

EMPFEHLUNGEN ZUM EINSATZ KLEINER WINDENERGIEANLAGEN IM URBANEN RAUM

Ein Leitfaden



HERAUSGEBER

HTW Berlin, Prof. Dr-Ing. Jochen Twele
E-Mail: Jochen.Twele@HTW-Berlin.de
Internet: <http://kleinwind.htw-berlin.de>

**Empfehlungen zum Einsatz kleiner
Windenergieanlagen im urbanen Raum**
Ein Leitfaden

Die vorliegenden Handlungsempfehlungen können kostenlos von
der o.g. Website heruntergeladen und frei verbreitet werden.

LAYOUT UND SATZ

Dennis Meier,
www.dennismeier.com // grundsolide gestaltung.

REDAKTIONSSCHLUSS

Januar 2013

© 2013 HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT BERLIN

GEFÖRDERT DURCH:



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung
Investition in Ihre Zukunft



INHALT

EINLEITUNG

7

I. WAHL DES STANDORTES UNTER TECHNISCHEN BEDINGUNGEN

11

I.1 ALLGEMEIN GELTENDE AUSWAHLKRITERIEN IM URBANEN RAUM

13

Windgeschwindigkeiten und Hauptwindrichtung am Standort 14

Eigene Messungen 14

Abschätzung über lokale Wetterdaten 14

Notwendige Winddaten zur Standortbeurteilung 15

Windgeschwindigkeit und Windrichtung 15

Struktur und Aufbau der näheren Umgebung des Gebäudes 18

Höhe und Geometrie des gewählten Gebäudes 19

Anlagenposition - Beispiel 21

I.2 NOTWENDIGE ABSPRACHEN MIT NACHBARN

22

Weiterführende Literatur 22

II. WAHL DER KLEINWINDANLAGE

25

II.1 LEISTUNGSKATEGORIEN

27

II.2 QUALITÄT UND ZERTIFIZIERUNG

27

II.3 ANLAGENTYPEN: BAUFORMEN

28

Widerstands- und Auftriebsprinzip 28

Drehachse 28

II.4 AUSLEGUNGSPARAMETER VON WINDENERGIEANLAGEN

30

Windklasse 30

Nennleistung 31

Vergleich von Anlagen 32

II.5 SICHERHEITSSYSTEME

34

II.6 AUSWAHL DES ANLAGENTYPS NACH ANWENDUNGSFALL

34

Batterieladung 34

Netzeinspeisung 35

Eigenstromnutzung 35

II.7 STANDORTABHÄNGIGE AUSWAHLKRITERIEN

36

Anlagenposition 37

Schräganströmung 37

Schallemissionen 37

Schattenwurf und Reflexion 39

Weiterführende Literatur 40

III. TECHNISCHE MASSNAHMEN FÜR INSTALLATION, ANSCHLUSS UND BETRIEBE

43

III.1 DACHANBINDUNG UND STANDFESTIGKEIT

44

Feste Dachanbindung 45

Freie Aufständering 46

Zugang 46

Schwingungen und Schwingungsentkopplung 46

Unwuchten und Blatt-Turm-Interaktion 46

Vertikalachsige Windenergieanlagen 47

Generator 47

Schwingungsübertragung und Schwingungsreduzierung 47

III.2 WECHSELRICHTER INKL. VERKABELUNG

48

III.3 BLITZSCHUTZ

49

Äußerer Blitzschutz 49

Innerer „Blitzschutz“/Überspannungsschutz 49

III.4 NETZANSCHLUSS UND ZÄHLEINRICHTUNG

50

Netzeinspeisung 50

Eigenverbrauch 52

III.5 KRANAUFBAU UND STRASSESPERRUNG

52

INHALT

IV. RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR KLEINWINDANLAGEN AUF BERLINER DÄCHERN

IV.1 RELEVANTE VORSCHRIFTEN FÜR DIE ERRICHTUNG VON DACH-KLEINWINDANLAGEN	57	Kleinwindanlagen innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile, § 34 BauGB	65
IV.2 ANFORDERUNGEN FORMELLEN ÖFFENTLICHEN RECHTS	57	Die Eigenart der näheren Umgebung entspricht keinem Baugebiet der BauNVO	66
Wird eine Baugenehmigung für die Kleinwind-Dachanlage benötigt?	57	Bauordnungsrecht - Gehen von Kleinwindanlage keine Gefahren aus?	66
Immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG i.V.m. 4. BImSchV	58	Abstandsflächen	67
„Herkömmliches“ Baugenehmigungsverfahren nach § 65 BauO Bln	59	Verunstaltungsverbot	68
Verfahrensfreiheit nach § 62 Abs. 1 BauO Bln	59	Standsicherheit (Statik)	68
Genehmigungsfreistellung nach § 63 BauO Bln	60	Brandschutz	69
Vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach § 64 BauO Bln	60	Verkehrssicherheit	69
Genehmigungen anderer Behörden	61	Blitzschutz für die Anlage und das Gebäude	69
Welche Behörde ist zuständig?	61	Immissionsschutzrecht - Sind die Umwelteinwirkungen zulässig?	70
Welche Unterlagen müssen eingereicht werden?	62	Schallschutz	70
IV.3 ANFORDERUNGEN DES MATERIELLEN ÖFFENTLICHEN RECHTS	63	Schattenwurf und Diskoeffekt	71
Bauplanungsrecht - Passt die Kleinwindanlage in die Umgebung?	63	Erschütterungen	71
Kleinwindanlagen im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans, § 30 BauGB	64	Naturschutzrecht - Werden Natur, Landschaft und Tiere beeinträchtigt?	72
		Denkmalschutzrecht- Beeinträchtigt die Anlage geschützte Denkmäler?	72
		Luftverkehrsrecht - Stört die Anlagen den Luftverkehr?	73
		Weiterführende Literatur	73

V. WIRTSCHAFTLICHKEIT

V.1 WIRTSCHAFTLICHKEITSAKTIVITÄTEN	77
V.1 WIRTSCHAFTLICHKEITSAKTIVITÄTEN	78
Kosten	79
Anschaffungskosten	80
Planung und Installation	80
Betriebskosten	80
Erträge	81
V.2 ENERGIENUTZUNGSKONZEPT	81
Netzeinspeisung	82
Eigenverbrauch	82
Direktvermarktung	82
V.3 BEISPIELBERECHNUNGEN	83
V.4 FINANZIERUNG	85
Weiterführende Literatur	85

VI. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

89

VII. QUELLEN

91

AUTOREN

95

EINLEITUNG

Während der letzten Jahrzehnte ist die Windkraft aus ihrem einstigen Nischendasein zu einem wesentlichen Energielieferanten gewachsen, Ende 2011 deckten mehr als 29 GW Windleistung rund 8 % des deutschen Strombedarfs ab [BWE_IN]. Die installierten Kapazitäten entfallen derzeit fast ausschließlich auf Großanlagen, der Anteil an Kleinwindenergieanlagen (KWEA) ist bislang vergleichsweise gering.

Ende 2010 waren weltweit rund 656.000 Kleinwindanlagen mit einer Gesamtleistung von 443 MW installiert, davon entfallen 10.000 Anlagen (15 MW) auf Deutschland. Gegenüber 2009 ist ein Zuwachs von 26 % zu verzeichnen. Die World Wind Energy Association erwartet binnen der nächsten Jahre ein ähnlich rasantes Wachstumsverhalten wie es der Photovoltaikmarkt in der jüngsten Vergangenheit vorgemacht hat und geht Ende 2020 von einer weltweit installierten Gesamtkapazität von 3.800 MW aus [WWEA].

In Deutschland bewegen sich KWEA derzeit zunehmend in das Blickfeld der Öffentlichkeit und der Medien. Steigende Strompreise und der globale Klimawandel sind für viele Menschen ein Anstoß, sich mit alternativen Energieversorgungskonzepten auseinander zu setzen. Der Zuwachs von kleinen Photovoltaikanlagen offenbart das Bedürfnis nach individuellen Lösungen und Unabhängigkeit von Energiepreisen. Kleinwindanlagen können auch in Deutschland zukünftig stark an Bedeutung gewinnen, dem wachsenden Ausbau stehen derzeit jedoch Widerstände unterschiedlicher Natur gegenüber: Potenzielle AnlagenbetreiberInnen können die Qualität einer

Vielzahl von am Markt verfügbaren Anlagen nur schwierig bewerten, da die wenigsten über Kennwerte verfügen, die von unabhängigen Stellen bestätigt wurden. Weiterhin mangelt es BetreiberInnen häufig auch an technischen Informationen, beispielsweise zur Ermittlung des Windpotenzials und zur Auswahl eines geeigneten Standortes. Ein wirtschaftliches Hemmnis für BetreiberInnen sind die niedrigen Einspeisevergütungen bei vergleichsweise hohen Investitionskosten – derzeit existiert in Deutschland kein geeigneter Vergütungssatz für kleine Anlagen. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist somit i.d.R. nur durch Eigenstromnutzung darstellbar. Des Weiteren erschweren auch juristische Unklarheiten und die föderale Diversität der Genehmigungsfrage den Ausbau der Kleinwindenergie in Deutschland.

ÜBER DIESEN LEITFADEN

Das vorliegende Dokument ist als Ratgeber und Informationssammlung zum Thema Kleinwind zu verstehen und soll einen umfassenden Überblick über alle relevanten Themenkomplexe geben. Der Leitfaden entstand im Projekt „Nutzung kleiner Windkraftanlagen auf Gebäuden in städtischen Gebieten am Beispiel Berlins“ an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin. Das Projekt wird im Rahmen des Umweltentlastungsprogramms II von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin [UEPII] und dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt dabei stets auf der Anwendung von kleinen Windkraftanlagen in Siedlungsgebieten.

Die enthaltenen Handlungsempfehlungen richten sich sowohl an AnlagenbetreiberInnen und diejenigen, die es werden wollen, als auch an Behörden, welche durch Anfragen interessierter Bürgerinnen und Bürger mit dem Thema Kleinwindkraft konfrontiert sind.

In den **Kapiteln I-III** finden sich Hilfestellungen für die technische Planung. Hier werden die Auswahl von Standort und Kleinwindanlage sowie die Maßnahmen für den Anschluss und Betrieb erläutert. Es wurde versucht, die technischen Themen möglichst allgemeingültig zu behandeln, jedoch können nicht alle Anwendungsfälle abgedeckt werden. **Kapitel IV** widmet sich der Genehmigungsplanung und den rechtlichen Fragestellungen. Die Wirtschaftlichkeit kleiner Windkraftanlagen wird in **Kapitel V** betrachtet.

Wir möchten darauf hinweisen, dass die erfolgreiche Nutzung der Windenergie ein komplexes Thema darstellt und einer professionellen Planung bedarf. Jede Anlage und jeder Standort bringen individuelle Voraussetzungen mit, eine sorgfältige Planung ist die Grundlage für eine erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens.

DANKSAGUNGEN

Wir danken Uwe Hallenga, Dr. Christoph Heilmann, Paul Kühn und Prof. Dr. Dirk Werner, sowie unseren Projektpartnern für ihre wertvolle inhaltliche Unterstützung.

PROJEKTPARTNER



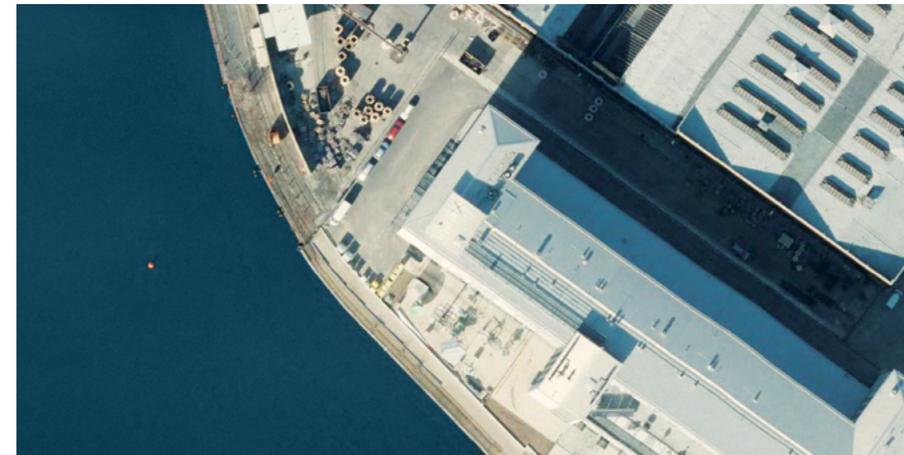
LWE Windkraft

I. WAHL DES STANDORTES UNTER TECHNISCHEN BEDINGUNGEN

Jonathan Amme | Jörg Benesch | Mathis Buddeke

KERNFRAGEN DES KAPITELS

- _Wie verhält sich die Windströmung in Stadtgebieten im Vergleich zum Land?
- _Welche Angaben sind nötig um das Windangebot beurteilen zu können?
- _Durch welche Maßnahmen kann man auf das örtliche Windangebot schließen?
- _Welcher Teil des Windangebotes ist aus energetischer Sicht relevant?
- _Welchen Einfluss hat die Umgebungsbebauung?
- _Wo sollte eine Windkraftanlage auf dem Gebäudedach aufgestellt werden um den maximalen Ertrag zu erzielen?



In diesem Kapitel soll die grundlegende Vorgehensweise bei der Auswahl eines geeigneten Standortes für die Aufstellung einer Kleinwindkraftanlage behandelt werden. Die Auswahl wird hier stets vor dem Hintergrund der Anwendung in einem städtisch geprägten Umfeld vorgenommen. Aufgrund der Vielzahl an möglichen Anwendungsfällen und Standortparametern können keine quantitativen Aussagen über den standortabhängigen Einfluss auf den Anlagenbetrieb gemacht werden. Dennoch sollen möglichst allgemeingültige Angaben über Positionierung und Anwendung der Anlagen herausgearbeitet werden. Anhand der folgenden Informationen ist es möglich, einen potenziell optimalen Standort zu identifizieren. Die tatsächlichen Windbedingungen sollten jedoch in jedem Fall durch eine Messung in Erfahrung gebracht werden.

II.1 ALLGEMEIN GELTENDE AUSWAHLKRITERIEN IM URBANEN RAUM

Bei der Standortwahl für eine KWEA müssen neben den technischen und meteorologischen Faktoren auch rechtliche Rahmenbedingungen, die in Kapitel IV behandelt werden, miteinbezogen werden. Der Standort einer KWEA entscheidet maßgeblich über den Energieertrag und damit über den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage. Generell ist es wichtig, dass der Wind ungehindert auf die KWEA treffen kann. Selbst kleine Strömungshindernisse können einen großen Einfluss auf den Energieertrag haben. Stadtgebiete weisen durch ihre hohe Bebauungsdichte hohe Geländerauigkeiten auf. Um gleiche Windbedingungen wie an Standorten auf dem freien Land zu erhalten, ist es in der Stadt notwendig, die Windkraftanlagen wesentlich höher aufzustellen (vgl. **Abbildung 1**) Dazu ist eine Montage der Anlagen auf einem Gebäudedach häufig das geeignete Mittel der Wahl.

Grundlegend müssen folgende Punkte beachtet werden:

1. Windgeschwindigkeiten und Hauptwindrichtung am Standort (ertragsrelevant)
2. Struktur und Aufbau der näheren Umgebung des Gebäudes (ertragsrelevant)
3. Höhe und Geometrie des gewählten Gebäudes (ertragsrelevant)
4. Bautechnische Tauglichkeit des Daches und allgemeine Eigenschaften des Gebäudes (sicherheitsrelevant)

Auf die Punkte 1 bis 3 wird im Folgenden näher eingegangen, Punkt 4 ist Gegenstand des **Kapitels III**.

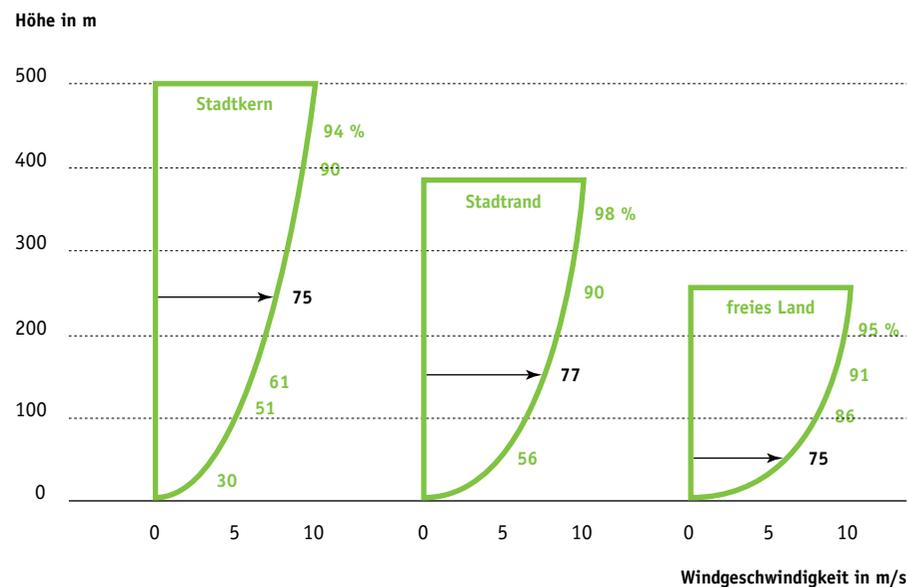


Abbildung 1:
Entwicklung des
Windgeschwindig-
keitsprofils in
der Höhe bei
unterschiedlichen
Siedlungsdichten
[BLNSENÜ]

Windgeschwindigkeiten und Hauptwindrichtung am Standort

Für die Bestimmung der Windgeschwindigkeiten und der vorherrschenden Windrichtung am gewählten Standort bieten sich mehrere Möglichkeiten an:

Eigene Messungen

Die genaueste, aber auch aufwendigste Methode ist eine eigene Messkampagne. Hierfür muss am potenziellen Standort ein Messgerät für die Messung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung installiert werden. Geeignete Messgeräte findet man im meteorologischen Fachhandel. Um aussagekräftige Daten zu erhalten ist unbedingt auf die korrekte Montage der Messgeräte zu achten. Voraussetzung für eine längerfristige Messung ist die Möglichkeit die Daten speichern zu können, um so eine Windprognose für ein vollständiges Kalenderjahr möglich zu machen.

Eine Möglichkeit, Windgeschwindigkeit und Windrichtung zu messen und diese Daten zusätzlich zu speichern, findet sich zumeist in einfachen und semiprofessionellen Wetterstationen. Viele Wetterstationen verfügen jedoch nicht über einen Speicher, der Wetterdaten für ein ganzes Jahr aufnehmen kann. In diesem Fall müssen die Daten regelmäßig auf einen Computer übertragen werden, um eine konsistente Datengrundlage zu erhalten. Klassische „Heim-Wetterstationen“ aus dem unteren Preissegment sind ob ihrer geringen Qualität und Genauigkeit meist ungeeignet.

Komplette Messsets, welche die Windgeschwindigkeit und Windrichtung messen, speichern und eine einfache Auswertungssoftware beinhalten, sind schon ab etwa 300 € erhältlich. Ist die Messperiode von einem Kalenderjahr abgeschlossen, kann eine genaue Prognose über die Verteilung der Windgeschwindigkeiten und die vorherrschende(n) Windrichtung(en) getroffen werden. Hierzu müssen die gemessenen Daten im ersten Schritt gefiltert und auf Plausibilität geprüft werden.

Der Standort des Messgerätes sollte möglichst genau dem des potentiellen Standortes der KWEA entsprechen, um eine ausreichend genaue Abschätzung des Ertrages zu erzielen. Deshalb ist es notwendig, schon vor der Durchführung der Messung den möglichst optimalen Anlagenstandort zu identifizieren. Die Hinweise aus diesen Handlungsempfehlungen zusammen mit guter Ortskenntnis sollten eine gute Vorauswahl möglich machen. Die für die Standortwahl so wichtige **HAUPTWINDRICHTUNG** kann auch durch den im Folgenden beschriebenen Schritt gut abgeschätzt werden.

Abschätzung über lokale Wetterdaten

Neben eigenen Messungen halten auch Wetterdienste und Online- Wetterportale eine gute Datenbasis zu den Windverhältnissen vor.

Oft findet sich in der näheren Umgebung eine Wettermessstation, deren Daten frei verfügbar sind. Neben öffentlichen Wetterstationen verfügen oftmals auch Privathäuser und Institute über eine solche Station. Vorab sollte man sich informieren, ob sich eine Station in der Nähe befindet und inwieweit die Daten Aussagekraft für das eigene Projekt besitzen. Wenn auch die absoluten Messwerte nicht auf den eigenen Standort übertragbar sind, so lässt sich in der Regel die vorherrschende Windrichtung aus den Daten ablesen. Diese ändert sich nur geringfügig, solange keine standortspezifischen Hindernisse eine starke Umlenkung des Windes nach

sich ziehen. Die Windgeschwindigkeiten hingegen werden von mehreren lokalen Faktoren beeinflusst und können somit nur grob abgeschätzt werden. Siehe Literaturtipps für Hinweise zu öffentlichen Winddaten.

NOTWENDIGE WINDDATEN ZUR STANDORTBEURTEILUNG

Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Die bekannteste Skala, unterschiedliche Windgeschwindigkeiten darzustellen, ist die Beaufort Skala. Mit ihrer Hilfe werden Windgeschwindigkeiten (Windstärken) anhand phänotypischer Merkmale bestimmt und ortsunabhängig vergleichbar gemacht. Es handelt sich dabei jedoch um eine recht grobe Einteilung, welche zur Bewertung eines Standortes und seiner Qualität für die Energiegewinnung nicht ausreicht. Bei technischen Anwendungen wird die Windgeschwindigkeit meist in Meter pro Sekunde (m/s) angegeben.

Ein charakteristischer Parameter für die Bewertung der Windverhältnisse an einem Standort ist die **MITTLERE WINDGESCHWINDIGKEIT**. Er eignet sich für eine grobe Abschätzung hinsichtlich der Eignung eines Standortes für den Betrieb einer Kleinwindenergieanlage, nicht jedoch für Ertragsprognosen. Erst wenn die genaue **HÄUFIGKEITSVERTEILUNG** (Histogramm) der Windgeschwindigkeiten bekannt ist, kann das energetische Potenzial bestimmt werden. In **Abbildung 2** ist eine solche Verteilung für einen im Projekt vermessenen Stadtstandort über 1 Jahr dargestellt. Für eine vereinfachte Handhabung können Windgeschwindigkeitshistogramme mit guter Näherung durch eine **WEIBULLVERTEILUNG** beschrieben werden (grüner Graph). Diese wird durch einen Formparameter k und einen Skalierungsparameter A cha-

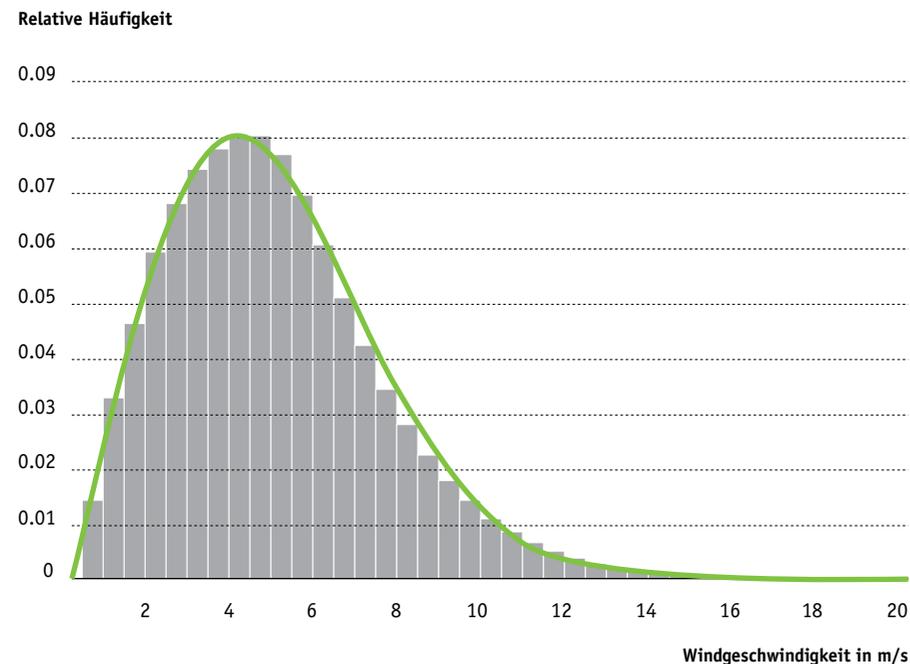


Abbildung 2:
Grau: Häufigkeits-
verteilung der
Windgeschwindig-
keit eines Stand-
ortes über 1 Jahr
($\bar{v} = 4,85$ m/s),
Grün: energie-
optimale Appro-
ximation durch
Weibullverteilung

rakterisiert. Statt vieler Einzelhäufigkeiten lässt sich ein Histogramm nunmehr mit zwei charakteristischen Faktoren beschreiben. Diese Vereinfachung ermöglicht einen schnellen Vergleich von Windverteilungen verschiedener Standorte. Die Verteilungsparameter für unterschiedliche Regionen sind in der Fachliteratur hinreichend dokumentiert (vgl. [TWE]).

Aus der Häufigkeitsverteilung kann die Energiemenge berechnet werden, welche in den jeweiligen Windgeschwindigkeitsbereichen (sog. BINs) zur Verfügung steht.

In **Abbildung 3** ist die energetische Häufigkeitsverteilung der einzelnen BINs dargestellt, der aus dem angegebenen Histogramm der Windgeschwindigkeiten berechnet wurde. Es wird deutlich, dass der größte Anteil der Energie nicht zwangsläufig bei den Windgeschwindigkeiten gewonnen werden kann, die am häufigsten auftreten. Dies hat mit dem überproportionalen Zusammenhang zwischen der im Wind befindlichen Energie und der Windgeschwindigkeit zu tun – die Windgeschwindigkeit geht mit der dritten Potenz in die im Wind enthaltene Leistung ein [TWE].

Die Großteil der Energie entfällt in diesem Beispiel auf den mittleren Geschwindigkeitsbereich um 7 m/s, etwa 50% der Energie wird im Bereich von 5 bis 9 m/s umgesetzt, die Anlage sollte so gewählt werden, dass sie in diesem Bereich möglichst effizient arbeitet (s. Kap. II.4). Aus der Grafik geht zudem hervor, dass die Einschaltwindgeschwindigkeit einer Kleinwindanlage an diesem Standort keinen signifikanten Einfluss auf den Energieertrag hat. Während in **Abbildung 2** Windgeschwindigkeiten bis 3,5 m/s noch etwa 1/3 der Zeit ausmachen, entfallen hingegen nur ca. 4 % der Energie auf diesen Bereich. Wandelt eine Anlage die Windenergie bereits bei 2,5 statt bei 3,5 m/s, ist nur mit einem sehr geringen Ertragszuwachs zu rechnen.

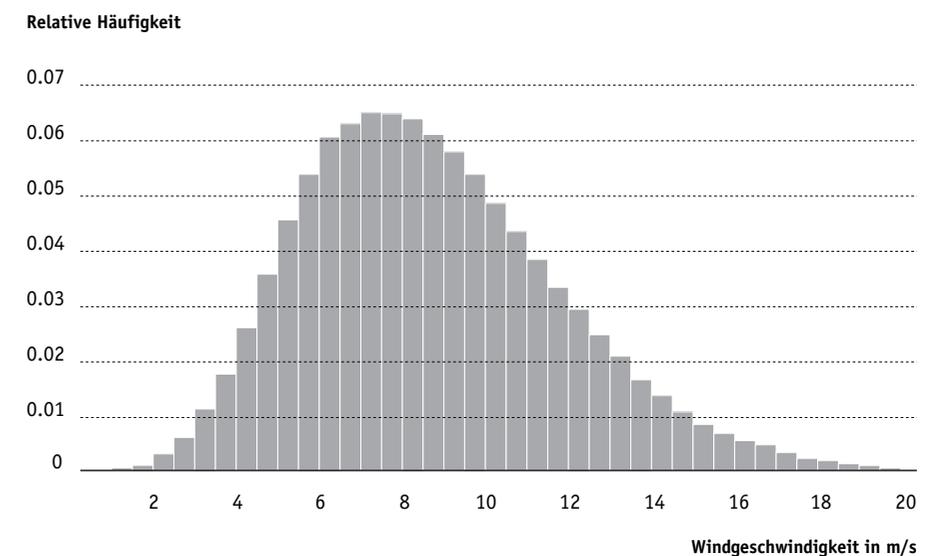


Abbildung 3:
Energetische Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten anhand der Daten aus Abbildung 2

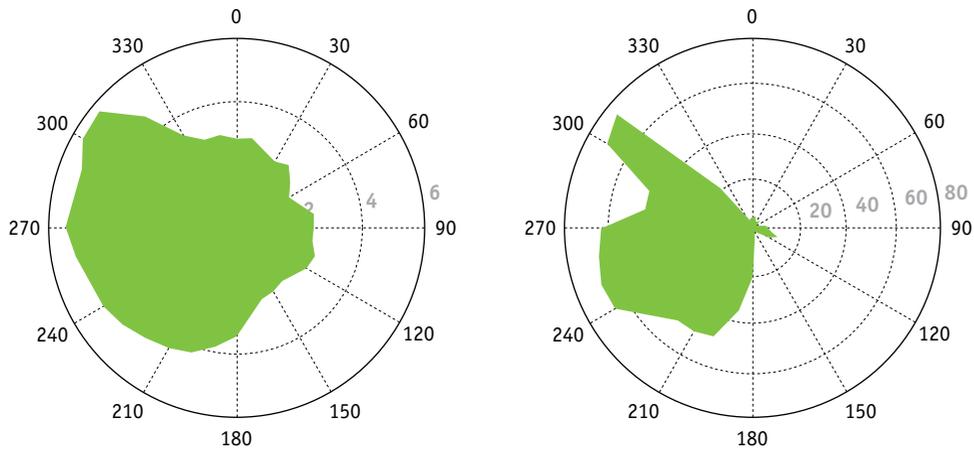


Abbildung 4:
Richtungsverteilung der mittleren
Windgeschwindigkeit in m/s

Abbildung 5:
Richtungsverteilung der im Wind
enthaltenen Energie in kWh/m²

Die Umrechnung der Häufigkeit der Windgeschwindigkeit in die resultierende Energiemenge kann mit Hilfe eines geeigneten Berechnungswerkzeugs durchgeführt werden. Ein mögliches Programm wurde vom Fraunhofer IWES entwickelt und steht im Internet kostenlos zur Verfügung [IWES_SWT].

Wie in den vorangegangenen Erläuterungen beschrieben, ist die **WINDRICHTUNGSVERTEILUNG** für die Identifikation des optimalen Standortes auf einem Dach sehr wichtig. In **Abbildung 4** ist die Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeit unseres Beispielsstandortes zu sehen. Hier kann wieder eine Darstellung der Häufigkeit verschiedener Windgeschwindigkeiten (**Abbildung 6**) oder die Darstellung der Energiemengen (**Abbildung 5**) über die Anströmungsrichtung gewählt werden. Aussagekräftiger und damit wichtiger für die Standortauswahl ist die energetische Betrachtung, anhand welcher abgelesen werden kann, aus welcher Richtung der Großteil des Energieertrags zu erwarten ist.

Aus der beispielhaften Häufigkeitsverteilung in **Abbildung 6** könnte man schließen, dass ein nicht unerheblicher Anteil der Energie aus Richtung Osten strömt. Aus der energetischen Betrachtung wird jedoch deutlich, dass der Energiegehalt aus dieser Richtung vernachlässigbar klein ist. Daher würde im vorliegenden Fall eine Montage an der südwestlichen Kante des Gebäudes vorteilhaft sein. Die Umgebungsbebauung in dieser Richtung sollte möglichst keine Hindernisse für die Anlage aufweisen.

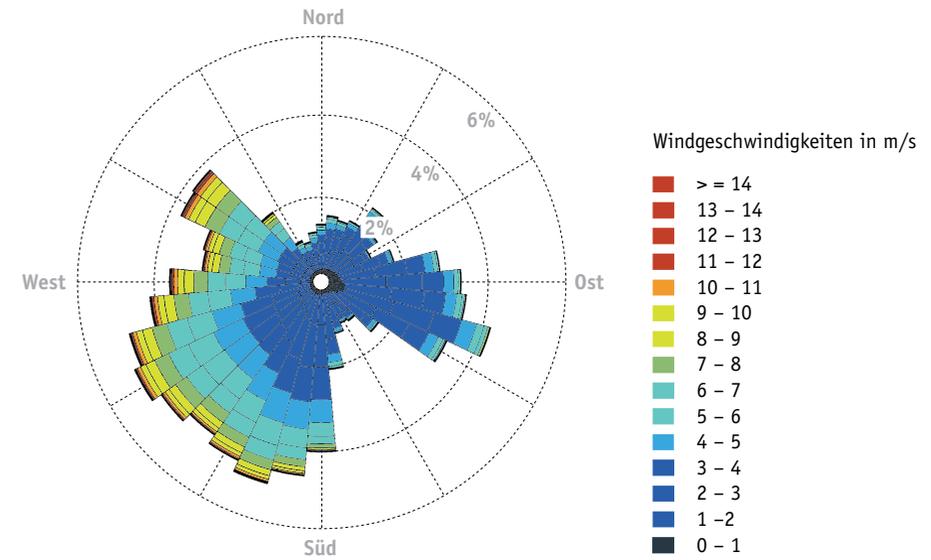


Abbildung 6:
Richtungsverteilung der Häufigkeit der Windgeschwindigkeit

Struktur und Aufbau der näheren Umgebung des Gebäudes

Ein wesentlicher Faktor bei der Standortwahl und Standortbewertung ist die Struktur der unmittelbaren Umgebung des Gebäudes. Einen guten Standort zeichnet seine exponierte Lage aus, welche über der Höhe der Umgebungsbebauung liegt. Die umliegenden Gebäude sollten daher, besonders aus der Hauptwindrichtung, eine geringere Höhe als das gewählte Gebäude aufweisen. Das Gebäude selbst muss keine Mindesthöhe aufweisen. Maßgeblich ist, inwieweit es seine Umgebung in der Höhe überragt.

Auch Bäume haben einen signifikanten Einfluss auf die Windverhältnisse am Standort durch Verschattung und turbulenten Nachlauf. Die **GEBÄUDEHÖHE** sollte die Höhe des umliegenden Baumbewuchses überragen oder zumindest einen ausreichenden Abstand zu dem nächstliegenden Baumbestand aufweisen. Bei einzelnen Bäumen variiert dieser Effekt zwischen den Jahreszeiten mit der Menge der Blätter.

Grundsätzlich gilt: Je höher das Gebäude die Umgebung überragt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für gute Windverhältnisse am Standort. Zusätzlich begünstigt ein großer Abstand des Gebäudes zu den Nachbargebäuden hohe Windgeschwindigkeiten, vor allem in Hauptwindrichtung.

Trotzdem sollte man sich nicht von einem vermeintlich ungeeigneten Standort abschrecken lassen, im urbanen Raum spielen weitere Faktoren eine wesentliche Rolle: Zum Beispiel weisen Straßenschluchten oftmals eine höhere Windgeschwindigkeit als ihre Umgebung in der gleichen Höhe auf. Sehr dicht bebaute Gebiete mit Gebäuden gleicher Höhe und flachen Dächern können eine „glatte“ Oberfläche darstellen, die die Bodenrauigkeit der Umgebung vermindert, also einen geringeren Störeinfluss für die Windgeschwindigkeit darstellt. So kann sich eine abgelöste Strömung über den Gebäudedächern einstellen, welche mit verhältnismäßig niedriger **TURBULENZ** für ein akzeptables Windangebot sorgt [GRI].

Um die Lage des Gebäudes in seiner Umgebung ganzheitlich betrachten zu können, sind prinzipiell zwei Möglichkeiten gegeben: Die erste Möglichkeit besteht darin, die Höhe des gewählten Gebäudes und der Gebäude im Umkreis abzuschätzen. Diese Abschätzung gelingt am besten vom Dach des gewählten Gebäudes. Die zweite Möglichkeit besteht in der Nutzung so genannter „Geoviewer“. Viele Bundesländer verfügen über einen solchen Viewer, mit dem über das Internet geodatenbasierte Informationen abgerufen werden können. Für das Land Berlin lassen sich mit dem Service FIS-Broker [FISB] sogar Geschosshöhen abbilden. Zudem sind in großen Städten oft 3D Stadtmodelle verfügbar, mithilfe derer eine Einordnung des Standortes in die Umgebung ebenfalls möglich ist.

Höhe und Geometrie des gewählten Gebäudes

Die Geometrie des zur Aufstellung der KWEA gewählten Gebäudes spielt eine wesentliche Rolle bei der Aufstellung und beim Betrieb der Anlage. Flachdächer eignen sich deutlich besser zur Aufstellung der Anlage, da sie gut erreichbar sind und somit die Installation und Wartung der Anlage vereinfachen. Die meisten Gebäude mit großen Höhen verfügen über Flachdächer. Da auch die Möglichkeiten bei der Anbindung von KWEA im Bereich >1 kW Nennleistung auf anderen **DACHFORMEN** stark eingeschränkt sind, beschränkt sich die hier vorgenommene Abhandlung auf die Nutzung von Flachdachstandorten.

Im vorliegenden Projekt der HTW Berlin wurde die Umströmung eines nahezu quaderförmigen Gebäudes (Hochhaus mit Flachdach oder Flachbau) messtechnisch untersucht. Zusammengefasst lassen sich aus dieser Messung folgende Sachverhalte ableiten:

Eine rechtwinklig auf ein quaderförmiges Gebäude auftreffende Strömung löst sich an dessen Vorderkante ab. Das bedeutet, dass in geringer Höhe über dem Dach sehr turbulente und teils langsame Windströmung herrscht, die für den Einsatz einer KWEA ungeeignet ist. Ziel muss es deshalb sein, die Anlage stets außerhalb einer sich bildenden **ABLÖSEBLASE** zu positionieren. Um hier die richtige Position zu finden, muss die Hauptwindrichtung bekannt sein.

Sind Hauptwindrichtung und Gebäudehöhe bekannt, kann das Verhalten der Strömung über dem Gebäudedach abgeschätzt werden. Herrscht homogenes Anströmverhalten, das heißt kommt der Wind hauptsächlich aus einer Richtung, dann empfiehlt sich die Aufstellung nah an der Gebäudekante in Hauptwindrichtung. Wenn z.B. aufgrund beschränkter Tragfähigkeit des Daches ein besonders kleiner Turm

verwendet werden muss, sollte die Anlage möglichst nah an die Gebäudekante gestellt werden, da die Ablösung mit dem Abstand zur Dachkante an Höhe zunimmt. So wird dafür gesorgt, dass selbst eine kleine Anlage eine ungestörte Anströmung erfährt.

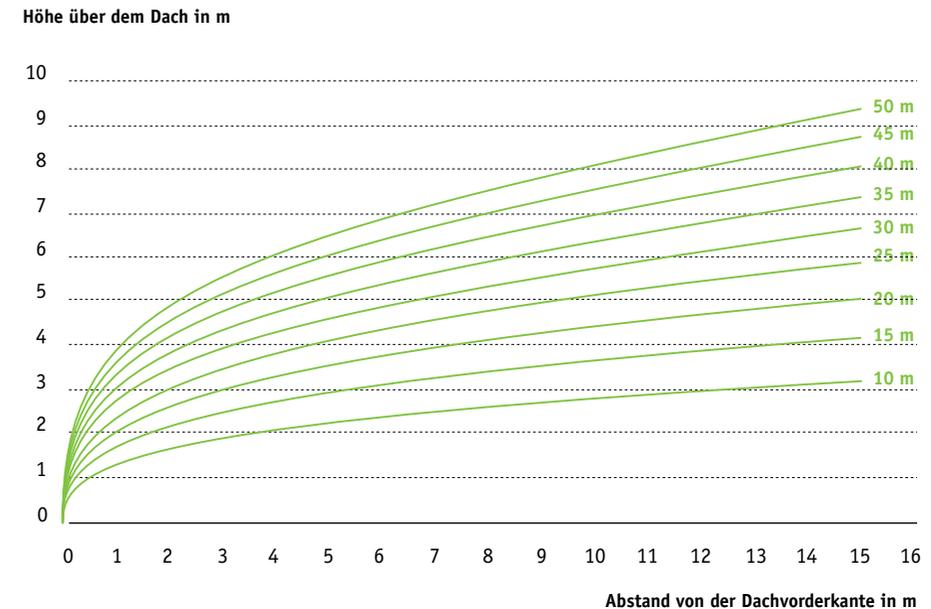


Abbildung 7:
Verlauf der Strömungsbilanz an einem quaderförmigen Gebäude in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe ($\bar{v}=2,4$ m/s) nach [MUR]

Die Ausbildung dieser Ablöseblase wurde bereits intensiv untersucht. **Abbildung 7** zeigt den modellierten Verlauf der Höhe konstanter Windgeschwindigkeit, wie sie auf Gebäuden mit unterschiedlicher Höhe zu erwarten ist (vgl. [MUR]). Unterhalb dieser Höhe sind geringe Windgeschwindigkeiten und hohe Turbulenzgrade zu erwarten. Oberhalb kommt es mitunter sogar zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit.

Die praktischen Messungen haben ergeben, dass der theoretische Verlauf der Ablöseblase nur die ersten Meter nach der Ablösung verlässliche Werte liefert. Danach kommt es in der Regel zu einer Abflachung. Als Erfahrungswert lässt sich annehmen, dass der Verlauf der theoretischen Ablöseblase die ersten 5 Meter zutrifft. Dementsprechend sollte die Nabenhöhe über die Höhe an dieser Stelle hinausragen.

An der Gebäudekante ergibt sich, bedingt durch die Umströmung des Gebäudes, stets eine vertikale Windkomponente, das heißt ein teilweise in senkrechter Richtung strömender Wind. Wird ein Anlagentyp verwendet, der auf Schräganströmung empfindlich reagiert, bringt die Positionierung der Anlage an der Gebäudekante zusätzliche Unwägbarkeiten mit sich.

Kommt ein großer Teil des energiereichen Windes aus unterschiedlichen Richtungen, dann sollte die Nabenhöhe der Anlage, abhängig von der Höhe des Gebäudes, deutlich höher gewählt werden. Eine Positionierung der Anlage in der Mitte des Gebäudes kann in diesem Fall empfehlenswert sein.

Anlagenposition - Beispiel

Im Folgenden soll anhand eines Beispielstandortes die Wahl der Anlagenposition verdeutlicht werden. **Abbildung 8** zeigt einen potenziellen Anlagenstandort auf einem Gebäude (grün markiert) und seine nähere Umgebung in einem Umkreis von ca. 250 Metern. In **Abbildung 9** ist das Gebäude in Vogelperspektive zusammen



Abbildung 8: Vogelperspektive der Standortumgebung, Quellen: Luftbild: [GOOGLE], 3D-Gebäude: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 3D Stadtmodell

mit der Richtungsverteilung der Energie dargestellt. Das betrachtete Gebäude überragt die vorgelagerten Gebäude und Vegetation in Hauptwindrichtung. Der östliche Halbkreis wird durch höhere Bebauung dominiert, die jedoch aufgrund der geringen Windhäufigkeit einen vernachlässigbaren Einfluss haben.

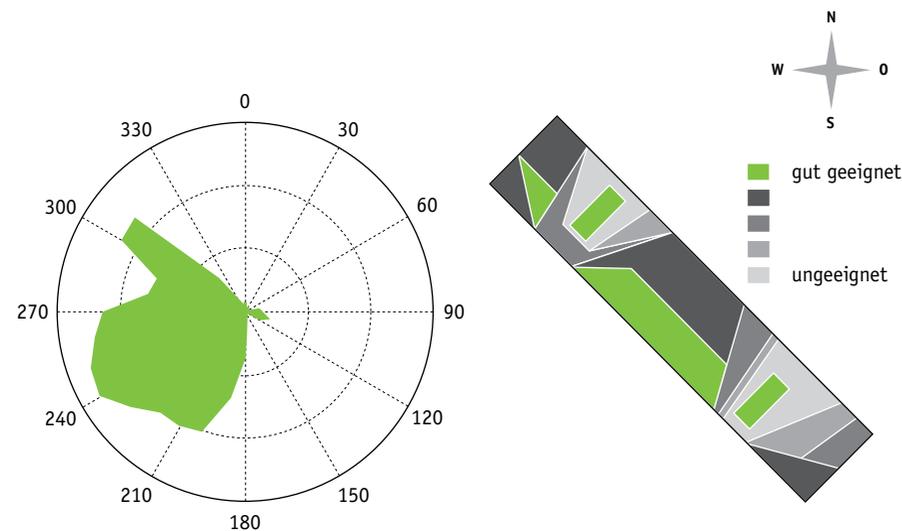


Abbildung 9: Draufsicht des Standortes mit möglichen Eignungsflächen und Richtungsverteilung der Energie (qualitative Darstellung)

In **Abbildung 9** ist die Eignung der Dachfläche für den Betrieb einer Kleinwindkraftanlage qualitativ dargestellt. Das Gebäude besitzt zwei Aufbauten, auf welchen die höchsten Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind. Diese verschatten große Teile der Dachfläche (dunkelgrau bis hellgrün), sodass die Windströmung nur noch an wenigen Flächen weitgehend ungehindert das Dach passieren kann. An den Gebäudeecken entstehen turbulente Wirbel, diese Bereiche sollten für die Positionierung ausgeschlossen werden. Die Kleinwindanlage sollte daher auf den Aufbauten oder an der südwestlichen Kante positioniert werden (dunkelgrün). Wie oben bereits dargestellt, sollte die Anlage über die Ablösegebiete hinausragen.

I.2 NOTWENDIGE ABSPRACHEN MIT NACHBARN

Vor der Planung einer Kleinwindenergieanlage sollten die Nachbarn über das Vorhaben informiert werden. Hierbei sollte auf mögliche Schattenwurf und Geräuschemission eingegangen werden, auf eventuelle Bedenken kann so im Vorfeld eingegangen werden.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Winddaten aus der näheren Umgebung:

Onlinetool für Windprognose, aktuelle Messdaten: Windfinder <http://www.windfinder.com>
Messdaten des Deutschen Wetterdienstes: <http://www.dwd.de>

Meteorologische Messungen im Stadtgebiet:

T.R. Oke: *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at urban sites*, World Meteorological Organization (WMO), WMO/TD-No. 1250, 2006

Grundlagen zur Windmessungen, Auswertung und Darstellung:

R. Gasch, J. Twele (Hrsg.): *Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*, 7. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011

Modellierung von Atmosphäre, Grenzschicht und Wind in urbanen Gebieten:

Martin Best et al.: *Small-scale wind energy – Technical Report*, Met Office, 2008

Ermittlung des Windangebotes für Kleinwindanlagen:

Report on Resource Assessment, *Wind Energy Integration in the Urban Environment (WINEUR)*, Deliverable 5.1, 2007
SWIIS Consortium: *Small Wind Turbines Wind Resource Assessment – Some Basic Issues*, 2005

Strömungsuntersuchungen an Gebäuden und Ausbildung der turbulenten Strömung auf Gebäudedächern:

Sáenz-Díez Muro et al.: *Two-Dimensional Model of Wind Flow on Buildings to Optimize the Implementation of Mini Wind Turbines in Urban Spaces*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada 2010

Studie, in welcher Ergebnisse unterschiedlicher Dachanbindungen vorgestellt werden:

Warwick Wind Trials, <http://www.warwickwindtrials.org.uk>

Grundlagen zur Windenergie in urbanen Gebieten:

S. Mertens: *Wind energy in the built environment*, Brentwood (UK): Multi-Science Publishing, 2006

Simulation der Umstömung von Siedlungsstrukturen:

F. Balduzzi et al.: *Microeolic turbines in the built environment: Influence of the installation site on the potential energy yield*, *Renewable Energy* 45 (2012) S. 163-174

II. WAHL DER KLEINWINDANLAGE

Jonathan Amme | Mathis Buddeke

KERNFRAGEN DES KAPITELS

- _Liegt für die Anlage ein Zertifikat vor?
- _Welche Bauform soll die Anlage haben (Widerstands,- oder Auftriebsprinzip, horizontale oder vertikale Achse) ?
- _Für welche Windklasse soll die Anlage ausgelegt sein?
- _Liegt eine Leistungskennlinie vor?
- _Wird eine Schwach-, oder eine Starkwindanlage benötigt?
- _Ab welcher Windgeschwindigkeit soll die Anlage ein-, bzw. abschalten?
- _Über welche Sicherheitssysteme verfügt die Anlage?
- _Soll die Anlage zur Batterieladung, Eigenstromnutzung oder Netzeinspeisung verwendet werden?
- _Liegt eine Ertragsprognose seitens des Herstellers vor, und ist diese schlüssig?
- _Welche Schallemissionen treten durch die Anlage auf?



Die Eignung einer Kleinwindkraftanlage für einen Standort ist von vielerlei Faktoren abhängig. Deshalb sollte bei der Auswahl mit Bedacht und Geduld vorgegangen werden. Entscheidend für einen erfolgreichen Betrieb ist eine umfangreiche Kenntnis über den Standort und den gewünschten Anwendungsfall. Ist diese Kenntnis gegeben, kann in der Regel aus einer Vielzahl von Anlagen ausgewählt werden. Der Markt der Kleinwindkraftanlagen, insbesondere im kleineren Leistungsbereich bis 5kW Nennleistung, ist sehr vielfältig. Daher sollen im Folgenden die wichtigsten Kenngrößen und Auswahlkriterien dargestellt werden. Denn unter den angebotenen Anlagen befinden sich neben ausgereiften Produkten auch einige, deren Qualitätsstandards und Leistungsangaben fragwürdig sind.

Der Bundesverband Windenergie stellt zur Anlagenauswahl eine Marktübersicht zur Verfügung, in der zahlreiche Kleinwindanlagen aufgeführt sind [\[BWE_MÜ\]](#). In dieser Marktübersicht werden vergleichende Kennwerte von KWEA dargestellt, die in diesen Handlungsempfehlungen aufgegriffen werden um die Anlagenauswahl möglichst einfach zu gestalten.

Neben der Kleinwindkraftanlage selbst sind weitere Komponenten wie z.B. Mast, Blitzschutz und elektrische Komponenten von großer Bedeutung. In der Regel sollten Hersteller eine geeignete Ausstattung für die gängigen Anwendungsfälle vorhalten (s. Kapitel III).

II.1 LEISTUNGSKATEGORIEN

Kleinwindanlagen sind in vielen verschiedenen Größen und Ausführungen erhältlich, eine Kategorisierung kann unter verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden: Sinnvolle Kriterien stellen beispielsweise der Anwendungsfall (netzferner oder netzgekoppelter Betrieb), die Spannungsebene (Klein-, Nieder- oder Mittelspannung) und die Nennleistung dar. Daneben existieren jedoch weitere Ansätze zur Klassifizierung wie etwa die überstrichene Rotorfläche [IEC_2]. Je nach Richtlinie und Institution finden sich unterschiedliche Kategorien in der Literatur, eine umfangreiche Übersicht kann [HEN] entnommen werden. Folgende Tabelle zeigt eine Einteilung des Bundesverbandes Windenergie e.V.:

Einsatzgebiet	Spannung	Nennleistung	Bezeichnung	Vereinfachung
Batteriegestütztes Inselssystem	12/24/48 V DC	0,5 – 1,5 kW	Mikrowindenergieanlage	Leistungsklasse 1
Anlage auch netzgekoppelt	230 V AC			
Gebäudeintegrierte Installation	230 V AC	1,5 – 5 kW	Miniwindenergieanlage	Leistungsklasse 2
Freie Aufstellung	400 V AC			
Gewerbegebiete, Landschaft	400 V / 20 kV AC	30 – 100 kW	Mittelwindenergieanlage	Leistungsklasse 3

Tabelle 1: Leistungskategorien des Bundesverbandes Windenergie e.V. [BWE_Q]

II.2 QUALITÄT UND ZERTIFIZIERUNG

In der Europäischen Norm DIN EN / IEC 61400-2 [IEC_2] sind die Auslegungskriterien für kleine Windenergieanlagen geregelt. Hersteller, die ihre Anlagen nach dieser Norm auslegen und herstellen, beachten in der Regel alle relevanten Sicherheitskriterien und stellen qualitativ hochwertige Produkte her. Jedoch sind nur sehr wenige auf dem Markt verfügbare Anlagen nach dieser Norm zertifiziert. Dies hängt mit dem finanziellen Aufwand zusammen, der für eine solche Zertifizierung notwendig ist. Eine Überprüfung der KWEA ist daher in der Regel sehr wichtig, da auch viele Produkte mit minderwertiger Qualität auf dem Markt verfügbar sind. Neben der DIN EN 61400-2 gibt es weitere, internationale Normen, wie z.B. den amerikanischen „AWEA Small Wind Turbine Performance and Safety Standard“ oder den britischen MCS- Standard. Diese stellen vereinfachte Prüfverfahren speziell für kleine Windenergieanlagen dar. Im deutschen Raum existiert kein vereinfachtes Verfahren.

Bei der Auswahl der Windenergieanlage ist darauf zu achten, ob ein entsprechendes Zertifikat vorliegt. Sollte dies nicht der Fall sein, ist die Qualität der Anlagen zu überprüfen. Hierzu kann der Hersteller nach den Auslegungskriterien befragt werden. Eine weitere Möglichkeit bieten Erfahrungsberichte im Internet. Eine gute Sammlung an Erfahrungsberichten können in einschlägigen Foren gefunden werden, beispielsweise unter [KWA].

II.3 ANLAGENTYPEN: BAUFORMEN

In diesem Kapitel sind die Typen der Kleinwindkraftanlagen näher erläutert. Grundsätzlich unterscheidet man kleine wie große Anlagen danach, wie die Wandlung der im Wind befindlichen Energie vorgenommen wird. Eine Übersicht der gängigen Anlagentypen ist in **Abbildung 10** aufgeführt.

Widerstands- und Auftriebsprinzip

Ein Teil der Anlagen nutzt das Widerstandsprinzip, welches die Schubkraft eines im Windfeld befindlichen Widerstandskörpers in mechanische Energie wandelt. Dieses Prinzip bietet sich vor allem bei einfachen Anwendungen an, bei denen die Effizienz eine untergeordnete Rolle spielt. Diese Anlagen sind ohne großen finanziellen Aufwand und Entwicklungsarbeit herstellbar, ihre Effizienz ist allerdings sehr begrenzt. So liegt das theoretische Maximum des Wirkungsgrades für eine solche Anlage bei unter 20%, bezogen auf die im Wind befindliche kinetische Energie. Ein klassisches Anlagenbeispiel für das Widerstandsprinzip ist der geschlossene Savonius-Rotor.

Ein weiteres Prinzip, das sogenannte Auftriebsprinzip, ist die gängigste und effizienteste Form der Energiewandlung. Bei der Umströmung eines (schräg angestellten) Rotorblattes entsteht ein Druckunterschied durch die ungleichen Windlaufängen an Ober- und Unterseite. Hieraus resultiert eine Kraft senkrecht zur Anströmung – die Auftriebskraft. Anlagen, welche aerodynamisch optimierte Flügelprofile aufweisen, können so theoretisch bis ca. 60% der Windenergie in mechanische Energie wandeln. Bei großen Windkraftanlagen werden ausschließlich sogenannte Auftriebsläufer verwendet. Auch im Segment der KWEA nutzt ein Großteil der Anlagen dieses Prinzip. Da sich diese Anlagentypen für die Energieerzeugung deutlich besser eignen, wird im Folgenden ausschließlich auf Auftriebsläufer eingegangen. Ein Beispiel für das Auftriebsprinzip ist der Darrieus-Rotor.

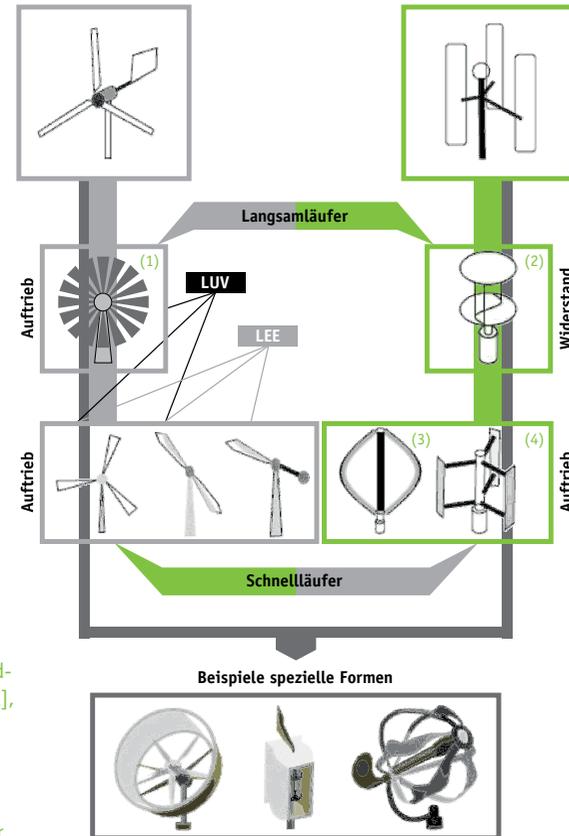
Detaillierte Beschreibungen der beiden Prinzipien können zum Beispiel [TWE] entnommen werden.

Drehachse

Eine weitere maßgebliche Unterscheidung der Anlagenbauform ist in der Achsenorientierung vorzunehmen. Bei großen Windenergieanlagen hat sich die Bauform mit horizontaler Drehachse durchgesetzt. Bei KWEA finden sich auch zahlreiche Produkte, welche eine vertikale Drehachse aufweisen.

Jede dieser Bauformen verfügt über Vor- und Nachteile, die bei der Anlagenauswahl entscheidend sein können. **VERTIKALACHSANLAGEN** eignen sich besonders für dicht besiedelte Aufstellungsorte. Durch die meist geringe Blattspitzengeschwindigkeit sind die Schallemissionen dieser Anlagentypen gering und erfordern vergleichsweise geringe Abstände zu kritischen Immissionsorten. Ein weiterer Vorteil des Anlagentyps ist die geringe Empfindlichkeit gegenüber schnellen Windrichtungsänderungen. Da eine Windrichtungsnachführung bei einer Vertikalachsenanlage nicht notwendig ist, kann die Energie selbst bei schneller und häufiger Änderung der Anströmungsrichtung genutzt werden. Zudem sind vertikale Anlagen meist unempfindlicher gegenüber vertikaler Schräganströmung [BAL].

Diese Bauform zieht allerdings auch Nachteile mit sich. So sind die Anlagen oft schwerer als Horizontalachsenanlagen gleicher Leistung. Dies führt in der Regel auch zu höheren Preisen. In puncto Effizienz haben die Vertikalachsenanlagen ebenfalls geringere Kennwerte als Horizontalachsen. Das heißt sie wandeln bei gleicher überstrichener Rotorfläche weniger kinetische Energie in elektrische Energie um. Beispiele für vertikalachsige Rotoren sind der Savonius- und der Darrieus-Rotor (in **Abbildung 10** dargestellt).



HORIZONTALACHSANLAGEN stellen den Großteil der am Markt befindlichen Anlagen dar. Wie auch bei großen WEA der Megawattklasse arbeiten die meisten Hersteller mit Rotoren, welche drei Blätter aufweisen, es sind jedoch auch Anlagen mit zwei, vier oder fünf Rotorblättern verfügbar. Die Vorteile dieser Kleinwindanlagen liegen in der hohen Effizienz und der zum Teil kompakten Bauweise. Im Allgemeinen kann eine Horizontalachsenanlage bei gleicher Rotorfläche mehr Energie wandeln als die meisten anderen Bauformen. Dabei sind sie in der Regel kompakt und im Vergleich zu Vertikalachsenanlagen verhältnismäßig leicht.

Abbildung 10:
Bauformen von Windenergieanlagen [TEX],
Legende:
(1) Westernmill,
(2) Savonius-Rotor,
(3) Darrieus-Rotor,
(4) H-Darrieus-Rotor

Da Horizontalachsen eine Windnachführung benötigen, sind sie empfindlich gegenüber schnell wechselnden Windrichtungen. An Standorten mit hoher Umgebungsbebauung oder anderer Hindernisse kann dies zu geringerem Energieertrag und höherer Belastung für die Anlage führen.

Unterschiedliche Konzepte kommen bei der Windnachführung zum Einsatz. Die meisten Anlagen, vor allem im kleinen Leistungsbereich, nutzen eine Windfahne, welche die Anlage automatisch ausrichtet. Dieses System ist einfach und wenig stör anfällig. Andere, vornehmlich größere Anlagen, verfügen über eine automatische Nachführung. Hierfür sind eine Windrichtungsmessung, sowie weitere technische Komponenten wie z.B. ein motorgestützter Antrieb erforderlich, die einen größeren finanziellen Aufwand mit sich bringen.

Ein weiterer Nachteil, insbesondere für die Anwendung in der Stadt, sind die Schallemissionen der Anlagen. Die von der Anlage verursachten Geräusche sind maßgeblich von der Umlaufgeschwindigkeit der Rotorblattspitzen sowie der qualitativen Ausführung der Rotorblätter abhängig. Die Umlaufgeschwindigkeit ist im Vergleich zu Vertikalachsen in der Regel recht hoch. Die nach der TA Lärm einzuhaltenen Abstände der Anlagen zum nächsten Immissionsort sind folglich größer als bei anderen Bauformen. Auf Anfrage sollte der Hersteller ein baureihenbezogenes Schallgutachten bereithalten, welches ggf. für die Genehmigungsplanung herangezogen werden kann.

	Vertikalachsenanlage	Horizontalachsenanlage
Effizienz	mäßig	hoch
Windnachführung	nicht notwendig	verschiedene Konzepte
Toleranz Schräganströmung	hoch	niedrig
Schallemissionen	gering	meist höher
Gewicht	vergleichsweise hoch	vergleichsweise niedrig
Kosten	vergleichsweise hoch	vergleichsweise niedrig

Tabelle 2:
Vor- und Nachteile unterschiedlicher Bauformen von KWEA (verallgemeinernde Übersicht, Abweichung bei einigen Anlagen möglich).

II.4 AUSLEGUNGSPARAMETER VON WINDENERGIEANLAGEN

Der Anwendungsfall bestimmt die Leistungsklasse der verwendeten Anlage. Je nach Marktsegment und Leistungsklasse steht jedoch eine Vielzahl von Anlagen zur Auswahl. Folgende Beschreibung der Auslegungsparameter soll bei der Auswahl der richtigen Anlage für den jeweiligen Standort helfen.

Windklasse

Die Europäische Norm DIN EN 61400-2 [IEC_2] beschreibt unterschiedliche Windklassen, nach welchen Kleinwindenergieanlagen ausgelegt werden können. In der Regel verfügen nur zertifizierte Anlagen über Angaben zu der zugrunde gelegten Windklasse, daher eignet sich dieser Parameter nur für einen Teil der am Markt befindlichen Anlagen.

Die Windklassen umfassen die Klassen I-IV, sowie die Klasse S, welche für Standorte gilt, die sich nicht in den Klassen I-IV abbilden lassen. Standorte mit reichem Windangebot werden in der Klasse I berücksichtigt. Die angenommene Durchschnittswindgeschwindigkeit von 10 m/s in Nabenhöhe gilt für gute Küstenstandorte. Die meisten KWEA werden jedoch mit relativ kleinen Türmen aufgestellt, so dass diese für die Klassen mit geringeren Windgeschwindigkeiten II-IV ausgelegt sind. Eine Einordnung des Standortes hilft dabei, eine Anlage zu finden, welche auch für die auftretenden Lasten ausgelegt ist, ohne dabei überdimensioniert zu sein.

Sobald man die zu verwendende Windklasse ermittelt hat, kann man die Leistung der Anlage auswählen. Die maximale Leistung ist ggf. aus der Betrachtung des vorliegenden Anwendungsfalles bekannt (siehe II.6).

Nennleistung

Abbildung 11 zeigt beispielhaft die Leistungskennlinie einer Kleinwindanlage. Der Betriebsbereich einer Anlage liegt zwischen der Einschaltwindgeschwindigkeit v_{Ein} und der Abschaltwindgeschwindigkeit v_{Aus} . Der zweite Graph zeigt den sog. **LEISTUNGSBEIWER** der Anlage in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Er kann als Wirkungsgrad verstanden werden und nach dem Betz'schen Gesetz theoretisch maximal rund 60 % erreichen.

Die Auswahl der möglichen Anlagen kann anhand der Nennleistung vorgenommen werden. Diese entspricht nicht immer der maximalen Leistung der Anlage, weicht jedoch nur geringfügig ab. Die Nennleistungen von KWEA sind stets für eine **NENN-WINDGESCHWINDIGKEIT** v_{Nenn} angegeben, welche von Anlage zu Anlage variiert. Ein Vergleich zweier Anlagen mit gleicher Nennleistung ist also ohne das Heranziehen weiterer Parameter nicht möglich. Es ist daher ratsam, die Leistung der Anlagen über den gesamten Betriebsbereich, d.h. über alle relevanten Windgeschwindigkeiten, zu vergleichen. Hierzu sollte unbedingt eine **GEMESSENE LEISTUNGSKENNLINIE** (idealerweise nach DIN EN 61400-12) herangezogen werden. Seriöse Hersteller stellen diese für ihre Anlagen bereit. Für die weiterführende Beurteilung verschiedener Anlagen sollte zudem die **ÜBERSTRICHENE ROTORFLÄCHE** bekannt sein.

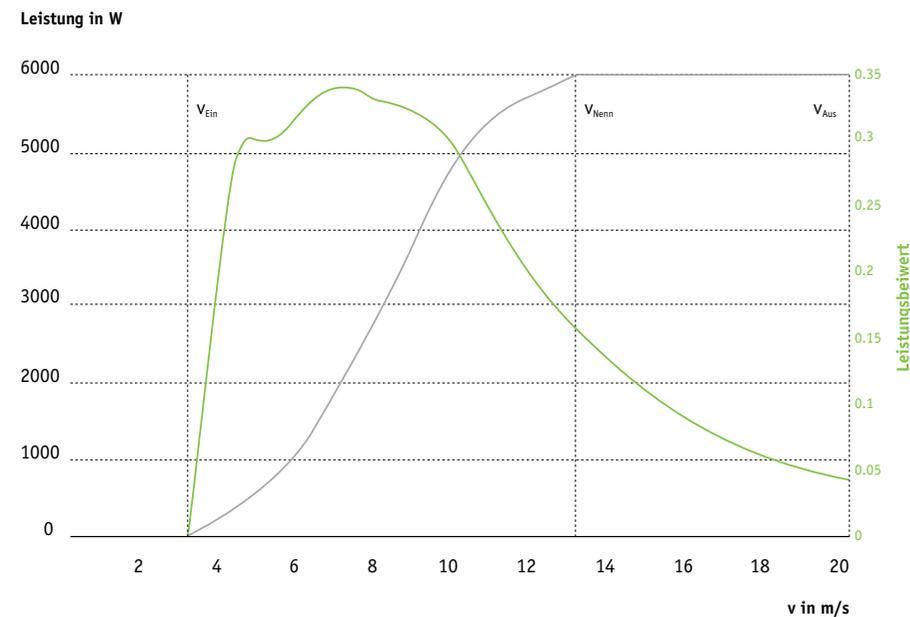


Abbildung 11: Beispielhafte Leistungskennlinie (grau) und Leistungsbeiwert (grün) mit Einschaltwindgeschwindigkeit v_{Ein} , Nenngeschwindigkeit v_{Nenn} und Abschaltwindgeschwindigkeit v_{Aus}

Wie bereits erwähnt kann ein sinnvoller Vergleich anhand einzelner Kenngrößen nicht vorgenommen werden. Es gilt daher, die bekannten Parameter auf spezifische Größen zurückzuführen. Hier bietet sich die **SPEZIFISCHE LEISTUNG** an, sie gibt die Leistung pro m^2 Rotorfläche an. Diese Leistung kann unter Verwendung der Rotorfläche und der Nennleistung berechnet werden. Auf diese Weise lassen sich Anlagen verschiedener Größen und Bauformen vergleichend darstellen.

Vergleich von Anlagen

Als Hilfestellung zur Kontrolle von Herstellerangaben ist in **Abbildung 12** der Energiegehalt des Windes pro Quadratmeter bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten dargestellt. Zusätzlich sieht man in dem Diagramm die theoretisch entnehmbare Leistung nach Betz. Die spezifische Leistung aller Anlagen (bei Anlagen mit Konzentrator gilt hier die Konzentratorfläche) sollte für alle Windgeschwindigkeiten deutlich unterhalb des theoretischen Maximums liegen.

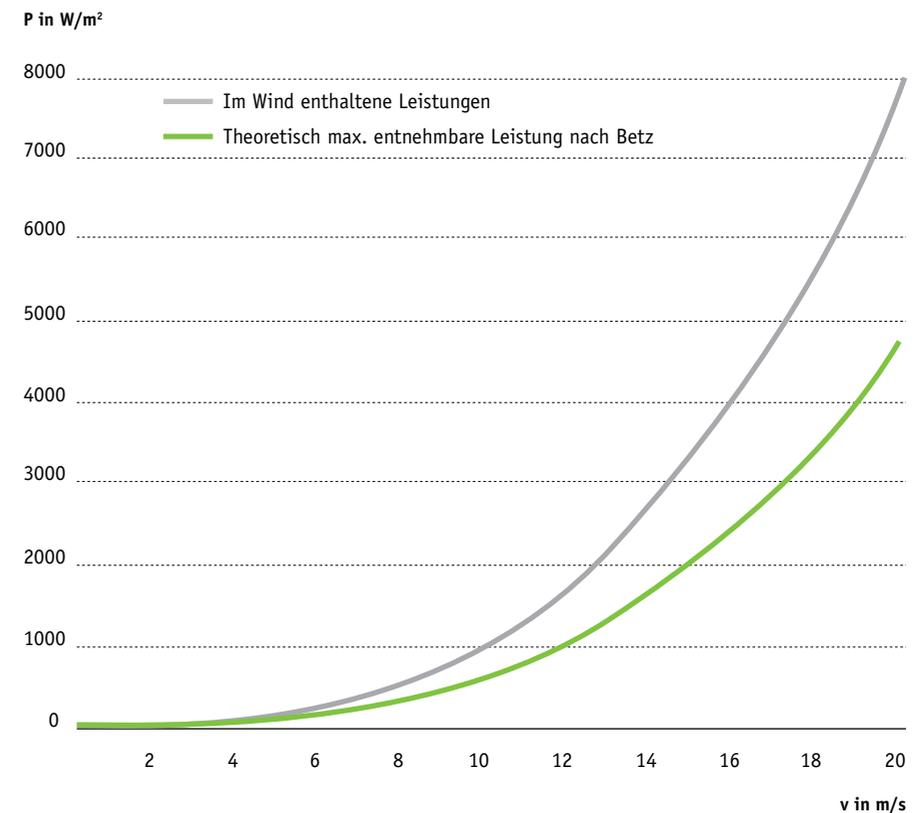


Abbildung 12: Im Wind enthaltene Leistung und theoretisch entnehmbare Leistung (Normbedingungen)

Bei dem Vergleich dieser Kenngröße tritt ein weiterer wichtiger Auslegungsschwerpunkt in Erscheinung. KWEA können zwar die gleiche Nennleistung aufweisen, jedoch können Anlagen mit großen Rotoren diese Nennleistung schon bei geringerer Windgeschwindigkeit erreichen. Solche **SCHWACHWINDANLAGEN** sind besonders für Standorte mit niedrigen Windgeschwindigkeiten geeignet. Die spezifische Flächenleistung ist dabei besonders gering (ca. 100-200 W/m^2). Bei **STARKWINDANLAGEN** kann die spez. Leistung bis zu 500 W/m^2 und mehr betragen. Diese Anlagen sind in der Regel nur für Standorte mit sehr hohen Windgeschwindigkeiten geeignet.

Bei Herstellerangaben zur spez. Leistung handelt es sich häufig um theoretische Werte. Besonders bei Anlagen mit Konzentrator sollten sie kritisch hinterfragt werden.

In **Abbildung 13** sind die spezifischen Flächenleistungen zahlreicher KWEA aufgetragen. Anhand der Grafik kann man erkennen, ob eine Anlage in einem gängigen Auslegungsbereich liegt. Es sind einige Anlagen zu erkennen, welche eine sehr hohe spez. Leistung aufweisen. Hierbei handelt es sich um Anlagen mit Konzentrator (siehe Sonderbauformen in **Abbildung 10** unten links). Die dargestellte Grenze zwischen Schwach- und Starkwindanlagen ist kein feststehender Wert sondern als eine mögliche Unterteilung zu verstehen.

Oft werden Anlagen angeboten, die eine sehr geringe Einschaltwindgeschwindigkeit aufweisen. In der Tat ist es wichtig, dass die Anlagen aus dem Stillstand heraus schon bei leichtem Wind anlaufen. An den meisten Standorten, an denen die durchschnittliche Windgeschwindigkeit über der Anlaufgeschwindigkeit liegt, fällt der Ertrag in diesem Windgeschwindigkeitsbereich jedoch relativ gering aus (vgl. **Abbildung 3**). Ähnlich verhält es sich mit der **ABSCHALTWINDGESCHWINDIGKEIT**. Die meisten Anlagen schalten bei ca. 20m/s ab.

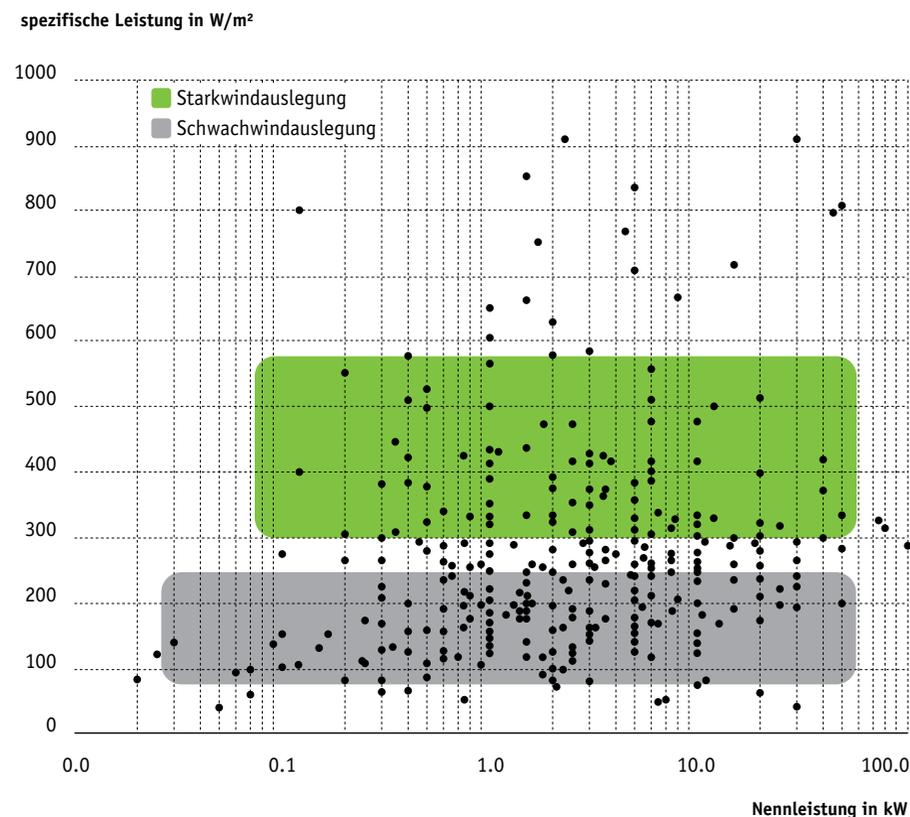


Abbildung 13:
Spezifische
Leistung pro m²
Rotorfläche für
zahlreiche KWEA

An Binnenlandstandorten ist die Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten über 20 m/s so gering, dass der Energieertrag, welcher durch die Abschaltung verloren geht, minimal ist. Schaltet die Anlage jedoch schon bei 15 m/s ab, kann es an windstarken Standorten zu Mindererträgen kommen. Hier ist es sinnvoll, die am Standort gewonnenen Windmessungen genauer zu untersuchen.

II.5 SICHERHEITSSYSTEME

Unabhängig von der Bauform der Anlage sollte jeder Typ über eine **STURMSICHERUNG** verfügen. Dabei wird zwischen aktiven und passiven Sicherungskonzepten unterschieden. Passive Systeme bedürfen keiner weiteren Überwachung und sind in der Regel ausfallsicher. Jedoch sollten sie insbesondere nach Stürmen auf Funktionsfähigkeit geprüft werden. Aktive Systeme bedürfen einer Kontrollfunktion, welche in der Anlagensteuerung implementiert ist. Bei aktiven Sicherheitssystemen sollte stets ein weiteres, redundantes Sicherheitssystem vorhanden sein, um die Anlage bei Versagen des ersten aktiven Systems in einen sicheren Betriebszustand zu versetzen.

Im einfachsten Fall wird die Anlage bei sehr starken Windgeschwindigkeiten abgeschaltet. Dies hat zur Folge, dass die statischen Belastungen auf die Tragkonstruktion vermindert werden, da stehende Flügel dem Wind eine geringere Angriffsfläche bieten als ein drehender Rotor.

Manche Anlagen mit horizontaler Achse verfügen über eine sogenannte **HELIKOPTERSICHERUNG** (passiv). Bei zu starkem Wind wird der gesamte Rotor über ein Gelenk am Drehpunkt in die horizontale Ebene gekippt. Die Windlast verringert sich hierbei erheblich und stellt geringere statische Anforderungen an die Anlage. Bei anderen Anlagen wiederum wird die Windlast durch eine Verdrehung der Rotorblätter, dem sog. **PITCH** (aktiv/passiv), verringert. Diese Anlagen werden teilweise auch bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten betrieben. Kleinwindenergieanlagen mit vertikaler Achse weisen selten eine Pitchfunktion auf und können auch nicht in die horizontale Ebene gekippt werden. So verfügen diese Anlagen meistens über eine **DREHZAHLÜBERWACHUNG** und ein aktives Bremssystem.

Insbesondere bei Anlagen, welche an oder auf Gebäuden aufgestellt werden, sollte der Hersteller ein geeignetes **BLITZSCHUTZKONZEPT** anbieten, um die Anlage in das gebäudeeigene Blitzschutzkonzept einzubinden (s. **Kapitel III.3**). Darüber hinaus gibt es weitere Sicherheitseinrichtungen wie Eisabwurfsicherung oder Fledermausschaltung, die an einigen Aufstellungsorten sinnvoll sind. Jedoch bieten nur wenige Hersteller diese Optionen an, da eine zusätzliche Steuerung und Sensorik (Temperatur-, Luftdruck- und Feuchtemessung) notwendig sind.

II.6 AUSWAHL DES ANLAGENTYP NACH ANWENDUNGSFALL

Eine grobe Einteilung der kleinen Windenergieanlagen kann nach dem Anwendungsfall vorgenommen werden. Hier unterscheidet man grundsätzlich zwischen den Anwendungsgebieten: **BATTERIELADUNG**, **EIGENSTROMNUTZUNG** und **NETZEINSPEISUNG**.

Batterieladung

In der Regel werden zur Batterieladung Anlagen des kleinsten Leistungssegments < 1 kW verwendet. Diese dienen als Energiequelle für dezentrale Systeme wie z.B. Messstationen, Segelboote und Caravans. Neben der Effizienz stehen bei diesen Anwendungsfällen vor allem das Gewicht und die Transportierbarkeit im Vordergrund.

Oft sind die Anlagen als Komplettpaket mit einem passenden Batterielader in der gewünschten Spannungsebene (12 V, 24 V DC) verfügbar. Je nachdem, ob die An-

lage die einzige Energiequelle zur Batterieladung darstellt, wird die Anlagengröße ausgewählt. Sofern weitere Erzeuger zur Ladung beitragen, die Kleinwindkraftanlage also nur einen Teil der Energie erzeugt, kann die Nennleistung der Anlage so gewählt werden, dass die gesamte Energie in der Batterie gespeichert werden kann. Die Nennleistung sollte demnach die maximale Ladeleistung der Batterie (bzw. des Ladereglers) nicht übersteigen. Dies führt dazu, dass nahezu der gesamte Strom genutzt werden kann.

Ist die KWEA der einzige Erzeuger, sollte die Baugröße so gewählt werden, dass die Anforderung der Last auch an mäßigen Standorten gedeckt werden kann. Dies führt zu Anlagen mit größerer Nennleistung und dazu, dass bei Teillastbetrieb, also geringeren Windgeschwindigkeiten, stets ausreichend Energie für die Deckung der Last zur Verfügung steht. In den meisten Fällen bietet sich auch hier eine Anlage an, welche für schwache Windgeschwindigkeiten ausgelegt ist. Auch bei sehr kleinen Anlagen gibt es verschiedene Auslegungsfälle.

Bei einer solchen Dimensionierung kann es dazu kommen, dass die KWEA mehr Energie erzeugt, als zeitgleich genutzt werden kann. Sofern kein separater Lastwiderstand installiert ist, über den die überschüssige Energie verbraucht werden kann, muss die Anlage abgeschaltet werden. Die Anlagendimensionierung stellt also stets ein Kompromiss aus Anlagennutzung und Versorgungssicherheit dar.

Bei sehr kleinen Anlagen ist die Auswahl der möglichen Masten sehr groß, da die eingetragenen Lasten, welche proportional zur Anlagenhöhe sind, durch die Anlagen verhältnismäßig gering sind. Je nach Anwendungsfall gibt es bereits geeignete Montagemöglichkeiten (z.B. Segelboot).

Netzeinspeisung

Die Einspeisung in das öffentliche Verteilnetz stellt die geringsten Anforderungen an die Anlagendimensionierung. Limitierende Faktoren bei der Auswahl der Anlagengröße stellen, neben dem finanziellen Aufwand, lediglich der Standort sowie die mögliche Einspeisekapazität des Verteilnetzes dar. Bei der Netzeinspeisung wird die erzeugte Energiemenge vollständig in das Verteilnetz geleitet. Die Erzeugung ist also völlig unabhängig vom eigenen Energiebedarf.

Die **VERGÜTUNG** erfolgt in der Regel über das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG). In Deutschland gibt es, anders als in anderen EU- Staaten, keinen gesonderten **EINSPeisETARIF** für KWEA. Somit müssen sich die BetreiberInnen mit der gleichen Vergütung, wie sie auch bei WEA der Megawattklasse üblich ist, zufrieden geben. Da diese Vergütung weit unter dem Strombezugspreis liegt, lohnt sich dieser Anwendungsfall für Kleinwindanlagen im Allgemeinen nicht (vgl. **Kapitel V**).

Eigenstromnutzung

Sofern die KWEA zur Eigenstromerzeugung verwendet werden, d.h. in ein Hausnetz einspeisen soll, bedarf es auch hier einer genaueren Betrachtung. Es handelt sich hierbei um den bisher gängigen Anwendungsfall für kleine bis mittelgroße Anlagen, da die Verrechnung mit den vermiedenen Strombezugskosten die wirtschaftlich attraktivste Lösung darstellt (s. **Kapitel V**).

Wichtig ist hierzu vor allem, sich im vornherein über die Zulässigkeit des Anschlusses zu informieren (s. hierzu **Kapitel III.4**).

Um von der gesamten produzierten Energie profitieren zu können, sollte jede erzeugte Kilowattstunde im Gebäude verbraucht werden. Dies bedeutet für die Anlagengröße, dass die Nennleistung der KWEA etwa der geringsten, dauerhaft verbrauchten Leistung (Grundlast) im Gebäude entspricht. Bei großen Gebäuden (z.B. große Mehrfamilienhäuser) stellt dies i.d.R. kein Problem dar, da durch Haustechnik, Beleuchtung, Standby-Betrieb und weitere Komponenten mit stetigem Strombedarf eine ausreichende Grundlast gewährleistet ist. Auch bei landwirtschaftlichen Betrieben mit Viehzucht oder Industriebetrieben ist der zeitgleiche Verbrauch des erzeugten Stroms gegeben. Bei Gebäuden mit wenigen Parteien, also zeitweise sehr geringem Energiebedarf (z.B. nachts) ist die Abnahme der Energie aus der Anlage nicht immer sichergestellt. Dies führt dazu, dass der erzeugte Strom bei zu groß dimensionierter Anlage unvergütet in das öffentliche Verteilnetz eingespeist wird oder abgeschaltet werden muss.

Folglich ist eine gute Kenntnis des zeitlichen **LASTVERLAUFS** für die Auswahl der Anlage und für deren wirtschaftlichen Betrieb wichtig. Bei direkter Nutzung der Energie ist es sinnvoll, den Verbrauch an die bereitgestellte Energie anzupassen. Hierfür gibt es vorgefertigte Systeme, welche die Verbraucher anhand der aktuellen Produktionsdaten der Anlage sowie Wetterprognosen steuern können. Der Eigenverbrauchsanteil kann mit Speichern weiter vergrößert werden.

Darüber hinaus muss die Anlage (auch bei Eigenstromnutzung) für den Betrieb am örtlichen Verteilnetz geeignet sein. Sofern handelsübliche Wechselrichter verwendet werden, sollten diese den Anforderungen des Netzbetreibers gerecht werden. Zur Sicherheit sollte vom Netzbetreiber eine Bestätigung über die Eignung der Geräte eingeholt werden (vgl. **Kapitel III.2**).

II.7 STANDORTABHÄNGIGE AUSWAHLKRITERIEN

Wie bereits erläutert ist die Auswahl der richtigen Anlage stark von den Standortbedingungen abhängig. Im Folgenden sollen Fragestellungen aufgezeigt werden, die für die Auswahl einer passenden Kleinwindenergieanlage beachtet werden sollten.

Als grundlegend für die Beurteilung eines Standortes wird eine Windmessung vorausgesetzt. Denn nur mit einer guten Kenntnis über die örtlichen Verhältnisse kann die Bauform und vor allem die optimale Position am Standort ermittelt werden (**siehe hierzu Kapitel I**). Viele Hersteller stellen Ertragsprognosen für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten zur Verfügung. Diese können als Anhaltspunkt herangezogen werden.

Durch individuelle Standorteigenschaften kann der reale Ertrag jedoch stark abweichen. Deshalb sollte bei den Herstellerangaben darauf geachtet werden, welche Häufigkeitsverteilung den Prognoseberechnungen zugrunde gelegt wurde. Im Standardfall wird eine Rayleigh-Verteilung bzw. eine Weibull-Verteilung mit dem Formfaktor $k=2.0$ verwendet.

Anlagenposition

Die Art der Aufstellung ist in der Regel bekannt. Die Anlagen können am Boden installiert werden. Dies bedeutet, dass ein Mast mittels eines Fundamentes oder Ankers am Boden befestigt wird. Zahlreiche Masttypen verwenden ebenfalls Abspannungen um die Konstruktion zu verstärken. Die freie Aufstellung ist die deutlich einfachere und günstigere Lösung. Prinzipiell gibt es für die Aufstellung am Boden keine Einschränkungen für bestimmte Bauformen.

Eine weitere Art der Aufstellung ist die **DACHMONTAGE**. Hier sollte sorgfältig abgeklärt werden, ob eine Anbindung auf dem Dach tatsächlich notwendig ist. In städtischen Gebieten ist die Dachanbindung wegen der hohen Bebauung in der Regel die einzige Möglichkeit, eine freie Windanströmung zu gewährleisten. Generell gibt es auch hier keine eindeutige Einschränkung für bestimmte Bauformen. Allerdings muss bei einer Dachaufstellung sichergestellt sein, dass die Anlagen herstellerseitig für die Dachmontage geeignet sind.

Kleinwindanlagen verursachen Schwingungsanregungen, welche sich in Form von Geräuschen oder Gebäudeschwingungen äußern können (siehe hierzu Kapitel III.1). Eine Mastkonstruktion, die eine sichere Aufstellung auf Gebäuden gewährleistet, sollte in diesem Fall durch den Hersteller bereitgestellt werden. Bei einer Untersuchung der Tragfähigkeit des Gebäudes durch einen Statiker müssen die dynamischen Lasten mit berücksichtigt werden (vgl. hierzu Kapitel III.1).

Schräganströmung

Bei der Beplanung von Dachstandorten sollte außerdem berücksichtigt werden, dass der Wind durch die Gebäudeumströmung beeinflusst werden kann. Je nach Aufstellungsort kann dabei eine schräge Anströmung (von unten oder oben) erfolgen. In den Messungen der HTW Berlin wurde dieses Phänomen untersucht (siehe Kapitel I) für die in dem Forschungsvorhaben verwendete Vertikalachsenanlage wurde eine sehr hohe Toleranz gegenüber Schräganströmung festgestellt.

Es ist anzunehmen, dass diese Erkenntnisse auf KWEA mit ähnlicher Bauform übertragbar sind. Horizontalachsenanlagen können auf schräge Anströmung sehr viel intoleranter reagieren. Sie führt hier zu einer signifikanten Minderung des Anlagenwirkungsgrads und hat somit geringere Erträge zur Folge. Zu einer starken Schräganströmung kommt es oft unmittelbar hinter Gebäudekanten oder hohen Hindernissen.

Schallemissionen

Ein weiteres zentrales Auswahlkriterium stellen die Schallemissionen von KWEA dar. Wie zuvor beschrieben, weisen Kleinwindenergieanlagen mit horizontaler Achse meist signifikant höhere Geräuschemissionen auf als jene mit vertikaler Achse. Befindet sich der Standort in der Nähe von Wohnbebauung, sollte untersucht werden, ob die Vorgaben der TA Lärm [TA_LÄ] eingehalten werden. Diese Richtlinie schreibt die maximal zulässigen Immissionen am nächstgelegenen Immissionsort vor. In Tabelle 3 sind diese Werte für verschiedene Siedlungsgebiete aufgeführt.

Art des Gebietes	Tags (6-22 Uhr)	Nachts (22-6 Uhr)
Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
Kern-, Dorf-, und Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
Allg. Wohngebiete u. Kleinsiedlungsgebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete, Krankenhäuser Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Tabelle 3: Grenzwerte für unterschiedliche Gebiete nach TA Lärm [TA_LÄ]

Bei kleinen Windenergieanlagen, welche nach IEC 61400 oder dem britischen MCS zertifiziert sind, gehört die Schallmessung zum Zertifizierungsprozess nach IEC 61400-11 [IEC_11]. In jedem Fall sollte der Hersteller Angaben zu den notwendigen Mindestabständen in den jeweiligen Strukturgebieten machen können. Am Beispiel von Abbildung 14 soll die Auswertung einer solchen Schallmessung veranschaulicht werden. Diese zeigt beispielhaft die nötigen Abstände, nach denen die unterschiedlichen Immissionsgrenzen eingehalten werden. Die Intensität der Emissionen steigt mit der Windgeschwindigkeit an. Für die Bemessung sollte stets der Emissionswert im Bereich der Nennwindgeschwindigkeit (z.B. 10 m/s) herangezogen werden. Eine genaue Definition gibt es hierfür jedoch nicht. Folglich kann auch die Emission bei der Abschaltwindgeschwindigkeit herangezogen werden. Je nach Standort tritt dieser Arbeitspunkt jedoch sehr selten auf. Daher ist eine Bewertung dieses Emissionswertes nicht praktikabel.

Windgeschwindigkeit in m/s

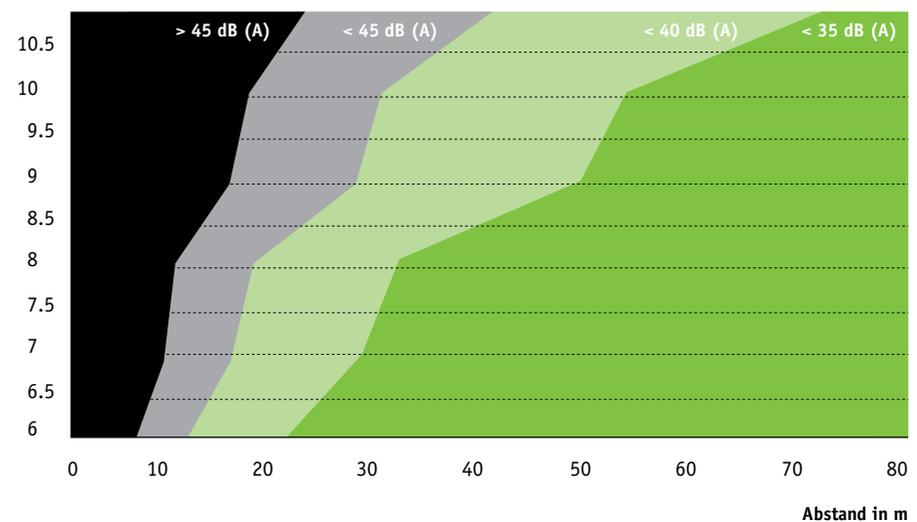


Abbildung 14: Ergebnisse der Schallmessung einer Kleinwindenergieanlage mit vertikaler Achse [GAU]

Schattenwurf und Reflexion

Zu den immissionsrelevanten Größen zählen neben der Geräuschentwicklung die optischen Immissionen auf schützenswürdige Räume. Die Grundsätze hierfür sind im Bundes-Immissionsschutzgesetz festgelegt [BIMSCHG].

Optische Immissionen umfassen den Schattenwurf der Anlage sowie periodische Reflexionen an den Rotorblättern (Diskoeffekt). Maßgeblich für die Ermittlung der Einwirkung auf einen Immissionsort ist die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer, also die kumulierte Beschattung während eines Kalenderjahres unter der Annahme eines stets wolkenlosen Himmels. Die maximale Beschattungsdauer darf 30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus 30 Minuten pro Kalendertag nicht überschreiten. Für die Beurteilung eines Immissionsortes sind stets die Einwirkungen aller im Umkreis vorhandenen WEA einzubeziehen. Weitere Informationen können Kapitel IV entnommen werden.

Unter Zuhilfenahme eines Sonnenbahnindikators kann die Verschattung durch eine Kleinwindanlage an möglichen Immissionsorten abgeschätzt werden. Detaillierte Aussagen können nur durch geometrische Berechnungen des Sonnenbahnverlaufs und der jeweiligen Standortgeometrie getroffen werden. Solche Berechnungsmodelle sind stets in professioneller Planungssoftware für Photovoltaikanlagen enthalten. Derzeit befinden sich auch weitere Online- Anwendungen in der Entwicklung, welche zukünftig für die Berechnung der Verschattungsdauer zur Verfügung stehen.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Umfassende Abhandlung zu Windkraftanlagen:

R. Gasch, J. Twele (Hrsg.): Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, 7. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011

Marktübersicht über verfügbare Kleinwindanlagen:

L. Velsler, T. Paulsen: Kleinwindkraftanlagen - BWE Marktübersicht spezial, Bundesverband Windenergie e.V., 1. Aufl., Berlin 2011

K. Christensen: Catalogue of Small Wind Turbines 2012, Nordic Folkecenter for Renewable Energy, 2012

Kategorisierung von Kleinwindanlagen:

J. Twele et al.: Qualitätssicherung im Sektor der Kleinwindenergieanlagen, Bundesverband Windenergie e.V., Berlin 2011, Download unter: http://www.windenergie.de/sites/default/files/download/publication/qualitaetsicherung-im-sektor-der-kleinwindenergieanlagen/bwe-kweastudie_twele_final_2.pdf

Umfangreicher Feldtest von Kleinwindanlagen:

Zeeland Studie: http://provincie.zeland.nl/milieu_natuur/windenergie/kleine_windturbines/

Erfahrungsberichte von Anlagenbetreibern und Hilfestellung für potenzielle Betreiber:

Internet-Forum www.kleinwindanlagen.de

Akzeptanz vertikaler Windenergieanlagen:

G. Hübner et al.: Pilotstudie zur Akzeptanz vertikaler Windenergieanlagen, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2009, Download unter <http://mmvr-des.burg-halle.de/~schikora/workshop/index2.html>

Kleinwindanlagen in bebauter Umgebung:

Guidelines for Small Wind Turbines in the Built Environment, Wind Energy Integration in the Urban Environment (WINEUR), 2007

Sicherheit kleiner Windenergieanlagen:

DIN EN 61400-2:2006: Windenergieanlagen Teil 2: Sicherheit kleiner Windenergieanlagen, 2006

III. TECHNISCHE MASSNAHMEN FÜR INSTALLATION, ANSCHLUSS UND BETRIEB

Jonathan Amme | David Willnauer

KERNFRAGEN DES KAPITELS

- _Auf welcher Art von Dach soll die Anlage installiert werden?
- _Liegen Angaben zur Standsicherheit durch den Hersteller vor?
- _Muss ein Nachweis zur Tragfähigkeit des Daches erbracht werden?
- _Soll die Anlage frei aufgeständert oder fest angebunden werden?
- _Ist die Anlage für Wartungsmaßnahmen gut zugänglich?
- _Kann es durch die Anlage zu Eigenfrequenzanregungen im Gebäude kommen?
- _Wurde die Anlage herstellerseitig ausgewuchtet?
- _Was ist bei der Auswahl der Wechselrichters zu beachten?
- _Welche Blitzschutzmaßnahmen müssen getroffen werden?
- _Welche technischen Maßnahmen müssen bei Eigenverbrauch und welche bei Netzeinspeisung getroffen werden?
- _Ist für die Aufstellung ein Kran erforderlich?



In diesem Kapitel wird auf Lösungsansätze für die technische und elektrische Anbindung der Anlage an ein Gebäude näher eingegangen. Da jeder Standort sehr individuelle Voraussetzungen für die Aufstellung und Anbindung einer Anlage bereitstellt, können hier nur allgemeine Anforderungen an die Betriebssicherheit dargestellt werden.

III.1 DACHANBINDUNG UND STANDFESTIGKEIT

In dem Forschungsvorhaben der HTW Berlin wurden ausschließlich Flachdächer zur Aufstellung der KWEA verwendet. Neben der Montage auf Flachdächern ist auch die Montage von Anlagen z.B. an einem Satteldach denkbar. Bei dieser Art der Anbindung besteht jedoch meist nicht die Möglichkeit, auf Standardlösungen für den Masten einer Anlage zurückzugreifen, da jedes Gebäude unterschiedliche Voraussetzungen bietet. Zudem ist die Anlagengröße z.B. bei der seitlichen Anbindung an ein Gebäude technisch beschränkt. Aus diesem Grunde wird im Folgenden ausschließlich auf die Montage auf Flachdächern eingegangen.

Grundsätzlich empfiehlt sich eine klare Trennung zwischen anlagenseitigen und gebäudeseitigen Komponenten vorzunehmen. Diese Trennung ist insbesondere für die Nachweise der Standsicherheit sinnvoll. So kann der Anlagenhersteller alle relevanten Informationen zur Anlage und dem von ihm gelieferten Mast bereitstellen. Ein Statiker muss sich in diesem Fall nur um die **TRAGFÄHIGKEIT DES GEBÄUDES** kümmern. Die Daten für die Belastung des Daches gehen dann aus den Unterlagen des Herstellers, sowie den standortspezifischen Daten hervor. Es sei hier nochmals erwähnt, dass ein Nachweis der Tragfähigkeit dringend zu empfehlen ist, auch wenn dies durch die Genehmigungsfreiheit nicht gefordert ist (siehe hierzu Kapitel IV.3). Der Nachweis kann zudem, falls vorhanden, vom Versicherer gefordert werden.

Ist an dem Standort bereits eine Konstruktion vorhanden, welche als Mast verwendet werden soll, ist es sinnvoll, die Schnittstelle zwischen eben dieser Konstruktion und der KWEA selbst zu wählen. Der Aufwand für die Erstellung einer Prüfstatik für die Anwendung erhöht sich in diesem Fall um die Berechnung der gebäudeseitigen Aufständering.

Die **STANDSICHERHEIT** der Anlagen ist nach DIN EN / IEC 61400-2 [IEC_2] zu gewährleisten, die statischen Anforderungen sind in der DIN 1055-4 [DIN_1055] festgelegt. Die statischen Anforderungen an das Dach ergeben sich aus zwei Lastkomponenten: Statische Lasten wirken durch die Gewichtskräfte der KWEA und gegebenenfalls der Ballastierung. Dazu kommen die auf den Rotor wirkenden dynamischen Windlasten, die sich über den Turm und Gestell auf das Gebäude übertragen. Hinzu kommen weitere Aufschläge für Schneelasten in Abhängigkeit der Schneelastzone, in der sich das Gebäude befindet.

Für eine statisch optimale Platzierung der KWEA wird die tragende Struktur des Daches analysiert. Die Auflagepunkte (Füße) der Anlage sollten möglichst nah der Auflager der Dachkonstruktion platziert werden, um die Kräfte optimal in die tragende Struktur des Gebäudes einzuleiten.

Grundsätzlich stehen für die Anbindung der Kleinwindenergieanlage auf einem Flachdach zwei verschiedene Konzepte zur Auswahl: Sie kann fest mit dem Gebäudedach verbunden oder mit Ballastierung frei aufgestellt werden. Je nach Standortgegebenheit muss eine Entscheidung getroffen werden, denn eine eindeutig zu bevorzugende Variante gibt es aufgrund der Vor- und Nachteile jeder einzelnen Option nicht.

Feste Dachanbindung

Bei dieser Variante wird der Turm der KWEA an mehreren Punkten fest mit dem Dach verbunden. Die Anbindung an die tragende Struktur kann beispielsweise durch Verschrauben geschehen. In jedem Fall ist eine Durchdringung der Dachhaut erforderlich, anschließend muss das Dach abgedichtet werden.

Der Vorteil gegenüber der Ballastierung liegt in der geringeren statischen Belastung. So kann gegebenenfalls eine Aufstellung auch auf Dächern ermöglicht werden, auf denen aus statischen Gründen die Verwendung von Ballast unzulässig ist.

Bei der Prüfung der Tragfähigkeit für diese Aufstellungsvariante muss zusätzlich zur Druckfestigkeit, bedingt durch Gewicht und Windlast der Anlage, auch die Sicherheit bei Zuglasten nachgewiesen werden, da die windzugewandten Auflagepunkte bei hohen Windlasten sehr stark entlastet werden können.

Freie Aufständering

Bei der freien Aufständering wird die KWEA mit dem zugehörigen Mast ohne feste Anbindung auf das Gebäude „gestellt“. Die Standfestigkeit wird bei dieser Variante durch das Aufbringen von zusätzlichem Ballast an den Fußpunkten des Mastes gewährleistet. Da bei der freien Aufständering keine baulichen Eingriffe in das Gebäude erforderlich sind, ist der Aufbau (und der eventuelle spätere Rückbau) mit weniger Aufwand verbunden.

Ein Durchdringen der Dachhaut ist nicht erforderlich, lediglich die Dachbedeckung (z.B. Flussskies) muss an den Füßen gegebenenfalls entfernt werden. Für die Nivellierung der Anlage sind gegebenenfalls Fundamente an den Auflagepunkten notwendig, die zugunsten der Haltbarkeit dauerelastisch sein sollten (dies kann beispielsweise durch Faserverstärkung erreicht werden). Zum Schutz der Dachhaut sowie einer homogenen Verteilung der auf die Fundamente wirkenden Kräfte ist es angebracht, den aufliegenden Ballast durch eine elastische Schicht, beispielsweise eine Bautenschutzmatte (Gummischrot), zu trennen.

Die erforderliche Mindestmenge Ballast ergibt sich aus dem Tragfähigkeitsnachweis. Statisch vorteilhaft ist die Nutzung der bereits vorhandenen Dachbedeckung als Ballast. Es ist darauf zu achten, die zulässige Druckbelastung der Wärmedämmung (falls vorhanden) unter der Dachhaut nicht zu überschreiten.

Zugang

Der Zugang zur Anlage muss für Wartungsmaßnahmen jederzeit gewährleistet sein.

Schwingungen und Schwingungsentkopplung

Im Betrieb der KWEA werden Schwingungen auf das Gesamtsystem übertragen. Die anregenden Frequenzen und die dadurch wirkenden Kräfte sind stark von der Bauform und Größe der Anlage abhängig und umfassen ein breites Spektrum über den gesamten Betriebsbereich. Das System aus KWEA und tragender Struktur besitzt in Abhängigkeit der Einzelkomponenten und deren Verbindung eine Vielzahl von Eigenfrequenzen. Liegen diese im anregenden Frequenzspektrum, kommt es zu verstärkten Schwingungen. Die Mastkonstruktion sollte herstellerseitig für die durch den Anlagenbetrieb entstehenden Schwingungsanregungen ausgelegt sein.

Unwuchten und Blatt-Turm-Interaktion

Der Großteil der Schwingungen bei Windenergieanlagen wird durch Unwuchten angeregt. Man unterscheidet zwischen **MASSENUNWUCHTEN** und **AERODYNAMISCHEN UNWUCHTEN**: Massenunwuchten rühren aus ungleicher Massenverteilung des Rotors, aerodynamische Unwuchten können aus unterschiedlichen Blattanstellwinkeln, unsymmetrischer Blattanordnung sowie unsymmetrischer Anströmung resultieren.

Der Rotor einer Windenergieanlage sollte herstellerseitig ausgewuchtet sein. Es kommt jedoch vor, dass die Auswuchtgüte einer Anlage nicht ausreicht, um einen schwingungsarmen Betrieb zu gewährleisten. Der Hersteller sollte hierzu weitere Informationen liefern können. Ein nachträgliches Auswuchten kann zu hohen Kosten führen, die den wirtschaftlichen Betrieb einer kleinen Anlage gefährden. Selbst bei zertifizierten Anlagen können Unwuchten nicht ausgeschlossen werden, da die Zertifizierung an einem Prototypen erfolgt und die Einhaltung der Auswuchtgüte bei jeder Anlage individuell zu prüfen ist.

Eine weitere wichtige, prinzipbedingte und daher unvermeidbare Schwingungsquelle ist die sogenannte Blatt-Turm-Interaktion. Der Nachlaufwirbel der Blätter wird vom Wind „mitgenommen“ und trifft auf den Turm/Mast. Bei Anlagen mit vertikaler Achse bewegen sich zusätzlich die windabgewandten Blätter auch durch diese Wirbel. Dadurch werden Schwingungen mit Vielfachen der Drehzahl angeregt. Daher können schon bei Schwachwind, d.h. vor Aufschalten der WEA größere Schwingungen auftreten, wenn Resonanzeffekte mit Teilen der Struktur oder dem Gebäude bestehen.

Vertikalachsige Windenergieanlagen

Im Gegensatz zu Windenergieanlagen mit horizontaler Achse treten bei Vertikalachsen grundsätzlich aerodynamische Unwuchten auf. Dies rührt aus den unterschiedlichen Anströmverhältnissen der einzelnen Blätter her. Beim Umlauf erfahren die Blätter ein Drehmoment das sich kontinuierlich ändert. So entsteht eine ungleiche Momentenverteilung über den gesamten Rotor, die zu einer aerodynamischen Unwucht führt. Diese Ursache für Unwuchten ist systemimmanent und im Gegensatz zu Massenunwuchten nicht beherrschbar und sollte bei der Systemauslegung berücksichtigt werden.

Generator

Eine weitere Schwingungsquelle ist der Generator. Er emittiert hochfrequente Vibrationen deren Stärke von seiner momentanen Leistung und der Drehzahl abhängen. Die Frequenzen betragen im Allgemeinen ein Vielfaches der Pol(paar)zahl. Während sich die zuvor genannten Schwingungsursachen unmittelbar auf die Anlagenstabilität auswirken, sind Generatorschwingungen tendenziell den Emissionsgrößen zuzuordnen: Die hochfrequenten Vibrationen werden, sofern keine Dämpfung stattfindet, in das Gebäude eingekoppelt und können dort zu unangenehmen Schallbelastungen führen.

Schwingungsübertragung und Schwingungsreduzierung

Schwingungen können zur vorzeitigen Materialermüdung führen und sollten daher vermieden bzw. gedämpft werden. Zudem können schwingende Komponenten zusätzliche **SCHALLQUELLEN** darstellen, die sich als Luftschall in die Umgebung ausbreiten und als Körperschall auf das Gebäude übertragen.

Die Übertragung auf das Gebäude ist besonders kritisch zu bewerten: Zum einen kann eine Anregung des Daches langfristig zur Ermüdung desselben führen. Zum anderen können aus dem Eintrag von Körperschall Lärmbelastungen innerhalb des Gebäudes resultieren (vgl. Kapitel IV.3).

Auftretenden Schwingungen kann mit verschiedenen Maßnahmen begegnet werden: Verringerung der Anregungen (z.B. durch Auswuchten), Verschieben oder Entfernen der kritischen Resonanzfrequenzen (z.B. durch Entfernen oder Nachspannen einzelner Komponenten) oder durch den Einsatz von Dämpfern. Eine schwingungstechnische Entkopplung sollte in Rücksprache mit dem Anlagen- bzw. Turmhersteller erfolgen, möglicherweise werden hierfür bereits Standardlösungen angeboten.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, das Schwingungsverhalten einer Anlage zu überwachen und diese bei Überschreiten eines Grenzwertes abzuschalten. Hierfür gibt es Lösungen seitens einiger Anlagen- und Wechselrichterhersteller.

III.2 WECHSELRICHTER INKL. VERKABELUNG

Maßgeblich für die Auswahl des Wechselrichters ist der Eingangsspannungsbereich, dieser muss zum Ausgangsspannungsbereich der Kleinwindenergieanlage passen. Es sollte ein Gerät verwendet werden, das speziell für den Einsatz mit KWEA entwickelt wurde, um optimale Wirkungsgrade und damit Erträge zu erzielen. Von Geräten, die für den Betrieb mit einer Photovoltaikanlage ausgelegt sind, wird abgeraten, da sie nicht auf die Betriebseigenschaften von KWEA optimiert wurden. Ein guter Wechselrichter verfügt über die Möglichkeit, die Anlagenkennlinie einzuprogrammieren. Möglicherweise bietet der Hersteller der Kleinwindenergieanlage ein entsprechend vorprogrammiertes Gerät an.

Beträgt die Leistung der Anlage mehr als 4,6 kVA, ist eine 3-phasige Einspeisung mit einem entsprechenden Wechselrichter vorgeschrieben. Der Wechselrichter sollte weiterhin über einen Überspannungsschutz verfügen, sofern die WEA über keine Drehzahlbegrenzung verfügt und somit kein Schutz vor einer Überspannung auf Anlagenseite besteht. Bei der Verkabelung ist grundsätzlich auf kurze Wege zwischen KWEA und Wechselrichter bzw. KWEA und Akkumulator/Verbraucher zu achten, um die Verluste zu minimieren. Es sollten UV-beständige Kabel und Leitungen sowie Leitungsführungssysteme verwendet werden.

Die Installation und Verkabelung des Wechselrichters ist nur von einem Fachbetrieb durchzuführen!

III.3 BLITZSCHUTZ

Es wird empfohlen, die KWEA und alle elektrisch leitfähigen Komponenten vor Blitzeinschlägen zu schützen und Maßnahmen zum Schutz vor Überspannungen zu ergreifen. Es ist zu prüfen, ob ein äußerer Blitzschutz vorgeschrieben ist.

Äußerer Blitzschutz

Ein äußerer Blitzschutz schützt bei Blitzeinschlägen, die direkt in die zu schützende Anlage erfolgen würden. Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten die Anlage einzubinden:

- 1) Integration in vorhandenen Blitzschutz:
Die KWEA wird in den vorhandenen Blitzschutz einbezogen, damit Blitzströme kontrolliert abgeleitet werden. Da hierbei die Anlage selbst als Fangeinrichtung dient, ist sie nicht geschützt sondern aktiver Teil des Blitzschutzes.
- 2) Externe Fangeinrichtung:
Es wird eine externe Fangeinrichtung installiert, in deren Schutzwinkel sich die KWEA befindet. Hierbei sind vorgeschriebene Trennungsabstände zwischen KWEA sowie der Verkabelung zu Bauteilen, die mit dem Blitzschutz verbunden sind, erforderlich. Diese Möglichkeit bietet einen höheren Schutz der Anlage, ist jedoch mit einem größeren finanziellen Aufwand verbunden.

Grundsätzlich sollten sich möglichst wenige technische Einrichtungen direkt an der Anlage befinden, um die Wahrscheinlichkeit einer direkten Beschädigung zu vermeiden.

Innerer „Blitzschutz“ / Überspannungsschutz

Als Überspannungsschutz werden die Maßnahmen gegen Überspannungen als Auswirkungen des Blitzstromes und der Blitzspannung auf Installationen sowie elektrische und elektronische Anlagen bezeichnet. Ein Überspannungsschutz ist bei Privatobjekten im Allgemeinen nicht vorgeschrieben. Ein Beispiel: Die KWEA ist nicht in den äußeren Blitzschutz eingebunden und es kommt zu einem Einschlag in die Blitzschutzanlage. Durch Spannungsüberschläge zur KWEA oder ihrer Verkabelung oder aber durch das Einkoppeln von Induktionsspannungen kann es zur Beschädigung von KWEA und Wechselrichter kommen.

Je nachdem wie der äußere Blitzschutz umgesetzt wird, kann ein Überspannungsschutz realisiert werden:

- 1) Für die 1. Variante des äußeren Blitzschutzes wird ein blitzstromtragfähiger Überspannungsschutz vor dem Wechselrichter auf der Gleichspannungsseite zum Schutz desselben installiert.
- 2) Für die 2. Variante des äußeren Blitzschutzes ist wie unter 1. zu verfahren, jedoch wird ein angepasstes Bauteil verwendet werden (da keine hohen Blitzströme sondern geringere Induktionsströme fließen).

III.4 NETZANSCHLUSS UND ZÄHLEINRICHTUNG

Der Anschluss der Anlage hängt davon ab ob die Energie in das öffentliche Netz eingespeist oder selbst verbraucht werden soll.

Netzeinspeisung

Der Anschluss richtet sich nach den Technischen Anschlussbedingungen (TAB) des regionalen Netzbetreibers und erfolgt bei Neuanlagen nach VDE-AR-N 4105 [VDE_4105]. Beträgt die Leistung der Anlage mehr als 4,6 kVA, ist eine 3-phasige Einspeisung vorgeschrieben.

Grundsätzlich sind die Installation der Zählerinrichtung(en) und die Vorgehensweise beim Netzanschluss einer Kleinwindenergieanlage wie bei einer Photovoltaikanlage durchzuführen. Das Energieversorgungsunternehmen (EVU) ist nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [EEG_12] zur Abnahme der gewandelten Energie verpflichtet.

Der Anschluss des Erntezählers erfolgt in der Regel am ungezählten Strompfad direkt am Hausanschlusskasten (HAK). Größere Entfernungen zwischen KWEA und dem Netzverknüpfungspunkt führen zu höheren Kosten, zum einen durch die Kosten für längere Leitungen und zum anderen durch höhere Leitungsverluste. In diesem Fall ist es möglich, die Anlage an den gezählten Strompfad anzuschließen und den Strom durch das Hausnetz zu leiten.

Im Folgenden sind beide Anschlussprinzipien dargestellt:

1. Anschluss des Erntezählers am ungezählten Strompfad (Abbildung 15)

Der Anschluss des Erntezählers (EZ) erfolgt vor dem vorhandenen Bezugszähler (BZ). Der vorhandene Bezugszähler kann erhalten bleiben. Es sind Kabelstrecken bis zum vorhandenen Zählerplatz nötig. Die Leitungslänge ist proportional zu den Leitungsverlusten. Dieses Anschlussprinzip kommt bei Volleinspeisung zum Einsatz, es wird die vom Erntezähler ermittelte Energie nach EEG vergütet.

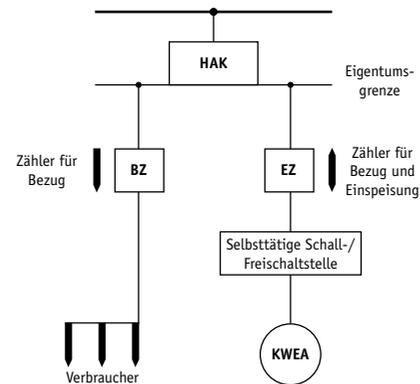


Abbildung 15:
Anschluss der KWEA am ungezählten Strompfad

2. Anschluss des Erntezählers am gezählten Strompfad (Abbildung 16)

Der Anschluss der Anlage erfolgt am gezählten Strompfad, das heißt hinter dem bisherigen Bezugszähler (BZ). Der vorhandene Bezugszähler wird vom EVU gegen einen Zweirichtungszähler getauscht, falls dieser nicht bereits vorhanden ist. Auf diese Weise wird eine separate Zählung von bezogener und eingespeister Energie ermöglicht. Dieses Anschlussprinzip kommt bei Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung zum Einsatz. Bei kaufmännisch-bilanzieller Durchleitung (§ 8 EEG) ist ein zusätzlicher Erntezähler (EZ) nötig (Abb. 16 rechts). In diesem Fall wird der selbst verbrauchte Energieanteil, also die Differenz zwischen der vom Erntezähler und der durch den Bezugszähler in Netzrichtung ermittelten Energiemenge, bilanziell als Energiebezug vom EVU betrachtet und zu dem geltenden Tarif berechnet. Ein Beispiel: Die KWEA hat im Abrechnungszeitraum 1000 kWh ins Hausnetz eingespeist. Der in das öffentliche Stromnetz geflossene Anteil beträgt 800 kWh und wird nach EEG vergütet. Folglich werden 200 kWh als Energiebezug durch das EVU in Rechnung gestellt.

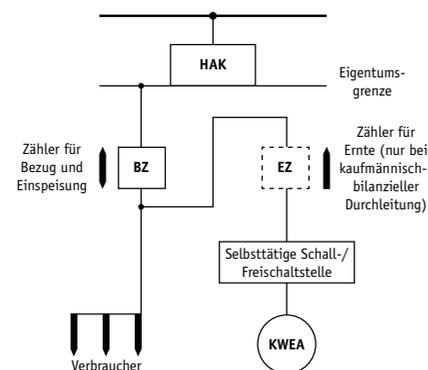


Abbildung 16:
Anschluss der KWEA am gezählten Strompfad

Nach Absprache mit dem EVU kann die Erntezähleinrichtung gegebenenfalls auch dezentral installiert werden – dies könnte beispielsweise bei komplexen Gebäudestrukturen nahe der KWEA sinnvoll sein (z.B. unter dem Dach bei Büro- oder Industriegebäuden), um zusätzliche, lange Kabelstrecken zu vermeiden. Die Anbindung sollte möglichst nahe der nächst größeren Unterverteilung geschehen.

Die Kosten für neue Zähler werden im Allgemeinen vom EVU übernommen, oft jedoch nur bis zu einem Grenzwert für die maximale Zählerleistung. Die Kostenübernahme sollte beim EVU erfragt werden.

Im Vorfeld sollte mit dem zuständigen Energieversorger geklärt werden, wo und wie die Zähleinrichtung integriert werden soll. Die Anmeldung beim EVU geschieht über einen eingetragenen und zugelassenen Elektrofachbetrieb. Auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Stromnutzungskonzepte wird in Kapitel V dieser Handlungsempfehlungen eingegangen. Für den Wechselrichter wird eine Konformitätserklärung des Herstellers benötigt.

EIGENVERBRAUCH

Ist die KWEA an das Hausnetz angeschlossen, soll jedoch nicht ins öffentliche Netz einspeisen, muss die KWEA gleichwohl dem EVU gemeldet werden.

Um Rückwirkungen auf das Netz auszuschließen muss gewährleistet werden, dass die Anlage im Falle einer Netzstörung keine Energie einspeist. Wechselrichter verfügen im Allgemeinen über eine selbsttätige Freischnittstelle, sodass die Anlage im Falle einer Störung automatisch vom Netz getrennt wird. Da die Vergütung im Eigenverbrauchsfall keine Rolle spielt, sind keine speziellen Zähler nötig. Jedoch muss der Strombezugszähler über eine Rücklaufsperrung verfügen, um den Energiebezug korrekt zu erfassen. Ist dies nicht der Fall, muss ein entsprechender Zähler (gebührenpflichtig) nachgerüstet werden.

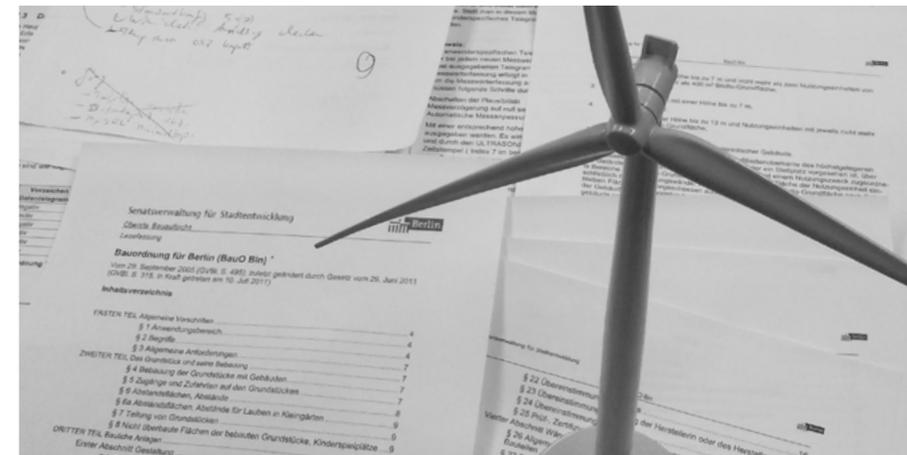
III.5 KRANAUFBAU UND STRASSENSPERRUNG

Wenn die Installation der Kleinwindenergieanlage nicht ohne Kran erfolgen kann, sind hierfür im Vorfeld Vorkehrungen zu treffen. Es muss ausreichend Stellfläche für das Kranfahrzeug vorhanden sein, falls sich diese auf öffentlichem Gelände befindet ist eine Sperrung und Sicherung der Fläche erforderlich. Die Sperrung wird im Allgemeinen vom Kranunternehmen angemeldet und durchgeführt.

Übersteigt das Gebäude eine bestimmte Höhe und befindet es sich in der Nähe eines Flughafens, kann für die Kranarbeiten eine Genehmigung des Luftfahrtamt nötig sein. Die geltenden Grenzwerte können dem Luftverkehrsgesetz [LUFT_VG] entnommen werden.

IV. RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE ERRICHTUNG VON KLEINWIND- ANLAGEN AUF BERLINER DÄCHERN

Jan Thorbecke



Im Zusammenhang mit der Errichtung von Kleinwindanlagen auf Dächern müssen viele Regelungen aus unterschiedlichen Rechtsbereichen beachtet werden. Der folgende Abschnitt soll der Bauherrin oder dem Bauherren von Kleinwindanlagen einen ersten Überblick darüber verschaffen, welche Regelungen das sind und welche rechtlichen Anforderungen sich daraus für das jeweilige Kleinwindvorhaben ergeben können. Die Darstellung konzentriert sich auf die Rechtslage in Berlin. Die Ausführungen, die sich auf das Berliner Landesrecht wie z.B. das Bauordnungsrecht und das Denkmalschutzrecht beziehen, können nicht zur rechtlichen Beurteilung von Kleinwindanlagen in anderen Bundesländern herangezogen werden.

Die Ausführungen basieren auf den praktischen Erfahrungen aus der Genehmigungsphase und berücksichtigen Erkenntnisse des Promotionsvorhabens des Verfassers zu den rechtlichen Rahmenbedingungen der Errichtung von Kleinwindanlagen. Teilweise beziehen sie sich auf das „Rechtliche Begleitgutachten - Kleinwindenergieanlagen“ der Kanzlei Gaßner, Siederer und Kollegen. Alle Ausführungen, Tabellen und Grafiken sind als Orientierungshilfe gedacht und ersetzen keine Rechtsberatung. Eine Haftung für fehlerhafte oder unvollständige Angaben wird nicht übernommen.

IV.1 RELEVANTE VORSCHRIFTEN FÜR DIE ERRICHTUNG VON DACH-KLEINWINDANLAGEN

Die folgende Liste gibt vorab einen Überblick über die Vorschriften, die im Zusammenhang mit der Errichtung von Kleinwindanlagen auf Dächern in Berlin relevant sein können. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Bauplanungsrecht:

- _Baugesetzbuch (BauGB): Insbes. die §§ 29 ff. BauGB;
- _Baunutzungsverordnung (BauNVO);
- _ggf. Bebauungsplan.

Bauordnungsrecht:

- _Bauordnung Berlin (BauO Bln):
- Insbes. §§ 3, 6, 9, 12, 15 f., 47, 60 ff. BauO Bln;
- _Bauverfahrensverordnung Berlin (BauVerfVO);
- _Technische Regelwerke: Insbes. DIN EN 61400-2 („Sicherheit kleiner Windenergieanlagen“) und DIN EN 1055-4 („Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Windlasten“).

Immissionsschutzrecht:

- _Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG): insbes. § 22 BImSchG;
- _Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm).

Naturschutzrecht:

- _Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), insbes. §§ 42 ff. BNatSchG.

Denkmalschutzrecht:

- _Denkmalschutzgesetz Berlin (DSchG Bln).

Luftverkehrsrecht:

- _§§ 12 ff. Luftverkehrsgesetz (LuftVG).

Aktuelle Regelungen und Gesetze können im Internet kostenfrei und in der aktuell geltenden Fassung abgerufen werden (s. Informationsquellen am Kapitelende).

IV.2 ANFORDERUNGEN DES FORMELLEN ÖFFENTLICHEN RECHTS

Soll eine Kleinwindanlage errichtet werden, stellt sich der Bauherr oder die Bauherrin i.d.R. zunächst die Frage, ob es dafür eine Zustimmung einer Behörde bedarf. Er oder sie möchte dann wissen, an welche Behörde er oder sie sich gegebenenfalls wenden muss und welche Unterlagen er oder sie bei der Behörde einreichen muss. Die Fragen beantworten sich nach den Vorgaben des Verfahrensrechts als Teil des sog. formellen Immissionsschutzrechts und des formellen Bauordnungsrechts.

Wird eine Baugenehmigung für die Kleinwind-Dachanlage benötigt?

Kleinwindanlagen sind bauliche Anlagen im Sinne der BauO Bln. Bevor eine Kleinwindanlage auf einem Gebäudedach installiert werden darf, muss nach § 60 Abs. 1 BauO Bln eigentlich die zuständige Bauaufsichtsbehörde eine Baugenehmigung erteilt haben. In bestimmten Fällen wird von diesem Grundsatz jedoch eine Ausnahme gemacht. Das folgende Schaubild veranschaulicht, wie geprüft werden kann, ob eine Kleinwindanlage in Berlin genehmigungsbedürftig ist. Die nachfolgenden Ausführungen greifen die einzelnen Prüfungsschritte auf. Für Zweifelsfälle und Fragen zu der Genehmigungsbedürftigkeit kann i.d.R. eine Beratung bei den Bauaufsichtsbehörden in Anspruch genommen werden. Die Gespräche mit den Behörden sollten

intensiv vorbereitet werden, um das Kleinwindprojekt hinreichend beschreiben zu können (z.B. durch Anfertigung der Baubeschreibung, Fotomontagen).

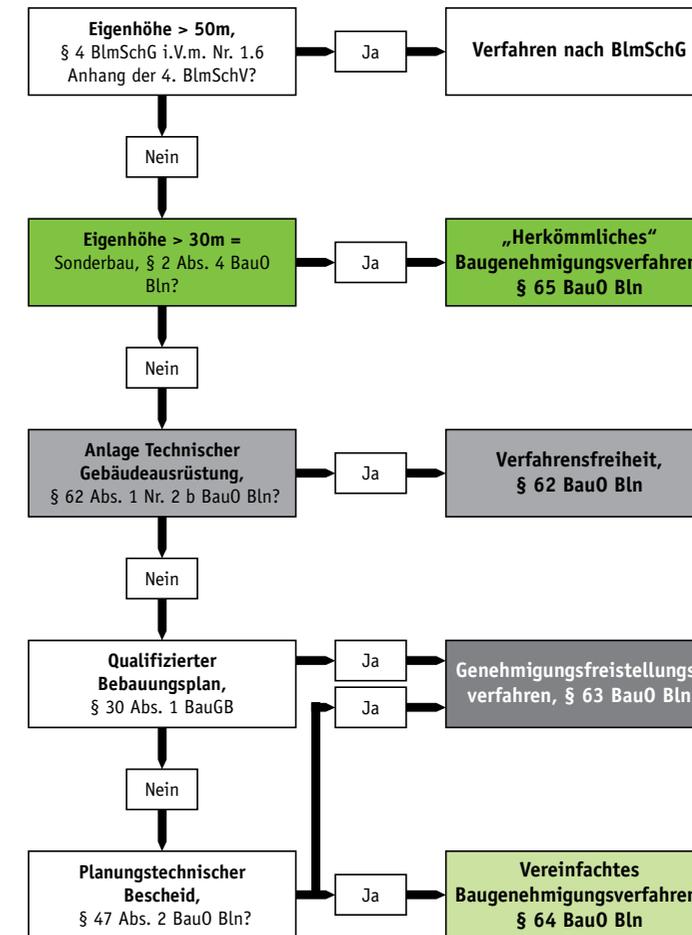


Abbildung 17:
Genehmigungsbedürftigkeit
von Kleinwindkraftanlagen
in Berlin

Immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG i.V.m. 4. BImSchV
Windkraftanlagen, die mehr als 50 m hoch sind, bedürfen keiner Baugenehmigung sondern einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung. Das ergibt sich aus § 4 BImSchG i.V.m. Nr. 1.6 Anhang zur 4. BImSchV. Durch die immissionsschutzrechtliche Genehmigung wird die Baugenehmigung nach der BauO Bln ersetzt (vgl. § 13 BImSchG, § 61 Abs. 2 BauO Bln).

Da bei der maßgeblichen Höhe von 50 m das Gebäude nicht eingerechnet wird (dazu [Sander/Gaßner], S. 8 ff.), können schon aus Gründen der Baustatik auf Dächern montierte Kleinwindanlagen nicht darunter fallen. Das Erfordernis eines immissionsschutzrechtlichen Verfahrens besteht auch dann nicht, wenn das Trägergebäude der Dachwindanlage selbst nach dem BImSchG genehmigungspflichtig ist (dazu [Sander/Gaßner], S. 11 f.). Eine Genehmigungsbedürftigkeit nach dem BImSchG ist daher für Aufdachanlagen praktisch ausgeschlossen.

„Herkömmliches“ Baugenehmigungsverfahren nach § 65 BauO Bln

Eine „herkömmliche“ Baugenehmigung nach Durchführung eines „herkömmlichen“ Baugenehmigungsverfahrens (§ 65 BauO Bln) ist theoretisch nur für Kleinwindanlagen einzuholen, die

- _eine Eigenhöhe von weniger als 50 m aufweisen **und**
- _ein Sonderbau i.S.d. § 2 Abs. 4 Nr. 2 BauO Bln sind;
- wenn sie also für sich genommen mehr 30 m messen.

Allein aus statischen Gründen sind auch solche Kleinwindanlagen auf Gebäuden kaum realisierbar.

Verfahrensfreiheit nach § 62 Abs. 1 BauO Bln

Kleinwindanlagen können im Einzelfall zu den Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung nach § 62 Abs. 1 Nr. 2 Buchst. b BauO Berlin gezählt und dann als solche verfahrensfrei errichtet werden. Das bedeutet, dass die Anlage ohne Anträge bei der Behörde sofort errichtet werden darf. Verfahrensfreiheit bedeutet allerdings NICHT, dass die Errichtung dieser Kleinwindanlagen automatisch und überall zulässig ist. Vielmehr muss der Bauherr oder die Bauherrin dann eigenverantwortlich prüfen, ob die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden.

Nach den Entscheidungshilfen der Berliner Bauaufsicht ([SenStadt], S. 127 f.) ist Voraussetzung dafür, dass die Anlage

- _der Eigenversorgung dient,
- _sich dem Gebäude unterordnet **und**
- _sich von ihrer Dimensionierung her innerhalb eines angemessenen Rahmens bewegt.

Die Anlage darf nur in das Hausnetz des Trägergebäudes einspeisen, um noch der Eigenversorgung zu dienen ([Sander/Gaßner], S. 20 f.). Damit sie sich von der Dimensionierung her unterordnet bzw. in einem angemessenen Rahmen bewegt, kann als Faustformel herangezogen werden, dass die Anlage nicht mehr als halb so hoch sein darf wie das Trägergebäude (Höhenverhältnis von 2/3 Trägergebäude zu 1/3 Dachanlage) und eine Eigenhöhe von 10 m nicht überschreiten darf ([Sander/Gaßner], S. 22 f.).

Die Verfahrensfreiheit von Kleinwindanlagen kann nach den Entscheidungshilfen der Berliner Bauaufsicht auch auf § 62 Abs. 1 Nr. 15 Buchst. e BauO Bln (...andere unbedeutende Anlagen oder unbedeutende Teile von Anlagen etc. ...) gestützt werden ([SenStadt], S. 128).

Genehmigungsfreistellung nach § 63 BauO Bln

Kleinwindanlagen, die nicht zu den verfahrensfreien Anlagen zählen, dürfen unter bestimmten Voraussetzungen dennoch ohne Baugenehmigung errichtet werden. Voraussetzung für die Genehmigungsfreistellung nach § 63 BauO Bln ist, dass die Anlage

- _nicht zu den verfahrensfreien Anlagen zählt,
- _kein Sonderbau i.S.d. § 2 Abs. 4 Nr. 2 BauO Bln ist, d.h. sie muss eine Eigenhöhe von weniger als 30 m (höchster vom Rotor umstrichener Punkt) haben,
- _im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans nach § 30 Abs. 1 oder 2 BauGB errichtet werden soll und den Anforderungen des Bebauungsplans (bzw. sind Ausnahmen oder Befreiungen nach § 31 BauGB erteilt worden) entspricht **oder** für sie ein planungsrechtlich umfassender Bauvorbescheid i.S.d. § 74 Abs. 2 BauGB für ihre Errichtung erwirkt wurde **und**
- _ihre Erschließung gesichert ist.

Verfahrenstechnisch muss der Bauherr oder die Bauherrin anders als bei den verfahrensfreien Anlagen die „Anzeige Genehmigungsfreistellung (§ 63 BauO Bln) und bestimmte Unterlagen (vgl. Tabelle unten auf S. 62) bei der zuständigen Bauaufsichtsbehörde einreichen. Er oder Sie darf erst dann ohne Baugenehmigung mit der Errichtung beginnen, wenn die Bauaufsichtsbehörde nicht innerhalb der Frist von einem Monat erklärt, dass das vereinfachte Baugenehmigungsverfahren durchgeführt werden soll oder das Kleinwindvorhaben vorläufig nach § 15 Abs. 1 S. 2 BauGB untersagt.

Vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach § 64 BauO Bln

Für Kleinwindanlagen ist eine „vereinfachte“ Baugenehmigung zu beantragen, wenn die Kleinwindanlagen

- _keine Sonderbauten i.S.d. § 2 Abs. 4 Nr. 2 BauO Bln sind, d.h. wenn sie eine Eigenhöhe von mehr als 30 m nicht überschreiten,
- _sie weder verfahrensfrei oder genehmigungsfreigestellt errichtet werden können.

Im vereinfachten Genehmigungsverfahren nach § 64 BauO Bln ist der Prüfungsumfang durch die Behörde reduziert. Verfahrenstechnisch muss der Bauherr oder die Bauherrin einen „Antrag auf vereinfachte Baugenehmigung (§ 64 BauO Bln)“ stellen und bestimmte Unterlagen einreichen (vgl. Tabelle auf S. 62). Der Bauherr oder die Bauherrin darf erst nach Erteilung der Baugenehmigung und wenn ggf. erforderliche Genehmigungen anderer Behörden vorliegen mit dem Bau seiner bzw. ihrer Kleinwindanlage beginnen.

Genehmigungen anderer Behörden

Im Rahmen eines Baugenehmigungsverfahrens beteiligt die federführende Bauaufsichtsbehörde andere Behörden, in deren Zuständigkeit Teilaspekte des Antrags fallen z.B. die Naturschutz- oder die Denkmalschutzbehörde. Bestimmte gesonderte Zulassungen, die nicht Gegenstand des Genehmigungsverfahrens sind, muss der Bauherr oder die Bauherrin selbst beantragen.

Darf die Kleinwindanlage ohne Baugenehmigung (verfahrensfrei, genehmigungsfreigestellt) errichtet werden, folgt daraus regelmäßig, dass die Pflicht der Bauaufsichtsbehörde zur Beteiligung anderer Fachbehörden im Baugenehmigungsverfahren in eine Pflicht für den Bauherrn oder die Bauherrin umschlägt, eigenständige Genehmigungen dieser Fachbehörden, wie z.B. der Denkmalschutzbehörde, einzuholen oder notwendige Abweichungen bei der jeweils zuständigen Behörde eigenständig zu beantragen. Welche zusätzlichen Genehmigungen von Fachbehörden eingeholt werden müssen stellt der „Leitfaden zum Baunebenrecht“ der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt sehr gut nachvollziehbar und differenziert nach den einzelnen Verfahrensarten dar (s. Informationsquellen am Kapitelende).

Welche Behörde ist zuständig?

Kann die Anlage nicht verfahrensfrei nach § 62 BauO Bln errichtet werden und muss über die Zulassung des Kleinwindvorhabens im „herkömmlichen“ oder im vereinfachten Baugenehmigungsverfahren entschieden werden, dann muss der Bauherr oder die Bauherrin einen Bauantrag bei der zuständigen Behörde (§ 69 BauO Bln) stellen. Soll eine Genehmigungsfreistellung nach § 63 BauO Bln erwirkt werden, ist das Kleinwindvorhaben bei der zuständigen Behörde „anzuzeigen“. Die Formulare für die einzureichenden „Bauanträge“ oder „Anzeigen“ finden sich auf der Homepage des Senats (s. Informationsquellen am Kapitelende).

Welche Bauaufsichtsbehörde für die Prüfung eines Kleinwindprojektes in Berlin zuständig ist, richtet sich nach dem Allgemeinen Sicherheits- und Ordnungsgesetz (ASOG Bln). Entscheidend ist danach, ob eine Privatperson, der Bund oder das Land Berlin oder die Bezirksverwaltung Bauherrin der Kleinwindanlage ist. Die Eigenschaft als Bauherrin bzw. Bauherr bestimmt sich danach, wer die Bauvorbereitung (durch Beauftragung des Entwurfsverfassers und die Stellung der Anträge) sowie die Bauausführung nach außen beherrscht ([Hahn/Radeisen], § 54 Rn. 1):

- 1) Kleinwindanlagen als Bauten von Privatpersonen:
Zuständig ist das Bauaufsichtsamt des jeweiligen Bezirks von Berlin, in dem die Anlage errichtet werden soll (§ 2 Abs. 4 i.V.m. Anlage 1 Nr. 15 Abs. 1 ASOG Bln).
- 2) Kleinwindanlagen als Bauten des Bundes und des Landes Berlin:
Zuständig ist die Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen des Landes Berlin (§ 2 Abs. 4 i.V.m. Anlage 1 Nr. 1 Abs. 1 lit. e ASOG Bln), wenn nicht § 76 BauO Bln zur Anwendung kommt (sog. Zustimmungsverfahren) und es sich nicht um einen Bau der Bezirksverwaltung handelt.

- 3) Kleinwindanlagen als Bauten der Bezirksverwaltung:
Zuständig ist das Bauaufsichtsamt des jeweiligen Bezirks von Berlin, in dem die Anlage errichtet werden soll (§ 2 Abs. 4 i.V.m. Anlage 1 Nr. 15 Abs. 1 ASOG Bln).

Welche Unterlagen müssen eingereicht werden?

Die Bauherrin bzw. der Bauherr muss die für eine Beurteilung des Kleinwind-Vorhabens erforderlichen Unterlagen, die sog. Bauvorlagen, einreichen. Welche Bauvorlagen im Einzelnen einzureichen sind, ergibt sich aus der BauO Bln in Verbindung mit der Bauverfahrensverordnung (BauVerfVO). Folgende Tabelle soll einen Überblick darüber geben, welche Bauvorlagen dazu zählen können.

Unterlagen (Bauvorlagen)	Erläuterung
Auszug aus der Flurkarte (vgl. § 3 Abs. 1 BauVerfVO)	Der Auszug muss das Grundstück und die benachbarten Grundstücke im Umkreis von 50 m darstellen.
Lageplan (vgl. § 3 Abs. 2 bis 7 BauVerfVO)	Maßstab 1:200 oder anderer zur Beurteilung erforderlicher Maßstab, inkl. Darstellung der Abstandsflächen.
Bauzeichnungen (vgl. § 4 BauVerfVO)	Maßstab 1:100 oder anderer zur Beurteilung erforderlicher Maßstab.
Bau- und Betriebsbeschreibung (§ 5 BauVerfVO)	Es muss das Kleinwindvorhaben und seine spätere Nutzung beschrieben werden. Die Bau- und Betriebsbeschreibung kann und sollte dazu genutzt werden alle relevanten rechtlichen Aspekte zu beleuchten, insbesondere solche, die nicht zeichnerisch oder über Fotomontagen darstellbar sind.
Bautechnische Nachweise (vgl. § 67 BauO Bln, §§ 9 f. BauVerfVO)	Nachweis der Standsicherheit der Kleinwindanlage und des Gebäudes. Erforderlich ist ein Standsicherheitsnachweis durch einen zugelassenen Statiker (unterzeichnet) und je nachdem, ob das Gebäude oder die Kleinwindanlage unter § 67 Abs. 2 S. 1 BauO Bln fallen, ein Prüfbericht eines zugelassenen Prüfstatikers. Die konkreten Vorgaben für die Prüfung der Standsicherheit ergeben sich aus der DIN EN 61400-2 (Anlagen bis 40 m ² Rotorfläche) und der DIN EN 1055-4. Falls erforderlich müssen weitere geeignete Bautechnische Nachweise zum Brand-, Schall- oder Erschütterungsschutz beigebracht werden (vgl. § 67 Abs. 1 BauO Bln i.V.m. §§ 9, BauVerfVO) Bei Kleinwindanlagen, die höher als 30 m sind, ist nach § 67 Abs. 2 S. 2 die Prüfung des Brandschutznachweis durch einen Prüfingenieur erforderlich.
Auf Anforderung der Behörde in besonderen Fällen Darstellung der Anlage auf dem Grundstück (vgl. § 69 Abs. 3 BauO Bln)	Zur Darstellung geeignete Simulation vor Ort. Aufgrund der potenziellen planungs- und denkmalschutzrechtlichen Auswirkungen sollten entsprechende Fotomontagen etc. stets von vornherein eingereicht werden.
Je nach örtlicher Situation können zusätzliche Unterlagen zur Beurteilung des Kleinwindvorhabens erforderlich sein (vgl. § 1 Abs. 5 BauVerfVO)	Erforderlich können Unterlagen für die Beurteilung des Immissionsschutzrechts (Schallprognose, Verschattungsprognose), des Naturschutzrechts und des Denkmalschutzrechts sein. Können die Abstandsflächen nicht auf dem eigenen Grundstück eingehalten werden, ist ein Nachweis über die Sicherung der Abstandsflächen auf den Nachbargrundstücken durch Baulast (§ 82 BauO Bln) erforderlich.

Tabelle 4:
Liste relevanter
Bauvorlagen

IV.3 ANFORDERUNGEN DES MATERIELLEN ÖFFENTLICHEN RECHTS

Die jeweilige Kleinwind-Dachanlage muss immer die materiell-rechtlichen bzw. „inhaltlichen“ Anforderungen der einschlägigen öffentlich-rechtlichen Vorschriften einhalten. Das gilt unabhängig von der verfahrensrechtlichen bzw. formell-rechtlichen Einordnung also unabhängig davon, ob für die Errichtung der Kleinwindanlage eine Baugenehmigung einzuholen ist (vgl. § 60 Abs. 2 BauO Bln). Zu beachten sind die Anforderungen, die sich aus dem Bauplanungsrecht, dem Bauordnungsrecht, dem Immissionsschutzrecht sowie dem Naturschutzrecht, dem Denkmalschutzrecht und dem Luftverkehrsrecht ergeben. Im Folgenden werden die Anforderungen im Einzelnen erörtert.

Bauplanungsrecht - Passt die Kleinwindanlage in die Umgebung?

Nach dem BauGB gelten unterschiedliche bauplanungsrechtliche Anforderungen, abhängig davon, wo die Kleinwindanlage errichtet werden soll. Das BauGB unterscheidet drei verschiedene Bereiche voneinander:

- _Bereich, für den ein Bebauungsplan existiert (sog. beplanter Innenbereich) nach § 30 BauGB,
- _im Zusammenhang bebauter Ortsteil, für den kein Bebauungsplan existiert (sog. unbepanter Innenbereich) nach § 34 BauGB und
- _Außenbereich nach § 35 BauGB.

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich angesichts der dichten Besiedlung des Landes Berlin auf Kleinwindanlagen im beplanten und unbepanten Innenbereich.

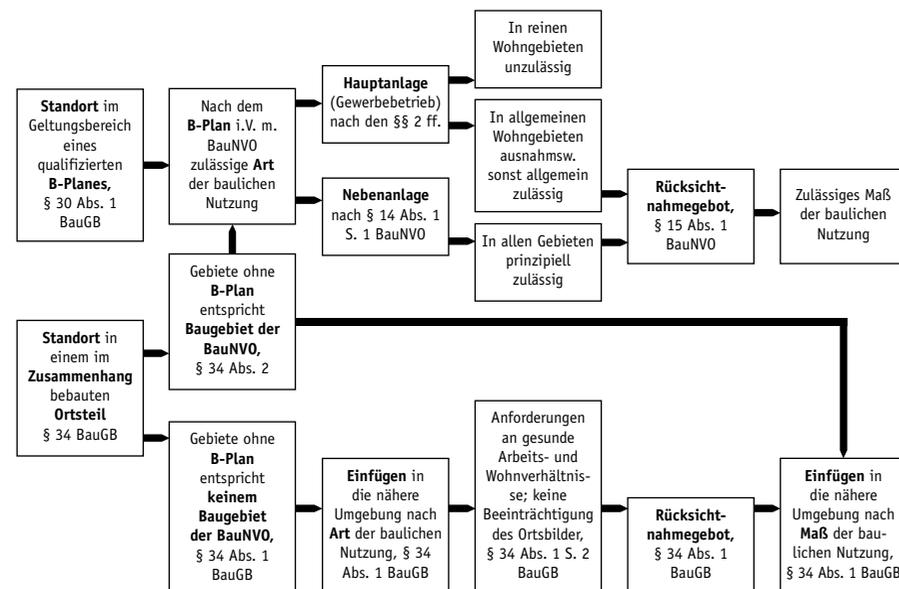


Abbildung 18:
Prüfung der planungsrechtlichen Zulässigkeit einer Kleinwindkraftanlage

Kleinwindanlagen im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans, § 30 BauGB

Existiert für ein Gebiet ein wirksamer qualifizierter Bebauungsplan, ist die Kleinwindanlage nach § 30 Abs. 1 BauGB planungsrechtlich zulässig, wenn sie den darin enthaltenen Festsetzungen insbesondere bezüglich Art und Maß der baulichen Nutzung nicht widerspricht und die Erschließung gesichert ist. Auf der Homepage der Senatsverwaltung kann mittels einer Adressensuche geprüft werden, ob der Standort in einem Gebiet liegt, für das ein Bebauungsplan existiert. Existiert ein Bebauungsplan kann dieser dort abgerufen werden (s. Informationsquellen am Kapitelende).

Enthält ein Bebauungsplan keine speziellen Festsetzungen zur Errichtung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien oder speziell zu Kleinwindanlagen, dann ist eine Kleinwindanlage bezüglich der Art der Nutzung zulässig, wenn sie nicht den allgemeinen Festsetzungen des Bebauungsplans hinsichtlich der Art der Gebietsnutzung widerspricht.

Die BauNVO benennt in den §§ 2 ff. verschiedene Baugebiete (Wohngebiete, Gewerbegebiete etc.), die in einem Bebauungsplan festgesetzt werden können, und regelt, welche baulichen Anlagen als in den Gebieten jeweils zulässig sind (sog. **HAUPTANLAGEN**). Kleinwindanlagen stellen unabhängig von ihrer Größe „Gewerbebetriebe“ i.S.d. der §§ 2 ff. BauNVO dar, auch wenn die Anlagen nicht über eine Betriebsstätte verfügen ([Bovet] S. 25 f.; [Sander/Gaßner], S. 45). Als Gewerbebetriebe sind Kleinwindanlagen in Reinen Wohngebieten unzulässig und in Allgemeinen Wohngebieten nur ausnahmsweise zulässig, wenn sie nicht stören. In den übrigen Gebieten (Besonderen Wohngebieten sowie Dorf-, Misch-, Kern-, Gewerbe- und Industriegebieten) ist diese Art der baulichen Nutzung regelmäßig planungsrechtlich erlaubt.

Als **NEBENANLAGE** i.S.d. § 14 Abs. 1 S. 1 BauNVO können Kleinwindanlagen in allen Baugebieten zulässig sein. Eine Kleinwindanlage ist eine Nebenanlage, wenn sie

- _dem Grundstück oder dem Baugebiet dient,
- _sich räumlich-gegenständlich dem Trägergebäude unterordnet **und**
- _nicht im Widerspruch zur Eigenart des Baugebietes steht.

Die Kleinwindanlage dient dem Gebäude bzw. dem Baugebiet, wenn sie nicht mehr als 50 % des erzeugten Stroms in das Netz zur öffentlichen Versorgung einspeist ([Bovet] S. 27; [Sander/Gaßner] 2010, S. 45). Für die Einschätzung, ob die Kleinwindanlage dem Gebäude dient, ist eine Gegenüberstellung von jährlichem Gesamtstromverbrauch innerhalb des Gebäudes und dem prognostizierten Jahresertrag der Kleinwindanlage vorzunehmen. Dazu kann auf die bisherigen Abrechnungen mit dem Energieversorger als Anhaltspunkt zurückgegriffen werden. Um einen Eigenverbrauch des erzeugten Stroms innerhalb des Gebäudes zu ermöglichen, muss die Anlage an das Hausnetz angeschlossen werden. Soll überschüssiger Strom der Kleinwindanlage aus dem Hausnetz in das Netz zur öffentlichen Versorgung abgegeben werden, ist für die Umsetzung eine Absprache mit dem örtlichen Verteilnetzbetreiber notwendig (siehe dazu auch **Kapitel III.4**). Für die räumlich-gegenständliche Unterordnung kommt es auf den Gesamteindruck im Einzelfall an, wobei auch eine Dachanlage, die die Firsthöhe um etliche Meter überragt, sich wegen des geringen baulichen Volumens räumlich-gegenständlich

unterordnen kann (vgl. BVerwG, NJW 1983, 2713 (2714)). Zur Einschätzung der räumlich-gegenständlichen Unterordnung der Anlage bietet sich eine Fotomontage von der Kleinwindanlage auf dem Gebäude an. Lage, Größe und Zuschnitt der Grundstücke und Gebäude in dem betreffenden Baugebiet sind entscheidend dafür, ob ein Widerspruch zur Eigenart des Baugebietes im Einzelfall anzunehmen ist (BVerwG, NJW 1983, 2713 (2714); [Sander/Gaßner] 2010, S. 41 f.).

Die Errichtung und der Betrieb der Kleinwindanlagen dürfen, unabhängig davon, ob die Anlagen als Gewerbebetriebe oder Nebenanlagen eingestuft werden können, nicht rücksichtslos gegenüber den Nutzungen anliegender Grundstücke sein. Die Kleinwindanlagen dürfen nach § 15 Abs. 1 S. 2 BauNVO unter Berücksichtigung der konkreten Umstände des Einzelfalls keine unzumutbaren Störungen oder Belästigungen hervorrufen. Bei Kleinwindanlagen „im innerstädtischen Gebiet kommen insbesondere Belästigungen durch Lärmimmissionen, unzumutbar bedrängende Wirkung durch Drehbewegungen der Rotoren, Schattenwurf und der sog. Discoeffekt in Betracht, die sich im Einzelfall als rücksichtslos darstellen können.“ ([Sander/Gaßner] 2010, S. 48).

Kleinwindanlagen müssen über das Dach hinausragen, um effektiv Strom erzeugen zu können. Dabei ist darauf zu achten, dass die Kleinwindanlagen die in einem Bebauungsplan festgesetzten Höhenbegrenzungen einhalten (vgl. §§ 16, 18 BauNVO). Typischerweise werden dort Ausnahmen für technische Dachaufbauten festgelegt, wozu auch Kleinwindanlagen gezählt werden können ([Sander/Gaßner] 2010, S. 52 f.).

Von den Festsetzungen des Bebauungsplans können durch die genehmigende Behörde nach § 31 Abs. 1 BauGB Ausnahmen zugelassen werden. Solche Ausnahmen z.B. von Höhenfestsetzungen müssen ausdrücklich im Bebauungsplan vorgesehen sein. Automatisch „mitfestgesetzt“ sind Ausnahmen für Anlagen für erneuerbare Energien nach § 14 Abs. 2 S. 2 BauNVO (dazu [Sander/Gaßner] 2010, S. 42.). Darüber hinaus darf die Genehmigungsbehörde den Bauherrn bzw. die Bauherrin einer Kleinwindanlage unter den strengen Voraussetzungen des § 31 Abs. 2 BauGB von den Festsetzungen des Bebauungsplans befreien, wenn der Bebauungsplan diese Abweichung nicht ausdrücklich vorsieht.

Kleinwindanlagen innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile, § 34 BauGB

In den Gebieten, für die kein Bebauungsplan existiert, die aber im Zusammenhang bebaut sind, sind Kleinwindanlagen unter den Voraussetzungen des § 34 BauGB planungsrechtlich zulässig.

Soll die Kleinwindanlage in einem Gebiet ohne Bebauungsplan errichtet werden, das von seinen Gegebenheiten einem der Baugebiete der BauNVO entspricht (sog. faktisches Baugebiet), gelten nach § 34 Abs. 2 BauGB die Maßgaben der BauNVO für diese Gebiete entsprechend. Es ist dann bei der planungsrechtlichen Einschätzung entsprechend wie oben im Zusammenhang mit § 30 Abs. 1 beschrieben zu verfahren.

Die Eigenart der näheren Umgebung entspricht keinem Baugebiet der BauNVO

In unbeplanten Gebieten, die keinem Baugebiet der BauNVO entsprechen, sind Kleinwindanlagen nach § 34 Abs. 1 BauGB zulässig, wenn sie sich hinsichtlich der Art und des Maßes der Nutzung sowie hinsichtlich der Bauweise und der überbaubaren Grundstücksfläche in die Eigenart der näheren Umgebung einfügen und die Erschließung gesichert ist.

Mit Blick auf das Einfügen in die Eigenart der näheren Umgebung ist zunächst zu fragen, ob sich das Kleinwindvorhaben in dem aus der näheren Umgebung ableitbaren Rahmen hält. Wenngleich Kleinwindanlagen im urbanen Raum bislang kaum verbreitet sind, lässt sich aufgrund der optischen Vergleichbarkeit mit Antennen und Masten oder anderen Dachaufbauten der technischen Gebäudeausrüstung meist ein Rahmen ableiten, in den sich eine Kleinwindanlage einfügen kann. Bezüglich der Höhe der Kleinwindanlage kann angenommen werden, dass sie sich jedenfalls dann nicht mehr einfügt, wenn sie inklusive Gebäude im Vergleich zu sämtlichen Bauwerken in der Umgebung mehr als doppelt so hoch ist (VGH Mannheim, NVwZ 1999, 548 (549); [Sander/Gaßner] , S. 54). Hält sich das Kleinwindvorhaben in dem ableitbaren Rahmen, ist es dennoch unzulässig, wenn es sich als rücksichtslos gegenüber anderen Nutzungen auf benachbarten Grundstücken darstellt (vgl. dazu oben).

Überschreitet die Kleinwindanlage den aus der näheren Umgebung ableitbaren Rahmen, weil sich keine vergleichbaren Objekte auf den Dächern der Umgebung befinden, dann kann das Kleinwindvorhaben dennoch zulässig sein, wenn es keine bewältigungsbedürftigen bodenrechtlichen Spannungen begründet oder erhöht. Bodenrechtliche Spannungen treten auf, „wenn Konflikte zu den bestehenden oder zukünftigen Nutzungen benachbarter Grundstücke entstehen. Die bloße, nur entfernt gegebene Möglichkeit, dass ein Vorhaben solche Konflikte auslöst, ist unschädlich. Je nach Gebiet muss davon ausgegangen werden, dass die nachbarliche Abstimmung Konflikte grundsätzlich ausräumen kann, die sich aus grenzüberschreitenden Wirkungen von Windenergieanlagen ergeben können.“ (BVerwG, NJW 1983, 2713 (2715)). Schließlich müssen Kleinwindanlagen im unbeplanten Innenbereich gem. § 34 Abs. 1 S. 2 BauGB den Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse genügen und dürfen das Ortsbild nicht beeinträchtigen. Die technische Neuartigkeit einer Anlage, und die dadurch bedingte optische Gewöhnungsbedürftigkeit, ist für sich genommen nicht geeignet, das Ortsbild zu beeinträchtigen, sie stellt nicht einmal ein Indiz dafür dar (BVerwG, NJW 1983, 2713 (2716); [Sander/Gaßner] , S. 5).

Bauordnungsrecht - Gehen von Kleinwindanlage keine Gefahren aus?

Kleinwindanlagen dürfen nach § 3 Abs. 1 BauO Bln die öffentliche Sicherheit und Ordnung in keiner Weise gefährden, also insbesondere weder bei Errichtung noch im Betrieb Gefahren für das Leben und die Gesundheit von Menschen hervorrufen. Die nachfolgend erläuterten Vorschriften der BauO Bln konkretisieren diese Anforderungen.

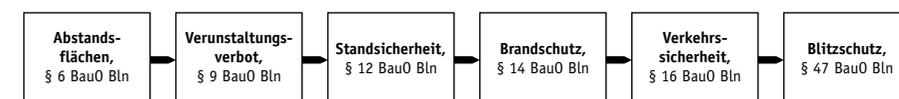


Abbildung 19: Übersicht über die bauordnungsrechtlichen Anforderungen

Abstandsflächen

Nach den Entscheidungshilfen der Berliner Bauaufsicht unterliegen Kleinwindanlagen den Abstandsvorschriften aus § 6 BauO Bln ([SenStadt], S. 128). Die Tiefe der Abstandsflächen, auf denen keine anderen oberirdischen Gebäude errichtet werden dürfen, beträgt in Berlin grundsätzlich das 0,4-fache der anzusetzenden Höhe, in Gewerbe- und Industriegebieten jedoch nur das 0,2-fache der anzusetzenden Höhe. Kleinwindanlagen auf Dächern zählen zu den Dachaufbauten i.S.d. § 6 Abs. 4 S. 5 BauO Bln. Die anzusetzende Höhe ist die Höhe des Gebäudes zuzüglich der Eigenhöhe der Anlage. Folgende Skizzen veranschaulichen die Berechnung der Abstandsflächen:

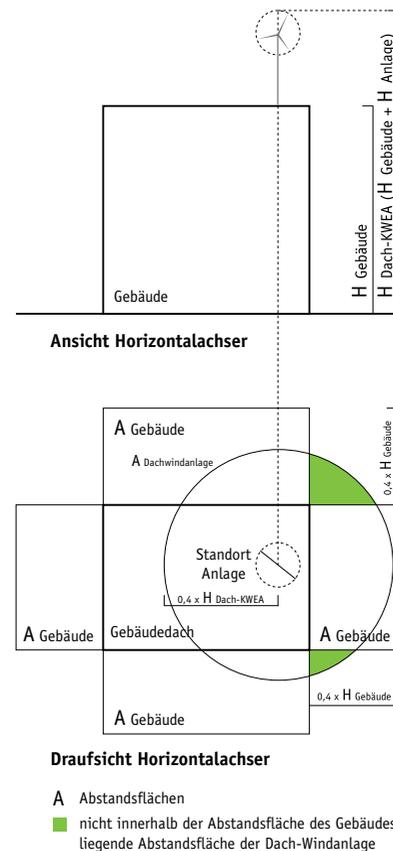


Abbildung 20:
Berechnung der Abstandsflächen bei Kleinwindanlagen mit horizontaler Achse

Bei Horizontalachsern bestimmt sich die anzusetzende Eigenhöhe der Anlage vom Sockel aus bis zum höchsten vom Rotor umstrichenen Punkt. Die Abstandsflächen werden kreisförmig von der senkrecht auf die Geländeoberfläche projizierten Mastmitte abgetragen.

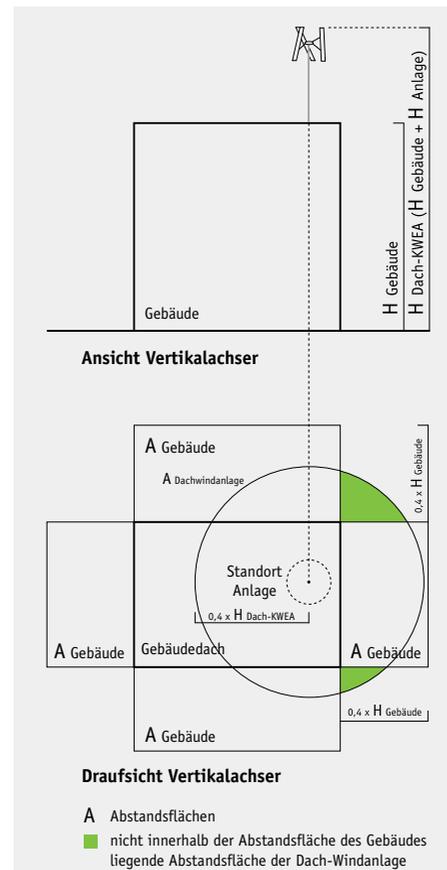


Abbildung 21:
Berechnung der Abstandsflächen bei Kleinwindanlagen mit vertikaler Achse

Bei Vertikalachsern bestimmt sich die anzusetzende Eigenhöhe der Anlage vom Sockel der Anlage aus bis zur Rotoroberkante. Die Abstandsflächen werden ebenfalls kreisförmig von der senkrecht auf die Geländeoberfläche projizierten Mastmitte abgetragen.

Bei Dach-Kleinwindanlagen in der Stadt fallen die Abstandsflächen oft auf ein oder gar mehrere Nachbargrundstücke. Liegen die Abstandsflächen der Kleinwindanlage auf einem Nachbargrundstück, muss nach § 6 Abs. 2 S. 3 BauO Bln öffentlich-rechtlich gesichert sein, dass die Fläche nicht überbaut wird. Eine Sicherung erfolgt durch eine Eintragung in das Baulastenverzeichnis der Bauaufsichtsbehörde (§ 82 BauO Bln).

Gehen von den Kleinwindanlagen aufgrund der baulichen Situation oder der geringen Größe und Volumen der Anlage im Einzelfall keine negativen Wirkungen aus, lässt sich vertreten, dass sie keine gebäudegleiche Wirkung (vgl. § 6 Abs. 1 S. 2 BauO Bln) haben und daher die Regelungen über die Abstandsflächen generell keine Anwendung finden (vgl. [Sander/Gaßner], S. 28 ff.). Den Bauherrn bzw. die Bauherrin solcher Anlagen wird empfohlen, mit der zuständigen Behörde diese Einschätzung der besonderen Situation im Einzelfall anhand von Fotos der Anlage und des geplanten Standorts oder mittels Fotomontagen abzuklären.

Die Gefährdung anderer Bauten durch Eisstücke, die sich im Winter von der Anlage lösen, kann durch einen erhöhten Sicherheitsabstand zwischen der Anlage und angrenzenden Bauten verhindert werden. Als ausreichend gilt in der Regel ein Abstand von $1,5 \times (\text{Anlagenhöhe} + \text{Gebäudehöhe})$. Ist die Anlage so auf dem Gebäude aufgestellt, dass zur nächstgelegenen Außenwand ein Abstand des 1,5-fachen der Anlagenhöhe eingehalten werden kann, ist die Gebäudehöhe nicht hinzuzurechnen. Der Eisabwurf kann auch vollständig verhindert werden indem eine automatische Abschaltung der Anlage bei Wetterbedingungen erfolgt, die Eisansatz begünstigen können, oder indem z.B. eine spezielle Beschichtung der Rotorblätter etc. den Eisansatz verhindert.

Verunstaltungsverbot

Kleinwindanlagen verstoßen in der Regel nicht gegen das Verunstaltungsverbot aus § 9 BauO Bln, sofern sich Dominanz und Anzahl der Kleinwindanlagen in einem überschaubaren Rahmen halten. Ein Verstoß ist erst dann anzunehmen, wenn ein für äußerliche Eindrücke offener Betrachter (gebildeter Durchschnittsmensch) in seinem ästhetischen Empfinden nicht nur gestört, sondern durch den Anblick quasi „verletzt“ wird. Dabei ist zugunsten der innerstädtischen Kleinwindanlagen zu beachten, dass die auf dem Dach installierten Anlagen von der Straße aus ohnehin kaum oder gar nicht einsehbar sind (vgl. [Sander/Gaßner], S. 30 f.).

Standsicherheit (Statik)

Eine Dach-Kleinwindanlage muss nach § 12 Abs. 1 BauO Bln selbst standsicher sein und darf die Standsicherheit des darunter liegenden Gebäudes nicht gefährden. Für die Berechnung der Standsicherheit (insbesondere zu Bemessung der Windlasten) des Gebäudedachs und des Fundaments der Kleinwindanlage kann die Norm DIN EN 1055-4 herangezogen werden. Für die Berechnung der Standsicherheit der Kleinwindanlagen (Rotor und Mast) sind regelmäßig die Vorgaben der DIN EN 61400-2 relevant ([Sander/Gaßner], S. 31 ff.). Aus Eigeninteresse und zur Vermeidung von u.U. erheblichen Gebäude- und Personenschäden sollte stets eine standortbezogene statische Berechnung die Zulässigkeit bestätigen, selbst wenn die Errichtung der KWEA verfahrensfrei durchführbar ist.

Brandschutz

Die Kleinwindanlage ist nach § 14 BauO Bln so anzuordnen, zu errichten und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird. Daraus ergeben sich Anforderungen an das Brandverhalten der zum Einsatz kommenden Materialien für Anlage und Fundament (vgl. § 26 ff. BauO Bln). Zudem darf durch die Anlage weder eine Behinderung der Rettung von Menschen oder Tieren und von wirksamen Löscharbeiten ausgehen noch darf der Einsatz der Feuerwehr in anderen Gebäudeteilen z.B. durch versperrte Rettungswege erschwert werden. Die Kleinwindanlage muss im Brandfalle durch die Einsatzkräfte und ihre Löschwerkzeuge erreichbar und damit löschar sein.

Verkehrssicherheit

Nach § 16 Abs. 1 BauO Bln müssen die Kleinwindanlage und die umliegenden un bebauten Flächen verkehrssicher sein, d.h. von der Kleinwindanlage dürfen keine Gefahren für Benutzer und Besucher des Trägergebäudes und für Personen auf den nicht überbauten Grundstücksflächen ausgehen. Es darf niemand durch sich bewegendende Rotorteile oder andere Teile der Anlage aber auch durch sich lösende Eisansätze an der Anlage im Winter verletzt werden. Die öffentlich-rechtliche Verkehrssicherungspflicht beinhaltet auch eine Instandhaltungspflicht nach Inbetriebnahme der Anlage.

Nach § 16 Abs. 2 BauO Bln darf die Sicherheit und Leichtigkeit des öffentlichen Verkehrs durch die Kleinwindanlagen oder deren Nutzung nicht gefährdet werden. Der Anlagenbetreiber oder die Betreiberin hat im Stadtgebiet unter anderem dafür zu sorgen, dass keine Licht- und Schatteneffekte die VerkehrsteilnehmerInnen auf den öffentlich zugänglichen Straßen in der Umgebung irritieren können (zur Vermeidung solcher Auswirkungen S. 71).

Blitzschutz für die Anlage und das Gebäude

Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind nach § 47 BauO Bln mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen. Wegen der exponierten Lage dachmontierter Kleinwindanlagen besteht meist ein erhöhtes Risiko von Blitzeinschlägen. Die Kleinwindanlagen sind daher regelmäßig mit Blitzschutzanlagen zu versehen. Die Anlage kann dazu an eine an die gegebenenfalls vorhandene Blitzschutzanlage des Trägergebäudes angeschlossen werden. Die technischen Anforderungen an Blitzschutzanlagen ergeben sich aus der DIN 57 185 (VDE 0185). Wie für Kleinwind-Dachanlagen der Blitzschutz zu bewerkstelligen ist, wird in **Kapitel III.3** näher dargestellt.

Immissionsschutzrecht - Sind die Umwelteinwirkungen zulässig?

Kleinwindanlagen auf Dächern müssen nicht das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren durchlaufen. Dennoch müssen sie nach § 22 Abs. 1 BImSchG so errichtet und betrieben werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden und unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Schädliche Umwelteinwirkungen sind nach § 3 Abs. 1 BImSchG Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Zu den Immissionen, die von kleinen Windenergieanlagen auf Dächern ausgehen können, zählen Geräusche und Erschütterungen. Hinzutreten können Lichteffekte als ähnliche Umwelteinwirkungen (vgl. § 3 Abs. 2 BImSchG).

Schallschutz

Wann Geräusche als schädliche Umwelteinwirkungen zu werten sind, wird in der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) konkretisiert. In Nr. 6.1 der TA-Lärm werden Immissionsrichtwerte festgelegt, wobei nach den einzelnen Baugebieten i.S.d. BauNVO und besonders sensiblen Orten differenziert wird. Die Tabelle mit den relevanten Immissionswerten der TA Lärm findet sich auf Seite 38.

Erstreckt sich der Einwirkungsbereich von Kleinwindanlagen auf Bereiche ohne Bebauungsplan, ist nach Nr. 6.6 TA-Lärm das Gebiet entsprechend seiner Schutzbedürftigkeit zu beurteilen. Die Immissionsrichtwerte aus Nr. 6.1 TA-Lärm sind dann entsprechend anzuwenden. Maßgeblicher Immissionsort ist nach Nr. 2.3 TA-Lärm der nach Nr. A.1.3 des Anhangs zur TA-Lärm zu ermittelnde Ort im Einwirkungsbereich der Anlage, an dem eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte am ehesten zu erwarten ist. Für den nach außen übertragenen Schall ist immer das am stärksten betroffene Fenster des von dem Geräusch der Kleinwindanlage am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes (insbesondere Schlaf- und Wohnräume) maßgeblich. Bei un bebauten Flächen und Flächen mit Gebäuden ohne schutzbedürftige Räume kommt es darauf an, wo nach dem Bau- und Planungsrecht Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen errichtet werden dürfen (vgl. zu Fragen des Schallschutzes auch **Kapitel II.7**).

Bei Dachanlagen besteht die Besonderheit, dass bei einer direkten Verbindung zwischen Kleinwindanlage und Gebäude Geräusche der Anlage innerhalb des Gebäudes verstärkt wahrgenommen werden können. Die TA-Lärm legt hierzu in Nr. 6.2 Immissionsrichtwerte von 25 dB(A) in der Nacht und von 35 dB(A) am Tage fest. Maßgeblicher Immissionsort ist nach Nr. 2.3 i.V.m. A.1.3 des Anhangs der TA Lärm der am stärksten betroffene schutzbedürftige Raum. Die Einhaltung der Immissionsrichtwerte für die Geräusche innerhalb des Trägergebäudes, die durch Schwingungsübertragungen entstehen kann meist mittels einer angepassten schalltechnischen Entkopplung von Anlage und Gebäude sichergestellt werden (vgl. dazu **Kapitel III.1**).

Schattenwurf und Diskoeffekt

Kleinwindanlagen können zwei verschiedene Arten von Lichteffekten verursachen. Zum einen kann es zu einem bewegten Schatten kommen, wenn der Rotor zu bestimmten Jahres- und Tageszeiten zwischen Sonne und der beschatteten Fläche steht. Zum anderen kann Sonnenlicht an der glatten Oberfläche der Rotorblätter reflektiert werden. Die Reflexionen werden u.U. in der Umgebung als belästigende Lichtblitze wahrgenommen (sog. Diskoeffekt).

Die Frage, ob die Lichteffekte schädliche Umwelteinwirkungen darstellen, muss nach den konkreten Umständen des Einzelfalls beurteilt werden. Dabei kann als Orientierungshilfe auf die „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (WEA-Schattenwurf-Hinweise [WEA-Schatten]) zurückgegriffen werden.

Einen konkreten Anhaltspunkt bietet die Faustformel aus Nr. 3 der WEA-Schattenwurf-Hinweise, wonach die Verschattungsdauer in einem zulässigen, nicht schädlichen Bereich liegt, wenn sie in den schutzwürdigen Räumen der umliegenden Bauten jeweils (theoretisch) nicht länger als 30 Minuten pro Tag und insgesamt nicht länger als 30 Stunden im Jahr auftreten kann. Bereits im Rahmen der Standortwahl sollte das Schattenwurfphänomen berücksichtigt werden und sichergestellt werden, dass die Maximaldauer der Verschattung an den relevanten Immissionsorten nicht überschritten wird. Welche Immissionsorte zu berücksichtigen sind, ergibt sich aus Nr. 1.2 der WEA-Schattenwurf-Hinweise (vgl. zur Berechnung der Verschattungsdauer Kapitel II.7). Bei problematischen Lichtverhältnissen in bestimmten Jahreszeiten kann eine Abschaltautomatik an der Kleinwindanlage Abhilfe verschaffen. Die Anlage wird dann mit einem Lichtsensor ausgeschaltet und schaltet bei problematischen Lichtverhältnissen automatisch ab (vgl. dazu Nr. 1.3 und 3 WEA-Schattenwurf-Hinweise). Der sog. Diskoeffekt lässt sich durch eine matte Lackierung der Rotorblätter verhindern (dazu Nr. 4.2 WEA-Schattenwurf-Hinweise). Durch die Beschichtung werden die Intensität möglicher Lichtreflexe und verursachte Belästigungswirkungen minimiert.

Erschütterungen

Kleinwindanlagen können aufgrund der Rotorbewegung während des Betriebs in starke Schwingungen geraten und durch Windböen heftige Erschütterungen erfahren. Die Schwingungen und Erschütterungen können auf das Gebäude unterhalb der Kleinwindanlage übertragen werden. Eine solche Einwirkung kann zu Schäden an den Trägeranlagen z.B. durch Risse in Wänden führen und erhebliche Belästigungen für die Menschen hervorrufen, die sich in den Trägergebäuden aufhalten z.B. durch Vibrationen oder klappernde Geräusche von Gegenständen. Als Orientierungshilfe für die Bestimmung, wann die Erschütterungen schädliche Umwelteinwirkungen darstellen, kann auf die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (Erschütterungshinweise [Erschütterungshinweise]) zurückgegriffen werden. In Nr. 3 der Erschütterungshinweise werden Richtwerte vorgegeben, die als Anhaltspunkte für die Beurteilung der Zulässigkeit der Einwirkungen im Einzelfall dienen können.

Mit einer auf die Anlage abgestimmten schwingungstechnischen Entkopplung zwischen Kleinwindanlage und Gebäude(dach) können gefährliche oder störende Wirkungen durch Schwingungen oder Erschütterungen der Kleinwindanlage weitgehend ausgeschlossen werden (dazu Nr. 6 der Erschütterungshinweise und Kapitel III.1).

Naturschutzrecht - Werden Natur, Landschaft und Tiere beeinträchtigt?

Kleinwindanlagen müssen die Vorgaben des Naturschutzrechts und insbesondere des Artenschutzrechts beachten. Im Innenbereich (§§ 30 und 34 BauGB) finden einige Vorschriften des Naturschutzrechts keine unmittelbare Anwendung (vgl. § 18 Abs. 2 BNatSchG). Die Schutzbestimmungen für die europaweit geschützten Arten wie Fledermäuse und bestimmte Vogelarten in Form der Tötungs-, Störungs- und Zerstörungsverbote der §§ 44 ff. BNatSchG gelten jedoch unmittelbar.

Zur Prüfung von tatsächlichem Vorkommen von geschützten Arten in der Umgebung der Anlage kann in Berlin meist auf vorhandene Daten der zuständigen Behörden aus anderen Zusammenhängen zurückgegriffen werden. Es existieren zwar noch keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Verträglichkeit von Kleinwindanlagen und geschützten Tierarten. Während des dreijährigen Betriebs einer Dach-Kleinwindanlage im Bezirk Lichtenberg wurde jedoch bei regelmäßigen Kontrollgängen nie ein durch Rotorblätter verletztes oder getötetes Tier entdeckt obwohl sich die Anlage in Gewässernähe befand und Vögel in unmittelbarer Nähe zu der Anlage nisteten. Nach jetzigem Erkenntnisstand ist daher davon auszugehen, dass es im Berliner Stadtgebiet grundsätzlich nicht zu einem Konflikt mit artenschutzrechtlichen Vorgaben kommen wird, weil geschützte Tiere durch die Kleinwindanlagen getötet werden. Auch im Forschungsvorhaben der HTW konnten an fünf Anlagen in mehr als je 1,5 Jahren Betriebszeit keine Kollisionen mit Tieren festgestellt werden.

Denkmalschutzrecht- Beeinträchtigt die Anlage geschützte Denkmäler?

Durch die Errichtung der Kleinwindanlage können Belange des Denkmalschutzes berührt sein. Denkmalgeschützt kann das Gebäude selbst sein, auf dem die Anlage errichtet werden soll. Bedeutsam ist zudem der Denkmalschutz unmittelbar angrenzender Gebäude. Die Errichtung einer Kleinwindanlage kann sich auf das Erscheinungsbild dieser Bauten auswirken. Die Kleinwindanlage darf das denkmalgeschützte Gebäude auf dem sie errichtet wird und/oder die Umgebung von Denkmälern nicht so verändern, dass die Eigenart und das Erscheinungsbild des Denkmals wesentlich beeinträchtigt werden (vgl. §§ 8, 10, 11 DSchG Bln). Gerade alte, denkmalgeschützte Industrieanlagen eignen sich häufig wegen ihrer Höhe als Standorte für Kleinwindanlagen. Bei der denkmalrechtlichen Beurteilung ist zu beachten, dass die neuartige Technologie den bauhistorischen Kontext dieser Bauten positiv unterstreichen kann, indem sie den technischen Fortschritt dokumentieren. Zudem können die Kleinwindanlagen in vielen Fällen wegen der besonders robusten Deckenkonstruktionen der Industriebauten ohne Eingriff in die Bausubstanz realisiert werden. Denkmaldatenbank, Denkmalliste und Denkmalkarte von Berlin können auf der Homepage des Senats eingesehen werden (s. Informationsquellen am Kapitelende).

Luftverkehrsrecht - Stört die Anlagen den Luftverkehr?

Für die Errichtung der Kleinwindanlage auf besonders hohen Dächern sind die Anforderungen der §§ 12 - 15 LuftVG zu beachten. Das betrifft alle Anlagen, deren oberster Punkt mehr als 100 Meter über Erdoberfläche liegt. In der unmittelbaren Umgebung der Berliner Flughäfen können sich Einschränkungen auch schon bei geringeren Anlagenhöhen ergeben, je nach Distanz zum Flughafen. Bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung kann eine Karte der wegen des Luftverkehrs besonders geschützten Gebiete angefordert werden (s. Informationsquellen am Kapitelende).

SAMMLUNG MIT WEITERFÜHRENDEN INFORMATIONQUELLEN IM INTERNET

_Aktuelle Regelungen und Gesetze können im Internet kostenfrei und in der aktuell geltenden Fassung abgerufen werden (Regelungen des Bundes: [HTTP://WWW.GESETZE-IM-INTERNET.DE](http://www.gesetze-im-internet.de) und [HTTP://WWW.VERWALTUNGSVORSCHRIFTEN-IM-INTERNET.DE](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de); Regelungen des Landes Berlin: [HTTP://GESETZE.BERLIN.DE](http://gesetze.berlin.de)).

_Welche zusätzlichen Genehmigungen von Fachbehörden eingeholt werden müssen stellt der „Leitfaden zum Baunebenrecht“ der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt sehr gut nachvollziehbar und differenziert nach den einzelnen Verfahrensarten dar.
[HTTP://WWW.STADTENTWICKLUNG.BERLIN.DE/BAUEN/BAUAUFSICHT/DE/LEITFADEN.SHTML](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/bauaufsicht/de/leitfaden.shtml).

_Die Formulare für Bauanträge und Baudurchführung finden sich auf der Homepage des Senats unter:
[HTTP://WWW.STADTENTWICKLUNG.BERLIN.DE/SERVICE/FORMULARE/DE/BAUEN.SHTML#GENEHMIGEN_ANZEIGEN](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/formulare/de/bauen.shtml#genehmigen_anzeigen).

_Auf der Homepage der Senatsverwaltung kann mittels einer Adressensuche geprüft werden, ob der Standort in einem Gebiet liegt, für das ein Bebauungsplan existiert. Existiert ein Bebauungsplan kann dieser dort abgerufen werden.
[HTTP://WWW.STADTENTWICKLUNG.BERLIN.DE/PLANEN/B-PLANVERFAHREN/DE/B-PLAENE_FISBROKER.SHTML](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/b-planverfahren/de/b-plaene_fisbroker.shtml).

_Denkmaldatenbank, Denkmalliste und Denkmalkarte von Berlin können eingesehen werden unter:
[HTTP://WWW.STADTENTWICKLUNG.BERLIN.DE/DENKMAL/LISTE_KARTE_DATENBANK/DE/DENKMALDATENBANK/INDEX.SHTML](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/denkmal/liste_karte_datenbank/de/denkmaldatenbank/index.shtml).

_Bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung kann eine Karte der luftverkehrsrechtlich besonders geschützten Gebiete angefordert werden unter:
[HTTP://WWW.STADTENTWICKLUNG.BERLIN.DE/SERVICE/VEROEFFENTLICHUNGEN/DE/KARTEN/ANALOG/EXTRA/BSF50_1.SHTML](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/veroeffentlichungen/de/karten/analog/extra/bsf50_1.shtml).

V. WIRTSCHAFTLICHKEIT

Jonathan Amme

KERNFRAGEN DES KAPITELS

- _Wie setzen sich die Kosten für eine Anlage zusammen?
- _Welche Mehrkosten entstehen durch die elektrische und mechanische Anbindung?
- _Welche Kosten entstehen durch die Installation und Planung?
- _Welche Kosten können bei dem Betrieb der Anlage anfallen?
- _Wie kann die Anlage versichert werden?
- _Lohnt sich eher der Eigenverbrauch, die Netzeinspeisung oder die Direktvermarktung?
- _Reichen die Windverhältnisse am Standort für einen wirtschaftlichen Betrieb aus?
- _Gibt es nutzbare Förderprogramme?



V.1 WIRTSCHAFTLICHKEITSAKTOREN

Die Wirtschaftlichkeit beim Betrieb einer Kleinwindenergieanlage hängt von den Anschaffungs-, Anschluss-, Kapital- und Betriebskosten ab. Dem gegenüber steht der Energieertrag, welcher von der Anlage selbst sowie den Windverhältnissen am Standort bestimmt wird.

Der zentrale Kennwert für die wirtschaftliche Betrachtung sind die Stromgestehungskosten, das heißt die aufgewandten Kosten pro gewandelter Kilowattstunde. Hierbei werden sämtliche anfallenden Kosten durch den Energieertrag geteilt. Die Stromgestehungskosten können für jedes Betriebsjahr einzeln oder für die gesamte Betriebsdauer der Anlage berechnet werden. Meist wird hier ein Zeitraum von 20 Jahren angesetzt.

Typische Werte für die Stromgestehungskosten großer Onshore-Windenergieanlagen liegen bei einem Betriebszeitraum von 20 Jahren je nach Standortbedingungen im Mittel zwischen 5,9 und 10,3 Ct/kWh [ISE]. Die Stromgestehungskosten von Kleinwindenergieanlagen liegen aufgrund der höheren spezifischen Investitionskosten ungleich höher: Anlagen mit einer Nennleistung von bis zu 30 kW liegen im Mittel zwischen 19 und 32 Ct/kWh [BWE_W]. Sinken die Stromgestehungskosten unter die Strombezugskosten, ist ein wirtschaftlicher Betrieb möglich, die sogenannte Netzparität wird erreicht.

Die spezifischen Investitionskosten beziffern die aufgewendeten Kosten für die installierte Anlagenkapazität in Euro pro Kilowatt. Aufgrund der geringen Marktdurchdringung und teilweise unausgereiften Technik fallen diese Kosten bei KWEA mit 2.000 bis 10.000 Euro je Kilowatt [BWE_MÜ] weitaus höher aus als bei ihren großen Verwandten (ca. 1000 Euro je kW [IWES]). Mit steigender Anlagenleistung fallen die spezifischen Investitionskosten. Größere Anlagen sind also per se wirtschaftlicher.

Am Ende entscheidet meistens die finanzielle Amortisation, ob eine Anlage realisiert wird. Kleine Windenergieanlagen weisen in der Regel Amortisationszeiträume jenseits von 10 Jahren auf, was viele potenzielle BetreiberInnen von vornherein abschreckt. Hierbei unberücksichtigt bleibt jedoch oft die energetische Amortisation. Sie wird auch als energetische Wiedergewinnungszeit bezeichnet und beschreibt den Zeitraum, nach welchem eine Anlage die zur Produktion und Installation aufgewandte Energie selbst produziert hat.

Kosten

Die Gesamtkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Anschaffungskosten

- _Gondel (Rotor, Generator, Getriebe)
- _Turm
- _Fundament und/oder Beschwerung
- _Steuerung
- _Wechselrichter und/oder Speicher
- _ggf. Maßnahmen zur Schwingungsberuhigung
- _ggf. Blitzschutztechnik
- _ggf. Windmesstechnik zur Ermittlung des Windpotenzials

Planung und Installation

- _ggf. Nachweise für Baugenehmigung (Emissionen, Statik)
- _Netzanschlusskosten (inkl. Zählleinrichtung)
- _ggf. vorhergehende Messkampagne zur Ermittlung des Windpotenzials
- _Kapitalkosten

Betriebskosten

- _Wartung und Reparatur
- _Versicherung
- _Miete für Zählleinrichtung (sofern nicht Eigentum des Betreibers oder der Betreiberin)
- _ggf. Kosten durch Ertragsausfall

Gegebenenfalls müssen zusätzliche Mittel für den späteren Rückbau des Systems eingeplant werden. Der jeweilige Umfang der oben genannten Posten ist von den Standortbedingungen abhängig und kann schwerlich pauschal beziffert werden. Beispielhaft sei die Entfernung der Anlage vom elektrischen Anschlusspunkt ge-

nannt, längere Leitungen schlagen sich hier in höheren Kosten nieder – bei kleinen Anlagen können selbst geringe Beträge stark ins Gewicht fallen. Auch die Umsetzung eines Blitzschutzkonzeptes kann zu signifikanten Kostensteigerungen führen.

Anschaffungskosten

Die Anschaffungskosten setzen sich aus den fixen Kosten für die Anlage selbst und den standortabhängigen, variablen Materialkosten für die mechanische und elektrische Anbindung zusammen. Die meisten Anlagen werden auf ebener Erde installiert, daher bietet auch der Großteil der Hersteller ausschließlich hierfür Fundamente an. Gerade in urbanen Gebieten ist jedoch eine Dachinstallation zugunsten eines höheren Ertrages vorzuziehen. Hierfür bedarf es häufig Speziallösungen, die sich in höheren Kosten niederschlagen.

Planung und Installation

Ein weiterer Teil der Kosten entfällt auf die Planung und Installation der Anlage. Ihre Höhe richtet sich nach dem Umfang der erforderlichen technischen Maßnahmen und der Leistungen die von Unternehmen erbracht werden. Erfolgt die Planung seitens des Anlagenbetreibers oder der Betreiberin kann ein Teil der Ausgaben vermieden werden. Sofern die Anlage direkt vom Hersteller bezogen wird, sollte auf Unterstützung bei der Planung zurückgegriffen werden. Da dieser in der Regel über Erfahrung aus zahlreichen vergleichbaren Projekten verfügt, können die Planung beschleunigt und die Kosten gesenkt werden.

Der größere Kostenfaktor bildet jedoch die Installation der Kleinwindenergieanlage, die Bedingungen am potenziellen Standort entscheiden über ihren Umfang: Je nach Anlagenhöhe und Installationsort wird zusätzliche Technik für die Aufstellung benötigt. Die unterschiedlichen Montagearten weisen erhebliche Kostenunterschiede auf.

Bei einer Aufdachmontage ist im Vorhinein ein statisches Gutachten erforderlich, welches zusätzliche Kosten verursacht. Der Netzanschluss und gegebenenfalls die Einbindung in das Blitzschutzsystem müssen von einem eingetragenen Elektrofachbetrieb durchgeführt werden. Die Kosten für Zählleinrichtungen werden im Allgemeinen vom Energieversorgungsunternehmen (EVU) übernommen. Es können jedoch auch laufende Mietkosten für die Zählleinrichtung fällig werden.

Betriebskosten

Während des Anlagenbetriebs können Kosten für Wartung und Reparaturen anfallen, deren Höhe aufgrund der heterogenen Qualität der am Markt verfügbaren Anlagen sowie fehlender Langzeituntersuchungen schwerlich zu beziffern ist. Es gilt jedoch: Je kleiner die Anlage, desto mehr fallen diese Maßnahmen bilanziell ins Gewicht. Bei kleinen Anlagen jedoch können Wartungsarbeiten oft vom Betreiber oder der Betreiberin selbst durchgeführt werden und damit kostenneutral bleiben. Beim Defekt der Anlage muss mit Ertragsausfällen gerechnet werden, deren Umfang sich mitunter nach den Lieferzeiten des Herstellers richtet. Das Finanzierungsrisiko, welches aus einem Anlagenschaden folgt, kann über eine Versicherung aufgefangen werden. Da das Investitionsvolumen bei Kleinwindenergieprojekten jedoch meist verhältnismäßig klein sind, ist eine Versicherung gegenüber Ausfall und Schaden an der Anlage eher untypisch.

Anlagen zur Energieerzeugung auf oder an Gebäuden sind oft in bestehenden Gebäudeversicherungen inbegriffen oder können für einen zusätzlichen Beitrag in den Versicherungsschutz aufgenommen werden. Der Schutz über eine Gebäudeversicherung beschränkt sich im Allgemeinen jedoch nur auf Anlagenschäden. Darüber hinaus gibt es Versicherer die spezielle Policen für kleine WEA anbieten. Neben Schäden an Anlage und Peripherie können auf diese Weise auch Sach- und Personenschäden an Dritten sowie Ertragsausfälle versichert werden. Die Beitragshöhe richtet sich nach der Investitionssumme.

Eine Anfrage bei zwei Versicherern für Kleinwindenergieanlagen ergab für eine Gebäudeinstallation folgende Beiträge:

	Versicherung umfasst	Investitionskosten (netto)	Jahresprämie (netto)
Versicherer 1	-Sachschäden an KWEA und Peripherie	25.000,00 €	87,50 €
	-Betreiberhaftpflicht	40.000,00 €	120,00 €
	-Ertragsausfall (Pauschalbetrag pro Tag)	250.000,00 €	625,00 €
Versicherer 2	-Sachschäden an KWEA und Peripherie	< 25.000,00 €	70,00 €
	-Betreiberhaftpflicht	< 40.000,00 €	140,00 €
	-Ertragsausfall (Pauschalbetrag pro Tag)		

Tabelle 5:
Versicherungsbeispiele für Kleinwindanlagen

Bei einer Vertragslaufzeit von 20 Jahren beträgt der Versicherungsanteil in diesen Beispielen also im günstigsten Fall 5 bis 7% der Investitionssumme und stellt damit einen nicht unerheblichen Kostenfaktor dar.

Erträge

Die Erträge einer Kleinwindenergieanlage hängen maßgeblich von zwei Faktoren ab: Dem Leistungsverhalten der Anlage selbst und den Standortbedingungen. Weitere Einflüsse sind die Zuverlässigkeit und das Zusammenspiel von Anlage und Last (Wechselrichter, ggf. Ladesteuerung) und die Art der Verwendung der erzeugten Energie. Als Erträge werden hier sowohl die durch Netzeinspeisung erzielte Vergütung, sowie die durch Eigenverbrauch vermiedenen Strombezugskosten gewertet.

Die Ertragsberechnung führt zu einer weiteren wichtigen Kenngröße, den äquivalenten Volllaststunden. Sie bezeichnet jene Zeit in Stunden, in der eine Anlage bei Nennleistung betrieben werden müsste, um die gleiche Energiemenge zu erzielen, die in einem Betriebsjahr tatsächlich erzeugt wurde. Ein Beispiel: Eine KWEA mit einer Nennleistung von 5 kW liefert über 1 Jahr 7500 kWh, dies entspricht 1500 Volllaststunden. Die äquivalenten Volllaststunden können mithin als Maß für die Nutzung der Anlage verstanden werden.

V.2 ENERGIENUTZUNGSKONZEPT

Die Wirtschaftlichkeit einer Kleinwindenergieanlage hängt in großem Maße vom Energienutzungskonzept ab. Grundsätzlich wird zwischen netzgekoppelten und netzfernen Anlagen (Inselssystemen) unterschieden. Inselssysteme operieren autark, die gewandelte Energie dient vollständig der Eigenversorgung. Dies kann zum Beispiel bei gro-

ßen Entfernungen zum öffentlichen Netz sinnvoll und wirtschaftlich sein. Aufgrund der Vielfalt möglicher Anwendungsfälle bei Inselnetzen beschränkt sich die vorliegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf netzgekoppelte Systeme.

Entgegen der in der Vergangenheit existierenden Eigenverbrauchsregelung für Photovoltaikanlagen, durch die ein Teil der erzeugten Energie selbst verbraucht und der überschüssige Anteil gegen eine gesonderte Vergütung ins Netz gespeist werden konnte, ist diese Betriebsweise bei Windkraftanlagen nicht möglich. Im Folgenden werden die verschiedenen Nutzungskonzepte kurz beschrieben, eine ausführliche Erläuterung findet sich in Kapitel II.6.

Netzeinspeisung

Die gesamte gewandelte Energie wird in das öffentliche Netz eingespeist und nach EEG vergütet. Das Energieversorgungsunternehmen (EVU) ist zur Abnahme der gewandelten Energie verpflichtet. Der derzeitige Vergütungssatz für Windenergieanlagen liegt unabhängig von der Anlagenleistung bei rund 9 € Ct/kWh (EEG 2012) – anders als in anderen EU-Ländern gibt es in Deutschland keinen eigenen Vergütungssatz für Windenergieanlagen mit kleiner Leistung. Daher ist die Netzeinspeisung für Kleinwindanlagen im Allgemeinen nicht sinnvoll.

Eigenverbrauch

Die gewandelte Energie wird zeitgleich selbst verbraucht und muss daher nicht vom EVU bezogen werden. Über vermiedene Strombezugskosten sind hier höhere Erlöse möglich als bei einer Volleinspeisung. Eventuelle Überschüsse können ins öffentliche Netz eingespeist und nach EEG vergütet werden (s.o.).

Direktvermarktung

Um den gewandelten Strom abseits der EEG-Vergütung zu verkaufen, existieren nach EEG drei Wege: Erstens der Direktverkauf zum Marktpreis an der Strombörse ohne EEG-Zuschuss und zweitens der Verkauf an Großabnehmer abseits der Börse (§ 39). Für die meisten BetreiberInnen von Erneuerbare-Energie-Anlagen stellen diese beiden Vermarktungskonzepte keine wirtschaftlich sinnvolle Option dar, da die Vergütung unter den Sätzen nach EEG liegt. Die dritte Möglichkeit der Direktvermarktung wurde mit der EEG Novelle 2012 eingeführt. BetreiberInnen können demnach ihren Strom im Marktprämienmodell (§ 33g) anbieten, zuzüglich zum Börsenpreis erhalten sie die sog. Marktprämie, welche die Differenz zum energieträgerspezifischen EEG-Vergütungssatz bildet. Es wird also stets mindestens der Satz nach EEG erzielt. Wird der Strom zu Spitzenzeiten – also zu Zeiten der größten Nachfrage – verkauft, kann sogar ein höherer Gewinn erzielt werden.

Für BetreiberInnen von Kleinwindenergieanlagen stellt die Direktvermarktung im Allgemeinen jedoch keine wirtschaftlich sinnvolle Option dar, da der Gewinn bei Eigenstromnutzung ungleich höher ausfällt. Zudem ist die Energielieferung dem Wind unterworfen und lässt sich nicht auf die Nachfrage anpassen. Kann die Energie jedoch vom Betreiber bzw. der Betreiberin nicht (vollständig) selbst genutzt werden, stellt die Direktvermarktung an benachbarte Personen oder Betriebe gegenüber der (Überschuss)Einspeisung eine wirtschaftlich günstigere Option dar.

V.3 BEISPIELBERECHNUNGEN

Im Folgenden werden beispielhafte Wirtschaftlichkeitsberechnungen vorgenommen. Hierzu wird eine horizontale Kleinwindenergieanlage an zwei Berliner Standorten, einem mit mittleren sowie einem mit hohen Windgeschwindigkeiten, betrachtet.

Als Leistungskennlinie wird ein fiktiver Typ verwendet, der repräsentativ für die Bauart und Anlagengröße steht (die Kennlinie kann **Abbildung 22** entnommen werden). Entsprechend den zu Grunde liegenden Windverhältnissen (s.u.) wurde eine Anlage auf niedriger bis mittlerer spezifischer Flächenleistung gewählt (vgl. **Kapitel II.4**). Obgleich die verwendete Kennlinie reale Anlagen abbildet, ist sie nur als Annäherung zu verstehen. Die Verluste aufgrund von Turbulenz, elektrischer Anbindung sowie Anlagenverfügbarkeit aufgrund von Störungen und Wartungsmaßnahmen werden pauschal mit 10 Prozent beziffert und gehen als Unsicherheitsfaktor ein.

Die Windmessdaten entstammen realen Messungen auf Gebäudedächern über einen Zeitraum von einem Jahr. Für die Berechnung wird die Häufigkeitsverteilung mit Hilfe einer Weibull-Verteilung energieoptimal approximiert (die Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit können **Abbildung 23 und 24** entnommen werden).

Die Berechnung erfolgt für Eigenstromnutzung, als Ausgangsgröße wird der mittlere Haushaltsstrompreis (2011) von 25,5 € Ct/kWh [AEE] angesetzt.

Die Berechnungen ergeben ein sehr unterschiedliches Bild: Am windarmen Standort sind die Energieerträge zu gering um innerhalb der Nutzungsdauer einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen. Am windreichen Standort hingegen wird eine finanzielle Amortisation erreicht.

Hervorzuheben ist hierbei die auf den ersten Blick geringe Windgeschwindigkeitsdifferenz zwischen den Standorten, die jedoch einen Mehrertrag von 50 % zur Folge hat. Es muss betont werden, dass selbst der windarmen Standort nicht zuletzt aufgrund seiner Höhe überdurchschnittlich hohe Geschwindigkeiten für Berliner Verhältnisse aufweist. Der Großteil urbaner Standorte dürfte weitaus geringere Geschwindigkeiten aufweisen. Tendenziell kann ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von etwa 5 m/s von einem wirtschaftlichen Betrieb ausgegangen werden.

Für die Bewertung der Ergebnisse spielt die Auslegung der Windenergieanlage eine entscheidende Rolle – mit einer Schwachwindanlage gleicher Leistung könnten an beiden Standorten größere Erträge eingefahren werden.

Die Strompreisentwicklung wurde nicht berücksichtigt. Da jedoch mit einer Steigerung des Haushaltsstrompreises zu rechnen ist, kann tendenziell von einer früheren Amortisation ausgegangen werden. Die Stromgestehungskosten von 21 bzw. 32 € Ct/kWh decken sich mit üblichen Mittelwerten für kleine Anlagen (siehe oben). Mit 21 € Ct/kWh erreicht die Anlage sogar Netzparität. Unter Berücksichtigung einer Strompreisteuerung könnte dies sogar bei 32 € Ct/kWh erreicht werden.

KWEA (Abbildung 20)		Horizontalachser	
Nennleistung		6 kW	
Rotordurchmesser (Rotorfläche)		6 m (28,3 m ²)	
Spezifische Flächenleistung		212 W/m ²	
Unsicherheitsfaktor		10 %	
Nutzungsdauer		20 Jahre	
Standort (Abbildung 21 und 22)		Standort 1 (Innenstadt)	Standort 2 (Innenstadt)
Höhe über Grund		35 m	71 m
Mittlere Windgeschwindigkeit		4,0 m/s	4,9 m/s
Weibull-Parameter	A	4,40 m/s	5,46 m/s
	k	1,67	2,06
Energieerträge			
Jahresertrag		5.393 kWh	8.137 kWh
Äquivalente Vollarbeitsstunden		899 h	1.356 h
Finanzierung			
Investitionskosten		25.000,00 €	
Spezifische Investitionskosten		4.166,67 €/kW	
Jährliche Betriebskosten		50,00 €	
Jährliche Versicherungsprämie		70,00 €	
Eigenkapital		10.000,00 €	
Eigenkapital Zinssatz		2 %	
Eigenkapital Annuität (über Nutzungsdauer)		6,12 %	
Eigenkapital jährlicher Rückfluss		611,57 €	
Darlehen		15.000,00 €	
Darlehen Zinssatz		5 %	
Darlehen Laufzeit		10 Jahre	
Darlehen Annuität		12,95 %	
Darlehen jährliche Rate		1.942,57 €	
Einnahmen			
Vergütung		0,255 €/kWh	
Erlöse jährlich		1.375,22 €	2.074,94 €
Ausgaben			
Jahr 1 bis 10		2.674,14 €	
Jahr 11 bis 20		731,57 €	
Amortisation im Jahr		31	15
Eigenkapital am Ende der Nutzungsdauer		5.678,61 €	19.673,01 €
Eigenkapitalrendite am Ende der Nutzungsdauer		-43,21 %	96,73 %
Mittlere Stromgestehungskosten über Nutzungsdauer		0,32 €/kWh	0,21 €/kWh

Tabelle 6:
Wirtschaftlichkeits-
betrachtung einer
Kleinwindanlage an
zwei unterschiedli-
chen Standorten

V.4 FINANZIERUNG

Zur Finanzierung einer Anlage sollte geprüft werden, ob Förderprogramme für den jeweiligen Anwendungsfall in Anspruch genommen werden können. Ein mögliches Förderprogramm bietet beispielsweise die KfW an [KfW]. Auch einige Programme zum Zwecke der (energetischen) Gebäudesanierung umfassen eine Förderung regenerativer Energieerzeuger.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Studie zu Vergütungssätzen für Kleinwindanlagen:

J. Liersch: Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen, Bundesverband Windenergie e.V., Berlin 2011

Wirtschaftliche Fallbeispiele:

R. Simon et al.: Wirtschaftliche Bewertung von Kleinwindanlagen mit Hilfe von Fallbeispielen, Institut für Innovation, Transfer und Beratung Bingen, 2010

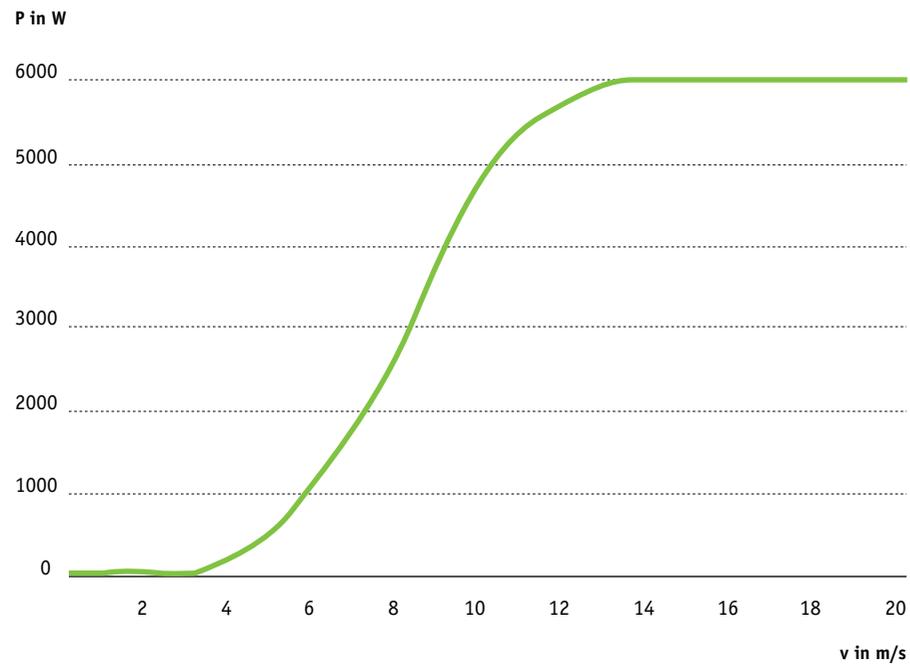


Abbildung 22: Leistungskurve der Kleinwindenergieanlage

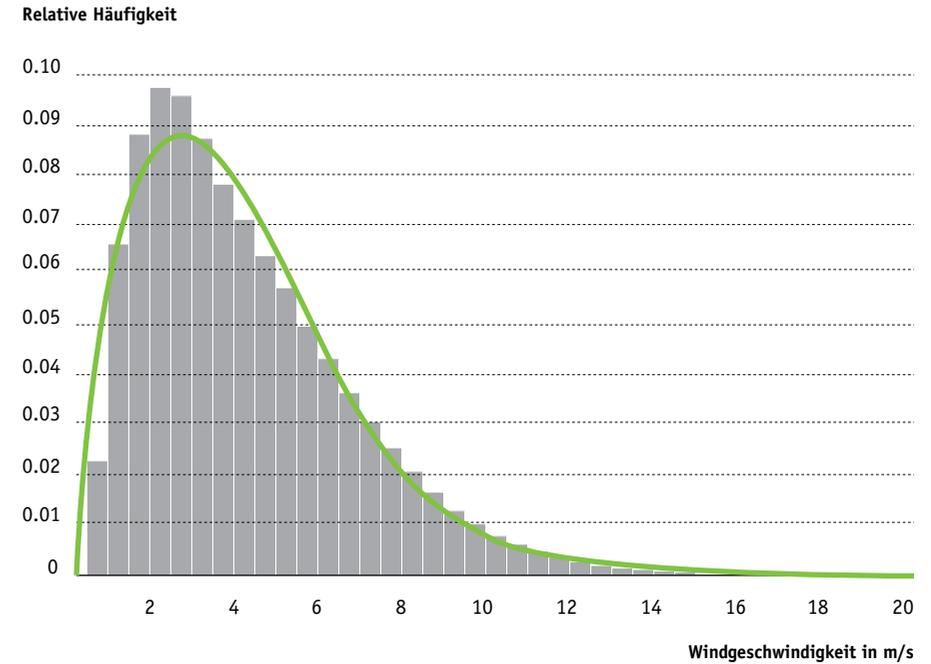


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit: Standort Innenstadt 1 (Grün: Energieoptimale Approximation mit Weibullverteilung)

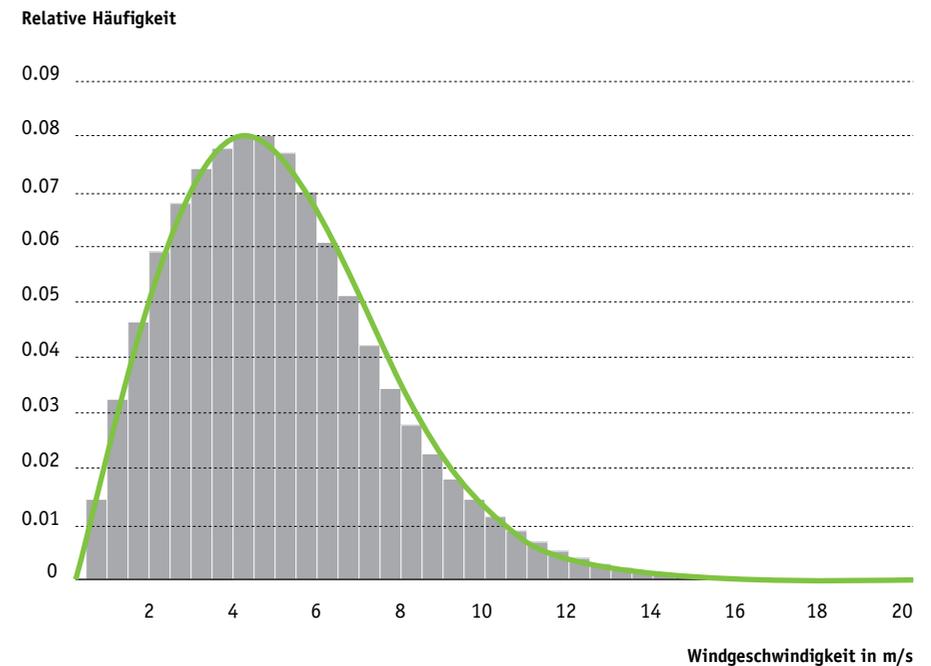


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit: Standort Innenstadt 2 (Grün: Energieoptimale Approximation mit Weibullverteilung)

VI. ABBILDUNGS- VERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung des Windgeschwindigkeitsprofils in der Höhe bei unterschiedlichen Siedlungsdichten [BLNSENÜ]	13
Abbildung 2: Grau: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit eines Standortes über 1 Jahr ($\bar{v} = 4,85$ m/s), Grün: energieoptimale Approximation durch Weibullverteilung	15
Abbildung 3: Energetische Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten anhand der Daten aus Abbildung 2	16
Abbildung 4: Richtungsverteilung der mittleren Windgeschwindigkeit in m/s	17
Abbildung 5: Richtungsverteilung der im Wind enthaltenen Energie in kWh/qm	17
Abbildung 6: Richtungsverteilung der Häufigkeit der Windgeschwindigkeit	18
Abbildung 7: Verlauf der Strömungsablösung an einem quaderförmigen Gebäude in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe ($\bar{v}=2,4$ m/s) nach [MUR]	20
Abbildung 8: Vogelperspektive der Standortumgebung, Quellen: Luftbild: [GOOGLE], 3D-Gebäude: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin 3D Stadtmodell	21
Abbildung 9: Draufsicht des Standortes mit möglichen Eignungsflächen und Richtungsverteilung der Energie (qualitative Darstellung)	21
Abbildung 10: Bauformen von Windenergieanlagen [TEX], Legende: (1) Westernmill, (2) Savonius-Rotor, (3) Darrieus-Rotor, (4) H-Darrieus-Rotor	29
Abbildung 11: Beispielhafte Leistungskennlinie (grau) und Leistungsbeiwert (grün) mit Einschaltwindgeschwindigkeit v_{Ein} , Nenngeschwindigkeit v_{Nenn} und Abschaltwindgeschwindigkeit v_{Aus}	31

Abbildung 12: Im Wind enthaltene Leistung und theoretisch entnehmbare Leistung (Normbedingungen)	32
Abbildung 13: Spezifische Leistung pro m^2 Rotorfläche für zahlreiche KWEA	33
Abbildung 14: Ergebnisse der Schallmessung einer Kleinwindenergieanlage mit vertikaler Achse [GAU]	38
Abbildung 15: Anschluss der KWEA am ungezählten Strompfad	51
Abbildung 16: Anschluss der KWEA am gezählten Strompfad	51
Abbildung 17: Genehmigungsbedürftigkeit von Kleinwindkraftanlagen in Berlin	58
Abbildung 18: Prüfung der planungsrechtlichen Zulässigkeit einer Kleinwindkraftanlage	63
Abbildung 19: Übersicht über die bauordnungsrechtlichen Anforderungen	66
Abbildung 20: Berechnung der Abstandsflächen bei Kleinwindanlagen mit horizontaler Achse	67
Abbildung 21: Berechnung der Abstandsflächen bei Kleinwindanlagen mit vertikaler Achse	67
Abbildung 22: Leistungskurve der Kleinwindenergieanlage	85
Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit: Standort Innenstadt 1 (Grün: Energieoptimale Approximation mit Weibullverteilung)	86
Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit: Standort Innenstadt 2 (Grün: Energieoptimale Approximation mit Weibullverteilung)	86

Bildnachweise

Kapitel I. (S. 12), Autor: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin: FIS Broker

Kapitel V. (S. 78), Originalbild: Autor: Petr Adánek, Lizenz: Keine / Public Domain

VII. QUELLEN

[AEE]

Agentur für Erneuerbare Energien: Entwicklung der Haushaltsstrompreise 2007-2012, Februar 2012

[BAL]

F. Balduzzi et al.: Microeolic turbines in the built environment: Influence of the installation site on the potential energy yield, Renewable Energy 45 (2012) S. 163-174

[BIMSchG]

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG), letzte Änderung vom 27.06.2012

[BLNSEN]

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt

[BLNSENU]

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt: Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU), Berlin, 2012

[Bovet]

J. Bovet: Rechtsfragen im Zusammenhang mit der Genehmigung kleiner Windenergieanlagen - Ergänzende rechtswissenschaftliche Untersuchung zur „Pilotstudie zur Akzeptanz vertikaler Windenergieanlagen“, Martin-Luther-Universität Halle- Wittenberg, Institut für Psychologie, 2009
Download unter: http://mmvr-des.burg-halle.de/~schikora/workshop/documents/Anhang_UFZ.pdf

[BWE_IN]

Statistiken des Bundesverbandes Windenergie e.V. <http://www.wind-energie.de/infocenter/statistiken>, Stand 31.12.2011

[BWE_MÜ]

L. Velsler, T. Paulsen: Kleinwindkraftanlagen-BWE Marktübersicht spezial, Bundesverband Windenergie e.V., 1. Aufl., Berlin 2011

[BWE_Q]

J. Twele et al.: Qualitätssicherung im Sektor der Kleinwindenergieanlagen, Bundesverband Windenergie e.V., Berlin 2011
Download unter: http://www.windenergie.de/sites/default/files/download/publication/qualitaetssicherung-im-sektor-der-kleinwindenergieanlagen/bwe-kweastudie_twele_final_2.pdf

[BWE_W]

J. Liersch: Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen, Bundesverband Windenergie e.V., Berlin 2011

[DIN_1055]

DIN 1055-4 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten

[EEG_12]

Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG), letzte Änderung vom 17.08.2012

[Erschütterungshinweise]:

Länderausschuss für Immissionsschutz: Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen, Beschluss v. 10.5.2000, Download unter: http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/laerm_erschuet.pdf

[FISB]

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin : Fis Broker, Online Geoinformationssystem, <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp> (Zugriff: 24.08.2012)

[GAU]

E. Gaudcha.: Erfassung und Bewertung der Schallemissionen von Kleinwindkraftanlagen mit vertikaler Achse auf Gebäudedächern im Stadtgebiet, Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2011

[GOOGLE]

Google Inc.: Google Earth, Online Kartenportal, Zugriff: Nov. 2012

[GRI]

Grimmond, C.S.B., Oke, T.R.: Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form, Journal of Applied Meteorology and Climatology 38 (1999), S. 1262-1292

[Hahn/Radeisen]

Hahn/Radeisen, Bauordnung für Berlin, 4. Auflage, Heidelberg/München/Landsberg/Berlin 2007

[HEN]

K. Henke: Kleine Windenergieanlagen – Marktanalyse, Wirtschaftlichkeit und Entwicklung eines Kennzeichnungssystems, Masterarbeit, Universität Kassel / Fraunhofer IWES, 2011

[IEC_2]

DIN EN 61400-2:2006: Windenergieanlagen Teil 2: Sicherheit kleiner Windenergieanlagen, 2006

[IEC_11]

DIN EN 61400-2 Windenergieanlagen Teil 11: Schallmessverfahren 2008

[ISE]

Fraunhofer ISE: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Mai 2012

[IWES]

Fraunhofer IWES: Preistendenz pro kW installierter Leistung, Statistik Quelle: <http://www.windmonitor.de>, Zugriff: 01.11.2012

[IWES_SWT]

P. Kühn: Small Wind Turbine Yield Estimator, Fraunhofer IWES zu beziehen unter <http://www.windmonitor.de>

[KFW]

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Programm „Strom aus Sonne, Wind und Wasser“

[KWA]

Internet-Forum www.kleinwindanlagen.de

[LBNR]

Senatsverwaltung Stadtentwicklung und Umwelt Berlin: Leitfaden Baunebenrecht, Berlin, Juni 2012 Download unter: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/bauaufsicht/de/leitfaden.shtml>

[LUFT_VG]

Luftverkehrsgesetz (LuftVG), Fassung vom 27.03.1999

[MUR]

J.C. Sáenz-Díez Muro et al.: Two-Dimensional Model of Wind Flow on Buildings to Optimize the Implementation of Mini Wind Turbines in Urban Spaces , International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada 2010

[Sander/Gaßner]:

Sander/Gaßner: Rechtliches Begleitgutachten Kleinwindenergieanlagen Gaßner, Groth, Siederer & Kollegen im Auftrag der Hochschule für Technik und Wirtschaft“, Berlin 2010, Download unter: www.kleinwind.htw-berlin.de

[SenStadt]

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Entscheidungshilfen der Berliner Bauaufsicht vom 12.8.2012 ,Berlin, 2012. Download unter: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/bauaufsicht/de/ehb/senstadt/static/01.shtml>

[TA_LÄ]

6. Verwaltungsvorschrift zum BimSchG: Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm, letzte Neufassung vom 26.08.1998

[TEX]

A. Texheimer: Untersuchung der Nutzungspotenziale von Kleinwindkraftanlagen im städtischen Bereich, Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2009

[TWE]

R. Gasch, J. Twele (Hrsg.): Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, 7. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011

[UEPII]

Umweltentlastungsprogramm Berlin (UEP II) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, <http://www.uep-berlin.de>

[VDE_4105]

VDE-AR-N 4105:2011-08 Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz (VDE-Anwendungsregel), 2011

[WWEA]

World Wind Energy Association: Small Wind World Report 2012

[WEA-Schatten]

Länderausschuss für Immissionsschutz, Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen, Stand 13.3.2002, Download unter: http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/ImmissionKlima/03_Luftreinhaltung/04_Emissionen/3_nichtGenehmAnlagen/03_3_PDF/LAI_Hinweise_Schattenwurf_pdf__blob=publicationFile.pdf

AUTOREN

Dipl.-Ing. (FH)

JONATHAN AMME

Jonathan Amme, Jahrgang 1984, studierte an der HTW Berlin Umwelttechnik/Regenerative Energien und verfasste 2012 seine Diplomarbeit zum Thema Windenergie im Stadtgebiet. Seitdem ist er in Forschungsprojekten zum Thema Kleinwindkraftanlagen in urbanen Gebieten als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Als Gastwissenschaftler forscht er innerhalb weiterer Projekte am Reiner Lemoine Institut gGmbH.

B.Sc.

JÖRG BENESCH

Jörg Benesch verfasste im Forschungsvorhaben zum Thema Kleinwindkraftanlagen auf Gebäuden seine Bachelorarbeit. Er studiert das Fach Umwelttechnik/Regenerative Energien an der HTW Berlin.

M.Sc.

MATHIS BUDDEKE

Mathis Buddeke M.Sc., Jahrgang 1982, absolvierte sein Studium im Fach Regenerative Energiesysteme im Jahr 2009. Seit 2010 leitet er inhaltlich das Forschungsvorhaben zum Thema Kleinwindkraftanlagen auf Gebäuden als wissenschaftlicher Mitarbeiter der HTW Berlin. Seit Februar 2012 ist er zudem am Reiner Lemoine Institut gGmbH als wissenschaftlicher Mitarbeiter in Projekten zum Thema Energieverbundsysteme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien tätig.

Dipl.-Jur.

JAN THORBECKE

Jan Thorbecke studierte an der Ruhr-Universität Bochum Jura. Er spezialisierte sich innerhalb des Schwerpunktbereichs „Wirtschaftsverwaltung, Umwelt, Infrastruktur“ auf das Europa- und Energierecht. Am Institut für Berg- und Energierecht der Ruhr-Universität Bochum erlangte er Zusatzqualifikationen in den Bereichen „Energiewirtschaft und Bergbau“. Jan Thorbecke promoviert im Energieumweltrecht bei Professor Dr. Wolfram Cremer an der Ruhr-Universität Bochum. Er war in dem Forschungsprojekt der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) für die LWE Windkraft GmbH tätig und hat die Architektin Irmina Körholz in der Genehmigungsphase für die Errichtung der Kleinwindanlagen unterstützt. Jan Thorbecke dankt der Architektin Irmina Körholz und den Projektbeteiligten der HTW für die wertvolle Unterstützung bei der Entstehung der Handlungsempfehlungen.

Prof. Dr.-Ing.

JOCHEN TWELE

Nach erfolgreichem Studium des Maschinenbaus erhielt Jochen Twele einen Lehr- und Forschungsauftrag von der Technischen Universität Berlin zum Thema Windenergie und promovierte dort 1990. Anschließend arbeitete er an der Entwicklung und Fertigung von hybriden Energiesystemen bei der ATLANTIS gGmbH bevor er vier Jahre als geschäftsführender Gesellschafter der Südwind GmbH in Berlin tätig war. Für weitere zwei Jahre kehrte er an die Technische Universität Berlin zur Kooperations- und Beratungsstelle für Umweltfragen zurück. In den folgenden Jahren leitete er das Berliner Büro des Bundesverbandes WindEnergie e.V. und war dann als Bereichsleiter für Projekte Erneuerbarer Energien bei der ecofys GmbH beschäftigt. 2005 wurde er als Professor an die HTW Berlin berufen. Dort lehrt er im Fachgebiet Regenerative Energiesysteme mit den Schwerpunkten Windenergie und Wasserkraft. Neben seiner Tätigkeit als Hochschullehrer hat er im April 2010 die wissenschaftliche Leitung des Reiner Lemoine Instituts übernommen und forscht dort hochschulübergreifend zu Themen der erneuerbaren Energien.

B.Sc.

DAVID WILLNAUER

David Willnauer war am Forschungsvorhaben zum Thema „Kleinwindkraftanlagen auf Gebäuden“ und weiteren Projekten beteiligt. Er beschäftigte sich speziell mit der mechanischen Gebäudeanbindung und der elektrischen Ausstattung sowie der Netzanbindung von Kleinwindenergieanlagen. Er verfasste seine Bachelorarbeit am Reiner Lemoine Institut zu dem Thema „Umrüstung eines dezentralen Stromnetzes auf regenerative Energiesysteme“ mit dem Schwerpunkt auf elektrische Inselssysteme. Seit 2012 studiert er Umwelttechnik/Regenerative Energien im Master an der HTW Berlin.

Die Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) ist die vielfältigste und zugleich größte Berliner Fachhochschule. Beinahe 12.000 Studierende sind in rund 70 Bachelor- und Masterstudiengänge in den Bereichen Technik, Informatik, Wirtschaft, Kultur und Gestaltung eingeschrieben.

Studiert, gelehrt und geforscht wird an zwei Standorten in Berlin: auf dem Campus Wilhelminenhof in Oberschöneweide, einem traditionsreichen Industriestandort im Südosten der Stadt, sowie auf dem Campus Treskowallee in Karlshorst.

Als besonders innovative Hochschule wurde die HTW Berlin mehrfach ausgezeichnet. Bei Rankings belegt sie regelmäßig vordere Plätze. Die HTW Berlin pflegt Kontakte zu 140 Hochschulen weltweit und kooperiert mit mittelständischen Unternehmen, Verwaltungen, Verbänden, Forschungs- und Bildungseinrichtungen.

www.htw-berlin.de

EMPFEHLUNGEN ZUM EINSATZ KLEINER WINDENERGIEANLAGEN IM URBANEN RAUM

Ein Leitfaden

Ob zur Batterieladung im Garten des Einfamilienhauses aufgestellt oder aufwändig auf einem Hochhaus installiert: Kleinwindkraftanlagen erfreuen sich zweifelsohne einer hohen Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit. Zahlreiche Bürgerinnen und Bürger in Städten suchen nach Möglichkeiten, sich zumindest anteilig selbst durch Windstrom zu versorgen.

Insbesondere in Siedlungsgebieten gehen mit der Kleinwindkraftnutzung besondere Chancen und Konflikte einher. So stehen dem guten Windangebot auf hohen Gebäuden eventuelle Störwirkungen durch die Anlagen entgegen.

Das umfangreiche Themenspektrum der urbanen Windkraft wurde in einem Forschungsvorhaben an der HTW Berlin untersucht, die Erfahrungen und Handlungsempfehlungen wurden in dieser Handreichung zusammengefasst.

Sowohl zukünftige Anwenderinnen und Anwender, als auch Genehmigungsbehörden sollen hierdurch unterstützt werden, wenn es um die Themengebiete Standortfindung, Technologie, Genehmigungsfragen und die Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit Kleinwindkraftprojekten im Siedlungsgebiet geht.