

# Wirtschaftliche Bewertung von Kleinwindanlagen mit Hilfe von Fallbeispielen

Auftraggeber      SGD Süd, Zentralstelle der Forstverwaltung,  
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft  
Rheinland-Pfalz

Projektnummer    1649

Datum              03.08.2010

**Transferstelle Bingen · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen · [www.tsb-energie.de](http://www.tsb-energie.de)**

Prof. Dr. Ralf Simon Projektleiter Tel: 06721 / 98 424 - 19 Fax: 06721 / 98 424 - 29 <a href="mailto:simon@tsb-energie.de">simon@tsb-energie.de</a>	Sebastian Riederer Projektbearbeiter	Dipl.-Ing. (FH) Marc Meurer Projektbearbeiter Tel: 06721 / 98 424 - 17 Fax: 06721 / 98 424 - 29 <a href="mailto:meurer@tsb-energie.de">meurer@tsb-energie.de</a>
---	---	--

im

*Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH* □ Berlinstraße 107a □ 55411 Bingen am Rhein

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	i
Abkürzungsverzeichnis.....	vi
Abbildungsverzeichnis.....	vii
Tabellenverzeichnis.....	x
1. Einleitung .....	1
2. Entwicklung der Windenergie .....	2
3. Grundlagen über die Nutzung von Windenergie .....	4
3.1 Wie viel Energie steckt im Wind? .....	4
3.2 Die wichtigsten Parameter für die Nutzung von WEA.....	5
3.2.1 Windgeschwindigkeit .....	5
3.2.2 Rotorfläche .....	6
3.2.3 Luftdichte.....	6
3.3 Standortwahl.....	6
3.3.1 Leistungskurven .....	6
3.3.2 Relative Häufigkeitsverteilungen der auftretenden Windgeschwindigkeiten .....	8
3.3.3 Die Hauptwindrichtung.....	8
3.3.4 Die Bodenrauigkeit .....	8
3.3.5 Turbulenzen durch Hindernisse .....	10
3.3.6 Geländehöhe.....	11
3.3.7 Welche Ziele will man durch die geeignete Standortwahl erreichen?.....	12
4. Windenergieanlagen.....	13
4.1 Bauformen .....	13
4.1.1 Horizontale Rotorausrichtung .....	13
4.1.2 Vertikale Rotorausrichtung .....	15
4.1.2.1 Darrieus-Rotor .....	16
4.1.2.2 H-Darrieus-Rotor.....	16
4.1.2.3 Savonius-Rotor .....	17
4.2 Begriffsdefinitionen .....	18
4.2.1 Luv- und Leeläufer.....	18
4.2.2 Schnelllaufzahl .....	19

4.2.3 Leistungsbeiwert.....	19
4.2.4 Leistungsbegrenzung .....	20
5. Kleinwindenergieanlagen.....	21
5.1 Definition einer Kleinwindenergieanlage .....	21
5.2 Komponenten .....	22
5.2.1 Fundament .....	22
5.2.2 Mast .....	23
5.2.3 Rotorblätter.....	24
5.2.4 Generatoren .....	25
5.2.5 Getriebe .....	25
5.2.6 Steuerfahnen.....	25
5.3 Installationsvarianten von Kleinwindenergieanlagen .....	26
5.3.1 Aufstellung auf einer Freifläche .....	26
5.3.2 Befestigung an der Gebäudewand .....	27
5.3.3 Aufstellung auf dem Gebäudedach.....	28
5.4 Marktübersicht von Kleinwindenergieanlagen und deren Herstellern .....	29
5.4.1 Kleinwindenergieanlagen bis 0,25 kW .....	30
5.4.2 Kleinwindenergieanlagen bis 0,5 kW .....	31
5.4.3 Kleinwindenergieanlagen bis 2 kW .....	33
5.4.4 Kleinwindenergieanlagen bis 5 kW .....	35
5.4.5 Kleinwindenergieanlagen bis 30 kW .....	37
5.4.6 Besondere Formen von Windkraftanlagen.....	38
5.5 Anwendungsmöglichkeiten .....	40
5.5.1 Wärmeerzeugung .....	40
5.5.2 Netzeinspeisung .....	41
5.5.2.1 Technik .....	41
5.5.2.2 Vergütung .....	42
5.5.3 Netzparallelbetrieb zur Eigenversorgung .....	42
5.5.4 Inselnetzsysteme.....	44
5.5.4.1 Regenerative Tankstelle für Elektrofahrzeuge.....	47
5.5.4.2 Versorgung von Straßenleuchten.....	49
5.5.4.3 Aufladen von Elektrozäunen .....	49

5.5.4.4 Aufladen von Segelbootbatterien .....	50
5.5.4.5 Pumpen von Wasser.....	51
5.5.4.6 Zusatznutzen Werbeträger.....	51
6. Projektierung einer Kleinwindenergieanlage.....	53
6.1 Genehmigungsrechtliche Aspekte.....	53
6.1.1 Baurechtliche Grundlagen .....	53
6.1.1.1 Welche Gesetze/Verordnungen sind relevant?.....	54
6.1.1.2 Welche Paragraphen des Baugesetzbuches müssen besonders beachtet werden?.....	55
6.1.1.3 Welche Paragraphen der Landesbauordnung Rheinland-Pfalz müssen besonders beachtet werden?.....	56
6.1.1.4 Welche Paragraphen der Baunutzungsverordnung (BauNVO) müssen besonders beachtet werden?.....	58
6.1.2 Immissionsschutzrechtliche Grundlagen.....	59
6.1.2.1 Die 4. Bundesimmissionsschutzverordnung und das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung.....	59
6.1.2.2 TA Lärm.....	59
6.2 Recherche zur Genehmigungssituation in Rheinland Pfalz .....	62
6.3 Genehmigungssituation an 3 fiktiven Standorten .....	62
6.3.1 Standort Mainz .....	62
6.3.1.1 Anfrage für fiktive Errichtung einer KWEA (1-5 kW) .....	62
6.3.1.2 Aussage 1 .....	63
6.3.2 Standort: Hoflage im Donnersbergkreis.....	64
6.3.2.1 Anfrage für fiktive Errichtung einer KWEA (1-5 kW) .....	64
6.3.2.2 Aussage 2.....	64
6.3.3 Standort Winzenheim, allgemeines Wohngebiet.....	64
6.3.3.1 Anfrage für fiktive Errichtung einer KWEA (1-5 kW) .....	64
6.3.3.2 Aussage 3.....	64
6.3.4 Fazit .....	66
6.4 Das Ministeriale Rundschreiben.....	66
6.4.1 Genehmigungsverfahren .....	66
6.4.2 Bauplanungsrechtliche Zulässigkeit.....	67
6.4.2.1 Zulässigkeit im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans .....	67

6.4.2.2 Zulässigkeit im unbeplanten Innenbereich .....	68
6.4.2.3 Zulässigkeit im Außenbereich .....	68
6.4.3 Abstände nach der Landesbauordnung (LBauO).....	69
6.4.4 Sicherheitssystem .....	70
6.4.5 Gespräch mit dem Finanzministerium Mainz über das Ministeriale Rundschreiben .....	71
6.5 Wirtschaftliche Aspekte.....	72
6.5.1 Investitionskosten .....	72
6.5.2 Wartungskosten .....	72
6.5.3 Amortisationszeit .....	73
6.5.4 Einsparung durch KWEA (Erlös).....	73
6.5.5 Wann ist ein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb möglich? .....	75
6.5.6 Windgeschwindigkeit als Wirtschaftlichkeitsfaktor.....	75
6.6 Ermittlung der potentiellen Windenergie.....	76
6.7 Windmessungen .....	77
6.7.1 Windmessdaten des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG).....	77
6.7.2 Windmessdaten des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG).....	79
6.7.3 Fazit aus den Windmessdaten.....	84
6.8 Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von Standort und eingesetzter Technik.....	84
6.8.1 Vorgehensweise .....	84
6.8.2 Standorte.....	85
6.8.3 Eingesetzte Technik .....	85
6.8.4 Kosten .....	85
6.8.5 Ertragsprognosen einiger Techniken an unterschiedlichen Standorten.....	87
6.8.6 Amortisationszeit .....	87
6.8.7 CO <sub>2</sub> -Einsparung .....	88
6.9 Versicherung.....	88
6.9.1 Versicherung A.....	88
6.9.2 Versicherung B.....	88
6.9.3 Versicherung C.....	89

6.9.4 Versicherung D.....	90
7. Fallbeispiele .....	91
7.1 Einfamilienhaus in Wohngebiet.....	91
7.1.1 Objektbeschreibung .....	91
7.1.3 Wirtschaftlichkeit.....	94
7.1.3.1 Investitionskosten .....	94
7.1.3.2 Erträge .....	95
7.1.3.3 Ergebnis.....	95
7.1.4 Genehmigungsmöglichkeiten.....	95
7.2 Gebäudekomplex im Bereich Schule, Verwaltung und Forschung .....	96
7.2.1 Objektbeschreibung.....	96
7.3 Gebäudekomplex im Bereich Industrie.....	97
7.3.1 Objektbeschreibung.....	97
7.3.2 Technik.....	97
7.3.3 Anwendung im Unternehmen .....	98
7.3.4 Wirtschaftlichkeit.....	99
8. Fazit .....	100
9. Literaturverzeichnis .....	101
10. Anhang.....	106

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.....	Abbildung
Abs.....	...Absatz
BauGB.....	Baugesetzbuch
BauVO.....	Baunutzungsverordnung
BBI.....	Berlin Brandenburg International
bezgl.....	bezüglich
BGB.....	Bürgerliches Gesetzbuch
BImSchG.....	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV.....	Bundesimmissionsschutzverordnung
Bverw.G.....	Bundesverwaltungsgericht
BVKW.....	Bundesverband Kleinwindanlagen
BWE.....	Bundesverband Windenergie e.V.
BWEA.....	British Wind Energy Association
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid
EEG.....	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien
EVU.....	Energieversorgungsunternehmen
HLUG.....	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
i.d.R.....	in der Regel
IEC.....	International Electrotechnical Commission
Kap.....	Kapitel
km/h.....	Kilometer pro Stunde
kW.....	Kilowatt
kWh.....	Kilowattstunde
KWEA.....	Kleinwindenergieanlagen
LBO.....	Landesbauordnung
LED.....	Licht-Emmittierende-Diode
LUWG.....	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland Pfalz
m.....	Meter
m <sup>2</sup> .....	Quadratmeter
m/s.....	Meter pro Sekunde
MBO.....	Musterbauordnung
MW.....	Megawatt
NRW.....	Nordrhein-Westfalen
ppm.....	parts per million
RLP.....	Rheinland-Pfalz
t.....	Tonnen
Tab.....	Tabelle
UVPG.....	... Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
W.....	Watt
WEA.....	Windenergieanlagen
WKA-Erl.....	Windkraftanlagenerlass
z.B.....	zum Beispiel



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Historische Holländer-Windmühle .....	2
Abb. 2: Amerikanische Windkraftanlage zum Wasserpumpen.....	2
Abb. 3: Beispiel Leistungsdiagramm Sinus Wind Home .....	7
Abb. 4: Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe .....	9
Abb. 5: Prozentuale Reduktion der Windgeschwindigkeit hinter Hindernissen .....	10
Abb. 6: Einfluss von Topographie auf das vertikale Geschwindigkeitsprofil.....	11
Abb. 7: Windenergieanlagen Vestas V90 mit 3 MW Leistung .....	13
Abb. 8: Funktionsprinzip einer Windenergieanlage mit horizontaler Achse.....	14
Abb. 9: Aufbau und Komponenten einer Windenergieanlage .....	15
Abb. 10: Darrieus-Rotor .....	16
Abb. 11: H-Darrieus-Rotor.....	17
Abb. 12: Savonius-Rotor .....	18
Abb. 13: Luvläufer (links) und Leeläufer (rechts) .....	19
Abb. 14: Fundament-Variante: Beton für den Mastaufbau einer Kleinwindkraftanlage .....	22
Abb. 15: Varianten der Mastaufstellung.....	23
Abb. 16: Rotorblätter und weitere Bauteile von Flip 150.....	24
Abb. 17: Fertigung eines Savonius-Rotorblattes aus Aluminium im privaten Eigenbau .....	25
Abb. 18: links, Kleinwindkraftanlage im privaten Garten rechts, Günstige und ungünstige Standorte für Kleinwindkraftanlagen.....	26
Abb. 19: An der Gebäudewand angebrachte Kleinwindkraftanlage .....	27
Abb. 20: Fundament-Variante für den Mastaufbau einer Darrieus-Kleinwindkraftanlage .....	28
Abb. 21: Eigenbau eines Savonius-Rotors auf einem Garagendach .....	28
Abb. 22: Kleinwindkraftanlagen bis 250 Watt .....	30
Abb. 23: Kleinwindkraftanlagen bis 500 Watt. ....	31
Abb. 24: Kleinwindkraftanlagen bis 2000 Watt .....	33
Abb. 25: Kleinwindkraftanlagen bis 5000 Watt. ....	35
Abb. 26: Kleinwindkraftanlagen bis 30.000 Watt.....	37
Abb. 27: Installation und fertige Ausführung der KWEA Energy Ball.....	38
Abb. 28: links, Kleine Windturbinen der Firma Motorwave;.....	39
Abb. 29: Schema der Heizwindmühle.....	40

Abb. 30: Prinzip einer Windkraftanlage zur Netzeinspeisung .....	41
Abb. 31: Wechselrichter „Windy Boy“ der Firma SMA (links) und der Firma Dorf Müller DMI (rechts).....	42
Abb. 32: Überschüssige Einspeisung in das öffentliche Stromnetz .....	43
Abb. 33: Schema Heizwindmühle mit zeitweiser Netzeinspeisung .....	43
Abb. 34: links, Kleinanlagen bei Nomaden rechts, Fern – Telekommunikation .....	44
Abb. 35: Prinzip eines einfachen Wind-Inselsystems .....	45
Abb. 36: Kleinwindkraftanlage Flip 150 .....	45
Abb. 37: Leistungskurve einer Inselnetzanlage am Beispiel Flip 150.....	46
Abb. 38: Konzept der regenerativen Tankstelle .....	47
Abb. 39: Ein Kunde der EasyWind GmbH lädt sein E-Dreirad an seiner Tankstelle auf.....	48
Abb. 40: Beispiele von Straßenleuchten mit Wind- und Sonnenversorgung .....	49
Abb. 41: Aufladen von Elektrozäunen .....	50
Abb. 42: Batterie Aufladung eines Segelboots .....	50
Abb. 43: Windgetriebene Pumpen.....	51
Abb. 44: Kleinwindkraftanlage als Werbeträger .....	52
Abb. 45: Schallpegelmessung der ANTARIS Windturbine bei 12m Mastabstand .....	62
Abb. 46: Leistungskennlinie der ANTARIS 3,5 kW Windturbine .....	74
Abb. 47: Europäisches Wind-Potential in 50m Höhe .....	76
Abb. 48: Messstation Wiesbaden Süd.....	78
Abb. 49: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Wiesbaden 2008 .....	78
Abb. 50: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Wiesbaden 2009 .....	79
Abb. 51: Luftmessstationen des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz .....	80
Abb. 52: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Bad Kreuznach 2008 .....	80
Abb. 53: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Bad Kreuznach 2009 .....	81
Abb. 54: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel MZ-Mombach 2008.....	81
Abb. 55: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel MZ-Mombach 2009.....	82
Abb. 56: Messstation Worms.....	82
Abb. 57: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Worms 2008 .....	83
Abb. 58: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Worms 2009 .....	83
Abb. 59: Auszug aus dem Versicherungsumfang einer Gebäudeversicherung .....	89

Abb. 60: Auszug aus einer Übersicht einer Gebäudeversicherung .....	89
Abb. 61: Darstellung der Baulage.....	91
Abb. 62: Messaufbau zur Generierung von Messimpulsen am Stromzähler.....	92
Abb. 63: Lastprofil des Einfamilienhauses.....	92
Abb. 64: Lastprofil des Einfamilienhauses in der geordneten Darstellung .....	93
Abb. 65: Darstellung der ausgewählten Anlage Enflo 0071 .....	93
Abb. 66: Beispiel einer Dachmontage .....	93
Abb. 67: Leistungskurve der ENFLO 0071 .....	95
Abb. 68: links, Ansicht des FH - Geländes, rot markiert: Standort der Antaris - Windturbine rechts, Antaris Windturbine .....	96
Abb. 69: Leistungs- und Drehzahlkennlinie der Windkraftanlage Antaris 2,5.....	96
Abb. 70: KWEA WEM 3 der Fa. BlueTerra.....	97
Abb. 71: technische Daten der KWEA BlueTerra WEM 3.....	98
Abb. 72: Leistungskurve der KWEA BlueTerra WEM 3 .....	98
Abb. 73: Konstruktion für spätere Montage der Photovoltaikanlage .....	99
Abb. 74: Wärmepumpe zur Beheizung des Gebäudes.....	99

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beaufort-Windskala .....	5
Tab. 2: Rauigkeit .....	9
Tab. 3: KWEA bis 0,25 kW .....	30
Tab. 4: KWEA bis 0,5 kW .....	32
Tab. 5: KWEA bis 2 kW .....	34
Tab. 6: KWEA bis 5 kW .....	36
Tab. 7: KWEA bis 30 kW .....	38
Tab. 8: Verfahrensfreiheit von KWEA in den Landesbauordnungen .....	53
Tab. 9: Zulässiger Lärmpegel in verschiedenen Baugebietskategorien .....	60
Tab. 10: Technische Daten der Versuchsanlage Antaris 2,5 .....	65
Tab. 11: Standorte der Windmessungen .....	85
Tab. 12: Invest- und Jahreskosten einiger KWEA - Modelle .....	86
Tab. 13: Ertragsprognosen für einige KWEA an unterschiedlichen Standorten .....	87
Tab. 14: Amortisationszeit für einige KWEA an unterschiedlichen Standorten.....	87
Tab. 15: Mögliche CO <sub>2</sub> -Einsparung in kg pro Jahr .....	88
Tab. 16: Bildung des Strombezugspreises .....	94
Tab. 17: Darstellung zweier Angebote für Windkraftanlagen .....	94

## 1. Einleitung

Vor dem Hintergrund steigender Energiekosten und in dem Bewusstsein, dass fossile Energieträger nicht unerschöpflich sind, rückt die Nutzung regenerativer Energien unaufhörlich zunehmend ins öffentliche Bewusstsein. Nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz, das zum 1.1.2009 in Kraft getreten ist, muss bei Neubauten ein Teil des Jahreswärmebedarfs über regenerative Energien abgedeckt werden. Für den Strombedarf gibt es derzeit noch keine gesetzlichen Vorgaben, aber insbesondere die dezentrale Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen findet bei privaten Investoren immer weitere Verbreitung. Auch Windkraftanlagen können einen wichtigen Beitrag zur dezentralen Stromproduktion leisten. Heute sind vor allem große Windkraftanlagen bekannt. Kleinere Anlagen zur Windenergienutzung finden sich in Deutschland bisher nur vereinzelt und oftmals im Prototyp-Status. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen gilt bislang als fraglich.

Da solche Kleinstwindkraftanlagen langfristig möglicherweise eine interessante Option im Energie-Mix darstellen können, wurden in diesem Projekt die Rahmenbedingungen für die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen beleuchtet.

Im nachfolgenden Bericht werden die technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Voraussetzungen untersucht und dargestellt. In einem Marktüberblick sind die unterschiedlichen Typen, der auf dem Markt verfügbaren Kleinstwindanlagen gegenübergestellt, deren Vor- und Nachteile erläutert und die verschiedenen Einsatzgebiete benannt und bewertet. Die noch etwas undurchsichtige Genehmigungssituation wird in Kapitel 6 detailliert betrachtet.

Die wirtschaftlichen Aspekte sind in Kapitel 6.3 dargestellt.

Anwendungs- und Umsetzungsmöglichkeiten werden anschließend in drei konkreten Fallbeispielen vorgestellt.

Fallbeispiel 1 beleuchtet ein Einfamilienhaus in einem Wohngebiet, Fallbeispiel 2 ein freistehendes Zweckgebäude aus dem Bereich Schule, Verwaltung oder Forschung und Fallbeispiel 3 den Einsatz in der Industrie.

## 2. Entwicklung der Windenergie

„Die Nutzung der Windenergie durch den Menschen gibt es schon seit dem Altertum und ist keine neue Idee. Über viele Jahrhunderte und zum Teil auch bis in die heutige Zeit waren „Windmühlen“ neben Wasserrädern der einzige Antrieb für unterschiedliche mechanische Nutzungen. Seit ca. 4000 Jahren nutzt der Mensch die Energie des Windes, um Arbeit zu verrichten. Das Segel revolutionierte die Seefahrt, die bis dahin nur mit Muskelkraft auskommen musste. Schon 1700 Jahre v. Chr. soll der babylonische König Hammurabi mit windgetriebenen Schöpfwerken Mesopotamien bewässert haben. Neben dem Pumpen zur Bewässerung oder Entwässerung war die wichtigste Aufgabe für Windräder das Mahlen von Korn. Von daher hat sich auch der Begriff „Windmühle“ bis heute eingeprägt, obwohl es auch andere windgetriebene Maschinen gab, wie z.B. Sägewerke oder Hammerwerke“.



Abb. 1: Historische Holländer-Windmühle

Abb. 2: Amerikanische Windkraftanlage zum Wasserpumpen

(Quelle: WWEA 2010)

Neu und innovativ sind jedoch die heute gebräuchlichen Windenergieanlagen zur Stromerzeugung, die ihren Siegeszug aufgrund einiger technischer Neuerungen antreten konnten, wie z. B. die Verwendung von Kunststoffen im Flügelbau. Die Entwicklungen auf den Gebieten der Aerodynamik, des Elektromaschinenbaus, der Regelungstechnik und der Elektronik stellen die technischen Grundlagen für die heutigen Windenergieanlagen dar.

Die theoretische Basis lieferte 1920 und 1926 Albert Betz mit seiner Theorie zur Berechnung der maximal möglichen Leistungsentnahme und der optimalen Geometrie der Rotorblätter. Er wies mit der Theorie der geschlossenen Stromröhre nach, dass mit einer Windenergieanlage durch Verzögerung der strömenden Luftmasse maximal  $16/27 = 59\%$  der Leistung des Windes genutzt werden kann. Dieser optimale Leistungsbeiwert  $c_p$  wird erreicht, wenn die Windgeschwindigkeit durch den Rotor der Windenergieanlage auf ein Drittel ihres Wertes abgebremst wird. Heutige Windenergieanlagen erreichen Leistungsbeiwerte von 50 % und kommen der theoretisch maximalen Leistungsfähigkeit recht nahe“ (WWEA, 2010).

„Prof. Ulrich Hütter konnte 1950 mit seiner Versuchsanlage die moderne Aerodynamik und die moderne Glasfasertechnik auf den Flügelbau von Windenergieanlagen anwenden. Poul la Cour aus Dänemark entwickelte eine Windenergieanlage zur Erzeugung elektrischen Gleichstroms. 1958 wurde von seinem Schüler Johannes Juul das so genannte „Dänische Konzept“ entwickelt, mit dem erstmals Wechselstrom direkt in das Versorgungsnetz eingespeist werden konnte. Dieses Konzept sollte sich sehr schnell durchsetzen. Bis heute arbeitet fast die Hälfte aller Windenergieanlagen nach diesem Prinzip“ (WWEA, 2010).

„Im Dänemark der 80er Jahre wurden kleine Anlagen mit Nennleistungen zwischen 20 und 100 kW entwickelt. Diese wurden mit staatlicher Hilfe dezentral auf landwirtschaftlichen Höfen und an der Küste aufgestellt und speisten den erzeugten Strom, der nicht selbst benötigt wurde, in das elektrische Netz. Seitdem geht der Trend zu immer größeren und besseren Windenergieanlagen in rasantem Tempo voran. Durchgesetzt hat sich die WEA im direkten Netzanschluss zur Erzeugung von Strom. Sie hat meist zwei bis drei Rotorblätter, eine horizontale Achse, die Gondel mit Rotornabe, Getriebe und Generator sind dem Wind motorisch nachführbar. Der Rotor steht vor dem Turm in Windrichtung (Luv-Läufer)“ (WWEA, 2010).

### 3. Grundlagen über die Nutzung von Windenergie

#### 3.1 Wie viel Energie steckt im Wind?

Windkraftanlagen erzeugen elektrischen Strom, indem sie die Kraft, die im Wind steckt, in ein Drehmoment an den Rotorblättern umsetzt und diese mechanische Kraft über einen Generator in elektrische Energie umwandelt.

Die Menge der Energie, die der Wind auf die Rotorblätter überträgt, ist abhängig von der Windgeschwindigkeit, der Luftdichte und der Größe der Rotorfläche. Die Leistung des Windes, der gerade durch eine kreisförmige Fläche bläst, lässt sich allgemein nach folgender Formel berechnen:

$$P_{\text{Wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot r^2 \cdot \pi \cdot v^3 \text{ [Watt]}$$

$P_{\text{Wind}}$  = maximale Leistung des Windes in W  
 $\rho$  = Luftdichte  
 $A$  = Nutzfläche in m<sup>2</sup>  
 $r$  = Radius (d.h. der halbe Durchmesser) des Rotors in m  
 $v$  = Windgeschwindigkeit in m/s

Abb. 3: Berechnung der Windleistung  
(Eigenen Darstellung)

Allerdings ist hierbei zu beachten, dass dieses Ergebnis die maximale Leistung des Windes darstellt, die zwar vorhanden ist, aber praktisch nicht vollständig genutzt werden kann. Wie bereits in Kapitel 2 bereits erwähnt beträgt der maximal mögliche Leistungsbeiwert  $c_p = 0,59 = 59 \%$ . Dieser Wert fällt in der Realität häufig geringer aus. Hier eine Beispielrechnung für die Leistung einer KWEA:

In 1m<sup>2</sup> Rotorfläche stecken nach oben genannter Formel:

600 W Leistung des Windes bei  $v = 10 \text{ m/s}$

Ein Dreiflügler hat einen Wirkungsgrad von ca. 30%. Das ergibt etwa:

$P = 200 \text{ W} / 1\text{m}^2$  Rotorfläche

Abzüglich Verluste bei der Energieumwandlung ergeben sich etwa:



$P = 180W / 1m^2$  Rotorfläche

Bei einem Rotordurchmesser von ca. 2 m, also etwa 3 m<sup>2</sup> Erntefläche erhält man: P = 540 W

Zu beachten ist: Watt-Angaben der Hersteller beziehen sich meist auf maximale Leistung bei 12 oder 13 m/s, das entspricht starkem Wind (vgl. Tab. 1). Ab 14 m/s klappen die meisten Rotoren aus Sicherheitsgründen in Sturmstellung, und können keine Energie mehr „ernten“.

### 3.2 Die wichtigsten Parameter für die Nutzung von WEA

#### 3.2.1 Windgeschwindigkeit

Es fällt sofort auf, dass die Windgeschwindigkeit in der 3. Potenz in die Berechnung eingeht. Sie ist demnach der ausschlaggebende Parameter für die Abschätzung des zu erwartenden Energieertrages, sowie für die Auswahl der geeigneten Windkraftanlage. Größe, Richtung und zeitliche Verteilung sind hierbei entscheidend. In der Beaufort-Skala (vgl. Tab. 1) wird nochmals ersichtlich, wie viel Energie letztlich im Wind, abhängig von der Geschwindigkeit vorhanden ist.

Tab. 1: Beaufort-Windskala

(Quelle: Alternate-Energy.de, 2009 – Eigene Darstellung)

Windstärke	Bezeichnung	Geschwindigkeit (m/s)	Energiegehalt (W/m <sup>2</sup> )
0	Windstille	0 – 0,2	0 – 0,005
1	leichter Zug	0,3 – 1,5	0,02 – 2,0
2	leichte Brise	1,6 – 3,3	2,5 – 20
3	schwache Brise	3,4 – 5,4	25 – 95
4	mäßige Brise	5,5 – 7,9	100 – 300
5	frische Brise	8,0 – 10,7	310 – 740
6	starker Wind	10,8 – 13,8	760 – 1.580
7	steifer Wind	13,9 – 17,1	1.610 – 3.000
8	stürmischer Wind	17,2 – 20,7	3.050 – 5.350
9	Sturm	20,8 – 24,4	5.400 – 8.750
10	schwerer Sturm	24,5 – 28,4	8.850 – 13.800
11	orkanartiger Sturm	28,5 – 32,6	13.900 – 21.000
12	Orkan	> 32,7	> 21.000

Diese Werte sind grundlegend notwendig um bestimmen zu können, ob eine KWEA am ausgewählten Standort wirtschaftlich funktionieren kann, d.h. ob die Energieausbeute hoch genug ist.

Es gibt viele Faktoren, die Einfluss auf die Windgeschwindigkeit haben. Diese werden in Kapitel 3.3<sup>1</sup> näher erläutert.

### **3.2.2 Rotorfläche**

Bei einer Windenergieanlage mit horizontaler Achse ist dies die vom Rotor überstrichene Kreisfläche. Der Radius des Rotors geht in der zweifachen Potenz in die Leistungsformel ein. Demnach ergibt sich bei Verdoppelung des Radius eine vier-mal höhere Leistung. Eine Kleinwindanlage mit 1 kW hat einen Rotordurchmesser von etwa 2 Metern, das ergibt eine Rotorfläche von ca. 3 Quadratmetern. Die Rotorfläche bestimmt, wie viel Energie eine Windkraftanlage dem Wind entziehen (man spricht auch von "ernten") kann.

### **3.2.3 Luftdichte**

Die kinetische Energie eines bewegten Körpers ist proportional zu seiner Masse (oder seinem Gewicht). Deshalb hängt die kinetische Energie des Windes von der Luftdichte ab, also von der Masse pro Volumeneinheit. Sie ist wesentlich geringer als zum Beispiel die Dichte von Wasser ( $\rho_{\text{Luft}}=1,25 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{Wasser}}=1000 \text{ kg/m}^3$ ), weshalb die Leistungsdichte des Windes im Vergleich zu Wasser auch sehr gering ausfällt. Man kann also sagen: je "schwerer" die Luft, umso mehr Energie kann die Anlage aus ihr entnehmen. In Gebirgslagen ist aus diesem Grund die Ausbeute an Windenergie wesentlich geringer als auf Meeresebene.

## **3.3 Standortwahl**

Für die Bewertung der Eignung eines Standortes für die Windenergienutzung sind verschiedene Informationen nötig.

### **3.3.1 Leistungskurven**

Hersteller von KWEA geben in sogenannten Leistungskurven an, welche Leistung ihr Produkt bei welcher Windgeschwindigkeit erreicht.

---

<sup>1</sup> Kapitel 3.3: Standortwahl

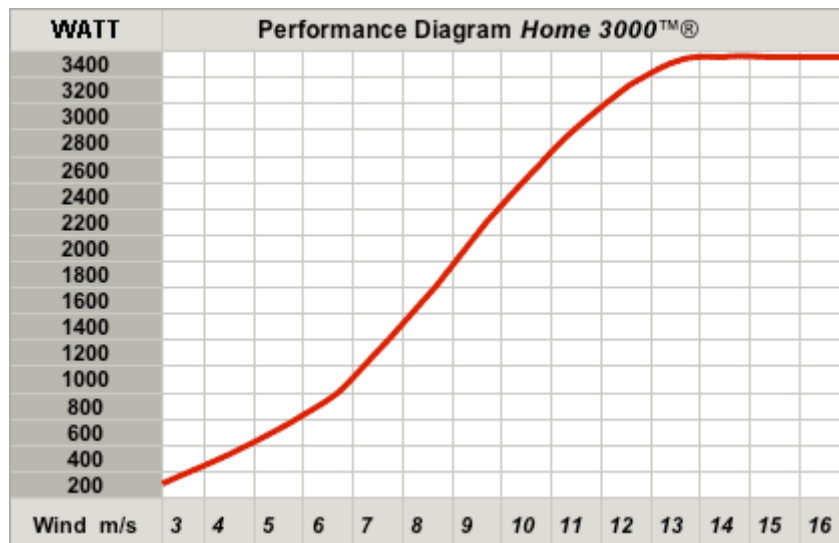


Abb. 3: Beispiel Leistungsdiagramm Sinus Wind Home  
(Quelle: Sinus-Wind, 2010)

Aus Abb. 4 lässt sich erkennen, dass sich zwischen 7 und 14 m/s eine deutliche Leistungssteigerung ergibt. Bei höheren Windgeschwindigkeiten nimmt diese stark ab bzw. verschwindet vollständig. Mit Hilfe dieser Diagramme und Informationen zu den Windverhältnissen an einem Standort kann eine Jahresertragsprognose für die Stromerzeugung einer Windkraftanlage erstellt werden (siehe Kap. 6.8). Zu beachten ist hierbei, dass diese Leistungskurven meist unter idealen Bedingungen erstellt werden, z.B. im Windkanal, in dem das Windrad ungehindert und nur aus einer Richtung angeströmt wird.

### **3.3.2 Relative Häufigkeitsverteilungen der auftretenden Windgeschwindigkeiten**

Diese werden in Geschwindigkeitsklassen (0-1 m/s, 1-2 m/s, 2-3 m/s...) angegeben und zeigen wie häufig im Jahr der Wind mit welcher Geschwindigkeit weht. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit allein sagt nicht genug darüber aus, ob es sich lohnt, den Wind als Energiequelle zu nutzen. Eine mittlere Windgeschwindigkeit von fünf Metern pro Sekunde kann sich beispielsweise aus einem über 24 Stunden konstanten Wind von fünf Metern pro Sekunde ergeben, aber auch aus einem Orkan, der mit 30 Metern pro Sekunde vier Stunden lang tobt, wenn darauf eine 20-stündige Windstille folgt. Es kommt also darauf an, wie häufig welche Windgeschwindigkeit auftritt.

### **3.3.3 Die Hauptwindrichtung**

Die Windkraftanlage sollte aus der Hauptwindrichtung möglichst ungestört angeströmt werden. Bei der Aufstellung von Windkraftanlagen ist auf die Orientierung zu Hindernissen wie Gebäuden oder Bäumen zu achten.

### **3.3.4 Die Bodenrauigkeit**

Um die Windverhältnisse einer Landschaft zu bewerten wird auf Rauigkeitsklassen und Rauigkeitslängen verwiesen. Hat eine Landschaft viele Bäume und Gebäude, handelt es sich beispielsweise um die Rauigkeitsklasse 3-4, während eine Meeresoberfläche die Rauigkeitsklasse 0 hat. Betonierte Startbahnen von Flughäfen gehören der Rauigkeitsklasse 0,5 an, ebenso ebene, offene Landschaften, die z.B. von Schafen abgeweidet werden.

„Die Rauigkeitslänge  $z_0$  ist ein Maß (mit Meter als Maßeinheit) für die Oberflächenbeschaffenheit der Erdbodens.  $z_0$  nimmt einen Wert von 0 m für eine theoretisch perfekte glatte Oberfläche bis zu 2 m für eine Metropole mit Wolkenkratzern an“ (BWE, 2010c).

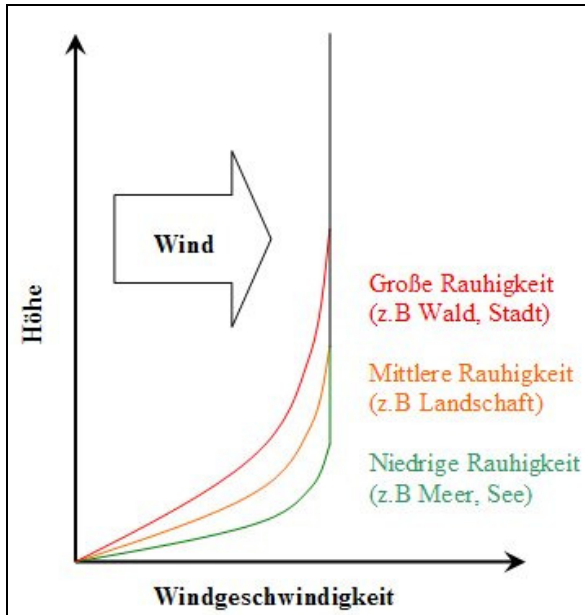


Abb. 4: Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe  
(Quelle: BWE, 2010c)

Tab. 2: Rauigkeit

(Quelle: Bundesverband Windenergie e.V. (Eigene Darstellung))

Rauigkeitsklassen	Rauigkeitslängen z0 m	Energieindex (Prozent)	Typen von Geländeoberflächen
0	0,0002	100	Wasserflächen : Meer und Seen
0,5	0,0024	73	Offenes Gelände mit glatter Oberfläche, z.B. Beton, Landebahnen auf Flughäfen, gemähtes Gras etc.
1	0,03	52	Offenes landwirtschaftliches Gelände ohne Zäune und Hecken, evtl. mit weitläufig verstreuten Gebäuden und sehr sanfte Hügel.
1,5	0,055	45	Landwirtschaftliches Gelände mit einigen Häusern und 8 m hohen Hecken im Abstand von mehr als 1 km
2	0,1	39	Landwirtschaftliches Gelände mit einigen Häusern und 8 Meter hohen Hecken im Abstand von ca. 500 m
2,5	0,2	31	Landwirtschaftliches Gelände mit vielen Häusern, Büschen und Pflanzen, oder 8 m hohe Hecken im Ab-

			stand von ca. 250 m
3	0,4	24	Dörfer, Kleinstädte, landwirtschaftliches Gelände mit vielen oder hohen Hecken, Wäldern und sehr raues und unebenes Terrain.
3,5	0,6	18	Größere Städte mit hohen Gebäuden.
4	1,6	13	Großstädte mit hohen Gebäuden und Wolkenkratzern.

Auf dieser Basis sind in der Regel Standorte in großer Höhe zu bevorzugen. Der Einfluss von der Bodenrauigkeit sollte möglichst gering und die Windgeschwindigkeit hoch sein.

### 3.3.5 Turbulenzen durch Hindernisse

Befinden sich Hindernisse im Luftstrom wie z.B. Gebäude, Bäume, Felsformationen etc., so können diese die Windgeschwindigkeit beträchtlich herabsetzen und führen in ihrer Umgebung oft zu Turbulenzen.

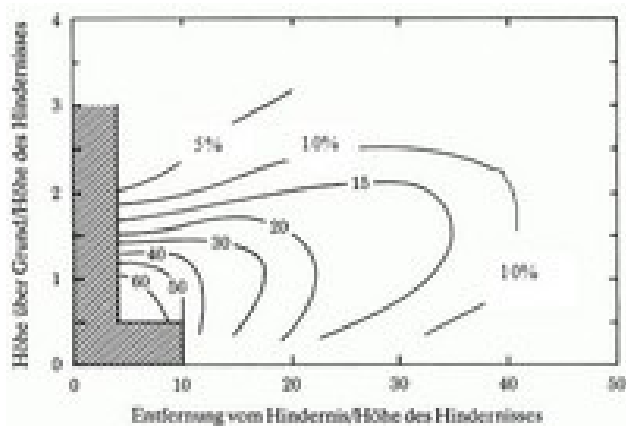


Abb. 5: Prozentuale Reduktion der Windgeschwindigkeit hinter Hindernissen (Quelle: Risoe)

„In welchem Maße ein Hindernis an einem dahinterliegenden Standort zu einem Windschatten führt, hängt von den folgenden Eigenschaften ab:

- Die Entfernung vom Hindernis bis zum Standort ( $x$ )
- Die Höhe des Hindernisses ( $h$ )
- Die Höhe des interessierenden Punktes am Standort ( $H$ )
- Die Länge des Hindernisses ( $L$ )
- Die Porosität des Hindernisses ( $P$ )
- Die Rauigkeit des Geländes zwischen dem Hindernis und dem Standort (Rauigkeitslänge  $z_0$ )

Daraus folgt, dass je größer, höher und näher ein Hindernis, desto stärker sein Einfluss auf den Wind ist.

Die Porosität ist ein Wert, der Hindernisse beschreibt, die einen Teil des Windes passieren lassen, wie z.B. ein Baum (besonders im Winter) oder ein offener Unterstand. Allgemein kann angenommen werden, dass die Porosität für Gebäude gleich null und für Bäume ca. 0,5 beträgt (das bedeutet, dass ein Baum die Hälfte des Windes passieren lässt). Im Winter ist die Porosität eines Baumes gleich 0,7. Eine Reihe von ähnlichen Gebäuden mit einem Abstand zwischen den Gebäuden von etwa einem Drittel der Gebäudelänge besitzt eine Porosität von ungefähr 0,33. Für komplexe Umstände kann die Porosität sowie die Rauigkeit durch eine professionelle Software berechnet werden, sowie eine Karte der erzeugten Turbulenzen und Rauigkeiten angefertigt werden“ (BWE, 2010). Die Turbulenzanteile lassen sich mit einem Schalenkreuzanemometer nicht messen. Nur wenige meteorologische Stationen besitzen elektronische Spezialanemometer, die dreidimensionale Strömungskomponenten messen können. Ein Windrad, das nach dem Auftriebsantrieb arbeitet, darf nur wenig turbulent angeströmt werden. So kann ein einziges Gebäude oder Baum den Ertrag einer Windkraftanlage nennenswert reduzieren. Als grobe Richtlinie für die Aufstellung von Kleinwindanlagen bei Einzelhindernissen gilt:

In der Hauptwindrichtung muss das Windrad in einer Entfernung, die der 20-fachen Hindernishöhe entspricht, das mit Abstand höchste Bauwerk sein, wenn es einigermaßen turbulenzfrei angeströmt werden soll<sup>2</sup>.

### 3.3.6 Geländehöhe

„Die Topographie hat einen entscheidenden Einfluss auf die bodennahen Windverhältnisse. Eine Windströmung über Hügel mit Böschungsneigungen kleiner als 10 % – 20 % erfährt infolge der Strömungsumlenkung einen Geschwindigkeitszuwachs auf der Hügelkuppe, ohne dass störende Ablösungen und Turbulenzen entstehen, so dass hier i.d.R. gute Möglichkeiten für die Windenergienutzung bestehen“ (BWE, 2010).

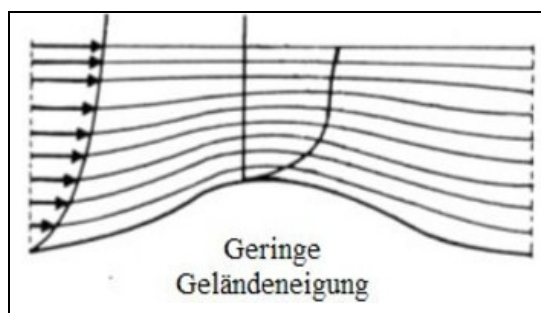


Abb. 6: Einfluss von Topographie auf das vertikale Geschwindigkeitsprofil  
(Quelle: Energia Eolica)

<sup>2</sup> CROME, H. (2000). *Handbuch Windenergie Technik - Windkraftanlagen in handwerklicher Fertigung*. 1. Auflage. Staufen: Ökobuch-Verlag.

### **3.3.7 Welche Ziele will man durch die geeignete Standortwahl erreichen?**

Ziel bei der Standortwahl ist es, eine möglichst weite und unbeeinträchtigte Sicht in der Hauptwindrichtung zu haben. Des Weiteren sollten möglichst wenige Hindernisse vorhanden und eine möglichst geringe Rauigkeit in dieser Richtung gegeben sein.

In Deutschland werden die günstigsten Werte von etwa sieben Metern pro Sekunde an der Nordseeküste und der nördlichen Ostseeküste erreicht. Im Binnenland kann man im Allgemeinen nur auf Bergen, die an die höheren und schnelleren Windschichten heranreichen, größere Windgeschwindigkeiten messen.

In Wohnsiedlungen, Reihenhaussiedlungen mit kleinen Grundstücken findet die Kleinwindanlage aus Gründen der zu geringen Windgeschwindigkeit praktisch keine Anwendung. Der Wind braucht aus der Hauptwindrichtung 30-40 m freie Anströmung (ohne große Hindernisse wie Gebäude, Bäume, höheres Buschwerk)<sup>3</sup>. Vgl. auch die Richtlinie von Horst Crome auf Seite 11.

Das Gelände muss entsprechend groß sein. Der Mast sollte einige Meter vom zu versorgenden Gebäude entfernt sein. (Die Installation auf einem Gebäudedach ist auch möglich, wenn der Körperschall durch geeignete Dämmmaßnahmen entsprechend reduziert wird.)

Es wird deutlich, dass die Kenntnis der überregionalen Windverhältnisse als Entscheidungsgrundlage für die Aufstellung von Windkraftanlagen nicht ausreicht, sondern dass auch die lokalen Verhältnisse sehr genau zu berücksichtigen sind.

---

<sup>3</sup> Georg Hacker, Solar-Team, Telefonat am 24.07.08



## 4. Windenergieanlagen

In diesem Kapitel werden allgemein Windenergieanlagen (WEA) beschrieben sowie deren Funktionsweise erläutert. WEA unterscheiden sich in ihrer Bauweise durch die unterschiedliche Führung der Rotorblätter, welche horizontal und vertikal erfolgen kann.

### 4.1 Bauformen

#### 4.1.1 Horizontale Rotorausrichtung

Die Nutzung des Windes kann nach zwei unterschiedlichen Prinzipien erfolgen, nach dem Widerstandsprinzip oder dem Auftriebsprinzip. Beim Widerstandsprinzip wird dem Wind in Bewegungsrichtung in Form eines Körpers ein Widerstand entgegengesetzt (z.B. Segelschiff). Der Wind drückt anschließend den Körper in seine Bewegungsrichtung (Quaschnig, 2008).



Abb. 7: Windenergieanlagen Vestas V90 mit 3 MW Leistung  
(Quelle: Vestas, 2009)

Windenergieanlagen mit Rotoren in horizontaler Achse (vgl. Abb. 8) funktionieren fast ausschließlich nach dem Auftriebsprinzip. Dabei strömt der Wind von vorne auf die Rotornabe und erzeugt eine Drehung der Rotoren. Zum eigentlichen Wind kommt der Fahrtwind hinzu, der seitlich auf das Rotorblatt strömt. Der resultierende Wind, der auf das Rotorblatt trifft, setzt sich aus dem eigentlichen Wind und dem Fahrtwind zusammen. Durch die Bauweise und Form des Rotorblattes muss der Wind auf der oberen Seite einen längeren Weg als auf der unteren Seite zurücklegen. Die Strömung weitet sich dadurch auf und es entsteht auf der Oberseite ein Unterdruck und auf der Unterseite ein Überdruck. Dieser Druckunterschied erzeugt letztendlich die Auftriebskraft, die senkrecht zum resultierenden Wind wirkt (vgl. Abb. 9).

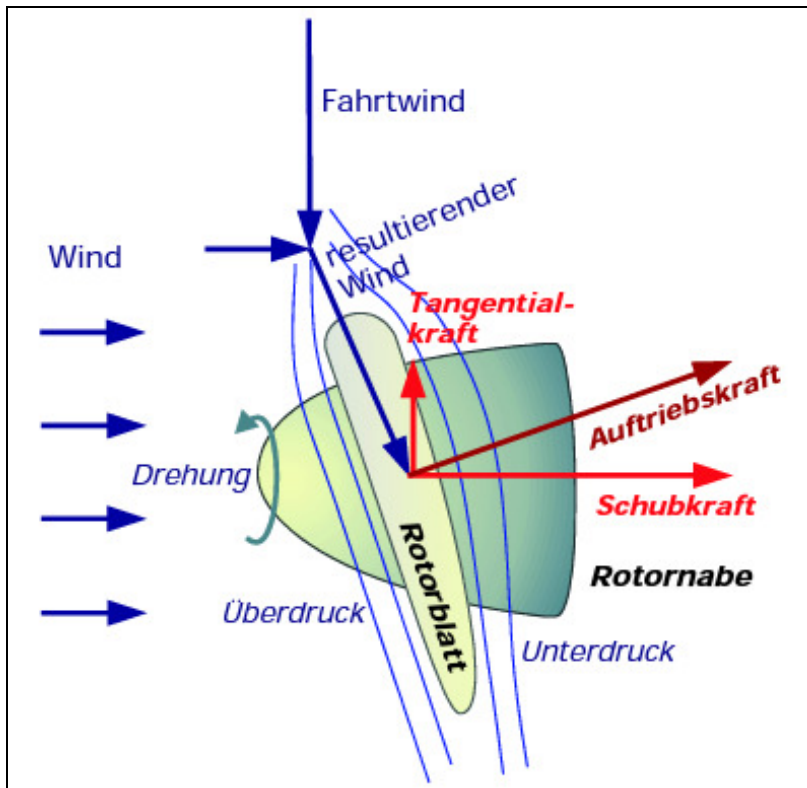


Abb. 8: Funktionsprinzip einer Windenergieanlage mit horizontaler Achse  
(Quelle: Quaschnig, 2008, S.192)

Die Auftriebskraft unterteilt sich in Schubkraft und in Tangentialkraft. Die Schubkraft wirkt in Richtung der Rotorachse, die Tangentialkraft in Richtung des Umfangs. Letztere sorgt für die Drehung der Rotoren und ist ausschlaggebend für die Leistung der Windenergieanlage. Die Schubkraft hingegen lässt sich nicht sinnvoll nutzen. Sie drückt gegen die Rotorblätter und biegt diese durch. Daher müssen Rotorblätter stabil gebaut sein, um der Schubkraft widerstehen zu können (Quaschnig, 2008). Zu den Anlagenkomponenten einer Windkraftanlage (vgl. Abb. 10) zählen Mast, Gondel, Getriebe, Generator, Rotornabe, Rotorblätter und zur Messung der Windgeschwindigkeiten eine Windmessanlage (Quaschnig, 2008).

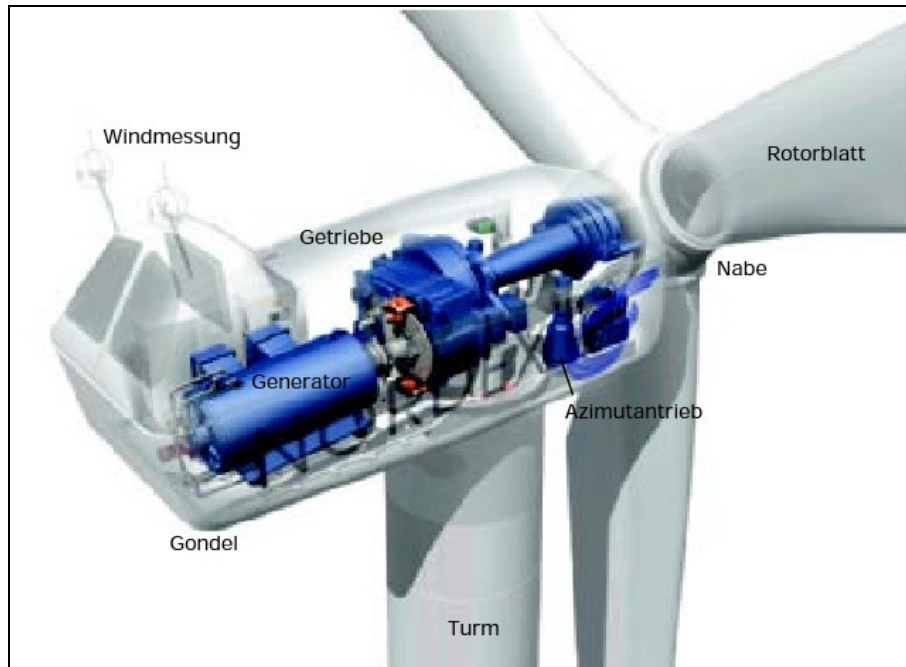


Abb. 9: Aufbau und Komponenten einer Windenergieanlage  
(Quelle: Quaschnig, 2008, S.197)

#### 4.1.2 Vertikale Rotorausrichtung

*Wirkungsgrade von Anlagen mit vertikaler Achse sind in der Regel wesentlich niedriger als bei Anlagen mit horizontaler Achse. Der Hauptgrund dafür besteht darin, dass Teile des Rotors ständig gegen den Wind laufen müssen. Dafür haben sie auch einige Vorteile:*

- Vertikalläufer sind von der Windrichtung unabhängig und müssen nicht nachgeführt werden.
- Turbulente Windströmungen können genutzt werden. Auch böige Windverhältnisse sind verträglich.
- Der Einsatz ist schon bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten von 2-3 m/s und noch bei sehr hohen möglich. Sie haben damit mehr Betriebsstunden im Jahr.
- Sie sind sehr leise, verursachen keinen Schattenwurf oder Discoeffekt.

Bei der vertikalen Ausrichtung des Rotors kann man verschiedene Typen der Ausführung unterscheiden, die nachfolgend beschrieben werden.

#### 4.1.2.1 Darrieus-Rotor

Der Darrieus-Rotor (vgl. Abb. 11), benannt nach Georges Darrieus (1888 - 1979), besteht aus zwei oder drei gebogenen Rotorblättern, die jeweils mit dem oberen und unteren Ende des Anlagenmastes – mit senkrechter Drehachse – verbunden sind. Er wird aufgrund seines Aussehens oft auch mit einem Schneebesen oder mit Zwiebelschalen verglichen. Der Vorteil dieser Anlage besteht darin, dass unabhängig von welcher Richtung auch der Wind kommt, die Rotorblätter in Bewegung versetzt werden können<sup>4</sup>. Nachteil ist jedoch, dass der Darrieus-Rotor schlechter regelbar ist und für den Betrieb in der Regel eine Anlaufhilfe benötigt. Die mechanischen und elektrischen Bauelemente können auf dem Boden untergebracht werden. Da aber dadurch auch der Rotor näher zum Boden ist, ist die Energieausbeute geringer. Sie beträgt nur etwa 75 Prozent derjenigen von Anlagen mit waagrecht Achse<sup>5</sup>.



Abb. 10: Darrieus-Rotor  
(Quelle: BWEA, 2010b)

#### 4.1.2.2 H-Darrieus-Rotor

Der H-Darrieus-Rotor (vgl. Abb. 12) ist eine Weiterentwicklung des Darrieus-Rotors. Anstatt der gebogenen Rotorblätter werden hier gerade Blätter verwendet, die über Haltestreben mit der Rotorwelle verbunden sind (Hau, 1996). Im Gegensatz zum Standard-Darrieus-Rotor sind hier die gerade verlaufenden Rotorenblätter nicht oben und unten mit der Rotorachse verbunden, sondern sind vielmehr auf einem Trägersystem angebracht, welches im Profil an ein H erinnert. Er erreicht ein höheres Drehmoment und somit einen höheren Wirkungsgrad.

---

4 HAU, E. (1996) *Windkraftanlagen*. Berlin: Springer Verlag.

5 UMWELTDATENBANK (2010) *Darrieus-Rotor*. Verfügbar unter: <http://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/lexikon-d/darrieus-rotor.html>



Abb. 11: H-Darrieus-Rotor  
(Quelle: Schelter, 2009)

#### 4.1.2.3 Savonius-Rotor

Der Savonius-Rotor (vgl. Abb. 13), erfunden von Sigurd Savonius (1884 - 1931), bestand in der ursprünglichen Form aus zwei waagrechten Kreisscheiben zwischen denen zwei halbkreisförmige gebogene Schaufeln angebracht waren. Heute findet man den Savonius-Rotor auch mit mehreren Schaufeln. Diese Windenergieanlage arbeitet nach dem Widerstandsprinzip und ist, wie auch der Darrieus-Rotor, windrichtungsunabhängig. Die Schaufeln bzw. Flügel sind gegeneinander versetzt angeordnet und an einer vertikalen Rotorachse angebracht. Ein Teil des Windes wird von der geraden aktiven Schaufel umgeleitet und wirkt so zusätzlich auf die Rückseite der passiven Schaufel.

Die Drehzahl und das Drehmoment hängen mit dem Durchmesser der Flügel zusammen<sup>6</sup>:

- Kleiner Durchmesser: hohe Drehzahl – niedriges Drehmoment
- großer Durchmesser – niedrige Drehzahl – hohes Drehmoment

In der Praxis eignet sich der Savonius-Rotor aufgrund der niedrigen Schnelllaufzahl und des geringen Leistungsbeiwertes von ca. 0,25 nicht für die Errichtung von großtechnischen Anlagen (Hau, 1996). Im privaten Gebrauch findet er jedoch immer häufiger seine Anwendung. Sein Wirkungsgrad ist kleiner als der eines Darrieus-Rotors, dafür läuft er bei geringeren Windgeschwindigkeiten an.

---

<sup>6</sup> PCON WINDKRAFT (2010a) Grundsätzliches zum Savonius-Rotor. *Verfügbar unter:* <http://pcon-wind.de/grundsatzliches.htm>



Abb. 12: Savonius-Rotor  
(Quelle: Pcon Windkraft (2010b))

Anbieter von Kleinwindkraftanlagen mit Vertikalrotoren sind unter anderem:

- Azeptor AG: <http://www.aceptor.com>
- R & S Windenergy: <http://www.rs-windenergy.com>
- Tassa GmbH: <http://www.tassa.de>
- energy-age wind ltd. & Co. KG: <http://www.energy-age-wind.de>
- BeBa-energie GmbH: <http://www.beba-energie.de>

## 4.2 Begriffsdefinitionen

In der Literatur finden sich im Zusammenhang mit Windkraftanlagen immer wieder bedeutende Begriffe, die im Folgenden kurz erläutert werden.

### 4.2.1 Luv- und Leeläufer

Windkraftanlagen mit horizontaler Rotorausrichtung können sich in ihrer Stellung zur Windrichtung hin unterscheiden. Bei Leeläufern befindet sich die Gondel in Windrichtung vor den Rotorblättern (vgl. Abb. 14). Sie benötigen keine Windnachführung und kühlen durch ihre Ausrichtung automatisch den Generator mit dem Wind. An der Gondel bilden sich jedoch Verwirbelungen die sich nachteilig auf die Rotorblätter auswirken und Leistungsschwankungen hervorrufen. Des Weiteren entstehen durch die Verwirbelungen Lärmemissionen.

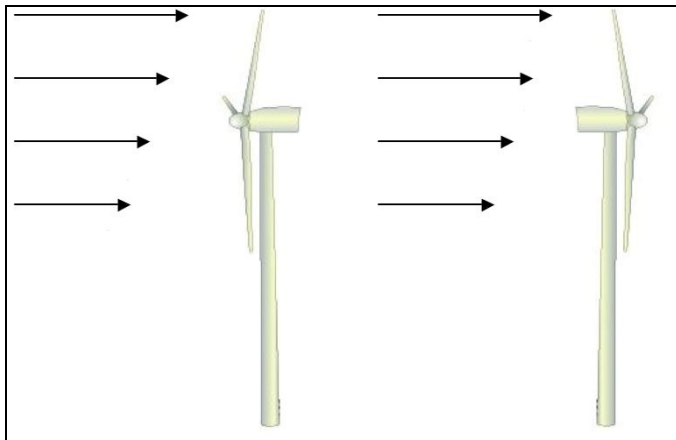


Abb. 13: Luvläufer (links) und Leeläufer (rechts)  
(Quelle: Wind-Energie, 2010, Kap. 5)

Bei Luvläufern befindet sich die Gondel in Windrichtung hinter den Rotorblättern (vgl. Abb. 14). Hierbei bedarf es einer Nachführung, welche bei großen Anlagen elektronisch, bei KWEA in der Regel durch Steuerfahnen erfolgt. Anhand der oben genannten Nachteile der Leeläufer, werden seit den 90er Jahren in der Praxis fast ausschließlich nur noch Luvläufer verwendet<sup>7</sup>.

#### 4.2.2 Schnelllaufzahl

Die Schnelllaufzahl beschreibt das Verhältnis der Rotorblattlaufgeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit. Je größer der Blattumfang und je schneller die Drehzahl des Rotors, desto größer die Schnelllaufzahl bei gleicher Windgeschwindigkeit. Man unterscheidet zwischen Langsamläufern und Schnellläufern. Langsamläufer haben eine Auslegungsschnelllaufzahl von maximal 2,5. Darunter zählen Windkraftanlagen die nach dem Widerstandsprinzip funktionieren und eine Schnelllaufzahl niedriger als 1 besitzen, sowie Anlagen nach dem Auftriebsprinzip mit einer Schnelllaufzahl von 1 bis 2,5. Schnellläufer sind ausschließlich Auftriebsläufer mit einer Schnelllaufzahl von 2,5 bis 15. In dieser Kategorie finden wir alle Strom erzeugenden Windkraftanlagen mit einem bis drei Rotorblättern (Wind-Energie, 2010).

#### 4.2.3 Leistungsbeiwert

Die Umsetzung von Windenergie in mechanisch nutzbare Energie erfolgt durch die Abbremsung der Luftmassen an den Rotorblättern der Windenergieanlage. Ohne diesen Vorgang kann keine Energie umgesetzt werden. Theoretisch liegt die maximale Ausbeute an Leistung bei 100 Prozent, wenn die Luftmassen nach dem Rotor vollständig zum Stillstand

<sup>7</sup> WIND-ENERGIE (2010) *Technik*. Verfügbar unter: <http://www.wind-energie.de/de/technik/>

kommen. Dies hat jedoch den unerwünschten Effekt, dass die komplette Anlage zum Stillstand kommt. Es muss somit ein Kompromiss zwischen der Windgeschwindigkeit vor und nach dem Rotor vorliegen, um eine maximale Ausbeute der mechanischen Energie zu erlangen. Man beschreibt dies als Leistungsbeiwert, der theoretisch bei maximal 0,59 liegen kann. Da Windenergieräder jedoch immer mit Verlusten behaftet sind, liegt der Leistungsbeiwert unterhalb von 0,59<sup>8</sup>.

#### 4.2.4 Leistungsbegrenzung

Bei hohen Windgeschwindigkeiten übersteigt die Rotorleistung einer Windkraftanlage die Nennleistung. Um Anlagenschäden zu vermeiden, muss die Leistung begrenzt werden. Dies erfolgt durch die Stall-, Pitch- oder Aktive Stall-Regelung der Rotorblätter.

Eine einfache und effektive Variante zur Leistungsbegrenzung von Windkraftanlagen ist die „Stall-Regelung“. Das aerodynamische Profil der Rotorblätter ist so konzipiert, dass bei definierten Windgeschwindigkeiten am Rotorblatt Turbulenzen entstehen, die zu einem Strömungsabriss führen. Der Effekt verstärkt sich mit zunehmender Geschwindigkeit des Windes und hält die Leistung nahe der Nennleistung der Windkraftanlage. Bei Sturm bzw. bei zu schnellen Windgeschwindigkeiten kann die Anlage durch Bremsklappen abgeschaltet werden, die sich an den Rotorblättern befinden.

Bei Pitch-geregelten Anlagen erfolgt die Leistungsbegrenzung durch ein Verstellen des Anstellwinkels an den Rotorblättern. Durch einen niedrigen Anstellwinkel an den Rotorblättern wird eine geringe Auftriebskraft erzeugt. Die Rotorblätter drehen langsamer und die Anlagenleistung ist dementsprechend gering. Bei schwachen Windgeschwindigkeiten von 0-4 m/s stehen die Blätter in Fahnenstellung. Der Pitchwinkel beträgt hierbei 90°. Nimmt die Windgeschwindigkeit zu, stellt sich der Anstellwinkel auf 0° ein. Bei starkem Winden von 13 bis 25 m/s muss die Anlage in ihrer Leistung her begrenzt werden. Der Pitchwinkel nimmt mit steigender Windgeschwindigkeit zu und liegt im Bereich von 0-30°. Muss die Anlage abgeschaltet werden, stellen sich die Rotorblätter wieder in die Fahnenstellung.

Eine weitere Möglichkeit, die Leistung einer Windkraftanlage zu begrenzen, ist die Aktive Stall Regelung. Hierbei wird der Stall-Effekt durch das Verdrehen der Rotorblätter erzeugt. Die Rotorblattverdrehung erfolgt ähnlich wie im Pitch-System, jedoch in die Rotorebene hinein und mit einem kleineren Anstellwinkel.

Bei sehr kleinen Windkraftanlagen wird die Leistungsbegrenzung oft durch eine Querfahne hervorgerufen (Wind-Energie, 2010).

---

<sup>8</sup> GASCH, R., & TWELE J. (2007) Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 5. Auflage. Wiesbaden: Teubner Verlag.



## 5. Kleinwindenergieanlagen

### 5.1 Definition einer Kleinwindenergieanlage

Für den Begriff Kleinwindenergieanlagen gibt es derzeit keine allgemein gültige und abschließende Definition.

Die IEC (International Electrotechnical Commission) legt in ihrer Norm IEC 61400-2:2006 – Design requirements for small wind turbines eine Definition fest. Demnach liegt die Obergrenze für KWEA bei 70 kW, was sich aus einer überstrichenen Rotorfläche ergibt, die unter 200 m<sup>2</sup> bei 350 W/m<sup>2</sup> liegen muss. Des Weiteren darf der Turm eine Höhe von 20 m nicht überschreiten (BWE, 2010a). Diese Norm hat auch Einzug in die deutsche Normierung gefunden und ist in der DIN EN 61400-2 festgehalten. Bei den derzeit marktgängigen Anlagen liegt die Leistung in der Regel zwischen 5 und 10 kW.

Die Kleinwindanlagen werden innerhalb des Standards unterteilt in:

- Micro-Windturbinen (Maximal 1,5 kW Nennleistung bzw. 6m<sup>2</sup> Windangriffsfläche)
- Hausanlagen auf dem Dach oder direkt mit dem Haus verbunden als Nebengebäude ohne Größen-Beschränkungen dem Gebäude angepasst
- Kleinwindanlagen zur Selbstversorgung bis einschließlich 6 kW Nennleistung
- Kleinwindanlagen bis maximal 200 m<sup>2</sup> Windangriffsfläche (IEC 61400-2)

Eine weitere Definition wird durch den Bundesverband Windenergie e.V. (BWE, 2010a) gegeben. Demnach bewegen sich KWEA in einem Leistungsbereich bis maximal 100 kW installierter Leistung. Für den Hausgebrauch legt der BWE die wirtschaftlich sinnvolle Obergrenze aber auf 30 kW fest. Diese wird auch durch das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) unterstützt, in dem in §5 festgesetzt wird, dass Anlagen bis 30 kW nur über den Hausanschluss an das Energienetz angeschlossen werden sollen. Alle Anlagen darüber hinaus müssen über den Energieversorger an das öffentliche Netz angeschlossen werden. Daher sind Anlagen oberhalb der 30 kW Grenze nicht mehr als Anlagen für den häuslichen Gebrauch zu betrachten.

Eine genaue Abgrenzung der KWEA zu den gewöhnlichen WEA ist schwierig und beruht vor allem auf der geringeren Leistung und der damit verbundenen Größe der Anlagen. Im Falle des Inselbetriebs der Anlage kommt zudem meist eine einfachere Ausgestaltung der Regelungstechnik zustande, als dies bei großen WEA der Fall ist.

Bei der weiteren Beschreibung der KWEA wird die Definition der IEC als Grundlage genommen, da diese am weitesten verbreitet ist. Jedoch muss davon ausgegangen werden, dass Anlagen im Bereich von 70 kW nicht mehr kleine Anlagen im eigentlichen Sinne sind. Für die Darstellung der aktuellen Produkte in diesem Kapitel erscheint daher eine Festlegung von 30 kW als Obergrenze des Leistungsbereichs als sinnvoll.

## 5.2 Komponenten

Während der Aufbau von Großwindenergieanlagen mit einem erheblichen Aufwand an Technik, Material und vor allem finanziellen Mitteln verbunden ist, so ist dies bei kleinen Anlagen deutlich geringer. Für die Realisierung einer KWEA im privaten Gebrauch können je nach Anwendungsgebiet (Inselnetzbetrieb oder Direkteinspeisung) und Anlagenleistung unterschiedliche Komponenten zum Einsatz kommen. Dabei soll jeweils zwischen den einzelnen Ausführungsvarianten der Rotorführung, wie in Kap. 4<sup>9</sup> beschrieben, unterschieden werden, um einen einfachen Überblick der Anlagen zu erhalten. Des Weiteren werden auf bauliche Besonderheiten hingewiesen, die bei einer Installation notwendig sind, oder sich aus der Praxis her als Vorteil erweisen.

### 5.2.1 Fundament

Ein Fundament wird benötigt, wenn die Windenergieanlage innerhalb des Privatgeländes auf einer Freifläche (Garten, Wiese) errichtet wird. Es dient zur Stabilisierung und Sicherheit der gesamten Anlage. Je nach Rotorentyp und Masthöhe werden unterschiedliche Fundamentarten benötigt.

Bei einer Mastkonstruktion auf einem freien Gelände wird das Fundament in das Erdreich eingebracht. Bei kleinen Anlagen kann dies lediglich aus einem Maststutzen bestehen (Öko-Energie, 2010). Dieser besteht aus einem Stahlrohr, der bis zu seiner Oberkante in den Boden eingegraben wird. Der Mast wird anschließend in den Maststutzen eingelassen. Für eine bessere Stabilität der Anlage können Spannseile aus Metalldraht sorgen. Diese werden in entsprechender Höhe am Mast befestigt und mit weiteren Fundamenten im Boden verbunden.



Abb. 14: Fundament-Variante: Beton für den Mastaufbau einer Kleinwindkraftanlage (Quelle: TSB, 2009)

Bei hohen Anlagen und großen Mastdurchmessern sollte das Fundament aus Betonplatten bestehen (vgl. Abb. 15). Die Betonplatten können entweder vor Ort gegossen, oder als fertige Betonplatte installiert werden. Generell ist bei der Standortauswahl des Fundamentes

darauf zu achten, wie die vorliegenden Bodenverhältnisse aussehen. Handelt es sich eher um sandigen Boden, so ist das Fundament mit einer höheren Tiefe zu versehen. Ton- oder lehmhaltiger Boden hingegen sorgt in geringeren Tiefen für die entsprechende Stabilität. Letztendlich muss die Standsicherheit der Anlage gewährleistet sein und es darf zu keinen bautechnischen Gefährdungen kommen. Hierzu ist es ratsam, einen qualifizierten Statiker für die Errichtung des Fundamentes in das Bauprojekt einzubeziehen.

### 5.2.2 Mast

Die Auslegungsgrößen des Mastes sind für die Errichtung einer Kleinwindenergieanlage sehr wichtig. KWEA, wie die Modellvariante Flip 150, mit einer Masthöhe von etwa 10 bis 12 Metern können mit einem normal-wandigem Stahlrohr von 48mm auskommen (Öko-Energie, 2010). Bei hohen Windgeschwindigkeiten muss der Mast die auftretenden Windlasten sicher aufnehmen.



Abb. 15: Varianten der Mastaufstellung

links, Aufstellung des Mastes einer Kleinwindkraftanlage an der Fachhochschule Bingen

rechts, Kippgelenk einer Kleinwindkraftanlage

(Quelle: Home-Energy, 2009)

(Quelle: TSB, 2009);

Bei einer Windanlage mit einem Rotordurchmesser von vier Metern können horizontale Kräfte von über 2 t auftreten. Des Weiteren werden durch unterschiedliche Drehzahlen Schwingungen erzeugt, die sich auf den Mast übertragen und sich in Resonanzschwingungen versetzen können. Abhilfe ist hier die richtige Wahl des Fundamentes, des Mastes und der Abspannung<sup>10</sup>. Der Mast kann aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Hauptsächlich besteht dieser aus Holz, Aluminium, Stahl oder Kunststoff. Für die Aufstellung des Mastes wird meist ein Kran benötigt (vgl. Abb.16, links). Eine Alternative ist Verwendung eines Kippelements, welches den Aufbau einer Anlage erleichtert (vgl. Abb. 16, rechts). Ein weiterer Vorteil ist, dass die Windkraftanlage für eventuelle Kontroll- und Wartungsarbeiten rela-

<sup>10</sup> HEYDE WINDTECHNIK (2010) *Windkraft nutzen, Umwelt schonen, flexibel sein: Installationsempfehlungen*. Verfügbar unter: <http://www.heyde-windtechnik.de>

tiv einfach zum Boden hin gesenkt werden kann<sup>11</sup>. Bei der Errichtung eines Mastes ist darauf zu achten, dass ein Blitzschutz installiert wird. Die Blitzschutz-Erdleitung wird am Mastfuß mit einer Schraube angebracht und an zwei etwa drei Meter langen Stäben angeschlossen. Die Stäbe werden anschließend in einem Abstand von drei Metern senkrecht in den Boden eingelassen (Hallenga, 2004).

### 5.2.3 Rotorblätter

Rotorblätter werden von Kleinwindkraftanlagen-Herstellern bereits fertig angeboten. Sie bestehen meist aus Glasfaser verstärkten Kunststoff, Aluminium oder Karbon. Ihr Durchmesser beträgt bei kleinen Anlagen von sechs Watt ca. 0,9 m und kann bei großen Anlagen von 20 kW bis zu neun Meter erreichen. Abb. 17 zeigt die Rotorblätter sowie weitere Komponenten der Kleinwindkraftanlage Flip 150 als Bausatz<sup>12</sup>.



Abb. 16: Rotorblätter und weitere Bauteile von Flip 150  
(Quelle: Alfred-Gosser-Schule, 2006)

Private Kleinwindkraftanlagenbetreiber fertigen die Rotorblätter auch in Eigenherstellung. Dabei werden oft die Materialien Holz, Metall, Aluminium oder Kunststoff verwendet. Voraussetzung ist hierbei eine Erfahrung in der Aerodynamik um ein geeignetes Rotorblattprofil zu konstruieren, sowie das geeignete Werkzeug (Hallenga, 2004). Abb. 18 zeigt das Ausschneiden eines Aluminium-Rotorblattes für eine Savonius-Windkraftanlage.

---

11 HALLENGA, U. (2004). Wind: Strom für Haus und Hof, Bauanleitung mit Konstruktionszeichnungen. 9. Auflage. Staufen: Ökobuch-Verlag.

12 ALFRED-GOSSER-SCHULE (2006) Kleinwindrad Flip 150. Verfügbar unter: [http:// www.schulebza.de](http://www.schulebza.de)



Abb. 17: Fertigung eines Savonius-Rotorblattes aus Aluminium im privaten Eigenbau (Quelle: Herr-Home, 2010)

#### **5.2.4 Generatoren**

Generatoren wandeln die vom Wind erzeugte Bewegungsenergie in elektrische Energie um (Gasch & Twele, 2007). Unterscheiden kann man in Synchron- und Asynchrongeneratoren. Wobei mehr als 99 Prozent der elektrischen Energieerzeugung (Wasser-, Kohle-, Kernkraftwerke) mit synchronen Generatoren erfolgt. Generell bestehen Generatoren aus zwei Hauptkomponenten: einem Stator aus Spulen und dünnen Stahlblechen, in dem ein magnetisches Feld erzeugt wird und aus einem Rotor auf einer drehbaren Welle. Der am meisten in der Windindustrie verwendete Generator ist der Permanentgenerator. Dieser besitzt kein Getriebe.

Asynchrongeneratoren oder auch Induktionsgeneratoren genannt, arbeiten mit einem hohen Wirkungsgrad, sind robust, kostengünstig und werden häufig in Windkraftanlagen verwendet (Wind-Energie, 2010). Für den Eigenbau von kleinen Windrädern können 12 Volt Autolichtmaschinen als Generator verwendet werden. Die Lebensdauer ist relativ hoch, einziges Verschleißteil bilden die Kohlestifte im Generator (Hallenga, 2004).

#### **5.2.5 Getriebe**

Das Getriebe verbindet den Rotor mit dem Generator. Meist wird hierfür ein Zahnradgetriebe oder ein Riemenantrieb verwendet. Hersteller von kleinen Windkraftanlagen verzichten meist auf einen Einsatz eines Getriebes und verwenden stattdessen Permanentgeneratoren (Hallenga, 2004).

#### **5.2.6 Steuerfahnen**

Da auftretende Winde aus unterschiedlichen Richtungen strömen, müssen Windkraftanlagen zur entsprechenden Windrichtung gesteuert werden. Bei großen Anlagen übernimmt diese Aufgabe ein Elektromotor. Bei kleinen Windkraftanlagen erfolgt dies anhand einer

Steuerfahne, die sich am hinteren Teil der Gondel befindet. Des Weiteren dient die Steuerfahne als Schutzeinrichtung.<sup>13</sup>

### 5.3 Installationsvarianten von Kleinwindenergieanlagen

Windenergieanlagen für den privaten Betrieb können je nach Platzbedarf auf unterschiedlicher Weise aufgestellt werden. Mögliche Installationsvarianten und deren Besonderheiten sollen im Folgenden dargestellt werden.

#### 5.3.1 Aufstellung auf einer Freifläche

Die am häufigsten vorzufindende Installationsvariante einer KWEA ist die Aufstellung eines Mastes auf einer Freifläche (vgl. Abb. 19, links).

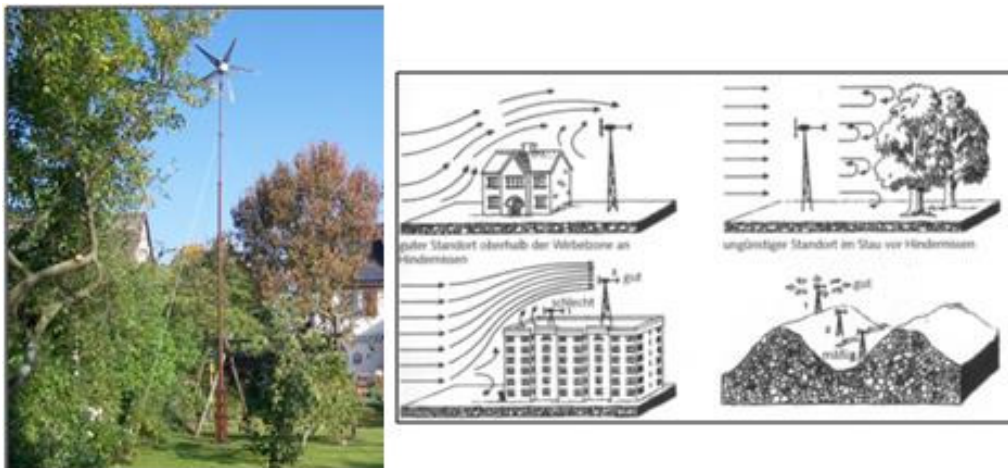


Abb. 18: links, Kleinwindkraftanlage im privaten Garten rechts, Günstige und ungünstige Standorte für Kleinwindkraftanlagen (Quellen: Wind-SD 2009, Hallenga, 2004)

Je nach Anlagenleistung und Masthöhe ist hierfür eine entsprechende Mindestfläche erforderlich. Hohe Masten müssen zusätzlich mit Drahtseilen abgespannt werden. Für die Verankerung der Spannseile müssen weitere Fundamente in den Boden eingelassen werden, die in entsprechender Entfernung vom Mastfundament liegen. Wichtig bei Aufstellung einer KWEA auf einer Freifläche ist der Aufstellort. Um Verwirbelungen an den Rotorblättern vorzubeugen, die Leistungsverluste verursachen, sollte die Anlage möglichst frei von Häusern, Bäumen oder Wallungen aufgestellt werden (vgl. Abb. 19, rechts). Je näher sich ein Hindernis an der Windkraftanlage befindet, umso höher muss der Anlagenmast ausgelegt werden<sup>14</sup>. Steht die Windkraftanlage direkt neben einem Gebäude, sollte der Anlagenmast die

13 BRAUN-WINDTURBINEN (2010) Theorie zur Windkraft. Verfügbar unter: <http://www.braun-windturbinen.com>

14 SOLAR-WIND-TEAM (2010) Akkuladung. Verfügbar unter: <http://www.wind-mobil.de/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).

Gebäudehöhe um mindestens 1/3 der längsten Gebäudeseite übersteigen (Crome, 2000). Des Weiteren sollte die Anlage mindestens 35m vom Nachbargebäude entfernt aufgestellt werden um eventuelle Lärmemissionen gering zu halten (Öko-Energie, 2010). Generell ist es wichtig, dass nahe liegende Gebäudeeigentümer früh über die Errichtung einer kleinen Anlage informiert werden (Hallenga, 2004).

### 5.3.2 Befestigung an der Gebäudewand

Alternativ kann eine Windenergieanlage direkt am Gebäude befestigt werden (vgl. Abb. 20).



Abb. 19: An der Gebäudewand angebrachte Kleinwindkraftanlage (Quelle: Wind-SD, 2010)

Vorteil ist hier die zusätzliche Stabilisierung der Anlage, der nur gering ausfallende Platzbedarf sowie die schon vorhandene Anlagenhöhe. Allerdings zeigen sich bei dieser Variante zwei wesentliche Nachteile. Windkraftanlagen haben keinen nennenswerten Resonanzkörper, welcher die erzeugten Schwingungen des Rotors oder des Generators in Form von Geräuschen verstärkt. Wird die Anlage jedoch an der Gebäudewand befestigt, können die Geräusche über den Mast auf das gesamte Wohnhaus übertragen werden. Dies führt in der Regel zu erheblichen Belästigungen und Wohnbeeinträchtigungen. Des Weiteren können die Vibrationen zu Beschädigungen am Mauerwerk führen. Zwar können Schwingungsdämpfer die Störgeräusche und Vibrationen reduzieren, jedoch nur in einem geringen Maße. Um langfristig Schäden am Mauerwerk zu vermeiden und Störgeräusche im Gebäude zu verhindern, sollten Kleinwindkraftanlagen nicht an Gebäudewänden montiert werden (Hallenga, 2004).

### 5.3.3 Aufstellung auf dem Gebäudedach

Aufgrund der in Kapitel 5.3.2.15 beschriebenen Vibrationen und Generatorgeräusche, ist eine Anbringung einer Windkraftanlage auf dem Gebäudedach nur bedingt empfehlenswert. Kleinere Anlagen bis zu einer Nennleistung von 100 Watt verursachen relativ geringe Schwingungen an Rotor und Generator und sind deshalb für eine Montage auf dem Gebäudedach geeignet. Das Windrad sollte in diesem Fall über mehrere Rotorblätter verfügen, da sie eine bessere Laufruhe erzeugen. Ab 500 Watt Leistung ist eine Montage auf Dächern unbewohnter Gebäude zu bevorzugen. Die Dachunterkonstruktion muss dabei stabil ausfallen und sollte nicht am Mauerwerk angebracht werden (Hallenga, 2004).

Prinzipiell kann die Anlage auf Sattel-, Steil- und Flachdächern angebracht werden. Die Unterbaukonstruktion ist in unterschiedlichen Ausführungen möglich. Bei Sattel- und Steildächern kann der Anlagenmast bei kleinen Anlagen mit Rohrschellen am Dachbalken befestigt werden. Bei einem Flachdach kann, ähnlich wie bei einer Aufstellung auf einem Freigelände, ein Fundament und entsprechende Abspannseile die Windkraftanlage stabilisieren. In der Praxis findet man auch eher unübliche Fundament-Varianten: In Abb. 21 wurde eine 1 kW-Darrieus-Windkraftanlage auf einem Flachdach mit einem selbst hergestellten Stahlrahmenstandfuß aufgestellt und anschließend mit Steinen beschwert. Des Weiteren besteht die Möglichkeit die Anlage durch eine Gitterkonstruktion, die mit dem Gebäude verbunden wird, zu fixieren. Abb. 22 zeigt ein Savonius-Rotor auf einem Garagenflachdach. Hier ist die im Eigenbau entstandene Anlage an drei am Gebäude befindliche Stahlrohre befestigt (Herr-Home, 2010).



Abb. 20: Fundament-Variante für den Mastaufbau einer Darrieus-Kleinwindkraftanlage (Quelle: Michels, 2008)



Abb. 21: Eigenbau eines Savonius-Rotors auf einem Garagendach (Quelle: Herr-Home, 2010)



#### **5.4 Marktübersicht von Kleinwindenergieanlagen und deren Herstellern**

Das Angebot der KWEA in den verschiedensten Ausführungen auf dem deutschen Markt ist groß. Bei der Auswahl einer geeigneten Anlage steht am Anfang aller Überlegungen in der Regel die Frage der Bauart, passend zum Standort und zu der Anwendung. Die höchsten Wirkungsgrade bringt die klassische Form mit zwei oder drei Flügeln, die sich auch bei Großanlagen bewährt hat. Diese Rotoren sind im Idealfall in der Lage, gut 40 Prozent der kinetischen Energie, die in der Luftströmung steckt, zu nutzen. Vielflügler – zum Beispiel „Western-Mills“, die in Schwachwindgebieten oft zum Pumpen von Wasser eingesetzt werden – sind mit rund 35 Prozent schon schlechter im Wirkungsgrad. Sie werden zur Stromerzeugung kaum eingesetzt. Allenfalls Sechsflügler sind als Kraftwerke noch hin und wieder anzutreffen. Anlagen mit vertikaler Achse fallen im Wirkungsgrad zum Teil erheblich ab – was nachvollziehbar ist, weil hier Teile des Rotors stets dem Wind entgegen laufen müssen. Eine dieser Bauformen ist der Savonius-Rotor, der allerdings nur rund zehn Prozent der Energie tatsächlich nutzen kann.

Da Kleinwindanlage und Wechselrichter genau aufeinander abgestimmt sein müssen, sollten beide Komponenten entweder vom selben Hersteller stammen oder vom Vertriebspartner miteinander kombiniert worden sein. Ein Beispiel dafür ist die Windkraftanlage „Antaris“ der Firma Braun. Diese wird durch einen Wechselrichter der Firma SMA ergänzt, die derzeit Weltmarktführer in der Branche ist.

Im nachfolgenden Abschnitt werden verschiedene derzeit erhältliche Anlagentypen von Kleinwindenergieanlagen und deren Hersteller in einem Leistungsbereich bis maximal 30 kW dargestellt. Hierbei muss beachtet werden, dass der von den Herstellern genannte Wert nur für eine bestimmte Windgeschwindigkeit gültig ist, und dass sich bei verändernden Windverhältnissen andere Leistungen ergeben.

Die folgende Übersicht ist größtenteils aus dem Internet-Forum Kleinwindanlagen.de (2010) übernommen, da dies als die derzeit aktuellste Übersicht im Gebiet der KWEA angesehen werden kann. Die folgenden Auflistungen sind aber nicht als abschließend zu verstehen, da es sich hier vor allem nur um Anlagen auf dem deutschen Markt handelt.

### 5.4.1 Kleinwindenergieanlagen bis 0,25 kW



Abb. 22: Kleinwindkraftanlagen bis 250 Watt  
(Quelle: Kleinwindanlagen.de, 2010)

AluWindrad (oben links)	Rutland 503 (oben rechts)
Ampair 100 (unten links)	Marc Twister 300 (unten rechts)

Tab. 3: KWEA bis 0,25 kW  
(Kleinwindanlagen.de, 2010 – Eigene Darstellung)

Typ	Nennleistung (Watt)	Bei Windgeschw. (m/s)	Ladebeginn (m/s)	Ausführung Rotor	Rotor-Ø (m)	Einspeisung
<a href="#">AluWindrad</a>	6	6,0	3,0	horizontal	0,90	direkt
Rutland 503	40	11,0	0,5	horizontal	0,52	Batterie
<a href="#">Ampair 100</a>	100	13,5	2,5	horizontal	0,91	Batterie
Energyball V100	150	12,0	2,0	horizontal	1,10	Batterie
<a href="#">Flip 150</a>	100	13,0	2,5	horizontal	1,20	Batterie, Netz
<a href="#">AeroCraft 120</a>	120	9,0	3,0	horizontal	1,20	Batterie
<a href="#">AirBreeze</a>	200	13,0	3,0	horizontal	1,17	Batterie
<a href="#">Windual 200</a>	200	10,0	3,0	vertikal	1,5 x 0,8	Batterie
<a href="#">AeroCraft 240</a>	240	9,0	3,0	horizontal	1,65	Batterie
<a href="#">Marc Twister 300</a>	250	14,0	3,0	vertikal	1,0	Batterie

### 5.4.2 Kleinwindenergieanlagen bis 0,5 kW



Abb. 23: Kleinwindkraftanlagen bis 500 Watt.  
(Kleinwindanlagen.de, 2010)

AeroCatcher 300 (oben links)	Black 300 (oben rechts)
PWG 300 (Mitte links),	SuperWind 350 (Mitte rechts).
Air X-Land (unten links),	AeroCraft 502 (unten rechts)

Tab. 4: KWEA bis 0,5 kW

(Quelle: Kleinwindanlagen.de, 2010 – Eigene Darstellung)

Typ	Nennleistung (Watt)	Bei Windgeschw. (m/s)	Ladebeginn (m/s)	Ausführung Rotor	Rotor-Ø (m)	Einspeisung
<a href="#">AeroCatcher 300</a>	300	14,0	4,0	vertikal	1,38	Batterie
<a href="#">Black 300</a>	300	9,0	1,0	horizontal	1,22	Batterie, Netz
<a href="#">WinDual 300</a>	300	13,0	4,0	vertikal	1,3 x 1,4	Batterie, Netz
<a href="#">PWG 300</a>	350	-	-	horizontal	1,40	Batterie
<a href="#">SuperWind 350</a>	350	12,5	3,5	horizontal	1,20	Batterie
<a href="#">Air X-Land</a>	400	12,5	3,5	horizontal	1,15	Batterie
<a href="#">PWG 400</a>	400	12,5	3,0	horizontal	1,40	Batterie
<a href="#">Flip 500</a>	530	12,0	2,8	horizontal	1,60	Batterie, Netz
<a href="#">AeroCatcher 500</a>	500	14,0	4,0	vertikal	2,40	Batterie
<a href="#">AeroCraft 502</a>	500	9,0	3,0	horizontal	2,40	Batterie, Netz
<a href="#">WinDual 500</a>	500	13,0	4,0	vertikal	1,1 x 1,4	Batterie, Netz

### 5.4.3 Kleinwindenergieanlagen bis 2 kW



Abb. 24: Kleinwindkraftanlagen bis 2000 Watt  
(Quelle: Kleinwindanlagen.de, 2010)

AeroCraft 1000 (oben links),	WinDual 1000 (oben rechts)
Inclin 1500 (unten links)	SinusWind 1500 (unten rechts)

Tab. 5: KWEA bis 2 kW

(Quelle: Kleinwindanlagen.de, 2010 – Eigene Darstellung)

Typ	Nennleistung (Watt)	Bei Windgeschw. (m/s)	Ladebeginn (m/s)	Ausführung Rotor	Rotor-Ø (m)	Einspeisung
<a href="#">Inclin 600</a>	600	12,0	3,5	horizontal	2,00	Batterie
<a href="#">Black 600</a>	600	11,0	1,6	horizontal	1,60	Batterie, Netz
<a href="#">PWG 600</a>	600	12,5	3,0	horizontal	1,80	Batterie
<a href="#">AeroCraft 752</a>	750	9,0	3,0	horizontal	2,40	Batterie, Netz
<a href="#">Whisper 100</a>	900	12,5	3,4	horizontal	2,10	Batterie, Netz
<a href="#">AeroCraft 1000</a>	1.000	9,0	3,0	horizontal	2,40	Heizung
<a href="#">AirDolphin</a>	1.000	12,5	2,5	horizontal	1,80	Batterie, Netz
<a href="#">Marc Twister 1000</a>	1.000	12,0	3,0	vertikal	1,9 x 1,9	Batterie, Netz
<a href="#">WinDual 1000</a>	1.000	12,0	4,0	vertikal	2,0 x 1,8	Batterie, Netz
<a href="#">WSD-1000</a>	1.000	12,5	3,1	horizontal	1,80	Batterie, Netz
<a href="#">Inclin 1500</a>	1.500	12,0	3,5	horizontal	2,70	Batterie
<a href="#">SinusWind 1500</a>	1.500	12,0	3,0	horizontal	3,20	Batterie

#### 5.4.4 Kleinwindenergieanlagen bis 5 kW



Abb. 25: Kleinwindkraftanlagen bis 5000 Watt.  
(Quelle: Kleinwindanlagen.de, 2010)

Elisa 2500 (oben links)	Turby 2500 (oben rechts)
Antaris 5000 (unten links)	WESpe (unten rechts)

Tab. 6: KWEA bis 5 kW  
(Kleinwindanlagen.de, 2010 – Eigene Darstellung)

Typ	Nennleistung (Watt)	Bei Windgeschw. (m/s)	Ladebeginn (m/s)	Ausführung Rotor	Rotor-Ø (m)	Einspeisung
<a href="#">SkyStream</a>	2.400	9,4	3,5	horizontal	3,7	Netz
<a href="#">Elisa 2500</a>	2.500	11,0	2,2	horizontal	3,6	Batterie, Netz
<a href="#">Turby 2500</a>	2.500	14,0	4,0	vertikal	2,0 x 2,7	Batterie, Netz
<a href="#">WES-Tulipo</a>	2.500	9,0	2,8	horizontal	5,0	Netz
<a href="#">Mistral 3k</a>	3.000	13,5	2,8	horizontal	2,6	Batterie, Netz
<a href="#">Inclin 3000</a>	3.000	12,0	3,5	horizontal	3,7	Batterie, Netz
<a href="#">SinusWind3000</a>	3.000	12,0	3,0	horizontal	4,2	Netz
<a href="#">Whisper 500</a>	3.000	10,5	3,4	horizontal	4,5	Batterie, Netz
<a href="#">WinDual 3000</a>	3.000	12,0	3,0	vertikal	3,6 x 3,0	Netz
<a href="#">Antaris 3500</a>	3.500	12,0	2,3	horizontal	3,5	Netz
<a href="#">NP3500</a>	3.600	11,2	2,0	horizontal	3,5	Netz
<a href="#">Antaris 5000</a>	5.000	12,0	1,8	horizontal	4,1	Netz
<a href="#">Iskra R9000</a>	5.000	12,0	2,5	horizontal	5,4	Netz
<a href="#">SinusWind5000</a>	5.000	12,0	3,0	horizontal	5,2	Netz
<a href="#">WESpe</a>	5.000	10,0	3,0	horizontal	5,0	Netz
<a href="#">WinDual 5000</a>	5.000	12,0	3,0	vertikal	4,6 x 4,0	Netz



### 5.4.5 Kleinwindenergieanlagen bis 30 kW



Abb. 26: Kleinwindkraftanlagen bis 30.000 Watt.

Easywind 6AC (oben links)	AirCon 10S (oben rechts)
Step V2 (unten links, Step-GmbH, 2010)	Vata H20 (unten rechts, Neuhäuser, 2010)

Tab. 7: KWEA bis 30 kW  
(Kleinwindanlagen.de, 2010 – Eigene Darstellung)

Typ	Nennleistung (Watt)	Bei Windgeschw. (m/s)	Ladebeginn (m/s)	Ausführung Rotor	Rotor-Ø (m)	Einspeisung
<a href="#">Easywind 6AC</a>	6.000	11,0	3,0	horizontal	6,0	Netz
<a href="#">Inclin 6000</a>	6.000	-	-	horizontal	-	Netz
<a href="#">AirCon 10S</a>	9.800	11,0	2,5	horizontal	39,6 [m <sup>2</sup> ]	Netz
<a href="#">WinDual 10kW</a>	10.000	12,0	3,0	vertikal	37,2 [m <sup>2</sup> ]	Netz
<a href="#">Step V2</a>	15.000	11,0	2,5	horizontal	8,4	Netz
<a href="#">Vata H20</a>	20.000	12,5	3,0	vertikal	6,0	Netz
<a href="#">S&amp;W 20.0</a>	20.000	11,5	2,5	horizontal	8,9	Netz

#### 5.4.6 Besondere Formen von Windkraftanlagen

In diesem Abschnitt sollen kleine Windkraftanlagen vorgestellt werden, die durch ihre Bauweise einen besonderen Stellenwert haben.

Die schwedischen Firma Huvudkontor Home Energy AB<sup>16</sup> entwickelte 2008 die Kleinwindkraftanlage Energy Ball (vgl. Abb. 28). Das Modell V100 hat eine Nennleistung von 500 Watt und einen Durchmesser von 110 cm. Das Modell V200, mit einem Durchmesser von zwei Metern, hat hingegen schon eine Leistung von 2500 Watt. Die Kosten belaufen sich auf ca. 4.600\$ bzw. 8.100\$<sup>17</sup>. Im Unterschied zum Darrieus-Rotor läuft der Wind bei dem Energy Ball parallel zum Rotor.



Abb. 27: Installation und fertige Ausführung der KWEA Energy Ball  
(Quelle: Home-Energy, 2009)

16 HOME-ENERGY (2010). Installation of the Energy Ball V100 on a pole. Verfügbar unter: <http://www.home-energy.com/engels/index1.htm>

17 BUCH-DER-SYNERGIE (2010) Teil C: Neue Designs und Rotorformen. Verfügbar unter: [http://www.buch-der-synergie.de/c\\_neu\\_html/c\\_08\\_11\\_windenergie\\_neue\\_designs.htm](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_08_11_windenergie_neue_designs.htm)

Eine weitere interessante Anlage wurde von der Universität in Hongkong, zusammen mit dem Unternehmen Motorwave entwickelt. Das System ermöglicht den Einsatz von mehreren KWEA auf kleiner Fläche. Die aus Kunststoff bestehenden Minirotoren haben jeweils einen Durchmesser von etwa 25 cm (vgl. Abb. 29, links). Ein Anwendungsbeispiel für diese Technik war im Jahr 2007 auf dem Dach der Hongkonger Sea School zu finden. Dort wurde mit 396 kleinen Windkraftträdern ein Schriftzug aufgebaut, der neben der Werbung gleichzeitig Energie erzeugt (vgl. Abb. 29, rechts). Die Stabilität der Anlage zeigte sich gleich noch im selben Jahr bei einem Sturm mit einer Windgeschwindigkeit von 110 km/h. Im November 2007 wurde eine weitere Dachanlage aus etwa 500 Rotoren installiert. Die Firma Motorwave bietet ein Set aus acht Rotoren und einem 2,2 Meter langen Träger für 199 \$ an. Damit kann laut Hersteller eine Leistung von 50 W erzielt werden (Buch-der-Synergie, 2009). Nachteil ist, dass das System keine Windnachführung besitzt und somit von einer Windrichtung abhängig ist. Des Weiteren ist die Geräuschentwicklung dieses Systems relativ hoch, so dass der Einsatz wohl hauptsächlich im gewerblichen Bereich seine Anwendung findet.



Abb. 28: links, Kleine Windturbinen der Firma Motorwave;  
rechts, mit Ausführung zu Werbezwecken  
(Quelle: Zinthatu, 2010)

## 5.5 Anwendungsmöglichkeiten

### 5.5.1 Wärmeerzeugung

Es gibt zwei Möglichkeiten die Windenergie zur Wärmeerzeugung zu nutzen. Zum einen kann die von der Kleinwindanlage produzierte elektrische Energie bei einer wassergeführten Heizung in einen oder mehrere Pufferspeicher (z.B. 1000 Liter Warmwasserbehälter) über eine Heizpatrone eingespeist werden (vgl. Abb. 30).

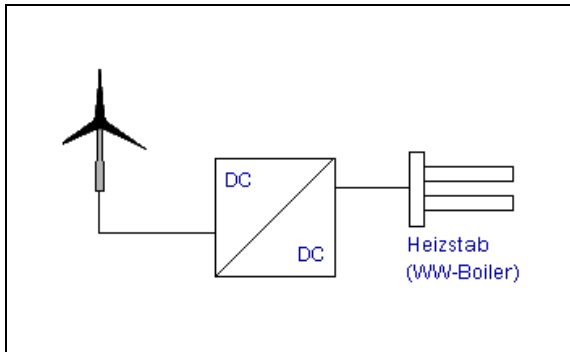


Abb. 29: Schema der Heizwindmühle  
(Quelle: eigen Darstellung)

Über die temperatur- und kennliniengeregelte Heizpatrone werden aus dem Pufferspeicher der Heizkreislauf und die Brauchwasserversorgung mit warmem Wasser gespeist. Je nach Windsituation und Heizungsbedarf kann so die optimale Wärmemenge gespeichert werden. Zu beachten ist hierbei, dass die Wärme nicht unbegrenzt vom Heizsystem aufgenommen werden kann, was wiederum eine gewisse Sicherheitstechnik erforderlich macht. Es ist z.B. ratsam, dass der Rotor eine weitere Belastungseinheit (Widerstand) besitzt, damit im Notfall die überschüssige Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann. Eine Alternative kann eine integrierte Leistungsreduktion durch einen elektronischen Leistungsregler bzw. eine Abschaltung sein (Peters, 2009). Es besteht die Möglichkeit, die Heizpatrone der KWEA mit einem Pufferspeicher einer Solaranlage zu kombinieren. Die Einbindung der „Heizwindmühle“ kann aber auch in vielen weiteren Heizsystemen erfolgen, z.B. bei Wärmepumpen als Direktenergie oder zur Unterstützung von Heizungsanlagen mit Verbrennung, die mit Heizöl, Gas, Holz, Kohle, Pellets, Rapsöl oder anderen Brennstoffen betrieben werden.

Zum Zweiten besteht die Möglichkeit, mit Hilfe einer Wasserwirbelbremse, die Energie direkt in Wärme umzuwandeln. In diesem Fall muss eine Hin- und Rückleitung des Heizkreislaufs zur KWEA geführt werden. Durch die eingebrachte Energie wird zudem das Einfrieren der Leitungen im Winter verhindert (Frostschutz) (Peters, 2009).

Damit die Windkraftanlage einen nennenswerten Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfes leisten kann, sind Anlagen im Bereich mehrerer Kilowatt auszuwählen. Diese Anlagen sind von ihrer Größe und ihren Emissionen (Lärm, Schattenschlag) in der Regel für dicht besiedelte Gebiete ungeeignet. Eine Baugenehmigung bedarf dort der Zustimmung der Nachbarn, welche im Normalfall unwahrscheinlich sein wird. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konkurrieren die Wärmegestehungskosten dieses Systems mit Bezugspreisen von Öl oder

Gas von aktuell 5-7 ct/kWh, und für Heizstrom von 14-23 ct/kWh. Daher sollte man grundsätzlich die direkte Nutzung des Stroms gegenüber dessen Umwandlung in Wärme vorziehen.

## 5.5.2 Netzeinspeisung

### 5.5.2.1 Technik

Kleinwindkraftanlagen können die erzeugte elektrische Energie in das öffentliche Stromnetz, oder in das hauseigene Stromnetz leiten. Ein wichtiger Unterschied liegt jedoch im Wechselrichter. Während für die reine Eigenversorgung durch eine Inselnetzanlage meist ein Gleichrichter ausreicht, ist für die Netzeinspeisung ein Sinus-Wechselrichter nötig. Dieser „...wandelt die drehzahlvariable, gleichgerichtete Spannung (DC) eines Windgenerators in netzkonforme Wechselspannung (AC) um“ (Öko-Energie, 2010). Der Netzwechselrichter kann dabei nicht selbstständig eine Netzspannung und eine Frequenz aufbauen, sondern muss erst diese am Netz messen und dann exakt nachbilden. Um das System vor zu hohen Eingangsspannungen zu schützen, wird der Wechselrichter mit einem Überspannungsschutz (vgl. Abb. 31) ausgestattet (Hallenga, 2004).

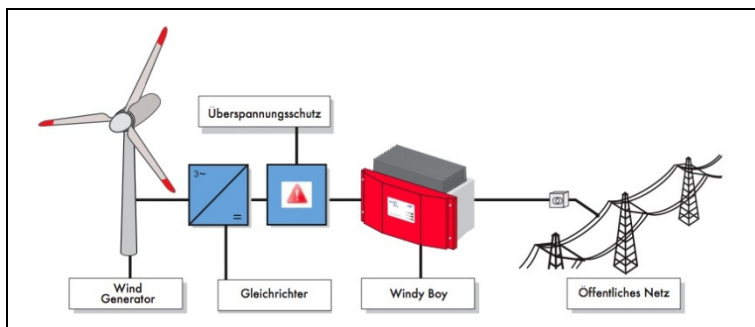


Abb. 30: Prinzip einer Windkraftanlage zur Netzeinspeisung  
(Quelle: SMA, 2009)

Je nach Windkraftanlagengenerator kommen unterschiedliche Größen von Wechselrichtern zum Einsatz. Abhängig ist der Wechselrichter von folgenden Anlageneigenschaften:

- maximale Windgeneratorleistung bei „moderaten“ Windverhältnissen bei 5 m/s
- zugehörige Ausgangsspannung bei „moderaten“ Windverhältnissen bei 5 m/s
- maximale Windgeneratorleistung bei "starken" Windverhältnissen bei 12 m/s
- zugehörige Ausgangsspannung bei "starken" Windverhältnissen bei 12 m/s
- Nennleistung der Windkraftanlage
- Maximalleistung der Windkraftanlage
- Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Jahresmittel
- Erwartete Volllaststunden der Anlage im Jahr

Wichtig ist, dass die Kleinwindkraftanlage und Wechselrichter genau aufeinander abgestimmt sind. Es ist darauf zu achten, dass der Wechselrichter mit im Angebotspaket des Windrades enthalten ist.

Auf dem derzeitigen Markt sind z.B. Wechselrichter der Firma Dorfmueller DMI ([www.dorfmueller-solaranlagen.de](http://www.dorfmueller-solaranlagen.de)) oder der Firma SMA Solar Technology AG ([www.sma.de](http://www.sma.de)) erhältlich (vgl. Abb. 32).

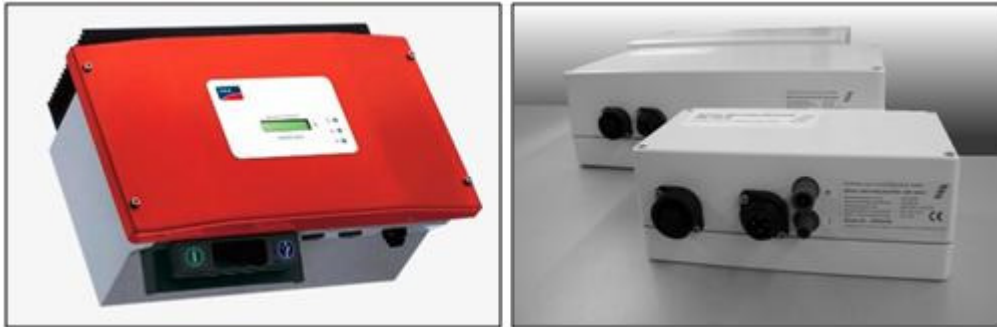


Abb. 31: Wechselrichter „Windy Boy“ der Firma SMA (links) und der Firma Dorfmueller DMI (rechts)

(Quelle: SMA 2010, DMI 2010)

### 5.5.2.2 Vergütung

Aufgrund des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) sind die zentralen Energieversorger verpflichtet Strom aus erneuerbaren Energiequellen abzunehmen. Allerdings muss dieser in seiner Qualität bestimmten Anforderungen genügen. Z. B. darf die Abweichung von der Netzfrequenz 50Hz max. 2Hz betragen. Die Anfangsvergütung (Zeitraum von 5 Jahren) für neue Windenergieanlagen an Land beträgt 9,2 ct/kWh. Dieser Wert wird für neu in Betrieb genommene Anlagen jedes Jahr um ein Prozent gesenkt (bisher zwei Prozent). Die Grundvergütung beträgt 5,02ct/kWh. Von der reinen Netzeinspeisung ist abzuraten. Die Strombezugskosten sind höher als die Vergütungssätze. Daher sollte zunächst der erzeugte Strom selbst genutzt werden. Die Einspeisung muss zudem grundsätzlich beim Energieversorgungsunternehmen (EVU) beantragt und von diesem genehmigt werden.

### 5.5.3 Netzparallelbetrieb zur Eigenversorgung

Der Begriff „Netzparallelbetrieb“ bedeutet, dass der erzeugte Strom zunächst vom Betreiber selbst genutzt wird, z. B. für Haushaltsgeräte, Pumpen, Licht, Kühlgeräte. Der Überschuss wird ins Netz eingespeist (vgl. Abb. 33), der zusätzliche Strombedarf eingekauft. Ein Speicher ist nicht nötig. Durch diese Anwendung wird der Strombezug reduziert. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist der Strombezugspreis des Betreibers mit den Stromgestehungskosten der Windkraftanlage zu vergleichen.

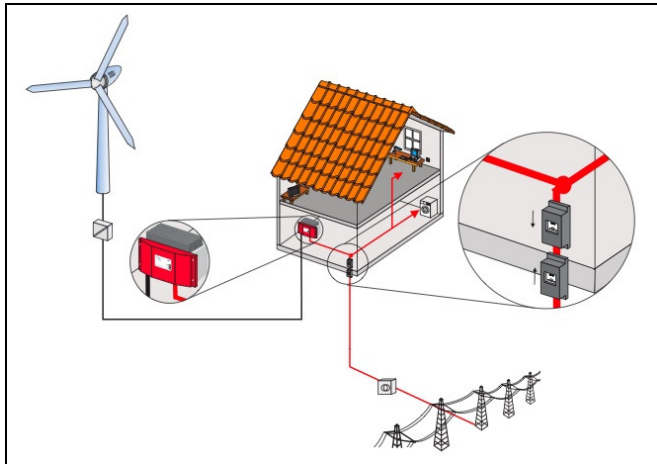


Abb. 32: Überschüssige Einspeisung in das öffentliche Stromnetz  
(Quelle: SMA, 2009)

Bei der Auslegung der Anlage gibt es die Möglichkeit, dies mit dem Ziel eines größtmöglichen Versorgungsgrades zu tun. In diesem Fall ist die Anlage entsprechend groß zu dimensionieren. Dabei wird in der Regel viel Überschuss produziert, der eingespeist werden muss. Die Vergütung dafür liegt allerdings deutlich unter der Kosteneinsparung bei der eigenen Nutzung des erzeugten Stroms. Wirtschaftlich optimiert ist die Anlage dann, wenn ihr Stromertrag möglichst vollständig vom Betreiber direkt genutzt wird. Im Vorfeld ist zu prüfen, ob die Kosten für die zusätzliche Zählergebühr die Erlöse für die Einspeisung des Überschussstroms überschreiten. Dann ist es sinnvoll, den Strom kostenlos einzuspeisen. Eine weitere Alternative könnte sein, den Überschuss zur Vorwärmung eines Warmwasser- oder Pufferspeichers zu nutzen (vgl. Abb. 34). Dazu ist als zusätzliche Investition allerdings eine Heizpatrone vonnöten. Diese Variante ist dann sinnvoll, wenn der Preis für den Bezug des Brennstoffs des Heizsystems über der Vergütung nach dem EEG liegt.

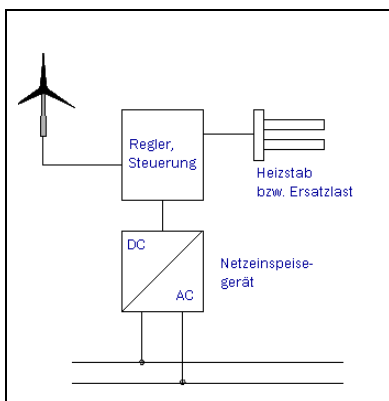


Abb. 33: Schema Heizwindmühle mit zeitweiser Netzeinspeisung  
(Quelle: eigene Darstellung)

#### 5.5.4 Inselnetzsysteme

Unter Inselnetzsystemen versteht man die unabhängige Versorgung elektrischer Anlagen mit Strom. Für die Stromerzeugung werden meist Photovoltaik- oder Windenergieanlagen verwendet. Inselnetzsysteme sind gerade für kleine Stromabnehmer bestens geeignet, da überschüssige elektrische Energie in kleinen Batterieladesystemen noch gut gespeichert werden kann (Quaschnig, 2008).

Inselnetzsysteme haben sich bereits seit Jahrzehnten hervorragend bewährt. In den dreißiger Jahren, als nur 10 Prozent der nordamerikanischen Farmen über Elektrizität verfügten, drehten sich, vorwiegend auf den großen Ebenen, buchstäblich Tausende von kleinen Windrädern. In jenen Tagen stellten diese Hauslichtanlagen für die Siedler die einzige Quelle der Elektrizitätsversorgung dar, bevor die ländliche Elektrifizierung Strom für alle brachte.



Abb. 34: links, Kleinanlagen bei Nomaden rechts, Fern – Telekommunikation (Quelle: WWEA, 2010)

Das ist noch nicht überall so. Im Nordwesten Chinas könnte die Zahl der von nomadisierenden Hirten verwendeten Kleinwindkraftanlagen leicht in die Hunderttausende gehen. Diese Kleinanlagen, (die so klein sind, dass sie mit dem Pferd von einem Lager zum anderen transportiert werden können), sind auf den großen Ebenen Asiens, die sich von China bis in die Sowjetunion erstrecken die einzig verfügbare Quelle der Stromerzeugung. Heute sind Dreiviertel aller gebauten Kleinwindkraftanlagen für den Inselbetrieb an entlegenen Orten bestimmt (vgl. Abb.35, links). Einige finden ihren Weg bis zu den Siedlern in Kanada und Alaska, fernab vom nächst gelegenen Dorf. Andere versorgen Telekommunikationsanlagen auf Berggipfeln (vgl. Abb. 35, rechts), wohin sich das Legen einer Stromversorgung kaum rechtfertigen lässt.

Bei der dezentralen Energieversorgung oder auch Inselbetrieb genannt, wird die von der Kleinwindanlage erzeugte elektrische Energie vollständig selbst genutzt. Sie ist von allen Konzepten aber am aufwendigsten zu realisieren. Dazu wird die überschüssige Energie gespeichert, entweder mit Akkumulatoren oder über umgewandelte Energie, z.B. Pump-



speichersystem oder über mit Elektrolyse erzeugtem Wasserstoff, der über Kraftwärmekopplung jederzeit in Strom oder Heizenergie ohne CO<sub>2</sub>- Ausstoß umgewandelt werden kann. Diese Speichersysteme bedeuten zusätzliche Verluste und Kosten.

Gerade der Betrieb von Inselnetzsystemen mit Windenergieanlagen ist im Vergleich zu photovoltaischen Systemen komplexer. Ist eine Batterie voll aufgeladen, so trennt der Laderegler eines Photovoltaiksystems die Photovoltaikmodule von der Batterie um ein Überladen – und somit eine Beschädigung der Batterie – zu verhindern.

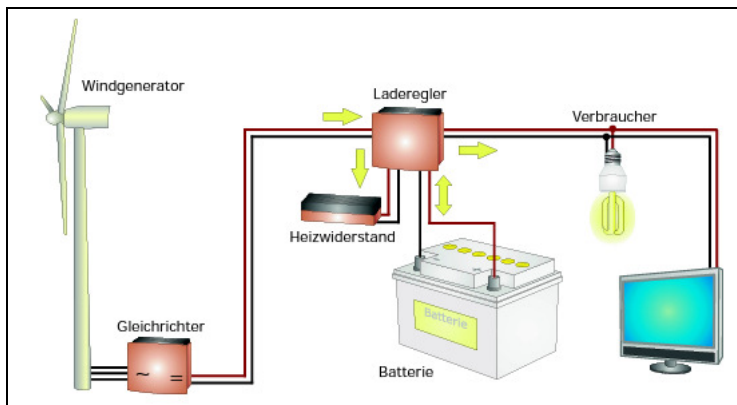


Abb. 35: Prinzip eines einfachen Wind-Inselsystems  
(Quelle: Quaschnig, 2008, S.194)

Bei Windgeneratoren, die nur von der Ladebatterie getrennt werden, stellen sich bei höheren Windgeschwindigkeiten hohe Drehzahlen ein. Der Generator kann dadurch beschädigt werden. Eine Möglichkeit zur Begrenzung der Drehzahl, ist die Schaltung eines Heizwiderstands bei vollgeladener Batterie (Quaschnig, 2008). Des Weiteren erzeugen Windräder, je nach Drehzahl, verschiedene Spannungen. Beim Ladevorgang benötigt der Akku jedoch eine stabile Mindestspannung, die durch einen speziellen Laderegler gegeben wird (vgl. Abb. 36). Der Laderegler sorgt dafür, dass die Akkulast nicht zu früh zugeschaltet und das Windrad bei niedrigen Drehzahlen abgebremst wird (Solar-Wind-Team, 2009).



Abb. 36: Kleinwindkraftanlage Flip 150  
(Quelle: Flip 150, 2010)

Für den Aufbau von Inselnetzanlagen für private Haushalte eignen sich besonders Kleinwindenergieräder die schon bei Schwachwinden Strom erzeugen. Als Beispiel soll im Folgenden ein Aufbau einer Kleinwindenergieanlage der Firma Solar-Wind-Team GmbH (Flip 150, 2010) aufgezeigt werden.

Das Windrad Flip 150 (vgl. Abb. 37) besteht aus drei Glasfaser-Rotorblättern mit einem Durchmesser von 1,1 m und ist stallgeregelt. Als Generator wird ein eisenloser Scheibengenerator verwendet. Das Generatorgehäuse der Anlage besteht aus Aluminium und Stahl und kommt insgesamt auf ein Gewicht von 11 kg. Größere Batteriesysteme können durch den eingebauten Gleichrichter direkt an das Inselnetzsystem angeschlossen werden. Kommen kleinere Akkumulatoren zum Einsatz, ist ein Laderegler zum Schutz vor einer Überladung einzubauen. Der Mast besteht aus einem Stahlrundrohr mit einem Durchmesser von ca. 35 mm und einer Höhe von 10 m. Er wird im Boden verankert und zur Stabilisierung mit Drahtseilen abgespannt. Aufgestellt wird das Windrad auf einer Freifläche, die mindestens 35 m von der umliegenden Gebäudegrenze entfernt ist. Die Startgeschwindigkeit beträgt 1,8 m/s (vgl. Abb. 38). Bei einer Windgeschwindigkeit von 12 m/s beträgt die Leistung ca. 100 Watt. Im Jahr kann laut Herstellerangabe durch das Windrad Flip 150 eine Energie von 100-300 Kilowattstunden erzeugt werden.

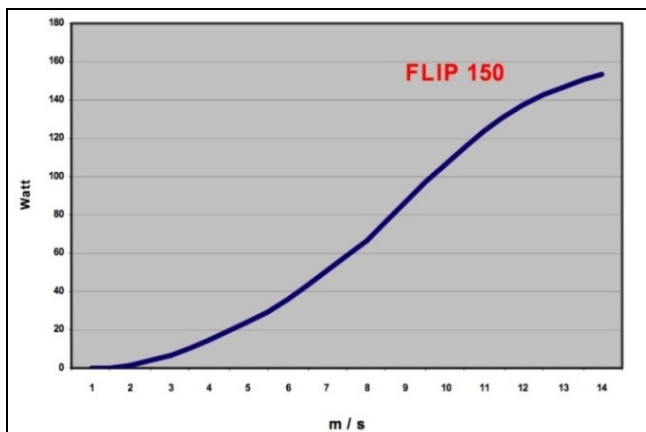


Abb. 37: Leistungskurve einer Inselnetzanlage am Beispiel Flip 150 (Quelle: Flip 150, 2010)

Der Aufwand des Inselnetzsystems lässt sich nur rechtfertigen, wenn es um die Versorgung abgelegener Gebiete geht, für die die Anbindung ans Stromnetz nicht oder nur schwer machbar ist oder wenn es sich um eine Versorgung von kleinen Stromabnehmern handelt. Sie finden zum Beispiel in Parkuhren und Verkehrsleitsystemen ihre Anwendung. Private Bürger nutzen das System zum Aufladen von Batterien in Booten, Kleingärten und Campingmobilen (Quaschnig, 2008).

Auf diesem Gebiet ist noch ein hoher Entwicklungsaufwand erforderlich, bis beim Kleinanwender kostengünstige Kompaktlösungen realisiert werden können. Inselösungen lassen sich auch sinnvoll als Kombination von Windenergieanlagen mit Dieselgeneratoren, Kraft-Wärmekopplungsmaschinen, Solaranlagen und auch Wärmepumpen realisieren.

### 5.5.4.1 Regenerative Tankstelle für Elektrofahrzeuge

Der Einsatz von Windenergieanlagen zum Betreiben von Tankstellen für Elektrofahrzeuge ist noch im Entwicklungsstadium. Ein erstes großes Konzept ist derzeit der Bau einer komplett CO<sub>2</sub> – neutralen Tankstelle für den Flughafen Berlin Brandenburg International (BBI), welche im Oktober 2011 in Betrieb gehen soll (vgl. Abb. 39). Durch einen eigens dafür geplanten Windpark wird diese mit Strom versorgt. Des Weiteren dient der erzeugte Strom zur Produktion von Wasserstoff, der dann direkt an der Tankstelle bezogen werden kann. Auch für Elektrofahrzeuge soll es möglich sein an dafür vorgesehenen Ladestationen zu tanken. Nach Vorstellung des Betreibers sollen pro Jahr 170.000 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.<sup>18</sup>

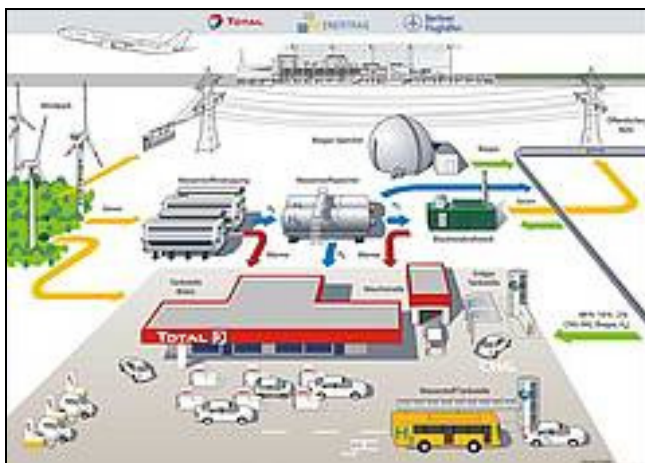


Abb. 38: Konzept der regenerativen Tankstelle  
(Quelle: GDN, 2010)

Kleinwindenergieanlagen finden momentan auf diesem Gebiet noch wenig Anwendung. Vorreiter ist die nordfriesische Firma EasyWind GmbH, welche als Produzent von KWEA nun auch Stromtankstellen anbietet. Die Kosten für die KWEA liegen inklusive Fundament und Genehmigungsplanung bei 22.500 €, für die Stromtankstelle lediglich bei 290 €. Die EasyWind GmbH hat zur Zeit vier Kunden, die eine KWEA mit Stromtankstelle im Garten stehen haben<sup>19</sup>.

---

18 GDN –Glocalist Daily News (2010) 1.CO2 – neutrale Tankstelle am Flughafen Berlin geplant. Verfügbar unter: <http://www.glocalist.com>

19 News.de (2010) Windkraft für E-Mobile: Tankstelle im Garten. Verfügbar unter: <http://www.news.de/auto/855049496/tankstelle-im-garten/1/?igpage=11>



Abb. 39: Ein Kunde der EasyWind GmbH lädt sein E-Dreirad an seiner Tankstelle auf (Quelle: News.de, 2010)

Gerade auf dem Gebiet „Kleinwindenergieanlagen zur Versorgung von regenerativen Tankstellen“ gibt es zurzeit nur wenige konkrete Umsetzungen, aber das Beispiel der Fa. EasyWind GmbH zeigt, dass es durchaus möglich ist. Grund für das langsame Fortschreiten sind zum einen die Kosten für eine großflächige Errichtung einer passenden Infrastruktur, zum anderen die geringe Entwicklung der Akkumulatoren (lange Ladezeiten, selbst bei E-Tankstellen mit herkömmlicher Energieversorgung). Trotzdem gibt es in Deutschland bereits eine Organisation, die sich die Errichtung einer Infrastruktur aus regenerativen Energien zum Ziel gesetzt hat. Die Genossenschaft „eE4mobile eG“ möchte zu diesem Zweck in Norddeutschland Stromtankstellen errichten, die durch Windkraft-, Solar- und Biogasanlagen betrieben werden. Diese sollen allerdings erst kleinere Fahrzeuge, wie Pedelecs (Elektro-Fahrräder) und Elektro – Roller versorgen<sup>20</sup>, die vorrangig im Tourismus und für kleinere Reichweiten im Individualverkehr eingesetzt werden.

---

20 eE4mobile eG (2010) eE4mobile: mobil mit Strom aus 100% erneuerbaren Energien. Verfügbar unter: <http://www.ee4mobile.de/>

#### 5.5.4.2 Versorgung von Straßenleuchten



Abb. 40: Beispiele von Straßenleuchten mit Wind- und Sonnenversorgung (Quelle: links, SLG, 2010; rechts, alibaba.com, 2010)

Es existieren Konzepte, die Windenergie, Photovoltaik und LED-Beleuchtung kombinieren. Hersteller sind zum Beispiel die Aceptor AG sowie die RSW Windenergy. Bei beiden Herstellern kommt dabei ein Darrieus-Rotor zum Einsatz, bei RSW zusätzlich ein Savonius-Rotor, damit bereits bei geringerer Windgeschwindigkeit Strom erzeugt wird. Die Kompaktanlagen enthalten LED-Leuchten, die sich durch einen geringen Strombedarf auszeichnen, sowie Batterien und eine Überwachungseinheit. Sie können je nach Anwendungsfall mit festem oder mobilem Mast geliefert werden. Anwendungsgebiete sind autarke Beleuchtungen von Geh-/Radwegen, Sport-, Park- und Campingplätzen, Bauernhöfen, Stadien, Baustellen, Tunnel, Gärten, Unterführungen, Bushaltestellen etc. Ein wichtiger Aspekt ist der Demonstrations- und Vorbildcharakter. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konkurrieren die Stromgestehungskosten je nach Betreiber mit Stromeinkaufspreisen (Gewerbebetrieb, Landwirtschaft) oder mit Stromgestehungskosten anderer Anlagen (z. B. Stadtwerke). Abb. 41 zeigt zwei Beispiele von Straßenleuchten mit kombinierter Wind- und Sonnenversorgung.

#### 5.5.4.3 Aufladen von Elektroäunen

Diese Art der Anwendung von KWEA findet sich recht selten. Gängiger ist derzeit die Nutzung von Photovoltaikmodulen zur Aufladung von Elektroäunen. Diese sind meist im Produktkatalog von Elektrozaunherstellern mit enthalten.



Abb. 41: Aufladen von Elektrozäunen  
(Quelle: WWEA, 2010)

#### 5.5.4.4 Aufladen von Segelbootbatterien

Abb. 43 zeigt den Einsatz von KWEA zur Verwendung auf Segelbooten. Da gerade auf dem Meer höhere Windgeschwindigkeiten als z.B. in einem Wohngebiet zu erwarten sind, eignen sich KWEA hervorragend zur Versorgung von Segelbootbatterien.



Abb. 42: Batterie Aufladung eines Segelboots  
(Quelle: WWEA, 2010)

#### 5.5.4.5 Pumpen von Wasser

Geschichtlich gesehen sind Windmaschinen zum Wasserpumpen benutzt worden, und das Pumpen von Wasser bleibt auch heute eine wichtige Anwendung der Windenergie, sowohl in der entwickelten als auch in der sich entwickelnden Welt. Die amerikanische Farmwindmühle, in einigen Teilen der Erde als Chicago Mühle bekannt, pumpt verlässlich niedrige Wassermengen aus dürftigen Brunnen (vgl. Abb. 44). Diese vielblättrigen Windpumpen sind heute noch auf den Great Plains in Nordamerika, der argentinischen Pampa, dem australischen Outback und Südafrikas Veldt weit verbreitet und werden zum Füllen von entlegenen Vorratstanks verwendet. Aufgrund ihres geringen Wirkungsgrades werden sie selten zur Stromgewinnung eingesetzt. Mehr als eine Million dieser Windpumpen befinden sich wahrscheinlich noch weltweit im Gebrauch.



Abb. 43: Windgetriebene Pumpen  
(Quelle: WWEA, 2010)

#### 5.5.4.6 Zusatznutzen Werbeträger

KWEA können als Werbeträger einen Zusatznutzen generieren (vgl. Abb. 45) Dafür sind insbesondere Vertikalrotoren (Savonius- oder H-Darrieus-Rotoren) geeignet, deren Rotoren üblicherweise eine große Oberfläche besitzen. Als Beispiel kann der Eagle Winder der Firma RSW Windenergy herangezogen werden. So können Einnahmen durch die Vermietung von Werbeflächen auf dem Windrad beziehungsweise Kosteneinsparungen für die Nutzung des Windrads zu eigenen Werbezwecken im Vergleich zur Anmietung von anderen Werbeflächen angerechnet werden.



Abb. 44: Kleinwindkraftanlage als Werbeträger  
(Quelle: RSW Windenergy, 2010)



## 6. Projektierung einer Kleinwindenergieanlage

In diesem Kapitel werden allgemein die Grundlagen von sowohl rechtlicher als auch wirtschaftlicher Natur betrachtet, die bei der Planung einer KWEA zu beachten sind.

### 6.1 Genehmigungsrechtliche Aspekte

Dieser Abschnitt behandelt sowohl die baurechtlichen, als auch die umweltschutzrechtlichen Aspekte.

#### 6.1.1 Baurechtliche Grundlagen

Eine Windenergieanlage jeglicher Größe und Typs stellt grundsätzlich gesehen eine bauliche Anlage nach §28 BauGB (Baugesetzbuch) dar und fällt daher unter das Baurecht. Die Ausgestaltung der baurechtlichen Aspekte wird durch die einzelnen Bundesländer geregelt und ist in den jeweiligen Landesbauordnungen (LBO) (vgl. Tab. 8) festgelegt. Diese Landesbauordnungen orientieren sich in der Struktur und den festgesetzten Regelung bis auf wenige Details an der Musterbauordnung (MBO), die durch Vertreter aller Bundesländer festgelegt wurde. Generell gesehen sind kleine Windkraftanlagen in den einzelnen LBO nicht gesondert geregelt. Bis zu einer Höhe von 10 m ist für diese in einigen Bundesländern keine Baugenehmigung notwendig, da KWEA zum Teil als Masten, Antennen bzw. ähnliche Anlagen gesehen werden. Lediglich das Land Baden-Württemberg hat in seiner Bauordnung eindeutig festgelegt, dass Windenergieanlagen bis 10 m Höhe keiner Baugenehmigung bedürfen.

Tab. 8: Verfahrensfreiheit von KWEA in den Landesbauordnungen  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Bundesland	Landesbauordnung	Stand der LBO	Paragraph
-	MBO	November 2002	§61 Abs. 1 Nr. 4 Satz a MBO
Baden-Württemberg	LBO (BW)	19. Oktober 2004	§50 Abs.1 LBO (BW)/ Anhang Satz 22 (Windenergieanlagen bis 10 m Höhe)
Bayern	BayBO	14. August 2007	Art. 57 Abs. 1 Nr. 4 Satz a BayBO
Berlin	BauO Bln	7. Juni 2007	§62 Abs. 1 Nr. 4 Satz a BauO Bln
Brandenburg	BbgBO	28. Juni 2006	§55 Abs. 4 Nr. 4 BbgBO
Bremen	BremLBO	8. April 2003	§65 Abs. 1 / Anhang Abs. 4 Nr. 4.2
Hamburg	HBauO	14. Dezember 2005	§60 Abs. 2 / Anlage 2 Abs. 2 Nr. 2.1
Hessen	HBO	28. Mai 2005	§55 HBO / Anlage 2 Abs. 5 Nr. 5.1
Mecklenburg-Vorpommern	LBauO M-V	18. April 2006	§61 Abs. 1 Nr. 4 Satz a LBauO M-V
Niedersachsen	NBauO	12. Juli 2007	§69 Abs. 1 / Anhang Abs. 4 Nr. 4.2
Nordrhein-Westfalen	BauO NRW	13. März 2007	§65 Nr. 18
Rheinland-Pfalz	LBauO	4. Juli 2007	§62 Abs. 1 Nr. 4 Satz b LBauO
Saarland	LBO (Saar)	22. Juli 2004	§61 Abs. 1 Nr. 4 Satz a LBO (Saar)
Sachsen	SächsBO	28. Mai 2004	§61 Abs. 1 Nr. 4 Satz a SächsBO
Sachsen-Anhalt	BauO LSA	20. Dezember 2005	§60 Abs. 1 Nr. 4 Satz f BauO LSA (Windkraftanlagen bis 10 m Nabenhöhe/ Außenbereich)
Schleswig-Holstein	LBO (SH)	20. Juli 2007	§69 Abs. 1 Nr. 33 LBO (SH)
Thüringen	ThürBO	5. Februar 2008	§63 Abs. 1 Nr. 4 Satz a ThürBO

Neben den genannten Paragraphen der LBO muss des Weiteren bei der Planung einer derartigen KWEA in einem Wohngebiet beachtet werden, dass keine Nachbarn sich durch die Auswirkungen, d.h. Schattenwurf<sup>21</sup> bzw. Lärmentwicklung der Anlagen (Quaschnig, 2008) gestört fühlen. Zudem ist meistens ein bautechnischer Nachweis über die Standsicherheit erbracht werden (vgl. Landtag Mecklenburg-Vorpommern, 2008), was vor allem bei Aufdachanlagen wegen der Statik notwendig ist. Schallschutzuntersuchungen können hinzukommen, je nachdem welche Nachweise das zuständige Bauamt verlangt.

Darüber hinaus spielen hier auch die Regelungen im BauGB eine Rolle, je nachdem wo sich das eigentliche Bauvorhaben befindet. Fällt dies in den Bereich eines Bebauungsplanes nach §30 BauGB, sind bauliche Vorhaben nur zulässig, wenn diese mit den Festsetzungen im Bebauungsplan übereinstimmen.

Ist für ein Gemeindegebiet kein Bebauungsplan aufgestellt worden, gilt hierfür §34 BauGB (Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile). Hierbei wird festgelegt, dass bauliche Vorhaben nur dann möglich sind, wenn diese sich

„...nach Art und Maß der baulichen Nutzung, der Bauweise und der Grundstücksfläche, die überbaut werden soll, in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt und die Erschließung gesichert ist. Die Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse müssen gewahrt bleiben; das Ortsbild darf nicht beeinträchtigt werden. (§34 BauGB)“

Dies bedeutet, dass eine KWEA sich in die vorhandene optische Struktur einpassen muss, sonst kann teilweise eine Genehmigung verweigert werden.

Im Falle der Bebauung außerhalb des Ortsgebiets greift §35 BauGB (Bauen im Außenbereich). Hier ist das Vorhaben möglich, sofern es der Nutzung der Windenergie dient (§35 Abs. 1 Satz5 BauGB), aber nur sofern keine öffentliche Belange entgegen stehen (§35 Abs. 1).

Aufgrund dieser Einzelheiten kann derzeit keine einheitliche Aussage darüber getroffen werden, welche Maßnahmen hinsichtlich einer Baugenehmigung zu ergreifen sind. Die folgende Auflistung der relevanten Gesetze und Verordnungen bezieht sich deshalb zur Vereinfachung nur auf das Land Rheinland-Pfalz.

### **6.1.1 Welche Gesetze/Verordnungen sind relevant?**

Folgende Gesetze, Verordnungen, Kommentare, Ministeriale Rundschreiben, OVG-Urteile werden bei der Beurteilung einer Zulässigkeit von Kleinwindanlagen von Bauaufsichtsbehörden als Grundlage herangezogen. Welche Gesetze/ Verordnungen im konkreten Fall anzuwenden sind, darauf wird in darauffolgenden Kapiteln eingegangen.

- Baugesetzbuch (BauGB) vom 23. September 2004
- Landesbauordnung Rheinland-Pfalz (LBauO) vom 24. November 1998
- Kommentar zur LBauO

---

21 BROEK, K.-U. (2010) *Kleinwindkraftanlagen im städtischen Bereich*. Verfügbar unter: <http://www.wind-energie.de>

- Baunutzungsverordnung BauNVO vom 26.06.1962
- Kommentar zur BauNVO
- Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Lärm) vom 26. August 1998
- Ministeriales Rundschreiben: Hinweise zur Beurteilung der Zulässigkeit von Windenergieanlagen, vom 30.01.2006
- OVG-Urteil von Sachsen-Anhalt vom 09.02.2006
- OVG-Urteil von Nordrhein-Westfalen vom 18.02.1983, Aktenzeichen 4C18.81 Bundesverwaltungsgericht
- OVG-Urteil von Nordrhein-Westfalen vom 12.07.1983, Aktenzeichen 7a1752/81
- OVG-Urteil von Nordrhein-Westfalen vom 15.11.1983, Aktenzeichen 7a1613/83
- BImSchG
- 4. BImSchV

In den folgenden Abschnitten sollen die wichtigsten Paragraphen von BauGB, LBauO und BauNVO dargestellt werden. Aus Gründen des Umfangs dieser Arbeit werden hier nur die relevanten Inhalte der LBauO Rheinland-Pfalz ausführlich dargestellt. Die Gesetzestexte aus BauGB und BauNVO sind im Internet unter [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de) verfügbar.

### **6.1.1.2 Welche Paragraphen des Baugesetzbuches müssen besonders beachtet werden?**

Folgende Paragraphen des BauGB sind zu berücksichtigen:

#### **§ 30 Zulässigkeit von Vorhaben im Geltungsbereich eines Bebauungsplans**

Dieser Paragraph besagt in erster Linie, dass ein Vorhaben zulässig ist, wenn dieses „den Festsetzungen über die Art und das Maß der baulichen Nutzung nicht widerspricht“. Werden diese Voraussetzungen nicht erfüllt, wird auf die Paragraphen 34 und 35 verwiesen.

#### **§ 31 Ausnahmen und Befreiungen**

Nach diesem Paragraphen können Ausnahmen zugelassen werden, die nicht den Festsetzungen des Bebauungsplans entsprechen, wenn einige Kriterien erfüllt sind und wenn „*die Abweichung auch unter Würdigung nachbarlicher Interessen mit den öffentlichen Belangen vereinbar ist*“.

#### **§ 34 Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile**

Das Vorhaben ist zulässig, wenn es sich nach „Art und Maß der baulichen Nutzung, der Bauweise und der Grundstücksfläche, die überbaut werden soll, in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt und die Erschließung gesichert ist.“ Die Anforderungen an gesunde

Wohn- und Arbeitsverhältnisse müssen gewahrt bleiben; das Ortsbild darf nicht beeinträchtigt werden“.

#### § 35 Bauen im Außenbereich

Windanlagen im Außenbereich sind grundsätzlich nach Absatz 1, Punkt 5 zugelassen, wenn diese „der Erforschung, Entwicklung oder Nutzung der Wind- oder Wasserenergie dienen“.

### **6.1.1.3 Welche Paragraphen der Landesbauordnung Rheinland-Pfalz müssen besonders beachtet werden?**

#### § 8 Abstandsflächen

*(6) Die Tiefe der Abstandsfläche beträgt 0,4 H, in Gewerbe- und Industriegebieten 0,25 H. In Kerngebieten sowie in Sondergebieten, die nicht der Erholung dienen, kann eine geringere Tiefe als 0,4 H zugelassen werden, wenn die Nutzung der Gebiete dies rechtfertigt. In allen Fällen muss die Tiefe der Abstandsfläche jedoch mindestens 3 m betragen.*

Mindestabstände, die sich aus der TA Lärm ergeben, sind hierbei noch nicht berücksichtigt.

#### § 61 Genehmigungsbedürftige Anlagen

*Die Errichtung, die Änderung, die Nutzungsänderung und der Abbruch baulicher Anlagen sowie anderer Anlagen und Einrichtungen im Sinne des § 1 Abs. 1 Satz 2 bedürfen der Genehmigung (Baugenehmigung), soweit in den §§ 62, 67 und 84 nichts anderes bestimmt ist.*

#### § 62 Genehmigungsfreie Anlagen

*1) Unbeschadet einer nach anderen Vorschriften erforderlichen Genehmigung bedürfen keiner Baugenehmigung das Errichten, Herstellen, Aufstellen, Anbringen oder Ändern von folgenden baulichen Anlagen, anderen Anlagen und Einrichtungen:*

#### 4. Masten, Antennen und ähnliche bauliche Anlagen

a) Blitzschutzanlagen,

b) Antennenanlagen, einschließlich der Masten bis zu 10 m Höhe und notwendiger Versorgungseinrichtungen, sowie damit verbundene Nutzungsänderungen baulicher Anlagen; ausgenommen sind Parabolantennen auf oder an Kulturdenkmälern sowie in der Umgebung von Kultur- und Naturdenkmälern,

c) Masten und Unterstützungen für Fernmeldeleitungen oder Leitungen zur Versorgung mit Elektrizität sowie sonstige Masten bis zu 10 m Höhe,

d) Unterstützungen von Seilbahnen, die der Lastenbeförderung dienen und nicht über öffentliche Verkehrsflächen führen,

e) *Signalhochbauten der Landesvermessung;*

## § 63 Bauantrag

*1) Der Antrag auf Erteilung der Baugenehmigung (Bauantrag) ist von der Bauherrin oder dem Bauherrn schriftlich bei der Gemeindeverwaltung einzureichen. Bei verbandsangehörigen Gemeinden tritt an die Stelle der Gemeindeverwaltung die Verbandsgemeindeverwaltung.*

*(2) Mit dem Bauantrag sind alle für die Beurteilung des Vorhabens und die Bearbeitung des Antrags erforderlichen Unterlagen (Bauunterlagen) einzureichen. Es kann zugelassen werden, dass einzelne Bauunterlagen nachgereicht werden.*

*(3) Der Bauantrag und die Bauunterlagen müssen von der Bauherrin oder dem Bauherrn sowie von den Entwurfsverfasserinnen und Entwurfsverfassern, die von sachverständigen Personen im Sinne des § 56 Abs. 2 und des § 65 Abs. 4 bearbeiteten Unterlagen und Bescheinigungen von diesen mit Tagesangabe unterschrieben sein.*

*(4) Die Gemeindeverwaltung leitet, soweit sie nicht selbst für die Entscheidung zuständig ist, den Bauantrag unverzüglich an die Bauaufsichtsbehörde weiter und nimmt umgehend zu dem Vorhaben Stellung.*

*(5) Hat die Bauherrin oder der Bauherr nicht das Eigentum oder das Erbbaurecht an dem Grundstück inne, so kann ein zur Ausführung des Vorhabens berechtigender Nachweis verlangt werden.*

*(6) Zur Beurteilung, wie sich das Vorhaben in die Umgebung einfügt, kann verlangt werden, dass es in geeigneter Weise, soweit erforderlich auf dem Grundstück, dargestellt wird.*

## § 70 Baugenehmigung

*(1) Die Baugenehmigung ist zu erteilen, wenn dem Vorhaben keine baurechtlichen oder sonstigen öffentlich-rechtlichen Vorschriften entgegenstehen. Sie wird unbeschadet privater Rechte Dritter erteilt und wirkt für und gegen die Rechtsnachfolgenden der Bauherrin oder des Bauherrn. Die Baugenehmigung bedarf der Schriftform (Bauschein); sie und ihre Nebenbestimmungen müssen nur insoweit begründet werden, als Einwendungen von Nachbarinnen und Nachbarn nicht entsprochen wird. Wird die Baugenehmigung mit Nebenbestimmungen erteilt, kann eine Sicherheitsleistung verlangt werden.*

*(2) Bauliche Anlagen, die nur für eine begrenzte Zeit errichtet werden sollen, können widerruflich oder befristet genehmigt werden. Die Baugenehmigung soll nur erteilt werden, wenn die Beseitigung bei Widerruf oder nach Fristablauf gesichert ist. Behelfsbauten, Werbeanlagen und Warenautomaten sowie bauliche Anlagen auf öffentlichen Verkehrs-, Versorgungs- und Grünflächen sowie auf Flächen, die als solche festgesetzt sind, dürfen nur widerruflich oder befristet genehmigt werden. Nach Widerruf oder nach Fristablauf sind die Anlagen ohne Entschädigung zu beseitigen; ein ordnungsgemäßer Zustand ist herzustellen.*

(3) Die Baugenehmigung ist der Bauherrin oder dem Bauherrn mit den mit dem Genehmigungsvermerk versehenen Unterlagen zuzustellen. Haben Nachbarinnen oder Nachbarn Einwendungen erhoben, denen nicht entsprochen wird, oder haben sie sich innerhalb der Frist nach § 68 Abs. 2 Satz 3 nicht geäußert, so ist ihnen eine Ausfertigung des Bauscheins mit Rechtsbehelfsbelehrung zuzustellen.

(4) Die Gemeindeverwaltung ist von der Entscheidung der Bauaufsichtsbehörde zu benachrichtigen. Wird die Baugenehmigung erteilt, so sind ihr eine Abschrift des Bauscheins sowie je eine Ausfertigung der mit dem Genehmigungsvermerk versehenen Bauunterlagen zu übersenden.

(5) Bei Anlagen und Räumen, die für gewerbliche Betriebe bestimmt sind, ist die Struktur- und Genehmigungsdirektion von der Entscheidung der Bauaufsichtsbehörde zu benachrichtigen. Absatz 4 Satz 2 gilt entsprechend.

(6) Die Genehmigung nach § 7 des Atomgesetzes schließt die Baugenehmigung ein.

Nach Rücksprache mit dem Finanzministerium in Mainz wird derzeit geprüft, ob KWEA auf Freiflächen bis zu einer Anlagenhöhe von 10 m und auf Dächern bis zu einer Anlagenhöhe von 2 m, als genehmigungsfrei eingestuft werden können. Da sehr viele KWEA auf dem Markt existieren und diese sich in unterschiedlicher Form auf die Umgebung auswirken, dauert dieser Prüfvorgang bislang noch an. Bisher gibt es in der LBauO RLP keine konkreten Angaben zur Genehmigungssituation von KWEA.

#### **6.1.1.4 Welche Paragraphen der Baunutzungsverordnung (BauNVO) müssen besonders beachtet werden?**

##### § 14 Nebenanlagen

Nach Abs. (1) sind *„untergeordnete Nebenanlagen und Einrichtungen zulässig, die dem Nutzungszweck der in dem Baugebiet gelegenen Grundstücke oder des Baugebiets selbst dienen und die seiner Eigenart nicht widersprechen“*. *„2Soweit nicht bereits in den Baugebieten nach dieser Verordnung Einrichtungen und Anlagen für die Tierhaltung zulässig sind, gehören zu den untergeordneten Nebenanlagen und Einrichtungen im Sinne des Satzes 1 auch solche für die Kleintierhaltung“*. *„3Im Bebauungsplan kann die Zulässigkeit der Nebenanlagen und Einrichtungen eingeschränkt oder ausgeschlossen werden“*.

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

##### § 15 Allgemeine Voraussetzungen für die Zulässigkeit baulicher und sonstiger Anlagen

Abs. (1) *„1Die in den §§ 2 bis 14 aufgeführten baulichen und sonstigen Anlagen sind im Einzelfall unzulässig, wenn sie nach Anzahl, Lage, Umfang oder Zweckbestimmung der Eigenart des Baugebiets widersprechen. 2Sie sind auch unzulässig, wenn von ihnen Belästigungen oder Störungen ausgehen können, die nach der Eigenart des Baugebiets im Bau-*

*gebiet selbst oder in dessen Umgebung unzumutbar sind, oder wenn sie solchen Belästigungen oder Störungen ausgesetzt werden“.*

*„(2) Die Anwendung des Absatzes 1 hat nach den städtebaulichen Zielen und Grundsätzen des § 1 Abs. 5 des Baugesetzbuchs zu erfolgen.“*

*„(3) Die Zulässigkeit der Anlagen in den Baugebieten ist nicht allein nach den verfahrensrechtlichen Einordnungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der auf seiner Grundlage erlassenen Verordnungen zu beurteilen.“*

## **6.1.2 Immissionsschutzrechtliche Grundlagen**

### **6.1.2.1 Die 4. Bundesimmissionsschutzverordnung und das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung**

Grundlegend gilt für alle Windenergieanlagen in der Bundesrepublik nach der 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (4. BlmschV), dass diese im Bezug auf den Immissionsschutz bis zu einer Gesamthöhe von 50 m verfahrensfrei sind (Nr. 1.6 Spalte 2, 4. BlmSchV). Darüber hinaus muss erst bei Anlagen über 50 m eine Prüfung nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) nach § 3 Abs. 1 Satz 1 UVPG erfolgen:

20 oder mehr Windkraftanlagen – Vorhaben ist UVP-pflichtig

bis weniger als 20 Windkraftanlagen – allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls (§3c Satz 1 UVPG)

3 bis weniger als 6 Windkraftanlagen – standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls (§3c Satz 2 UVPG)

### **6.1.2.2 TA Lärm**

Zur Beurteilung der Lärmbeeinträchtigungen sind die Richtwerte der TA Lärm heranzuziehen. Die Schallimmissionsprognose beruht auf Berechnungen auf Grundlage der VDI-Richtlinie 2714 „Schallausbreitung im Freien“.

Für Großanlagen hat das Landesamt für Umweltschutz- und Gewerbeaufsicht in Abhängigkeit von der Höhe der Schallemission – des Schalleistungspegels – einer Windenergieanlage und der Schutzwürdigkeit von Baugebieten Mindestabstände von Windenergieanlagen zu Baugebieten berechnet., bei deren Einhaltung schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche nicht zu erwarten sind.

Bei Kleinwindanlagen gibt das Geräuschgutachten eines unabhängigen Prüfers (wird meist vom Hersteller mitgeliefert) Auskunft über den Schalleistungspegel der Anlage. Über die Schallausbreitungsberechnung ermittelt die zuständige Behörde die Geräuschemissionen am Immissionsort. (Immissionsorte: siehe Ausschnitt aus TA Lärm, A1.3.)<sup>22</sup>

---

22 Telefonat mit Herrn Pfeiffer am 23.09.08, Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Koblenz

Tab. 9 gibt Aufschluss über die zulässigen Lärmpegel in den verschiedenen Baugebietskategorien.

Tab. 9: Zulässiger Lärmpegel in verschiedenen Baugebietskategorien  
(Quelle: TA Lärm)

Baugebiet (Bezeichnung Baunutzungsverordnung)	Zulässige Bebauung	Zulässiger Lärmpegel in db (A)	
		6-22 Uhr	22-6 Uhr
Kleinsiedlungsgebiet (WS)	Vorwiegend Kleinsiedlungen, landwirtschaftliche Nebenerwerbsstellen	55	40
Reines Wohngebiet (WR)	Wohngebäude; ausnahmsweise: Läden, nicht störende Handwerksbetriebe	50	34
Allgemeines Wohngebiet (WA)	Wohngebäude, Läden, Schank- und Speisewirtschaften, kirchliche, kulturelle, soziale und gesundheitliche Anlagen	55	40
Besonderes Wohngebiet (WB)	Wohngebäude, Läden, Schank- und Speisewirtschaften, kirchliche, kulturelle, soziale und gesundheitliche Anlagen, sonstige Gewerbebetriebe; ausnahmsweise: zentrale Einrichtungen der Verwaltung	Je nach Bebauung	
Dorfgebiet (MD)	Land- und forstwirtschaftliche Betriebe, Kleinsiedlungen, Verarbeitungsbetriebe, Einzelhandel, Wirtschaften, Handwerksbetriebe, nicht störende Gewerbebetriebe, kirchliche, kulturelle, soziale Einrichtungen, Gärtnereien, Tankstellen	60	45



Mischgebiet (MI)	Wohngebäude, Geschäfts- und Bürogebäude, Einzelhandel, Wirtschaften, nicht störendes Gewerbe, Verwaltung, Gärtnereien, Tankstellen	60	45
Kerngebiet (MK)	Geschäfts-, Büro-, Verwaltungsgebäude, Einzelhandel, Wirtschaften, Beherbergung, Vergnügungsstätten, nicht störendes Gewerbe, Kirche, Kultur, usw., Tankstellen, Wohnungen für Bereitschaft; ausnahmsweise: sonstige Wohnungen	60	45

Auszug aus TA Lärm, Anhang Ermittlung der Geräuschemissionen

#### A.1.3 Maßgeblicher Immissionsort

Die maßgeblichen Immissionsorte nach Nummer 2.3 liegen

- a) *bei bebauten Flächen 0,5 m außerhalb vor der Mitte des geöffneten Fensters des vom Geräusch am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes nach DIN 4109, Ausgabe November 1989;*
- b) *bei unbebauten Flächen oder bebauten Flächen, die keine Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen enthalten, an dem am stärksten betroffenen Rand der Fläche, wo nach dem Bau- und Planungsrecht Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen erstellt werden dürfen;*
- c) *bei mit der zu beurteilenden Anlage baulich verbundenen schutzbedürftigen Räumen, bei Körperschallübertragung sowie bei der Einwirkung tieffrequenter Geräusche in dem am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raum.*

Ergänzend gelten die Bestimmungen nach DIN 45645-1, Ausgabe Juli 1996, Abschnitt 6.1 zu Ersatzmessorten sowie zur Mikrofonaufstellung und Messdurchführung

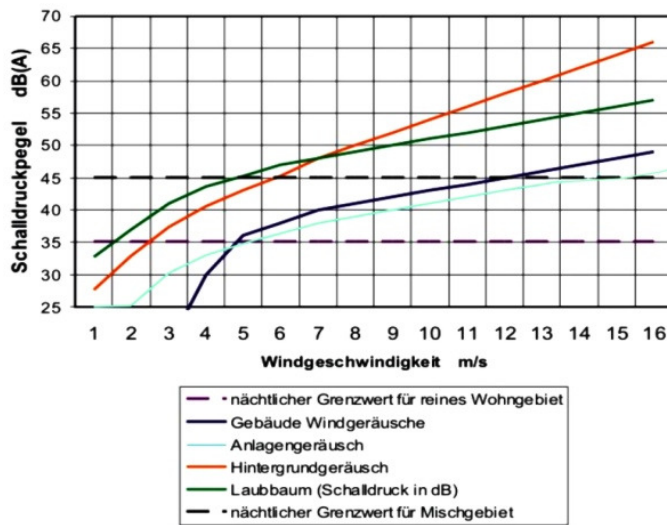


Abb. 45: Schallpegelmessung der ANTARIS Windturbine bei 12m Mastabstand (Quelle: Braun Windtechnik)

## 6.2 Recherche zur Genehmigungssituation in Rheinland Pfalz

Um einen Überblick über die Situation zur Genehmigung von KWEA zu bekommen wurden einige Institutionen befragt.

## 6.3 Genehmigungssituation an 3 fiktiven Standorten

### 6.3.1 Standort Mainz

#### 6.3.1.1 Anfrage für fiktive Errichtung einer KWEA (1-5 kW)

Fiktives Vorhaben: Es soll eine Kleinwindanlage in Mainz, Rheinallee, auf einem 30m hohen Industriegebäude errichtet werden. Folgende Fragen waren hierbei interessant:

1. Ist eine Baugenehmigung notwendig?
2. Unter welchen Bedingungen würde eine Baugenehmigung erteilt werden?
3. Wie viel kW Nennleistung darf die Anlage haben?
4. Wie hoch dürfte der Mast der Anlage sein?
5. Durchmesser der Rotorfläche?
6. Welche Abstandsflächen müssen eingehalten werden?
7. Reicht ein Schallgutachten eines unabhängigen Gutachters, das der Hersteller der Kleinwindanlage beifügt? Welche anderen Gutachten sind notwendig?
8. Welche Anforderungen würden an die Statik (Standicherheit) gestellt werden?

9. Welche sonstigen Bedingungen gibt es?
10. Gibt es einschränkende Bestimmungen (wie z.B. Drehzahlbegrenzung, Nachtabschaltung, Rückbau)

### 6.3.1.2 Aussage 1

Wenn die Gesamthöhe der Anlage (incl. Rotorblatt) nicht höher als 10 m ist, ist sie baurechtlich **nicht genehmigungsbedürftig**. Es wird weiterhin auf § 62 der LBauO: Genehmigungsfreie Anlagen, Punkt 4,c) verwiesen:

#### 4. Masten, Antennen und ähnliche bauliche Anlagen

*c) Masten und Unterstützungen für Fernmeldeleitungen oder Leitungen zur Versorgung mit Elektrizität sowie sonstige Masten bis zu 10 m Höhe,*

Kleinwindanlagen können demnach wie Mobilfunkantennen betrachtet werden und deshalb unter 10m Gesamthöhe genehmigungsfrei bleiben, auch wenn sie auf einem Gebäudedach (hier 30 m Höhe) angebracht wären.

*Zu 3) Ausschlaggebend ist die Gesamthöhe der Anlage, nicht die Nennleistung. Wenn die Höhe von 10 m überschritten ist, wird die Anlage baurechtlich genehmigungspflichtig.*

*Anmerkung: Ab 35 m Höhe ist eine Windenergieanlage raumbedeutsam (siehe Ministeriales Rundschreiben), ab 50 m Höhe ist sie genehmigungspflichtig nach BImSchG.*

Die Abstandsflächen, die nach § 8 LBauO eingehalten werden müssen, betragen im Gewerbe- oder Industriegebiet 0,25 H, siehe auch § 8 der LBauO.

#### **Notwendige Unterlagen für Genehmigung:**

- Die Statik muss nachgewiesen werden.
- Baupläne müssen eingereicht werden.
- Ein Schallgutachten eines unabhängigen Prüfers muss vorliegen (kann vom Hersteller mitgeliefert werden).
- Weitere einschränkende Bedingungen: Abschaltung bei Sturm
- Sonstige einschränkende Bedingungen wie Drehzahlbegrenzung, Nachtabschaltung, Rückbau würden nicht gemacht werden.
- Kosten und Wartezeit:
- Bis zur Genehmigung einer Kleinwindanlage muss man ca. 1/2 bis 3/4 Jahr kalkulieren.
- Kosten: abhängig vom Wert der Anlage. Bei einer Anlage für 4000,- Euro muss man mit Genehmigungskosten von 200-300 Euro rechnen.

### 6.3.2 Standort: Hoflage im Donnersbergkreis

#### 6.3.2.1 Anfrage für fiktive Errichtung einer KWEA (1-5 kW)

Fiktives Vorhaben: Es soll eine KWEA auf einem landwirtschaftlichen Betrieb, der sich baurechtlich im Außenbereich befindet, errichtet werden. Die erzeugte Energie soll zu mehr als 50% der eigenen Nutzung des landwirtschaftlichen Betriebes dienen.

Solch eine Anlage wurde im Donnersbergkreis bereits genehmigt, die Antworten beziehen sich demnach auf eine tatsächlich durchgeführte Genehmigung.

#### 6.3.2.2 Aussage 2

1. Wie viel kW Nennleistung hat die Anlage (wo wäre die Höchstgrenze bei einer weiteren Genehmigung)? (5 kW) (zu Höchstgrenze keine Angabe)
2. Wie hoch ist die Anlage? (Höchstgrenze) (13 m, Höchstgrenze 19 m)
3. Spielt das Volumen des Betonsockels eine Rolle? (Nein)
4. Durchmesser der Rotorfläche? (Höchstgrenze) (3 m) (zu Höchstgrenze keine Angabe)
5. Welche Abstandsflächen müssen eingehalten werden? (6,6 m)
6. Reicht ein Schallgutachten des Herstellers der Kleinwindanlage? Welche anderen Gutachten sind notwendig? (war in diesem Fall nicht erforderlich)
7. Welche Anforderungen wurden an die Statik (Standicherheit) gestellt? ( Prüfzeugnis)
8. Gibt es einschränkende Bestimmungen (wie z.B. Drehzahlbegrenzung, Nachtabstaltung, Rückbau) ( zeitlich begrenzt auf die Dauer von 2 Jahren, zwischenzeitlich unbegrenzt)

### 6.3.3 Standort Winzenheim, allgemeines Wohngebiet

#### 6.3.3.1 Anfrage für fiktive Errichtung einer KWEA (1-5 kW)

Fiktives Vorhaben: Es soll eine Kleinwindanlage in Winzenheim, auf einem privaten Grundstück z.B. Am Honigberg oder NeuhoF mit einer Grundstücksfläche von 1200 m<sup>2</sup> errichtet werden. Hierbei handelt es sich um ein allgemeines Wohngebiet.

#### 6.3.3.2 Aussage 3

Die befragte Institution hat bisher noch wenig Erfahrung mit Genehmigungen von Kleinwindanlagen. Derzeit stelle die Stadt Bad Kreuznach einen Bebauungsplan für Vorrangflächen von Windkraftanlagen auf. Zur Sicherung der Bauleitplanung wurde eine **Veränderungssperre** beschlossen. Die Genehmigungsbehörde macht keine Unterscheidung zwischen KWEA (untergeordnete Nebenanlagen) und Großwindanlagen. Untergeordnete Nebenanlagen fallen laut Ministerialem Rundschreiben nicht unter die Veränderungssperre.

Bisher wurde nur eine Sondergenehmigung für eine „Versuchsanlage“ an eine Firma erteilt, allerdings nur bis Ende des Jahres 2008.

Nach Aussagen dieser Firma handelte es sich hierbei um eine Antaris 2,5.

Tab. 10: Technische Daten der Versuchsanlage Antaris 2,5

(Quelle: Eigene Darstellung)

Modell	Antaris 2,5
max. Leistung	2,5 kW
Rotordurchmesser	3 m
Masthöhe	16 m

Nach einer ersten Ablehnung der Anlage, erhielt die Firma eine Sondergenehmigung für Forschungszwecke für die Dauer von 1 Jahr. Darüber hinaus wurden keine weiteren einschränkenden Bestimmungen zum Betreiben der Anlage auferlegt.

Da es sich in diesem Fall um die einzige Anlage im Raum Bad Kreuznach handelt, konnten seitens der Institution keine konkreten Zahlen genannt werden, welche Anlagen diese in einem Wohngebiet zulassen würde. Sie orientiert sich - wie andere Behörden auch - an Urteilen der OVGs und am Ministerialen Rundschreiben und kommt infolgedessen zu folgenden Aussagen:

Als untergeordnete Nebenanlage nach § 14 und 15 der BauNVO könnte eine Kleinwindanlage in einem Wohngebiet in Bad Kreuznach zugelassen werden. Voraussetzung ist, dass die Anlage dem Wohngebäude funktionell untergeordnet ist und nicht der Eigenart des Gebietes widerspricht.

Zu prüfen wäre die Einhaltung der TA Lärm durch Geräuschgutachten und aus nachbarschutzrechtlicher Sicht, ob die Nachbarn Einwendungen gegen die Errichtung einer Kleinwindanlage haben.

Liegt ein Bebauungsplan vor, gibt es eine konkrete Zuordnung einer Gebietskategorie nach BauNVO. Im Bebauungsplan können Nebenanlagen ausgeschlossen sein oder es werden beispielsweise zulässige Höhen der baulichen Anlagen festgelegt. Danach richtet sich dann auch die zulässige Höhe einer Windenergieanlage.

Im unbeplanten Innenbereich (also wenn kein Bebauungsplan vorliegt), hat der Vertreter der Bauaufsichtsbehörde mehr Ermessensspielraum, was sich nach Art und Maß in das betreffende Gebiet einfügt.

Ganz entscheidend ist die Größe des Grundstücks. Dies wird auch in OVG- und BVerwG-Urteilen deutlich. Die Obergerichte haben die Rechtsprechung des BVerwG (Urteil 18.02.1983) dahingehend konkretisiert, dass Grundstücke mit einer geringeren Größe als 1100m<sup>2</sup> i. a. für die Errichtung von Windkraftanlagen nicht geeignet sind.<sup>23</sup>

Bezüglich der Genehmigungsfreistellung nach § 62 LBauO kann dieser, aus Sicht der befragten Institution, auf Kleinwindanlagen nicht angewendet werden. Es gäbe aber Behörden, die den § 62 durchaus anders auslegen.

<sup>23</sup> Ogiermann, Schriftenreihe des Gemeinde-Städtebund Rheinland-Pfalz, Band 14

Man sollte also zuerst eine **Bauvoranfrage** stellen. Wenn die zuständige Stelle den Bescheid erteilt, dass das Errichten einer Kleinwindanlage < 10 m genehmigungsfrei ist, kann man mit dem Errichten unmittelbar beginnen.

Ansonsten ist eine **Baugenehmigung** einzuholen. Wenn alle notwendigen Unterlagen vorhanden sind, sollte die Genehmigung innerhalb 4-8 Wochen erteilt werden. Bei neuen Fällen kann dieses Verfahren aber durchaus länger dauern.

### 6.3.4 Fazit

Die Genehmigungssituation zur Errichtung von Kleinwindkraftanlagen ist nicht nur je nach Bundesland sondern auch regionalspezifisch sehr unterschiedlich. Es gibt von Bauaufsichtsamt zu Bauaufsichtsamt, also in den verschiedenen Städten und Kreisen, unterschiedliche Interpretationen der Landesbauordnungen und der sonstigen relevanten Gesetzestexte. So wird der Bau von Kleinwindanlagen bis zu 10 m von einem Amt als genehmigungsfrei erklärt, von einem anderen wird erläutert, dass jede noch so kleine Windanlage baugenehmigungspflichtig sei. Hilfestellung in Rheinland-Pfalz gibt das gemeinsame Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen, des Ministeriums des Innern und für Sport, des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau und des Ministeriums für Umwelt und Forsten vom 30. Januar 2006, welches im Folgenden erläutert wird.

## 6.4 Das Ministeriale Rundschreiben

Das gemeinsame Rundschreiben des Ministeriums der Finanzen, des Ministeriums des Innern und für Sport, des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau und des Ministeriums für Umwelt und Forsten (vom 30. Januar 2006) ist ein Instrument für die Bauaufsichtsbehörden um die Zulässigkeit von Windenergieanlagen zu beurteilen.

Es gibt Aufschluss über die wichtigsten Punkte, die bei einer Genehmigung von Interesse sind.

### 6.4.1 Genehmigungsverfahren

Nach Nummer 1.6 des Anhangs der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Juni 2005 (BGBl. I S. 1687) in Verbindung mit § 1 der 4. BImSchV sind Windkraftanlagen mit einer Gesamthöhe von mehr als 50 m immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig.

Da es sich um Anlagen handelt, die in Spalte 2 aufgeführt sind, ist grundsätzlich ein vereinfachtes Verfahren durchzuführen.

Nach § 13 BImSchG schließt die immissionsschutzrechtliche Genehmigung die Baugenehmigung ein. Gemäß § 10 Abs. 5 Satz 1 BImSchG muss die Genehmigungsbehörde die Stellungnahme der Bauaufsichtsbehörde zur bauplanungsrechtlichen und bauordnungsrechtlichen Zulässigkeit einholen.

Für Windkraftanlagen mit einer Höhe bis einschließlich 50 m ist ein Baugenehmigungsverfahren durchzuführen.<sup>24</sup>

## **6.4.2 Bauplanungsrechtliche Zulässigkeit**

Im Folgenden werden 3 Fälle unterschieden

- a) Zulässigkeit im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans
- b) Zulässigkeit im unbeplanten Innenbereich
- c) Zulässigkeit im Außenbereich

### **6.4.2.1 Zulässigkeit im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans**

Im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans sind Windenergieanlagen zulässig, wenn sie ausdrücklich festgesetzt sind (als Sondergebiet mit der Zweckbestimmung „Windfarm“ nach § 9 Abs. 1 Nr.1 BauGB oder als Versorgungsfläche nach § 9 Abs. 1 Nr. 12 BauGB).

Enthält ein Bebauungsplan keine dahingehenden Festsetzungen, sind Windenergieanlagen zulässig, wenn sie als untergeordnete Nebenanlage unter § 14 Abs.1 Satz 1 BauNVO fallen:

Die Windenergieanlage muss dem Nutzungszweck der Grundstücke zu einem überwiegenden Teil selbst dienen.

Die Windenergieanlage muss dem Gebäude räumlich gegenständlich untergeordnet sein. Hier gilt der Gesamteindruck, der durch die bauliche Höhe der Anlagen und deren Bauvolumen bestimmt wird. Die Windenergieanlage darf keine eigene optische Wirkung haben.

Die Windenergieanlage darf nicht der Eigenart des Baugebiets widersprechen. Sie muss sich im Rahmen dessen halten, was „üblich“ ist. So kann eine Windenergieanlage zulässig sein, die – in einem reinen Wohngebiet errichtet – Unterstützungsfunktion gegenüber der Wohnnutzung leistet.

Entsprechend § 15 Abs. 1 Satz 2 BauNVO können Windenergieanlagen der Eigenart eines Baugebiets auch widersprechen, wenn von ihnen Belästigungen oder Störungen ausgehen, die nach Art des Baugebiets unzumutbar sind oder wenn die Anlage selbst solchen Störungen, zum Beispiel durch Bewuchs oder Bebauung, ausgesetzt wäre.

Erhebliche Bedeutung hat hier die Baudichte: In dicht bebauten Gebieten mit kleinen Parzellen, einer hohen Grundflächenzahl und einer großen überbaubaren Grundstücksfläche, wie z.B. einer Reihenhaussiedlung, sind Windenergieanlagen regelmäßig unzulässig. Eine aufgelockerte Bebauung kommt der Zulässigkeit von Windenergieanlagen entgegen.

---

24 Ministeriales Rundschreiben, S. 27 Genehmigungsverfahren

#### **6.4.2.2 Zulässigkeit im unbeplanten Innenbereich**

Nach § 34 Abs. 1 BauGB ist zentrales Zulässigkeitskriterium für die Verwirklichung eines Windenergievorhabens im unbeplanten Innenbereich, dass es sich in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt. Betrachtet werden muss also der Bereich in der Nachbarschaft des Baugrundstücks.

Die Windenergieanlage muss sich im Hinblick auf Art und Maß der baulichen Nutzung, Bauweise und Grundstücksfläche, die überbaut werden soll, in dem Rahmen halten, anhand dessen die vorhandene Bebauung bewertet wird.

Die technische Neuartigkeit und dadurch deren optische Gewöhnungsbedürftigkeit schließen nicht per se aus, dass sich die Anlage in das Baugebiet einfügt. Entscheidend ist, dass durch das Vorhaben selbst sowie durch seine Vorbildwirkung keine Störung der Harmonie der Bebauung und keine bodenrechtlichen Spannungen bewirkt werden.

Lässt sich die Eigenart der näheren Umgebung in eine der Gebietskategorien der BauNVO einordnen, so ergibt sich die Zulässigkeit des Vorhabens seiner Art nach nur danach, ob es in dem betreffenden Gebiet nach der BauNVO zulässig ist. (§ 34 Abs. 2 Halbsatz 1 BauGB). Paragraph 15 BauNVO *Allgemeine Voraussetzungen für die Zulässigkeit baulicher und sonstiger Anlagen*. Insoweit gelten die Ausführungen zur Zulässigkeit im Geltungsbereich eines Bebauungsplans entsprechend. Ausnahmen und Befreiungen sind in entsprechender Anwendung des § 31 Abs. 1 und 2 BauGB grundsätzlich möglich. Für das Maß der Nutzung gilt weiter § 34 Abs. 1 BauGB.

#### **6.4.2.3 Zulässigkeit im Außenbereich**

Im Außenbereich sind Windenergieanlagen als unselbständige Nebenanlagen eines im Außenbereich privilegierten Betriebs (z.B. Landwirtschaftlicher Betrieb) oder gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB als selbständige Anlage privilegiert. Es besteht ein Rechtsanspruch auf Genehmigung, wenn die Erschließung gesichert ist und öffentliche Belange nicht entgegenstehen.

Voraussetzung für eine Privilegierung als unselbständige Nebenanlage ist, dass die Windenergieanlage dem privilegierten Betrieb der Hauptanlage unmittelbar zu- und untergeordnet ist und bei landwirtschaftlichen Betrieben nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnimmt.

Die räumliche Zuordnung erfordert, dass die Windenergieanlage sich in angemessener räumlicher Nähe zu dem mit Energie versorgten landwirtschaftlichen Betrieb befindet. Der überwiegende Teil der erzeugten Energie muss dem privilegierten Vorhaben zukommen.

Eine Windenergieanlage kann im Einzelfall als unselbständige Nebenanlage auch mehreren im Außenbereich zulässigerweise errichteten Betrieben dienen.

Der Errichtung einer Windenergieanlage im Außenbereich können öffentliche Belange entgegenstehen.

Für selbständige Anlagen gilt der Planvorbehalt als entgegenstehender Belang. Das bedeutet, dass wenn im Flächennutzungsplan einer Gemeinde Darstellungen von Flächen für Windenergieanlagen enthalten sind, können i.d.R. auf anderen Flächen keine selbständi-



gen Windkraftanlagen errichtet werden. (§ 35 Abs. 3 Satz 3 BauGB) Auf unselbständige Nebenanlagen eines im Außenbereich privilegierten Betriebs findet § 35 Abs. 3 Satz 3 BauGB keine Anwendung.<sup>25</sup>

Die Beeinträchtigung öffentlicher Belange im Sinne des § 35 Abs. 3 Satz 1 BauGB führt zur Unzulässigkeit eines sonstigen Vorhabens im Außenbereich. Die Belange des Natur- und Landschaftsschutzes stehen einem privilegierten Vorhaben i.d.R. entgegen.<sup>26</sup> Bei unselbständigen Nebenanlagen, die in Landschaftsteilen errichtet werden sollen, die förmlich unter Natur- oder Landschaftsschutz gestellt sind, muss im Einzelfall geprüft werden, ob die Beeinträchtigung öffentlicher Belange so schwerwiegend ist, dass sie dem privilegierten Vorhaben gemäß § 35 Abs. 1 BauGB entgegensteht.<sup>27</sup>

Allein die Beeinträchtigung des Orts- oder Landschaftsbildes außerhalb von Schutzgebieten begründet nicht die Unzulässigkeit eines privilegierten Vorhabens.

Die Frage, ob die Investition für die Stromerzeugung durch eine Windenergieanlage wirtschaftlich sinnvoll ist, ist nicht als öffentlicher Belang zu betrachten. Die Entscheidung über den wirtschaftlichen Nutzen liegt allein beim Eigentümer der Anlage.

Das Rücksichtnahmegebot besagt, dass zwischen den gegenläufigen Nutzungen eine Interessenabwägung vorzunehmen ist, die sich am Kriterium der Unzumutbarkeit ausrichten muss. Unzumutbarkeit im Sinne des BImSchG ist anzunehmen, wenn von der Anlage Emissionen ausgehen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder Nachbarschaft herbeizurufen.

Schattenwurf ist bei Kleinwindanlagen nicht zu erwarten, da die Umdrehungsgeschwindigkeit der Rotorblätter viel höher ist als bei Großanlagen und die Flügelgröße gering ist.

Für die Beurteilung notwendiger Abstände aufgrund von Lärmimmissionen wird auf Kapitel 6.1.2 verwiesen.

### **6.4.3 Abstände nach der Landesbauordnung (LBauO)**

Bauliche Anlagen, von denen Wirkungen wie von oberirdischen Gebäuden ausgehen, müssen gemäß § 8 Abs. 8 LBauO wie Gebäude Abstandsflächen nach den Absätzen 1 bis 7 einhalten. Dies gilt auch für Windenergieanlagen, denn von ihnen gehen Wirkungen wie von Gebäuden aus.

Nach § 8 Abs. 10 Satz 2 Halbsatz 1 LBauO kann bei Windenergieanlagen in nicht bebauten Gebieten eine geringere Tiefe der Abstandsfläche zugelassen werden; die Mindesttiefe der Abstandsfläche darf jedoch 0,25 H nicht unterschreiten. Eine Unterschreitung der Regelabstandsfläche von 0,4 H kommt z. B. dann in Betracht, wenn die angrenzenden Grundstücke ausschließlich landwirtschaftlich genutzt werden oder die Anlage in einem Gewerbe- oder Industriegebiet steht.

---

<sup>25</sup> Ministeriales Rundschreiben vom 30. Januar 2006, S. 14, Punkt 2.4.3.2

<sup>26</sup> Ministeriales Rundschreiben vom 30. Januar 2006, S. 14, Punkt 2.4.3.7

<sup>27</sup> Auskunft von Fr. Hans, Finanzministerium Mainz, 01.10.08

Die Abstandsfläche einer Windenergieanlage wird durch Projektion der bei der Drehung des Rotors um die eigene Achse des Mastes entstehenden Kugelform auf die Geländeoberfläche ermittelt. Um den von der Projektion der Kugel gebildeten Kreis legt sich radial die Abstandsfläche, deren Tiefe sich aus der Höhe  $H$  der Windenergieanlage – das ist die Nabenhöhe der Anlage zuzüglich des Rotorradius multipliziert mit dem Faktor 0,464 – errechnet.<sup>28</sup>

#### **6.4.4 Sicherheitssystem**

##### **Stand- und Betriebssicherheit**

Der Nachweis der Standsicherheit des Turms und der Gründung von Windenergieanlagen hat nach der Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin zu erfolgen.

Diese Richtlinie wurde vom Ministerium der Finanzen als oberste Bauaufsichtsbehörde durch Verwaltungsvorschrift nach § 3 Abs. 3 LBauO als technische Baubestimmung eingeführt (Nr. 2.7.12 der Liste der Technischen Baubestimmungen). Sie ist beim Deutschen Institut für Bautechnik, Kolonnenstraße 30, 10829 Berlin, als Heft 8 Reihe B seiner Schriften zu beziehen.

Windenergieanlagen müssen mit einem Sicherheitssystem versehen sein, das jederzeit einen sicheren Zustand der Anlage gewährleistet.

Das Sicherheitssystem muss in der Lage sein,

- die Drehzahl des Rotors innerhalb des zulässigen Drehzahlbereichs zu halten,
- bei Lastabwurf, Kurzschluss, Netzausfall oder bei Betriebsstörungen die Anlage in einem ungefährlichen Zustand zu halten und
- bei normalem Betrieb den Rotor in Ruhestellung (Parkstellung) zu bringen.

Hat die Windenergieanlage eine Nennleistung von mehr als 1 kW, so muss das Sicherheitssystem

- redundant ausgelegt und
- mit einem Erschütterungsfühler gekoppelt sein.

Es sind mindestens zwei voneinander unabhängige, ohne zeitliche Verzögerung automatisch einsetzende Bremssysteme erforderlich. Jedes Bremssystem muss in der Lage sein, den Rotor auf eine unkritische Drehzahl abzubremsen. Bei Windenergieanlagen bis zu 1 kW ist ein Bremssystem ausreichend.

Die Standsicherheit einer Windenergieanlage hängt wesentlich von der einwandfreien Funktion der maschinellen Ausrüstung, des Sicherheitssystems und der übertragungstechnischen Teile ab. Mit den Bauvorlagen ist der Nachweis zu erbringen, dass bei Betrieb und

---

28 Ministeriales Rundschreiben vom 30. Januar 2006, S. 18 Genehmigungsverfahren

Stillstand der Anlage alle Einflüsse aus der maschinellen Ausrüstung, dem Sicherheitssystem und den übertragungstechnischen Teilen berücksichtigt worden sind.

Die Prüfung von Standsicherheitsnachweisen darf nur von Stellen durchgeführt werden, die mit diesen Fragen vertraut sind. Dies sind die in Anlage 2 des Ministerialen Rundschreibens aufgeführten Prüfstellen und -ämter für Baustatik.

#### Sicherheitsüberprüfungen

Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von mehr als 1 kW sind regelmäßigen Prüfungen zu unterziehen.

1. Jede Windenergieanlage muss eine Vorrichtung zur Arretierung der beweglichen Teile haben, damit Überprüfungen, Wartungen und Instandsetzungsarbeiten gefahrlos durchgeführt werden können.

2. Regelmäßig zu prüfen sind

- die Sicherheitseinrichtungen und die übertragungstechnischen Teile auf Funktionstüchtigkeit bei Betrieb und Stillstand unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung in Zeitabständen von höchstens zwei Jahren,

- die Rotorblätter auf Steifigkeit, auf die Beschaffenheit der Oberfläche und auf Rissbildung in Zeitabständen von höchstens zwei Jahren.

3. Der Betreiber hat die Prüfungen auf seine Kosten durch den Hersteller oder einen fachkundigen Wartungsdienst durchführen zu lassen.

### **6.4.5 Gespräch mit dem Finanzministerium Mainz über das Ministeriale Rundschreiben**

Das Ministeriale Rundschreiben hat keine bindende Wirkung, sonst hätte stattdessen eine Verwaltungsvorschrift erlassen werden müssen, aber es hat durchaus gewisse Wirkung für die Bauaufsichtsämter. Ergangene Gerichtsurteile haben hingegen bindende Wirkung.

#### **Zum Abschnitt III, 2.2 Zulässigkeit im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans:**

Erfahrungswerte bzgl. Höhen, die in einem Baugebiet eingehalten werden müssen, gibt es noch nicht. Muss im Einzelfall entschieden werden.

**Ausschlusswirkung:** Es existieren Flächennutzungspläne. Außerhalb der ausgewiesenen Fläche: keine Errichtung von Windenergieanlagen. Dies gilt nur im Außenbereich und nur für selbständige Windenergieanlagen.

Auf unselbständige Nebenanlagen eines im Außenbereich privilegierten Betriebs findet die Ausschlusswirkung keine Anwendung.

Im Innenbereich gilt BauNVO, nach § 30 BauGB, Flächennutzungspläne gelten hier nicht, die Ausschlusswirkung ist durch Vorhandensein von Flächennutzungsplänen nicht möglich.

## 6.5 Wirtschaftliche Aspekte

Für den Kunden ist das entscheidende Kriterium für die Anschaffung einer KWEA deren Wirtschaftlichkeit. Die maßgeblichen Faktoren für solch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind:

- die Kosten, dazu gehören die Investitionskosten in [€], die Investitionsnebenkosten in [€] und die Betriebskosten inklusive Wartungskosten in [€/Jahr]
- der Erlös bzw. die Kosteneinsparung in [€/Jahr]
- Finanzierungsmodell
- Art der Nutzung

### 6.5.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten stellen fixe Größen dar. In den folgenden zwei Beispielen sind Kosten für eine 1 kW und eine 3,5 kW Anlage dargestellt:

#### Kostenbeispiel 1:<sup>29</sup>

1kW-Anlage (incl. Netzeinspeiser, Wechselrichter, Schaltschrank):	3.500 Euro
10 m Mast (Stahlrohr):	500 Euro

#### Kostenbeispiel 2:<sup>30</sup>

3,5 kW -Anlage (incl. Netzeinspeiser, Wechselrichter, Schaltschrank):	7.600 Euro
14 m Mast	1.000-4.000 Euro (je nach Ausführung)

Hieraus wird ersichtlich, dass die Kosten stark von Leistung und Masthöhe abhängig sind.

### 6.5.2 Wartungskosten

Die Wartungskosten sind äußerst gering. Da es wenig Erfahrungswerte von Kleinwindanlagen gibt, die schon sehr lange in Betrieb sind, kann man die Lebensdauer nur abschätzen. Man orientiert sich an den Großanlagen und schätzt die Lebensdauer von Rotor und Generator auf 20 Jahre, die von Netzeinspeisern auf 15 Jahre.<sup>31</sup>

---

29 Georg Hacker, Solar-Wind-Team

30 Braun Windtechnik

31 Georg Hacker, Solar-Wind-Team

### 6.5.3 Amortisationszeit

Die sogenannte Amortisationszeit ist die Zeit, in der die Anlage die Kosten für ihre Errichtung und ihren Betrieb zurückerwirtschaftet hat. Sie lässt sich formelmäßig wie folgt darstellen:

$$\text{Amortisationszeit [a]} = \frac{\text{Kosten [€]}}{\text{Erlös pro Jahr } \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right]}$$

Um eine möglichst geringe Amortisationszeit zu erhalten, müssen die Kosten möglichst gering und der Erlös pro Jahr möglichst hoch sein.

### 6.5.4 Einsparung durch KWEA (Erlös)

Die Höhe der Einsparung ist von der erzeugten Energiemenge und somit auch von der Windgeschwindigkeit und den Leistungsdaten abhängig. Um einen Einblick zu bekommen, ist im Folgenden eine stark vereinfachte Jahresproduktion an unterschiedlichen Standorten aufgeführt:

#### 1 kW-Windrad

Schwachwind-Standort:	500 – 750 kWh
Mittelwind-Standort:	500 - 1000 kWh
Starkwind-Standort:	800 - 1500 kWh <sup>32</sup>

#### 3,5 kW-Windrad

Schwachwind-Standort:	ca. 2.000 kWh
Mittelwind-Standort:	ca. 4.500 kWh
Starkwind-Standort:	ca. 7.000 kWh <sup>33</sup>

Zum Vergleich: Ein durchschnittlicher Vierpersonen-Haushalt hat einen Jahresbedarf an elektrischer Energie von ca. 3.500 kWh.

---

32 Georg Hacker, Solar-Wind-Team

33 Frau Braun, Braun-Windtechnik, Nauroth

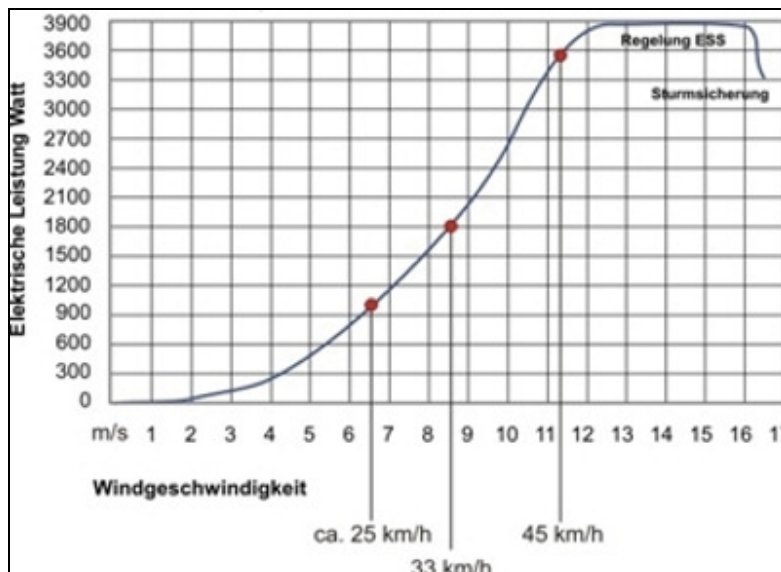


Abb. 46: Leistungskennlinie der ANTARIS 3,5 kW Windturbine  
(Quelle: Braun Windtechnik)

Abb. 47 zeigt die elektrische Leistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit am Beispiel einer 3,5 kW-Anlage. Die Abbildung macht deutlich, dass in einem Schwachwindgebiet sehr wenig Energie geerntet werden kann. Ausgehend von der Annahme, dass die erzeugte Energie selbst verbraucht wurde, kann folgende überschlägige Rechnung aufgestellt werden:

Derzeit durchschnittlicher Strompreis:	ca. 0,2 Euro / kWh
Durchschnittl. Jahresenergieertrag (Bsp. 1):	ca. 1000 kWh
Durchschnittl. Jahresenergieertrag (Bsp. 2):	ca. 4.500 kWh
Durchschnittlicher Energieverbrauch (elektr.) eines 4-Pers.Haushalts:	3.500 kWh
Energiekosten pro Jahr:	$3.500 \text{ kWh} * 0,2 \text{ € / kWh} = 700 \text{ €}$
Einsparung pro Jahr (1 kW-Anlage)*:	$1.000 \text{ kWh} * 0,2 \text{ € / kWh} = 200 \text{ €}$
Einsparung pro Jahr (3,5 kW-Anlage)*:	$4.500 \text{ kWh} * 0,2 \text{ € / kWh} = 900 \text{ €}$

Natürlich gibt es auch Alternativen zum Eigenverbrauch:

### Alternative 1: Speicherung in Akkumulatoren

Es besteht die Möglichkeit die erzeugte Energie in Akkumulatoren zu speichern. Wirtschaftlich sinnvoll, wenn das Gebäude nicht fernab einer öffentlichen Stromversorgung liegt, ist das Betreiben von Akkumulatoren allerdings nicht, da diese verhältnismäßig teuer sind. Aus diesem Grund wird darauf hier nicht weiter eingegangen.

### Alternative 2: Netzparallelbetrieb

Überschüssiger Strom kann in das öffentliche Netz eingespeist werden. Da das EEG für eingespeisten Strom ins Netz leider nicht die attraktive Vergütung wie für Strom aus Photovoltaik-Anlagen bietet, nämlich nur 9,2 Cent pro Kilowattstunde, ist diese Möglichkeit aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll.

### **6.5.5 Wann ist ein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb möglich?**

Selbst unter der Berücksichtigung, dass die Stromkosten weiter steigen werden, ist die Einsparung pro Jahr bei einer 1 kW-Anlage nicht sehr hoch. Die Amortisationszeit liegt bei ungefähr 20 Jahren. Wirtschaftlich sinnvoll werden die Kleinwindanlagen erst ab größeren Nennleistungen (5 kW)<sup>34</sup>, die jedoch in Wohngebieten i.d.R. zu groß und zu laut sein werden, um bei der Nachbarschaft die notwendige Akzeptanz zu finden. Sehr wohl kann es bei größeren Anlagen zur Versorgung eines Industrie-/ Gewerbebetriebes oder auf einem landwirtschaftlich genutzten Betrieb wirtschaftlich interessant werden. Denkbar wäre auch die Versorgung eines Niedrigenergiehauses an einem sehr guten Windstandort.

### **6.5.6 Windgeschwindigkeit als Wirtschaftlichkeitsfaktor**

Zu den wirtschaftlichen Faktoren gehören außer den Anlagenkosten auch die potentielle Ausbeute der Windenergie und damit die mögliche Einsparung von konventioneller Energie bzw. den dadurch entstandenen Gewinn.

Hierbei muss aber beachtet werden, dass der Aufstellungsort (und die damit mögliche Windgeschwindigkeit) einer KWEA maßgeblich die maximale Ausbeute der Windenergie bestimmt. Literatur-, Internetrecherche und Gespräche mit Fachleuten ergaben, dass die sinnvolle Stromproduktion erst ab 3 m/s anfängt, das entspricht der sog. „leichten Brise“, bei der der Wind im Gesicht fühlbar ist. Laut einer Studie des Energy Saving Trust (Energy Saving Trust, 2009) müssen für einen wirtschaftlichen Betrieb die Windgeschwindigkeiten im Jahr sogar durchschnittlich bei 5 m/s liegen.

Daher empfiehlt es sich die Thematik der Windgeschwindigkeiten näher zu betrachten, da diese den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage haben, als es die einmaligen Anlagenkosten haben können. Dies wird im folgenden Kapitel beschrieben.

---

34 Braun Windtechnik, Telefonat 19.09.08

## 6.6 Ermittlung der potentiellen Windenergie

Wie bereits in Kapitel 3.1 verdeutlicht, stellen die Windgeschwindigkeiten an einem Standort das entscheidende Kriterium für die Höhe der potentiell nutzbaren Windenergie dar. Bevor eine KWEA an einen bestimmten Standort aufgestellt werden kann, sollte daher vorab bekannt sein welche potentielle Windenergie vorhanden ist bzw. welche Windgeschwindigkeiten an diesem Ort vorherrschen. Die Feststellung dieser Daten kann durch zwei verschiedene Methoden erreicht werden: Einerseits kann das potentielle Angebot an Windenergie durch Modellrechnungen abgeschätzt werden, andererseits besteht die Möglichkeit der Messung der tatsächlichen Windgeschwindigkeiten, die letztlich die genaueren Ergebnisse liefern können. Nach Heier<sup>35</sup> werden Messungen jedoch nur bei der Projektierung von großen Windparks durchgeführt, da diese Vorhaben hohe Kosten verursachen und zugleich über einen längeren Zeitraum (meist ein Jahr) laufen müssen.

Grundlegend können Daten aus dem Europäischen Wind-Atlas (vgl. Abb. 48) errechnet werden:

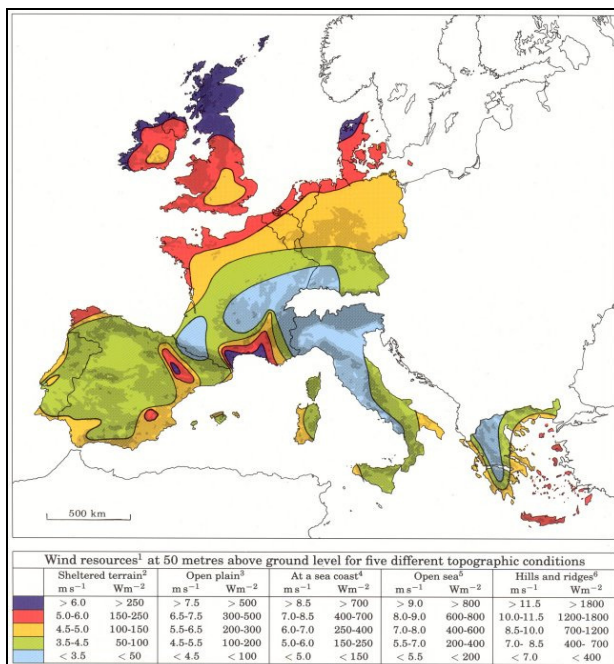


Abb. 47: Europäisches Wind-Potential in 50m Höhe (Risø National Laboratory, 1989)

Jedoch hat diese Art der Bestimmung auch Grenzen aufzuweisen, da zudem der Gelände- verlauf, die Oberflächenrauigkeit und lokale Hindernisse, die den Windverlauf beeinflussen können, die Windgeschwindigkeiten massiv verändern und die Daten für Gebiete festgelegt wurden, in denen kein komplexer Gelände- verlauf vorherrscht (Heier, 2005). Im Falle der Standortlokalisierung von KWEA, die vor allem bei kleineren Leistungen auch im innerstäd-

<sup>35</sup> HEIER, S. (2005) Windkraftanlagen: Systemauslegung, Netzintegration und Regelung. 4. Auflage. Wiesbaden: Teubner Verlag.



tischen Bereich aufgestellt werden sollen, ist eine Anwendung der Daten aus derartigen Tabellen daher fraglich.

Nach einer Studie des Energy Saving Trust (2010) für Großbritannien und Nordirland wurde unter anderem auch die Angaben von potentiellen Windgeschwindigkeiten der British Wind Energy Association (BWEA, 2010) mit den tatsächlichen Werten an bestehenden Orten verglichen. In der Studie wurde nachgewiesen, dass die theoretischen Werte den tatsächlichen Werten oftmals nur bei freistehenden Anlagen in ländlichen Gebieten nahe kamen. Im innerstädtischen Bereich waren die Theorie-Werte immer zu hoch und gaben eine ausreichende Windgeschwindigkeit vor, die letztlich in der Realität fast nie erreicht werden konnte und die Anlagen daher nicht wirtschaftlich liefen. Somit wird deutlich, dass die Kenntnis der überregionalen Windverhältnisse als Entscheidungsgrundlage für die Aufstellung von Windkraftanlagen nicht ausreicht, sondern dass auch die lokalen Verhältnisse sehr genau zu berücksichtigen sind. Windgeschwindigkeitsmessungen sind also für die Beurteilung eines Standorts unumgänglich. Bei vorausschauender Planung müssten vorab mindestens 1 Jahr lang Windmessungen durchgeführt werden, da die Windgeschwindigkeiten im jahreszeitlichen Verlauf sehr unterschiedlich sind. Über das Jahr gesehen sind die Winde am stärksten und häufigsten im November, die meisten Flauten im August und September. Sehr unregelmäßige Winde mit starken Böen sind für Windkraftanlagen nicht geeignet. Sie können auch zur Zerstörung der Rotoren führen.<sup>36</sup>

## **6.7 Windmessungen**

Für eine Abschätzung der Anwendbarkeit von KWEA wurden Windmessdaten von einigen Standorten analysiert.

Für die Untersuchungen konnte auf die Windmessungen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) bzw. des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) zurückgegriffen werden. Die einzelnen relevanten Standorte sind nachfolgend beschrieben und werden stationsweise ausgewertet.

### **6.7.1 Windmessdaten des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG)**

Die Messstation befindet sich in Wiesbaden-Süd, Am Hohen Stein (vgl. Abb. 49). Die Erfassung der Windgeschwindigkeit erfolgt in einer Höhe von acht Metern (Kettenbach, 2009). In einem Abstand von 10 Metern befinden sich mehrere, ca. 15 m hohe Bäume, die für die Messung der Windgeschwindigkeit Strömungshindernisse bilden.

---

<sup>36</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.



Abb. 48: Messstation Wiesbaden Süd  
(Quelle: HLOG, 2009b)

Die Windmessungs-Daten liegen in Form von Halbstundenwerten für das komplette Jahr 2008 sowie für das Jahr 2009 bis Ende August vor und sind in Form von Grafiken im Anhang<sup>37</sup> abgebildet. Die Werte der Tagesmittel finden sich in den Abb. 50 und 51 wieder. Der Jahresmittelwert für diesen Standort liegt bei 1,56 m/s im Jahre 2008 und bei 1,52 m/s im Jahr 2009.

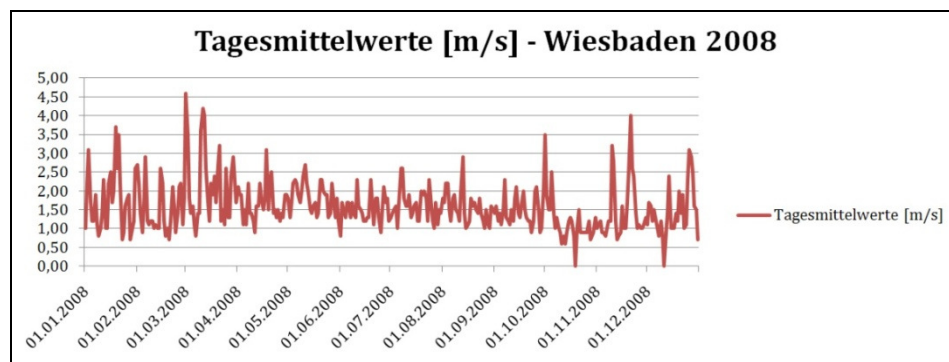


Abb. 49: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Wiesbaden 2008  
(Quelle: HLOG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

37 Siehe Kap. 10 :

A I : Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Wiesbaden 2008

A II: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Wiesbaden 2009

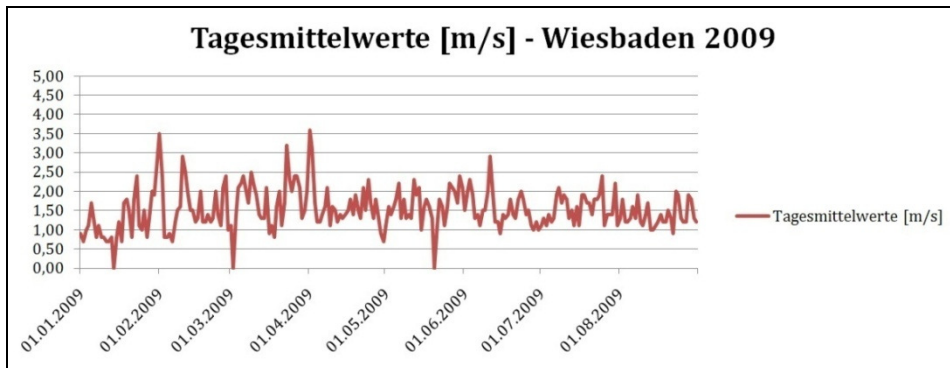


Abb. 50: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Wiesbaden 2009  
(Quelle: HLUG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

Die Messwerte zeigen, dass zumindest an diesem Standort das Potential einer KWEA nicht ausreichend ausgeschöpft wird. Die Anfangsgeschwindigkeit einer Windkraftanlage für den privaten Gebrauch liegt im Bereich von 3 m/s. Die Auswertungen der Halbstundenmittelwerte (siehe Anhang) zeigen jedoch, dass in Wiesbaden-Süd hauptsächlich geringere Windgeschwindigkeiten vorliegen. Die Nenngeschwindigkeit einer Kleinwindkraftanlage wird selten erreicht. Der Grund für die geringen Windgeschwindigkeiten könnte an den schlechten Standortbedingungen liegen. Die nahe liegenden Bäume verursachen möglicherweise Luftverwirbelungen, welche die Geschwindigkeit der Luft vor den Rotorblättern senkt. Abhilfe könnte hier die Verlängerung der Masthöhe auf mindestens 15 Metern sein.

### 6.7.2 Windmessdaten des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)

Die Daten des rheinland-pfälzischen Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) werden an verschiedenen Standorten aufgezeichnet (vgl. Abb. 52). Die erhaltenen Werte wurden in den Luftmessstationen in Bad Kreuznach, Mainz-Mombach und Worms entnommen. Die Messungen wurden alle in einer Höhe von 10 m aufgezeichnet (LUWG, 2010). Die Auswertung erfolgt wie bei den hessischen Daten in Form von Halbstundenwerten im Anhang<sup>38</sup>, sowie in der Ansicht der Tagesmittelwerte innerhalb des Textes.

<sup>38</sup> Siehe Kap. 10: A III bis A VIII



Abb. 51: Luftmessstationen des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz  
(Quelle: LUWG, 2009a)

Bad Kreuznach (Bosenheimerstraße) – Innenstadt, Wohngebiet, verkehrsnah:

Die Windgeschwindigkeiten der Bad Kreuznacher Luftmessstation liegen im Jahresmittel bei 2,14 m/s (im Jahr 2008)(vgl. Abb. 53) bzw. bei 2,10 m/s (im Jahr 2009)(vgl. Abb. 54). Relativ gesehen erscheint dieser Wert als gering, wenn man sich jedoch die Tages- bzw. Halbstundenganglinie betrachtet, wird deutlich dass es auch Windgeschwindigkeiten oberhalb von 6 m/s in diesem Gebiet gibt.

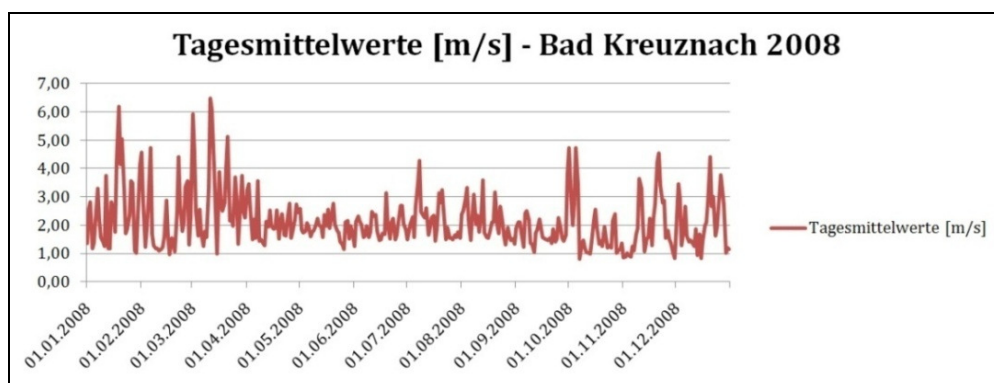


Abb. 52: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Bad Kreuznach 2008  
(Quelle: LUWG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

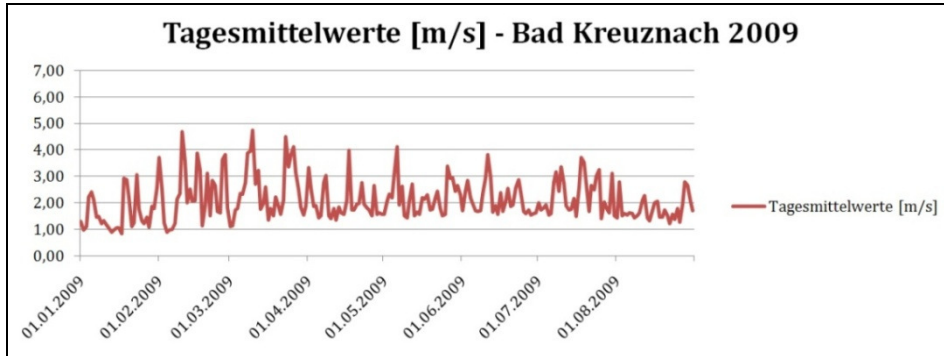


Abb. 53: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Bad Kreuznach 2009  
(Quelle: LUWG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

Für sehr kleine Windenergieanlagen sind diese Werte teilweise schon ausreichend, für eine Anlage von mehreren kW erscheinen diese jedoch als sehr gering für einen dauerhaften wirtschaftlichen Betrieb. Bei Erhöhung der Anlagenhöhe könnten die Windgeschwindigkeiten sich verbessern, jedoch bleibt es fraglich ob sich eine Installation in städtischem Gebiet aufgrund von Genehmigungen bzw. zu erwartenden Lärmemissionen durchführen lassen würde.

Mainz-Mombach – Stadtrand, Industriegebiet, Wohngebiet:

Die Windgeschwindigkeiten der Mainzer Luftmessstation liegen im Jahresmittel bei 1,67 m/s (im Jahr 2008) bzw. bei 1,65 m/s (im Jahr 2009).

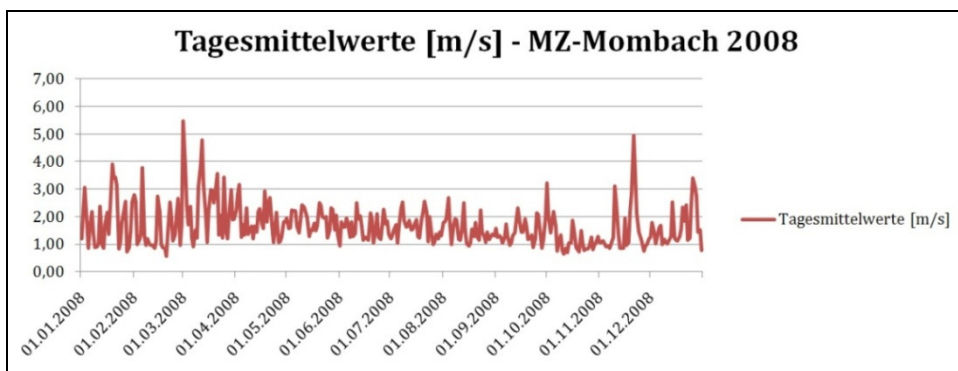


Abb. 54: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel MZ-Mombach 2008  
(Quelle: LUWG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

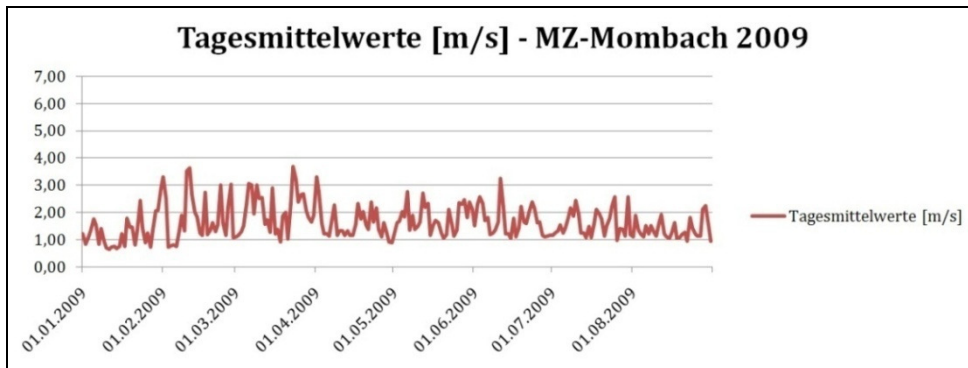


Abb. 55: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel MZ-Mombach 2009  
(Quelle: LUWG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

Anhand der Daten aus dem Jahre 2008 (vgl. Abb. 55) wird ersichtlich, dass die Tages- bzw. Halbstundenmittelwerte vorwiegend unterhalb der 3 m/s-Grenze liegen. Auch hier sind die Windgeschwindigkeiten als zu gering für einen wirtschaftlichen Betrieb einer KWEA für den häuslichen Gebrauch zu bewerten. Eine Verbesserung der Geschwindigkeiten dürfte bei zunehmender Höhe eintreten, jedoch taucht dadurch die Frage mit der Durchsetzbarkeit einer Baugenehmigung im innerstädtischen Bereich auf.

Worms (Hagenstraße) – Innenstadt, Wohngebiet, verkehrsnah:



Abb. 56: Messstation Worms  
(Quelle: Worms, 2006)

Die Windgeschwindigkeiten der Wormser Luftmessstation (vgl. Abb. 60) liegen im Jahresmittel bei 1,48 m/s (im Jahr 2008) bzw. bei 1,65 m/s (im Jahr 2009).

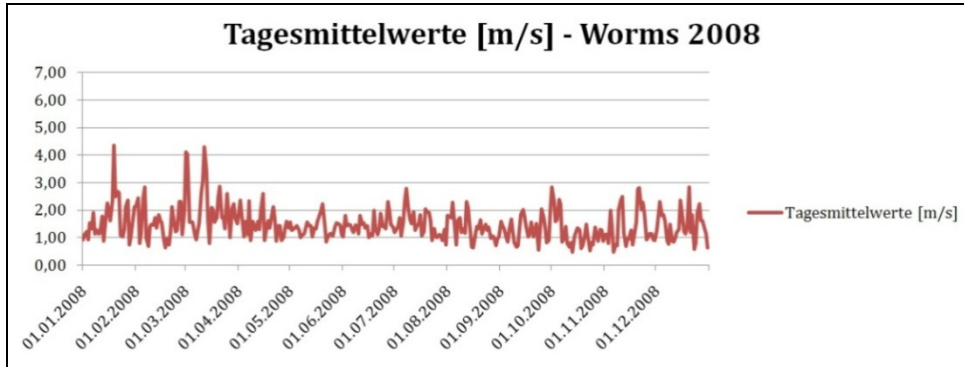


Abb. 57: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Worms 2008  
(Quelle: LUWG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

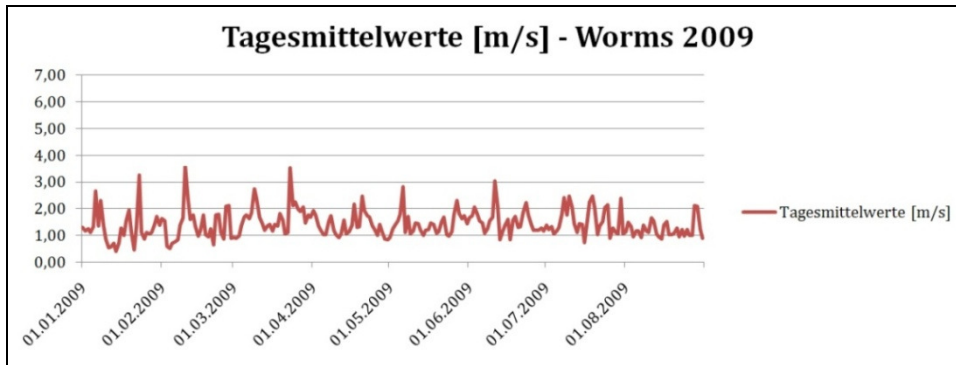


Abb. 58: Windgeschwindigkeits-Tagesmittel Worms 2009  
(Quelle: LUWG, 2009b, Darstellung: Schloss, Berg)

Die Daten der Wormser Luftmessstation zeigen im jährlichen Verlauf (vgl. Abb. 58 und 59) auch eine geringe Durchschnitts-Windgeschwindigkeit und daher geringe zu erwartende Energieerträge auf. Dies wird vor allem bedingt durch die Lage innerhalb der Stadt mit kompletter Bebauung und dem Wormser Dom in Reichweite der Messstation.

Um höhere Windgeschwindigkeiten zu erhalten, müsste auch hier ein höherer Mast in Betracht zu ziehen sein, jedoch erscheint der Aufwand bzw. die Machbarkeit im innerstädtischen Bereich als unverhältnismäßig.

### **6.7.3 Fazit aus den Windmessdaten**

Die oben aufgeführten Messdaten stammen vollständig aus innerstädtischen Gebieten aus Höhen zwischen 8 m und 10 m. Daher sind diese Messwerte für eine Machbarkeit der Installation einer KWEA in bebauten Gebieten als hilfreiche Bewertungsgrundlage zu sehen. Es wird deutlich, dass jede Station unterschiedliche Windmessungen erhält trotz einer ähnlichen Lage innerhalb der Städte. Daraus lässt sich schließen, dass für die Standortwahl einer KWEA eine Messung der Werte unerlässlich ist, sofern dieses Projekt wirtschaftlich rentabel sein soll. Die vorgefundenen Daten bestätigen jedoch das Bild, dass KWEA in noch genehmigungsfreien Höhen innerhalb von bebautem und bewohntem Gebiet als unrentabel angesehen werden können. Bei einer zukünftigen Auswertung von Windgeschwindigkeiten würde es wünschenswert sein, Daten von unbebauten Gebieten zu erhalten, da sich aller Voraussicht nach die Windverhältnisse dort besser darstellen.

## **6.8 Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von Standort und eingesetzter Technik**

Wie in Kap. 3.3 <sup>39</sup> bereits angesprochen, beeinflusst die Standortwahl entscheidend die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Mit Hilfe der Windmessdaten der Standorte Mz-Mombach, Mz-Universität, Wiesbaden und Riedstadt, sowie den Leistungskurven verschiedener Anlagen, war es möglich, Ertragsprognosen der KWEA zu berechnen. Die Windmessdaten lagen hierbei in Form von Excel – Tabellen vor, die Leistungskurven wurden den entsprechenden Anlagendatenblättern der Hersteller entnommen. Da die Leistungskurven in der Regel in Windkanälen ermittelt werden, sind diese daher für die praktische Anwendung unter realen Bedingungen kritisch zu betrachten.

### **6.8.1 Vorgehensweise**

Mit Hilfe eines auf MS-Excel basierenden Berechnungswerkzeugs wurden zunächst die Funktionen der Leistungskurven ermittelt, die zu den gemessenen Mittelwerten der Windgeschwindigkeit die entsprechende Leistung berechnen. Dabei wurde über das Auslesen mehrerer Punkte der Kurve jeweils ein gleichwertiges Polynom erzeugt. Multipliziert mit der Zeitspanne des Mittelwertes ergab sich eine Ertragsprognose der verschiedenen Techniken. Hierbei ist anzumerken, dass diese Messintervalle sich an jedem Standort unterschiedlich darstellten.

---

<sup>39</sup> Kap.3.3 Standortwahl



### 6.8.2 Standorte

Zur Aufstellung der Ertragsprognose wurden vier Standorte herangezogen (vgl. Tab. 11)

Tab. 11: Standorte der Windmessungen  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Standorte:	Höhe über Grund / NN [m]	Durchschnittsgeschwindigkeit [m/s]	Betreiber der Mess-einrichtung	Qualität der Daten
Mz-Uni	10 / 130	1,8	Universität Mainz- INSTITUT FÜR PHYSIK DER AT- MOSPHERE	10-Minuten- Mittelwerte; vollständig
Mz- Mombach	10 / 120	2,1	Landesamt für Um- welt, Wasserwirt- schaft und Gewer- beaufsicht RLP	Halbstunden- Mittelwerte; vollständig
Wiesbaden	10	2,8		Stunden- Mittelwerte; 33 Werte fehlen
Riedstadt	3,5 / 87	2,8	Hessisches Lan- desamt für Umwelt und Geologie	Stunden- Mittelwerte; vollständig

Aus Tab. 11 lässt sich sehr gut erkennen, wie die Windmessdaten voneinander abweichen. Zum einen durch die Messung in unterschiedlichen Höhen, zum anderen durch die unterschiedlichen Messintervalle.

### 6.8.3 Eingesetzte Technik

Um einen größeren Überblick über die Wirtschaftlichkeit von KWEA zu erhalten, wurden Ertragsprognosen von insgesamt 7 KWEA unterschiedlicher Technik und Größe erstellt. Die Anlagenleistung bewegt sich hier zwischen 0,5 bis 6 kW, die technische Ausführung reicht von horizontal drehenden Rotoren mit Luv- und Leeläufern, bis hin zu Vertikalläufern.

### 6.8.4 Kosten

In Tab. 12 sind Nennleistung, Laufrichtung, die Anzahl der Rotorblätter, Investitionskosten und Jahreskosten der betrachteten KWEA-Modelle dargestellt. Anzumerken ist hierbei, dass die angegebenen Werte zum Teil konkrete Angebote, zum Teil Internet-Richtpreise

darstellen. Der Leistungsumfang ist zudem unterschiedlich und nicht immer vollständig bekannt.

Tab. 12: Invest- und Jahreskosten einiger KWEA - Modelle  
(Quelle: Eigene Darstellung)

	Nennleistung [kW]	Laufrichtung	n-RB	Investkosten [€]	Jahreskosten [€/a]
Anlage 1	5	horizontal	3	14.000	1.500,58
Anlage 2	4,5	horizontal	3	13.930	1.493,08
Anlage 3	1,15	vertikal	3	4.700	503,77
Anlage 4	0,5	horizontal	5	4.350	466,25
Anlage 5	5	horizontal	4	20.000	2.143,69
Anlage 6	6	horizontal	4	21.000	2.250,88
Anlage 7	3,5	horizontal	4	7.990	856,40

Die Jahreskosten errechnen sich aus der Summe der Jahresinvestitionskosten und den jährlichen Betriebskosten. Mit dem Annuitätenfaktor, der sich aus dem Kapitalzins und der Laufzeit errechnet, können, mit Multiplikation der Investitionskosten, die Jahresinvestitionskosten bestimmt werden. In der Berechnung wurde hier ein Kapitalzins von 6%, sowie eine Laufzeit von 20 Jahren angenommen. Die jährlichen Betriebskosten wurden auf 2% der Investitionskosten festgelegt.

Der Faktor q errechnet sich wie folgt:

$$q = \frac{1 + \text{Kapitalzins [\%]}}{100}$$

Der Annuitätenfaktor bildet sich mit dem Faktor q zu:

$$\text{Annuitätenfaktor} = \frac{(q - 1) * q^E}{q^E - 1}$$

### 6.8.5 Ertragsprognosen einiger Techniken an unterschiedlichen Standorten

Tab. 13 zeigt die theoretisch erzeugten Erträge der Anlagen bei den zugrundegelegten Windmessdaten.

Tab. 13: Ertragsprognosen für einige KWEA an unterschiedlichen Standorten  
(Quelle: Eigene Darstellung)

	Ertrag pro Jahr [kWh]			
	Mz - Uni	Mz - Mombach	Wiesbaden	Riedstadt
Anlage 1	1.441	543	3.028	2.900
Anlage 2	1.161	368	2.409	2.314
Anlage 3	228	87	464	446
Anlage 4	42	4	74	72
Anlage 5	1.352	429	2.872	2.734
Anlage 6	1.368	228	2.821	2.691
Anlage 7	827	451	1.545	1.544

### 6.8.6 Amortisationszeit

Setzt man bei Eigenverbrauch des erzeugten Stromes einen normalen Strombezugspreis von 0,22 Ct/kWh voraus, dann kommt man zu folgenden Amortisationszeiten (vgl. Tab. 14):

Tab. 14: Amortisationszeit für einige KWEA an unterschiedlichen Standorten  
(Quelle: Eigene Darstellung)

	Amortisationszeit [Jahre]			
	Mz - Uni	Mz - Mombach	Wiesbaden	Riedstadt
Anlage 1	44	117	21	22
Anlage 2	55	172	26	27
Anlage 3	94	246	46	48
Anlage 4	471	4943	267	275
Anlage 5	67	212	32	33
Anlage 6	70	419	34	35
Anlage 7	44	81	24	24

Die Berechnung dieser Werte wurde zur Vereinfachung nur auf die Investitionskosten bezogen. Die laufenden Kosten über das Jahr, wie in Tab. 12 gezeigt sind hier nicht berücksichtigt. Selbst unter diesen sehr vereinfachten Annahmen erscheint eine Amortisation von KWEA in vielen Fällen als extrem unrealistisch.

### 6.8.7 CO<sub>2</sub>-Einsparung

Ein weiterer interessanter Punkt ist die erzielbare CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den Einsatz von KWEA. Für die Berechnung wurde ein CO<sub>2</sub>-Äquivalentwert nach GEMIS 4.5 (Globales Emissions Modell Integrierter Systeme, Version 4.5) von 0,633 kgCO<sub>2</sub> pro kWh Endenergie festgelegt.

Tab. 15: Mögliche CO<sub>2</sub>-Einsparung in kg pro Jahr  
(Quelle: Eigene Darstellung)

	CO <sub>2</sub> – Äquivalent [kg/kWhEnd]	Mz - Uni	Mz - Mombach	Wiesbaden	Riedstadt
Anlage 1	0,633	912	344	1917	1836
Anlage 2	0,633	735	244	1525	1465
Anlage 3	0,633	144	55	294	282
Anlage 4	0,633	27	2	47	46
Anlage 5	0,633	856	272	1818	1731
Anlage 6	0,633	866	145	1786	1703
Anlage 7	0,633	523	285	978	977

In Tab. 15 kann man erkennen, wie sich eine geeignete Standortwahl in Verbindung mit der richtigen Technik auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion auswirkt.

## 6.9 Versicherung

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Planung einer KWEA ist die Art der Versicherung im Schadensfall. Häufig sind Windanlagen schon in der Gebäudeversicherung mit abgedeckt. In anderen Fällen muss eine Zusatzversicherung abgeschlossen werden. In den folgenden Punkten sind Aussagen von Herstellern und Versicherungen aufgeführt.

### 6.9.1 Versicherung A

Auf Anfrage bezüglich der Situation einer 5 kW Anlage stellte sich heraus, dass die Anlagengröße entscheidend ist. In diesem Fall würde das Komplettpaket bestehend aus Betreiberhaftpflicht /Maschinenbruch/ Betriebsausfall und Umweltschadenhaftpflicht 428,40€ im Jahr kosten.

### 6.9.2 Versicherung B

Auszügen aus einer Gebäudeversicherung zufolge, sind bei Versicherung B Windräder mit inbegriffen.

Versicherte Sachen	
<b>Wohngebäudeschutz</b>	
☞ Höchstentschädigungsgrenze	gemäß Versicherungsschein
☞ Einfamilienhaus	●
☞ Einliegerwohnung bis 40% der Wohn-/Nutzfläche	●
☞ Nebengebäude auf dem Versicherungsgrundstück	●
☞ Garagen auf dem Versicherungsgrundstück	●
☞ Zubehör im Gebäude/außen am Gebäude angebracht	●
☞ weiteres Zubehör/sonstige Grundstücksbestandteile	●
☞ Sonnenkollektoren	●
☞ Windräder	●
☞ In das Gebäude eingefügte Sachen eines Mieters	○
☞ Bäume, Sträucher und sonstige Pflanzen	○
<b>Fakultativ: Neubauschutz</b>	
☞ Rohbauversicherung	●

Abb. 59: Auszug aus dem Versicherungsumfang einer Gebäudeversicherung

### 6.9.3 Versicherung C

Versicherung C macht auf ihrer Internetseite konkrete Angaben zur Versicherung von Windkraftanlagen.

Alle Highlights im Überblick	PlusDeckung Maximale Deckung in Euro
Verzicht auf Einrede grober Fahrlässigkeit	500.000 Euro
Mehrkosten infolge behördlicher Auflagen	500.000 Euro
Aufräumungs- und Abbruchkosten	500.000 Euro
Bewegungs- und Schutzkosten	500.000 Euro
Kosten für provisorische Maßnahmen	500.000 Euro
Dekontaminationskosten	500.000 Euro
Kran- und Gerüstkosten (für Glasschäden)	500.000 Euro
Feuerlöschkosten	500.000 Euro
Verkehrssicherungsmaßnahmen	500.000 Euro
Marderbiss an elektrischen Anlagen und Leitungen	500.000 Euro
Mutwillige Beschädigung	5.000 Euro
Mehrkosten infolge behördlicher Wiederherstellungsbeschränkungen für Restwerte	5.000 Euro
Graffiti-schäden	5.000 Euro ohne Selbstbeteiligung
Anlagen zur Erzeugung Erneuerbarer Energien (Sonnenenergie, Windkraft, Geothermie)	5.000 Euro

Abb. 60: Auszug aus einer Übersicht einer Gebäudeversicherung

In diesem Fall ist es möglich für Anlagen zur Erzeugung Erneuerbarer Energien eine Zusatzversicherung zur Gebäudeversicherung abzuschließen. Der maximale Deckungsbeitrag liegt hier bei 5.000 €.

#### **6.9.4 Versicherung D**

Nach Rücksprache mit Versicherung D ist eine Einbindung einer WKA bei Bedarf in der Gebäudeversicherung möglich. Allgemeine Vorgaben, wie z. B. Versicherungskosten in Abhängigkeit von der Anlagenleistung, - höhe, gibt es nicht. Nur im konkreten Fall und bei Bedarf wird ein Konzept erarbeitet, dass die Versicherung einer KWEA mit abdeckt. Dabei würde die Summe der Gebäudeversicherung betrachtet und der Wert der KWEA eingearbeitet werden. Um möglichen Fremdschaden abzusichern wäre der Abschluss einer Zusatzhaftpflichtversicherung nötig<sup>40</sup>.

---

40 Telefonat vom 21.04.2010

## 7. Fallbeispiele

### 7.1 Einfamilienhaus in Wohngebiet

#### 7.1.1 Objektbeschreibung

Das Gebäude ist ein freistehendes Einfamilienhaus im Kreis Bad Kreuznach, welches von vier Personen bewohnt wird. Im Gebäude befinden sich zwei Büroräume und ein Rechnerraum, wodurch eine erhöhte elektrische Grundlast vorhanden ist. Das Gebäude ist in einer Ortsrandlage in einem reinen Wohngebiet gebaut worden (siehe Abb. 62).



Abb. 61: Darstellung der Baulage  
(Quelle: Google Maps)

Um eine Kleinwindanlage auszuwählen wurde das elektrische Profil des Gebäudes über mehrere Tage gemessen. Hierfür wurde über zwei Wochen der Stromzähler (vgl. Abb. 63) mit einem an der TSB entwickelten Online-Messkoffer ausgestattet und ausgelesen. Es wurden Viertelstunden-Mittelwerte der elektrischen Leistung aufgezeichnet.



Abb. 62: Messaufbau zur Generierung von Messimpulsen am Stromzähler  
(Quelle: Simon, R.)

Es zeigte sich das übliche Lastprofil (vgl. Abb. 64) eines Verbrauchers mit der Mittagsspitze und zusätzlichen Lastspitzen, verursacht durch Waschmaschine, Wäschetrockner und Spülmaschine.

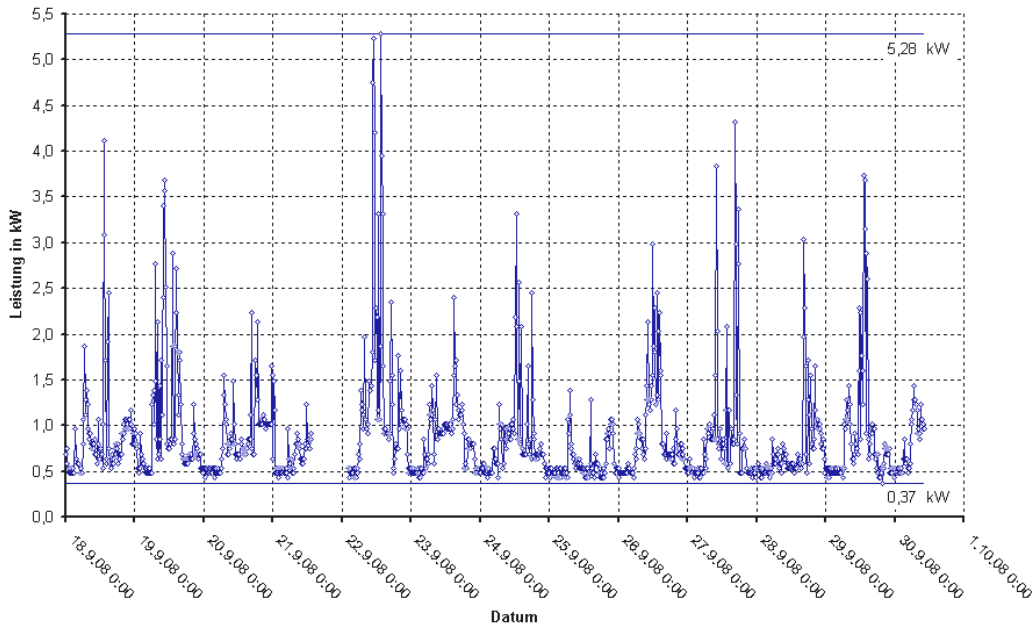


Abb. 63: Lastprofil des Einfamilienhauses  
(Quelle: Simon, R.)

In der geordneten Darstellung ergibt sich das folgende Bild (vgl. Abb. 65), welches veranschaulicht, dass eine Leistung von 0,5 kW im Messzeitraum nur an 3 % der Zeit unterschritten wird.

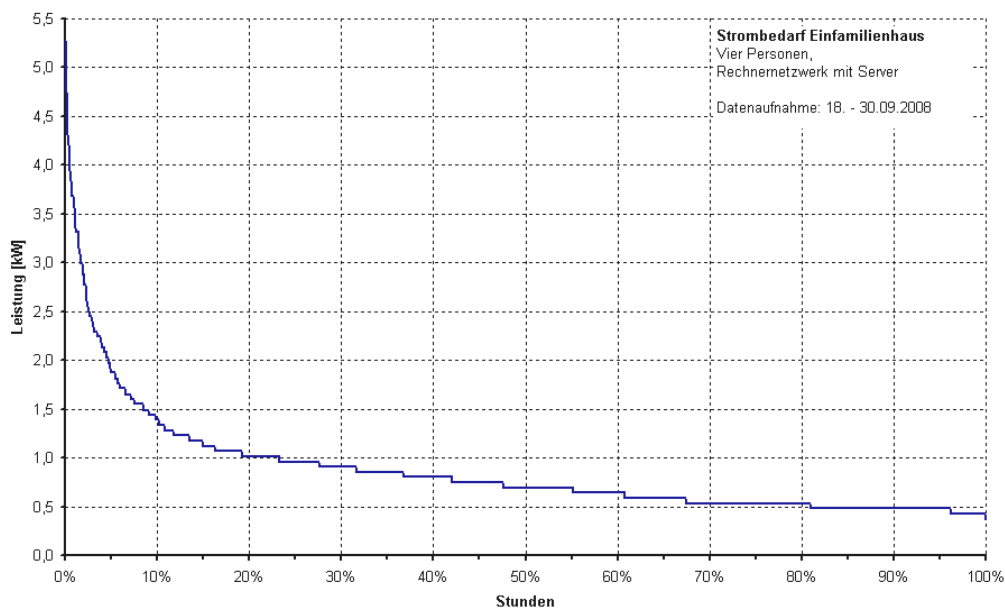




Abb. 64: Lastprofil des Einfamilienhauses in der geordneten Darstellung  
(Quelle: Simon, R.)

Für das ausgewählte Gebäude ist eine Kleinwindanlage unter 500 Watt sehr geeignet, da ihre Leistung im Gebäude verbleibt und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage mit den Strombezugskosten gerechnet werden kann.

Es wurde deshalb die Kleinwindanlage Enflo 0071 vom Hersteller WinTec Systems AG, Kreuzlingen, Schweiz ausgewählt. Bei dieser Anlage handelt es sich um eine ummantelte Windenergieanlage. Das Gehäuse ist hierbei nach dem aerodynamischen Prinzip eines Diffusors ausgelegt, wodurch der Hersteller höhere Windausbeuten verspricht. Gleichzeitig soll das Gehäuse geringere Geräuschemissionen ermöglichen.



Abb. 65: Darstellung der ausgewählten Anlage Enflo 0071  
(Quelle: WinTec Systems AG)



Abb. 66: Beispiel einer Dachmontage  
(Quelle: WinTec Systems AG)

### 7.1.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird mit dem Strombezugspreis gerechnet, da dieser höher ist als die Vergütung nach EEG. Die Messung des Lastprofils der Verbraucher im Gebäude hat gezeigt, dass eine Anlage unter 500 Watt eine vernachlässigbar geringe Wahrscheinlichkeit der Rückeinspeisung hat.

Für das gewählte Gebäude setzt sich der Arbeitspreis für das Jahr 2007, wie folgt zusammen (vgl. Tab. 16) :

Tab. 16: Bildung des Strombezugspreises  
(Quelle: Simon, R.)

Arbeitspreis	0,1473 €/kWh
Umsatzsteuer 19%	0,0280 €/kWh
Total	0,1753 €/kWh

In dem Gebäude wurde in 2007 eine elektrische Energie von 7.715 kWh verbraucht.

Die Wirtschaftlichkeit wird mit einem Preis von 0,1753 €/kWh gerechnet, da der Inhaber des Gebäudes keine Möglichkeit des Steuerabzuges hat.

#### 7.1.3.1 Investitionskosten

Es wurden zwei Angebote eingeholt, welche die folgenden Kosten ergaben (vgl. Tab 17):

Tab. 17: Darstellung zweier Angebote für Windkraftanlagen  
(Quelle: Simon, R., erhalten am 03.04.2010)

	Angebot 1	Angebot 2
Windturbine	3300,00	3.300,00 €
Befestigungsmaterial für Dach	325,00	325,00 €
Montage	426,50	529,00 €
Transportkosten	198,00	198,00 €
Zwischensumme	4.249,50 €	4.352,00 €
Umsatzsteuer (19 %)	807,41 €	826,88 €
Summe	5.056,91 €	5.178,88 €

### 7.1.3.2 Erträge

Die Erträge basieren auf den sich einstellenden Windgeschwindigkeiten. Mit Hilfe der Leistungskurve der Windturbine (vgl. Abb. 68) sind dann die erzielten elektrischen Arbeiten und die damit verbundenen Erlöse zu berechnen.

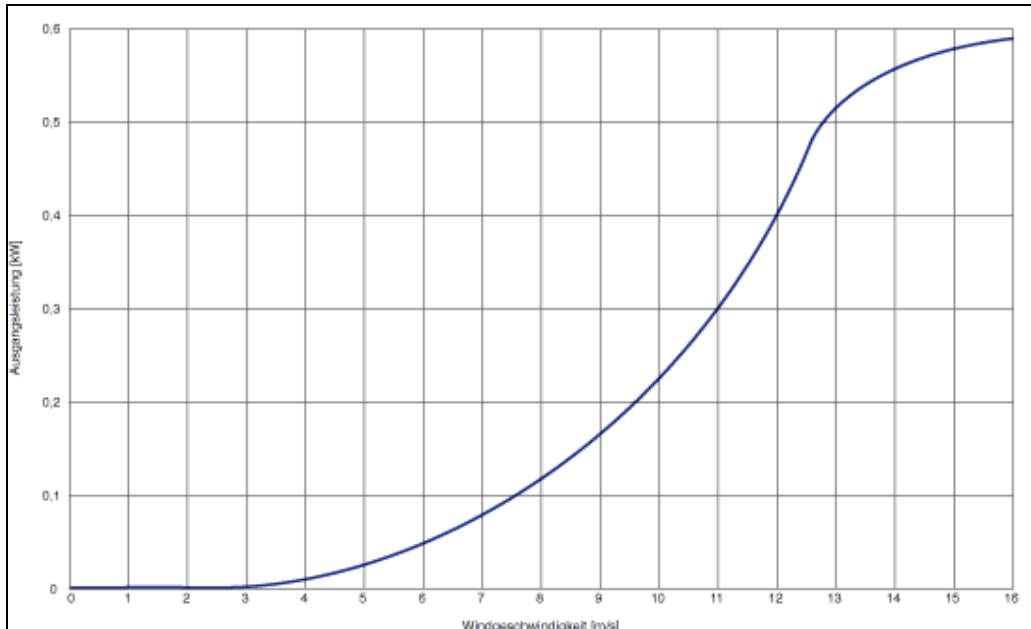


Abb. 67: Leistungskurve der ENFLO 0071  
(Quelle: WinTec Systems AG)

### 7.1.3.3 Ergebnis

Setzt man den gemessenen Jahresmittelwert 2008 der Bad – Kreuznacher Luftmessstation von 2,14 m/s voraus, so erkennt man mit Hilfe der Leistungskurve, dass die durchschnittliche Leistung der Anlage, über das Jahr betrachtet, sehr gering ist. Um genauere Erkenntnisse über den Nutzen der Anlage zu erlangen, sollten allerdings Messungen am Aufstellungsort durchgeführt werden.

### 7.1.4 Genehmigungsmöglichkeiten

Bei der Anfrage der Genehmigungsmöglichkeiten bei der Kreisverwaltung Bad Kreuznach wurde für die gewählte Anlage mit Dachmontage auf Grund des geringen Rotordurchmessers als einzige mögliche Einschränkung die Frage nach der Statik des Hauses und die Schallemission der Anlage gestellt. Sofern die Statik des Hauses nicht verändert werden muss und die Schallemission unter der zulässigen Grenze nach Bundesimmissionsschutzgesetz bleibt, liegen gegen den Betrieb der Anlage keine Einwände vor.

## 7.2 Gebäudekomplex im Bereich Schule, Verwaltung und Forschung

### 7.2.1 Objektbeschreibung

Im folgenden Beispiel handelt es sich um das umliegende Parkplatzgelände der Fachhochschule Bingen (vgl. Abb. 69, links). Dank einer Spende der Fa. City Solar, konnte dort eine Versuchsanlage errichtet werden (vgl. Abb. 69, rechts). Es handelt sich hierbei um eine Antaris – Windturbine der Firma Braun Windtechnik mit einer maximalen Leistung von 2,5 kW.



Abb. 68: links, Ansicht des FH - Geländes, rot markiert: Standort der Antaris - Windturbine  
rechts, Antaris Windturbine  
(Quelle: Google Maps, Eigene Darstellung)

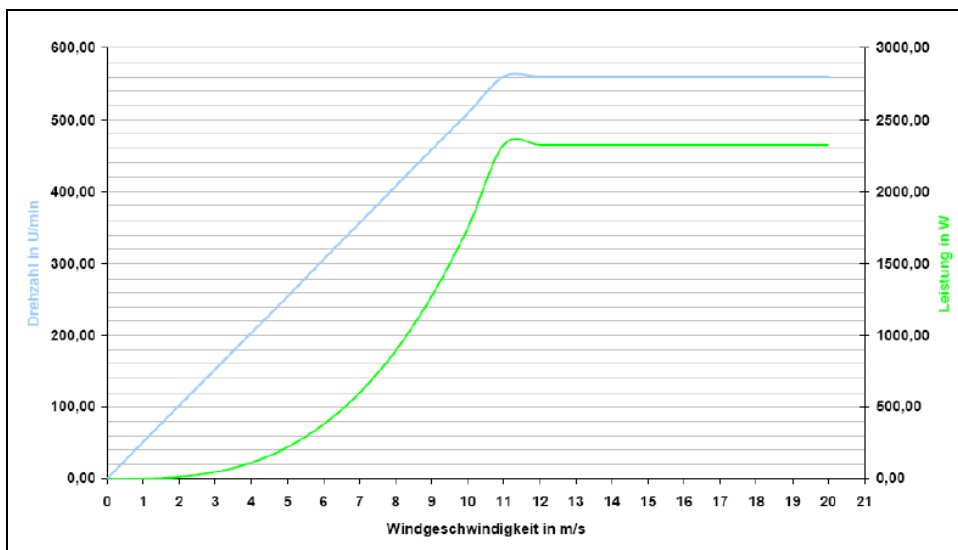


Abb. 69: Leistungs- und Drehzahlkennlinie der Windkraftanlage Antaris 2,5  
(Quelle: Braun Windtechnik)

Da es sich im vorliegenden Fall um eine Spende der Fa. City Solar handelt, wird hier keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

## 7.3 Gebäudekomplex im Bereich Industrie

### 7.3.1 Objektbeschreibung

Das letzte Fallbeispiel soll den Einsatz von KWEA in der Industrie zeigen. Bei einem Unternehmen in Mainz werden zurzeit auf dem Gebäudedach der neuen Hauptverwaltung 16 KWEA der Fa. BlueTerra errichtet (vgl. Abb. 71). Diese hat sich auf KWEA mit Werbeflächenfunktion spezialisiert.



Abb. 70: KWEA WEM 3 der Fa. BlueTerra  
(Quelle: Eigene Darstellung)

### 7.3.2 Technik

Der Hersteller beschreibt seine Anlagen als eine hybride Lösung aus Darrieus - und Savonius - Prinzip. Der Aufbau entspricht grundsätzlich einem H – Darrieus – Rotor, bei dem statt geraden, gebogene Rotorblätter eingesetzt werden. Die Vorteile dieser Windrotoren sind:

- Unabhängigkeit von der Windrichtung
- Energieerzeugung auch bei extremen Sturmböen möglich
- niedrige Anlaufgeschwindigkeit (2-3 m/s)
- sehr geringe Schallemissionen
- durch einfache Konstruktion sehr wartungsarm

Der Generator ist mittig zwischen den beiden Rotorblättern angeordnet und verkleidet. Die technischen Daten lauten wie folgt:

Leistung von Generator	3000 Watt
Einschaltgeschwindigkeit	2 m/s
Abschaltgeschwindigkeit	keine
Rotor	Kunststoff/Metall
Magnetwerkstoff	Neodym
Generator	permanent, 32 polig

Spannung über Wechselrichter	230 V
Batterieladespannung	48 V
Rotorgewicht	430 kg
Nennleistung bei 10 m/s	1000 Watt
Nennleistung bei 14 m/s	3000 Watt
Rotordurchmesser	3,3 m
Rotorhöhe	2,5 m
überstrichene Fläche	7,26 m <sup>2</sup>

Abb. 71: technische Daten der KWEA BlueTerra WEM 3  
(Quelle: Eigene Darstellung)

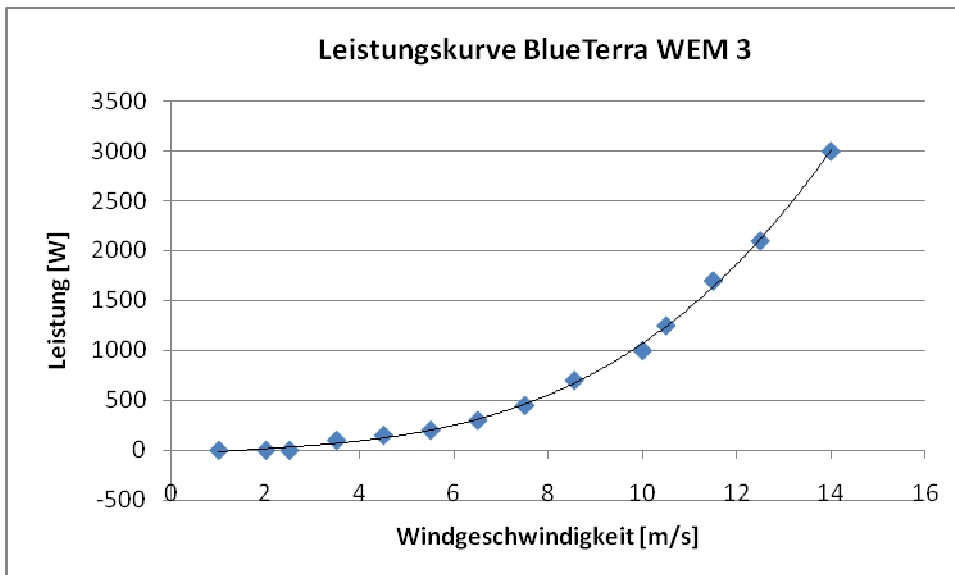


Abb. 72: Leistungskurve der KWEA BlueTerra WEM 3  
(Quelle: Eigene Darstellung)

### 7.3.3 Anwendung im Unternehmen

Auf dem Gebäudedach der neu errichteten Hauptverwaltung befinden sich 16 dieser KWEA. Die Mastkonstruktion besteht aus Betonsäulen, die vertikal durch das gesamte Gebäude verlaufen. Unterstützt werden die KWEA durch eine zusätzlich auf dem Dach installierte Photovoltaikanlage (vgl. Abb. 74). Der Strom wird über einen Wechselrichter geführt und anschließend ins Netz eingespeist. Eine Eigennutzung der erzeugten Energie kommt nach Angaben des Unternehmens nicht in Frage. Durch diese Maßnahmen soll der Energiebedarf der Wärmepumpe gedeckt werden.



Abb. 73: Konstruktion für spätere Montage der Photovoltaikanlage  
(Quelle: Eigene Darstellung)

Diese nutzt die Wärme des Grundwassers zur Beheizung des Gebäudes (vgl. Abb. 75).



Abb. 74: Wärmepumpe zur Beheizung des Gebäudes  
(Quelle: Eigene Darstellung)

### 7.3.4 Wirtschaftlichkeit

Eine Amortisation der Anlagen erwartet das Unternehmen bei einer derzeitigen Einspeisevergütung von 9,2 Ct/kWh nicht. Die KWEA's wurden mehr aus Gründen des Firmenimages, als aus Gründen der Wirtschaftlichkeit installiert. Das Thema Nachhaltigkeit spielt in der Firmenphilosophie eine große Rolle. Des Weiteren dienen die Rotorblätter und die Verkleidung des Generators als Werbeflächen.

## 8. Fazit

Der Kleinwindanlagenmarkt ist noch jung, aber sehr dynamisch und innovativ. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Bauarten und neuen Anwendungsfeldern. Am 23. Januar 2009 wurde der Bundesverband Kleinwindkraftanlagen gegründet, der Ziele wie Zertifizierungen, einheitliche Nennleistungsangaben und einheitliche Definitionen anstrebt.

Momentan ist der Markt allerdings noch sehr unübersichtlich. Produktvergleiche sind insbesondere für Laien sehr schwierig, vor allem da Hersteller die Leistungen ihrer Anlagen bei unterschiedlichen Nennwindgeschwindigkeiten angeben.

Nicht alle propagierten Anwendungsgebiete sind aus ökologischer, technischer und ökonomischer Sicht sinnvoll, wie zum Beispiel eine vororganige Umwandlung des erzeugten Stroms in Wärmeenergie (Heizwindmühle).

Die Genehmigungssituation ist noch sehr undurchsichtig, da es bundesweit keine einheitliche Regelung gibt. Vor der Investition in eine KWEA sollte man sich vorher beim örtlichen Bauamt genau über die Genehmigungsbedingungen informieren. Die Recherche bei verschiedenen Kommunen hat gezeigt, dass diese oft erheblich voneinander abweichen. Ob die meisten bisher verfügbaren Anlagen für den Einsatz in Wohngebieten geeignet und genehmigungsfähig sind, ist aufgrund der Lärmemissionen anzuzweifeln.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen an mehreren Standorten mit verschiedenen Anlagen der am Markt verfügbaren Bauarten und Größenklassen haben ergeben, dass in dicht besiedelten Orten im Rhein-Main-Gebiet ein wirtschaftlicher Betrieb kaum möglich ist. In ländlichen Regionen in Mittelgebirgslagen könnte das Ergebnis durchaus positiver ausfallen.

Entscheidend ist vor allem auch, ob der erzeugte Strom auch direkt vom Betreiber genutzt werden kann. Weder die Netzeinspeisung und Vergütung nach dem EEG mit aktuell gut 9 Cent/kWh<sub>el</sub> ist lukrativ, noch die reine Umwandlung des Stroms in Wärme, z. B. Warmwasser. Wirtschaftlich sinnvoll scheint unter den jetzigen Randbedingungen nur der Netzparallelbetrieb unter der Voraussetzung, dass der Strom nahezu komplett direkt selbst verbraucht werden kann.

Damit bieten sich vor allem landwirtschaftliche Betriebe sowie Gewerbe-/Industriebetriebe mit einem konstanten Stromverbrauch und entsprechender Grundlast an. An solchen Standorten scheint auch eine Genehmigung eher möglich.

Aufgrund der genannten Argumente erscheint momentan eine Photovoltaikanlage unter vielen dieser Gesichtspunkte zumindest für Hausbesitzer vorteilhafter, insbesondere hinsichtlich des spezifischen Stromertrags, der Wirtschaftlichkeit, als auch der Umweltverträglichkeit.

Welchen Stellenwert KWEA in Zukunft beim Einsatz Regenerativer Energien haben werden, ist fraglich. Es könnte sinnvoll sein, dass die Politik in der Gesetzgebung der erneuerbaren Energien die Einspeisevergütung für Strom aus KWEA erhöht, um die Anschaffung einer KWEA attraktiver zu machen und die Entwicklung auf diesem Gebiet zu fördern.



## 9. Literaturverzeichnis

- ALFRED-GOSSER-SCHULE (2006) Kleinwindrad Flip 150. Verfügbar unter: <http://www.schulebza.de/energie/wind/Index.htm> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- ALTERNATE-ENERGY.DE (2010) Wieviel Energie steckt im Wind? Verfügbar unter: <http://www.alternate-energy.de/projekte/wind/wind2.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BAUGB (BAUGESETZBUCH) VOM 23. SEPTEMBER 2004. Verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbaug/gesamt.pdf> (Zuletzt besucht am 6. Juni 2010).
- BAUNVO - *Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung) vom 26.06.1962.* Verfügbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/baunvo/gesamt.pdf> (Zuletzt besucht am 6. Juni 2010).
- BRAUN-WINDTURBINEN (2010) Theorie zur Windkraft. Verfügbar unter: <http://www.braun-windturbinen.com/index.php/theorie.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BROEK, K.-U. (2010) Kleinwindkraftanlagen im städtischen Bereich. Verfügbar unter: [http://www.wind-energie.de/fileadmin/BWE-Fachtagungen/KWEA%20Symposium/Vortraege/Kai\\_Uwe\\_Broek\\_\\_Aircon\\_International.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/BWE-Fachtagungen/KWEA%20Symposium/Vortraege/Kai_Uwe_Broek__Aircon_International.pdf) (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BUCH-DER-SYNERGIE (2010) Teil C: *Neue Designs und Rotorformen.* Verfügbar unter: [http://www.buch-der-synergie.de/c\\_neu\\_html/c\\_08\\_11\\_windenergie\\_neue\\_designs.htm](http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_08_11_windenergie_neue_designs.htm) (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BVKW – BUNDESVERBAND KLEINWINDANLAGEN (2009) Bundesverband Kleinwindanlagen Verfügbar unter: <http://cms.bundesverband-kleinwindanlagen.de/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BWE – BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V. (2010a) Kleinwindanlagen – wachsender Markt in Deutschland. Verfügbar unter: <http://www.wind-energie.de/de/themen/kleinwindanlagen> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BWE – BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V. (2010b) Bundesverband WindEnergie e.V.: Bildergalerie. Verfügbar unter: [http://www.wind-energie.de/de/bildergalerie/photobook/Historische\\_Muehlen/3/](http://www.wind-energie.de/de/bildergalerie/photobook/Historische_Muehlen/3/) (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- BWE – BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V. (2010c) Wind in Bodennähe , Verfügbar unter: <http://www.wind-energie.de/de/technik/windscherung/> (Zuletzt besucht am 4. Juni 2010).
- BWEA – BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION (2010) UK wind speed database. Verfügbar unter: <http://www.bwea.com/noabl/index.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- CROME, H. (2000). Handbuch Windenergie Technik - Windkraftanlagen in handwerklicher Fertigung. 1. Auflage. Staufen: Ökobuch-Verlag.

- DORFMÜLLER (2010). Modulwechselrichter DMI-Serie. Verfügbar unter: <http://www.dorfmueller-solaranlagen.de/modulwechselrichter.htm> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- eE4mobile eG (2010) *eE4mobile: mobil mit Strom aus 100% erneuerbaren Energien*. Verfügbar unter: <http://www.ee4mobile.de/>
- ENERGIA EOLICA (2010) Verfügbar unter: <http://www.windenergie.de/de/technik/windscherung/hindernisse/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- ENERGY SAVING TRUST (2010) Location, location, location: Domestic small-scale wind field trial report. Verfügbar unter: <http://server-uk.imrworldwide.com/cgi-bin/b?cg=corporate-docs&ci=energyst&tu=http://www.energysavingtrust.org.uk/content/download/554381/1961689/version/3/file/location> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- FLIP 150 (2010) Datenblatt Flip: Miniwindrad für Schwachwind. Verfügbar unter: <http://www.oeko-energie.de/downloads/flip150.pdf> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- GASCH, R., & TWELE J. (2007) *Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*. 5. Auflage. Wiesbaden: Teubner Verlag.
- GEMIS 4.5 (GLOBALES EMISSIONS- MODELL INTEGRIERTER SYSTEME VERSION 4.5) CO<sub>2</sub>-Äquivalentwert. Verfügbar unter: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/kea.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/kea.pdf) (Zuletzt besucht am 14. Juni 2010).
- GLOCALIST DAILY NEWS (2010) *1.CO<sub>2</sub>- neutrale Tankstelle am Flughafen Berlin geplant*. Verfügbar unter: <http://www.glocalist.com/news/kategorie/wirtschaft/titel/1-co2-neutrale-tankstelle-am-flughafen-berlin-geplant/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- GOOGLE-MAPS (2009) Auszug aus Google Maps. Verfügbar unter: <http://maps.google.de/maps?q=google&oe=utf-8&rls=org.mozilla:de:official&client=firefox-a&um=1&ie=UTF-8&sa=N&hl=de&tab=wl> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- HALLENGA, U. (2004). *Wind: Strom für Haus und Hof, Bauanleitung mit Konstruktionszeichnungen*. 9. Auflage. Staufen: Ökobuch-Verlag.
- HAUS & ENERGIE (2007), *Fachzeitschrift, Ausg. März-April*
- HAU, E. (1996) *Windkraftanlagen*. Berlin: Springer Verlag.
- HEIER, S. (2005) *Windkraftanlagen: Systemauslegung, Netzintegration und Regelung*. 4. Auflage. Wiesbaden: Teubner Verlag.
- HENKE, S. (2008) *Kleinwindanlagen – Übersicht, Wirtschaftlichkeit und Genehmigungssituation an verschiedenen Beispielen in Rheinland-Pfalz*
- HERR-HOME (2010) *Der Savonius-Rotor*. Verfügbar unter: <http://www.herr-home.de/vawt/index.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- HEYDE WINDTECHNIK (2010) *Windkraft nutzen, Umwelt schonen, flexibel sein: Installationsempfehlungen*. Verfügbar unter: <http://www.heyde-windtechnik.de/frames.htm> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- HLUG – HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2009a). *Windmessdaten im Zeitraum vom 01.01.2008 – 31.08.2009*. Verfügbar unter: <http://www.hlug.de>

- /medien/luft/recherche/recherche.php?view=messwerte&detail=download&station=402 (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- HLUG – HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2009b). Beschreibung der Messstation Wiesbaden Süd. Verfügbar unter: <http://www.hlug.de/medien/luft/recherche/info/WiesbadenSued.pdf> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- HOME-ENERGY (2010). Installation of the Energy Ball V100 on a pole. Verfügbar unter: <http://www.home-energy.com/engels/index1.htm> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- KETTENBACH (2009). Telefonische Anfrage zur Masthöhe der Messstation Wiesbaden Süd. (29. September 2009, 11:45Uhr).
- KLEINWINDANLAGEN.DE (2010) Kleinwindanlagen. Verfügbar unter: <http://www.kleinwindanlagen.de> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- LBauO RLP – Landesbauordnung Rheinland-Pfalz vom 24.November 1998
- LUWG – LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ (2010) Übersichtskarte aller Messstationen. Verfügbar unter: <http://www.luft-rlp.de/aktuell/messwerte/karte.php> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- LUWG – LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ (2009) Windmessdaten von Bad Kreuznach, MZ-Mombach und Worms. E-Mail-Kontakt mit U. Kampe (18. September 2009, 10:39Uhr).
- MCKIBBEN, B. (2009) Die Herausforderung. In: NATIONAL GEOGRAPHIC (2009) Energie – Wege in die Zukunft. Collector´s Edition, No. 11, S. 30 ff, Hamburg.
- MECKLENBURG-VORPOMMERN (2008) Drucksache 5/2020: Errichtung von Kleinwindanlagen (5. Dezember 2008).
- MEURER, M.; MÜNCH, M. (2009) Machbarkeitsstudie zum Einsatz von Kleinwindanlagen in Mainz und Umgebung (17. Oktober 2009).
- MINISTERIUM DER FINANZEN; MINISTERIUM DES INNERN UND FÜR SPORT; MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU; MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (2006) MINISTERIALES RUNDSCHREIBEN ZUR BEURTEILUNG DER ZULÄSSIGKEIT VON WINDENERGIEANLAGEN (30. JANUAR 2006).
- NEUHÄUSER (2010). *Produktdatenblatt Vata H20*, Verfügbar unter: [http://www.neuhaeuserwindtec.de/rokdownloads/Zeichnungen/Produktblatt20kW\\_D.pdf](http://www.neuhaeuserwindtec.de/rokdownloads/Zeichnungen/Produktblatt20kW_D.pdf) (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- NEWS.DE (2010) *Windkraft für E-Mobile: Tankstelle im Garten*. Verfügbar unter: <http://www.news.de/auto/855049496/tankstelle-im-garten/1/?igpage=11>
- OGIERMANN, *Schriftenreihe des Gemeinde-Städtebund Rheinland-Pfalz, Band 14*
- ÖKO-ENERGIE (2010) Strom aus Klein-Windkraftanlagen von Öko-Energie. Verfügbar unter: <http://www.oeko-energie.de/lieferprogramm/windkraft/index.php#04a2089a030dbb704> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- PETERS, H. (2009) Technologie der Kleinwindenergieanlagen. Vorgestellt am 17.10.2009 beim 2. BWE – Kleinwindanlagen – Symposium in Kassel. Verfügbar unter: <http://www.wind-energie.de> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).

- PCON WINDKRAFT (2010a) Grundsätzliches zum Savonius-Rotor. *Verfügbar unter:* <http://pcon-wind.de/grundsaeztliches.htm> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- PCON WINDKRAFT (2010b) Beispiel: Pcon S3-X. *Verfügbar unter:* [http://pcon-wind.de/technische\\_daten.htm](http://pcon-wind.de/technische_daten.htm) (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- QUASCHNING, V. (2008) Erneuerbare Energien und Klimaschutz – Hintergründe, Techniken, Anlagenplanung, Wirtschaftlichkeit. München: Carl Hanser Verlag.
- RISØ NATIONAL LABORATORY (1989) *European Wind Atlas*. *Verfügbar unter:* <http://www.windatlas.dk/Europe/landmap.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- RSW Windenergy (2010) *Kleinwindkraftanlage als Werbeträger*. *Verfügbar unter:* <http://www.rs-windenergy.com/de/produkte/werbeanlage.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- SHELTER, M. (2010) Michael's Foto-Blog: Windrad mal anders. *Verfügbar unter:* <http://www.michael-schelter.de/?p=53> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- SCHLOSS, M.-M.; BERG, C. (2009) Kleinwindenergieanlagen – Stand der Technik, Anwendung und Potential.
- SIMON, R. (2007), Lastprofil des Einfamilienhauses, Messaufbau, Bildung des Strombezugspreises, Angebote für Enflo 0071
- SINN, H.-W. (2008) *Das grüne Paradoxon*. Berlin: Econ Verlag.
- SMA (2010) Planungsleitfaden zur Netzkoppelung einer Windenergieanlage mit SMA Wechselrichtern vom Typ „Windy Boy“. *Verfügbar unter:* <http://www.oeko-energie.de/downloads/smaplanungwindnetz.pdf> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- SOLAR-WIND-TEAM (2010) Akkuladung. *Verfügbar unter:* <http://www.wind-mobil.de/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- STEP-GMBH (2010). STEP V2 Wind-Energie-Anlage WEA 5kW – 15kW. *Verfügbar unter:* <http://www.step-gmbh.at/Winkraftanlage.htm> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- TA Lärm – Sechste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 26.08.1998. *Verfügbar unter:* <http://www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/publikationen/talaerm.pdf> (Zuletzt besucht am 6. Juni 2010).
- TSB – TRANSFERSTELLE BINGEN (2009) Bilder vom Aufbau der KWEA.
- UMWELTDATENBANK (2010) Darrieus-Rotor. *Verfügbar unter:* <http://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/lexikon-d/darrieus-rotor.html> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- VESTAS (2010) Windkraftanlage V90 3.0 MW. *Verfügbar unter:* <http://www.vestas.com/en/wind-power-solutions/wind-turbines/3.0-mw.aspx> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).
- WINTEC – SYSTEMS AG, Bilder der Kleinwindanlage Enflo 0071. *Verfügbar unter:* [www.enflo-windtec.ch](http://www.enflo-windtec.ch).
- WIND-ENERGIE (2010) Technik. *Verfügbar unter:* <http://www.wind-energie.de/de/technik/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).

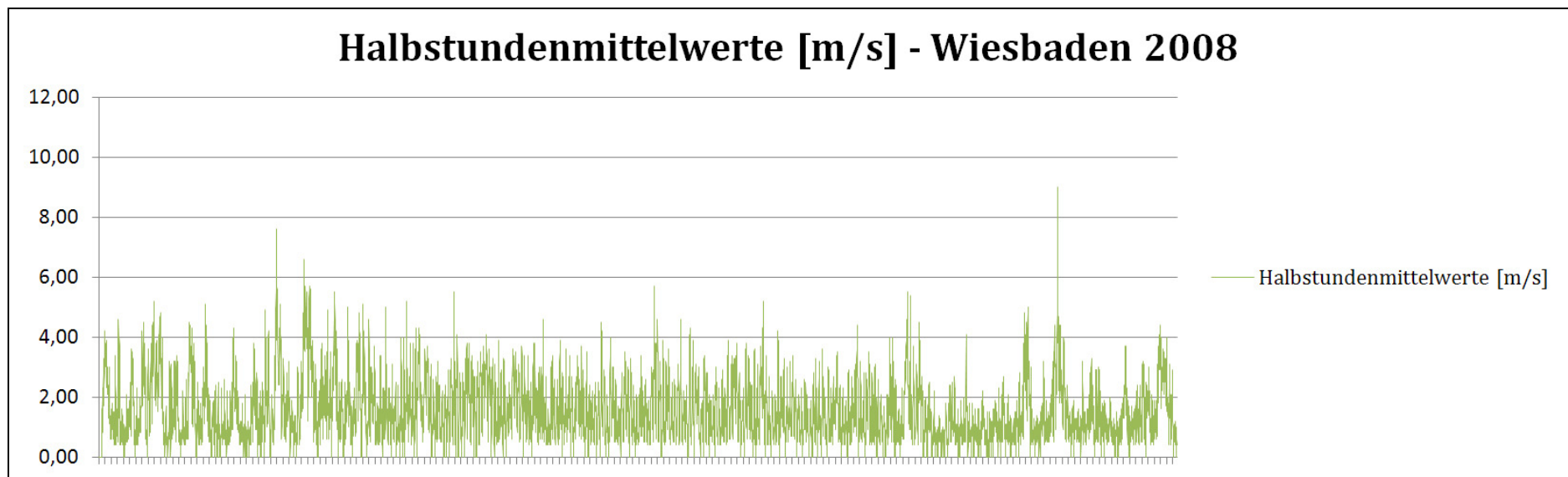
WIND-SD (2010) Wind-Systeme-Direkt: Referenzanlagen. Verfügbar unter: <http://www.wind-sd.de/> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).

WORMS (2006) Aktionsplan Worms: Reduzierung der Feinstaubbelastung. Verfügbar unter: <http://www.worms.de/downloads/Umweltamt/AktionsplanWorms.pdf> (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).

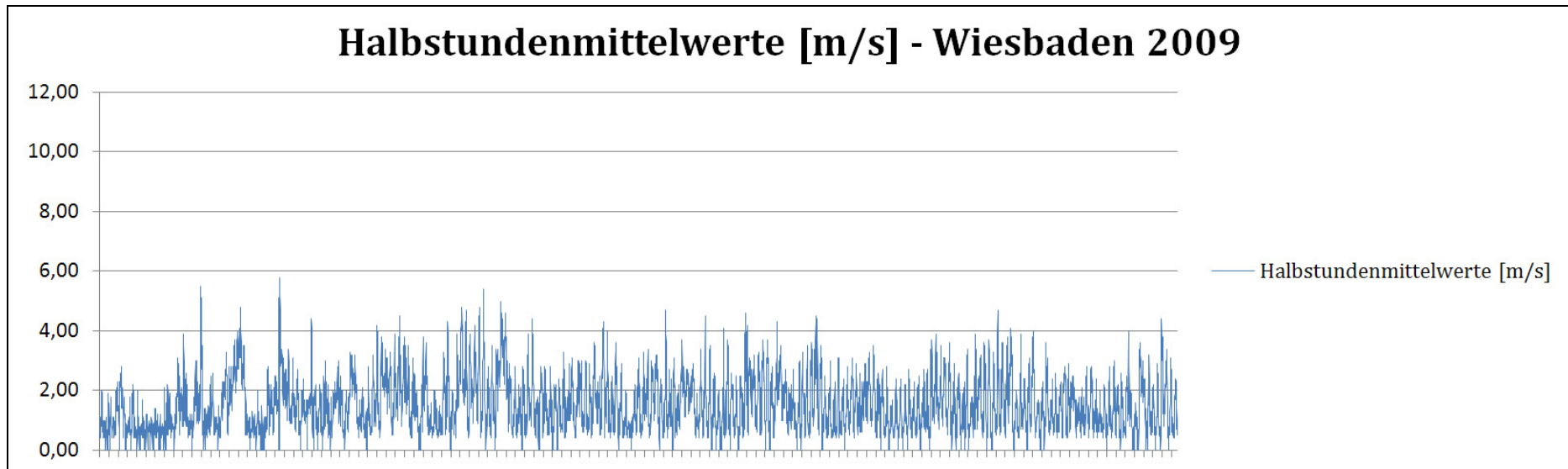
ZINTATHU (2010) Hong Kong's Sea School. Verfügbar unter: [http://www.zintathu.com/proj\\_gallery.php](http://www.zintathu.com/proj_gallery.php). (Zuletzt besucht am 9. Mai 2010).

## 10. Anhang

A I: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Wiesbaden 2008 .....	107
A II: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Wiesbaden 2009 .....	108
A III: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Bad Kreuznach 2008.....	109
A IV: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Bad Kreuznach 2009 .....	110
A V: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel MZ-Mombach 2008.....	111
A VI: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel MZ-Mombach 2009.....	112
A VII: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Worms 2008 .....	113
A VIII: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Worms 2009 .....	114

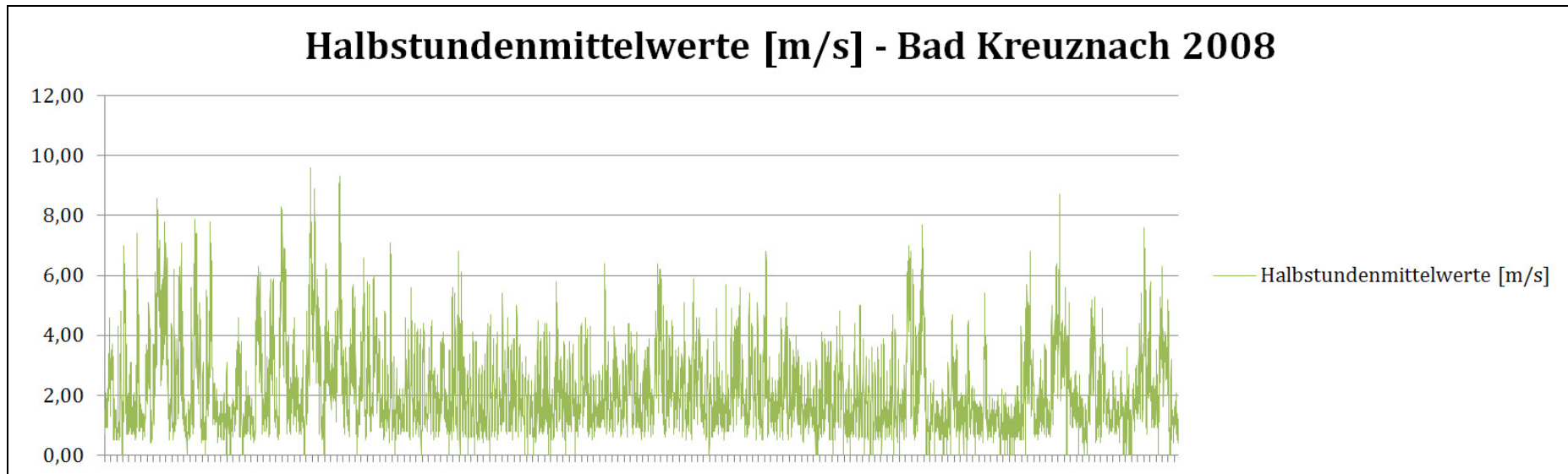


A I: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Wiesbaden 2008 (Quelle: HLUG,2009; Darstellung: Schloss, Berg)

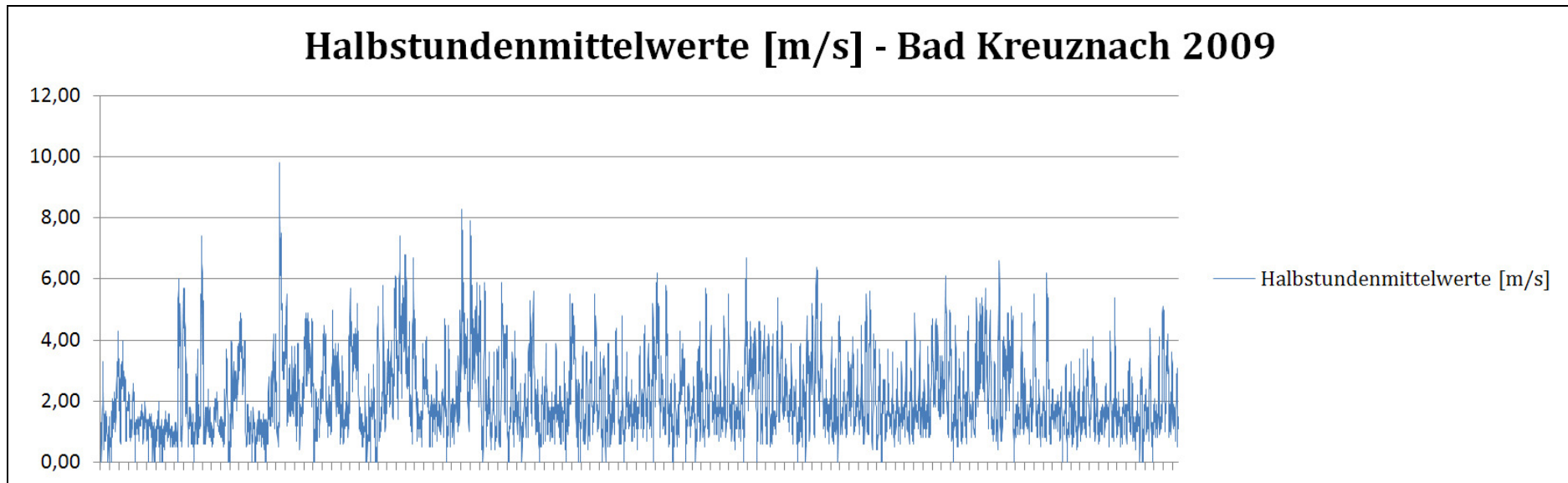


A II: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Wiesbaden 2009 (Quelle: HLUG, 2009; Darstellung: Schloss, Berg)

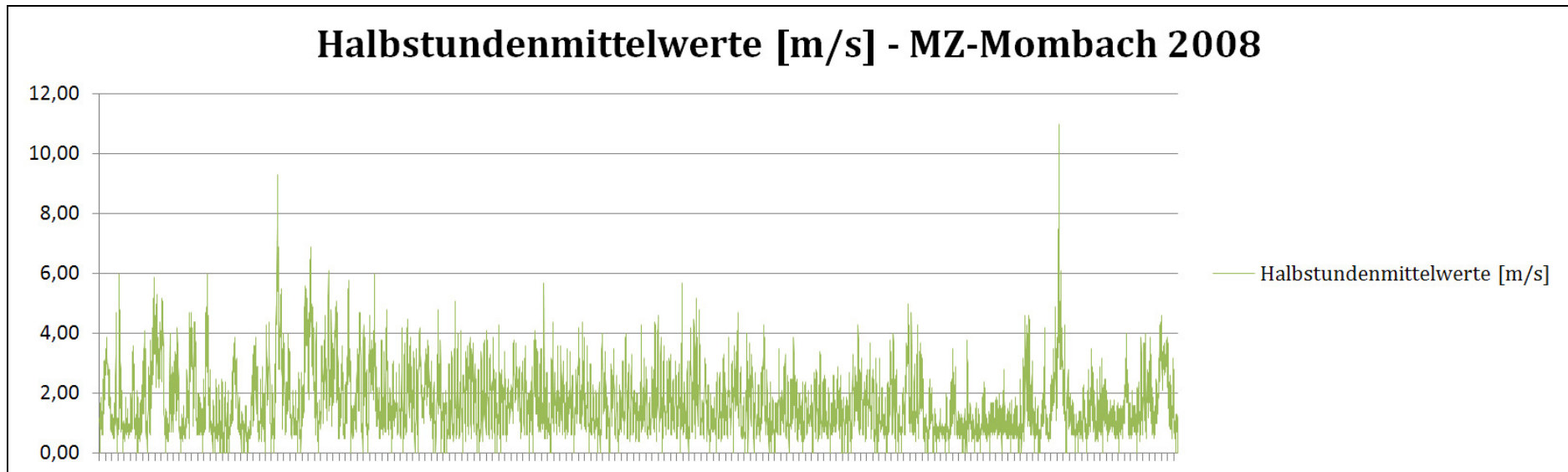




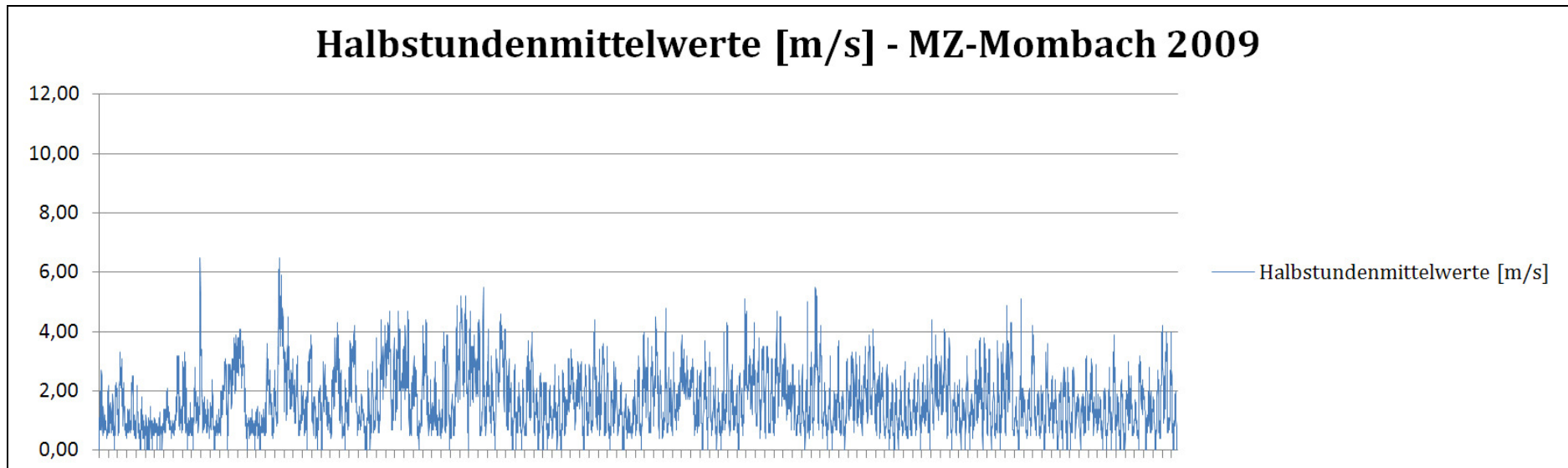
A III: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Bad Kreuznach 2008 (Quelle: LUWG, 2009b; Darstellung: Schloss, Berg)



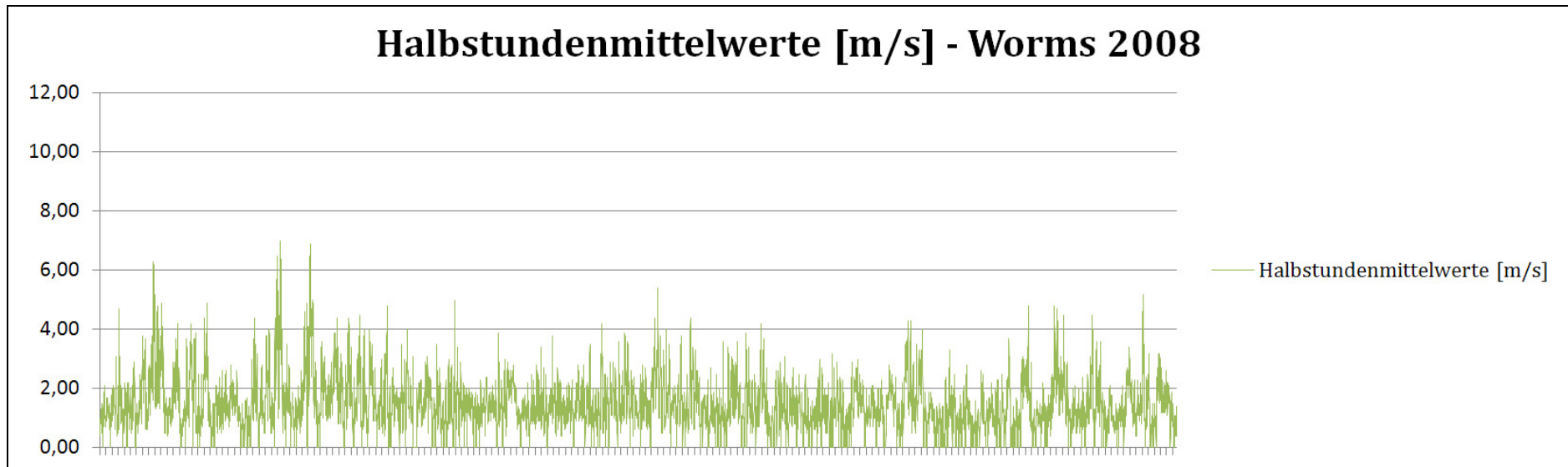
A IV: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Bad Kreuznach 2009 (Quelle: LUWG, 2009b; Darstellung: Schloss, Berg)



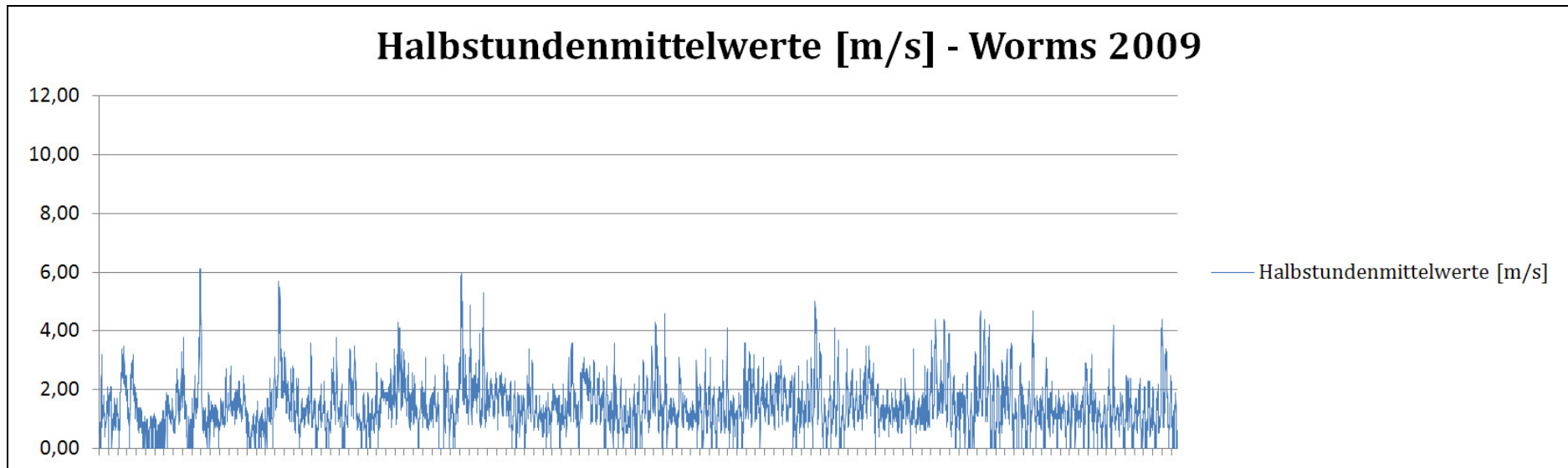
A V: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel MZ-Mombach 2008 (Quelle: LUWG, 2009b; Darstellung: Schloss, Berg)



A VI: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel MZ-Mombach 2009 (Quelle: LUWG, 2009b; Darstellung: Schloss, Berg)



A VII: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Worms 2008 (Quelle: LUWG, 2009b; Darstellung: Schloss, Berg)



A VIII: Windgeschwindigkeits-Halbstundenmittel Worms 2009 (Quelle: LUWG, 2009b; Darstellung: Schloss, Berg)

