, Erich; Blendinger, Johannes; Frey, Markus; Kliemt, Frank: Was ist Was Band 003 Energie. Tessloff Verlag. Nürnberg 2010. S. 4 – 6, S. 8, S. 38 – 40, S. 48.
- Watter, Holger: Regenerative Energiesysteme: Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungsbeispiele aus der Praxis. Vieweg + Teubner Verlag. Wiesbaden 2011. S. 48 – 64, S. 71 – 74.
- Wörten, Christine: Erneuerbare Energien – Wissen, was stimmt. Herder GmbH, Freiburg i. Br. 2010. S. 47 – 60.
- Zahoransky, Richard A.: Energietechnik: Systeme zur Energieumwandlung. Kompaktwissen für Studium und Beruf. Vieweg + Teubner. Wiesbaden 2009. S. 302 – 310, S. 309 – 310, S. 314 – 315.

15.2. Internetquelle

- Agentur für Erneuerbare Energie: Wie funktioniert eine Windkraftanlage? Berlin 2014. <http://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbare-energie/wind/onshore/wie-funktioniert-eine-windkraftanlage> (Recherche vom 26.10.2014)
- Augustin, Thilo; Thiel, Frank: Nennleistung. Bochum. <https://www.energiehoch3.de/anbieter/energie/lexikon/nennleistung.html> (Recherche vom 09.03.2015)
- Dilger, Peter: aerodynamisch. Leinfelden-Echterdingen. <http://www.wissen.de/fremdwort/aerodynamisch> (Recherche vom 09.03.2015)
- Farlex, Inc.: aerodynamisch. Huntingdon Valley. <http://de.thefreedictionary.com/aerodynamisch> (Recherche vom 09.03.2015)
- Feldmann, Wolf-Rüdiger; Winkenbach, Marion: extrapolieren. Berlin. <http://www.duden.de/rechtschreibung/extrapolieren> (Recherche vom 09.03.2015)
- Gebhardt, Friderike: Narbenhöhe. Bremen <http://www.wind-lexikon.de/cms/lexikon/98-lexikon-n/255-nabenhoehe.html> (Recherche vom 09.03.2015)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Anlagen mit horizontaler Achse. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Anlagen mit vertikalen Achsen. Berlin.

<http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)

- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Der Rotor. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Die Windkraftanlage. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Generator und Getriebe. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Inselbetrieb – Netzbetrieb. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Leeläufer und Luvläufer. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Leistung von Windanlagen. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Umwelt. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Windnachführung. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Windverhältnisse. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)
- HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Wirtschaftlichkeit. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 26.10.2014)

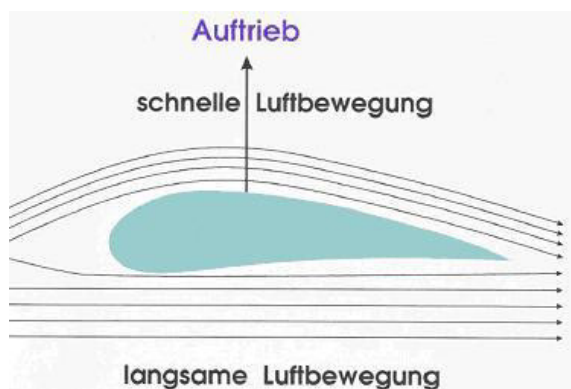
- Jüttemann, Patrick: Wieviel Strom wird eine Kleinwindkraftanlage gegebener Leistung erzeugen?. Bad Honnef. <http://www.klein-windkraftanlagen.com/strom-leistung-ertrag-kleinwindkraftanlage/> (Recherche vom 09.03.2015)
- Knecht, Stefan: Bleisäureakkumulator. Berlin. <http://www.chemie.de/lexikon/Bleiakkumulator.html> (Recherche vom 09.03.2015)
- Knecht, Stefan: Energiedichte. Berlin. <http://www.chemie.de/lexikon/Energiedichte.html> (Recherche vom 09.03.2015)
- Knecht, Stefan: Entladeschlussspannung. Berlin. <http://www.chemie.de/lexikon/Entladeschlussspannung.html> (Recherche vom 09.03.2015)
- Kortenbrede, Martina: Lexikon Gasung. Münster Nienberge. <http://www.autobatterie.be/gasung.htm> (Recherche vom 09.03.2015)

15.3. Zitate

- Hallenga, U., & Schneider, R. (2014). Welcher Typ passt zu Ihnen? *Kleinwind Fachjournal*, S. 10.
- Legler, D. (2014). Was ich vor dem Bau der Anlage beachten muss. *Kleinwind Fachjournal*, S. 18-19.
- Schneider, R. (2014). Wirtschaftlichkeit. *Kleinwind Fachjournal*, S. 28.
- Schneider, R. (2014). Wirtschaftlichkeit. *Kleinwind Fachjournal*, S. 28.

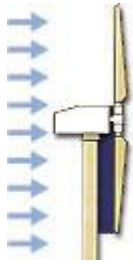
16. Anlagen

16.1. Anlage 1



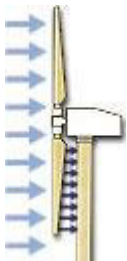
Quelle: Kluth, Peter: Auftriebsprinzip. Cuxhaven. <http://www.meschiffdorf.de/projekte/energie/bilder/windkraft3.jpg> (Recherche vom 13.03.15)

16.2. Anlage 2



Quelle: HEA –Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Leeläufer und Luvläufer. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 13.03.15)

16.3. Anlage 3



Quelle: HEA –Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.: Leeläufer und Luvläufer. Berlin. <http://www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm> (Recherche vom 13.03.15)

16.4. Anlage 4



Quelle: Academic: Darrieus-Rotor. Berlin 2014.

<http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/302855> (Recherche vom 13.03.15)

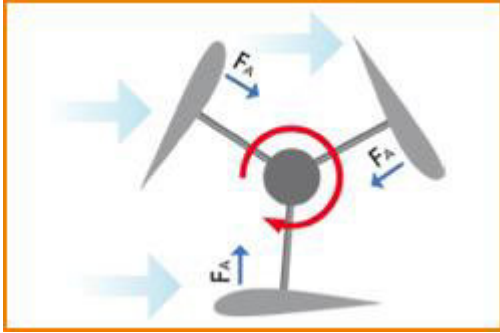
16.5. Anlage 5



Quelle: Academic: Darrieus-Rotor. Berlin 2014.

<http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/302855> (Recherche vom 13.03.15)

16.6. Anlage 6



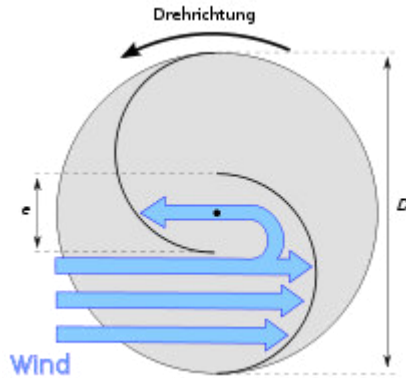
Quelle: Henle, Oliver: Unabhängigkeit der Windrichtung. Bad Buchau 2015.
<http://energy.franz-kessler.de/vertikale-windkraftanlagen/> (Recherche vom 13.03.15)

16.7. Anlage 7



Quelle: Hoffman, Simone: Savonius-Rotor. Hannover 2011.
<http://www.greendesert.eu/index.php?page=384> (Recherche vom 14.03.15)

16.8. Anlage 8



Quelle: Wikimedia Commons: File:Savonius-rotr-de.svg. 2011.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Savonius-rotor_de.svg (Recherche vom 14.03.15)

16.9. Anlage 9

$$\bar{v}_h = \bar{v}_{ref} \frac{\ln(h/z_0)}{\ln(h_{ref}/z_0)}$$

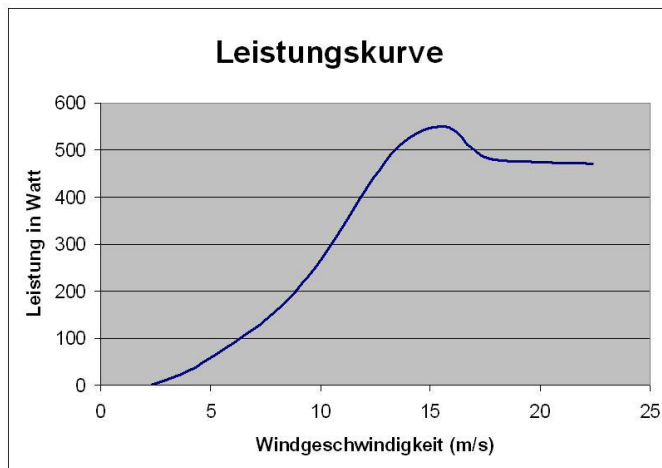
Quelle: Halbhuber, Winfried: Gesamtsystem Kleinwindkraft: Anlagenkonzepte – Ertragsoptimierung – Netzeinspeisung. Dipomica Verlag GmbH. Hamburg 2014. S. 99.

16.10. Anlage 10

Jahr der Inbetriebnahme	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Vergütung in Cent (für 20 Jahre bei Anlagen bis 50KW)	8,93	8,80	8,66	8,53	8,41	8,28	8,16	8,03	7,91	7,79

Quelle: Gehling, Matthias: Energiebedarf ermitteln. In: Kleinwind-Fachjournal. Nr. 1/2014. Berlin 2014. S. 7.

16.11. Anlage 11



Quelle: Moild, Stefan: Technisches. St.Pölten.

<https://kleinwindkraft.wordpress.com/technische-faktoren/> (Recherche vom 14.03.15)

16.12. Anlage 12

Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO)

§ 14 Nebenanlagen; Anlagen zur Nutzung solarer Strahlungsenergie und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

(1) Außer den in den §§ 2 bis 13 genannten Anlagen sind auch untergeordnete Nebenanlagen und Einrichtungen zulässig, die dem Nutzungszweck der in dem Baugebiet gelegenen Grundstücke oder des Baugebiets selbst dienen und die seiner Eigenart nicht widersprechen. Soweit nicht bereits in den Baugebieten nach dieser Verordnung Einrichtungen und Anlagen für die Tierhaltung, einschließlich der Kleintierhaltungszucht, zulässig sind, gehören zu den untergeordneten Nebenanlagen und Einrichtungen im Sinne des Satzes 1 auch solche für die Kleintierhaltung. Im Bebauungsplan kann die Zulässigkeit der Nebenanlagen und Einrichtungen eingeschränkt oder ausgeschlossen werden.

(2) Die der Versorgung der Baugebiete mit Elektrizität, Gas, Wärme und Wasser sowie zur Ableitung von Abwasser dienenden Nebenanlagen können in den Baugebieten als Ausnahme zugelassen werden, auch soweit für sie im Bebauungsplan keine besonderen Flächen festgesetzt sind. Dies gilt auch für fernmeldetechnische Nebenanlagen sowie für Anlagen für erneuerbare Energien, soweit nicht Absatz 1 Satz 1 Anwendung findet.

(3) Soweit baulich untergeordnete Anlagen zur Nutzung solarer Strahlungsenergie in, an oder auf Dach- und Außenwandflächen oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen innerhalb von Gebäuden nicht bereits nach den §§ 2 bis 13 zulässig sind, gelten sie auch dann als Anlagen im Sinne des Absatzes 1 Satz 1, wenn die erzeugte Energie vollständig oder überwiegend in das öffentliche Netz eingespeist wird.

Quelle: Dienstanbieter, im Sinne des TMG: Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch des Bundesministerium des Justiz und für Verbraucherschutz, vertreten durch den Bundesminister der Justiz und für Verbraucherschutz: Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) § 14 Nebenanlagen; Anlagen zur Nutzung solarer Strahlungsenergie und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Berlin 2013. http://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/__14.html (Recherche vom 14.03.15)

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt anderen Werken entnommen wurde, mit genauen Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Unterschrift des Verfassers der Facharbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Unterschrift des Verfassers der Facharbeit