



Fachhochschule  
Münster University of  
Applied Sciences



## Regionale Kleinwindkraftanlagen in der EUREGIO

Schlussbericht zum  
Forschungs- und Entwicklungsprojekt

Laufzeit: 01.01.2013 – 30.06.2014



Juni 2014

**Projektmanagement:**



[www.deutschland-nederland.eu](http://www.deutschland-nederland.eu)

**Co-Finanzierung durch:**



**Autoren:**

**Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter**, Fachhochschule Münster

**Dr.-Ing. Elmar Brüggling**, Fachhochschule Münster

**Jan Ortmann B.Eng.**, Fachhochschule Münster

**Philipp Wiggers B.Eng.**, Fachhochschule Münster

**Joke Emaus**, Regio Achterhoek

**Hajo Canter-Cremers**, CC-Advies

**Otto Willemsen**, Coöperatie Synprofect UA

**Frederik Wanink**, DNL-contact GmbH & Co KG

<b>INHALT</b>		<b>SEITE</b>
1	Einleitung	3
2	Kleinwindkraftanlagen	4
2.1	Grundlagen der Windenergienutzung	4
2.2	Typen und Bauarten	6
2.3	Zertifizierung	10
3	Standorte	13
3.1	Windmessungen	13
3.2	Vorhandene Datenquellen für die Standortwahl	15
3.3	Ertragsprognose	19
3.4	Grobe Potentialbestimmung im Projektgebiet	20
3.5	Windpotentialkataster	22
4	Technische Infrastruktur	24
4.1	Eingliederung in ein Smart Grid	25
4.2	Korrelation mit Solarenergie	26
5	Rechtliche Rahmenbedingungen	28
5.1	Situation in Deutschland	28
5.2	Situation in den Niederlanden	34
6	Kosten-Nutzen-Analyse	40
6.1	Faktoren für eine Kosten-Nutzen-Analyse	40
6.2	Beispielhafte Wirtschaftlichkeitsanalysen	41
6.3	Schlussfolgerungen aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung	49
6.4	Marktübersicht	50
6.5	Geeignete Technologie für das Projektgebiet	56
7	Implementierung und Potential	57
7.1	Einsatzbereiche Kleinwindkraftanlagen	57
7.1.1	Ansatzpunkte	57
7.1.2	Gründe für nachhaltige Energie	57
7.1.3	Zielgruppen	59

7.2	Was untersucht werden muss: Einstellung gegenüber kleinen Windanlagen	64
7.2.1	Beweggründe für Kleinwindkraftanlagen	64
7.2.2	Wann empfiehlt sich der Bau einer Kleinwindkraftanlage?	66
7.2.3	Einstellung der Zielgruppen in den Niederlanden und in Deutschland	66
7.2.4	Erste Feststellung: Gründe für eine Kleinwindkraftanlage	67
7.2.5	Empfehlung für weitere Untersuchungen	68
7.3	Was unternommen werden muss, um die bestmögliche Herangehensweise an die Zielgruppen zu finden	69
7.4	Potentieller Marktumfang/Anzahl	69
7.5	Ablaufplan zur Markteinführung von Kleinwindkraftanlagen	71
8	Zusammenfassung	73
9	Verzeichnisse	76
9.1	Literaturverzeichnis	76
9.2	Abbildungsverzeichnis	77
9.3	Tabellenverzeichnis	79
9.4	Abkürzungsverzeichnis	80
9.5	Formelzeichenverzeichnis	80

# 1 EINLEITUNG

Große Windkraftanlagen werden seit einigen Jahren insbesondere in Deutschland bevorzugt errichtet. Jedoch auch vor dem Windkraftboom in Deutschland und den Niederlanden wurde die im Wind enthaltene Energie bereits im kleineren Maßstab genutzt. Bekannt aus Film und Fernsehen sind beispielsweise die sogenannten Westernmills, einfache kleine Windkraftanlagen mit hoher Blattanzahl, die in den USA zum Pumpen von Grundwasser genutzt wurden und werden. Aber auch an anderen Orten ohne Stromanschluss, wie auf Segelschiffen oder Berghütten, sieht man schon seit längeren kleinen Windkraftanlagen.

Mit steigenden Strompreisen wird das Selbsterzeugen und -verbrauchen von Strom nun auch in gut erschlossenen Gebieten im privaten wie auch im gewerblichen Bereich interessant. Waren die letzten Jahre von Photovoltaik geprägt, so entdecken Eigenheimbesitzer und Unternehmen zunehmend die Kleinwindkraft für sich. Der Vorteil liegt auf der Hand: Wind weht meist dann, wenn die Sonne nicht scheint und umgekehrt. Vor allem spät abends und nachts kann man seinen Bedarf ebenfalls teilweise durch selbst erzeugten Strom decken. Jedoch ergeben sich prinzipbedingt ganz neue Hürden und Probleme, die es so bei Photovoltaikanlagen nicht gegeben hat.

Der vorliegende Bericht beleuchtet das Thema Kleinwindanlagen mit Fokus auf die grenznahe deutsch-niederländische Projektregion von allen Seiten, um diese Probleme zu identifizieren. Des Weiteren wird die grundsätzliche Eignung verschiedener Bauarten und Größen untersucht, sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht. Wichtige Aspekte sind die Genehmigungsverfahren sowie die Vergütungsstrukturen auf niederländischer sowie auf deutscher Seite. Im gesellschaftlichen Teil der Untersuchung werden Zielgruppen für Kleinwindanlagen identifiziert und anhand verschiedener Faktoren bewertet. Wichtige Rollen spielen neben Standort und Wirtschaftlichkeit auch Faktoren wie ein grünes Image, persönliche Überzeugung des Betreibers und die Umweltverträglichkeit der Installation.

Abschließend werden Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise zur Entwicklung von Kleinwindkraftanlagen in den Niederlanden und in Deutschland gegeben.

## 2 KLEINWINDKRAFTANLAGEN

### 2.1 Grundlagen der Windenergienutzung

Die Nutzung der im Wind vorhandenen Energie ist keine Erfindung der Neuzeit. Bereits im Altertum nutzten die Menschen Segel zum Vortrieb ihrer Schiffe und Windräder beispielsweise zum Pumpen von Wasser oder zum Mahlen von Korn, woher auch der heute noch oft allgemein gebräuchliche Begriff „Windmühle“ stammt.

Unter anderem durch steigende Energie- und Rohstoffkosten wurden Windkraftanlagen erst in den letzten Jahrzehnten für die Erzeugung von elektrischer Energie interessant. Um die Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können, wurde mit neuen Konstruktionen und aufwendigen Flügelprofilen versucht, die maximal mögliche Energie aus dem Wind zu gewinnen. Die theoretische Grundlage dafür geht auf Albert Betz zurück, der 1926 in seinem Buch „Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen“ [1] das Betz'sche Gesetz vorstellte. Nach Betz können maximal  $16/27$  bzw. ca. 59,3 % der im Wind enthaltenen Energie in Nutzleistung umgewandelt werden, da die Luft hinter der Windkraftanlage nicht auf null abgebremst werden kann, sondern noch eine bestimmte Restgeschwindigkeit aufweisen muss. In diesem Zusammenhang führte Betz den Gütefaktor, heute meist Leistungsbeiwert genannt, ein, welcher das Verhältnis von genutzter Leistung zur im Wind enthaltenen Leistung angibt.

$$c_p = \frac{P_{Nutz}}{P_0}$$

Heutige Großwindkraftanlagen erreichen bereits Leistungsbeiwerte um 50 %. Die elektrische Leistung, die dem Wind entnommen werden kann, berechnet sich mit

$$P = c_p \cdot \eta_{Reibung} \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{elektr} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Wobei  $P$  die elektrische Leistung der Anlage,  $c_p$  der Wirkungsgrad nach Betz,  $\eta_{Reibung}$  der Wirkungsgrad durch Strömungsverluste,  $\eta_{mech}$  der Wirkungsgrad der mechanischen Bauteile,  $\eta_{elektr}$  der Wirkungsgrad der elektrischen Bauteile,  $\rho$  die Dichte der Luft,  $A$  die überstrichene Fläche der Rotoren und  $v$  die Windgeschwindigkeit ist.

Da die Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz in die Gleichung eingeht, ist die Auswahl des Standortes für Windkraftanlagen der entscheidende Faktor. Aufgrund von durch Bebauung

und Vegetation erzeugten Bodeneffekten ist die Höhe der Anlage sehr wichtig, da die Windgeschwindigkeit mit jedem Meter weiter ansteigt. Hier liegt auch das Problem von Kleinwindanlagen, die definitionsgemäß nicht die Höhen der Großanlagen erreichen.

### **Definition „Kleinwindkraftanlage oder Kleinwindanlage“**

Der Begriff „Kleinwindkraftanlage oder Kleinwindanlage“ ist nicht einheitlich fest definiert. In Nordrhein-Westfalen definiert der Windenergie-Erlass vom 11.07.2011 diese anhand der Gesamthöhe der Anlage wie folgt:

*„Unter Kleinwindanlagen werden Anlagen unterhalb einer Anlagengesamthöhe von 50 m Höhe verstanden, die entsprechend der Regelungen der 4. BImSchV nicht unter die immissionsschutzrechtliche Genehmigungspflicht fallen.“ [2]*

Gemäß „Windenergieanlagen - Teil 2: Anforderungen für kleine Windenergieanlagen“ (IEC 61400-2) [3] sind Kleinwindkraftanlagen über die überstrichene Rotorfläche von weniger als 200 m<sup>2</sup> und einer generierten Spannung < 1.000 V AC bzw. < 1.500 V DC definiert. Diese Definition wird auch vom Bundesverband Kleinwindanlagen bevorzugt [4]. Eine Definition auf Basis der überstrichenen Fläche hat den Vorteil, dass das tatsächliche Windenergiepotential hergenommen wird. Die installierte Leistung bezeichnet nur die Größe des Generators, die nicht zwingend optimal sein muss.

Eine weitere gebräuchliche Definition ist die anhand der installierten Leistung. Dabei werden Mikro-, Mini und Mittelwindanlagen unterschieden (siehe Tabelle 2-1).

**Tabelle 2-1: Definition von Windkraftanlagen nach installierter Leistung [5]**

<b>Bezeichnung</b>	<b>Installierte Leistung</b>
<b>Mikrowindanlagen</b>	< 5 kW
<b>Miniwindanlagen</b>	5 kW bis < 30 kW
<b>Mittelwindanlagen</b>	30 kW bis 100 kW

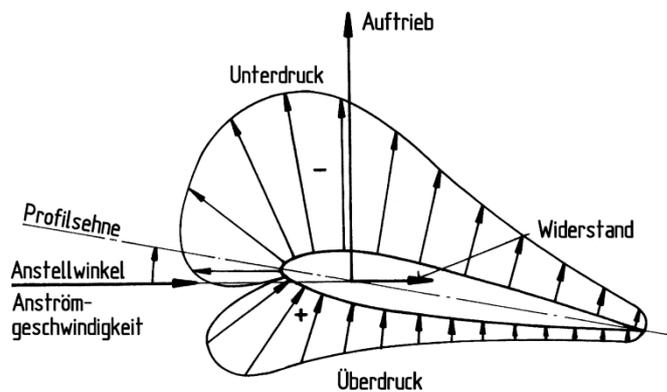
## 2.2 Typen und Bauarten

### Widerstands- und Auftriebsprinzip

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, die Energie des Windes in eine Drehbewegung umzusetzen: Mit dem Widerstandsprinzip oder dem Auftriebsprinzip. Beim Widerstandsprinzip drückt der Wind einen in den Weg eingebrachten Körper vor sich weg. Die von Werbetafeln vor Kiosken bekannten Savonius-Rotoren gehören beispielsweise zu diesem Typ. Der größte Teil der modernen Windkraftanlagen funktioniert jedoch zumindest teilweise nach dem Auftriebsprinzip. Die grundlegende Physik ist identisch mit der einer Flugzeugtragfläche: Ein das Profil anströmender Luftstrom  $v_w$  sowie der Fahrtwind  $u$  aus der Drehbewegung bewirken einen Druckunterschied zwischen den beiden Seiten des Profils, wodurch eine Auftriebskraft entsteht.

Die resultierende Auftriebskraft  $F_A$  lässt sich in die Tangentialkomponenten  $F_{AT}$ , welche das Antriebsmoment des Rotors bildet, sowie  $F_{AS}$ , welche den Rotorschub erzeugt, zerlegen.

Abbildung 2-1 illustriert anhand vereinfachter Formen die Wirkprinzipien von Widerstands- und Auftriebsläufer.



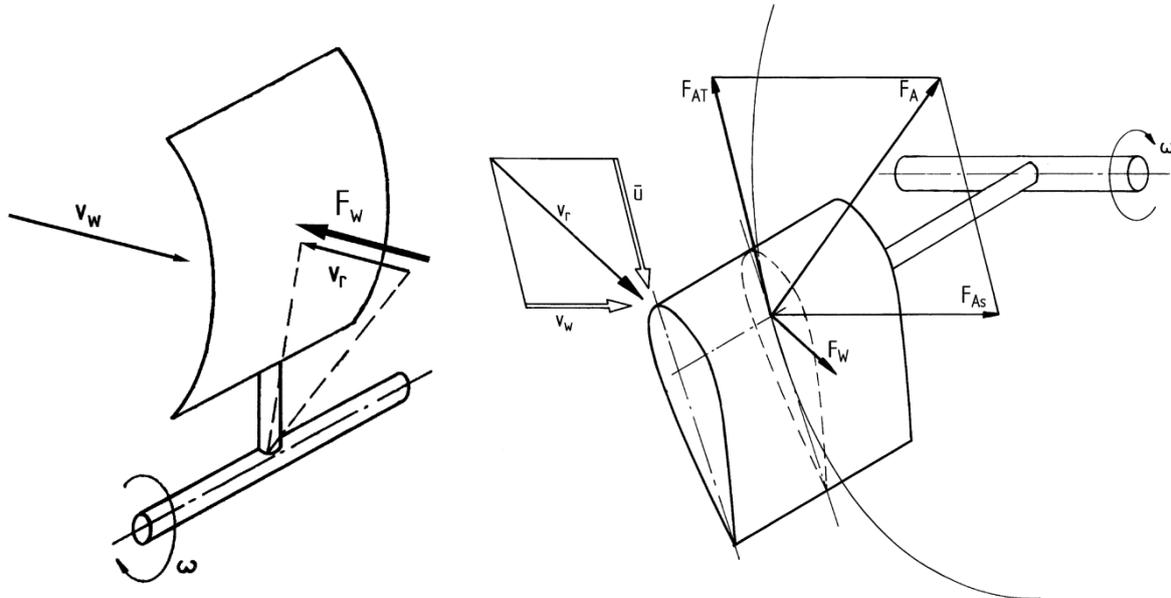


Abbildung 2-1: Wirkungsprinzip eines Widerstandsläufers (l.) und eines Auftriebsläufers (r.). [5]

Die mit Abstand meisten Horizontalläufer funktionieren nach dem Auftriebsprinzip.

## Horizontalläufer

Als Horizontalläufer bezeichnet man Windkraftanlagen mit horizontaler Achse. Diese funktionieren zum Großteil nach dem Auftriebsprinzip.

Horizontalläufer nach dem Propellerprinzip können immer nur Wind aus einer Richtung in eine Drehbewegung umsetzen, das heißt, sie müssen einer ändernden Windrichtung folgen (Azimut-Regelung/Windnachführung). Bei Großanlagen und großen Kleinwindanlagen geschieht dies mit Hilfe von aktiven Antrieben, bei Kleinwindanlagen kann dies auch passiv geschehen, beispielsweise durch eine Windfahne, ein Hilfswindrad oder durch eine Leeseitige Anordnung des Rotors (siehe Abbildung 2-2).



**Abbildung 2-2: Links: Windnachführung mit Windfahne (Quelle: Aldatec). Rechts: Windnachführung mit aktivem Antrieb (Quelle: Schaeffler)**

Optisch unterscheiden sich Horizontalläufer hauptsächlich durch die Blattanzahl. Grundsätzlich dreht eine Windanlage langsamer, je mehr Blätter vorhanden sind. Meist nimmt auch die Lautstärke mit zunehmender Drehzahl zu und der Leistungsbeiwert ab. Bei Großanlagen haben sich drei Blätter und bei Kleinwindanlagen zwei bis vier Blätter durchgesetzt.

Vorteil der horizontalen Bauart ist der hohe erreichbare Leistungsbeiwert von bis zu 0,5 bei Großanlagen, weshalb man dort fast ausschließlich auf Horizontalläufer setzt.

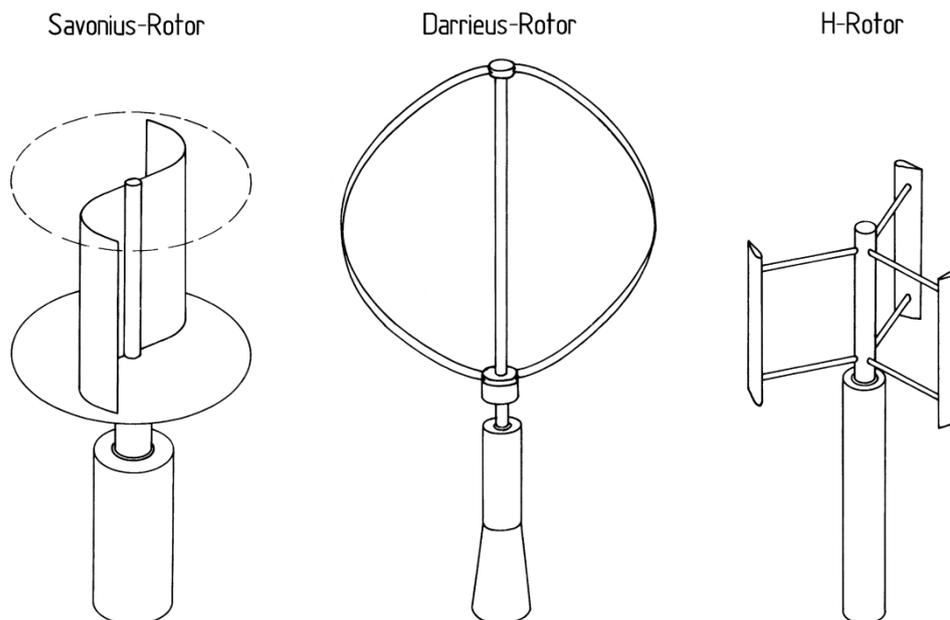
## **Vertikalläufer**

### **Darrieus-Rotoren**

Darrieus-Rotoren funktionieren wie auch die Horizontalläufer über den Auftrieb, mit dem Unterschied, dass die Flügelprofile nicht „propellerartig“, sondern in Kreisbögen und die Achse vertikal angeordnet sind (siehe Abbildung 2-3). Ein großer Vorteil dieser Bauart ist die Unabhängigkeit von der Windrichtung, da die Anlage nicht in den Wind gedreht werden muss. Darrieus-Rotoren spielen deswegen gerade an Standorten mit stark wechselnden Windrichtungen und starken Turbulenzen ihre Stärken aus. Aus dieser Eigenart ergibt sich auch der größte Nachteil: Ein Teil des Rotors läuft gegen den Wind bzw. wird ungünstig angeströmt, sodass der Leistungsbeiwert im Vergleich zu Horizontalläufern mit bis zu 0,4 geringer ausfällt und die Anlagen nicht von selbst anlaufen können. Des Weiteren können aufgrund der unterschiedlichen Anströmbedingungen nicht die optimalen Flügelprofile verwendet werden, wodurch ebenfalls Leistung verloren geht. Auch an den Generator werden wegen der geringeren Schnelllaufzahl gegenüber Horizontalläufern erhöhte Anforderungen gestellt. Es existieren

mittlerweile viele verschiedene Formen und Varianten, die diese Probleme teilweise lösen sollen, häufig aber wieder andere Nachteile mit sich bringen. [5]

Es gibt nur wenige Darrieus-Rotoren als Großanlagen. Als Kleinwindkraftanlage sind sie jedoch wegen ihrer Eigenschaften in turbulenteren Strömungen und der geringeren Umwelteinwirkungen durch Schall sehr verbreitet.



**Abbildung 2-3: Verschiedene Rotorformen bei Windkraftanlagen mit vertikaler Achse. [5]**

### **H-Darrieus-Rotoren**

H-Darrieus-Rotoren sind eine Spezialform der Darrieus-Bauweise. Die Flügel sind dabei nicht halbkreisförmig an der Welle angebracht, sondern werden senkrecht über Haltestreben mit dieser verbunden (siehe Abbildung 2-3). Vor- und Nachteile sind ähnlich wie bei dem klassischen Darrieus-Rotor. Ein großer Vorteil ist jedoch, dass das Profil über die gesamte Länge gleich schnell angeströmt wird und so nachteilige Effekte vermindert werden können.

### **Savonius-Rotoren**

Savonius-Rotoren bestehen aus zwei schaufelförmigen Flügeln, die entgegengesetzt angeordnet sind und sich teilweise überlappen (siehe Abbildung 2-3). Aufgrund ihrer Natur als Widerstandsläufer beträgt die Schnelllaufzahl maximal 1,5. Der Leistungsbeiwert erreicht mit maximal 0,25 gerade einmal die Hälfte des Wertes großer Horizontalläufer.

Savonius-Rotoren werden wegen ihrer kleinen Drehzahl und des geringen Leistungsbeiwerts selten für die Stromerzeugung eingesetzt, sondern eher für Anwendungen, bei denen es auf

diese beiden Faktoren nicht so sehr ankommt. Als Beispiel sei die Anwendung zur Belüftung, als Wasserpumpe oder Werbeträger genannt. Man findet sie häufig vor oder an Kiosken. Seltener findet man die Rotoren als Anlaufhilfe für größere Darrieus-Rotoren.

Savonius-Rotoren können theoretisch auch als Horizontalläufer konzipiert werden, jedoch geht damit der größte Vorteil – die Unabhängigkeit von der Windrichtung – verloren.

## Luv- und Leeläufer

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Windanlagen ist die Ausrichtung des Rotors. Heute dominieren Luvläufer, das heißt der Rotor läuft in Windrichtung vor dem Turm. Leeläufer erzeugen durch den Gang durch den Windschatten des Turms mehr Lärm und sind deswegen nachteilig. Derselbe Effekt bewirkt auch starke Materialbelastungen. Vorteil der Leeläufer ist, dass eine passive Windnachführung möglich ist. Dies wird bei kleinen Windkraftanlagen auch ausgenutzt und spart somit Kosten. [6]

## Sonderformen

Es gibt viele Ideen, die Energieausbeute bei Windkraftanlagen zu erhöhen. Dazu gehören beispielsweise die Einhausung der Rotoren (siehe Abbildung 2-4). Solche Bauarten konnten sich bisher jedoch noch nicht durchsetzen.

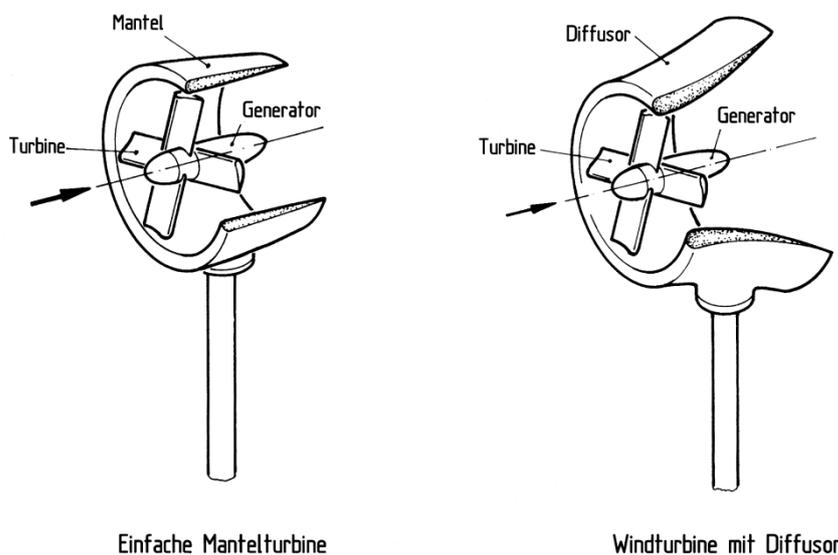


Abbildung 2-4: Windrotoren mit Baugruppen zur Konzentration der Windenergie. [3]

## 2.3 Zertifizierung

Viele Hersteller von Kleinwindanlagen ermitteln die Leistungskurve unter schwer nachvollziehbaren Bedingungen und auch die Konstruktion an sich ist meist nicht unabhängig geprüft

und bewertet worden. Es gibt jedoch die Möglichkeit für Hersteller, Typen zertifizieren zu lassen.

Zertifizierungsverfahren sind beispielsweise:

- IEC 61400-2 (International Electrotechnical Commission)
- MCS 006 (Microgeneration Certification Scheme)
- AWEA Standard 9.1 (American Wind Energy Association) (siehe Abbildung 2-5)



**Abbildung 2-5: Zertifikate für Kleinwindanlagen [Quellen: [iec.ch](http://iec.ch), [microgenerationcertification.org](http://microgenerationcertification.org), [smallwindcertification.org](http://smallwindcertification.org)]**

Zum Zertifizierungsverfahren nach IEC 61400-2 gehören die Bewertung der Konstruktion, die Prototypenmessung (Sicherheit/Funktion, Messung Leistungsverhalten, Dauerprüfung, sonstige Prüfung), die Bewertung der Herstellung sowie optional die Bewertung der Fundamentkonstruktion und die Messung der charakteristischen Eigenschaften. Dieses Verfahren ist auch das einzige international anerkannte Verfahren. MCS 006 ist im Vereinigten Königreich und AWEA Standard 9.1 in den Vereinigten Staaten von Amerika beheimatet, führt jedoch auch hierzulande zu einer gewissen Sicherheit und Vertrauen, da nach spezifischen Regeln geprüft wurde. MCS 006 und AWEA Standard 9.1 prüfen jedoch nur die Anlage selbst, nicht Konstruktion/Design und Sicherheit.

Bisher sind allerdings nur wenige Modelle tatsächlich zertifiziert. Eine hohe Zertifizierungsrate besteht z.B. bei Herstellern aus dem Vereinigten Königreich, da sie dort Voraussetzung für das Erhalten einer Förderung ist. Speziell die Zertifizierung nach IEC 61400-2 ist allerdings sehr kostenintensiv, wodurch sie gerade für neue Marktteilnehmer mit geringen Absatzzahlen nicht finanzierbar ist. Eine Vereinfachung und Kostenreduktion des Verfahrens könnte mehr Sicherheit und Klarheit in den Markt bringen.

Grundsätzlich unterliegen Kleinwindanlagen im europäischen Wirtschaftsraum der allgemeinen Produktsicherheit und den CE-Richtlinien. Letztere sind eine Voraussetzung für das Inverkehrbringen von Produkten im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR). Das CE-

Zeichen gibt jedoch keinen Aufschluss über die Leistungsfähigkeit der Anlage und die Zuverlässigkeit der Kenndaten.

## 3 STANDORTE

Der bei der Standortfrage entscheidende Faktor, ist der Wind. Wichtigster Kennwert ist die mittlere Windgeschwindigkeit, mit dessen Hilfe eine einfache Ertragsprognose möglich ist. Genauer wird es mit feineren Messwerten, die unmittelbar am geplanten Standort oder von einer benachbarten Wetterstation erhoben werden. In diesem Kapitel wird auf die unterschiedlichen Quellen für Messwerte und deren Verwendung eingegangen sowie eine Beurteilung des Projektgebietes vorgenommen.

### 3.1 Windmessungen

Eigene Windmessungen am geplanten Standort sind die zuverlässigste Methode, einen Eindruck von den Windverhältnissen vor Ort zu erhalten. Es gibt diverse einfache Systeme für ca. 100 € und genauere, robustere Messgeräte für 500 € aufwärts bei Fachhändlern. Professionelle Systeme können auch teilweise bei Händlern bzw. Herstellern von Kleinwindanlagen gegen Gebühr ausgeliehen, bzw. das komplette Messprogramm von einem Dienstleister durchgeführt werden. Bei der Dauer der Messung gilt: Je länger, desto besser. Ein ganzes Jahr liefert eine gute Datengrundlage für eine Ertragsprognose, jedoch können auch wenige Monate schon ausreichen, wenn Vergleichsdaten vorhanden sind (Kapitel 3.3), eine Messung von weniger als 6 Monaten ist aber nicht zu empfehlen.

#### Messtechnik

Im Rahmen des Projektes werden an ausgewählten Standorten eigene Windmessungen durchgeführt. Für die Messungen kommt das System PCE-WL 2 der Firma PCE Deutschland GmbH, eine Kombination aus Anemometer, Windfahne, Temperatursensor und Datenlogger, zum Einsatz. Das Messgerät ist auf einem Mast 2,5 m über dem Dach angebracht und misst somit auf Nabenhöhe einer eher kleinen Anlage. Der Datenlogger zeichnet

- Windrichtung in Grad
- Windgeschwindigkeit in m/s
  - Durchschnitt
  - Standardabweichung
  - Maximum
- Temperatur in °C

als Minuten-, 10-Minuten oder Stundenwerte auf. Die Daten werden auf einer SD-Karte im CSV-Format gespeichert, sodass ein einfaches Auslesen ermöglicht wird.

## Standorte der Messungen

Für die Messungen wurden die Gebäude der Fachhochschule Münster in Steinfurt und der Regio Achterhoek in Doetinchem ausgewählt. Die Fachhochschule Münster liegt am Rand von Steinfurt in einem Wohngebiet, welches hauptsächlich mit Einfamilienhäusern bebaut ist. In Hauptwindrichtung (Süd bis West) befinden sich in erster Linie Felder, Wallhecken und landwirtschaftliche Betriebe. Auf dem Dach befinden sich für diese Art Gebäude typische Hindernisse wie Gerüste, Teile der Gebäudeklimatisierung und eine solarthermische Anlage, die Hauptwindrichtung ist jedoch hindernisfrei. Das Gebäude der Regio Achterhoek befindet sich zentral in Doetinchem und ist mit seinen fünf Stockwerken etwa so hoch wie die umgebende Stadtbebauung. In Hauptwindrichtung befinden sich keine Hindernisse auf dem Dach, in einer Richtung erhebt sich jedoch noch ein weiteres Stockwerk. Abbildung 3-1 zeigt die Messeinrichtung am Messstandort.

**Tabelle 3-1: Aufstellorte für eigene Windmessungen**

Ort	Gebäudetyp	Umgebung
<b>Fachhochschule Münster</b>	Öffentliches Gebäude, 2 Stockwerke Flachdach	<b>N, O, S:</b> Wohngebiete, max. 3 Stockwerke <b>W:</b> Felder und Wallhecken
<b>Regio Achterhoek</b>	Bürogebäude, 5 Stockwerke, Flachdach	In allen Richtungen städtische Umgebung, max. 5 Stockwerke



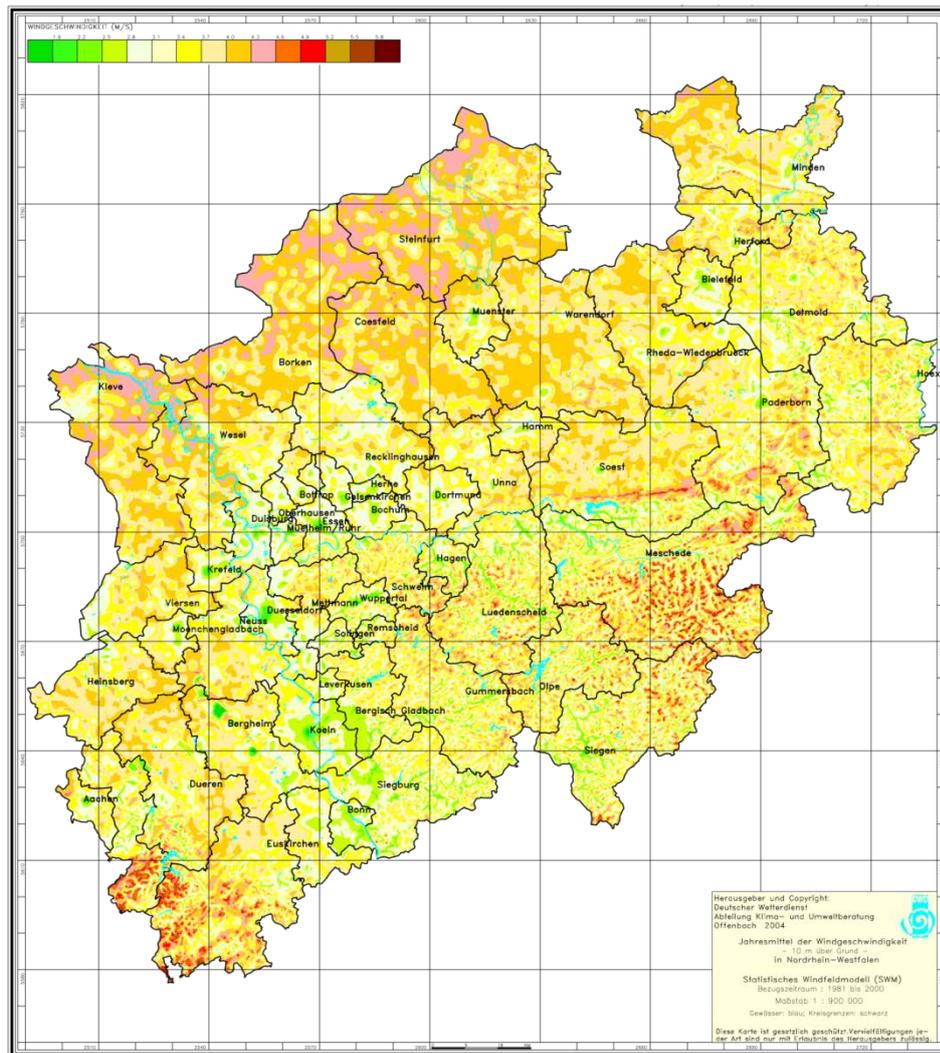
**Abbildung 3-1: Windmessungen auf dem Dach der Fachhochschule Münster (l.) und der Regio Achterhoek (r.)**

### **3.2 Vorhandene Datenquellen für die Standortwahl**

Falls sofort ohne langfristige Messungen Prognosen erstellt werden sollen, können auch vorhandene Datenquellen zu brauchbaren Ergebnissen führen.

#### **Wetterdienste**

Wetterdienste wie der Deutsche Wetterdienst (DWD) haben umfangreiche Datensammlungen aus eigenen Wetterstationen, die teilweise als Windkarten zur Verfügung gestellt werden. Abbildung 3-2 zeigt eine Karte des Deutschen Wetterdienstes, in der die mittleren Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe dargestellt sind. Derartige Karten können jedoch keine Messungen ersetzen, und sollten nur für eine erste Beurteilung des Standortes genutzt werden.



**Abbildung 3-2: Windkarte 1981-2000 Nordrhein-Westfalen (10 Meter) des Deutschen Wetterdienstes [Quelle: Deutscher Wetterdienst]**

Falls eine Wetterstation in der Nähe des potentiellen Standortes existiert, können auch diese Werte verwendet werden. Bei kommerziellen Stationen sind diese Daten meist kostenpflichtig und werden häufig als Paket für Windenergieprognosen angeboten. Es gibt jedoch auch viele Hobby-Meteorologen, bei denen man nach Daten fragen kann. Für Deutschland können professionelle Daten bezogen werden

- vom **Deutschen Wetterdienst** (<http://www.dwd.de/windenergie>)
  - Aufbereitete Messwerte einzelner Stationen
  - Mittlere Windgeschwindigkeiten in 200 mm-Rastern für beliebige Höhen zwischen 10 m und 100 m
  - Parameter zur Berechnung der Windgeschwindigkeitsverteilung
  - Windkarten (in 10 m und 80 m Höhe; kostenlos)

- von der **MeteoGroup Deutschland GmbH**  
(<http://www.meteogroup.com/de/de/branchen/energie/erneuerbare-energien/produkte.html>)
  - Kundenspezifische Wetterkarten
  - Standortbewertung basierend auf klimatologischen Daten und historischen Messwerten. Kundenspezifische Aufbereitung der Daten
  - Leistungsprognosen auf Basis von Vorhersagedaten (bis zu 14 Tage im Voraus)

### Umrechnung von Messwerten auf andere Höhen

Falls die Höhe, in der die Messwerte erhoben wurden, nicht der Höhe der geplanten Kleinwindanlage entspricht, ist eine Umrechnung der Daten möglich. Eine Anpassung der Höhe (bei Wetterstationen in der Regel 10 m) kann mittels der logarithmischen Höhenformel

$$v(z) = v_r \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

erfolgen, wobei  $v_r$  die Referenzwindgeschwindigkeit,  $z_r$  die Referenzhöhe,  $z$  die Zielhöhe und  $z_0$  die Rauigkeitslänge (siehe Tabelle 3-2) ist. Die Ergebnisse sind jedoch nur als Richtwert zu verstehen, da vor allem in eher rauen Gebieten lokale Hindernisse wie Bäume und Gebäude deutlich stärkere Auswirkungen auf den Wind haben als eine Höhenänderung.

Beispiel: An einer Wetterstation, welche sich in einem Gebiet mit vielen Wallhecken und kleinen Wäldchen befindet, ist in einer Höhe von  $z_r = 10 \text{ m}$  eine mittlere Windgeschwindigkeit von  $v_r = 3,44 \text{ m/s}$  gemessen worden. Dies sind die Referenzwerte für die Berechnung. In unmittelbarer Umgebung soll eine Kleinwindanlage mit einer Nabenhöhe (Zielhöhe) von  $z = 20 \text{ m}$  installiert werden. Aus Tabelle 3-2 wird der Wert  $z_0 = 0,2$  für ein Gelände mit vielen Bäumen und/oder Büschen ausgewählt. Mit oben genannter Formel ergibt sich in der Höhe von 20 m eine mittlere Windgeschwindigkeit von

$$v(z) = 3,44 \text{ m/s} * \frac{\ln\left(\frac{20\text{m}}{0,2\text{m}}\right)}{\ln\left(\frac{10\text{m}}{0,2\text{m}}\right)} = 4,05 \text{ m/s}$$

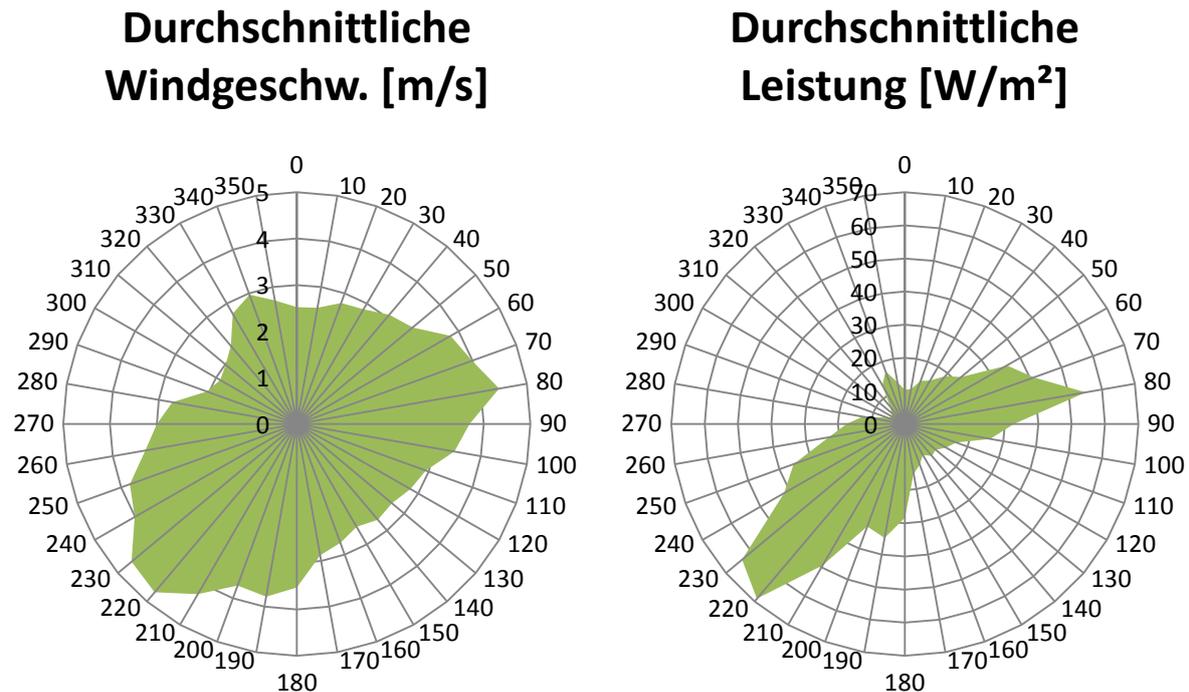
In diesem Beispiel ist die mittlere Windgeschwindigkeit in 20 m Höhe 0,61 m/s oder 18 % höher als in 10 m Höhe.

**Tabelle 3-2: Rauigkeitslängen für die Umrechnung von Windgeschwindigkeiten in anderen Höhen. Nach [5]**

<b>z<sub>0</sub> [m]</b>	<b>Typen von Geländeoberflächen</b>
<b>1,0</b>	Stadt
<b>0,5</b>	Vorstädte
<b>0,3</b>	Bebautes Gelände
<b>0,2</b>	Viele Bäume und/oder Büsche
<b>0,1</b>	Landwirtschaftliches Gelände mit geschlossenem Erscheinungsbild
<b>0,05</b>	Landwirtschaftliches Gelände mit offenem Erscheinungsbild
<b>0,03</b>	Landwirtschaftliches Gelände mit sehr wenigen Gebäuden/Bäumen
<b>0,01</b>	Flughäfen, Start- und Landebahn
<b>0,005</b>	Blanke Erde (glatt)
<b>0,001</b>	Schneeoberfläche (glatt)
<b>0,0003</b>	Sandoberfläche (glatt)
<b>0,0001</b>	Wasserflächen (Seen, Fjorde und das Meer)

### **Wetterstation der Fachhochschule Münster**

Als Datenquelle steht die Wetterstation des Fachbereichs Energie • Gebäude • Umwelt der Fachhochschule Münster zur Verfügung. Die Station befindet sich auf dem Campus Steinfurt (52° 08' 31" N, 07° 19' 14" E) auf 75 m über Normalnull (NN) und ist in das Messnetz der MeteoGroup Deutschland GmbH integriert. Nach meteorologischem Standard werden hier Windrichtung und –geschwindigkeit zweidimensional in 10 m Höhe erfasst und aufgezeichnet. Am Beispiel des Jahres 2013 lässt sich sehr gut erkennen, aus welchen Richtungen der Wind hauptsächlich kam, und aus welcher Richtung die größte Windleistung zu erwarten ist. In Abbildung 3-3 lässt sich gut erkennen, dass die Hauptwindrichtungen an diesem Standort Süd-West sowie Ost-Süd-Ost sind. Unter Berücksichtigung des Energiegehaltes wird diese Ausprägung noch verstärkt. Die Aussage einer solchen Auswertung ist – unter der Voraussetzung, dass die Wetterstation von allen Seiten frei angeströmt wird – dass bei der Aufstellung einer Kleinwindanlage in der Nähe der Wetterstation insbesondere Hindernisse in Hauptwindrichtung vermieden werden sollten, da aus diesen die mit Abstand größten Erträge erwartet werden.



**Abbildung 3-3: Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit (l.) und die durchschnittliche Leistung des Windes (r.) in Abhängigkeit von der Windrichtung an der Fachhochschule Münster Standort Steinfurt**

Die mittlere Windgeschwindigkeit lag im Jahr 2013 bei 3,44 m/s auf Messhöhe, was einer extrapolierten mittleren Windgeschwindigkeit von 4,12 m/s auf 20 m Höhe entspricht (logarithmische Höhenformel;  $z_0 = 0,3$  für bebauten Gelände). Im Vergleich mit der Karte in Abbildung 3-2 zeigt sich, dass der Wert für den Rand einer Stadt durchaus im langjährigen Mittel liegt.

Da der Standort nur gut 200 m von der Messstelle auf dem Dach der Fachhochschule Münster entfernt ist, eignen sich die Daten beider Messstellen auch für einen Vergleich. Dadurch können außerdem Schlüsse gezogen werden, wie stark der Einfluss des Daches grundsätzlich auf den Wind ist.

### 3.3 Ertragsprognose

Für die Ertragsprognose stehen umfangreiche Hilfsmittel in Form von Rechnern und Tabellenkalkulationen zur Verfügung. Eine recht übersichtliche Tabellenkalkulation bietet der Small Wind Turbine Yield Estimator des Fraunhofer-Instituts für Windenergie & Energiesystemtechnik (IWES) [7], in den man die Wind- und Anlagendaten sowie Rahmenparameter einsetzt und recht ausführliche Ergebnisse erhält. Die Winddaten können hierbei aus jeder der

o.g. Quelle stammen, solange diese auf den exakten Standort angepasst sind (Höhe und Häufigkeitsverteilung).

Einen weiteren, einfach zu bedienenden Kalkulator speziell für Kleinwindanlagen findet man auf dem Portal [www.klein-windkraftanlagen.com](http://www.klein-windkraftanlagen.com) [8]. Hier kann auf vordefinierte Standorte aus ganz Deutschland und verschiedenen Anlagentypen zurückgegriffen werden, um einen Eindruck von der Amortisationszeit zu erhalten.

Häufig – gerade bei größeren Anlagen – übernimmt die Ertragsprognose der Händler bzw. Hersteller, dabei ist jedoch auf jeden Fall eine Plausibilitätsprüfung vorzunehmen.

### **3.4 Grobe Potentialbestimmung im Projektgebiet**

Um abschätzen zu können, welchen Beitrag Kleinwindanlagen für die zukünftige Energieversorgung leisten können, ist zunächst eine grobe Potentialbestimmung notwendig. Dabei wird auf Daten der Katasterämter zurückgegriffen, speziell auf Angaben zu Gebäudezahlen und Flächen kategorisiert nach Nutzungsart. Auf Basis dieser Daten werden Szenarien für einen Ausbaugrad von Kleinwindanlagen angenommen. Windbedingungen werden in dieser Betrachtung explizit nicht berücksichtigt, es wird allein die installierte Leistung betrachtet. Im Folgenden wird am Beispiel des Kreises Steinfurt eine derartige Betrachtung vorgenommen.

#### **Kreis Steinfurt**

Das Katasteramt des Kreises Steinfurt hat Daten bezüglich Anzahl der Gebäude und genutzter Fläche mit Unterscheidung von Wohnbebauung, Industrie-/Gewerbebebauung und landwirtschaftlicher Bebauung zur Verfügung gestellt. Insgesamt sind im Kreis Steinfurt rund 113.500 Wohngebäude, 21.600 Gebäude im Bereich Industrie und Gewerbe und 4.600 landwirtschaftliche Gebäude (bei Berücksichtigung von Nebengebäuden sind es insgesamt 34.000 landwirtschaftliche Gebäude) registriert. Mit Hilfe des Flächenbedarfs der jeweiligen Nutzungsart wird die Gebäudedichte ermittelt (Tabelle 3-3). Dabei muss jedoch beachtet werden, dass im Flächenbedarf keine öffentlichen Flächen wie Straßen, Wege, Grünflächen, Gemeindebedarf etc. enthalten sind, die Gebäudedichte also nur die privaten Grundstücke berücksichtigt.

Dennoch entspricht dieser Wert für Wohngebäude ungefähr den Kennzahlen zur Siedlungstypologie nach Blesl [9] mit Gebäudedichten zwischen 900 und 2.000 Gebäuden pro km<sup>2</sup> für in der untersuchten Region typische Siedlungstypologien. Für Industrie- und Gewerbegebiete sowie landwirtschaftliche Gebäude liegen keine weiteren Angaben vor.

**Tabelle 3-3: Gebäudestruktur im Kreis Steinfurt [Quelle: Katasteramt Kreis Steinfurt]**

	Anzahl Gebäude [1]	Flächenbedarf [km <sup>2</sup> ]	Gebäudedichte [1/km <sup>2</sup> ]
<b>Wohnen</b>	113.500	85,7	1.324
<b>Industrie/Gewerbe</b>	21.600	16,1	1.340
<b>Landwirtschaft (inkl. Nebengebäude)</b>	4.600 (34.000)	40,5	114 (840)

Grundannahmen für die Berechnungen sind folgende:

- Für Wohngebäude wird eine maximale Ausbaquote von 10 % angenommen, was einer Anzahl von 132 Kleinwindanlagen pro Quadratkilometer entspricht, wobei die Anzahl in Vororten höher, in Dorfkernen etwas geringer ausfallen dürfte.
- In Industrie- und Gewerbegebieten wird aufgrund der Größenunterschiede der Gebäude eine Dichte von 50 Kleinwindanlagen pro Quadratkilometer geschätzt.
- Bei landwirtschaftlichen Betrieben wird auf die Anzahl von der Landwirtschaftszählung 2010 in Höhe von 2.791 Betrieben zurückgegriffen und eine maximale Ausbaquote von 50 % (1.395 Kleinwindanlagen) angenommen, da gerade hier die Rahmenbedingungen für Kleinwindanlagen sehr vorteilhaft sind.

Die durchschnittliche Anlagengröße soll für diese Betrachtung

- auf/an Wohngebäuden 1,0 kW
- auf/an Industrie- und Gewerbegebäuden 5,0 kW
- auf/an landwirtschaftlichen Betrieben 10 kW

betragen.

Das Ergebnis der Grobpotentialbestimmung für den Kreis Steinfurt (Tabelle 3-4) ergibt eine maximal installierte Gesamtleistung von ca. 43 MW, was rund 15-20 großen Windkraftanlagen der 2-3 MW-Klasse entspricht. Zum Vergleich: Anfang 2014 sind im Kreis Steinfurt 235 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von 278 MW<sub>p</sub> gemeldet. Bei 1.650 Jahresvolllaststunden [10] bedeutet dies einen Ertrag durch die Kleinwindanlagen von ca. 70.950 MWh/a. Bei einem Verbrauch von 2.936.000 MWh/a ließen sich damit 2,4 % des Strombedarfs des Kreises Steinfurt decken. [11]

**Tabelle 3-4: Ergebnis der Grobpotentialschätzung für den Kreis Steinfurt**

	Anlagendichte	Gesamtzahl Anlagen	Durchschn. Anlagengröße	Installierte Leistung
<b>Wohngebäude</b>	10 % der Gebäude	11.349	1 kW	11.3 MW
<b>Industrie-/Gewerbegebäude</b>	50 Anlagen pro km <sup>2</sup>	806	5 kW	4.0 MW
<b>Landwirtschaftliche Betriebe</b>	50 % der Betriebe	1.395	10 kW	27.9 MW
<b>Summe</b>	-	<b>13.550</b>	-	<b>43.2 MW</b>

### 3.5 Windpotentialkataster

Der an einem Standort vorherrschende Wind stellt den wichtigsten Faktor für die Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindanlage dar. Steht ein Standort fest, gibt es nur wenige Möglichkeiten, diesen Parameter zu beeinflussen. Den größten Einfluss hat die Höhe der Anlage. Zusätzlich zur Gebäudehöhe kann ein höherer Mast den Ertrag positiv beeinflussen, jedoch sind dem häufig genehmigungsrechtliche Grenzen gesetzt (siehe Kapitel 5).

Um den Fokus auf Gebäude mit einer absoluten Mindesthöhe oder einer Mindesthöhendifferenz gegenüber den umliegenden Gebäuden für eine Potentialanalyse zu setzen, eignet sich eine Karte, in der die Gebäudehöhen, Gebäudetypen und das Landschaftsprofil eingezeichnet sind. Abbildung 3-4 zeigt exemplarisch eine Karte mit Stockwerkzahlen von Gebäuden.

Mithilfe dieser Informationen lassen sich schnell Gebäude identifizieren, die für ein bestimmtes Gebiet besonders geeignet sind. Im Falle der Abbildung 3-4 wären beispielsweise Windmessungen auf den fünf Gebäuden mit drei Stockwerken interessant.



## **4 TECHNISCHE INFRASTRUKTUR**

### **Integration in die Gebäudeinfrastruktur**

Die Integration in die Gebäudeinfrastruktur geschieht grundsätzlich wie bei Photovoltaikanlagen. Die größten Unterschiede bestehen in der Vielzahl an Ausgangsparametern (Frequenz, Stromstärke, Spannung, AC/DC) von Kleinwindanlagen und einem anderen Erzeugungsprofil, wobei ersteres die Auswahl an Reglern und Wandlern stark einschränken kann. Die tatsächlich benötigte Ausrüstung ist zudem abhängig von der Art der Nutzung.

### **Netzeinspeisung**

Analog zu Photovoltaikanlagen lässt sich der selbst erzeugte Windstrom in das öffentliche Stromnetz einspeisen. Die Anforderungen sind dieselben wie bei Photovoltaikanlagen, jedoch sollte aus Gründen der Wirtschaftlichkeit darauf geachtet werden, einen besonders hohen Anteil des Stroms selbst zu verbrauchen, da die Einspeisevergütung mit ca. 4 bis 6 ct/kWh in den Niederlanden und rund 9 Cent/kWh in Deutschland sehr gering ist. Der Eigenverbrauchsanteil kann durch Batteriesysteme erhöht werden, diese erhöhen jedoch auch die Investitionskosten. Ob sich ein derartiges System rentiert, muss im Einzelfall überprüft werden. In den Niederlanden ist ein hoher Eigenverbrauch durch Saldieren einfacher zu erreichen. Bis zu 10.000 kWh Strombedarf können direkt mit einer Erzeugungsanlage verrechnet werden. Dadurch werden Stromkosten für 10 Jahre vermieden sowie ein Rabatt von 7,5 cent/kWh auf die Stromsteuer gewährt. Seit 01.01.2014 ist diese Saldierung sogar innerhalb von PLZ-Gebieten sowie deren unmittelbar angrenzenden Gebieten möglich.

### **Inselbetrieb**

Klassischen Inselbetrieb findet man in der Regel an abgelegenen Orten, an denen der Anschluss an das öffentliche Netz unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würde. Dies ist beispielsweise bei Forschungsstationen oder Berghütten der Fall. Unter derartigen Umständen ist es sinnvoll, ein gebäudeinternes Dreh-/Wechselstromnetz mit eigenen Erzeugungseinheiten zu betreiben. Neben Kleinwindanlagen können dies z.B. eine Photovoltaik-anlage und ein Dieselaggregat als Notversorgung sein. Ein Batteriespeicher überbrückt Zeiten ohne Sonneneinstrahlung oder Wind. Solch ein System bietet sich jedoch aufgrund der hohen Kosten nicht für eine Kleinwindanlage an, die sich in erschlossenem Gebiet befindet.

## 4.1 Eingliederung in ein Smart Grid

Smart Grids und Smart Meter werden als ein elementarer Bestandteil der Energiewende angesehen. Als Smart Grids werden Netze bezeichnet, die alle angeschlossenen Nutzer (Erzeuger, Verbraucher, Speicher) miteinander vernetzen und intelligent koordinieren, um die Effizienz, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit des gesamten Systems – insbesondere bei hohem Anteil dezentraler Erzeuger – zu erhöhen.

Kleinwindanlagen können auch in ein derartiges Netz integriert werden, wenn die Anlagenkennwerte dem Netzbetreiber bekannt sind, was bei Netzparallelbetrieb ohnehin der Fall ist. Zur intelligenten Koordinierung gehört jedoch eventuell auch das zeitweise Abschalten von Erzeugungsanlagen, wenn zu viel Strom erzeugt wird. Der Aufbau und Betrieb von Smart Grids ist Aufgabe der Netzbetreiber, weshalb hierauf nicht weiter eingegangen wird.

Sehr wohl spielen für den Betreiber einer Kleinwindanlage Smart Home und Smart Building Systeme (Gebäudeautomation) eine Rolle, welche den Energiefluss innerhalb eines Gebäudes koordinieren und zur Erhöhung des Eigenverbrauchanteils beitragen (siehe Abbildung 4-1).



**Abbildung 4-1: Möglicher Aufbau eines Smart Home Systems [Quelle: SMA Solar Technology AG]**

Neben der Gebäudeklimatisierung ist auch ein von der Stromerzeugung oder dem Strompreis abhängiger Betrieb von Elektrogeräten über dieses System denkbar. Beispielsweise können Gefrierschränke bei hoher Stromerzeugung unterkühlt werden, sodass in Zeiten geringer Erzeugung kein Strom vom Versorgungsunternehmen bezogen werden muss. Eine weitere Möglichkeit ist der kontrollierte Betrieb von Wärmepumpen, da Wärmespeicher häufig ohnehin schon vorhanden sind.

## 4.2 Korrelation mit Solarenergie

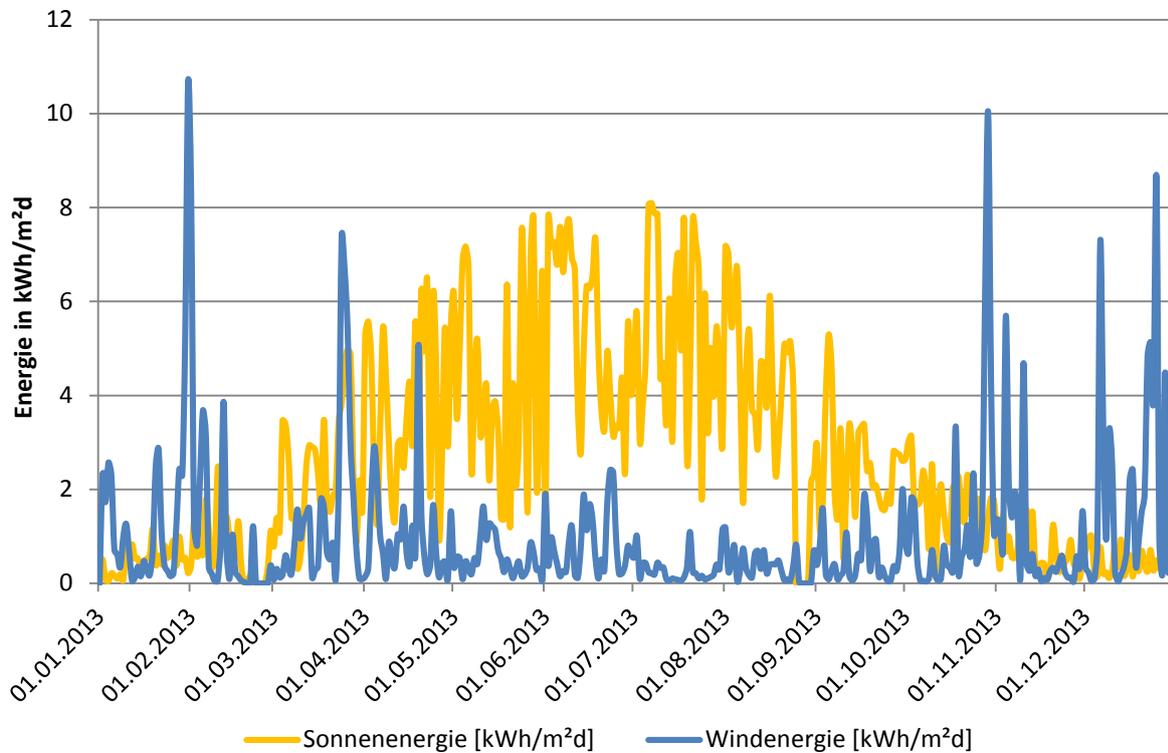
Solar- und Windenergie können unter bestimmten Voraussetzungen gut mit einander kombiniert werden. Viele Betrachtungen zu dem Thema zeigen jedoch gemittelte Werte über Wochen, Monate oder Jahre und große Gebiete, wodurch extreme Spitzen und Phasen mit Windstille bzw. stark bewölktem Himmel unbeachtet bleiben (siehe Abbildung 4-2). Dies ist jedoch für einen auf hohen Eigenverbrauch basierenden Business Case von hoher Relevanz. Abbildung 4-3 zeigt exemplarisch die in der solaren Einstrahlung bzw. dem Wind enthaltene Energie je Quadratmeter und Tag für das Jahr 2013 am Standort Fachhochschule Münster in Steinfurt. Der generelle Trend, dass im Winter die Erträge aus Windenergie und im Sommer die Erträge aus Sonnenenergie größer sind, wird auch bei dieser Darstellung deutlich, jedoch gibt es Tage mit deutlich ausgeprägten Spitzen und längere Phasen geringer Windgeschwindigkeit.



**Abbildung 4-2: Über Monate gemittelte Photovoltaik- und Winderträge für die Jahre 2011 bis 2013 in Deutschland [Quelle: Fraunhofer ISE]**

Für Projekte mit einer Kombination aus Kleinwind- und Solaranlagen, aber natürlich auch für solche mit nur einer der beiden Optionen, bedeutet dies, dass hohe Eigenverbrauchsquoten nur möglich sind, wenn der Strom in Batteriespeichern gepuffert werden kann, oder die Anlagen so klein dimensioniert werden, dass ein Großteil der Spitzenerzeugung auch selbst verbraucht

wird. Die erste Möglichkeit erhöht den gesamten Investitionsaufwand, die zweite Variante hat kleine Anlagen und dadurch möglicherweise höhere spezifische Investitionen pro kW installierte Leistung zur Folge.



**Abbildung 4-3: Jahresverlauf der Energie, die pro Quadratmeter und Tag in der Sonneneinstrahlung bzw. dem Wind am Standort Steinfurt enthalten ist**

## **5 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN**

### **5.1 Situation in Deutschland**

#### **Baugenehmigung**

Kleinwindanlagen werden in Nordrhein-Westfalen im „Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung“ (Windenergie-Erlass) vom 11.07.2011 erstmalig explizit erwähnt. Kleinwindanlagen werden demnach als Windanlagen mit einer Gesamthöhe von unter 50 m definiert. Grundsätzlich gelten diese als bauliche Anlagen im Sinne des (i.S.d.) § 29 BauGB, sodass sie der Baugenehmigungspflicht unterliegen.

Im Innenbereich können Kleinwindanlagen als untergeordnete Nebenanlage genehmigt werden, d.h. der erzeugte Strom muss zu einem überwiegenden Teil (> 50 %) selbst verbraucht werden und die Anlage darf zum Hauptobjekt nicht gleichwertig oder verdrängend wirken, was bei Kleinwindanlagen in der Regel (i.d.R.) nicht der Fall sein dürfte. Ist dies der Fall, können Kleinwindanlagen unter Beachtung des Gebots der Rücksichtnahme prinzipiell in allen Gebietsarten, inklusive reinen Wohngebieten, genehmigt werden, wenn diese dem Baugebiet oder den dort gelegenen Grundstücke dienen, ihm also in Funktion und Erscheinung untergeordnet sind. Allerdings darf die Anlage nicht der Eigenart des jeweiligen Baugebiets widersprechen. Dabei spielen z.B. die Art der Bebauung und die Weitläufigkeit des Gebiets eine Rolle, weshalb jeder Einzelfall gesondert beurteilt werden muss.

Im Außenbereich sind Kleinwindkraftanlagen als untergeordnete Nebenanlagen zu privilegierten Vorhaben genehmigungsfähig, wenn die Anlage hauptsächlich z.B. dem landwirtschaftlichen Betrieb dient (> 50 % Eigenverbrauch des erzeugten Strom).

Allerdings können Kleinwindanlagen, auch wenn keine Unterordnung vorliegt, im Außenbereich als Anlage zur Nutzung der Windenergie genehmigt werden, da sie aufgrund ihrer geringen Höhe nicht als raumbedeutsame Anlagen gelten. Sind von der Gemeinde Windvorranggebiete ausgewiesen worden und soll in einem solchen Gebiet eine Kleinwindanlage errichtet werden, ist möglicherweise eine Großanlage wirtschaftlicher zu betreiben. Außerhalb der Windvorranggebiete ist eine Genehmigung auch möglich, wenn im Einzelfall festgestellt wird, dass die Anlage nicht zu denen gehört, die die Gemeinde mit Ausweisung der Vorranggebiete hat steuern wollen (Atypik; beispielsweise durch Anlagengröße oder durch Eigennutzung).

Verfahrensfreiheit genießen Kleinwindanlagen in Nordrhein-Westfalen bis zu einer Gesamthöhe von 10 m. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Anlagen nur vom Genehmigungsverfahren freigestellt sind, sämtliche Vorgaben nach Landesbauordnung und BImSchG jedoch eingehalten werden müssen. Insofern kann die Verfahrensfreiheit auch einen Nachteil bedeuten, da die Erfüllung der Vorgaben nicht amtlich bestätigt wird. [2]

Ist die Gesamthöhe der Anlage kleiner als 30 m, ist die Baugenehmigung nach dem vereinfachten Verfahren vorgesehen.

### **Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**

Eine Genehmigung nach BImSchG ist für Windkraftanlagen mit einer Gesamthöhe von unter 50 m grundsätzlich nicht erforderlich, dennoch sind die Vorgaben aus dem BImSchG und der Technische Anleitung (TA) Lärm einzuhalten. Diese erlaubt in Wohngebieten einen maximalen Schalldruckpegel von tagsüber 55 dezibell (dB)(A), und nachts von 40 dB(A)). Im besten Fall liegt von Seiten des Herstellers bereits ein Lärmgutachten vor.

### **Situation in der Praxis**

Kleinwindanlagen sind im Gegensatz zu den großen Anlagen noch nicht weit verbreitet und greifen durch Installation in bebautem Gebiet durchaus in das Stadtbild ein. Dies bedingt eine große Unsicherheit sowohl auf Seiten des Antragsstellers als auch bei der Genehmigungsbehörde. Im Zweifel wird eine Genehmigung eher nicht erteilt. Problematisch sind in diesem Zusammenhang auch die vagen Formulierungen in Gesetzen und Verordnungen, die viel Handlungsspielraum für die individuelle Entscheidung lassen, wie zum Beispiel, ob eine Kleinwindanlage das Bild eines Wohngebietes dominiert.

Um solchen Problemen frühzeitig aus dem Weg zu gehen ist anzuraten, die zuständige Baubehörde rechtzeitig mit einzubeziehen. Dazu gehört auch eine gute Planung und Vorbereitung der Genehmigung. Die Tabelle 5-1 zeigt in Form einer Checkliste auf, welche Schritte für die Planung einer Kleinwindanlage relevant sind. Tabelle 5-2 hilft bei der Vorbereitung der Antragsstellung auf Grundlage der Rechtslage in Nordrhein-Westfalen.

**Tabelle 5-1: Checkliste Kleinwindanlage**

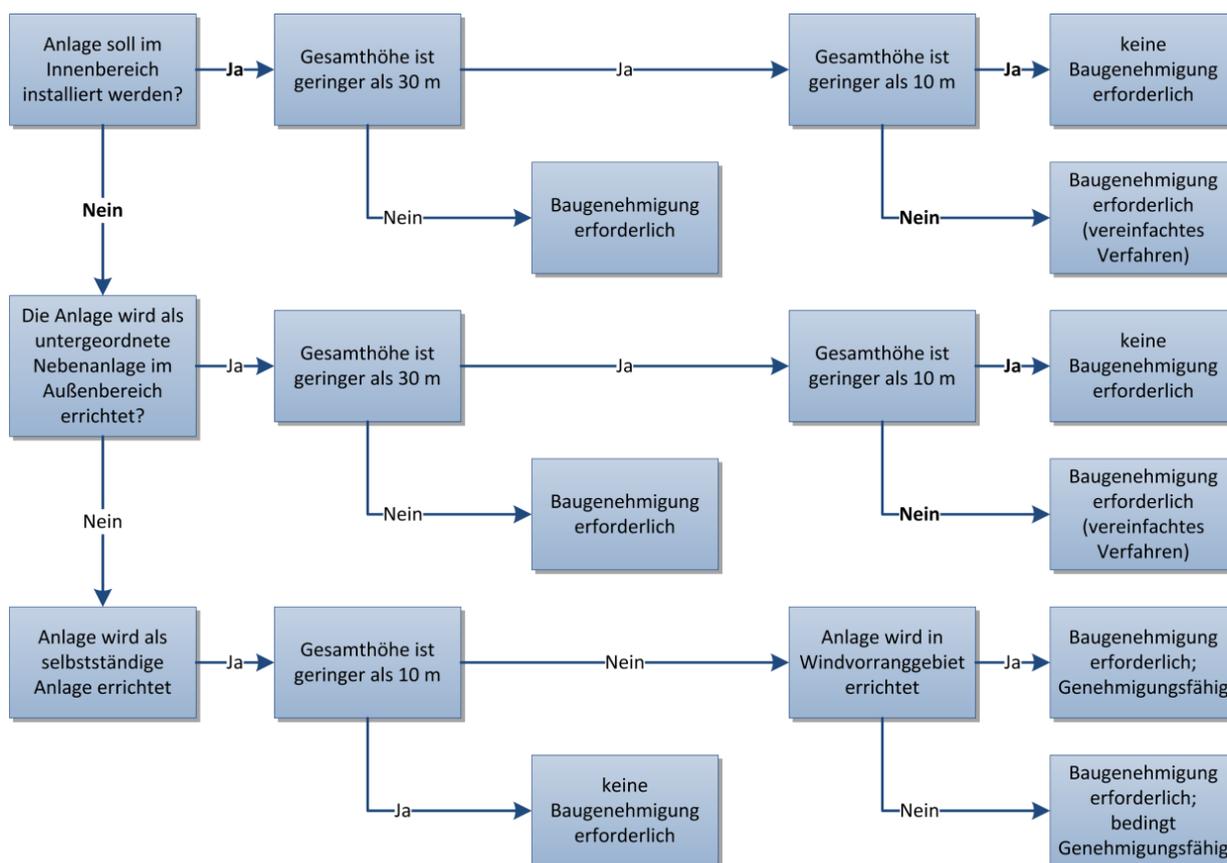
<b>Standort</b> (nicht alle Punkte notwendig)	Beurteilung der Region anhand von Windkarten (z.B. Deutscher Wetterdienst)	
	Winddaten aus Messungen, die in der Nähe des potentiellen Standorts durchgeführt wurden/werden (z.B. Wetterstationen, Nachbarn mit Windanlagen)	
	Anpassung der fremden Windmessungen an den potentiellen Standort (Höhenkorrektur)	
	Sichtbegutachtung der unmittelbaren Umgebung (hohe Hindernisse in Hauptwindrichtung)	
	Winddaten aus eigenen Messungen am potentiellen Standort	
	Vergleich der Winddaten mit den langjährigen Windbedingungen	
<b>Anlage/Technik</b>	Anlagentyp basierend auf Winddaten auswählen (siehe Kapitel 2.2) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Horizontalläufer</li> <li>• Vertikalläufer</li> </ul>	
	Unterlagen vom Anlagenhersteller anfordern <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungskennlinie</li> <li>• Lärmgutachten</li> <li>• Zertifikat nach International Electrotechnical Commission (IEC), Microgeneration Certification Scheme (MCS), American Wind Energy Association (AWEA) o.ä.</li> <li>• Sonstige Gutachten (Vibrationen, Standsicherheit, etc.)</li> </ul>	
	Statik des Gebäudedachs bzw. Tragfähigkeit des Erdbodens sowie und Gründungsmöglichkeiten ermitteln	
	Entscheidung für eine Betriebsweise und elektrische Anschlussmöglichkeiten identifizieren (siehe Kapitel 4) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inselbetrieb</li> <li>• Netzparallelbetrieb</li> </ul>	

<b>Wirtschaftlichkeit</b>	Ertragsprognose auf Basis der Winddaten erstellen	
	Eigenverbrauchsabschätzung (bei Netzparallelbetrieb)	
<b>Genehmigung</b>	Wirtschaftlichkeitsberechnung auf Basis der Investitionskosten/laufenden Kosten, des prognostizierten Ertrags und entsprechenden Einkünften/Ersparnissen	
	Ermittlung der notwendigen Genehmigungsverfahren (siehe Tabelle 5-2)	
	Gespräch mit Nachbarn suchen und Einwilligung von diesen einholen (vor allem bezüglich Schattenwurf/Diskoeffekt)	
	Genehmigungsantrag vorbereiten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gespräch mit Genehmigungsbehörde: Was ist für die das Genehmigungsverfahren notwendig?</li> <li>• Akzeptanz der Anwohner</li> <li>• Bereits genehmigte Anlagen in der Umgebung</li> <li>• Unterlagen des Anlagenherstellers</li> <li>• Sonstige Gutachten (z.B. Fledermaus-/Vogelgutachten)</li> </ul>	
	Genehmigungsantrag stellen	
	Bei Netzparallelbetrieb: Antrag auf Netzanschluss bei lokalem Stromnetzbetreiber stellen	

**Tabelle 5-2: Checkliste Genehmigung für Kleinwindanlagen in Nordrhein-Westfalen**

<b>Aufstellort</b>	Wohngebiet	Grundsätzlich als untergeordnete Nebenanlagen genehmigungsfähig (Eigenverbrauch > 50 %)	
	Gewerbe-/Industriegebiet	Per Definition als Standort für störendes Gewerbe vorgesehen. Auch größere Anlagen sind möglich	
	Außenbereich	Grundsätzlich als untergeordnete Nebenanlagen zu privilegierten Vorhaben genehmigungsfähig (Eigenverbrauch > 50 %)	

<b>Gesamthöhe</b>	< 10 m	Es ist keine Baugenehmigung erforderlich. Bau- und Immissionsrechtliche Anforderungen sind dennoch einzuhalten. Dies gilt nicht in reinen, allgemeinen und besonderen Wohngebieten, sowie in Mischgebieten. Anlage muss bei der zuständigen Behörde angezeigt werden	
	> 10 m und < 30 m	Es ist eine Baugenehmigung nach dem vereinfachten Verfahren erforderlich. Immissionsrechtliche Anforderungen sind dennoch einzuhalten	
	> 30 m und < 50 m	Es ist eine Baugenehmigung erforderlich. Immissionsrechtliche Anforderungen sind dennoch einzuhalten	
	> 50 m	Es ist eine Baugenehmigung sowie ein Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG erforderlich; keine Kleinwindanlage mehr	
<b>Einspeisung</b>	Keine Einspeisung in das öffentliche Stromnetz (Inselnetz)	Keine Anmeldung beim lokalem Netzbetreiber notwendig	
	Einspeisung in das öffentliche Stromnetz	Antrag auf Netzanschluss bei lokalem Netzbetreiber	



**Abbildung 5-1: Entscheidungsbaum Genehmigung von Kleinwindkraftanlagen in NRW nach dem BImSchG, der BauO NRW und dem Winderlass NRW**

## Finanzierungsmöglichkeiten und Vergütung

Für die Finanzierung von Kleinwindanlagen stellt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zinsgünstige Kredite unter dem Produktnamen „Erneuerbare Energien – Standard“ zur Verfügung. Zielgruppe sind Privatpersonen, Unternehmen und Landwirte. Die gesamte Investitionssumme kann bei diesem Produkt über eine Laufzeit von bis zu 20 Jahren finanziert werden. Des Weiteren können die ersten drei Jahre als tilgungsfrei vereinbart werden.

Für Landwirte steht außerdem das Produkt „Energie vom Land“ der Rentenbank zur Auswahl. Hier ist eine Finanzierung über eine Laufzeit von bis zu 30 Jahren möglich. Wie bei der KfW ergeben sich drei tilgungsfreie Jahre, unter der Voraussetzung, dass Strom ins Netz eingespeist wird.

Neben diesen speziellen Produkten besteht auch die Möglichkeit eine Kleinwindanlage über einen einfachen Baukredit zu finanzieren, der jedoch in der Regel unvorteilhaftere Konditionen aufweist.

**Tabelle 5-3: Finanzierungsmöglichkeiten speziell für erneuerbare Energien**

	<b>Laufzeit</b>	<b>Tilgungsfreie Zeit</b>	<b>Weitere Informationen</b>
<b>Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)</b> „Erneuerbare Energien – Standard“	1 – 20 Jahre	bis zu 3 Jahre	<a href="https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Standard-(270-274-275)/">https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Standard-(270-274-275)/</a>
<b>Rentenbank</b> „Energie vom Land“	4 – 30 Jahre	bis zu 3 Jahre	<a href="http://www.rentenbank.de/cms/beitrag/10012911/291623">http://www.rentenbank.de/cms/beitrag/10012911/291623</a>

Bei der Vergütung von Strom aus Windkraftanlagen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz gilt für Anlagen mit einer installierten Leistung von weniger als 50 kW eine gesonderte Regelung. Diese Anlagen gelten grundsätzlich als Anlagen mit einem Ertrag von weniger als 75 % ihres Referenzertrages, wodurch sich die Dauer der Anfangsvergütung auf 20 Jahre festsetzt. Die Anfangsvergütung entspricht in diesem Fall der Vergütung über den gesamten Vergütungszeitraum und beträgt im Entwurf des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2014 ca. 8,9 ct/kWh. Die Degression der Vergütung ist jedoch zubauabhängig, sodass die Vergütung ab dem Jahr 2016 um bis zu 1,2 % pro Quartal sinkt. [11]

Da die Einspeisevergütung in jedem Fall deutlich unter dem Strompreis für Haushalt und Gewerbe liegt, ist ein hoher Eigenverbrauchsanteil anzustreben.

## 5.2 Situation in den Niederlanden

### Einleitung

Ein Teil der Interreg-Studie über die Möglichkeiten der neusten Generation Kleinwindkraftanlagen beinhaltet eine Übersicht zur Rechts- und Gesetzeslage. Hierbei ist zunächst die Feststellung, an welchen Orten Kleinwindkraftanlagen am einfachsten platziert werden können, wichtig. Ebenfalls muss eruiert werden, ob die verschiedenen Gemeinden der Region Achterhoek bei den Rechtsvorschriften für den Bau von Kleinwindkraftanlagen ähnlich verfahren und ein Einblick über die Kosten und die Dauer des Genehmigungsverfahrens erlangt werden. Es folgt ein kurzer Bericht der wichtigsten Erkenntnisse.

### Pilotphase

In anderen Teilen der Niederlande wurde bereits zum System der Rechts- und Gesetzeslage zum Bau von Kleinwindkraftanlagen recherchiert. Bis heute kommt man stets zu dem gleichen

Ergebnis, dass dies von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich ist. In 2010 wurde daher im Rahmen des ‚crisis en Herstelwet‘ (Gesetz zur Beschleunigung von Infrastrukturprojekten) eine Pilotphase gestartet, die den Bau von Kleinwindkraftanlagen auf Firmengebäuden und in Gewerbegebieten ohne Genehmigung ermöglichte. Diverse Gemeinden (Utrecht, Amersfoort) haben dazu spezielle Gewerbegebiete ausgewiesen. Die Pilotphase dauert bis 2020 an. Bisher scheint sich keine der Gemeinden aus der Region Achterhoek daran zu beteiligen.

### **Definition einer Kleinwindanlage**

Die erste Frage, die man in diesem Zusammenhang klären sollte, betrifft die Definition: Was sind Kleinwindkraftanlagen? Auf niederländischer Seite ist diese Frage nicht eindeutig zu beantworten. Die verschiedenen zu Rate gezogenen Vertreter der Gemeinden aus der Regio Achterhoek weisen dabei auf voneinander unabhängige Dinge, wie die Drehoberfläche des Rotors, die Leistung des Generators, den Durchmesser des Rotors, die Achsenhöhe und/oder eine Kombination dieser. Ein Bericht der Provinz Gelderland definiert Kleinwindkraftanlagen als Windturbine mit einer Leistung von 0,5 bis 20 kW (dies ist konform mit der Definition von Case & Ter Horst, 2007). Es wird dabei jedoch angemerkt, dass das, was eine Windturbine zu einer kleinen Windturbine macht, in der Praxis, und für die meisten Menschen, ihre Erscheinungsform ist. In dem Bericht werden alle Windkraftanlagen bis zu einer Höhe von 25 Metern (inklusive Rotorblätter) zu den kleinen Windkraftanlagen gerechnet. Dieser Grenzwert wurde mit Rücksicht auf die Höhe eines großen Baumes (Baumgrenze) bestimmt. Die Gemeinde Bronckhorst (Regio Achterhoek) legt den Grenzwert bei 15 Metern fest.

In einem Handbuch der AgentschapNL, Teil des niederländischen Wirtschaftsministeriums, wird jedoch eine andere Norm herangezogen: ein Leistungsbereich zwischen 0,5 und 6 kW, ein Rotordurchmesser von 0,75 bis 5 m, und eine Achsenhöhe bis zu 15 m (siehe ‚Praktische toepassing van mini-windturbines, handleiding voor gemeenten‘) Es besteht also keine Eindeutigkeit in der Definition der Kleinwindkraftanlage; die praktischste Definition scheint aber die des Wirtschaftsministeriums zu sein.

### **Räumlicher Unterschied**

In der niederländischen Gesetzgebung wird ein Unterschied zwischen der Errichtung von Kleinwindkraftanlagen in Gewerbegebieten, Innerorts (auf Wohnhäusern) und in Außengebieten gemacht. Im Allgemeinen ist es so, dass die Errichtung von Kleinwindkraftanlagen in Gewerbegebieten und Außengebieten einfacher ist als Innerorts. Dies ist zum Teil auf die Tatsache zurückzuführen, dass es in einem Wohngebiet einfach mehr Menschen gibt, die eine Beschwerde einreichen könnten. Dort wird auch mehr auf hörbare und nicht hörbare Geräusche

geachtet, die Windkraftanlagen erzeugen (könnten). In Gewerbegebieten und im Außenbereich spielt Lärm eine weniger wichtige Rolle. In Gewerbegebieten liegen die Lärmgrenzwerte aufgrund der ohnehin anwesenden Industrie, höher. In den Außengebieten ist der Abstand zwischen den Wohnhäusern größer, sodass die durch eine Kleinwindkraftanlage entstehenden Geräusche nur durch den Eigentümer (und die Familienmitglieder) wahrgenommen werden. Die Errichtung einer Kleinwindkraftanlage im Außengebiet kann jedoch in einen Konflikt mit einem (geschützten) Ruhegebiet geraten.

### **‚Wet milieubeheer‘ (Umweltschutzgesetz)**

Das erste Gesetz, das beim Bau von Kleinwindkraftanlagen berücksichtigt werden muss, ist das ‚wet milieubeheer‘. Hierin ist die Definition eines Windparks festgelegt. Um einen Windpark handelt es sich demnach, wenn drei oder mehr Windräder gebaut werden. Sollte dies der Fall sein, muss eine Beurteilung zur Notwendigkeit einer Umweltverträglichkeitsstudie erfolgen. Diese Beurteilung muss angeben, ob eine solche Verträglichkeitsstudie angefertigt werden muss und worauf dabei genau eingegangen werden muss. Sowohl aus finanziellen Gesichtspunkten als auch der Dauer solch einer Prozedur, fällt in der Praxis oft die Entscheidung für die Errichtung von maximal zwei Kleinwindkraftanlagen.

### **‚Omgevingsbesluit‘ (Umgebungsbeschluss)**

Das folgende Gesetz, das bei jeder Errichtung von Kleinwindkraftanlagen zu berücksichtigen ist, ist das ‚Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (WABO)‘. Das WABO wurde eingeführt, um Beantragen und Genehmigungen zu vereinfachen. Es handelt sich hierbei um einen Sammelnamen für die Anfrage einer Bau-, Umwelt- und Ortsgenehmigung.

Die Geschwindigkeit und Einfachheit, in der der Bau- und die Umweltaspekte durchlaufen werden können, hängt stark von den Spezifizierungen und Zertifizierungen der Windräder selbst ab. Wenn der Hersteller der Kleinwindkraftanlagen Testberichte auf dem Gebiet des Baus, der technischen Sicherheit und der Umweltbelastung (vor allem akustische Studien zur Geräuschbelastung) nachweisen kann, ist dieser Teil recht einfach zu durchlaufen.

Das größte zu überwindende Hindernis in der Regio Achterhoek ist in diesem Zusammenhang der Flächennutzungsplan. In den Plänen der meisten Gemeinden ist der Bau von Kleinwindkraftanlagen überhaupt nicht vorgesehen. Für den Bau von ein oder zwei Kleinwindkraftanlagen muss dann eine Anpassung des Flächennutzungsplans beantragt werden. Dies erfordert ein Verfahren, das mehrere Schritte umfasst (siehe zum Beispiel: <http://www.ro-web.nl/2010/01/termijnen-bestemmingsplan-procedure/>). In der Praxis dauert

dies minimal ein halbes Jahr. Danach werden Kosten in Form von Gebühren in Rechnung gestellt.

## **‘Wet algemene bepalingen omgevingsrecht‘ und die Erfahrungen in der Praxis**

Bei einem Test in der Gemeinde Montferland stieß die Errichtung von Kleinwindkraftanlagen auf dem Dach eines Unternehmens im Gewerbegebiet an der Grenze zu Deutschland auch auf die Rechtsvorschriften zu Genehmigungen und des Flächennutzungsplänen. Die Lösung wurde letztendlich in einem Ratsbeschluss, in dem die Zustimmung zur Errichtung zweier Windräder als Test für einen Zeitraum von zwei Jahren erteilt wurde, gesucht. Dies war möglich, da die Gemeindeverwaltung die Initiative begrüßte.

Bei diesem Test kam auch zur Sprache, dass eine Gemeinde gesetzlich verpflichtet ist, bei Änderungen an dem Dach eines Gebäudes die Dachbelastung durchzurechnen. In der Praxis bedeutet das, dass derjenige, der ein Windrad bauen will, die Kosten hierfür selbst tragen muss. Das sind in der Regel Kosten von einigen hundert Euro. Wegen des relativ kleinen Ertrages, können diese genehmigungstechnischen Kosten die Amortisationszeit verlängern und sich damit negativ auf die Bereitschaft zu Errichtung einer Kleinwindkraftanlage auswirken. In diesem speziellen Fall hat man aber letztendlich von einer Berechnung abgesehen, da das Gewicht der Windräder unerheblich (ca. 20-30 kg; es wurde davon ausgegangen, dass das Dach eine Person und die Windräder tragen können muss) in Relation zu einer normalen Dachbelastung plus Ständer (ein Dreibein) ist und das zur Errichtung drei einfache Gehwegplatten je Standbein ausreichen. Die Windräder durften übrigens nicht direkt am Rande des Gebäudes platziert werden. Es musste ein Abstand von einigen Metern zur Dachkante (entsprechend der Höhe des Ständers) eingehalten werden, teilweise aus sicherheitstechnischen Gründen zum Schutz von Fußgängern, teilweise auch, um das Gebäude nicht zu beschädigen. Der Hintergrundgedanke hierzu war unter anderem, das, sollte ein Windrad umfallen, es auf dem Dach landen und vom Gebäude runterfallen würde. Auf die Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindkraftanlage wirkt sich der Abstand zur Dachkante nachteilig aus, da die Stauung des Windes an der Dachkante für die Kleinwindanlage verloren geht. Dem Verlust wird durch eine Erhöhung des Ständers entgegengewirkt.

## **Die Situation in anderen Gemeinden**

Der Flächennutzungsplan für das Randgebiet der Gemeinde Berkelland sieht den Bau von Kleinwindkraftanlagen vor, andere Flächennutzungspläne tun dies nicht.

Die Gemeinde Bronckhorst hat den Bau von Kleinwindkraftanlagen nicht in ihren Flächennutzungsplan aufgenommen, und hat dies vorläufig auch nicht vor. In den kommenden vier Jahren ist man mit einem Pilotprojekt mit Kleinwindkraftanlagen an fünf Orten beschäftigt. Nach Ablauf dieses Projekts wird man es erst auswerten und dann entscheiden, wie man weiter verfährt.

Die Situation in der Gemeinde Doetinchem ähnelt der Situation in der Gemeinde Berkelland. Zu den drei unterschiedenen Gebieten (Außengebiet, Gewerbegebiet, Innerorts) hat die Gemeinde die Tabelle 5-4 zur Verfügung gestellt, aus der ersichtlich ist, was man in dem jeweiligem Gebiet berücksichtigen muss, sollte man eine Kleinwindkraftanlage bauen wollen. So ist der Bau auf dem Grundstück eines aktiven Landwirtschaftsbetriebs im Außengebiet relativ einfach (siehe Tabelle 5-4).

**Tabelle 5-4: Übersicht zum Bau von Kleinwindkraftanlagen in der Gemeinde Doetinchem**

	Bei oder auf einem Landwirtschaftsbetrieb	Auf einem Firmengebäude	Auf einem Wohngebäude
<b>Gibt es ein Maß, unter dem ein Windrad genehmigungsfrei gebaut werden kann?</b>	Nein, eine Ortsgenehmigung (omgevingsvergunning) ist immer notwendig.	Nein, eine Ortsgenehmigung (omgevingsvergunning) ist immer notwendig.	Nein, eine Ortsgenehmigung (omgevingsvergunning) ist immer notwendig.
<b>Genehmigungspflichtige Windräder, welche Verfahren, Genehmigung und Kosten?</b>	Innerhalb der Flächennutzung „Agrarisch“ oder der Flächennutzung „Agrarisch met Waarden“ ist eine auf dem Boden stehende Windkraftanlage mit einer maximalen Höhe von bis zu 15 Metern zulässig. Genehmigungsverfahren auf einem Gebäude ist vom jeweiligen Flächennutzungsplan und dem Zustand abhängig (Denkmal, Asbest, etc.) Höhe der Gebühren ist von den Baukosten abhängig.	Genehmigungsverfahren auf einem Gebäude ist vom jeweiligen Flächennutzungsplan und dem Zustand abhängig (Denkmal, Asbest, etc.) Höhe der Gebühren ist von den Baukosten abhängig.	Genehmigungsverfahren auf einem Gebäude ist vom jeweiligen Flächennutzungsplan und dem Zustand abhängig (Denkmal, Asbest, etc.) Höhe der Gebühren ist von den Baukosten abhängig.

### **„Welstand“ (Wohlstand)**

In den meisten Gemeinden ist noch eine ‚welstandscie‘ (Wohlstandskommission) aktiv. Diese gibt Empfehlungen zur Eingliederung von Bauwerken in die Umgebung ab. In der Praxis wird sie auch beim Bau von Kleinwindkraftanlagen hinzugezogen. Im Allgemeinen scheint es, dass diese Kommissionen dazu neigen, Windräder außerhalb der Sichtweite zu errichten. Dies kann

zu gegensätzlichen Interessen führen, da der Ertrag (und Rentabilität) von (Klein-) Windkraftanlagen eng mit der Menge an Wind, die sie einfangen können, verbunden ist.

Für Kleinwindkraftanlagen liegt die Untergrenze bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von ca. 4,5 m/sec. Um dies zu erreichen, müssen Kleinwindkraftanlagen daher in der Regio Achterhoek auf relativ offenem Gelände, und ab einer Höhe von 10 Metern über der Bodenoberfläche stehen. Dies sind im Allgemeinen gut sichtbare Standorte. Ein Beteiligter an einem Pilotprojekt für Kleinwindkraftanlagen in Bronckhorst bekam die Auswirkungen der Entscheidungen der Wohlstandskommission zu spüren: „Die ‚welstandcie‘ wollte, dass das Windrad direkt neben einer Reihe von Bäumen gebaut wird. Dann kann ich es genauso gut nicht bauen, weil es sich dann nicht rentiert, die Bäume halten ja fast den ganzen Wind ab.“

## **Gebühren**

Für den Bau von Kleinwindkraftanlagen in den Gemeinden in der Regio Achterhoek müssen, wie bereits beschrieben, Genehmigungen eingeholt werden. Abgesehen von den Kosten für die Anfertigung solcher Anträge, bedeutet das in der Regel, dass auch Geld in Form von Gebühren an die Gemeinden bezahlt werden muss. Für den Bau zweier Kleinwindkraftanlagen im Rahmen eines Projekts in Montferland mussten 800 € an Gebühren bezahlt werden. Bei dem Pilotprojekt in Bronckhorst wird von vergleichbaren Beträgen gesprochen.

Diese Gebühren machen einen beträchtlichen Teil der Projektkosten aus: zwischen 6 und 15 %. Geht man von einem durchschnittlichen Ertrag von ca. 400 bis 600 kWh pro Jahr aus, muss ein kleines Windrad ca. 7 Jahre laufen, um sich zu amortisieren.

## **Fazit**

So wie bereits angegeben, sind die Bedingungen zur Errichtung von Kleinwindkraftanlagen in den verschiedenen Gemeinden unterschiedlich. Innerhalb einer Gemeinde kann der genaue Standort einen großen Einfluss haben. Außerdem müssen die an Gebühren anfallenden Kosten berücksichtigt werden. Diese haben einen signifikant nachteiligen Effekt auf den Amortisierungszeitraum. Die Ausgangssituation in der Regio Achterhoek ist daher im Moment ungünstig. Dies kann durch eine Abstimmung der Richtlinien der Gemeinden untereinander geändert werden, so dass es zu einer Uniformität der Rechtsvorschriften kommt und ein eindeutiges Verfahren zur Errichtung von Kleinwindkraftanlagen in verschiedenen Ausgangssituationen möglich ist. Die Höhe der Gebühren ist hierbei zu beachten. Es bestehen große Chancen für die Entwicklung einer Stimulierungspolitik. Diese kann die Erzeugung von nachhaltiger Energie mit Hilfe von Kleinwindkraftanlagen vorantreiben.

## 6 KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE

Eine allgemeingültige Aussage zur Wirtschaftlichkeit von Kleinwindanlagen zu treffen ist nicht leicht, da die Erträge sehr sensibel auf eine Änderung der Windgeschwindigkeit reagieren. So kann bereits die um 1 m höhere Montage auf einem Dach durch Verwirbelungen signifikant höhere Erträge erzielen und somit über einen wirtschaftlichen Betrieb entscheiden.

Nachfolgend sollen nun einige Beispiele berechnet werden, um zu zeigen, welche Faktoren für einen wirtschaftlichen Betrieb zu beachten sind und welchen Einfluss diese Größen haben.

### 6.1 Faktoren für eine Kosten-Nutzen-Analyse

Die alles entscheidende Größe für einen wirtschaftlichen Betrieb ist die **Windgeschwindigkeit**. Wie bereits in den Kapiteln 2 und 3 dargelegt, verachtfacht sich die durch den Wind aufgebrachte Leistung bei einer Verdopplung der Windgeschwindigkeit. Somit zeigt sich jede noch so kleine Verbesserung des Standortes in den Erträgen. Die Windgeschwindigkeit ist im Idealfall am Standort zu messen bzw. anderweitig zu ermitteln (Kapitel 3).

Auf der Einnahmeseite stehen die **Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)-Vergütung** bzw. die vermiedenen **Strombezugskosten**. Erstere wird in den nächsten Jahren voraussichtlich sinken, letztere werden tendenziell steigen. Die EEG-Umlage beträgt in Deutschland nach dem EEG 2012 8,93 ct/kWh. Das EEG 2014 sieht neben einer festen auch eine dynamische Absenkung der Einspeisevergütung vor, die abhängig vom Zubau in den vergangenen Monaten ist. Bei großem Zubau kann die Einspeisevergütung bis zu 1,2 % pro Quartal abnehmen, bei sehr geringem Zubau jedoch auch um bis zu 0,4 % steigen. Der Anfangswert liegt bei 8,9 ct/kWh. Die Aussage dieser Studie ändert sich durch das Inkrafttreten des EEG 2014 jedoch nicht. In den Niederlanden kann zu dem aktuellen Marktpreis eingespeist werden. Dieser liegt je nach Tages- und Jahreszeit bei ca. 3-6 ct/kWh. Die für den Eigenverbrauch relevanten Strombezugskosten betragen in Deutschland für Privatkunden zurzeit rund 0,28 €/kWh (Stand April 2014; Gewerbe und Sondervertragskunden evtl. weniger). In den Niederlanden kann selbst erzeugter Strom direkt mit vom Versorger bezogenem Strom saldiert werden, sodass das Netz aus Sicht des Betreibers als Speicher wirkt. Diesem Vorteil gegenüber steht jedoch ein geringerer Strompreis von ca. 0,23 ct/kWh und bereits ab 10.000 kWh/a ein stark verringerter Energiesteuersatz.

Da die Einspeisevergütung für Kleinwindanlagen prinzipiell dieselbe wie bei Großanlagen ist, die Stromgestehungskosten jedoch deutlich höher sind, ist eine möglichst hohe **Eigenverbrauchsquote** anzustreben. Die Erträge entsprechen im Falle einer Quote von 100 %

den vermiedenen Strombezugskosten. Um dies zu erreichen, bedarf es, abhängig vom Standort und angeschlossenem Gebäude, eines spezifischen Konzeptes, in welchem auch Speicher und Wärmeerzeugung berücksichtigt werden sollten.

Die **Investitionskosten** sind der größte Ausgabenposten bei einem Kleinwindanlagenprojekt. Neben dem Generator selbst sind Kosten für das Fundament, den Mast, Elektroinstallationen, Lieferung und Montage zu berücksichtigen.

Die **laufenden Kosten** haben bei den kleineren Anlagentypen eine untergeordnete Bedeutung. Die größten Posten sind hier die Wartung, die Anlagenversicherung, die teilweise auch schon mit einer bereits vorhandenen Gebäudeversicherung abgedeckt sein kann sowie eine Betreiberhaftpflichtversicherung.

Wird die Anlage nicht aus eigenen Mitteln finanziert, entstehen **Kapitalkosten**.

## 6.2 Beispielhafte Wirtschaftlichkeitsanalysen

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zunächst Standard-Windbedingungen nach Lehrbuch [5] als Ausgangslage hergenommen. Diese setzen sich aus einer mittleren Windgeschwindigkeit und einer Geschwindigkeitsverteilung nach Weibull mit dem Formfaktor  $k$  zusammen. Der Formfaktor  $k$  wird hier mit  $k = 2$  angenommen, womit es sich um eine Rayleigh-Verteilung handelt. Für die mittlere Windgeschwindigkeit werden drei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 1:** 3 m/s in 10 m Höhe (städtische Umgebung mit schlechten Windbedingungen),
- **Szenario 2:** 4 m/s in 10 m Höhe (städtischer Randbereich und geschlossenes landwirtschaftliches Landschaftsbild mit guten Windbedingungen),
- **Szenario 3:** 5 m/s in 10 m Höhe (offenes landwirtschaftliches Landschaftsbild mit sehr guten Windbedingungen)

Die Windgeschwindigkeit wird auf die jeweils angebotenen Masthöhen extrapoliert, die Ergebnisse sind der Tabelle 6-1 zu entnehmen. Dabei wird eine Rauigkeitslänge von 0,3 m angenommen. Zur Ertragsabschätzung werden die Leistungskurven der Hersteller verwendet.

Untersucht werden folgende Anlagen:

- Aircon 10 (Lely Aircon)
- Antaris 6.5 (Braun Windturbinen GmbH)
- Montana 5 kW (Fortis Wind Energy)

- Cyclone 4.8 kW (Cyclone Green Power Inc.)
- Basis Windchallenge 1.7 (Windchallenge BV)
- Skystream 3.7 (XZERES Wind Corp)

Die Kriterien für die Auswahl der Anlagen waren eine möglichst große Streuung in der Anlagengröße, Erfahrung der Hersteller, Zertifizierung der Anlagen sowie aufgrund des Preises oder der Bauform interessante Anlagen. Vertikalläufer wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da bereits vorherige Untersuchungen gezeigt haben, dass der Investitionsaufwand zum Ertrag bei diesen Anlagen in einem signifikant schlechteren Verhältnis steht.

Es ergeben sich die in Tabelle 6-2 dargestellten Erträge pro Jahr.

**Tabelle 6-1: Windgeschwindigkeiten der drei untersuchten Szenarien auf Nabenhöhe**

	Naben- höhe [m]	Szenario 1 [m/s]	Szenario 2 [m/s]	Szenario 3 [m/s]
<b>Aircon 10</b>	24	3,75	5,00	6,25
<b>Antaris 6.5</b>	24	3,75	5,00	6,25
<b>Montana 5 kW</b>	24	3,75	5,00	6,25
<b>Cyclone 4.8 kW</b>	9	2,91	3,88	4,85
<b>Windchallenge 1.7</b>	24	3,75	5,00	6,25
<b>Skystream 3.7</b>	21	3,63	4,85	6,06

**Tabelle 6-2: Jahreserträge für verschiedene durchschnittliche Windgeschwindigkeiten**

	Nenn- leistung	Naben- höhe [m]	Szenario 1 [kWh/a]	Szenario 2 [kWh/a]	Szenario 3 [kWh/a]
<b>Aircon 10</b>	9,8 kW	24	7.998	18.204	29.572
<b>Antaris 6.5</b>	7,5 kW	24	5.643	12.751	20.913
<b>Montana 5 kW</b>	5,8 kW	24	2.993	6.140	10.218
<b>Cyclone 4.8 kW</b>	4,8 kW	9	2.538	5.305	8.888
<b>Windchallenge 1.7</b>	0,3 kW	24	312	675	1.100
<b>Skystream 3.7</b>	2,1 kW	21	1.260	3.126	5.453

Zum Vergleich wurde die Ertragsschätzung ebenfalls mit den Messungen der Wetterstation an der Fachhochschule Münster am Standort Steinfurt für das Jahr 2013 durchgeführt. Die Messung erfolgt in 10 m Höhe (Kapitel 3.2). Die Windgeschwindigkeiten in einer Höhe von 24 m wurden mit Hilfe der logarithmischen Höhenformel mit der Rauigkeitslänge  $z_0 = 0,3$  (bebautes Gelände) extrapoliert, um die Auswirkungen eines höheren Mastes beurteilen zu können. Tabelle 6-3 zeigt die errechneten Erträge am Standort Steinfurt.

**Tabelle 6-3: Jahreserträge für den Standort Fachhochschule Münster in Steinfurt auf Basis der Messungen im Jahr 2013**

Höhe (mittlere Windgeschwindigkeit)	10 m Höhe bei (3,4 m/s)* [kWh/a]	24 m Höhe bei (4,25 m/s)** [kWh/a]
<b>Aircon 10</b>	5.745	11.756
<b>Antaris 6.5</b>	4.174	8.181
<b>Montana 5 kW</b>	2.323	4.113
<b>Cyclone 4.8 kW</b>	3.814	6.595
<b>Windchallenge 1.7</b>	233	445
<b>Skystream 3.7</b>	991	2.116

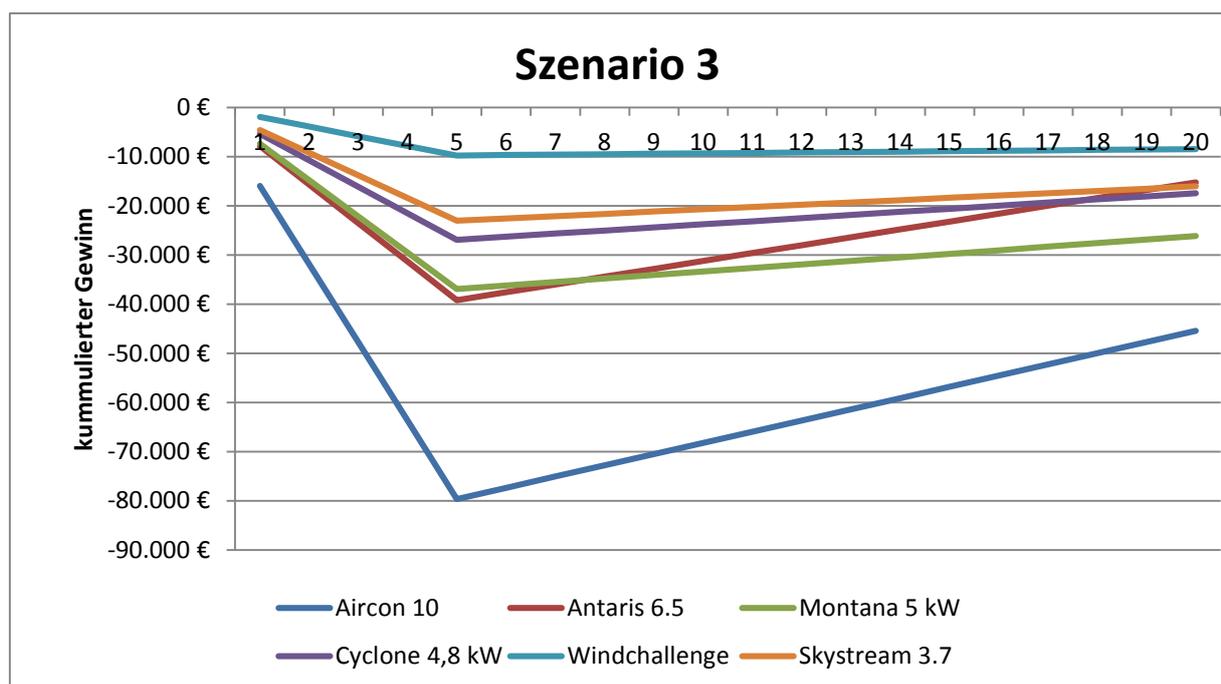
\*gemessener Wert

\*\*berechneter Wert

Wichtigstes Kriterium für die Wirtschaftlichkeitsberechnung soll die Gewinnschwelle, auch als „Break-Even-Point“ bezeichnet, sein. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden außerdem Betriebskosten in Höhe von 30 Euro pro Kilowatt und Jahr berücksichtigt, darin eingeschlossen sind Kosten für Wartung, Reparatur, Versicherung und andere Gebühren [12]. Für die Rechnung wird eine Projektlaufzeit von 20 Jahren angenommen. Für die Finanzierung wird ein Kredit aufgenommen. Der Kredit läuft pauschal über 5 Jahre, mit einem Zinssatz von 2 Prozent pro Jahr und einer konstanten jährlichen Annuität. Die Preise der Anlagen sind Angebote der Hersteller, gegebenenfalls ergänzt um im Angebot nicht aufgeführte, aber essentielle Posten wie etwa Fundament, Genehmigung und Aufbau. Eine weitere Annahme ist eine Anlagenverfügbarkeit von 98 % der Zeit. Die Einspeisevergütung beträgt 8,93 ct/kWh nach dem EEG-Gesetz (2012), die Strombezugskosten 0,28 €/kWh, wobei eine jährliche Preissteigerung von 3 % angenommen wird. In den Niederlanden entspricht die Einspeisevergütung jenseits der Saldierung dem Marktpreis von ca. 3-6 ct/kWh und die durchschnittlichen Strombezugskosten liegen bei rund 23 ct/kWh.

Es wird für jede Anlage in allen Szenarien der jährlich kumulierte Gewinn oder Verlust ermittelt, das heißt, für jedes Jahr wird der (unter Umständen negative) Gewinn mit den Gewinnen aus den Vorjahren addiert. Wenn dieser Wert Null ist, ist der „Break-Even-Point“ erreicht. Der kumulierte Gewinn am Ende der Projektlaufzeit, stellt gleichzeitig das verfügbare Kapital, am Ende der Projektlaufzeit, dar. Weitere Kennzahlen zum Vergleich der Kleinwindkraftanlagen sind die Kapitalrendite. Sie wird gebildet aus der Division des Gesamtgewinns durch die Investitionskosten, und die mittleren Stromgestehungskosten, deren Berechnung erfolgt über die Addition der Investitionskosten und der Betriebskosten über die Projektlaufzeit, geteilt durch die Energieerträge der gesamten Projektlaufzeit. Ein wirtschaftlicher Betrieb wird durch eine positive Kapitalrendite gekennzeichnet.

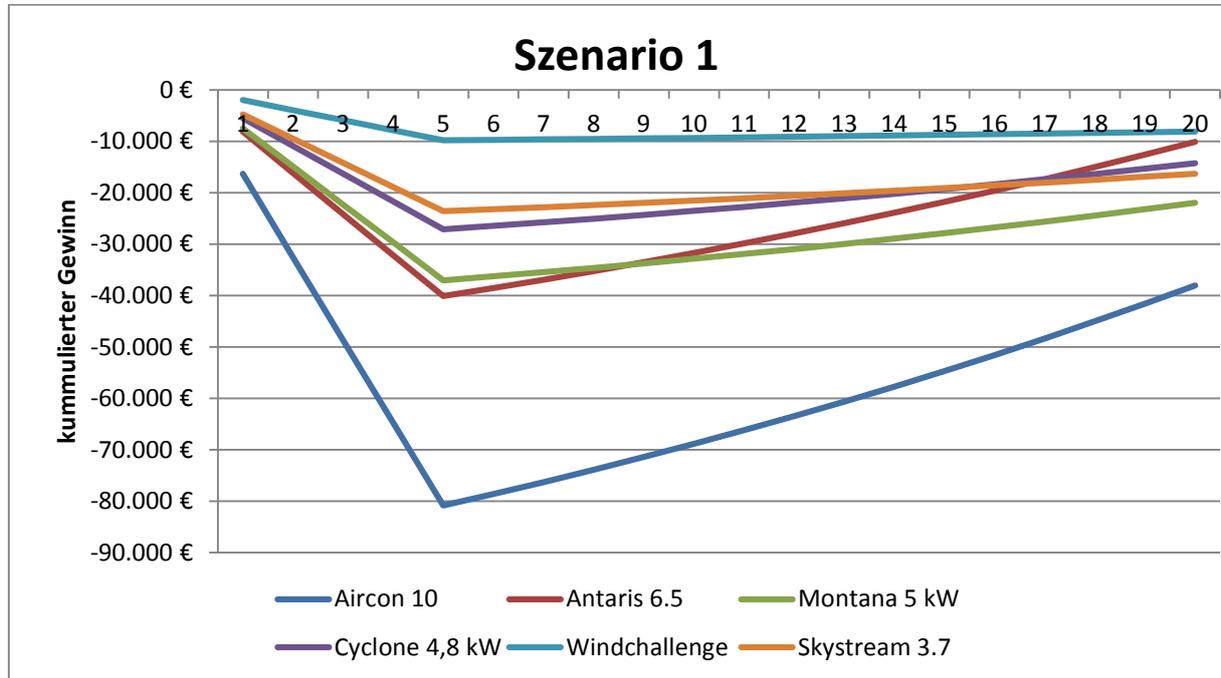
Zunächst werden die untersuchten Anlagen ohne Eigenverbrauch miteinander verglichen. In Abbildung 6-1 kann man erkennen, dass selbst im vorteilhaften Szenario 3 keine der Anlagen innerhalb von 20 Jahren die Investitionskosten durch Erträge erwirtschaften kann. Die Betrachtung der Szenarien 1 und 2 erübrigt sich somit bei einer reinen Netzeinspeisung.



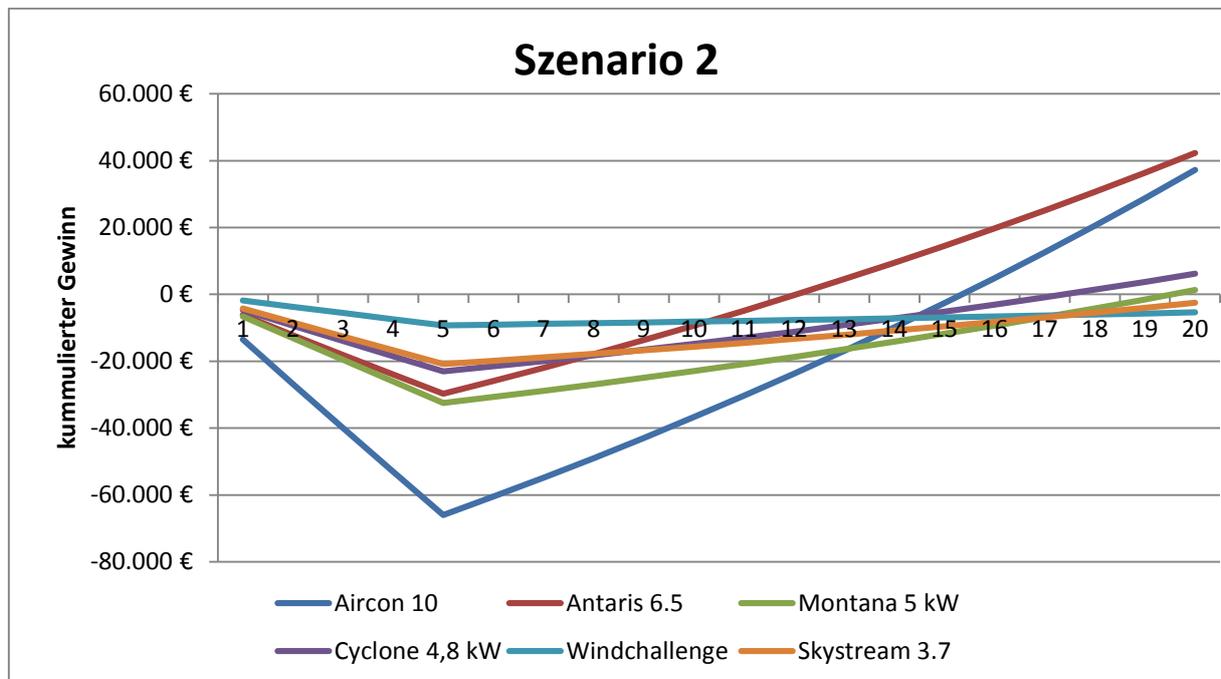
**Abbildung 6-1: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Netzeinspeisung**

Wird der erzeugte Strom zu 100 % selbst verbraucht, stellt sich die Situation anders dar. Zwar erreicht keine der Anlagen im Szenario 1 bei 3 m/s die Wirtschaftlichkeit (Abbildung 6-2), jedoch bereits im Szenario 2 bei 4 m/s mittlerer Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe sind zwei der Anlagen als wirtschaftlich zu bezeichnen, während zwei weitere innerhalb der 20 Jahre

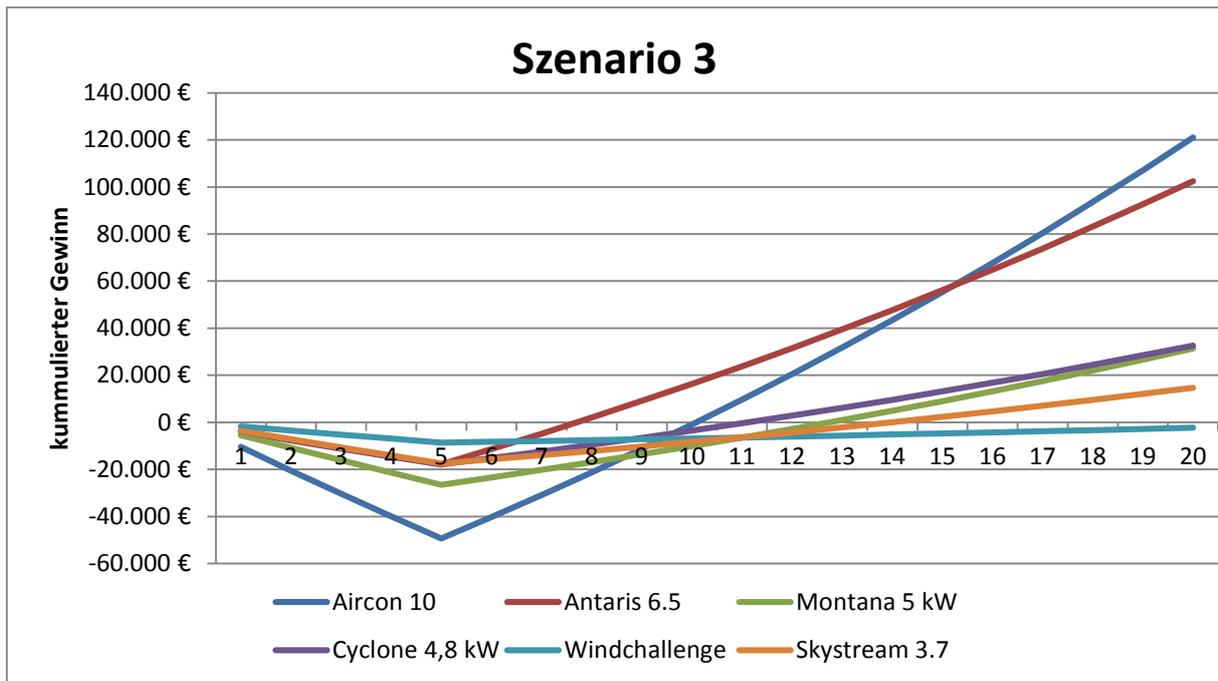
zumindest die Investitionskosten wieder einspielen (Abbildung 6-3). Im Szenario 3 erreichen alle untersuchten Kleinwindanlagen bis auf die kleinste (Windchallenge 1.7) die Wirtschaftlichkeit und sogar einen Break-Even-Point von unter 15 Jahren (Abbildung 6-4).



**Abbildung 6-2: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 3 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Eigenverbrauch**



**Abbildung 6-3: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Eigenverbrauch**



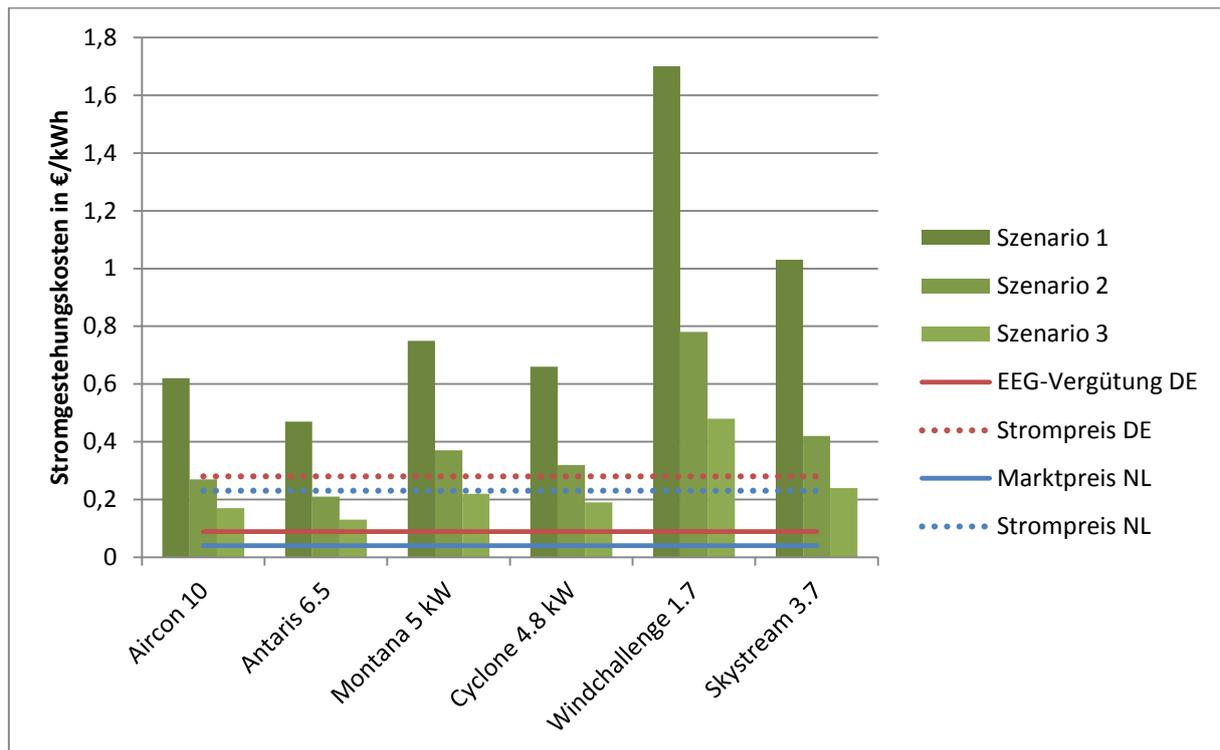
**Abbildung 6-4: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Eigenverbrauch**

Bei diesen Bedingungen ergeben sich die in Tabelle 6-4 angegebenen Kapitalrenditen und Stromgestehungskosten. Die Kapitalrendite liegt für die beiden größten Anlagen bei gutem bis sehr gutem Wind im hohen zweistelligen bis dreistelligen Bereich. Damit sind diese durchaus interessant, wenn die Rendite im Vordergrund steht.

Die Stromgestehungskosten liegen bei allen untersuchten Kleinwindanlagen in jedem Szenario über der derzeitigen Einspeisevergütung von rund 9 ct/kWh, sind also ohne Eigenverbrauch nicht wirtschaftlich zu betreiben (Abbildung 6-5). Erst eine Einspeisevergütung von 25 bis 30 ct/kWh könnte größere Anlagen (ab 10 kW) an guten Standorten für die Einspeisung interessant machen.

**Tabelle 6-4: Kapitalrendite bei 100 % Eigenverbrauch und Stromgestehungskosten nach 20 Jahren Laufzeit**

	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3	
	Kapitalrendite [%]	Kosten pro kWh [€/kWh]	Kapitalrendite [%]	Kosten pro kWh [€/kWh]	Kapitalrendite [%]	Kosten pro kWh [€/kWh]
<b>Aircon 10</b>	- 44	0,62	43	0,27	141	0,17
<b>Antaris 6.5</b>	- 23	0,47	95	0,21	230	0,13
<b>Montana 5 kW</b>	- 57	0,75	3	0,37	82	0,22
<b>Cyclone 4.8 kW</b>	- 50	0,66	22	0,32	115	0,19
<b>Windchallenge 1.7</b>	- 84	1,70	-56	0,78	-24	0,48
<b>Skystream 3.7</b>	- 68	1,03	-10	0,42	61	0,24

**Abbildung 6-5: Stromgestehungskosten in den drei untersuchten Szenarien bei 20 Jahren Laufzeit**

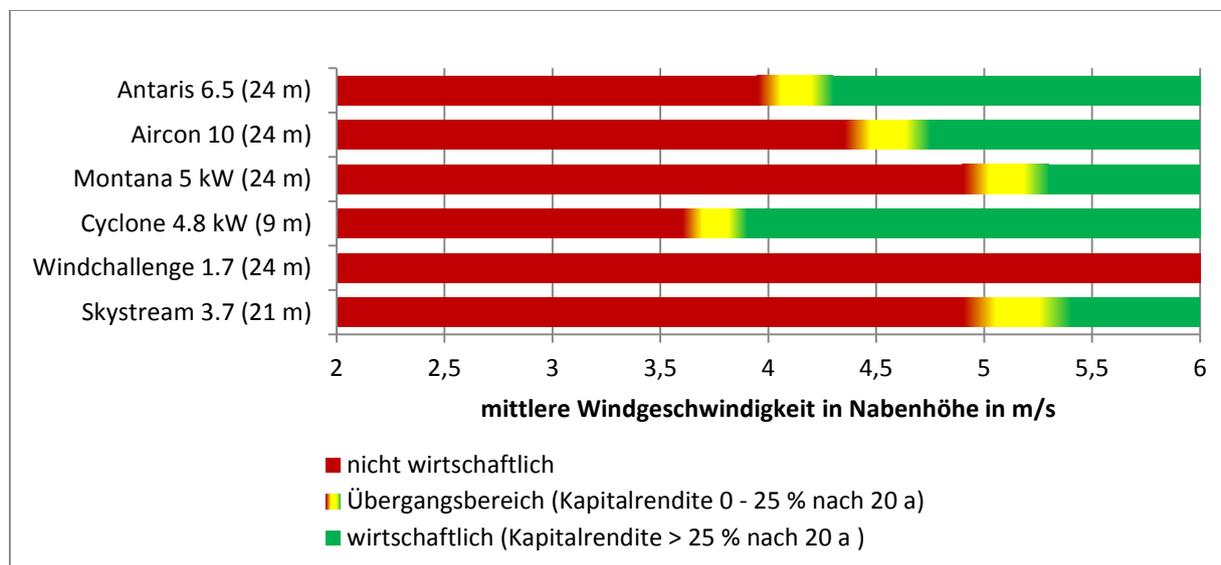
Die Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der sechs Anlagen zeigt Tabelle 6-5. Zusätzlich zu den bereits genannten Daten wurden die maximalen Kosten für die Anlagen berechnet, bei denen eine Amortisation innerhalb von 20 Jahren unter den betrachteten Bedingungen möglich ist.

**Tabelle 6-5: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Projektregion bei guten Windbedingungen von 4 m/s (Szenario 2)**

	Aircon 10	Antaris 6.5	Montana 5 kW
			
<b>Nennleistung</b>	10 kW	7,5 kW	5,8 kW
<b>Rotorfläche</b>	41,3 m <sup>2</sup>	22,1 m <sup>2</sup>	19,6 m <sup>2</sup>
<b>Jahresertrag</b>	18.204 kWh/a	12.751 kWh/a	6.140 kWh/a
<b>Stromgestehungskosten</b>	0,27 €/kWh	0,21 €/kWh	0,37 €/kWh
<b>Investitionskosten</b>	85.775 €	44.482 €	38.185 €
<b>Max. Investitionskosten für Wirtschaftlichkeit (EEG-Vergütung 2012)</b>	24.000 €	16.500 €	6.700
<b>Max. Investitionskosten für Wirtschaftlichkeit (100 % Eigenverbrauch)</b>	bereits wirtschaftlich	bereits wirtschaftlich	wirtschaftlich bei einer Laufzeit von 20 a und 3 %/a Strompreissteigerung
	Cyclone 4,8 kW	Windchallenge 1.7	Skystream 3.7
			
<b>Nennleistung</b>	4,8 kW	0,3 kW	2,1 kW
<b>Rotorfläche</b>	19,6 m <sup>2</sup>	2,3 m <sup>2</sup>	10,8 m <sup>2</sup>
<b>Jahresertrag</b>	5.305 kWh/a	675 kWh/a	3.126 kWh/a
<b>Stromgestehungskosten</b>	0,32 €/kWh	0,78 €/kWh	0,42 €/kWh
<b>Investitionskosten</b>	28.345 €	9.614 €	23.919 €
<b>Max. Investitionskosten für Wirtschaftlichkeit (EEG-Vergütung)</b>	6.000 €	940 €	4.900 €
<b>Max. Investitionskosten für Wirtschaftlichkeit (100 % Eigenbedarf)</b>	wirtschaftlich bei einer Laufzeit von 20 a und 3 %/a Strompreissteigerung	4.500 €	21.000 €

Die maximalen spezifischen Investitionskosten für eine EEG-Vergütung liegen zwischen 1.150 €/kW (Montana 5 kW) und 3.130 €/kW (Windchallenge 1.7). Für den Eigenverbrauch amortisieren sich lediglich zwei der untersuchten Anlagen bei 4 m/s innerhalb von 20 Jahren nicht. Für eine Amortisation innerhalb von 20 Jahren ergeben sich bei diesen Beispielen maximale Investitionskosten in Höhe von 10.000 €/kW (Skystream 3.7) bzw. 15.000 €/kW (Windchallenge 1.7).

Soll eine der untersuchten Anlagen aufgestellt werden, bietet es sich für eine bestmögliche Ertragsprognose an, Windmessungen auf Nabenhöhe durchzuführen. Abbildung 6-6 zeigt, ab welcher mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe die Anlagen über 20 Jahre wirtschaftlich zu betreiben sind.



**Abbildung 6-6: Wirtschaftlichkeit der untersuchten Anlagen in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe**

### 6.3 Schlussfolgerungen aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Mit der Einschränkung, dass bei dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur stichprobenartig Anlagentypen, Windbedingungen und andere Parameter untersucht wurden, lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Horizontale Kleinwindanlagen sind aufgrund geringerer Investitionskosten, höheren Leistungsbeiwerten und dadurch höheren Erträgen den vertikalen Kleinwindanlagen überlegen.
- Anlagen der Kategorien Miniwindanlagen und Mittelwindanlagen (> 5 kW) sind Mikrowindanlagen aufgrund der geringeren spezifischen Investitionskosten vorzuziehen. Hinzu kommt, dass sich der Genehmigungsaufwand bei allen Anlagen im ähnlichen

Rahmen bewegt, dem bei Mikrowindanlagen jedoch sehr geringe Erträge gegenüber stehen. Eine Ausnahme bilden hier nur solche Anlagen, die von der Baugenehmigung befreit sind.

- Es ist ein möglichst hoher Eigenverbrauch anzustreben. Der Ertrag je erzeugter Kilowattstunde Strom ist bei Eigenverbrauch in Deutschland rund drei Mal so hoch wie bei einer Netzeinspeisung. In den Niederlanden kann sogar nur zu Marktpreisen eingespeist werden.
- Damit gute Miniwindanlagen horizontaler Bauart an geeigneten Standorten (mindestens 4 m/s mittlere Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe) auch mit der Einspeisevergütung nach dem EEG wirtschaftlich betrieben werden können, wäre eine Anhebung der Vergütung auf 0,30 €/kWh notwendig, um die zwei besten der untersuchten Anlagen auch ohne Eigenverbrauch wirtschaftlich betreiben zu können.
- Hohe Windgeschwindigkeiten sind entscheidend für hohe Erträge. Anlagen sollten deshalb so hoch gebaut werden, wie es die Genehmigungssituation am Standort erlaubt.

## 6.4 Marktübersicht

Der Markt für Kleinwindanlagen ist recht unübersichtlich. Häufig tauchen neue Hersteller auf, die einen Prototypen entwickeln und dann aber wieder vom Markt verschwinden. Teilweise werden unrealistische Angaben bei den Leistungsdaten gemacht, die Leistungsbeiwerte jenseits der theoretischen Maximalwerte versprechen. In Tabelle 6-6 sind Hersteller gelistet, die bereits eine signifikante Anzahl Anlagen verkauft, bzw. zertifizierte Anlagen im Programm haben. Hinzu kommt, dass die Nennwindgeschwindigkeiten von Hersteller zu Hersteller und sogar von Modell zu Modell variieren können und so ein direkter Vergleich erschwert wird. Die Nennwindgeschwindigkeit kennzeichnet den Auslegungspunkt der Anlage, insofern sind unterschiedliche Nenngeschwindigkeiten je nach Einsatzort sinnvoll, fördern jedoch nicht die Vergleichbarkeit.

In einer Marktübersicht sollten jedoch auch vergleichbare Kennwerte angegeben sein. Ein wichtiger Kennwert ist die vom Rotor überstrichene Fläche in m<sup>2</sup>. Anhand dieser kann das maximale Windpotential des Rotors ermittelt und untereinander verglichen werden. Je nachdem, ob schwache oder starke Winde an einem Standort überwiegen, sollte der Generator ausgewählt werden.

**Tabelle 6-6: Hersteller von Kleinwindanlagen**

Hersteller	Sitz	Website
<b>Ampair Energy Ltd.</b>	Vereinigtes Königreich	<a href="http://www.ampair.com/">http://www.ampair.com/</a>
<b>Aventa AG</b>	Schweiz	<a href="http://www.avena.ch/">http://www.avena.ch/</a>
<b>Bergey WindPower Co.</b>	USA	<a href="http://bergey.com/">http://bergey.com/</a>
<b>BRAUN Windturbinen GmbH</b>	Deutschland	<a href="http://www.braun-windturbinen.com/">http://www.braun-windturbinen.com/</a>
<b>C&amp;F Green Energy</b>	Irland	<a href="http://www.cfgreenenergy.com/">http://www.cfgreenenergy.com/</a>
<b>EasyWind GmbH</b>	Deutschland	<a href="http://www.easywind.org/">http://www.easywind.org/</a>
<b>Eoltec</b>	Frankreich	<a href="http://www.eoltec.com/">http://www.eoltec.com/</a>
<b>Evance Wind Turbines Ltd</b>	Vereinigtes Königreich	<a href="http://www.evancewind.com/">http://www.evancewind.com/</a>
<b>Fortis Wind Energy</b>	Niederlande	<a href="http://www.fortiswindenergy.com/">http://www.fortiswindenergy.com/</a>
<b>Gaia Wind Limited</b>	Vereinigtes Königreich	<a href="http://www.gaia-wind.com/">http://www.gaia-wind.com/</a>
<b>HUAYING WIND</b>	China	<a href="http://en.huayingwind.com/">http://en.huayingwind.com/</a>
<b>Kestrel Wind Turbines</b>	Südafrika	<a href="http://www.kestrelwind.co.za/">http://www.kestrelwind.co.za/</a>
<b>Kingspan Environmental</b>	Irland	<a href="http://www.kingspanwind.com/">http://www.kingspanwind.com/</a>
<b>Lely Holding S.à r.l.</b>	Niederlande	<a href="http://www.lely.com/">http://www.lely.com/</a>
<b>PSW-Energiesysteme</b>	Deutschland	<a href="http://www.psw-energiesysteme.com/">http://www.psw-energiesysteme.com/</a>
<b>S&amp;W Energiesysteme</b>	Deutschland	<a href="http://www.s-und-w-energie.de/">http://www.s-und-w-energie.de/</a>
<b>Sonkyo Energy</b>	Spanien	<a href="http://germany.windspot.es/">http://germany.windspot.es/</a>
<b>Uni Wind GmbH</b>	Deutschland	<a href="http://www.uniwindgmbh.de/">http://www.uniwindgmbh.de/</a>
<b>winDual UG (haftungsbeschränkt)</b>	Deutschland	<a href="http://www.windkraft-anlagen.com/">http://www.windkraft-anlagen.com/</a>
<b>Xzeres</b>	USA	<a href="http://www.xzeres.com/">http://www.xzeres.com/</a>

In Schwachwindgebieten wird vorzugsweise ein Generator ausgewählt, der bei geringeren Windgeschwindigkeiten seine maximale Leistung erreicht als in Starkwindgebieten, wodurch bei Teillast ein höherer Wirkungsgrad und eine geringere Anlaufwindgeschwindigkeit erreicht werden. Umgekehrt werden in Starkwindgebieten größere Generatoren eingesetzt, um auch häufiger vorkommende starke Winde mit hohem Energiegehalt noch ausnutzen zu können. Aus dem Kennwert der spezifischen Leistung, also der installierten Leistung bezogen auf die überstrichene Rotorfläche, lässt sich die Auslegung für Stark- oder Schwachwindstandorte erkennen. Schwachwindanlagen werden in der Regel solche genannt, die eine spezifische Leistung von 100 W/m<sup>2</sup> bis 200 W/m<sup>2</sup> aufweisen, typische Starkwindanlagen haben eine spezifische Leistung von bis zu 500 W/m<sup>2</sup>.

Von Leistungskurven können vergleichbare Leistungsdaten bei bestimmten Windgeschwindigkeiten abgelesen werden. Leistungskurven von Herstellern sind jedoch mit Vorsicht zu genießen, wenn keine Zertifizierung der Anlage vorliegt (siehe Kapitel 2.3).

Der Bundesverband Windenergie (BWE) veröffentlichte im März 2013 die 2. Auflage des „BWE Marktübersicht spezial Kleinwindanlagen“, in dem diese Kennwerte für auf dem Markt erhältliche Anlagen aufgeführt sind.

In Abbildung 6-6 ist beispielhaft ein Datenblatt aus dem BWE Marktübersicht spezial Kleinwindanlagen abgebildet. Neben den oben genannten Kennwerten werden auch rechnerisch ermittelte Ertragsdaten für ausgewählte Standortbedingungen genannt. Diese Werte basieren jedoch meist auch auf Herstellerangaben und sollten deswegen bestenfalls für eine Vorauswahl und nicht für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen werden. An diesem speziellen Beispiel erkennt man allerdings einen Hinweis auf die MCS-Zertifizierung des Systems, sodass die Erstellungsbedingungen der Leistungskurve nachvollziehbar sind.

Wie in Kapitel 2.2 erwähnt, eignen sich aufgrund des hohen Leistungsbeiwertes besonders Windkraftanlagen horizontaler Bauart für einen wirtschaftlichen Betrieb. Tabelle 6-7 zeigt eine Auswahl auf dem Markt verfügbarer Kleinwindanlagen mit Zertifizierung. Es existieren nur wenig Modelle mit einer Nennleistung von weniger als 5 kW, welche nach den in Kapitel 2.3 genannten Verfahren zertifiziert sind. Anlagen deutscher und niederländischer Hersteller sind aufgrund der fehlenden Notwendigkeit für die Förderung und der hohen Kosten selten nach oben genannten Verfahren zertifiziert.

Die Leistungsdichten in  $W/m^2$  und die Nennleistungen in kW der Anlagen aus Tabelle 6-7 sind in Abbildung 6-7 aufgetragen. Es zeigt sich deutlich die Auslegung für verschiedene Windbedingungen.

# Skystream 3.7



Southwest Windpower Inc.  
Flagstaff, AZ USA

**ZERTIFIZIERT**  
nach MCS

## LEISTUNG / JAHRESERTRAG

Nennleistung	2,4 kW	Einschaltwindgeschwindigkeit	3,0 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	13,0 m/s	Ausschaltwindgeschwindigkeit	
		Überlebenswindgeschwindigkeit	63,0 m/s
Leistung bei 5 m/s	213 W	Leistung bei 11 m/s	2.352 W
Spezifische Leistung	221 W/m <sup>2</sup>		
Jahresertrag	$v_m = 4 \text{ m/s}; k = 1,8$	$v_m = 5 \text{ m/s}; k = 2,0$	$v_m = 6 \text{ m/s}; k = 2,2$
	2.429 kWh/a	4.090 kWh/a	6.164 kWh/a

## TECHNISCHE DATEN

Anlagentyp	Horizontalachser		
Anzahl der Rotorblätter	3	Blattlänge	
Durchmesser	3,72 m	Überstrichene Rotorfläche	10,87 m <sup>2</sup>
Rotordrehzahl bei Nennleistung	330 U/min		
Rotorblattspitzengeschwindigkeit	64 m/s		
Material	GFK, Stahl		
Nabenhöhe	20 m	Turmtyp	Stahlrohrturm
Gesamtgewicht	77 kg	Getriebe	getriebelos
Generator	Permanentmagnet		
Spannung	120 / 240 V AC		
Geschwindigkeitssteuerung	elektronisch		
Windrichtungsnachführung	Leeläufer		
Hauptbremse	elektronisch, Stall		

## PREISE / SONSTIGES

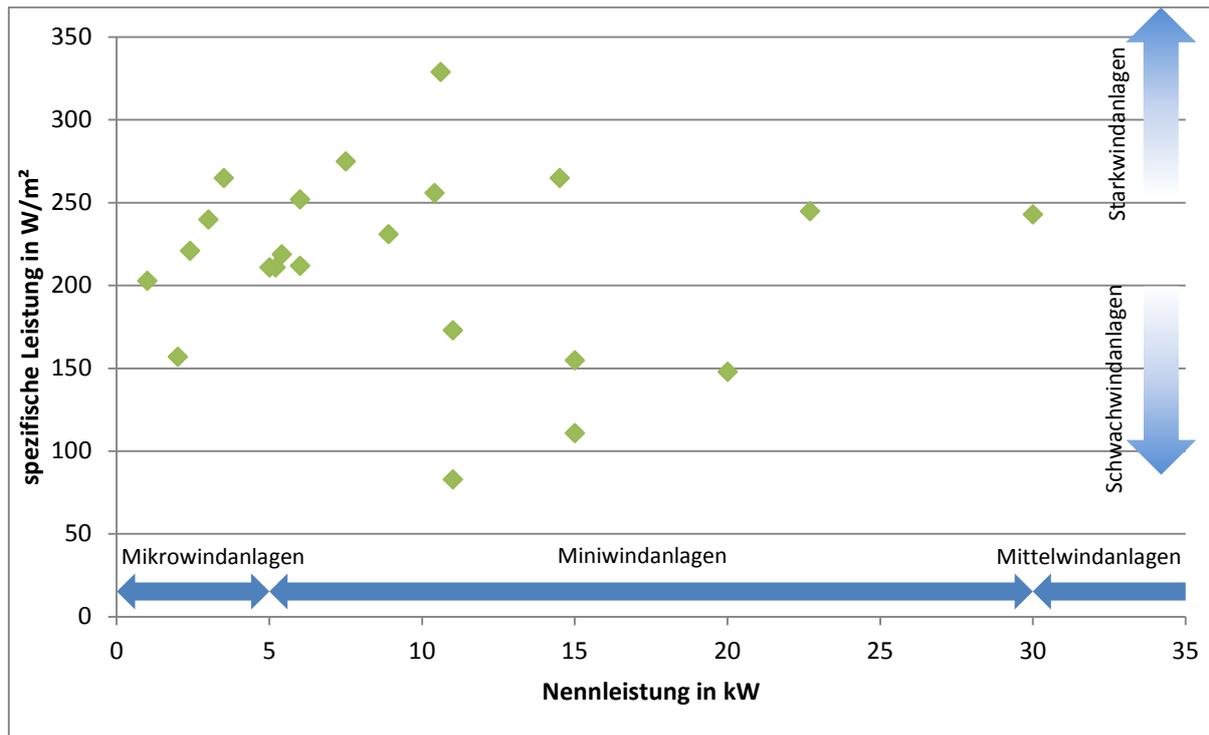
Preis	6.400 €	Garantie	5 Jahre
Installierte Anlagen	ca. 6.500		
Anmerkung	sehr gut als häusliche Netzeinspeiseanlage geeignet		

Abbildung 6-7: Beispiel eines Datenblattes aus der BWE-Marktübersicht Kleinwindanlagen [13]

**Tabelle 6-7: Ausgewählte Kleinwindanlagen mit Zertifizierung [Quelle: [13] und eigene Recherche]**

Hersteller	Typ	Nennleistung/ Nennwindge- schwindigkeit	Rotordurch- messer	Rotorfläche	spez. Leistung	Preis laut Hersteller	Zertifizierung	Kategorie*
		[kW] / [m/s]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[€]		
Ampair Energy Ltd.	Ampair 6kW	6,0 / 12,0	5,5	23,8	252	k.A.	MCS	2
	Ampair 10kW	10,6 / 12,0	6,4	32,2	329	k.A.	MCS	2
	Ampair 20kW	22,7 / 14,0	10,2	81,7	245	k.A.	MCS	2
Bergey WindPower Co.	Bergey Excel 1	1,0 / 11,0	2,5	4,9	203	3.700	SWCC/MCS	1
	Bergey Excel 10	8,9 / 11,0	7,0	38,5	231	24.500	SWCC/MCS	2
C&F Green Energy	CF 11	11,0 / 9,0	9,0	63,6	173	43.000	MCS	2
	CF 15	15,0 / 9,0	11,1	96,8	155	53.000	MCS	2
	CF 15e	15,0 / 8,0	13,1	134,8	111	65.000	MCS	2
	CF 20	20,0 / 9,0	13,1	134,8	148	73.000	MCS	2
Kingspan Environmental	KW6	5,2 / 11,0	5,6	24,6	211	k.A.	SWCC/MCS	2
Lely Holding S.à r.l.	AIRCON 10	9,8 / 11,0	7,1	39,6	247	k.A.	MCS	2
EasyWind GmbH	EasyWind 6	6,0 / 10,6	6,0	28,2	212	24.000	IEC 61400-2	2
PSW-Energiesysteme	EN-Drive 2000.2/15	14,5 / 11,2	8,5	56,7	265	k.A.	MCS	2
Evance Wind Turbines Ltd	Evance R9000	5,0 / 12,0	5,5	23,7	211	30.000	SWCC/MCS	2
Gaia Wind Limited	Gaia 133	11,0 / 9,5	13,0	132,0	83	54.000	MCS	2
Kestrel Wind Turbines	Kestrel e400i	3,0 / 11,0	4,0	12,5	240	5.300	MCS	1
Eoltec	Scirocco	5,4 / 11,0	5,6	24,7	219	29.000	MCS	2
HUAYING WIND	HY-2K AD4.0	2,0 / 9,0	4,0	12,6	157	3.700	IEC 61400-2 MCS	1
	HY-30K AD12.5	30,0 / 12,0	12,5	123,7	243	33.000	IEC 61400-2 MCS	3
Xzeres	Skystream 3.7	2,4 / 13,0	3,7	10,9	221	6.400	MCS	1
	442SR	10,4 / 11	7,2	40,7	256	k.A.	SWCC/MCS	2
Sonkyo Energy	WINDSPOT 3.5	3,5 / 12,0	4,1	12,9	265	7.800	IEC 61400-2 MCS	1
	WINDSPOT 7.5	7,5 / 11,0	5,9	27,3	275	k.A.	IEC 61400-2 MCS	2

\*Kategorien: 1 = Mikrowindanlage  
2 = Miniwindanlage  
3 = Mittelwindanlage



**Abbildung 6-8: Leistungsdichte und Nennleistung der Anlagen**

Abbildung 6-8 zeigt beispielhaft die Anlagen Windspot 7.5 des spanischen Herstellers Sonkyo Energy und die EasyWind 6 des deutschen Herstellers Easywind GmbH. Weitere typische Vertreter der Miniwindanlagen sind die 2000.2 15kW der deutschen Firma PSW Energiesysteme und die Gaia 133 der britischen Gaia Wind Limited in Abbildung 6-9. Gut zu erkennen ist die unterschiedliche Blattzahl und die passive Windnachführung per Windfahne in Abbildung 6-8.



**Abbildung 6-9: Windspot 7.5 (l.) und EasyWind 6 (r.) [Quelle: Sonkyo Energy; Easywind GmbH]**



**Abbildung 6-10: PSW 2000.2 15kW (l.) und Gaia 133 (r.) [Quelle: PSA Energiesysteme; silverford.com]**

## 6.5 Geeignete Technologie für das Projektgebiet

Sowohl die Wirtschaftlichkeitsberechnung wie auch die Marktübersicht zeigt, dass momentan Kleinwindanlagen ab einer Nennleistung von ca. 5 kW und mehr für einen wirtschaftlichen Betrieb in Betracht kommen (Miniwindanlagen). Dies liegt vor allem auch an der mangelhaften Auswahl an Modellen mit Zertifizierung im Segment unter 5 kW (Mikrowindanlagen). Durch die Größe dieser Anlagen, bei Horizontzalläufern beträgt diese ab ca. 5 m Rotordurchmesser, wird ein Betrieb in reinen Wohngebieten nahezu ausgeschlossen. Geeignet ist diese Größe jedoch für Industrie- und Gewerbegebiete sowie landwirtschaftliche Betriebe, wenn der erzeugte Strom zum größten Teil selbst verbraucht werden kann. Des Weiteren hat die Wirtschaftlichkeitsberechnung gezeigt, dass Vertikalläufer zwar einige theoretische Vorteile haben, wie geringere Lautstärke und Anfälligkeit für Turbulenzen, durch die geringen Erträge und die hohen Investitionskosten diese jedoch nur sehr schwer wirtschaftlich zu betreiben sind. Wie Tabelle 6-6 und Tabelle 6-7 zu entnehmen ist, gibt es in diesem Marktsegment einige Hersteller, die bewährte Technologie im Programm haben. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass

- Anlagen mit einer Nennleistung von mindestens 5 kW,
- Horizontale Anlagen und
- Zertifizierte oder in der Praxis bewährte Anlagen

die momentan interessantesten Optionen darstellen.

## **7 IMPLEMENTIERUNG UND POTENTIAL**

### **7.1 Einsatzbereiche Kleinwindkraftanlagen**

Zur Ermittlung der Zielgruppen für Kleinwindkraftanlagen werden zunächst die Ansatzpunkte definiert. Auf der Grundlage der Ansatzpunkte wird im Anschluss auf die Gründe, die für eine Kleinwindkraftanlage sprechen, eingegangen. Mit diesem Hintergrund werden Zielgruppen identifiziert und die entsprechenden Auswahlkriterien, nach denen die Zugehörigkeit zur Zielgruppe bestimmt wurde, bestimmt. Des Weiteren werden die notwendigen Voraussetzungen für die Zugehörigkeit zu einer Zielgruppe genannt.

#### **7.1.1 Ansatzpunkte**

- Bei Anlagen < 1 kW ist ein finanzieller Ertrag nicht zu erwarten (Workshop Steinfurt am 27.6.2013)
- Autarkie ist ein wichtiges Thema
- Anlagen gelten als klein, wenn die Masthöhe bis zu 50 Metern beträgt diese in der Nähe zu einem oder auf einem Gebäude
- Kein spezielles Fördersystem für Kleinwindanlagen. EEG in Deutschland, Saldierung in den Niederlande
- Geeignete Standorte sind Gebäude, die höher als 20 Meter sind und auf der Südwestseite in einem Abstand vom 10-fachen der Nabenhöhe keine Hindernisse vorweisen. (Quelle Seite 17 'quick scan locatie Rapport praktische toepassing van mini windturbines AgentschapNL')
- Windanlagen können auf vier Arten eingesetzt werden:
  1. Ausschließliche Einspeisung in das öffentliche Netz
  2. Lieferung an eine elektrische Installation eines Gebäudes mit maximalem Eigenverbrauch oder Saldierung von Strom
  3. Lieferung an eine energieautarke Insellösung
  4. Lieferung an ein Notstromversorgungssystem

#### **7.1.2 Gründe für nachhaltige Energie**

Menschen und Organisationen können sich aus verschiedenen Anlässen für nachhaltige Energie entscheiden. Dies kann auf Grund von rein energetischen, umwelttechnischen Gesichtspunkten und/oder zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bzw. für ein grünes Image geschehen. Auch wirtschaftliche und innovative Aspekte können relevant sein. Im Folgenden werden einige

Gründe genannt und kurz erläutert. Das Fehlen von einzelnen Elementen der Motive für eine Windanlage kann hemmend wirken. Abhängig von der Zielgruppe oder des Gebäudes, kann ein bestehender Grund mehr oder weniger Einfluss ausüben.

#### **7.1.2.1 Gesichtspunkt Energie**

- Einsparung von Energiekosten und Absicherung des Strompreises / Eigenverbrauch möglich
  - Vor oder hinter dem Zähler (Eigenverbrauch gegen Kleinverbrauchertarif)
  - Niederländische Steuerstruktur / Abzugsmöglichkeiten
  - Deutschland EEG
- Zusätzlich zur Sonnenenergie um nachts und im Winter auch über Energie zu verfügen (Unabhängigkeit Energielieferant und Sicherung der Energieabgaben)
- Energieunabhängigkeit / autarkes System
- Back-up

#### **7.1.2.2 Umwelt /CO<sub>2</sub> Einsparungen**

- Energieeinsparung
- Zertifizierung für Gebäude *Energy Performance Certificate* (EPC)/Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)/ Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM)/ Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)/NLGreenlabel im Kleinschaligheids Investerings Aftrek (KIA)/ Milieu Investeringsaftrek (MIA) 28 % und 26 % extra Steuerabzug.
- Bevorzugte Erzeugungsrechte, da man „grün“ ist.
- Energie Hobby/Überzeugung

#### **7.1.2.3 Grünes Image**

- Image und hervorhebendes Merkmal
- Anregung zur Verhaltensänderung
- Vorbildfunktion, beispielsweise öffentliche Einrichtungen

#### **7.1.2.4 Innovation und Wirtschaft**

- Schaffung von Arbeitsplätzen
- Export-Chancen
- Beitrag an regionalen Energieambitionen

- Bedeutung für das Stromnetz: keine Zugangserschwerung, kein Transportverlust im Netz

#### 7.1.2.5 Genehmigung

- Kosten einer Genehmigung
- Zeitaufwand und Mühen für eine Genehmigung

### 7.1.3 Zielgruppen

Auf der Grundlage der Gründe, die für eine Windanlage sprechen, und den oben genannten Ansatzpunkten wurde die folgende Liste von Zielgruppen zur Orientierung erstellt. Dabei wurden mögliche Motive aufgeführt, warum diese Zielgruppe sich für nachhaltige Energie bzw. Windanlagen interessiert.

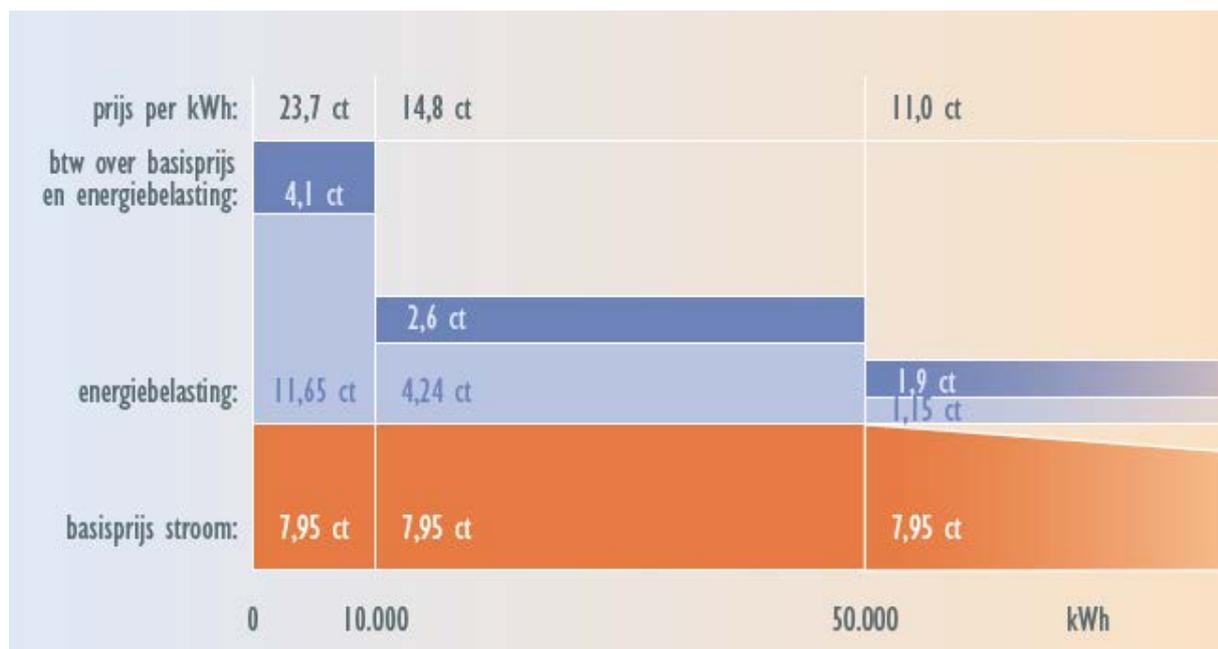
#### Einfamilienhäuser

- Standort: Die meisten Häuser sind niedriger als 20 Meter und das Aufstellen eines Mastes innerhalb der bebauten Umgebung ist nicht immer zu realisieren. Daneben befinden sich viele Objekte in unmittelbarer Umgebung. Freistehende Häuser im Außengebiet haben bessere Chancen, unter anderem, da dort der Energieverbrauch niedrig und die Energiekosten hoch sind.
- Energie: Konsumenten/Bewohner zahlen die höchsten Strompreise. Die vermiedenen Bezugskosten pro kWh sind also sehr hoch in einer Wohnung mit einem Verbrauch < 10.000 kWh/a (Abbildung 7-1). Saldierung der ‚Postcoderoos‘ (= Gebiet in dem die Energie erzeugt wird) scheint für mittelgroße Windanlagen interessant zu sein. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist dann 16 Cent pro kWh und Jahr, ist aber nur für 10 Jahre gültig.
- Umwelt/CO<sub>2</sub>: Bewohner, die ein hohes Energiebewusstsein haben und an Energie interessiert sind, oder in Verbindung mit einem Neubau mit Energiesparzertifikat (EPC) stehen, gehören zur Zielgruppe. Photovoltaikanlagen auf dem Eigenheim sind dazu Konkurrenten.
- Das grüne Image beeinflusst die Bewohner wenig. Der Eine findet es gut, der Andere nicht. Es ist auch Widerstand zu erwarten.
- Innovation/Wirtschaft ist für den individuellen Bewohner nicht von Interesse. Der Einfluss auf den Wert eines Hauses ist nicht gut einzuschätzen.

- Die Genehmigung ist abhängig von dem Standort des Hauses (innerhalb oder außerhalb des bebauten Gebietes und ob sich in unmittelbarer Umgebung Häuser befinden).

### Mehrfamilienhäuser/Hochhäuser

- Standort: Wenn sich keine Objekte im Südwesten in der näheren Umgebung befinden, bestehen große Chancen.
- Energie: Konsumenten/Bewohner zahlen die höchsten Strompreise. Die vermiedenen Bezugskosten pro kWh ist also in einer Wohnung sehr hoch bei einem Verbrauch < 10.000 kWh/a (Abbildung 7-1). In Mehrfamilienhäusern/Hochhäusern besteht hinter den Zählern der Wohnungseinheiten die Möglichkeit zur Saldierung.
- Umwelt CO<sub>2</sub>: Bewohner, die ein hohes Energiebewusstsein haben, an Energie interessiert sind, oder die wegen eines Neubaus mit Energiesparzertifikat (EPC) daran Interesse haben, gehören zur Zielgruppe. Einerseits sind Photovoltaikanlagen auf dem Dach Konkurrenten, andererseits sind Windanlagen eine Ergänzung zur Sonnenenergie, um als Gebäude energieunabhängig zu sein.
- Das grüne Image beeinflusst die Bewohner wenig. Der Eine findet es gut, der Andere nicht. Es ist auch Widerstand zu erwarten. Das Image ist für eine eventuelle Wohnungsbaukooperation von Interesse. Eine weitere Überlegung kann die Anregung der Bewohner zur Verhaltensänderung sein.



**Abbildung 7-1: Von der Abnahmemenge abhängige Stromsteuer in den Niederlanden. Bei Stromabnahme unter 10.000 kWh/a ist die Ersparnis durch selbsterzeugten Strom am größten. [14]**

- Innovation/Wirtschaft ist für den individuellen Bewohner nicht von Interesse. Eine niedrige Stromkostenrechnung kann zu einer verbesserten Vermietbarkeit der Wohneinheiten führen. Dies ist für Wohnungskooperationen interessant.
- Die Genehmigung ist abhängig vom Standort des Gebäudes und den Auswirkungen auf die Umgebung (im oder außerhalb des bebauten Gebietes und ob sich in unmittelbarer Umgebung Häuser befinden).

### **Öffentliche Gebäude**

- Standort: Viele öffentliche Gebäude sind Hochhäuser oder höher als 20 Meter. Sie sind nicht alle frei von Objekten innerhalb der 10-fachen Entfernung der Nabenhöhe.
- Energie: die öffentlichen Gebäude sind oftmals Energie-Großabnehmer. Dadurch ist der gemittelte Strompreis relativ niedrig < 10 Cent pro kWh. Grüner Strom und die Verpflichtung den Strom zu einem bestimmten Preis für einen längeren Zeitraum abzunehmen, können eine Wahlmöglichkeit darstellen.
- Umwelt CO<sub>2</sub>: Die Regierung hat ein großes Interesse in Bezug auf Umweltthemen und CO<sub>2</sub>-Reduzierung.
- Grünes Image: Vorbildfunktion der Regierung und Anregung zur Verhaltensänderung.
- Innovation/Wirtschaft ist von großem Interesse für die Regierung. Als Launch Customer kann sie den Markt ankurbeln.
- Die Genehmigung ist abhängig von dem Standort des Gebäudes und den Auswirkungen auf die Umgebung (im oder außerhalb des bebauten Gebietes und ob sich in unmittelbarer Umgebung Häuser befinden).

Beispiele: Sportstätten, Kulturzentren, Feuerwehrzentralen, Schwimmbäder, Schulen, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, Bauhöfe, Gemeindehäuser, Wasserversorgungsbetriebe, Wasserbehörden, Nutzbetriebe, Einkaufszentren.

### **Industriegebäude**

- Standort: Viele Industriegebäude sind Hochhäuser oder höher als 20 Meter. Manchmal gibt es Hindernisse, ein erheblicher Teil der Industriegebiete grenzt aber an offene Felder.
- Energie: Abhängig von der Art der in dem Gebäude stattfindenden Aktivitäten ist der Strom pro kWh teuer oder auch nicht (Kleinverbrauch gegen Großverbrauch). Der gemittelte Strompreis kann zwischen 4 Cent pro kWh und 19 Cent pro kWh exkl. MwSt. schwanken. Grüner Strom und die Verpflichtung den Strom zu einem bestimmten Preis für einen längeren Zeitraum abzunehmen, können eine Möglichkeit

darstellen, zumindest dann, wenn der Strom einen kleinen Teil der Produktionskosten ausmacht. Darüber hinaus können Betriebe (Umwelt-) Investitionen (extra) vom Gewinn abziehen (Steuervorteil); bei einer GmbH ist dies auf 22,5% anstatt 52% bei einem Einmannbetrieb beschränkt.

- Umwelt CO<sub>2</sub>: Betriebe haben auf dem Gebiet der Umweltfreundlichkeit Interesse, seitens der Konsumenten wird dies auch stets mehr erwartet.
- Grünes Image: Windanlagen strahlen dies immer aus und tragen damit die grünen Ambitionen hinaus.
- Innovationen/Wirtschaft sind für einen Betrieb, abhängig von dem Sektor, in dem er operiert, von großem Interesse. In der Praxis betrifft dies nur eine kleine Gruppe, die direkt im Energiesektor tätig ist.
- Genehmigungen sollten im Allgemeinen in Industriegebieten möglich sein.

### **Landwirtschaftssektor/Standorte in un bebauten Gebieten**

- Standorte: Viele Standorte, meistens wenig Hindernisse und Möglichkeiten einen Mast auf einem landwirtschaftlichen Gebäude zu errichten.
- Energie: Saldierung möglich. Gemittelter Preis ca. 12 Cent exkl. MwSt.; Ergänzung zur Sonnenenergie, Stimulierung zum Eigenverbrauch für den Fall, dass die Saldierung nicht (mehr) möglich ist; Möglichkeit zum Steuerabzug in den Niederlanden; oft landwirtschaftliche Betriebe; Steuervorteil liegt bei bis zu 52% des Investitionsbetrages.
- Umwelt CO<sub>2</sub>: Bei Friesland Campina und VION beispielsweise steht Nachhaltigkeit im Fokus. In der Zukunft könnte ein Punktesystem entstehen, an das Produktionsrechte geknüpft werden können.
- Grünes Image spielt für diesen Sektor eine eingeschränkte Rolle.
- Innovation/Wirtschaft trifft für diesen Sektor zu. Für den Investierenden, den individuellen Landwirt, von geringerem Interesse.
- Genehmigung: Scheint gut möglich, da Außengebiet.

### **Inselsystem / Backup Systeme**

Schwer zugängliche Gebiete oder Standorte mit einem geringen Energieverbrauch, wo sich die Realisierung eines einzelnen Netzanschlusses nicht lohnt.

Beispiele:

- Künstliche Bauwerke bei Wasserbehörden
- Entlang von Wegen, Ampeln, Beleuchtung, Informationstafeln, etc.

- Öffentliche Beleuchtung

In Kombination mit Photovoltaikanlagen und einer kleinen Batterie steht Strom im Sommer und Winter sowie Tag und Nacht zur Verfügung.

- Schwer erreichbare Standorte, Kombination mit Akku um beispielsweise 48 Stunden überbrücken zu können und den Rest aus Sonnenenergie oder Windkraft beziehen.  
Option: Im Anschluss daran in Ausnahmesituationen eines Stromausfalls über einen längeren Zeitraum ein Dieselaggregat nutzen.
- Beispiel: Pflegeeinrichtungen, Bauernhöfe, Geschäfte, etc. mit der Notwendigkeit für Notstrom.

### **Besondere Gebäude, beispielsweise ‚Flügel statt Wetterhahn‘**

Kirchen, die keine Funktion mehr ausüben, werden manchmal für andere Zwecke genutzt. Es könnte der Austausch von Wetterhähnen gegen eine Windanlage angeregt werden. Die Türme sind stabil, da in diesen häufig Glocken hängen, sie sind hoch und es sind keine Hindernisse in direkter Umgebung. Dies ist eine etwas verrückte Idee, die wir aber dennoch genannt haben möchten. Kirchen sind meistens Monumente, könnten damit aber eine extra Funktion übernehmen.



**Abbildung 7-2: Foto von: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Den\\_Hout\\_-\\_molen\\_De\\_Hoop\\_in\\_omgeving.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Den_Hout_-_molen_De_Hoop_in_omgeving.jpg)**

Oben genannte Zielgruppen sind in der Tabelle 7-1 zusammengefasst.

**Tabelle 7-1: Zielgruppen**

Zielgruppe	Standort	Energie	Umwelt/ CO <sub>2</sub>	Grünes Image	Innovation/ Wirtschaft	Genehmi- gung
<b>Einfamilienhaus</b>	++ oder --	++	+	+/-	+/-	-
<b>Hochhaus; Mehrfamilien- haus</b>	++	++	+	+	+	+/-
<b>Öffentliche Gebäude</b>	+	+	++	++	++	+/-
<b>Gewerbegebiete</b>	++	+/-	++	++	+	+
<b>Landwirtschaft Sektor</b>	++	++	+	+	+/-	+
<b>Inselsysteme</b>	+	++	+	+	+	+
<b>Besondere Gebäude</b>	+/-	++	+	+	+	+

## 7.2 Was untersucht werden muss: Einstellung gegenüber kleinen Windanlagen

### 7.2.1 Beweggründe für Kleinwindkraftanlagen

Um mit nachhaltiger Energie beginnen zu können, müssen bestehen Faktoren, die für eine Zunahme der Geschwindigkeit oder das Abschwächen einer Bewegung verantwortlich sind, beachtet werden. In dem Buch 'thuis in energie' (Willemsen 2013) werden unten stehende Beweggründe für Bürger, Organisationen und einer Region für den Übergang zur nachhaltigen Energie (s. Abb. 7-2) genannt.

### 7.2.1.1 Beweggründe

Beweggründe von Bürgern	Beweggründe von Unternehmen und Organisationen	Beweggründe der Region
<p><b>Positiv</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Begeisterung;</li> <li>• Nachhaltigkeit und Umwelt;</li> <li>• Unabhängigkeit;</li> <li>• Absicherung der Energiekosten;</li> <li>• Wohn- und Lebenskomfort;</li> </ul>	<p><b>Positiv</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiekosten sparen;</li> <li>• Erhalt eines zusätzlichen Differenzierungsmerkmals;</li> <li>• Chancen auf dem Markt mit innovativer Technik;</li> <li>• Nachfrage von Nachhaltiger Energie durch Kunden und Kundenkunden;</li> <li>• Streben nach Unabhängigkeit von Energieunternehmen;</li> <li>• Überzeugung generationsübergreifend zu wirtschaften.</li> </ul>	<p><b>Positiv</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menschen, Organisationen und Bildung miteinander verbinden;</li> <li>• Ambitionen, energieneutral zu werden und sich als Region abzuheben;</li> <li>• Lösung der regionalen Mist- und Abfallproblematik;</li> <li>• Die Krise im Bauwesen stoppen, etwas gegen Bevölkerungsrückgang und Überalterung tun.</li> </ul>
<p><b>Negativ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Angst vor dem Unbekannten;</li> <li>• Wertverlust der Wohnung;</li> <li>• Antasten der Außenfassade, der Landschaft oder des Dorfesichts;</li> <li>• begrenzte Finanzierungsmittel;</li> <li>• eventuelle Belästigung.</li> </ul>	<p><b>Negativ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maßnahmen sind zu teuer;</li> <li>• Unzuverlässige Behörden arbeiten dagegen;</li> <li>• Kunden und Kundenkunden interessieren sich nicht dafür;</li> <li>• beschränkte Finanzierungsmittel;</li> <li>• Die Investitionspriorität liegt im Primärprozess.</li> </ul>	<p><b>Negativ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die feste Größe von Energieunternehmen wirkt hemmend;</li> <li>• fehlende Zuverlässigkeit der Behörden, um einen langfristigen Businesscase durchführen zu können;</li> <li>• „den Behörden fällt jedes Mal etwas Neues ein, um Steuern erheben zu können“;</li> <li>• parteipolitische Programme bremsen.</li> </ul>

**Abbildung 7-3: Beweggründe**

Zur Identifizierung einer bestimmten Zielgruppe müssen die für die Zielgruppe bestimmenden Faktoren bestimmt werden. Die Kunst besteht darin, die positiven Faktoren für eine breite Unterstützung und die negativen Faktoren zur Einschränkung des Widerstandes einzusetzen.

### 7.2.1.2 Vor- und Nachteile Kleinwindkraftanlagen

#### Vorteile

- Wind ist zur Sonnenenergie komplementär. Vor allem wird ein Ertrag in den Wintermonaten erzielt. Somit ist es möglich, mehr tatsächlich genutzte Energie mit einem Mix aus Sonne und Wind zu erzeugen.
- Ein Kleinwindprojekt ist einfacher umzusetzen als bei Großanlagen.

#### Nachteile

- Strom aus Kleinwindanlagen ist teurer als aus großen Windanlagen
- Strom aus Kleinwindanlagen ist deutlich teurer als aus Sonnenenergie
- Nachteil beweglicher Teile. Hohe Wahrscheinlichkeit von Geräuschentwicklung, Schwingungen und Schlagschatten sowie optische Effekte.
- Kosten für die Genehmigung sind nicht deutlich
- Richtlinien wie bei Photovoltaikanlagen sind noch nicht ausgearbeitet.

### **7.2.2 Wann empfiehlt sich der Bau einer Kleinwindkraftanlage?**

Nachfolgend eine Auflistung von Indikationen für den Bau einer Kleinwindkraftanlage:

- Wenn Menschen an (Wind-) Technik interessiert sind.
- Wenn es finanziell attraktiv ist, z.B. durch den Strompreis oder den Mehrwert auf dem Markt für eigene Produkte und Dienstleistungen eines landwirtschaftlichen oder industriellen Betriebs.
- Für Menschen, die nach einem hohen Maß an Autarkie streben.
- Wenn sich Menschen mit einem für eine Photovoltaikanlage ungeeignetem Dach (Nordausrichtung) dennoch für nachhaltige Energie entscheiden möchten, bietet eine Kleinwindkraftanlage eine Option.
- Wenn Menschen durch Elektromobilität mehr Energie verbrauchen, als ihr Dach mit einer Photovoltaikanlage erzeugen kann (3 kWh ersetzen 1 Liter Benzin).
- Betriebe, die mit Kleinwindkraftanlagen Möglichkeiten zum Steuern sparen haben.
- Wenn der Wind für einen größeren Eigenverbrauchanteil sorgen kann. Dies sorgt in den Niederlanden für einen maximalen Eigenverbrauch durch eine Kombination von Sonnen- und Windenergie, wenn dort die Saldierung abgeschafft wird (für 2020 erwartet).
- In gleichwertigen Business Cases bezüglich anderer nachhaltiger Alternativen.
- Beitrag zur Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen/großen Energiekonzernen/Politik der Regierung

### **7.2.3 Einstellung der Zielgruppen in den Niederlanden und in Deutschland**

In Bezug auf nachhaltige Energie und vor allem bei Windkraftanlagen, bestehen zwischen den Niederlanden und Deutschland Unterschiede. Aus dem Bericht ‚Waait de wind harder in

Duitsland' von Lesley ter Maat als Masterthesis Milieumaatschappijwetenschappen, Seite 47, Dezember 2013, entstammt Tabelle 7-2.

**Tabelle 7-2: Politische Ausgangspunkte NL/ DE**

	<b>Niederlande</b>	<b>Deutschland</b>
<b>Politik</b>	Überwiegend unterstützend, Initiative wird den Bürgern und Betrieben überlassen.	Sowohl aktiv als auch unterstützend. Viel eigene Initiativen, aber auch Unterstützung von Bürgern und Betrieben
<b>Gesetz und Verordnung</b>	Schützend	Förderung
<b>Politischer Diskurs</b>	Staat und Provinzen Ökonomisch Gemeinden Sozial	Alle Behörden Klimatologisch/Energiewende

In diesem Bericht (Ter Maat, 2013) fiel auf, dass aus Befragungen von Windparkanwohnern in den Niederlanden und in Deutschland und mit vielen anderen Bürgern hervorging, dass der Umweltdiskurs in Deutschland dominant ist und in den Niederlanden nicht vorkommt. Der Distributional Justice Discours ist in allen niederländischen Fällen erkennbar, sowohl Anwohner als auch Bürger legen Wert auf die Möglichkeit, sich an einem Windpark zu beteiligen. Die lokale soziale Akzeptanz hing in einem Park sogar von der Möglichkeit eines Ausgleichs ab. Die niederländischen Befragten orientieren sich also mehr an den wirtschaftlichen Möglichkeiten, für die deutschen Befragten ist dies weniger wichtig.

Für beide Länder gilt, da sich nicht mit der Thematik beschäftigt wird, ein positives Desinteresse. ‚Nicht in meinem Vorgarten‘ scheint nur einen Effekt auf die Bürger und nicht auf die Anwohner zu haben.

#### **7.2.4 Erste Feststellung: Gründe für eine Kleinwindkraftanlage**

Einige Gespräche, mit Menschen aus den Zielgruppen bestätigen, dass das in den vorherigen Kapiteln auf der Grundlage von Befragungen und Literaturrecherche entstandene Bild in Bezug auf Kleinwindkraftanlagen zutrifft.

Primär muss ein finanzieller Vorteil vorhanden sein, eine Verbesserung des Images wird meist an zweiter Stelle genannt. Das verbesserte Image führt dazu, dass auf lange Sicht der (landwirtschaftliche) Betrieb auf weniger Widerstand, verursacht durch Klagen aus der Nachbarschaft oder Genehmigungsprozederen, stoßen wird. Das verbesserte Image könnte des Weiteren bei einem Nachhaltigkeitsnachweis hilfreich sein. Gründe für eine Kleinwindanlage

sind also im Betrieb letztendlich finanziell bedingt (muss das gleiche kosten wie der graue Strom) oder müssen das Existenzrecht des Unternehmens untermauern.

Bei Gemeinden und Wohnungsbaukooperationen spielen Klimaschutz oder CO<sub>2</sub>-Reduzierung eine Rolle. Sie möchten eine Vorbildfunktion ausüben und da darf es mehr kosten. Vor allem bei den Wohnungsbaukooperationen wird aus der Sicht der Mieter über den persönlichen Mehrwert nachgedacht.

Die niederländische Postcoderoos Saldierung kann für lokale Initiativen und Energiekooperationen interessant sein. Dies gilt für mittelgroße Windkraftanlagen, die die Hälfte des Strombedarfs einer Familie erzeugen. Der Eigenverbrauch im Saldierungsgebiet ist bei dieser Konstellation in der Regel ausreichend hoch.

Für Deutschland gilt ebenfalls, dass eine Windkraftanlage für den Käufer finanziell lukrativ sein soll. In der Politik und der Gesetzgebung (EEG) sehen die Rahmenbedingungen eine Investitionssicherheit von 20 Jahren vor. Dies hat Investitionen auch dann zur Folge, auch wenn die Amortisationsdauer mehr als 5 Jahre beträgt. Bei diesem Hintergrund spielt auch das Klimabewusstsein eine Rolle, um etwas zu erreichen. ‚Erneuerbar‘ zu denken ist bereits alltäglich. Man möchte in zunehmendem Maß unabhängiger von politischen Veränderungen werden und auf dem Gebiet der Energie selbst bestimmen (Sicherheit erwerben).

Genehmigungen und Vorgehensweisen sind für Kleinwindkraftanlagen nicht immer eindeutig und verunsichern oder führen zu Verzögerungen und höheren Kosten, verursacht durch überproportionale Prüfkosten und Gebühren.

### **7.2.5 Empfehlung für weitere Untersuchungen**

Für eine bessere Vorhersage des richtigen Zeitpunkts für die Investition in eine Kleinwindkraftanlage ist es interessant, folgenden Fragen weiter nachzugehen:

- Welche Faktoren sind in den Niederlanden und in Deutschland ausschlaggebend für eine Entscheidung für oder gegen eine Windkraftanlage?
- Welche Alternativen zur Windanlage und den dazugehörigen Kosten gibt es für die verschiedenen Zielgruppen?
- Was sind die Rahmenbedingungen des Energiemarktes, um Kleinwindkraftanlagen zu ermöglichen und wie kann die Politik und die Gesetzgebung hieran angepasst werden?
- Ein wichtiger Pfeiler ist der Preis. Wie aussichtsreich sind Kleinwindkraftanlagen in absehbarer Zeit? Wie weit kann der Herstellungspreis, der pro Jahr pro kWh anfällt, verringert werden und wie erhält die erzeugte Energie den größten Wert?

- Wie kann Kleinwind zu einer Zunahme des Autarkiegrades der Standorte beitragen?
- Was ist der richtige Zeitpunkt für den breiten Markteintritt und Marketing?

### **7.3 Was unternommen werden muss, um die bestmögliche Herangehensweise an die Zielgruppen zu finden**

Zu diesem Zeitpunkt sind Kleinwindkraftanlagen noch eine teure Alternative zu großen Windkraftanlagen und/oder Photovoltaikanlagen auf Wohnhäusern. Gesehen den Fall, dass die Energiekosten steigen und die Technik der Kleinwindkraftanlagen sich weiter entwickelt, können Kleinwindkraftanlagen in absehbarer Zeit aussichtsreich sein. Wichtig ist zu beginnen und zu wissen, wo welches Potenzial liegt.

Wir empfehlen daher eine Marktannäherung an die Zielgruppen in einzelnen Phasen.

1. Pilot- und Prototypphase; ab jetzt in den Zielgruppen nach einem Standort suchen, um bei den 'first movers' erste Kleinwindkraftanlagen zu realisieren und so Daten und Erfahrungen zu sammeln.
2. Erste Serienphase; aus der Technik heraus sollen sich die besten Lösungen entfalten und die besten Marktbedingungen/Zielgruppen ergeben. Diesen Märkten muss man sich für eine nächste Ausbauphase gezielt nähern.
3. Breite Marktannäherung. Falls die Kleinwindkraftanlagen sich weiterhin in der Lernkurve befinden, ist es interessant, diese breit zu entwickeln. Der Markt muss es dann selbst regeln.

Gezielte Förderungen in Phase 1 und 2 durch eine vereinfachte Gesetzgebung zur Installation der Anlagen und Lieferung von Strom in den ersten beiden Phasen sind wichtig, um Kleinwindkraftanlagen eine Chance zu bieten. In Phase 3 muss der Markt es selbst regeln.

Auf politischem Gebiet sehen wir in den Niederlanden und in Deutschland Unterschiede. Auf dem europäischen Energiemarkt ist allerdings eine Annäherung auf politischer Ebene zu erwarten. Das bedeutet, dass ein Gleichgewicht zwischen der niederländischen wirtschaftlich getriebenen Politik und der deutschen, durch das Klima bestimmten Politik entstehen wird. Eine europäische Vorgehensweise erscheint wichtig und richtig.

### **7.4 Potentieller Marktumfang/Anzahl**

Der Markt für Kleinwindkraftanlagen steht noch am Anfang der Erfahrungskurve, so dass man noch Entwicklungen bei den Kosten erwarten kann. Daneben gibt es auch Alternativen aus anderen nachhaltigen Quellen, wie zum Beispiel Photovoltaikanlagen, die hinter dem

Stromzähler Strom in das Hausnetz, das auf Eigenverbrauch ausgerichtet ist, einleiten. Nur die erzeugte Energie, die auch tatsächlich genutzt wird, ist wertvoll. Photovoltaikanlagen werden in Massenproduktion hergestellt, Kleinwindkraftanlagen (noch) nicht. Abhängig von den Kosten und dem Erlös für den Kunden, sollte es einen Markt dafür geben. Förderungen oder (Energie-) Steuervorteile gehören auch dazu. Bei Photovoltaikanlagen war in den Niederlanden eine Marktentwicklung zu beobachten, bei der zwischen 1998 und 2003, als Folge von Subventionen, ca. 40 MWp zugebaut wurde. Danach war zunächst kaum eine Entwicklung zu beobachten, durch die Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE)-Subventionen von 2008 und durch den Preisfall von Photovoltaikanlagen verdreifachte sich der Markt jedoch jährlich (siehe Tabelle 7-3).

**Tabelle 7-3: Zubau Photovoltaikleistung in NL (Quelle: Polderpv.nl)**

Jahr	MWp
2008	4,4
2009	1,7
2010	21
2011	60
2012	195
2013	Daten noch nicht bekannt, wahrscheinlich geringer durch abnehmende Subventionen und Exportgebühren

Potenziell ist der Markt für Wind genauso groß, wie der für Photovoltaikanlagen. Der Marktumfang für Kleinwindkraftanlagen hängt vor allem von der zukünftigen Politik ab.

- Darf eine Saldierung hinter dem Stromzähler erfolgen?
- Darf Strom von einer großen Turbine zu einem individuellem Anschluss befördert werden, und wenn ja, zu welchem Preis?
- Wie sieht die Strompreisentwicklung aus?

Je nachdem, welche politischen Beschlüsse gefasst werden, werden Kleinwindkraftanlagen mit Photovoltaikanlagen und vielleicht auch mit großen Windkraftanlagen konkurrieren. Im ersten Fall kann man von einem relativ großen Markt sprechen, da Photovoltaikanlagen durch Windenergie ergänzt werden. Im zweiten Fall wird der Markt begrenzt sein, da große Windkraftanlagen viel kosteneffizienter zu errichten sind. Wir nehmen an, dass 50 % der Haushalte Energie zur Grundversorgung mit Hilfe von Kleinwindkraftanlagen auf dem eigenen Grundstück erzeugen wollen. Nicht jeder dieser 50 % wird über einen geeigneten Standort, an

dem genug Windenergie erzeugt werden kann, verfügen. Wir schätzen, dass rund 10 % über einen geeigneten Standort, an dem eine Kleinwindkraftanlage gebaut werden kann, verfügt. Dies ergibt das folgende Bild des Marktumfangs in der Region Achterhoek und der deutschen Seite der Euregio:

Markteinschätzung:

- 300.000 Einwohner in der Regio Achterhoek in ca. 110.000 Haushalten, 400.000 Einwohner in der Euregio in ca. 130.000 Haushalten. Zusammen 240.000 Haushalte und 700.000 Einwohner.
- Angenommen, dass 50 % der Haushalte Energie mit Hilfe einer Kleinwindkraftanlage auf dem eigenen Grundstück erzeugen **wollen**,
- dass 10 % über einen geeigneten Standort verfügt und eine Kleinwindkraftanlage errichten **können**,
- ergibt das ein Marktpotenzial ( $240.000 \cdot 0,1 \cdot 0,5$ ) von 12.000 Kleinwindkraftanlagen auf Wohnhäusern und Agrarbetrieben in der Euregio und in der Regio Achterhoek. (Schwerpunkt Außerorts).
- Außerdem schätzen wir, dass es ca. 13.000 Gebäude und Betriebe gibt, für die Kleinwindkraftanlagen möglicherweise interessant wären. (Industrie, öffentliche Gebäude, Hochhäuser, usw.).

Das gesamte Potenzial liegt damit geschätzt bei 25.000 Kleinwindkraftanlagen in der Regio Achterhoek und in der Euregio. Bisher sind das relativ grobe Schätzungen. In einem Folgeprojekt wäre es sinnvoll, eine detailliertere Marktforschung durchzuführen.

## 7.5 Ablaufplan zur Markteinführung von Kleinwindkraftanlagen

Eine erfolgreiche Markteinführung kann erfolgen, wenn eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Technik muss soweit sein, dass die Energie aus Kleinwindkraftanlagen für die Wohnung/den Gebäudeeigentümer erreichbar ist oder zu seinem Bestreben passt.
- Die Marktlage muss dies ermöglichen, bzw. Fördermittel oder die Gesetzgebung zur Saldierung und Eigenverbrauch von Energie. Die erzeugte Energie muss so genutzt werden können, dass es sich lohnt.

- Die Genehmigungsvergabe und –vorgehensweise zum Bau von Kleinwindkraftanlagen muss eindeutig und übersichtlich sein.
- Der potenzielle Käufer muss Vertrauen in die Technik und in den Markt entwickeln um sich zum Kauf zu entschließen.

Folgende Schritte können helfen, die Markteinführung erfolgreich verlaufen zu lassen:

1. Nutzen und Notwendigkeit bei Entscheidungsträgern und Zielgruppen deutlich machen. Resultat muss eine geänderte Gesetzes- und Rechtslage (zumindest für die Pilotphase) sowie das Bewusstsein bei den Zielgruppen sein.
2. Mit einigen Pilotprojekten beginnen, darüber sinnvoll kommunizieren und davon lernen. Renditen und Erträge müssen nachweisbar und in Bezug auf die Standorte und Zielgruppen abschätzbar sein. Ziel muss sein, dass als Pilotphase 5 bis 10 Kleinwindkraftanlagen in jeder Zielgruppe realisiert werden.
3. Angebote von Kleinwindkraftanlagen zusammenstellen. Verschiedene Anbieter sind nötig, damit die Käufer wählen können.
4. Neue Umsatz- und Finanzierungsmodelle untersuchen, so dass der Kunde beruhigt wird und für seine Investitionen nutzbare Energie erhält.
5. Ein in Phasen unterteiltes Herangehen an die Zielgruppen. Erwartungen managen und erfüllen.

## 8 ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema Kleinwindanlagen ist ein sehr weites Feld. Die Bauarten, Preise, Auslegungen, Leistungen, Wirkungsgrade, etc. sind überaus vielfältig und man muss sich intensiv mit der Materie beschäftigen, um die für einen Standort ideale Anlage zu finden. Dennoch hat dieses Projekt einige allgemeingültige Resultate erbracht.

Im Wesentlichen konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Horizontalläufer sind Vertikalläufern zu bevorzugen
- Anlagen sollte eine Nennleistung von mindestens 5 kW aufweisen
- Der erzeugte Strom sollte möglichst komplett selbst verbraucht werden
- Standorte sollten eine mittlere Windgeschwindigkeit von mindestens 4 m/s in 10 m Höhe aufweisen
- Eine Nabenhöhe von 20 m sollte nicht unterschritten werden
- Für das Genehmigungsverfahren sind frühzeitig alle Beteiligten einzubeziehen
- Die Anlagen der Lely Aircon B.V. sowie der Braun Windturbinen GmbH können aufgrund der langjährigen Erfahrung und der guten Ergebnissen in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als empfehlenswert angesehen werden

Auf technischer Seite hat sich gezeigt, dass horizontale Anlagen eine wirtschaftliche Betriebsweise ermöglichen, wobei Mikrowindanlagen aufgrund ihrer hohen spezifischen Kosten für einen wirtschaftlichen Netzparallelbetrieb eher ungeeignet sind. Diese haben dennoch eine Existenzberechtigung, sei es für Inselösungen oder als Hobbyanlagen. Zusammenfassend wurde festgestellt:

- Horizontale Kleinwindanlagen sind aufgrund geringerer Investitionskosten, höheren Leistungsbeiwerten und dadurch höheren Erträgen den vertikalen Kleinwindanlagen überlegen.
- Anlagen der Kategorie Miniwindanlagen (5 kW bis < 30 kW) und Mittelwindanlagen (30 kW bis 100 kW) sind Mikrowindanlagen (< 5 kW) aufgrund der geringeren spezifischen Investitionskosten vorzuziehen. Hinzu kommt, dass sich der Genehmigungsaufwand bei allen Anlagen im ähnlichen Rahmen bewegt, dem bei Mikrowindanlagen jedoch sehr geringe Erträge gegenüber stehen. Eine Ausnahme bilden hier nur solche Anlagen, die von der Baugenehmigung befreit sind.
- Es ist ein möglichst hoher Eigenverbrauch anzustreben. Der Ertrag je erzeugter Kilowattstunde Strom ist bei Eigenverbrauch in Deutschland rund drei Mal so hoch wie

bei einer Netzeinspeisung. In den Niederlanden kann sogar nur zu Marktpreisen eingespeist werden.

- Damit gute Miniwindanlagen horizontaler Bauart an geeigneten Standorten (mindestens 4 m/s mittlere Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe) auch mit der Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wirtschaftlich betrieben werden können, wäre eine Anhebung der Vergütung auf 0,30 €/kWh notwendig, um die zwei besten der untersuchten Anlagen auch ohne Eigenverbrauch wirtschaftlich betreiben zu können.
- Hohe Windgeschwindigkeiten sind entscheidend für hohe Erträge. Anlagen sollten deshalb so hoch gebaut werden, wie es die Genehmigungssituation am Standort erlaubt.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass der Markt für Kleinwindanlagen sehr unübersichtlich ist. Viele Hersteller sind nicht marktfähig und können sich nicht am Markt behaupten, andere geben unvollständige oder physikalisch unmögliche Leistungswerte an. Einen gewissen Schutz bieten Zertifizierungssysteme, die von immer mehr Herstellern genutzt werden.

Auch von rechtlicher Seite gibt es Schwierigkeiten. Ob und in welcher Form eine Baugenehmigung oder Umweltgutachten notwendig sind, ist von Region zu Region unterschiedlich.

Die niederländische Gesetzgebung unterstützt die Einführung und Marktausbreitung von Kleinwindkraftanlagen nicht. Bei der Errichtung müssen sowohl nationale als auch durch die Gemeinden vorgegebene Rechtsvorschriften berücksichtigt werden. Die nationale Gesetzgebung stellt ein Hindernis für Anlagen mit mehr als zwei Kleinwindkraftanlagen, da dann ein MER Procedere (vergleichbar mit der Umweltverträglichkeitsprüfung in Deutschland) durchlaufen werden muss, dar. Auf dem Niveau der Gesetzgebung der Gemeinden ist eine Errichtung an einem Standort im Außengebiet am einfachsten. Es müssen aber die jeweils unterschiedlichen Rechtsvorschriften der einzelnen Gemeinden in der Regio Achterhoek berücksichtigt werden. Darüber hinaus entstehen relativ hohe Kosten, für beispielsweise die Ausführung von Untersuchung zur Lärmbelastung und Gebühren. In Deutschland liegt eine vergleichbare Situation vor.

Hinzu kommt, dass sowohl in den Niederlanden wie auch in Deutschland auf Seiten der Antragssteller und der Genehmigungsbehörden so gut wie keine Erfahrung mit Kleinwindanlagen vorhanden ist. Auch die strukturell sehr unterschiedlichen Standorte für Kleinwindanlagen, wie z.B. Wohngebiete, Gewerbegebiete und Außenbereich, tragen zur Verunsicherung bei. Notwendig sind klare Richtlinien seitens der Genehmigungsbehörden. Checklisten für die Standortsuche und die Genehmigungsstellung sind in Kapitel 5 zu finden.

Als Zielgruppen für Kleinwindanlagen wurden

- Einfamilienhäuser
- Hochhäuser
- Öffentliche Gebäude
- Industriegebiete
- Landwirtschaftliche Gebiete
- Inselsysteme
- Sondergebäude

identifiziert, wobei besonders öffentliche Gebäude, Industrie/Gewerbe und der landwirtschaftliche Bereich geeignet sind. Bewertet wurde anhand der Kriterien Standort, Energie, Umwelt/CO<sub>2</sub>, Grünes Image, Innovation/Ökonomie, Genehmigungsfähigkeit. Unter Berücksichtigung der in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erzielten Ergebnisse verbleiben aufgrund der Anlagengröße und einem hohem Strombedarf vor allem Industrie/Gewerbe sowie landwirtschaftliche Gebiete, die für Kleinwindanlagen interessant sind.

Genauer zu untersuchen ist noch der Betrieb von Kleinwindanlagen unter praktischen Bedingungen. Dabei sind vor allem die Genauigkeit von Ertragsprognosen und der Aufwand für eine möglichst hohe Eigenverbrauchsquote zu betrachten. Des Weiteren sind weitere Analysen der Windbedingungen in niedrigen Höhen in der Regio Achterhoek und dem Kreis Steinfurt notwendig. Eine Berücksichtigung der Topografie und der Bebauung ist bei Windanlagen in solchen Höhen von entscheidender Bedeutung.

## 9 VERZEICHNISSE

### 9.1 Literaturverzeichnis

- [1] Betz, A. (1926): *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen*, unveränderter Nachdruck der Originalausgabe, ISBN 3-922964-11-7, Ökobuch-Verlag, Staufen
- [2] Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr, Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen: *Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass)*, 11.07.2011, [http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/windenergie\\_erlass.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/windenergie_erlass.pdf)
- [3] International Electrotechnical Commission (IEC): *Windenergieanlagen - Teil 2: Anforderungen für kleine Windenergieanlagen (IEC 88/399/CD:2011)*, DIN EN 61400-2:2012-05, VDE 0127-2:2012-05, Ausgabe 05/2012
- [4] Bundesverband Kleinwindanlagen: *Definition von Kleinwindanlagen*, Abrufdatum 07.01.2014, <http://www.bundesverband-kleinwindanlagen.de/positionen/definition/>
- [5] Hau, E. (2008): *Windkraftanlagen*, ISBN: 978-3-540-72150-5, Springer-Verlag, Berlin
- [6] Gasch, R. (2011): *Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*, 7. Auflage, ISBN 978-3-8348-1460-9, Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- [7] Fraunhofer IWES: *Small Wind Turbine Yield Estimator*, Abrufdatum 17.04.2014, [http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windwebdad/www\\_reisi\\_page\\_new.show\\_page?page\\_nr=445&lang=de](http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windwebdad/www_reisi_page_new.show_page?page_nr=445&lang=de)
- [8] Jüttemann, P.: *Kleinwindanlagen Rechner (Beta-Version)*, Abrufdatum 06.05.2014, <http://www.klein-windkraftanlagen.com/kleinwindanlagen-rechner/>
- [9] Blesl, M. et al. (2009): *Wärmeatlas Baden-Württemberg*, Abrufdatum 27.06.2014, <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2009/4840/>
- [10] Fraunhofer ISE: *Photovoltaik ist mit 30 Gigawatt stärkste Stromerzeugungstechnik in Deutschland*, Abrufdatum 29.05.2014, <http://www.ise.fraunhofer.de/de/aktuelles/meldungen-2012/photovoltaik-ist-mit-30-gigawatt-staerkste-stromerzeugungstechnik-in-deutschland>
- [11] Fachhochschule Münster, *Handlungsleitlinie zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung im Münsterland - Kommunalsteckbrief Steinfurt*, [https://www.fh-muenster.de/fb4/downloads/null-emissionskonzepte/Kreis\\_Steinfurt\\_2012-10-25.pdf](https://www.fh-muenster.de/fb4/downloads/null-emissionskonzepte/Kreis_Steinfurt_2012-10-25.pdf)
- [12] *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG)*, Ausfertigungsdatum: 25.10.2008, Zuletzt geändert am 20.12.2012

- [13] Heier, S. (2005): *Windkraftanlagen: Systemauslegung, Netzintegration und Regelung*, ISBN: 978-3-519-36171-8, Vieweg+Teubner, Kassel
- [14] Willemsen, O. (2013): *thuis in energie*, 1. Auflage, ISBN: 978-9-491-70501-4, Varsseveld
- [15] Bundesverband Windenergie e.V. (2013): *BWE Marktübersicht spezial Kleinwindanlagen*, 2. Auflage, ISBN: 978-3-942-57917-9, Berlin

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Wirkungsprinzip eines Widerstandsläufers (l.) und eines Auftriebsläufers (r.). [5]	7
Abbildung 2-2: Links: Windnachführung mit Windfahne (Quelle: Aldatec). Rechts: Windnachführung mit aktivem Antrieb (Quelle: Schaeffler)	8
Abbildung 2-3: Verschiedene Rotorformen bei Windkraftanlagen mit vertikaler Achse. [5]	9
Abbildung 2-4: Windrotoren mit Baugruppen zur Konzentration der Windenergie. [3]	10
Abbildung 2-5: Zertifikate für Kleinwindanlagen [Quellen: iec.ch, microgenerationcertification.org, smallwindcertification.org]	11
Abbildung 3-1: Windmessungen auf dem Dach der Fachhochschule Münster (l.) und der Regio Achterhoek (r.)	15
Abbildung 3-2: Windkarte 1981-2000 Nordrhein-Westfalen (10 Meter) des Deutschen Wetterdienstes [Quelle: Deutscher Wetterdienst]	16
Abbildung 3-3: Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit (l.) und die durchschnittliche Leistung des Windes (r.) in Abhängigkeit von der Windrichtung an der Fachhochschule Münster Standort Steinfurt	19
Abbildung 3-4: Beispielhafte Kartendarstellung von Gebäudehöhen	23
Abbildung 4-1: Möglicher Aufbau eines Smart Home Systems [Quelle: SMA Solar Technology AG]	25
Abbildung 4-2: Über Monate gemittelte Photovoltaik- und Winderträge für die Jahre 2011 bis 2013 in Deutschland [Quelle: Fraunhofer ISE]	26
Abbildung 4-3: Jahresverlauf der Energie, die pro Quadratmeter und Tag in der Sonneneinstrahlung bzw. dem Wind am Standort Steinfurt enthalten ist	27

Abbildung 5-1: Entscheidungsbaum Genehmigung von Kleinwindkraftanlagen in NRW nach dem BImSchG, der BauO NRW und dem Winderlass NRW	33
Abbildung 6-1: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Netzeinspeisung	44
Abbildung 6-2: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 3 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Eigenverbrauch	45
Abbildung 6-3: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Eigenverbrauch	45
Abbildung 6-4: Kumulierter Gewinn/Verlust der untersuchten Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren und einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5 m/s auf 10 m Höhe und 100 % Eigenverbrauch	46
Abbildung 6-5: Stromgestehungskosten in den drei untersuchten Szenarien bei 20 Jahren Laufzeit	47
Abbildung 6-6: Wirtschaftlichkeit der untersuchten Anlagen in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	49
Abbildung 6-7: Beispiel eines Datenblattes aus der BWE-Marktübersicht Kleinwindanlagen [13]	53
Abbildung 6-8: Leistungsdichte und Nennleistung der Anlagen	55
Abbildung 6-9: Windspot 7.5 (l.) und EasyWind 6 (r.) [Quelle: Sonkyo Energy; Easywind GmbH]	55
Abbildung 6-10: PSW 2000.2 15kW (l.) und Gaia 133 (r.) [Quelle: PSA Energiesysteme; silverford.com]	56
Abbildung 7-1: Von der Abnahmemenge abhängige Stromsteuer in den Niederlanden [14]	60
Abbildung 7-2: Foto von: <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Den_Hout_-_molen_De_Hoop_in_omgeving.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Den_Hout_-_molen_De_Hoop_in_omgeving.jpg</a>	63
Abbildung 7-3: Beweggründe	65

### 9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Definition von Windkraftanlagen nach installierter Leistung [5]	5
Tabelle 3-1:	Aufstellorte für eigene Windmessungen	14
Tabelle 3-2:	Rauhigkeitslängen für die Umrechnung von Windgeschwindigkeiten in anderen Höhen. Nach [5]	18
Tabelle 3-3:	Gebäudestruktur im Kreis Steinfurt [Quelle: Katasteramt Kreis Steinfurt]	21
Tabelle 3-4:	Ergebnis der Grobpotentialschätzung für den Kreis Steinfurt	22
Tabelle 5-1:	Checkliste Kleinwindanlage	30
Tabelle 5-2:	Checkliste Genehmigung für Kleinwindanlagen in Nordrhein- Westfalen	31
Tabelle 5-3:	Finanzierungsmöglichkeiten speziell für erneuerbare Energien	34
Tabelle 5-4:	Übersicht zum Bau von Kleinwindkraftanlagen in der Gemeinde Doetinchem	38
Tabelle 6-1:	Windgeschwindigkeiten der drei untersuchten Szenarien auf Nabenhöhe	42
Tabelle 6-2:	Jahreserträge für verschiedene durchschnittliche Windgeschwindigkeiten	42
Tabelle 6-3:	Jahreserträge für den Standort Fachhochschule Münster in Steinfurt auf Basis der Messungen im Jahr 2013	43
Tabelle 6-4:	Kapitalrendite bei 100 % Eigenverbrauch und Stromgestehungskosten nach 20 Jahren Laufzeit	47
Tabelle 6-5:	Zusammenfassung der Ergebnisse für die Projektregion bei guten Windbedingungen von 4 m/s (Szenario 2)	48
Tabelle 6-6:	Hersteller von Kleinwindanlagen	51
Tabelle 6-7:	Ausgewählte Kleinwindanlagen mit Zertifizierung [Quelle: [13] und eigene Recherche]	54
Tabelle 7-1:	Zielgruppen	64
Tabelle 7-2:	Politische Ausgangspunkte NL/ DE	67
Tabelle 7-3:	Zubau Photovoltaikleistung in NL (Quelle: Polderpv.nl)	70

## 9.4 Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current - Wechselstrom
AWEA	American Wind Energy Association
BauGB	Baugesetzbuch
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnungen
BWE	Bundesverband Windenergie
CE	Konformitätskennzeichnung für Produktsicherheit in der Europäischen Union
dB(A)	Bewerteter Schalldruckpegel
DC	Direct Current - Gleichstrom
DWD	Deutscher Wetterdienst
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
IEC	International Electrotechnical Commission
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
IWES	Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
MCS	Microgeneration Certification Scheme
MD	Messdaten
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NN	Normal Null

## 9.5 Formelzeichenverzeichnis

A	Überstrichene Rotorfläche
a	Jahr
$c_p$	Leistungsbeiwert
$F_A$	Auftriebskraft
$F_{AS}$	Rotorschubkraft
$F_{AT}$	Rotorantriebskraft
k	Formparameter für Weibull-Verteilung
$P_0$	Gesamtleistung
$P_{Nutz}$	Nutzbare Leistung
u	Umfangsgeschwindigkeit
v	Windgeschwindigkeit
$v_r$	Referenzwindgeschwindigkeit
z	Höhe
$z_0$	Rauhigkeitslänge
$z_r$	Referenzhöhe
$\eta_{elektr}$	Elektrischer Wirkungsgrad
$\eta_{mech}$	Mechanischer Wirkungsgrad
$\eta_{Reibung}$	Aerodynamischer Wirkungsgrad
$\rho$	Luftdichte