

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Recherchebericht im Rahmen des Projektes „EE-Schulen“

Zum Thema

Kleinwindenergieanlagen, die Genehmigungslage in Deutschland und deren Einsatz an Bildungseinrichtungen

Projektleiterin:

Berit Müller

ProjektmitarbeiterInnen:

Norman Pieniak

Judith Fiukowski



Berlin, 28.10.2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Ziel des Projektes	1
2. Kleinwind im Überblick	2
2.1 Ansprechpartner und zuständige Behörden	2
2.2 Definition KWEA	3
2.3 Verwendung der KWEA	4
2.4 Verschiedene technische Konzepte von KWEA	6
2.5 Markt für KWEA weltweit	10
2.6 Qualitätsstandards für KWEA und Entscheidungsparameter für den Kauf einer KWEA	11
2.7 Beispielanlagen	16
2.8 Wahl des Aufstellungsorts	24
3. Standortauswahl	35
3.1 Windmessung	35
3.2 Equipment zur Windmessung	36
3.3 Parameter für die Standortbeurteilung	38
4. Wirtschaftlichkeit von KWEA	42
4.1 Die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit vom Energienutzungskonzept	42
4.2 Kostenzusammensetzung bei der Realisierung von Kleinwindprojekten	44
4.3 Stromgestehungskosten	45
4.4 Beispielhafte Berechnung der Wirtschaftlichkeit an vier verschiedenen Standorten	48
4.5 Wirtschaftlichkeitspotenzial von Kleinwind	50
5. Rechtliche Rahmenbedingungen für KWEA in Deutschland	51
5.1 Relevante Gesetzestexte	51
5.2 Bauplanung im Zusammenhang mit dem Baugesetzbuch des Bundes	52

5.3	Genehmigungsrechtliche Bestimmungen für KWEA	53
5.4	Zusammenfassungen der genehmigungsrechtlichen Bestimmungen	78
5.5	Baurechtliche Voraussetzungen der Bauvorlage nach Bundesländern – Aspekte des Fachrechts.....	84
5.6	Die Bauvorlage sowie weitere Aspekte des Fachrechts.....	93
5.7	Abstandsflächen.....	110
5.8	Die Baugenehmigung bzw. der Ablehnungsbescheid	115
5.9	Auswertung der Interviews mit den Bauaufsichtsämtern.....	115
5.10	Rechtliche Abschlussbetrachtung für KWEA an Schulen	116
6.	Auswertung der Interviews mit den Schulen.....	121
6.1	Beteiligte Schulen und Einrichtungen	121
6.2	Wichtige Erkenntnisse	121
7.	Bildungsmaterialien zu KWEA.....	127
	Literaturverzeichnis	130

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Savonius-Rotor im Querschnitt [7].....	6
Abbildung 2: Kräfte am Rotorblatt [7]	7
Abbildung 3: Vielfalt an Kleinwindenergieanlagen [4].....	7
Abbildung 4: Veranschaulichung einer vertikalachsigen KWEA [6]	8
Abbildung 5: Veranschaulichung einer horizontalachsigen KWEA [8]	8
Abbildung 6: Luvläufer [9]	9
Abbildung 7: Leeläufer [9].....	9
Abbildung 8: Vielfalt der Bauformen von KWEA [3].....	10
Abbildung 9: Insgesamt installierte KWEA weltweit, für z.B. Italien und Indien k.A. vorhanden [10]	11
Abbildung 10: Schema der Helikoptersicherung als Beispiel für Furling [11].....	14
Abbildung 11: Fangstange als möglicher Blitzschutz [12]	14
Abbildung 12: KWEA Systembild [15]	16
Abbildung 13: Ampair 100 x 0.9.....	18
Abbildung 14: JPT-100 im Anwendungsbeispiel als Batterielader, zur Versorgung von elektrischen Verbrauchern (hier: Ventilator) [18]	19
Abbildung 15: VK 50 Amperius [19]	20
Abbildung 16: Easy Wind 6 [21].....	21
Abbildung 17: Aircon 10s von Lely GmbH [23].....	22
Abbildung 18: C&F 20 [25].....	23
Abbildung 19: Preise für verschiedene C&F Anlagen [27].....	23
Abbildung 20: Das Windgeschwindigkeitsprofil in der Höhe bei unterschiedlichen Siedlungsdichten [1]	24
Abbildung 21: Relative Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten [1]	25
Abbildung 22: Richtungsabhängige Verteilung der Windgeschwindigkeiten in m/s [1]	26

Abbildung 23: Ablösung der Strömung an Gebäuden [29]	27
Abbildung 24: KWEA mit fester Dachanbindung [30]	29
Abbildung 25: Auf-Dach-System mit Beschwerung [31]	29
Abbildung 26: Massenunwuchten, am Bsp. einer horizontalachsigen KWEA [32].....	30
Abbildung 27: Aerodynamische Unwuchten am Bsp. einer horizontalachsigen KWEA [32]	31
Abbildung 28: Abgespannter Mast [30]	32
Abbildung 29: Aufstellung einer KWEA [30]	33
Abbildung 30: Steel-Root-Fundamentsystem von BFtec [35]	34
Abbildung 31: Aufstellung KWEA mit Steel-Root-Fundamentsystem von BFtec [35]	34
Abbildung 32: Schalenkreuzanemometer [36]	36
Abbildung 33: Ultraschallanemometer [36]	37
Abbildung 34: Beispielhafte Häufigkeitsverteilung und Weibullverteilung der Windgeschwindigkeiten [1]	39
Abbildung 35: Geländekategorisierung nach EN 1991-1-4:2005, Anhang A	40
Abbildung 36: Windleistung auf einer Höhe von 10 m über Gelände (eigene Darstellung).....	41
Abbildung 37: Windleistung auf einer Höhe von 100 m über Gelände (eigene Darstellung).....	41
Abbildung 38: Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, Quelle: Fraunhofer ISE [42].....	47
Abbildung 39: Stromgestehungskosten verschiedener KWEA in Abhängigkeit der Volllaststunden	49
Abbildung 40: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Berlin [1]	56
Abbildung 41: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Brandenburg (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	58
Abbildung 42: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Sachsen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	60
Abbildung 43: Genehmigungsbedürftigkeit von KWEA in Sachsen	61
Abbildung 44: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Sachsen-Anhalt (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	62

Abbildung 45: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Thüringen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	64
Abbildung 46: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Mecklenburg-Vorpommern (eigene Darstellung in Anlehnung an [1]).....	66
Abbildung 47: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Schleswig-Holstein (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	67
Abbildung 48: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Niedersachsen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	69
Abbildung 49: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Bremen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	70
Abbildung 50: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Hamburg (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	71
Abbildung 51: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Hessen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	72
Abbildung 52: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Saarland (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	73
Abbildung 53: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Rheinland-Pfalz (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	74
Abbildung 54: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Baden-Württemberg (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	75
Abbildung 55: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Bayer (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	76
Abbildung 56: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in NRW (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])	77
Abbildung 57: Genehmigungsfreiheit für KWEA in Deutschland (eigene Darstellung).....	80
Abbildung 58: Überblick Deutschlandkarte mit KWEA als Anlage der technischen Gebäudeausrüstung (eigene Darstellung)	81
Abbildung 59: Schattenwurf in einer Bezugshöhe von 4 m (Bild: google.maps), (eigene Darstellung)	90

Abbildung 60: Schattenwurf in einer Bezugshöhe von 15 m (Bild: google.maps), (eigene Darstellung)	91
Abbildung 61: resultierende Schalldruckpegel in der Umgebung der KWEA (Bild: google.maps), (eigene Darstellung)	92
Abbildung 62: Berechnung der Abstandsfläche bei horizontaler und vertikaler Achse [1]	111
Abbildung 63: Abstandsflächen freistehender Anlagen und Berechnung [98]	112
Abbildung 64: Experimentierkoffer – komplett [87]	127
Abbildung 65: Solarenergie und Windenergie Experimentierset [88]	128
Abbildung 66: Windkraft-Bausatz für Schüler zw. 8-14 Jahren [89]	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition KWEA nach BWE und IEC [4]	3
Tabelle 2: Unterscheidung von KWEA nach ihrer Anwendung [3].....	4
Tabelle 3: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile von Vertikal- und Horizontalachsenanlagen [1]	9
Tabelle 4: IEC-Windklassen I-IV [6]	12
Tabelle 5: Technische Angaben zur Ampair 100 x 0,9 [17]	18
Tabelle 6: Technische Angaben zur JPT-100 [18]	19
Tabelle 7: Technische Angaben VK 50 – Amperius [20]	20
Tabelle 8: Technische Angaben zur Easy Wind 6 [22]	21
Tabelle 9: Technische Angaben zur Aircon [24].....	22
Tabelle 10: Technische Angaben zur C&F 20 [26].....	23
Tabelle 11: Preise für verschiedene Schalenkreuzanemometer [37].....	36
Tabelle 12: Kostenaufwand für ein vollständiges Messset [38]	37
Tabelle 13: Preisübersicht Ultraschallanemometer [36]	38
Tabelle 14: Werte für Rauheitslängen [6]	41
Tabelle 15: Versicherungskosten für KWEA [1]	45
Tabelle 16: Investitions- und Betriebskosten verschiedener KWEA	47
Tabelle 17: Windbedingungen und Weibullparameter an verschiedenen Standorten.....	48
Tabelle 18: Baugebiete nach BauGB	53
Tabelle 19: Bundesländer, in denen KWEA verfahrensfrei errichtet werden können.....	78
Tabelle 20: Bundesländer, in denen KWEA bis 30 m als Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung genehmigungsfrei errichtet werden können	80
Tabelle 21: Bundesländer, in denen ein Antrag auf Genehmigungsfreistellung/Kenntrnisgabeverfahren gestellt werden kann	82
Tabelle 22: Bundesländer mit vereinfachten Genehmigungsverfahren für KWEA > 30m.....	83

Tabelle 23: Maximal zulässige Schallpegel nach TA Lärm Nr. 6.1	87
Tabelle 24: Schallprognose bei Körperschallübertragung TA Lärm Nr. 6.2 (bei Dachmontagen) ..	88
Tabelle 25: Abstandsflächen für KWEA in den verschiedenen Bundesländern	113
Tabelle 26: Wichtige Links - Formularübersicht der Bundesländer.....	117
Tabelle 27: Bebauungspläne, Kartenmaterial und geografische Informationssysteme.....	118
Tabelle 28: Denkmaldatenbanken der Bundesländer.....	119
Tabelle 29: Natur- und Artenschutz in den Bundesländern	119
Tabelle 30: Auswahl verschiedener Experimentierkoffer zum Thema „Windenergie“	129

Abkürzungsverzeichnis

AWEA	American Wind Energy Association
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BauO, BO	Bauordnung
BauVerfVO	Bauverfahrensverordnung
BauVorlVO	Bauvorlagenverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BWE	Bundesverband WindEnergie e.V.
BWEA	British Wind Energy Association
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DWD	Deutscher Wetterdienst
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
HK	Herstellungskosten
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
IEC	International Electrotechnical Commission
Fraunhofer IWES	Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
KWEA	Kleinwindenergieanlagen
LBauO, LBO	Landesbauordnung
OSZ	Oberstufenzentrum
PV	Photovoltaik
RLI	Reiner Lemoine Institut gGmbH
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
OSZ TIEM	Oberstufenzentrum für Technische Informatik, Industrieelektronik und Energiemanagement

UfU	Unabhängiges Institut für Umweltfragen e. V.
VDB	Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V.
WEA	Windenergieanlagen
WWEA	World Wind Energy Association

1. Ziel des Projektes

Im Rahmen des UfU Projekts „EE-Schulen“ -Evaluation solarer Schulprojekte und Machbarkeitsstudie Windenergie an Bildungseinrichtungen werden Schulen unterstützt, ihre Kleinwindenergieanlage (KWEA) in der Sichtbarmachung und pädagogischen Nutzung zu optimieren. Das RLI untersucht über eine Machbarkeitsstudie den Einsatz von KWEA an Schulen. Die Machbarkeitsstudie umfasst die technischen und genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen sowie die praktischen Bedingungen für die Standortauswahl, die Wahl des KWEA-Typs und Installation sowie den Betrieb der Anlage. Des Weiteren wird die Wirtschaftlichkeit von KWEA betrachtet. Durch die Kooperation mit zwei Oberstufenzentren, einem Freizeitzentrum als außerschulischem Lernort in Berlin und einem Gymnasium in Sachsen sowie weiteren telefonisch durchgeführten Interviews mit Schulen, die bereits eine eigene Anlage besitzen, konnten hilfreiche Erfahrungen gesammelt und für zukünftige KWEA-Projekte von Schulen aufbereitet werden.

Dieser Recherchebericht bündelt die gewonnenen Informationen und Erkenntnisse und soll dem UfU als Grundlage für ihr abschließendes Handbuch dienen, welches sich an interessierte Schulen richtet, die KWEA thematisch in ihren Unterricht einbinden wollen und darüber hinaus Interesse an der Errichtung einer schuleigenen Anlage haben.

2. Kleinwind im Überblick

In diesem Kapitel werden die technischen Aspekte behandelt, die im Vorfeld eines schuleigenen Kleinwind-Projektes im Rahmen der technischen Planung berücksichtigt werden müssen.

Dieses Kapitel basiert zum Großteil auf den Ergebnissen des Leitfadens „Empfehlungen zum Einsatz von Kleinwindanlagen im urbanen Raum“ der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) in Berlin vom Januar 2013 [1]. Die Handlungsempfehlung hat sich bereits umfassend mit dem Thema KWEA auseinandergesetzt und bearbeitet die technischen Fragen umfassend und eingängig.

2.1 Ansprechpartner und zuständige Behörden

Im Vorfeld muss jedem Interessierten bewusst sein, dass der Ablauf bzw. die Planung eines KWEA-Projektes aufgrund der Komplexität von der Auswahl des Standortes und der KWEA, über die Genehmigung, Aufstellung und den Betrieb der Anlage für Interessierte ohne technischen und genehmigungsrechtlichen Hintergrund schnell überfordernd sein kann. Deshalb wird empfohlen, fachkundige Hilfe bzw. Informationen von verschiedenen Ansprechpartnern und Institutionen sowie zahlreichen Medien einzuholen.

Für die Wahl der Anlage können die bereits etablierten Organisationen angesprochen werden bzw. die einschlägigen Foren und Handlungsempfehlungen genutzt werden:

- Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE) – diese veröffentlichen informative Beiträge zum Thema auf ihrer Internetpräsenz und in Form von Studien.
- Kleinwindanlagen.de – die Webseite bietet einen guten Überblick über den Kleinwindmarkt durch Kurzportraits verschiedener Anlagen. Ein Forum bietet die Möglichkeit des Austausches zwischen Betreibern, Interessierten und dem Besitzer der Webseite selbst.
- Bundesverband Kleinwind e.V. (BVKW) – Der Verband verfügt über Expertise im Bereich Kleinwind und leistet politische Arbeit zur Etablierung von KWEA.
- Vertriebsfirmen wie RS-Energietechnik GmbH haben Anlagen von mehr als nur einem Hersteller im Angebot und können eine differenziertere Einschätzung über die Eignung einer KWEA an einem Standort geben.
- „Ein Leitfaden - Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum“ der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin gibt einen umfangreichen Überblick über die Kleinwindtechnologie sowie das Genehmigungsverfahren im Land Berlin.

Die genannten und weiteren Anlaufstellen können neben Entscheidungshilfen für die Auswahl der KWEA auch Hinweise zum bevorstehenden Genehmigungsverfahren geben. Dessen Durchführung liegt in der Verantwortung der Bauaufsichtsbehörden der jeweiligen Länder. Je nach Bun-

desland wird der Antrag zuerst der Gemeinde vorgelegt und von dort an die zuständige Bauaufsichtsbehörde weitergereicht oder direkt an die entsprechende Bauaufsichtsbehörde übergeben.

Die örtliche Zuständigkeit einer Behörde orientiert sich danach, in wessen Bezirk das Grundstück der Errichtung einer KWEA liegt, genauer nachzulesen ist dies auch in § 3 Abs. 1 Nr.1 VwVfG (Verwaltungsverfahrensgesetz) des jeweiligen Bundeslandes [2]. Für den Fall, das KWEA auf Grundstücken der öffentlichen Hand geplant werden, so ist, wie im Fall einer KWEA auf der HTW Berlin, die Senatsverwaltung (in Berlin für Bau- und Wohnungswesen des Landes) zuständig. Das genehmigungsrechtliche Verfahren wird in Kapitel 5 näher für jedes Bundesland erläutert.

2.2 Definition KWEA

Bisher gibt es noch keine allgemeingültige Definition für KWEA. Es bestehen je nach Land und Zertifizierungsrichtlinie unterschiedliche Konzeptualisierungen zu KWEA. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die internationale Definition nach IEC (internationale Normungsorganisation für den Bereich Elektrotechnik und Elektronik) und die deutsche Definition des BWE.

In Abgrenzung zu den großen Windenergieanlagen (WEA) haben KWEA einen anderen **Verwendungszweck**. Sie dienen vorrangig dem Eigenbedarf und werden somit in unmittelbarer Nähe zum Verbraucher (z.B. Gebäude, Betrieb), errichtet.

Zwei weitere Kriterien zur Klassifizierung von Kleinwind bieten das **Genehmigungsrecht** und die **Leistungsklasse** der Anlage [3].

Tabelle 1: Definition KWEA nach BWE und IEC [4]

Geltungsbe- reich	Richtlinie/ In- stitution	Anlagen- kategorie	Leistungs- bereich	Beschreibung
Deutschland	Bundesverband WindEnergie (BWE)	Mikrowind	0 – 5 kW	- Privatanwender und Einfamilienhäuser - Gekoppelt ans Stromnetz oder batte- riestütztes Inselsystem
		Miniwind	5 – 30 kW	- Gewerbebetriebe und Landwirte
		Mittelwind	30 – 100 kW	- Gewerbebetriebe und Landwirte - Anschluss an Mittelspannungsnetz
International	International Electrotechnical Commission (IEC 61400-2)	Kleinwind	< ca. 50 kW	Angeströmte Rotorfläche kleiner 200 m ² , entsprechend einer Nennleistung von ca. 50 kW, 1.000 V AC oder 1.500 V DC

Eine weitere Eingrenzung von KWEA kann für Deutschland über das Genehmigungsrecht durchgeführt werden. Anlagen ab einer Gesamthöhe von 50 m müssen nach dem Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG) [5] genehmigt werden und gelten als raumbedeutsam. Alle kleineren Anlagen fallen unter die Regelungen der jeweiligen Landesbauordnungen. Die **Anlagenhöhe von 50 m** bildet also einen rechtlichen Grenzwert zur Aufteilung von Kleinwind- und Großwindenergie.

2.3 Verwendung der KWEA

2.3.1 Entscheidung über einen Anlagentyp entsprechend der Anwendung

Für Kleinwind gibt es i.A. drei Anwendungsgebiete. Die Batterieladung und die Einspeisung in das Hausnetz zum Eigenverbrauch sind Off-Grid Verwendungen der KWEA. Die On-Grid Verwendung liegt vor, wenn der Strom der KWEA in das öffentliche Netz eingespeist wird. Tabelle 2 untergliedert KWEA hinsichtlich ihrer Nennleistung und dem Einsatzgebiet und gibt somit einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten von KWEA [1].

Tabelle 2: Unterscheidung von KWEA nach ihrer Anwendung [3]

Einsatzgebiet der Kleinwindanlage	Spannung	Nennleistung	Begründung der Kategorisierung	Bezeichnung	Vereinfachung
Batteriegestütztes Inselsystem	12/24/48 V DC	0 – 1,5 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Realistische Grenze Off-Grid zu On-Grid • Hohe Ladeströme • In UK als Vergütungsgrenze 	Mikrowindenergieanlage	Leistungsklasse 1
Anlage auch netzgekoppelt	230 V AC				
Gebäudeintegrierte Installation	230 V AC	1,5 – 5 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Grenze der Privatanwendungen • Grenze einphasiges Einspeisen • Dachintegration möglich 		
Freie Aufstellung					
Gewerbegebiete, Landschaft	400 V AC	5 – 30 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung Anschlussvarianten • Abstufung Anschlusskriterien • Genehmigung als Nebenanlage 	Miniwindenergieanlage	Leistungsklasse 2
Gewerbegebiete, Landschaft	400 V/20 kV AC	30 – 100 kW	<ul style="list-style-type: none"> • Vom BWE bereits verwendet • International üblich • Anforderungen Mittelspannung 	Mittelwindenergieanlage	Leistungsklasse 3

2.3.2 Batterieladung

Anlagen im kleinsten Leistungssegment <1kW, werden zum Beispiel im Campingbereich eingesetzt. Die Nennleistung sollte im besten Fall der maximalen Ladeleistung der Batterie entsprechen, damit der gesamte Strom genutzt werden kann. Oft sind die Anlagen als Komplettpaket mit einem passenden Batterielader in der gewünschten Spannungsebene (12 V, 24 V DC) verfügbar [1], siehe auch Abbildung 14.

Falls die Anlage mehr produziert als genutzt werden kann, kann dies über einen **separaten Lastwiderstands** ausgeglichen werden, der die überschüssige elektrische Energie in Wärme umwandelt [1].

2.3.3 Eigenstromnutzung

Der erzeugte Strom wird vollständig ins Hausnetz eingespeist. Dies ist die derzeit häufigste Verwendung von Strom aus KWEA. Hierfür gilt, dass sich der/die Betreiber_in im Vorfeld über die

Zulässigkeit des Anschlusses informieren muss. Außerdem sollte sichergestellt werden, dass der gesamte KWEA-Strom auch verbraucht wird. Dazu ist die bestehende Grundlast zu prüfen. [1].

Hiernach sollte die Anlage ausgesucht werden, das heißt die Nennleistung der KWEA sollte etwa der geringsten, dauerhaft verbrauchten Leistung (Grundlast) im Gebäude entsprechen. Seit der letzten EEG-Novelle im August 2014 können die Übertragungsnetzbetreiber nach §61 EEG 2014 Anteile der EEG-Umlage nach § 60 Absatz 1 verlangen. Der Anspruch entfällt bei Eigenversorgungen, die aus KWEA mit einer installierten Leistung von höchstens 10 KW erzeugt werden, für höchstens 10 MWh selbst verbrauchten Strom pro Kalenderjahr § 61 Abs. 2 Nr. 4 EEG 2014. Die nächste EEG-Reform wird bereits 2016 erfolgen, sodass hierbei auf weitere Änderungen zu achten ist.

Wenn die KWEA ans Hausnetz angeschlossen ist oder werden soll, muss sie dem örtlich Energieversorgungsunternehmen (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 Freischaltstelle, 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 [1].

2.3.4 Netzeinspeisung

Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Verteilnetz eingespeist. Bezüglich der Anlagenauswahl gibt es hier keine Begrenzungen in der Dimensionierung. Es ist möglich, dass die Einspeisekapazität des Verteilnetzes begrenzt ist, wodurch nicht der gesamte erzeugte Strom eingespeist werden könnte. Hierüber sollte sich der/die Betreiber_in im Vorfeld informieren [1].

Die Vergütung erfolgt über das EEG. Es gibt keinen gesonderten KWEA-Tarif, sodass die gleichen Regelungen wie für große Windkraftanlagen nach dem EEG 2014 gelten. Die Vergütung wird im Paragraphen 49 EEG 2014 geregelt. Für WEA gilt der anzulegende Wert von 4,95 Cent pro Kilowattstunde als Grundwert. In den ersten fünf Jahren liegt die Vergütung bei 8,90 Cent pro Kilowattstunde (Anfangswert). Damit ist die Vergütung geringer als der Strombezugspreis und diese Nutzungsvariante des KWEA-Stroms unwirtschaftlich. Wenn der Strom der Anlage ins öffentliche Netz eingespeist werden soll, hat das auch Auswirkungen auf den Genehmigungsprozess im Vorfeld. Die Anlage kann in vielen Fällen als Nebenanlage im vereinfachten Verfahren oder Freistellungsverfahren behandelt werden, wenn der Strom zu mindestens 50 Prozent dem Eigenverbrauch dient. Damit ist die Netzeinspeisung aus wirtschaftlicher sowie rechtlicher Sicht für den/die Betreiber_in eher nicht empfehlenswert [1].

2.3.5 Netzanschluss und Zähleinrichtung

Falls man sich dennoch für eine Netzeinspeisung entscheidet, richtet sich der Netzanschluss nach den **Technischen Anschlussbedingungen (TAB)** des zuständigen Netzbetreibers. Für

Neuanlagen gelten die Regelungen des Anschlusses nach VDE-AR-N 4105. Der/die Betreiber_in der KWEA muss des Weiteren eine Zählleinrichtung, **einen Erntezähler**, installieren. Dieser wird i.d.R. an den ungezählten Strompfad direkt am Hausanschlusskasten (HAK) angeschlossen. Um Kosten und Leitungsverluste gering zu halten, sollte die Distanz zwischen Netzverknüpfungspunkt und KWEA möglichst gering sein [1].

Wenn dies nicht möglich ist, kann die KWEA auch an den gezählten Strompfad angeschlossen und der Strom durch das Hausnetz geleitet werden.

2.3.6 Verwendung der KWEA als Hybrid-Anlagen

Es bietet sich an, PV- und Windanlagen als Hybridsysteme zu betreiben, da die Wetterverhältnisse oft dadurch gekennzeichnet sind, dass in sonnenstarken Zeiten schlechte Windverhältnisse herrschen und im Herbst oder bei Wolkenbildung die Windgeschwindigkeiten zu nehmen. Gerade für netzferne Regionen sind Hybridanlagen eine gute Lösung, die Stromversorgung zu gewährleisten.

2.4 Verschiedene technische Konzepte von KWEA

2.4.1 Widerstands- und Auftriebsprinzip

KWEA nutzen entweder das Widerstandsprinzip oder das Auftriebsprinzip.

Nach dem **Widerstandsprinzip** wird der Rotor allein durch die Schubkraft des Windes in Bewegung versetzt. Anlagen, die nach diesem Prinzip funktionieren, sind einfach und kostengünstig herstellbar. Die Umwandlung der kinetischen Energie des Windes auf diese Weise ist jedoch sehr ineffizient. Der theoretisch maximale Wirkungsgrad liegt bei 20 Prozent bezogen auf die Energie im Wind [6].

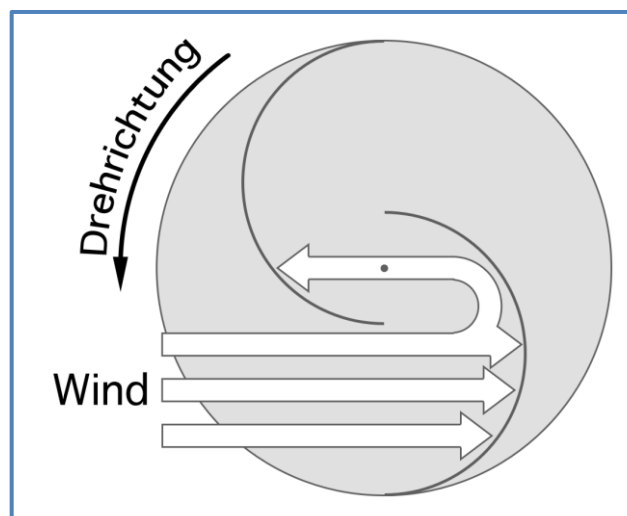


Abbildung 1: Savonius-Rotor im Querschnitt [7]

Abbildung 1 zeigt das Funktionsprinzip des Savonius-Rotors im Querschnitt. Die Rotorfläche steht dem Wind als Widerstand entgegen und wird durch diesen „weggedrückt“.

Das **Auftriebsprinzip** (vgl. Abbildung 2) ist das gebräuchlichste Prinzip und am effizientesten in der Energieumwandlung. 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. Der theoretisch erreichbare Wirkungsgrad beträgt 59 %, in der Praxis werden mit gut konzipierten Flügelprofilen Wirkungsgrade von ca. 40 % erreicht [6].

Dieses Prinzip hat sich bei den großen WEA durchgesetzt und ist auch bei KWEA dominierend.

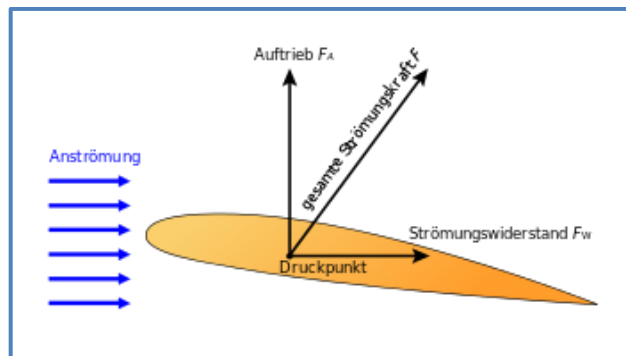


Abbildung 2: Kräfte am Rotorblatt [7]

2.4.2 Verschiedene Anlagentypen von KWEA



Abbildung 3: Vielfalt an Kleinwindenergieanlagen [4]

Auf dem Markt für KWEA findet man eine Vielzahl von unterschiedlich konstruierten Anlagentypen, am häufigsten anzutreffen sind jedoch Horizontalachser mit 3 Rotorblättern, in der Ausführung als Luvläufer mit Permanentmagnetgenerator und Windfahne. Neben diesem Standardtyp sind zahlreiche weitere KWEA-Bauformen zu finden, die in Abbildung 3 exemplarisch aufgeführt sind. Die Wahl der KWEA muss daher je nach Standort sowie weiteren Rahmenbedingungen des Projekts sorgfältig getroffen werden, da jeder Anlagentyp seine Vor- und Nachteile hat.

KWEA mit vertikaler Rotorachsenausrichtung

Vorteile: KWEA mit vertikal ausgerichteter Rotorachse sind aufgrund ihrer Robustheit gegenüber hohen Turbulenzen (Windrichtungsänderungen) besonders für dicht besiedelte Gebiete geeignet, in denen nur selten von einer gleichförmigen Anströmung auszugehen ist. Anlagen dieses Bautyps erreichen meist nur geringe Blattspitzengeschwindigkeiten, wodurch die Schallemissionen gering bleiben. Vertikale KWEA erfordern keine Windnachführung, sodass die direkte Nutzung der Energie auch bei schnellen und häufigen Wechseln der Anströmungsrichtung und Geschwindigkeit möglich ist.

Nachteile: Sie sind naturgemäß schwerer ausgeführt als Horizontalachser der gleichen Leistungsklasse, was i.d.R. mit höheren Preisen verbunden ist. Energetisch gesehen sind sie ineffizienter in der Umwandlung von kinetischer in elektrische Energie als Horizontalachser bei gleicher überstrichener Rotorfläche [1]

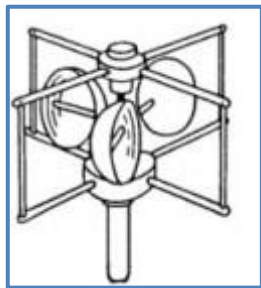


Abbildung 4: Veranschaulichung einer vertikalachsigen KWEA [6]



Abbildung 5: Veranschaulichung einer horizontalachsigen KWEA [8]

KWEA mit horizontaler Rotorachsenausrichtung

Vorteile: Sie stellen den Großteil, der am Markt befindlichen KWEA dar. Meistens verwenden die Hersteller (wie bei großen WEA) 3 Rotorblätter. Es gibt aber auch Bauformen mit zwei, vier oder fünf Rotorblättern. Sie haben eine kompakte Bauweise und sind effizienter als Vertikalachser. Außerdem ist das Betriebsverhalten der Anlagen deutlicher ruhiger, als das der vertikalen KWEA, da weniger strömungstechnische Störungen induziert werden.

Nachteile: Sie benötigen eine **Windnachführung** und reagieren, wenn passiv geführt z.B. mit Windfahne, empfindlich auf schnell wechselnde Windrichtungen. Dadurch werden zusätzliche Schwingungen in die Tragstruktur eingeleitet. Dieser Effekt wird in dicht besiedeltem Gebiet mit hoher Umgebungsbebauung bzw. anderen Hindernissen verstärkt, weshalb horizontale KWEA im Stadtgebiet eher ungeeignet sind. Ihre recht hohen Schallemissionswerte überschreiten überdies oft die geltenden Grenzwerte (nach TA Lärm, Kapitel 5.5.6) und erschweren aufgrund genehmigungsrechtlicher Belange somit zusätzlich den Einsatz im bewohnten Gebiet [1].

Tabelle 3: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile von Vertikal- und Horizontalachsenanlagen [1]

Eigenschaften	Vertikale KWEA	Horizontale KWEA
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

Windrichtungsnachführung

Es gibt verschiedene Varianten von Windnachführungssystemen. Am geläufigsten insbesondere bei kleineren Anlagen ist **die Windfahne**, welche auch unproblematisch in der Handhabung ist. Automatische Windnachführungen, die bei etwas größeren Anlagen häufiger eingesetzt werden, sind mit einem höheren finanziellen Aufwand verbunden, führen aber zu einem ruhigeren Betriebsverhalten, da die Anlage gedämpft auf Windrichtungsänderungen reagiert [1].

Rotorposition zum Turm

Der Rotor kann sowohl vor als auch hinter dem Turm positioniert werden. Entsprechend werden KWEA als Luv- bzw. Leeläufer bezeichnet.

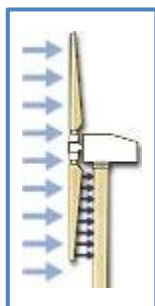


Abbildung 6: Luvläufer [9]



Abbildung 7: Leeläufer [9]

Luvläufer (vgl. Abbildung 6): Der Rotor befindet sich in Windrichtung vor dem Turm. Bei Sturm besteht die Gefahr, dass die Rotorblätter gegen den Turm gedrückt werden. Dieser Fall tritt allerdings eher selten auf, da Anlagen vorher i.d.R. abgeschaltet werden. Im Gegensatz zu Leeläufern benötigen sie zwingend eine Windrichtungsnachführung [9].

Leelläufer (vgl. Abbildung 7): Der Rotor befindet sich in Windrichtung hinter dem Turm. Bei dieser Ausrichtung entsteht ein Windschatten (durch den Turm), der zu geringfügigen Leistungseinbußen und überdies zu einer weiteren Schwingungsanregung führt. Sie benötigen keine Windrichtungsnachführung, da der Rotor sich dem Luftdruck entsprechend selbst ausrichten kann. Einige Hersteller setzen dennoch aktive Systeme ein, um das Betriebsverhalten zu beruhigen [9]. Abbildung 8 fasst den Variantenreichtum im Kleinwindmarkt nochmal zusammen.

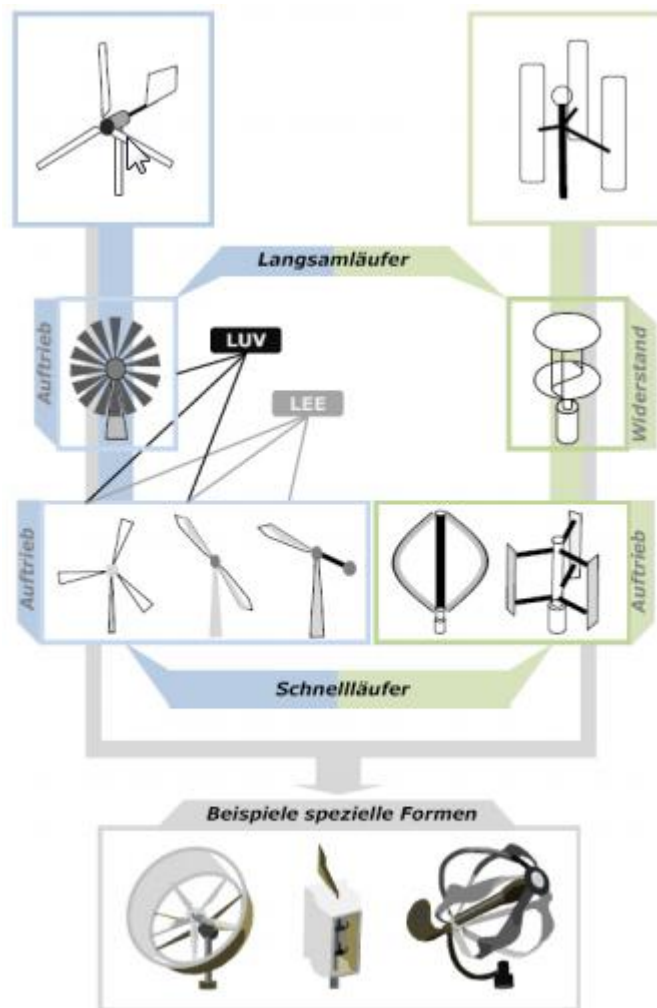


Abbildung 8: Vielfalt der Bauformen von KWEA [3]

2.5 Markt für KWEA weltweit

Bei der internationalen Kleinwind-Konferenz in Husum im März 2015 stellte der Weltverband für Windenergie WWEA (World Wind Energy Association) den Small Wind World Report 2015 vor. Dieser gibt einen Überblick über die Marktentwicklung im Sektor der Kleinwindenergieanlagen. Demnach waren Ende des Jahres 2013 mindestens 870.000 KWEA weltweit installiert. Im Vergleich zu 2012 mit mindestens 806.000 KWEA weltweit zeigt sich, dass der Markt weiter wächst. China ist weiterhin der Weltmarktführer und das Land mit den meisten aufgestellten KWEA mit

deutlichem Abstand gefolgt von den USA und Großbritannien. In diesen drei Ländern ist auch das größte jährliche Wachstum im KWEA-Sektor zu verzeichnen [10]. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Anzahl an KWEA in verschiedenen Ländern. Allerdings fehlen hier wichtige Märkte wie Indien und Italien, da für diese keine Zahlen vorlagen. Die WWEA geht demnach davon aus, dass die tatsächliche Anzahl an KWEA weltweit deutlich höher ist.

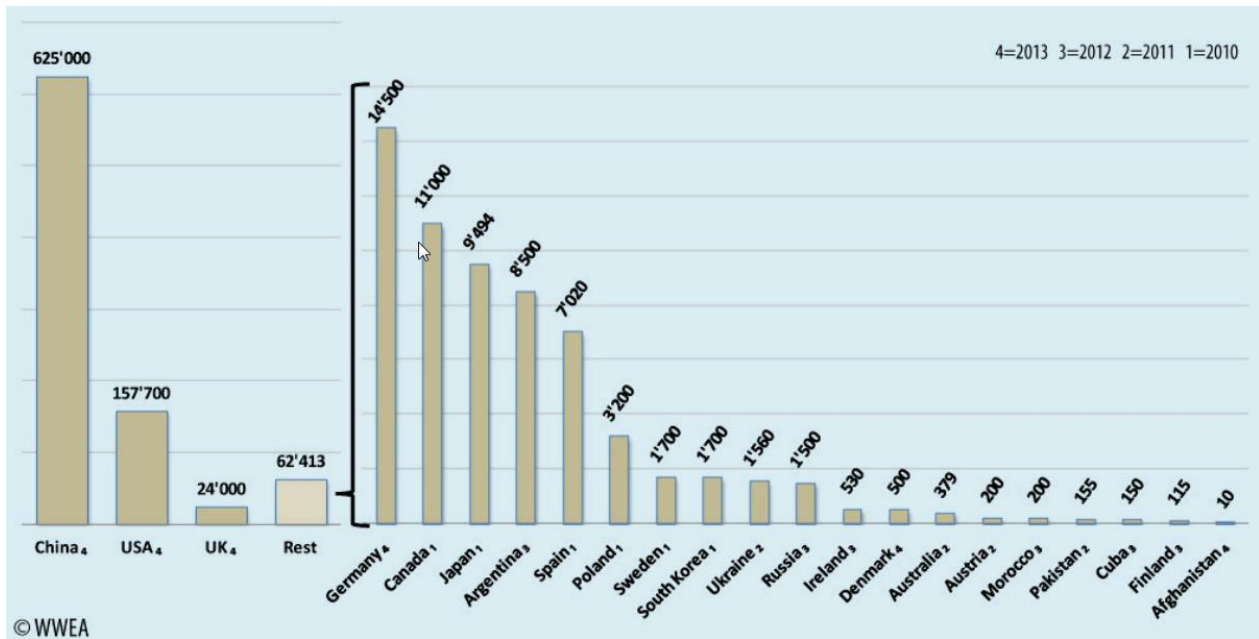


Abbildung 9: Insgesamt installierte KWEA weltweit, für z.B. Italien und Indien k.A. vorhanden [10]

2.6 Qualitätsstandards für KWEA und Entscheidungsparameter für den Kauf einer KWEA

Die **internationale Richtlinie IEC 61400-2** (Design Requirements for Small Wind Turbines) regelt alle Kriterien zur Auslegung von Kleinwindenergieanlagen. Käufer_innen können die Zertifizierung als Qualitätsmerkmal deuten, da der Hersteller mit der Anlage alle relevanten Sicherheitsbestimmungen einhält. Da eine Zertifizierung nach IEC sehr kostenintensiv ist, gibt es bisher jedoch nur wenige zertifizierte Anlagen auf dem Markt. In Deutschland sind beispielsweise die Anlage von Lely Aircon B.V. sowie die EasyWind 6 nach diesem Standard zertifiziert.

Neben dieser europäischen Norm existieren weitere internationale Standards, die als Orientierungshilfe dienen können. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um den **amerikanischen „AWEA Small Wind Turbine Performance and Safety Standard“** oder den britischen **Microgeneration Certification Scheme (MCS)**. Bei nicht zertifizierten Anlagen muss bei der Auswahl auf mögliche qualitative Mängel geachtet werden, indem man zum Beispiel beim Hersteller nach den gängigen Qualitätsstandards der Normen fragt und sich über eine **Konformitätserklärung** nachweisen lässt, dass die Anlage diesen ebenfalls entspricht [1].

Für die Auswahl einer KWEA können verschiedene Entscheidungsparameter zu Rate gezogen werden. Die obengenannte Richtlinie IEC 61400-2 nimmt u.a. die Einordnung der Anlagen entsprechend der Windklasse und der Nennleistung vor. Diese werden im Folgenden kurz erläutert. Weiterhin werden verschiedene Komponenten und Eigenschaften vorgestellt, die bei der Wahl berücksichtigt werden sollten.

2.6.1 Die Windklasse

Die Windklasse gibt sowohl die durchschnittliche Windgeschwindigkeit am Standort als auch die 50-Jahres Extremwerte an. Es gibt die **Klassen I bis IV sowie Klasse S**, in der die Standorte zusammengefasst werden, die nicht in den Klassen I bis IV abbildbar sind. Tabelle 4 zeigt die einzelnen Windklassen und die dazugehörigen Windgeschwindigkeiten [6].

Klasse I steht zum Beispiel für die windreichsten Standorte mit einer Durchschnittswindgeschwindigkeit von 10 m/s auf Nabenhöhe, welche z.B. in Küstenregionen zu finden sind. Die Windintensität nimmt mit zunehmender Windklasse ab, sodass die Durchschnittswindgeschwindigkeit in der Klasse **IV** nur noch 6 m/s beträgt [6].

Tabelle 4: IEC-Windklassen I-IV [6]

IEC	I	II	III	IV
50-Jahres-Extremwert	50 m/s	42,5 m/s	37,5 m/s	30 m/s
durchschnittliche Windgeschwindigkeit	10 m/s	8,5 m/s	7,5 m/s	6 m/s

Da KWEA oft nicht besonders hohe Türme haben, werden Sie eher für die Windklassen II bis IV ausgelegt. Die Einordnung des gewünschten, zukünftigen Standorts der KWEA in dieses Schema hilft die geeignete Anlage zu finden. Da jedoch nur eine geringe Anzahl an am Markt erhältlicher KWEA zertifiziert ist, ist ein umfangreicher Vergleich von KWEA nach diesem Kriterium nur bedingt möglich.

2.6.2 Die Nennleistung

Wenn die Anlage nicht bereits einer Windklasse zugewiesen ist, kann die Auswahl der potentiellen Anlage mit Hilfe der Nennleistung erfolgen.

Die **Nennleistung** wird jeweils für eine **Nennwindgeschwindigkeit V_{Nenn}** angegeben, welche ungefähr der Maximalleistung entspricht und von Anlage zu Anlage variiert. Da die einzelnen Hersteller die Nennleistungen bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten angeben, ist ein schlichter Vergleich zweier Nennleistungen zur Einschätzung der KWEA nicht ausreichend. Es bedarf eines weiteren Parameters zum Beispiel der **gemessenen Leistungskennlinie**, die ein seriöser Hersteller für seine Anlagen bereitstellen sollte. Sie gibt an, welche Leistung die Anlage bei den verschiedenen Windgeschwindigkeiten zur Verfügung stellen kann. Des Weiteren ist für eine weiterführende Beurteilung die **überstrichene Rotorfläche** hilfreich [1].

Außerdem bietet sich ein Vergleich auf Basis der **spezifischen Leistung**, also der Leistung pro m^2 Rotorfläche $[\text{kW}/\text{m}^2]$, an. Diese Größe lässt sich aus der Rotorfläche und der Nennleistung berechnen. Dieser Vergleich macht deutlich, dass KWEA die gleiche Nennleistung haben können, bei einem größeren Rotor (heißt geringere spezifische Leistung) diese aber schon bei geringer Windgeschwindigkeit erreicht werden kann. Diese Anlagen nennt man auch **Schwachwindanlagen** und eignen sich entsprechend für Standorte mit geringer Windgeschwindigkeit die spezifische Flächenleistung ist dabei besonders gering (ca. $100\text{-}200 \text{ W}/\text{m}^2$) [1].

Demgegenüber kann bei **Starkwindanlagen** die spez. Leistung bis zu $500 \text{ W}/\text{m}^2$ und mehr betragen. Diese eignen sich für Gebiete mit sehr hohen Windgeschwindigkeiten. Die **An- und Abschaltgeschwindigkeit** der Anlage muss ebenfalls zu den Gegebenheiten am Standort passen. Hierbei muss bedacht werden, dass Anlagen mit einer Abschaltwindgeschwindigkeit von 15 m/s für windstarke Standorte ungeeignet sind. Treten Windgeschwindigkeiten oberhalb 15 m/s häufiger auf, so sind deutliche Ertragsverluste zu erwarten [1].

2.6.3 Sicherheitselemente

Jede KWEA sollte über eine Sturmsicherung verfügen, die die Anlage im Extremfall abschaltet oder drosselt. Dadurch wird vermieden, dass durch Überdrehzahl oder auch erhöhte Schubkraft auf den Rotor Schaden an der Anlage entsteht bzw. die Umgebung/Umwelt gestört wird.

Generell kann zwischen **passiver und aktiver Sturmsicherung** unterschieden werden. Passive Systeme arbeiten automatisiert, sind i.d.R. ausfallsicher und benötigen keine zusätzliche Überwachung. Aktive Sturmsicherungen benötigen eine zusätzliche Kontrollfunktion, die in die Anlagensteuerung implementiert werden muss. Für den Fall, dass dieses System ausfällt muss ein weiteres Sicherheitssystem für einen sicheren Betriebszustand der Anlage sorgen [1].

Die Hersteller verwenden unterschiedliche Konzepte. Im Folgenden werden einige kurz erläutert.

- Einfachstes Mittel ist das **Abschalten** der Anlage bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten. Die KWEA ist nur noch geringen Lasten auf den stehenden Rotor ausgesetzt [1].
- Die **Helikoptersicherung (passiv)** wird ausschließlich bei horizontalen KWEA eingesetzt. Der Rotor wird bei zu hohen Windgeschwindigkeiten über ein Gelenk am Drehpunkt in die Horizontale Ebene gekippt, wodurch sich die Windlast erheblich verringert und die Statik entlastet (vgl. Abbildung 10) [1].
- **Pitchsysteme (aktiv/passiv)** werden ebenfalls vornehmlich bei horizontalen KWEA eingesetzt. Durch die Veränderung des Pitchwinkels, d.h. der Ausrichtung des Rotorblattes zur Anströmung des Windes, wird die Windlast deutlich verringert, wodurch die Anlagen teilweise auch bei hohen Windgeschwindigkeiten weiterlaufen können [1].

- Die **Drehzahlüberwachung (aktiv)** dient der Betätigung eines Bremssystems (z.B. Scheibenbremse, Kurzschluss, Einschalten eines Lastwiderstands). Dieses System wird häufig bei vertikalen KWEA eingesetzt [1].

Eine **Überprüfung** der Funktionsfähigkeit der Sturmsicherungssysteme nach einem Sturm ist zusätzlich erforderlich.

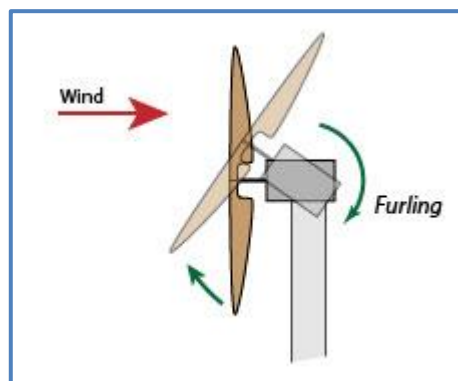


Abbildung 10: Schema der Helikoptersicherung als Beispiel für Furling [11]

2.6.4 Äußerer Blitzschutz

Insbesondere bei Anlagen, die an oder auf Gebäuden errichtet werden, sollte der Hersteller ein geeignetes Blitzschutzkonzept anbieten, um die Anlage in das gebäudeeigene Blitzschutzkonzept einzubinden [1]. Der Blitzschutz soll die KWEA und alle elektrisch leitfähigen Komponenten vor Blitzeinschlägen schützen und fungiert als **Überspannungsschutz** im Falle von Blitzeinschlägen.



Abbildung 11: Fangstange als möglicher Blitzschutz [12]

Über einen äußeren Blitzschutz wird die Anlage vor Einschlägen geschützt, die direkt in die Anlage erfolgen würden. Die Blitzeinschläge sollen „eingefangen“ und zur Erde hin abgeleitet werden. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel für eine externe Fangeinrichtung durch eine Fangstange. Die

Auswahl des „Blitzfängers“ hängt letztlich vom KWEA-Modell, dessen Größe sowie vom Standort ab [1].

Das „Einfangen“ kann über zwei Wege erfolgen:

- **Integration in den vorhandenen Blitzschutz**

Die Anlage ist hier aktiver Teil des Blitzschutzes und dient selbst als Fangeinrichtung [1]

- **Externe Fangeinrichtung**

Hier wird die KWEA zum passiven, geschützten Bestandteil des Blitzschutzes. Es wird eine externe Fangeinrichtung aufgebaut und zwar so, dass sich die KWEA in dessen Schutzwinkel befindet. Für die Errichtung bestehen klare Vorgaben zu Trennabständen zwischen KWEA sowie der Verkabelung zu Bauteilen, die mit dem Blitzschutz verbunden sind. Regelungen zu Trennabständen sind unter anderem beim **Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V. (VDB)** [13] einzusehen. Da die Installation des Blitzschutzes durch eine dafür beauftragte Firma übernommen werden muss, kann sich ebenfalls bei dieser über die Vorschriften erkundigt werden. Ein weiterer Ansprechpartner bei Fragen bezüglich dieser Thematik ist der Hersteller der Anlage [1].

2.6.5 Innerer „Blitzschutz“ / Überspannungsschutz

Zum Inneren Blitzschutz zählen alle Maßnahmen, die die Anlage und deren Elektronik vor Überspannung schützen. Überspannung kann durch Blitzstrom und Blitzspannung ausgelöst werden. Auch hier gibt es zwei mögliche Ansätze:

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

Weitere Sicherungselemente [1], die notwendig werden könnten, sind

- Sicherungen vor Eisabwurf
- eine Fledermausabschaltung

2.6.6 Wahl des Wechselrichters inklusive Verkabelung

Der Wechselrichter wandelt die Gleichspannung bzw. den Gleichstrom in Wechselspannung bzw. Wechselstrom um. Dies ist wichtig, da der erzeugte Gleichstrom nicht ins Stromnetz eingespeist werden kann. Bei der Auswahl des Wechselrichters ist darauf zu achten, dass er speziell auf die Betriebseigenschaften einer KWEA abgestimmt bzw. optimiert ist. Das Hauptauswahlkriterium ist der Eingangsspannungsbereich, der zum Ausgangsspannungsbereich der KWEA passen muss. Gute Wechselrichter verfügen darüber hinaus über die Möglichkeit, die Anlagenkennlinie einzu-

programmieren. Es ist sinnvoll, beim Hersteller anzufragen, ob er einen entsprechend vorprogrammierten Wechselrichter für die KWEA mit anbietet. Bei Anlagen mit mehr als 4,6 kW, ist eine 3-phasige Einspeisung mit entsprechenden Wechselrichtern vorgesehen [1].

In Abbildung 12 wird die zentrale Bedeutung des Wechselrichters deutlich. Das Schaubild zeigt viele mögliche Funktionen, die der Wechselrichter übernehmen kann, die aber für den KWEA-Betrieb nicht zwingend notwendig sind. Der Wechselrichter übernimmt nahezu die gesamte Steuerung der Anlage (z.B. Überwachungs- und Schutzfunktion). KWEA-Wechselrichter müssen den aktuellen Normen zur Netzverträglichkeit (VDE-AR-N 4105-R) entsprechen [14].

Die Verkabelung sollte über den kürzesten Weg zwischen KWEA und Wechselrichter bzw. KWEA und Akkumulator/Verbraucher erfolgen, um möglichst geringe Verluste zu gewährleisten. Es sollten UV-beständige Kabel und Leitungen sowie Leitungsführungssysteme verwendet werden. Grundsätzlich ist die Installation und Verkabelung des Wechselrichters über einen Fachbetrieb durchzuführen [1].

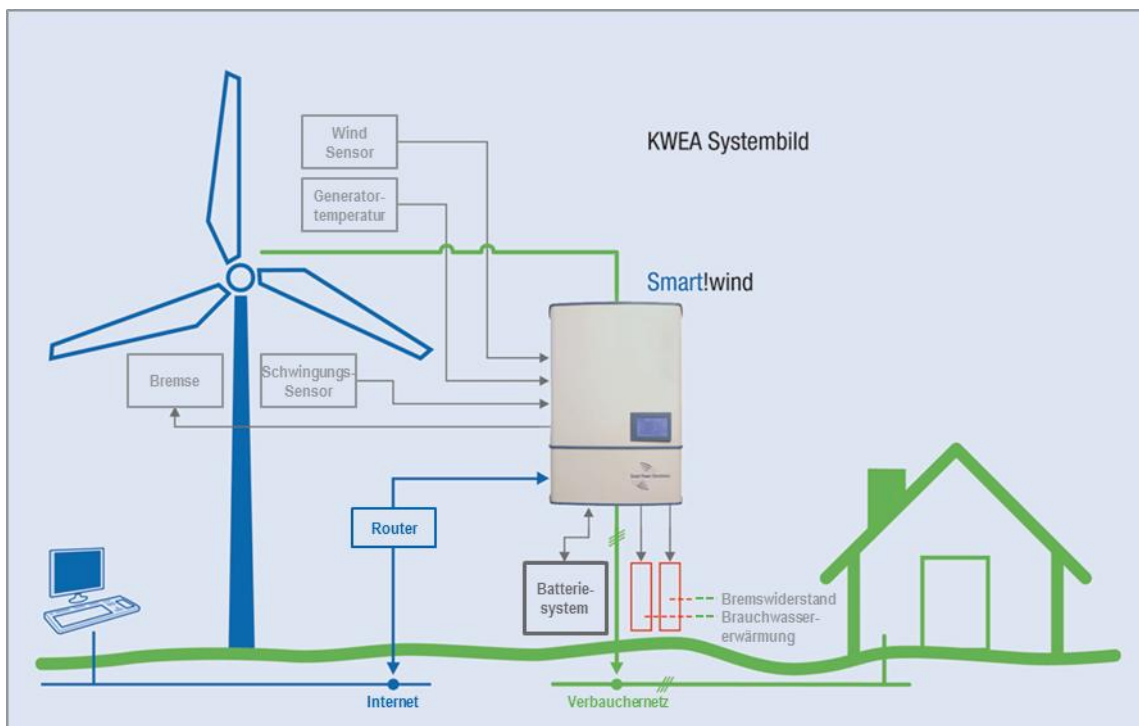


Abbildung 12: KWEA Systembild [15]

2.7 Beispielanlagen

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über gängige Anlagentypen gegeben, die es momentan am Markt gibt. Umfassende Marktanalysen und -recherchen zur Beschaffenheit des KWEA-Marktes gibt es vom Bundesverband Windenergie, dem Nordic Folkecenter in Dänemark und

anderen Einrichtungen weltweit. Folgende Übersichten können bei der Suche nach der geeigneten Kleinwindenergieanlage hilfreich sein:

- „BWE-Marktübersicht Spezial Kleinwindanlagen: Handbuch der Technik, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit kleiner Windräder“ vom März 2013 [16]
- “Catalogue of Small Wind Turbines 2012” von Katie Christensen, Nordic Folkecenter for Renewable Energy, März 2012
- “Catalogue of European Urban Wind Turbine Manufacturers” aus dem Projekt „Wind Energy Integration in the Urban Environment“ gefördert von der Europäischen Kommission innerhalb des „Intelligent Energy – Europe“ - Programms

2.7.1 Die Ampair 100 x 0,9



Abbildung 13: Ampair 100 x 0,9

Die Anlage ist vom Hersteller Ampair aus Großbritannien. Hierbei handelt es sich um einen **Luvläufer** mit Windfahne. Der Rotor befindet sich demnach vor dem Turm. Die Windnachführung erfolgt passiv mit einer Windfahne (siehe Abbildung 13). Die Anlage verfügt über einen Permanentmagnetgenerator, der bei Kleinwindenergieanlagen am häufigsten verwendet wird. Des Weiteren verfügt die Anlage aus Sicherheitsgründen über einen elektrischen Überdrehzahlenschutz, d.h. die Anlage wird bei zu hohen Drehzahlen gedrosselt. Die KWEA wird häufig mit einem PV-Modul kombiniert und wird z.B. auf Yachten oder in anderen Off-Grid-Bereichen angewendet.

Tabelle 5: Technische Angaben zur Ampair 100 x 0,9 [17]

Kenngrößen	
Nennleistung	100 W
Rotordurchmesser	0,93 m
Blattanzahl	6
Einschaltwindgeschwindigkeit	3,5 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	15 m/s
Nabenhöhe	12,5 m
Überlebenswindgeschwindigkeit	> 60 m/s
Preis	777 €

2.7.2 JetPro

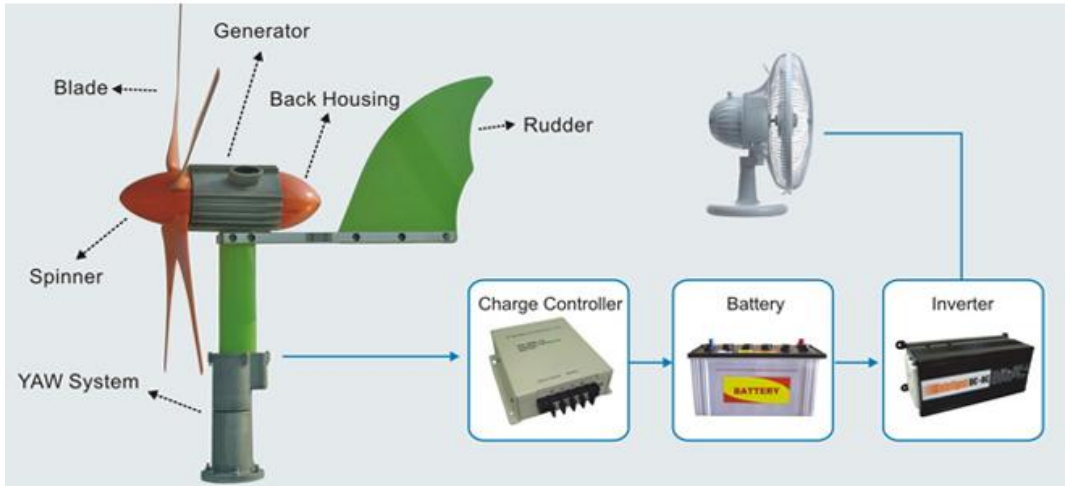


Abbildung 14: JPT-100 im Anwendungsbeispiel als Batterielader, zur Versorgung von elektrischen Verbrauchern (hier: Ventilator) [18]

Die Anlage stammt vom Hersteller **Jetpro Technology** aus Taiwan. Bei der JPT-100 handelt es sich um die KWEA, die auf dem Dach des Brandis-Gymnasiums in Sachsen (Kooperationsschule im Projekt) angebracht wurde (vgl. Abbildung 14)

Die Anlage verfügt ebenfalls über einen Permanentmagnetgenerator und kann, wie es in Brandis auch der Fall war, mit einem PV-Modul kombiniert und als Hybridanlage genutzt werden. Zusätzlich wird eine Batterie mit entsprechender Laderegulung hinzugefügt, um die z.B. tagsüber gewonnene elektrische Energie abends oder nachts für Beleuchtungszwecke zu nutzen.

Tabelle 6: Technische Angaben zur JPT-100 [18]

Kenngrößen	
Nennleistung	100 W
Rotordurchmesser	0,68 m
Blattanzahl	5
Einschaltwindgeschwindigkeit	3 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	12 m/s
Nabenhöhe	Variabel
Abschaltgeschwindigkeit	20 m/s
Preis (in Kombination mit 100 W PV, siehe Abbildung 14 [Interview mit John Deere Vertriebler])	2.800,- €

2.7.3 VK 50 – Amperius



Abbildung 15: VK 50 Amperius [19]

Die Anlage ist vom **Hersteller KD Stahl- und Maschinenbau GmbH** aus Deutschland. Dessen Sortiment beinhaltet Amperius Anlagen mit vertikaler Rotorachsausrichtung verschiedener Größen (vgl. Abbildung 15). Sie verfügen über integrierte Sicherheitscontroller mit Drehzahlüberwachung. Eine selbstständige Leistungsbegrenzung bei Starkwind fungiert als Schutzsystem. Die KWEA sind mit Permanentmagnetgeneratoren ausgestattet und haben Nennleistungen von 200 W bis 5 kW [20]

Tabelle 7: Technische Angaben VK 50 – Amperius [20]

Kenngrößen	
Nennleistung	860 W
Rotordurchmesser	1,90 m
Blattanzahl	3
Einschaltwindgeschwindigkeit	2,5 m/s
Max. Leistung	1100 Watt bei 13 m/s
Masthöhe	9 m/ 18 m
Abschaltgeschwindigkeit	16 m/s
Preis (für Bruttokunden)	4.150,- €

2.7.4 EasyWind



Abbildung 16: Easy Wind 6 [21]

Die **Easywind GmbH** ist eine deutsche Firma, bei deren Anlage es sich um einen Luvläufer mit Windfahne und einem asynchronen polumschaltbaren Generator handelt, siehe Abbildung 16. Das Leistungsbegrenzungs-system bei Sturm basiert auf einer aerodynamischen Blattverstellung, sodass die Rotorblätter nicht mehr ideal vom Wind angeströmt werden und sich die Drehzahl verringert. Ein weiteres Sicherheitssystem stellt eine federbelastete Scheibenbremse dar, wie sie häufig bei KWEA verwendet wird [22].

Tabelle 8: Technische Angaben zur Easy Wind 6 [22]

Kenngrößen	
Nennleistung	6 kW
Rotordurchmesser	6 m
Blattanzahl	4
Einschaltwindgeschwindigkeit	3 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	10,6 m/s
Nabenhöhe	7m/ 13m/ 19m
Abschaltwindgeschwindigkeit	keine (sturmsicher lt. Hersteller)
Preis (Angebot RLI)	27.500,- €

2.7.5 Aircon



Abbildung 17: Aircon 10s von Lely GmbH [23]

Die Aircon 10s vom deutschen **Hersteller Lely Aircon B.V.** ist eine **MSC-zertifizierte KWEA**, siehe dazu auch Kapitel 2.6. Sie verfügt über Temperatur- und Schwingungsüberwachung, um zusätzliche Sicherheitsbelange zu bedienen. Sie ist getriebelos und verfügt wie große MW-WEA über eine aktive Windnachführung, mit der die betriebsbedingten Schwingungen reduziert werden können. Hier muss allerdings auch bedacht werden, dass aktive System, d.h. basierend auf elektromechanischen Aktoren, kostenintensiver als passive Systeme sind. Gerade bei Kleinwindenergieanlagen kann das einen deutlichen Unterschied machen, siehe dazu auch Kapitel 4.3. Die Leistungsbegrenzung erfolgt über den Stall-Effekt. Über das Internet ist ein Fern-Monitoring der Anlage möglich.

Tabelle 9: Technische Angaben zur Aircon [24]

Kenngrößen	
Nennleistung	9,8 kW
Rotordurchmesser	7,1 m
Blattanzahl	3
Einschaltwindgeschwindigkeit	3,5 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	11 m/s
Nabenhöhe	18/24/30 m
Abschaltgeschwindigkeit	25 m/s
Preis inkl. Laderegler/ Inverter	41.174 €
Preise für verschiedene Turmhöhen	18 m - 9.390 €
	24 m - 18.825 €
	30 m - 26.120 €

2.7.6 C&F Green Energy



Abbildung 18: C&F 20 [25]

Bei den Anlagen des irischen Herstellers C&F Green Energy handelt es sich um Luvläufer mit aktiver Windnachführung (vgl. Abbildung 18). Die Leistungsregelung erfolgt über eine Pitchwinkelverstellung, wobei jedes Blatt einzeln über unabhängig agierende Pitchmotoren gesteuert wird. Die Anlage zeichnet sich insbesondere durch einen erhöhten Knowhow-Input in der Entwicklung der Rotorblätter (IEC-konform), des Brems- und Pitch-Systems aus. Auf dem Markt sind Anlagen mit den Leistungen 15, 20, 50, 75, und 100 kW erhältlich. Die Anlage ist nach IEC 61400-2 zertifiziert, siehe dazu auch Kapitel 2.6.

Tabelle 10: Technische Angaben zur C&F 20 [26]

Kenngrößen	
Nennleistung	20 kW
Rotordurchmesser	13,1 m
Blattanzahl	3
Einschaltwindgeschwindigkeit	1,5 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	9 m/s
Abschaltgeschwindigkeit	25 m/s
Nabenhöhe	20 m

Artikelnummer:	Artikel:	Preis netto	Preis brutto
CF11	11 KW Turbine, 9m Rotor Durchmesser, 15m Turm	66 000,- €	Ohne MwSt. Berechnung*
CF15	15 KW Turbine, 11,1m Rotor Durchmesser, 15m Turm	78 000,- €	Ohne MwSt. Berechnung*
CF20	20 KW Turbine, 13,1m Rotor Durchmesser, 20m Turm	88 000,- €	Ohne MwSt. Berechnung*
Montage	C11 / CF15 oder CF20	4 000,- €	4 760,- €
CF50	50 KW Turbine, 20,8m Rotor Durchmesser, 30m Turm	249 000,- €	Ohne MwSt. Berechnung*
CF75	75 KW Turbine, 20,8m Rotor Durchmesser, 30m Turm	264 000,- €	Ohne MwSt. Berechnung*
CF100	100 KW Turbine, 25,4m Rotor Durchmesser, 30m Turm	299 000,- €	Ohne MwSt. Berechnung*
Montage	CF50 / CF75 oder CF 100	16 000,- €	19 040,- €

Abbildung 19: Preise für verschiedene C&F Anlagen [27]

2.8 Wahl des Aufstellungsorts

Der richtige Standort ist für einen optimalen Energieertrag der KWEA essentiell. Daher werden nun die Auswahlkriterien für den Standort der Anlage im städtischen und ländlichen Bereich mit freier Aufstellung oder Dachmontage beleuchtet. Eine mindestens einjährige Messung der Windbedingungen am Standort im konkreten KWEA-Projekt ist in jedem Fall unerlässlich für eine zuverlässige Prognose des zu erwartenden Ertrages der Anlage.

Grundsätzlich sollte der Wind direkt auf die Anlage treffen, denn bereits kleine Strömungshindernisse können sich deutlich auf den Energieertrag auswirken. Im urbanen Raum gibt es i.d.R. eine hohe Bebauungsdichte, woraus eine hohe **Geländerauigkeit** folgt. Damit ähnliche Erträge wie in ländlichen Gebieten erzielt werden, muss die Anlage demnach deutlich höher montiert werden. In Abbildung 20 wird der Zusammenhang zwischen Siedlungsdichte und der Windgeschwindigkeit deutlich.

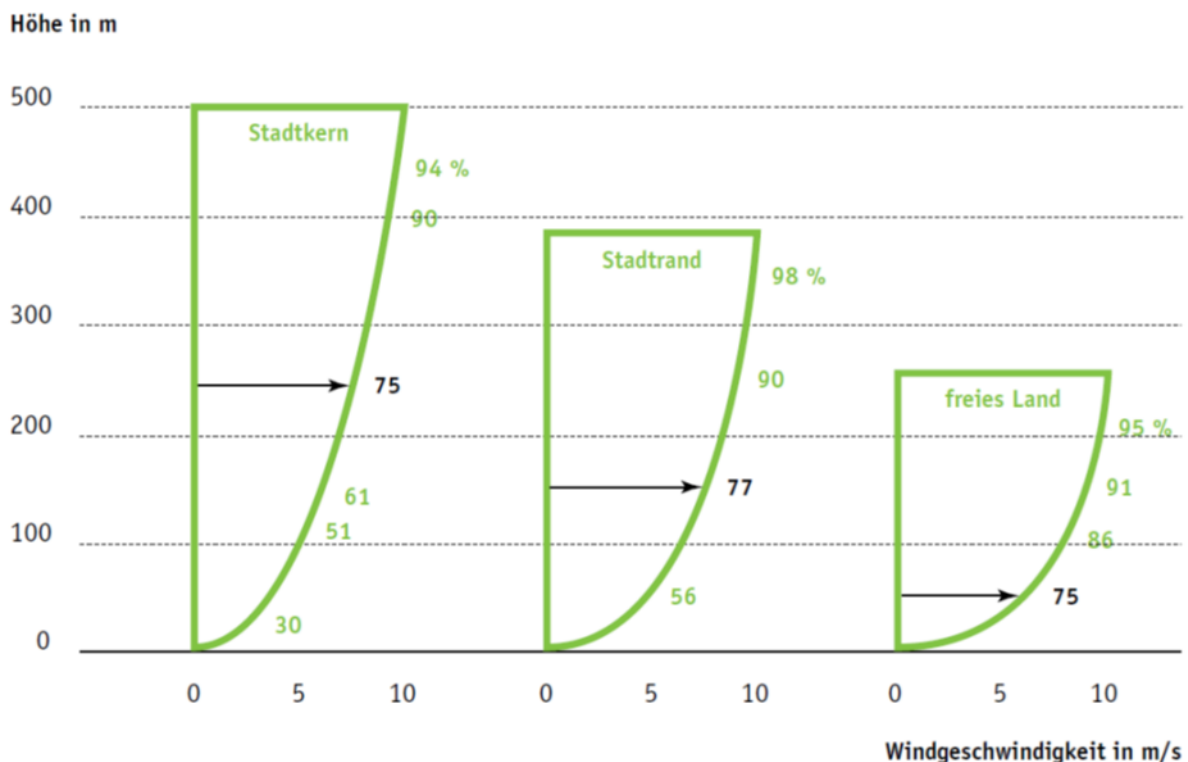


Abbildung 20: Das Windgeschwindigkeitsprofil in der Höhe bei unterschiedlichen Siedlungsdichten [1]

Es bietet sich eine Dachmontage im städtischen Gebiet an, wobei auch hier auf Strömungseffekte, wie die Dachablösung/ Ablöseblase an der Dachkante geachtet werden muss. Strömungshindernisse können weiterhin Bäume, Sträucher und dergleichen sein, weshalb auch bei einer Aufstellung im ländlichen Raum die Standortbedingungen (hier: Beschaffung der Umgebung) genau betrachtet werden müssen. Die Geländerauigkeit ist außerhalb der Stadt meist dennoch deutlich geringer. Für die Bestimmung des geeigneten Standortes werden nun die wichtigsten Aspekte genauer erläutert [1].

2.8.1 Windgeschwindigkeiten und Hauptwindrichtung am Standort

Eigene Messungen zur Windgeschwindigkeit und Windrichtung sind die genaueste aber aufwendigste Methode. Für eine aussagekräftige Einschätzung ist die Windmessung und Speicherung der Daten **eines gesamten Kalenderjahres** notwendig. Da das Windaufkommen innerhalb eines Jahres saisonalen Schwankungen unterliegt, kann eine Messung z.B. in den Wintermonaten leicht zu einer Überschätzung des Potentials am Standort führen. Das Messequipment umfasst den Messsensor (z.B. 3D-Ultraschallanemometer, Windfahne mit Schalenkreuzanemometer etc.), einen Datenspeicher und die Auswertesoftware. Die Kosten für die Hardware reichen von ca. 300 € bis mehreren 1.000 € [1].

Die Standorte der Messinstrumente sollten dem angedachten Standort der KWEA entsprechen. Für die genaue Auswahl ist einerseits die **Hauptwindrichtung** relevant, andererseits müssen störende Hindernisse vermieden werden, wie oben beschrieben. Die Hauptwindrichtung kann über die Abschätzung der lokalen Wetterdaten (Wetterdienste, Online Wetterportale, Wettermessstation in der Umgebung, evtl. auch bei Instituten) näherungsweise bestimmt werden [1].

Eine erste Bewertung der Windverhältnisse am Standort erfolgt über die **Mittlere Windgeschwindigkeit**. Diese gibt an, wie stark die Windgeschwindigkeiten durchschnittlich innerhalb eines bestimmten Zeitraums waren. Für die genaue Ertragsprognose ist jedoch eine Bestimmung der **Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten** notwendig. Diese werden in Windgeschwindigkeitshistogramme abgebildet (siehe Abbildung 21). Aus der Häufigkeitsverteilung kann dann die Energiemenge berechnet werden, welche in den jeweiligen Windgeschwindigkeitsbereichen (sog. BINs) zur Verfügung steht [1]. Das Fraunhofer IWES stellt ein Programm, den „Small Wind Turbine Yield Estimator“, kostenfrei zur Verfügung, mit dem die Häufigkeit der Windgeschwindigkeit für den eigenen Standort in die daraus resultierende Energiemenge umgerechnet werden kann [28].

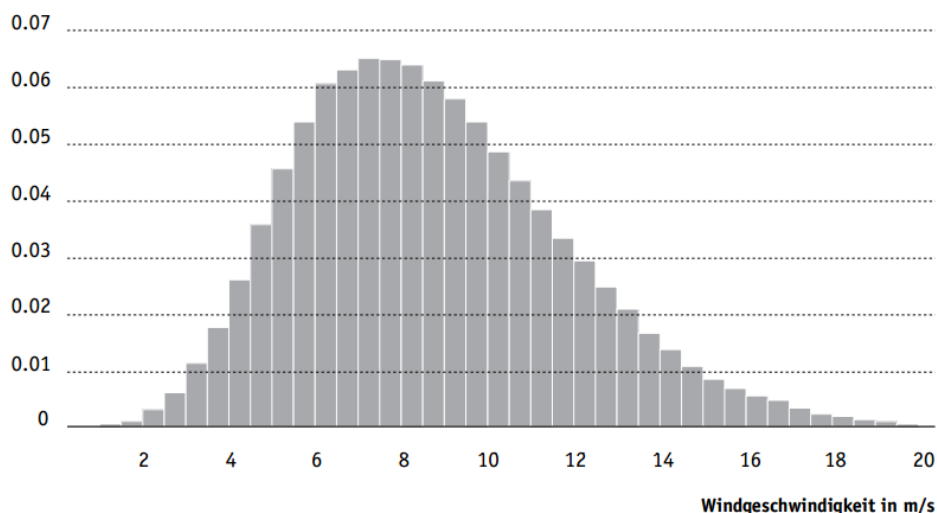


Abbildung 21: Relative Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten [1]

Wie bereits erläutert, ist die Bestimmung der Windrichtungsverteilung wichtig für die Ermittlung der Hauptwindrichtung sowie des optimalen Standorts. Diese wird mithilfe einer Windrose dargestellt, siehe Abbildung 22. Sie zeigt die Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeiten an, wodurch Rückschlüsse über die Windbedingungen am Standort gezogen werden können.

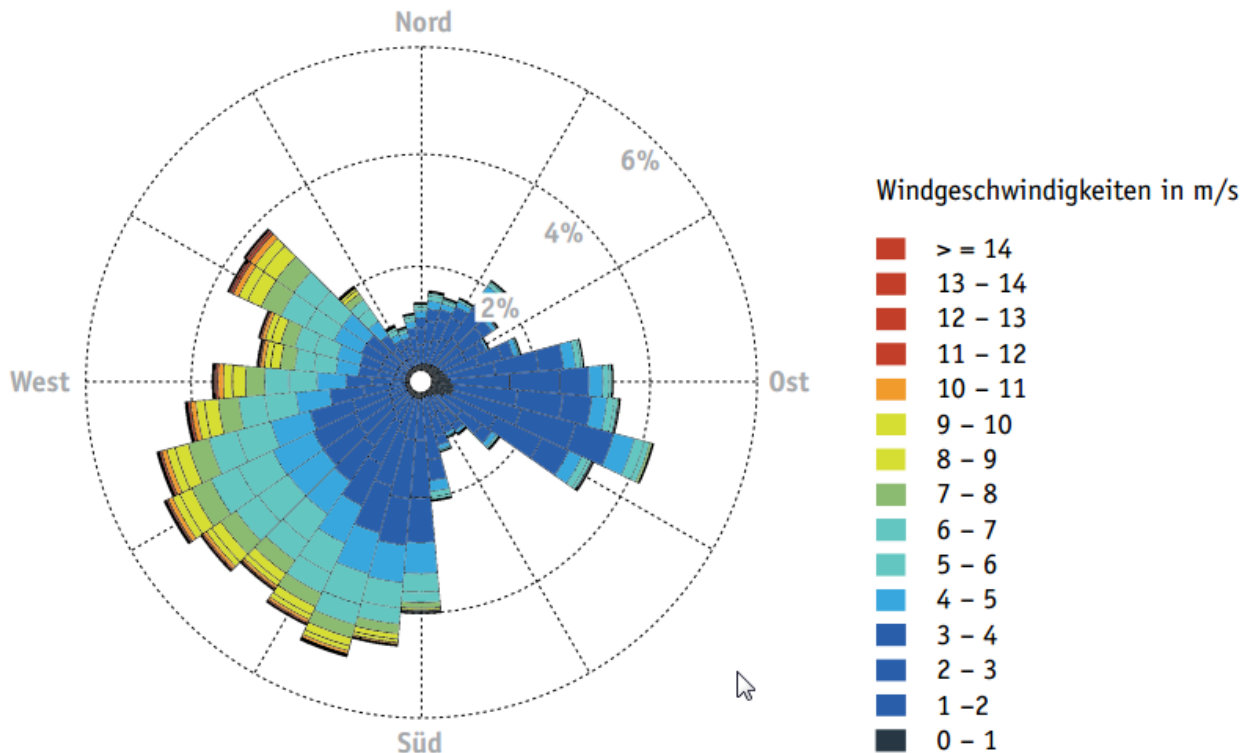


Abbildung 22: Richtungsabhängige Verteilung der Windgeschwindigkeiten in m/s [1]

Begünstigende Faktoren für einen Standort im urbanen Raum

Straßenschluchten weisen eine höhere Windgeschwindigkeit auf als ihre Umgebung auf gleicher Höhe. Bei dicht besiedelten Gebieten, in denen die Gebäude auf einer Höhe sind und die Dächer flach, entsteht annähernd eine „glatte“ Oberfläche wodurch sich die Bodenrauigkeit der Umgebung vermindert und somit einen geringeren Störeinfluss für die Windgeschwindigkeit darstellt. Die Folge wäre eine abgelöste Strömung über den Dächern und verhältnismäßig wenig Turbulenzen [1].

Ein auf den ersten Eindruck ungeeigneter Standort in der Stadt kann demnach durch die Positionierung auf dem Dach und unter Berücksichtigung der städtischen Gegebenheiten dennoch ein potentieller Standort für eine KWEA sein.

2.8.2 Aufstellung auf Gebäudedächern

Gut geeignete Standorte im urbanen Raum sind fast ausschließlich auf Gebäuden zu finden, und hier auch nur, wenn die benachbarten Gebäude den ausgewählten Standort nicht überragen. Hauptaugenmerk muss vor allem auf die Bebauung in Hauptwindrichtung gelegt werden, wie

oben bereits beschrieben. Die Gebäudehöhe sollte ebenfalls über dem Baumbewuchs der Umgebung liegen, da auch diese Hindernisse darstellen.

Grundsätzlich gilt: Je höher das Gebäude die Umgebung überragt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für gute Windverhältnisse am Standort. Große Abstände zu Nachbargebäuden vor allem in Hauptwindrichtung begünstigen den Standort zusätzlich [1].

Höhe und Geometrie des gewählten Gebäudes (ertragsrelevant)

Die Dachform des Gebäudes hat bei der Aufstellung eine große Bedeutung. Flachdächer eignen sich grundsätzlich besser als andere Formen, nicht nur hinsichtlich der besseren Windverhältnisse. Sie begünstigen auch die Erreichbarkeit für die Installation und Wartung der Anlage.

Platzierung der Anlage auf dem Dach

Die Windverhältnisse an Gebäuden werden stark durch eine Ablöseblase des Windes an der Dachkante gekennzeichnet, siehe Abbildung 23. Diese führt zu einer sehr turbulenten und teils langsamen Windströmung oberhalb des Gebäudes, die für den Einsatz einer KWEA ungeeignet ist. Die Standortauswahl auf dem Dach, muss deshalb zum Ziel haben, den Rotor der KWEA außerhalb/ oberhalb dieser Ablöseblase zu positionieren. Um hier die richtige Position zu finden, muss die Hauptwindrichtung bekannt sein. Mit Hilfe der Hauptwindrichtung und der Gebäudehöhe kann die Störung über dem Dach abgeschätzt werden. Bei homogener Anströmung des Windes aus hauptsächlich einer Richtung empfiehlt sich die **Aufstellung an der Gebäudekante**

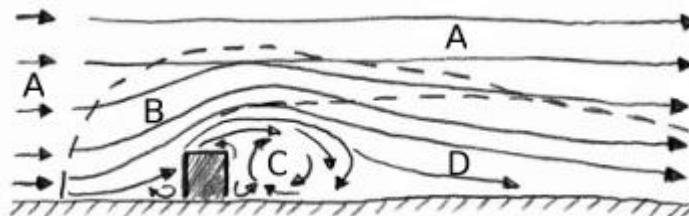


Abbildung 23: Ablösung der Strömung an Gebäuden [29]

Wenn aufgrund statischer Belange ein kleiner Turm verwendet werden muss, sollte die KWEA ebenfalls so nah wie möglich an der Gebäudekante positioniert werden, da die Höhe der Ablöseblase mit zunehmendem Abstand zur Dachkante an Höhe zunimmt, siehe Abbildung 23.

Anlagen, die empfindlich auf Schräganströmungen bzw. vertikale Windkomponenten reagieren, sollten nicht an der Dachkante errichtet werden.

2.8.3 Bautechnische Tauglichkeit des Daches und allgemeine Eigenschaften des Gebäudes (sicherheitsrelevant)

Wenn ein Standort auf dem Dach gefunden worden ist, der zu den Anforderungen der KWEA passt, muss im zweiten Schritt überprüft werden, ob die statischen Anforderung für eine Dachmontage an dieser Stelle (bzw. generell) gegeben sind und welche Dachanbindung (feste Verbindung oder Fixierung) geeignet ist.

Verschiedene Lastkomponenten bilden die statischen Anforderungen an das Dach [1]

- Gewichtskräfte der KWEA
- Bei Befestigung durch Beschwerung wirkt deren Gewicht ebenfalls auf das Dach ein
- Die dynamischen Windlasten, die auf den Rotor einwirken und sich über den Turm und das Gestell auf das Gebäude übertragen
- Aufschläge für Schneelasten je nach Schneelastzone

Der Nachweis der Standsicherheit ist für Dachkonstruktionen in der Regel immer erforderlich. Bei genehmigungspflichtigen Anlagen ist er Teil der Bauvorlage, aber auch bei genehmigungsfreien Anlagen ist der/die Bauherr_in dafür verantwortlich, dass die Standsicherheit der Anlage und des Trägergebäudes abgesichert ist.

Ein Standsicherheitsnachweis benötigt vorab verschiedene Informationen zur Anlage und zum Gebäude:

- **Anlagenseitige Komponenten:** Hersteller sollte alle relevanten Informationen zur Anlage und zum Mast liefern, aus denen hervorgeht wie die Anlage das Dach belastet [1]
- **Gebäudeseitige Komponenten:** Der Statiker erstellt auf Grundlage der Anlagendokumentation des Anlagenherstellers und den Unterlagen zur Gebäudestatik eine Bewertung der Tragfähigkeit des Gebäudes aus. [1]
- Der Standsicherheitsnachweis der Anlage basiert auf der **DIN EN / IEC 61400-2**.
- Die statischen Anforderungen sind in der **DIN 1055-4** definiert.

Für die Ermittlung des **optimalen Standorts aus statischer Sicht** muss die tragende Struktur des Daches untersucht werden. Ziel ist es, die KWEA so zu platzieren, dass die Kräfte optimal auf die tragende Struktur des Gebäudes übertragen werden können. Hierfür müssen die Auflagepunkte der Anlage (Füße) möglichst nah an den Versteifungen der Dachkonstruktion platziert werden [1].

Feste Dachanbindung

Die KWEA wird über mehrere Punkte fest (z.B. verschraubt) mit dem Dach verbunden. Eine Durchdringung ist dafür unumgänglich und muss abschließend durch eine Abdichtung wieder versiegelt werden, siehe Abbildung 24.

Vorteil:

- geringere statische Belastung
- Installation von Mast und ggf. Abspannung nicht nötig

Nachteil:

- Hohe Wahrscheinlichkeit für Körperschallübertragung ins Haus aufgrund direkter Anbindung

Weitere Bemerkungen:

- Beim Statiknachweis muss zusätzlich die Sicherheit bei Zuglasten nachgewiesen werden, da die windzugewandten Auflagepunkte bei hohen Windlasten sehr stark entlastet werden können. [30]



Abbildung 24: KWEA mit fester Dachanbindung [30]

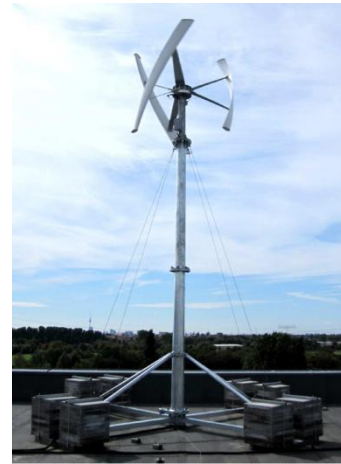


Abbildung 25: Auf-Dach-System mit Beschwerung [31]

Freie Aufstellung mittels Beschwerung

Die KWEA wird nicht fest mit dem Gebäude verbunden. Die Standfestigkeit erfolgt über das Anbringen von Ballast an den Fußpunkten des Mastes, siehe Abbildung 25.

Vorteile:

- Einfacher Auf- und Rückbau, da keine Dachdurchdringung notwendig ist.

Nachteile:

- Hohe Gewichte für Beschwerung erforderlich,
- erhöhte Dachlast,
- nur auf Flachdach möglich

Weitere Bemerkungen:

- Es können Ausgleichsfundamente an den Auflagepunkten nötig sein, wenn die Dachoberfläche nivelliert, also angeglichen werden muss.
- Um die Dachhaut zu schützen und die Kräfte, die auf diese einwirken, gleichmäßig zu verteilen, kann eine Gummimatte o.ä. als elastische Zwischenschicht dienen.
- Das Mindestgewicht des Ballastes ergibt sich aus dem Tragfähigkeitsnachweis. Es ist darauf zu achten, die zulässige Druckbelastung der Wärmedämmung (falls vorhanden) unter der Dachhaut nicht zu überschreiten. Die bereits vorhandene Dach-

bedeckung (oft Kies oder grobe Steine) eignet sich am besten zur Beschwerung [30]

Schwingungsproblematik bei KWEA auf Gebäudedächern

Bei Dachmontagen stellt die Übertragung der Schwingungen der Anlage auf das Gebäude ein weiteres Problemfeld dar. Das System aus KWEA und tragender Struktur besitzt in Abhängigkeit der Einzelkomponenten und deren Verbindung eine Vielzahl von Eigenfrequenzen. Liegen diese im anregenden Frequenzspektrum (abhängig vom Betriebsdrehzahlbereich), kommt es zu verstärkten Schwingungen. Die Mastkonstruktion sollte herstellerseitig für die durch den Anlagenbetrieb entstehenden Schwingungsanregungen ausgelegt sein [1]

Unwuchten sind eine Hauptursache für Schwingungen von KWEA. Diese können durch zwei unterschiedliche Ursachen hervorgerufen werden:

- **Massenunwuchten** entstehen bei ungleicher Massenverteilung im Rotor bzw. der Blattmassen. Der Massenschwerpunkt des Rotors ist außerhalb seiner Rotorachse, sodass ungleiche Fliehkräfte am Rotor entstehen, die die Anlage in radialer Richtung, das heißt senkrecht zur Rotorachse, auslenken. In Abbildung 26 ist dies durch eine zusätzliche Masse Δm dargestellt [6] [31].

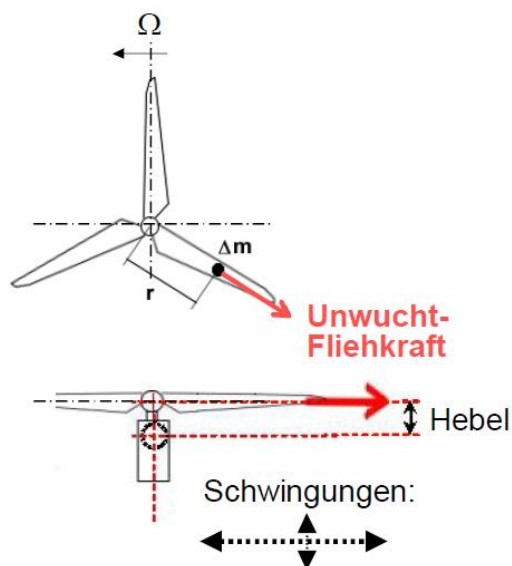


Abbildung 26: Massenunwuchten, am Bsp. einer horizontalachsigen KWEA [32]

- **Aerodynamische Unwuchten** können aus unterschiedlichen Blattanstellwinkeln, unsymmetrischer Blattanordnung sowie unsymmetrischer Anströmung resultieren. Es wirken unterschiedliche aerodynamische Kräfte an den Rotorblättern, in Abbildung 27 mit Schub- und Umfangskraft bezeichnet, was zu Drehmomentdifferenzen führt. Diese treten sowohl bei horizontal- wie auch vertikalachsigen KWEA auf, was durch Anpassung der Rotorblatt-Verdrehwinkel korrigiert werden kann. Bei Vertikalachsern wird systembedingt immer eine aerodynamische Unwucht auftreten [6] [32].

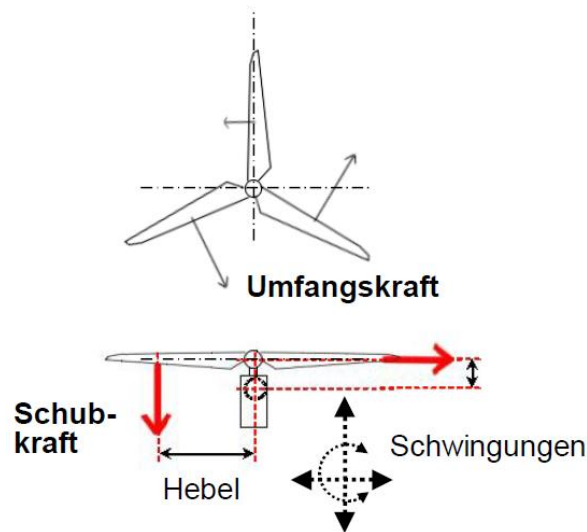


Abbildung 27: Aerodynamische Unwuchten am Bsp. einer horizontalachsigen KWEA [32]

Beim Kauf einer KWEA, die auf dem Dach montiert werden soll, ist darauf zu achten, dass der Hersteller den Rotor der Anlage **ausgewuchtet** hat. Dennoch kann die **Auswuchtgüte** nicht ausreichend sein, um einen schwingungsarmen Betrieb zu gewährleisten. Es sollte daher ebenfalls darauf geachtet werden, dass zur Auswuchtung seitens des Herstellers weitere Informationen geliefert werden. Eine nachträgliche Auswuchtung wäre mit einem erheblichen finanziellen Mehraufwand verbunden [1] [6].

Die Blatt-Turm-Interaktion ist eine weitere Schwingungsquelle, die jedoch unvermeidbar ist. Der Nachlaufwirbel der Blätter wird vom Wind „mitgenommen“ und trifft auf den Turm/Mast bei Luv-Läufer. 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 [1] [6].

Der **Generator** stellt ebenfalls eine Schwingungsquelle dar. 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 [1] [6].

Schwingungen können einen schnelleren Materialverschleiß sowie unangenehme Geräusche zur Folge haben, die sich auf das Gebäude übertragen und dadurch verstärkt werden können. Eine Maßnahme, den Schwingungen zu begegnen, ist das bereits erwähnte Auswuchten. Weiter kann über Verschieben oder Entfernen der kritischen Resonanzfrequenzen durch sogenannte Tilger und Dämpfer den Schwingungen begegnet werden. Im Zweifel muss die Anlage, wenn sie einen bestimmten Lautstärkegrenzwert überschritten hat, abgeschaltet werden.

2.8.4 Freistehende Anlagen

Grundsätzlich ist die freie Aufstellung am Boden die **einfachere und günstigere Variante**. Bei freistehenden Anlagen am Boden gibt es **drei Möglichkeiten** deren Standsicherheit zu gewährleisten. Die KWEA kann, wie bereits bei Dachanlagen beschrieben, über eine **Ballastierung** gesichert werden. Bei der zweiten Möglichkeit wird die Anlage mittels eines **Fundamentes oder Ankers am Boden** befestigt [30].

Viele Masttypen werden auch über eine **Abspannung** aufgestellt und in ihrer Konstruktion verstärkt, siehe Abbildung 28. Die KWEA wird über Stahlseile gesichert, was einen geringeren Materialaufwand bedeutet sowie kostengünstiger ist als über ein Fundament. Die Abspannungen benötigen wiederum deutlich mehr Fläche als ein Fundament. In der Regel gibt es keine Einschränkungen durch die standortbedingten Bodeneigenschaften [30].



Abbildung 28: Abgespannter Mast [30]

Für die Bestimmung des optimalen Standorts für eine KWEA, die frei aufgestellt werden soll, gilt wie für Dachanlagen die Beurteilung der Windverhältnisse, die möglichst ungestört sein sollten. Vereinfachend für diese Aufstellungsart ist, dass hier die Problematik der Ablöseblase und Windturbulenzen auf dem Dach nicht auftreten.

Eine freie Aufstellung eignet sich vor allem im ländlichen Raum auf freien Flächen. In der Stadt kann eine frei aufgestellte KWEA durch die dichte Besiedlung selten optimal betrieben werden.

2.8.5 Montage der KWEA am Boden

Je nach Größe der KWEA kann bei der Montage ein Kran von Nöten sein. Hierfür müssen im Vorfeld einige Vorkehrungen getroffen werden:

- Ausreichend Fläche für den Kranstellplatz muss zur Verfügung stehen. Wenn dieser auf öffentlichem Gelände abgestellt werden soll/muss, ist eine Sperrung und Sicherung des Geländes zu erfolgen, was i.d.R. das Kranunternehmen übernimmt und durchführt [1].
- Bei Dachmontagen ab einer bestimmten Höhe und je nach Nähe zum Flughafen, kann eine Genehmigung des Kraneinsatzes durch das Luftfahrtamt nötig sein. Die Grenzwerte können im Luftverkehrsgesetz eingesehen werden [33]
- Kleinere Anlagen benötigen meistens keinen Kran zur Montage. Hier kann auch z.B. ein Jütbaum (Hilfsmast) ausreichend sein, siehe Abbildung 29.

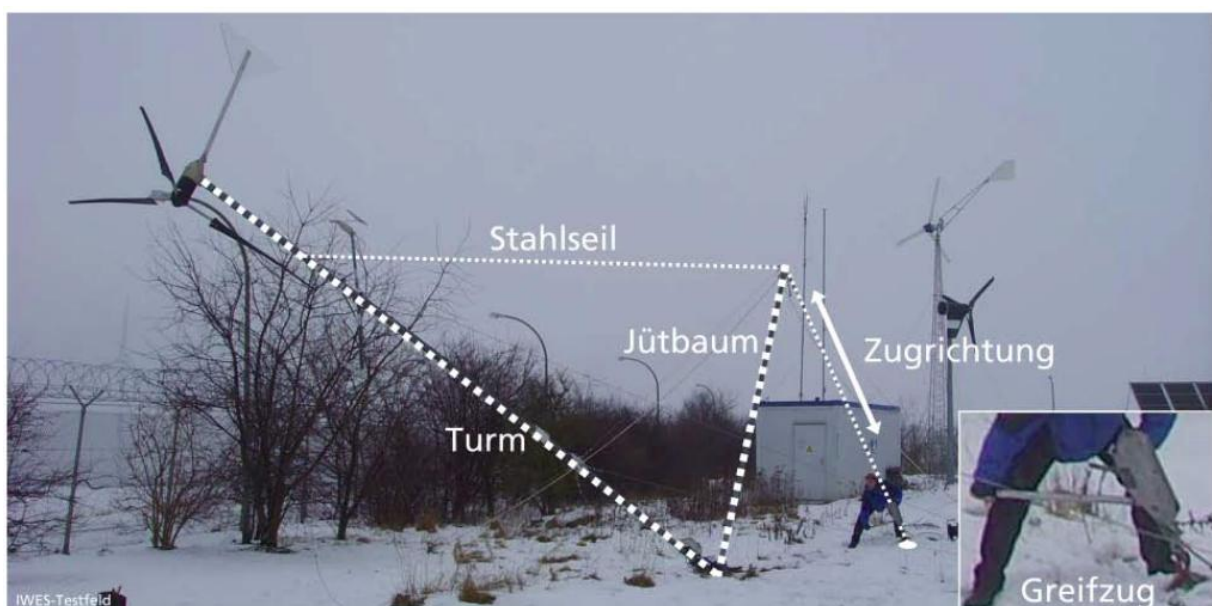


Abbildung 29: Aufstellung einer KWEA [30]

Als Beispiel für ein Fundament wird hier das **Steel-Root-Fundamentalsystem** von **BFtec** vorgestellt. Es handelt sich hierbei um ein massives Stahlkreuz (siehe Abbildung 30), dass im Boden eingegraben wird. Aufgrund des geringen Aufwands vor Ort stellt es eine gute Alternative zu einem Betonfundament dar. Das Fundament wird auf die individuellen Anforderungen der KWEA und des Bodens hin angepasst. Vorteile dieses Fundamenttypen sind:

- Es wird keine Bodenversiegelung gebraucht
- Problemloser Rückbau
- Kein Wegebau zur Installation nötig

- Geringe technische Anforderungen bei der Montage

Der Mast wird mit dem Fuß über ein Gelenk verbunden, sodass der Mast mit einem Hydraulikstempel oder einem Radlader aufgerichtet werden kann [34].



Abbildung 30: Steel-Root-Fundamentsystem von BFtec [35]



Abbildung 31: Aufstellung KWEA mit Steel-Root-Fundamentsystem von BFtec [35]

2.8.6 Demontage

Der Rückbau von KWEA ist vom Ort und der Art der Aufstellung abhängig. Beim Einsatz von Abspannungen oder Beschwerung kann die Anlage vergleichsweise einfach, ähnlich dem Aufbau, wieder abgebaut werden. Wenn jedoch ein Betonfundament gegossen wurde, ist der Aufwand entsprechend höher. Diese Aspekte gilt es bei der Planung des KWEA-Projektes ebenfalls zu berücksichtigen.

3. Standortauswahl

Im Kapitel 2.8 wurde bereits erläutert warum Windmessungen essentiell sind für die Standortauswahl und wie diese ablaufen. Da dies ein Schritt von besonderer Bedeutung für ein KWEA-Projekt ist und Schulen hierbei durchaus selbstständig mit Einbindung der Schüler vorgehen können, wird in diesem Kapitel nochmal genauer auf die Thematik eingegangen.

3.1 Windmessung

Die Windmessung ist eine quantitative Bewertung eines Standortes über die wichtigsten Parameter:

- Windgeschwindigkeit,
- Windrichtung und
- Turbulenzintensität.

Die Messung sollte so genau wie möglich sein. Die Leistungsaussage kann bei einer fehlerhaften Erfassung der Windgeschwindigkeit von 10 % um bis zu 33% von der tatsächlichen Leistung abweichen, da die Windgeschwindigkeit kubisch (mit dritter Potenz) in die Leistung eingeht.

Die Windmessgeräte, Sensoren und die Einrichtung zur Aufzeichnung der Messdaten sollten neben der Genauigkeit auch robust gegenüber den gegebenen Wetterverhältnissen sein, da der Messzeitraum i.d.R. **ein Jahr** betragen muss. Bei kürzeren Messzeiträumen sollten die Daten mit Windmessdaten von dort angesiedelten Messstationen ergänzt werden, die z.B. vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt werden.

Nach IEC 61400-12 sollten Mess- und Rotorhöhe übereinstimmen. Bei Messungen auf einem Dach können verstärkt Verwirbelungen entstehen, die unterschiedlich stark auf dem Dach auftreten, wie in Kapitel 2.8.2 bereits erläutert. Mit Hilfe des **Flutterband-Tests** kann auf einfache Weise herausgefunden werden, wo die Verwirbelungen am geringsten sind, sodass der geeignete Ort für die Messung und später ggf. auch die Position der KWEA gewählt werden kann.

Der Flutterband-Test ist einfach und kostengünstig umzusetzen. Dafür wird ein 2 bis 4 m langes Baustellenband an die Spitze einer langen Stange gebunden. Bei erhöhter Windgeschwindigkeit wird das Band nun in die Position gebracht, in der später auch der Rotor positioniert werden soll. Das Verhalten des Bandes spiegelt die Windverhältnisse wieder. So bewirken Turbulenzen ein unruhiges Verhalten des Plastikbands, bei stetigem Wind wird das Band gleichmäßig in Windrichtung geweht.

Der Aufstellungsort für das Messequipment entspricht den bereits im Kapitel 2.8 angesprochenen Bedingungen. Grundsätzlich gilt, dass die Anlage aus Hauptwindrichtung frei angeströmt werden soll. In **Deutschland ist das i.d.R. West-/Südwest**.

3.2 Equipment zur Windmessung

Es gibt verschiedene Varianten der Windgeschwindigkeitssensoren. Im Folgenden werden die bekanntesten Sensoren kurz vorgestellt.

3.2.1 Das Schalenkreuzanemometer

Hierbei handelt es sich um einen mechanischen Windgeschwindigkeitssensor. Dieser wird u.a. in der IEC 61400-12-1 empfohlen. Abbildung 32 zeigt exemplarisch ein Schalenkreuzanemometer. Die Funktionsweise ähnelt der einer vertikalachsigen Windenergieanlage, die auf dem Widerstandsprinzip basiert. Die charakteristischen schalenförmigen Widerstandsflächen ordnen sich um die vertikale Welle herum an.



Abbildung 32: Schalenkreuzanemometer [36]

Anemometer erzeugen proportional zur Windgeschwindigkeit analoge oder digitale Signale. Dies erfolgt über zwei Wege:

- Die Rotation über einen Tachogenerator erzeugt Spannung, die proportional zur Drehzahl und daher auch zur Windgeschwindigkeit ist.
- Je Umdrehung werden Impulse erzeugt, die über ein bestimmtes Zeitintervall ausgezählt werden können und so ein Maß für die Windgeschwindigkeit darstellen [6]

Tabelle 11: Preise für verschiedene Schalenkreuzanemometer [37]

Schalenkreuzanemometer	Preis
Windmessgerät PCE-A420 (Handgerät mit Display)	137,- €
Kleinwindgeber PCE-KWG1	84,- €
Anemometer PCE-CWG1	391,- €

Die Preisunterschiede ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Genauigkeiten und der Auswahl der Schnittstelle zur Integration in ein Messsystem.

Die **Weglänge (response length)** stellt eine Besonderheit des Schalenkreuzanemometers dar. Aufgrund der Eigentragheit reagiert das Anemometer verzögert auf schnelle Änderungen in der Windgeschwindigkeit, sodass mit einer gewissen Unsicherheit zu rechnen ist.

Grundsätzlich sind Schalenkreuzanemometer von **Vorteil**, da sie preiswert und robust sind sowie tendenziell eher wartungsfrei betrieben werden können. Von **Nachteil** sind die Trägheit und der Aspekt, dass vertikale Windkomponenten nicht gemessen werden [6].

Kostenaufwand

Ein optionales Angebot für ein komplettes Messset liegt bei ca. 348 Euro und umfasst die in der Tabelle 12 aufgelisteten Komponenten.

Tabelle 12: Kostenaufwand für ein vollständiges Messset [38]

Vollständiges Messset	Gesamtpreis
Windgeschwindigkeitsmesser (Anemometer)	348,- €
Datenlogger	
USB-Stick (für Datentransfer und Backups)	
Montagewinkel für Befestigung des Windsensors	
Kabel mit Länge von 3 m (zusätzliches kann erforderlich sein)	

3.2.2 Das Ultraschallanemometer

Ultraschallanemometer werden vor allem bei turbulenten Windfeldern in der bodennahen Grenzschicht eingesetzt. Mithilfe von bis zu drei **Sonotroden** (Lautsprecher-Mikrofon-Kombinationen) wird die Windströmung in den drei Raumkoordinaten erfasst. Ultraschallimpulse von 100 kHz bewegen sich mit Schallgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Sonotroden. Die Luftbewegung überlagert sich mit dem Schall, was in verschiedenen Laufzeiten für Hin- und Rückwege zwischen den Sonotroden resultiert. Aus dieser Zeitvariation lässt sich schließlich die Windgeschwindigkeit ableiten. Die Abbildung 33 zeigt beispielhaft ein 3D-Ultraschallanemometer [6].



Abbildung 33: Ultraschallanemometer [36]

Vorteile von Ultraschallanemometern:

- Messung von verschiedenen Windrichtungen (2 bis 3) ist möglich
- Da es keine mechanischen Komponenten gibt, fällt das Problem der Trägheit weg. Schnelle Wechsel der Anströmgeschwindigkeit können gemessen werden [6].

Nachteile von Ultraschallanemometern:

- Sowohl der Sensorkopf als auch die Sensorarme beeinflussen die Strömung. Daraus resultieren Ungenauigkeiten bei der Messung in den Windsektoren der Sensorarme.
- Die Sensoren sind temperaturempfindlich, da die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur beeinflusst wird. Dies muss in der Auswertung berücksichtigt werden.
- Alterung der piezo-elektrischen Sensoren [6]
- Im Verhältnis zum Schalenkreuzanemometer mit größerem finanziellen Aufwand verbunden, siehe dazu Tabelle 13.

Tabelle 13: Preisübersicht Ultraschallanemometer [36]

Ultraschallanemometern	Preis
ThiesClima - Ultrasonic Anemometer 2D	ca. 2458,- €
ThiesClima - Ultrasonic Anemometer 3D	ca. 3986,- €

3.3 Parameter für die Standortbeurteilung

3.3.1 Häufigkeitsverteilung

Die Windverhältnisse zeichnen sich unabhängig vom Standort stets durch zeitliche Änderungen in Richtung und Geschwindigkeit aus. Um den Energieertrag am Standort abschätzen zu können, bedarf es daher einer genauen Kenntnis der vorherrschenden Windverhältnisse. Die Datensammlung aus der Windmessung wird üblicherweise in einer **Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten** zusammengefasst, siehe Abbildung 34. Zunächst werden hierfür die Windgeschwindigkeiten bzw. die 10s- oder auch 10min-Mittelwerte in Klassen gegliedert, je 1 m/s Klassenbreite (also 0 bis 1 m/s; 1 bis 2 m/s, 2 bis 3 m/s, usw.). Die Windgeschwindigkeiten werden einsortiert und aufsummiert, sodass deutlich wird über wie viele Zeiteile der gesamten Messperiode die jeweilige Windgeschwindigkeit herrschte. Die Angabe der **relativen Häufigkeit** ist ebenfalls eine mögliche Darstellungsart und ist normiert auf den gesamten Messzeitraum. Die Häufigkeit wird demnach in Prozent angegeben, siehe Abbildung 34. Die Summe der relativen Häufigkeiten muss immer 1 bzw. 100% ergeben. Die Darstellung der Häufigkeitsverteilung kann über ein Histogramm erfolgen. Eine andere mögliche Darstellung ist die **Weibull-Verteilung**, die in der Abbildung 34 der grünen Linie entspricht [6].

Relative Häufigkeit

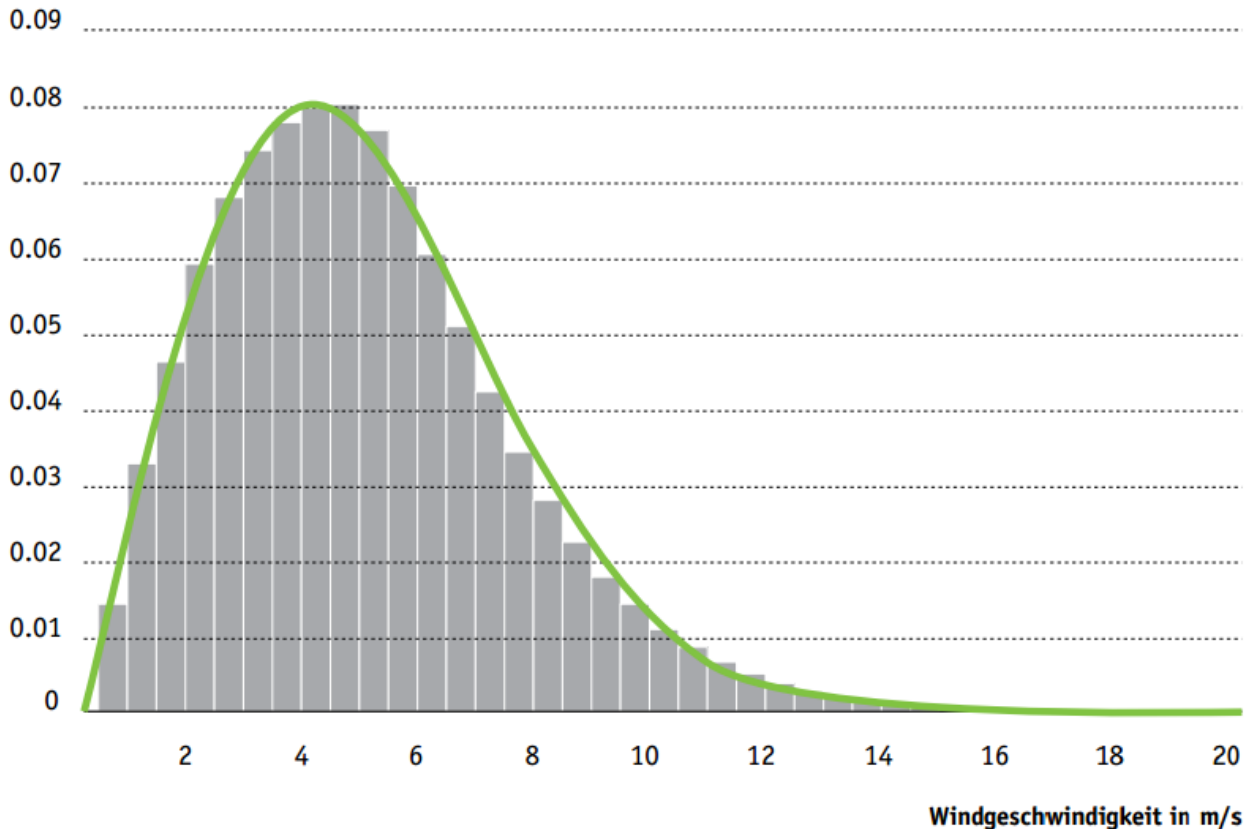


Abbildung 34: Beispielhafte Häufigkeitsverteilung und Weibullverteilung der Windgeschwindigkeiten [1]

Die Weibull-Verteilung (h_w) ist eine mathematische Beschreibung der zeitlichen Verteilung der verschiedenen Windgeschwindigkeiten. Die bereits erfassten relativen Häufigkeiten lassen sich mit dem **Formparameter k** und dem **Skalierungsfaktor A** über die Weibull-Verteilung mathematisch beschreiben, siehe Gleichung (1). A ist ein Maß für die Zeitreihe charakterisierende Windgeschwindigkeit mit der Einheit m/s. Der Faktor k variiert von 1 bis 4 und beschreibt die Form der Verteilung. Ein großer k-Faktor steht für eher geringe Windschwankungen demgegenüber steht ein kleines k für stärker schwankende Winde. In Europa ist ein k-faktor von 2 üblich. Die Messhöhe kann den k-Faktor beeinflussen, da Schwankungen mit zunehmender Höhe abnehmen [6].

$$h_w(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right) \quad (1)$$

Der Energieertrag lässt sich durch das Summenprodukt aus relativer Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten und der **Leistungskennlinie** der ausgewählten KWEA abschätzen [6].

3.3.2 Das Windprofil

Die Bedeutung von Bodenrauigkeiten wurde bereits in Kapitel 2.8 erläutert. In Abhängigkeit dessen nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe unterschiedlich stark zu. Dieser Zusammenhang lässt sich mit dem **logarithmischen Windprofil**, siehe Gleichung (2), beschreiben. Das logarithmische Windprofil ist eine physikalisch begründete Beschreibung des vertikalen Verlaufs der mittleren Windgeschwindigkeiten.

Unterscheiden sich Mess- und die spätere tatsächliche Nabenhöhe, können mit diesem Zusammenhang die Windgeschwindigkeiten, die die Anlage im Zeitraum der Messung erfahren hätte, berechnet werden.

$$\frac{v(z_1)}{v(z_2)} = \frac{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)} \quad (2)$$

Mit:

$v(z_1)$	Windgeschwindigkeit auf Messhöhe z_1
$v(z_2)$	Windgeschwindigkeit auf Messhöhe z_2
z_1	Messhöhe z_1
z_2	Messhöhe z_2
z_0	Rauigkeitslänge z_0

Die Bodenrauigkeit orientiert sich an der Verblockung bzw. Bebauung der Umgebung am Standort. Die Norm EN 1991 gibt eine Kategorisierung vor (siehe Abbildung 35), wonach die Rauigkeitslänge z_0 definiert werden kann.



Abbildung 35: Geländekategorisierung nach EN 1991-1-4:2005, Anhang A

Die Rauigkeitslängen werden für die verschiedenen Geländetypen nach Tabelle 14 definiert.

Tabelle 14: Werte für Rauigkeitslängen [6]

Geländetyp	z_0 in m
Ruhige Wasserfläche	0,0001 – 0,001
Ackerland	0,03
Heide mit wenigen Büschen und Bäumen	0,1
Wald	0,3 – 1,6
Vorort, flache Bebauung	1,5
Stadtkerne	2,0

Der Einfluss der Rauigkeit auf die Windgeschwindigkeit wird in Abbildung 36 deutlich. Demnach liegt die Leistung des Windes über der Nordsee auf einer Höhe von 10 m durchschnittlich bereits bei 600 W/m². Auf dem Land sind Werte von ca. 200 W/m² zu verzeichnen.

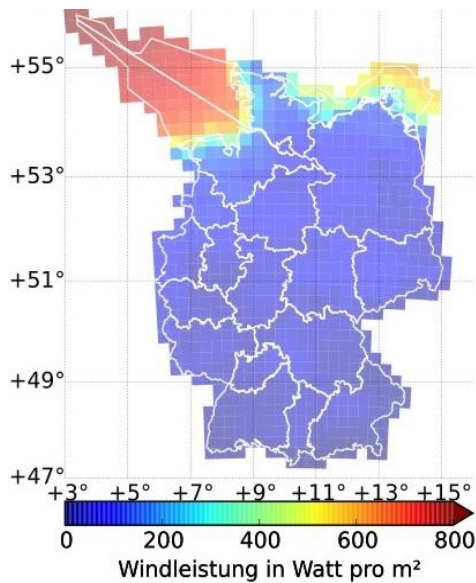


Abbildung 36: Windleistung auf einer Höhe von 10 m über Gelände (eigene Darstellung)

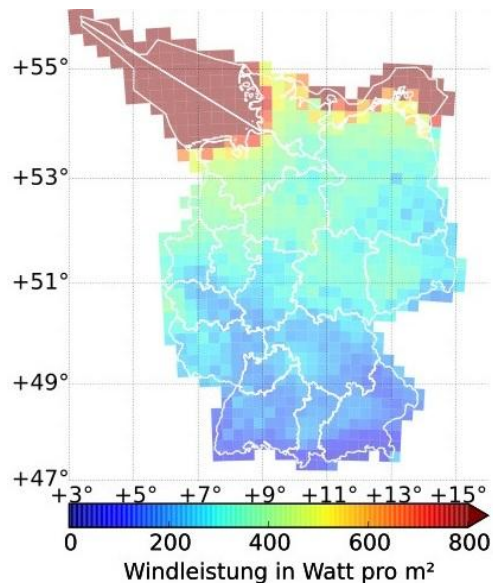


Abbildung 37: Windleistung auf einer Höhe von 100 m über Gelände (eigene Darstellung)

Abbildung 37 veranschaulicht, dass mit der Höhe der Energiegehalt im Wind deutlich zunimmt. So sind auf dem Festland Windleistungen von ca. 300 W/m² zu verzeichnen. Es wird auch deutlich, dass im nördlichen Flachland die Windgeschwindigkeiten weit höher sind als im südlichen Gebirgsland.

4. Wirtschaftlichkeit von KWEA

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer KWEA sind mehrere Faktoren ausschlaggebend. Neben den **Anschaffungs-, Anschluss-, Kapital- und Betriebskosten** ist ebenfalls der **Energieertrag** entscheidend. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Kosten bei Kleinwindprojekten wird im folgenden Kapitel vorgenommen. Für die Abschätzung des zu erwartenden Energieertrags sollte eine Windmessung am geplanten Standort über mindestens ein ganzes Jahr stattfinden. Winderträge sind jahreszeitenabhängig und eine Messung beispielsweise in den Wintermonaten mit einer anschließenden Hochrechnung auf das ganze Jahr führt zu einer Überschätzung der Standortbedingungen. Nach der Durchführung der Windmessung kann eine Häufigkeitsverteilung nach dem „BIN-Verfahren“ erstellt werden. Hier werden alle Messergebnisse Windgeschwindigkeitsklassen (BINs) in 0,5 m/s Schritten zugeordnet. Eine Anleitung zur Auswertung der Messergebnisse liefert die DIN EN 61400-12-1. Anhand der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit kann durch die anlagenspezifischen Leistungskennlinien der jeweilige Ertrag einer Anlage berechnet werden. Die Leistungskennlinien verschiedener Hersteller können sich sehr deutlich unterscheiden. Daher ist eine Auswahl des Kleinwindmodells anhand der vorherrschenden Windverhältnisse ratsam. Die Nennleistung der Anlage gibt daher noch keine Auskunft darüber, mit welchen Erträgen der Betreiber zu rechnen hat. Neben den Windverhältnissen sind auch Verluste durch den Wechselrichter und die Elektronik zu berücksichtigen.

4.1 Die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit vom Energienutzungskonzept

Für die Berechnung der jährlichen Einnahmen durch den Stromertrag muss das **Energienutzungskonzept** bekannt sein. Dabei kann grundsätzlich in **netzgekoppelte Anlagen und Insel-systeme** unterschieden werden.

In Insel-systemen dient die generierte Energie ausschließlich der Eigenversorgung. Bei großen Entfernungen zum öffentlichen Stromnetz ist ein Netzanschluss aufgrund der hohen Kosten oft ausgeschlossen oder erst gar nicht möglich. Daher unterliegen Insel-systeme einer völlig anderen Betrachtung bei der Wirtschaftlichkeit. Hier müssen Kosten für das ganze System verglichen werden was zum Beispiel aus einem Dieselgenerator, einem PV-Batterie System oder einem Wind-Batterie System bestehen kann. Da es hier unzählige Kombinationen gibt, soll die Wirtschaftlichkeit von Inselanlagen in diesem Bericht nicht weiter Gegenstand der Betrachtung sein. Trotzdem ist festzuhalten, dass die Anwendung von KWEA im Off-Grid Bereich ein sehr großes Anwendungsfeld ist.

Bei netzgekoppelten Anlagen ist die Einspeisung in das öffentliche Netz nicht ratsam, da der Vergütungsanspruch nach **§ 49 im EEG 2014 nur 8,90 ct/kWh** beträgt. Für Anlagen bis zu einer Nennleistung von 50 kW wird bei der Verlängerung der Anfangsvergütung angenommen, dass der Ertrag 75 Prozent des Referenzertrags beträgt. Damit haben KWEA bis zu einer Nennleistung von 50 kW Anspruch auf die Anfangsvergütung über die gesamte Lebensdauer von 20 Jahren. KWEA mit einer größeren Nennleistung werden wie große WEA berücksichtigt, wo sich die Verlängerung der Anfangsvergütung nach der Standortgüte gegenüber dem Referenzertrag berech-

net. Je schlechter die Standortbedingungen sind, desto länger wird die Anfangsvergütung gezahlt. Die **Grundvergütung** beträgt 4,95 ct/kWh. Nach § 29 EEG 2014 findet ab dem Jahr 2016 alle drei Kalendermonate eine Reduzierung der Anfangs- und Grundvergütung um 0,4 % statt. Bei Überschreitung des Zielausbaukorridors finden zusätzliche Vergütungsreduzierungen statt [39]. Aufgrund der niedrigen Vergütungen, welche in Zukunft weiter sinken werden, sollte die generierte Energie vom Betreiber idealerweise selbst verbraucht werden. Durch den Eigenverbrauch verringern sich die Strombezugskosten, womit höhere Erlöse erzielt werden können. Sollten Überschüsse erzeugt werden, können diese ins öffentliche Netz eingespeist werden und nach EEG vergütet werden [1]. Für die Berechnung der zu erwartenden Erlöse sollte der Stromvertrag bekannt sein. Der Erlös der Anlage ergibt sich durch die Multiplikation der selbst verbrauchten kWh mit dem Arbeitspreis im Stromvertrag. Eine Vergleichsgröße für Privathaushalte wäre beispielsweise der für das Jahr 2015 prognostizierte, durchschnittliche Haushaltsstrompreis von 28 ct/kWh [40]. Bei Stromverträgen für größere Verbraucher ist neben dem Arbeitspreis auch ein Leistungspreis zu zahlen. Einsparungen beim Leistungspreis können nicht in die Kalkulation einfließen, da der Leistungspreis für die höchste Lastspitze im Jahr in Rechnung gestellt wird und nicht vorhersehbar ist, ob zum Zeitpunkt des höchsten Leistungsbezugs die KWEA Strom generiert und damit für ein tatsächliches „Peak Shaving“ sorgt.

Bei der **Eigenversorgung** ist zu berücksichtigen, dass Übertragungsnetzbetreiber laut §61 EEG 2014 (§61) ab August 2014 30 % der EEG-Umlage von Letztverbrauchern verlangen dürfen. Der Anteil steigt im Jahr 2016 auf 35 % und im Jahr 2017 auf 40 %. Mit der EEG-Umlage von 6,17 ct/kWh [41] entstehen Abgaben in Höhe von 1,85 ct/kWh für das Jahr 2015. Diese Abgabe entfällt bei Anlagen bis zu einer Nennleistung von 10 kW und einem jährlichen Eigenverbrauch von maximal 10 MWh pro Kalenderjahr. Für Kraftwerkseigenverbrauch, einem nicht existierenden Netzanschluss und bei Eigenversorgern, die sich vollständig mit Strom aus Erneuerbaren Energien versorgen entfällt ebenso die anteilige Abgabe der EEG-Umlage an die Übertragungsnetzbetreiber.

Neben der Netzeinspeisung und Vergütung nach EEG und dem Eigenverbrauch, ermöglicht das EEG auch die **Direktvermarktung** von Strom, die in der Regel von Unternehmen (Direktvermarkter) übernommen wird. Nach dem **Marktprämienmodell** (§ 34) wird zusätzlich zum Monatsmarktwert an der Börse eine Marktprämie gezahlt, die der Differenz zum anzulegenden Wert, d. h. der entsprechenden Einspeisevergütung, entspricht. So wird sichergestellt, dass der Erlös des direktvermarkteten Stroms mindestens der Einspeisevergütung entspricht. Wird der Strom zu Spitzennachfragezeiten verkauft, liegt der Verkaufspreis über dem Monatsmarktwert was durch die zusätzlich gezahlte Marktprämie zu höheren Erlösen gegenüber der festen EEG-Vergütung führt

Aus dem Vergleich der verschiedenen Energienutzungskonzepte resultiert, dass eine Wirtschaftlichkeit von netzgekoppelten KWEA in Deutschland vermutlich nur über das **Eigenverbrauchs-konzept** darstellbar ist. Die Leistung der KWEA sollte dabei so gewählt werden, dass im besten Fall der Hauptteil des Stroms selbst verbraucht wird. Ob eine Integration eines Batterie Puffer-

speichers zur Erhöhung des Eigenverbrauchs wirtschaftlich sinnvoll ist, muss im Einzelfall geprüft werden. Ein wirtschaftlicher Betrieb einer KWEA ist bei der Netzeinspeisung und Vergütung nach EEG sowie bei der Direktvermarktung in Anbetracht der Stromgestehungskosten nicht möglich.

4.2 Kostenzusammensetzung bei der Realisierung von Kleinwindprojekten

Bei der Realisierung von Kleinwindprojekten fällt der Großteil der Kosten auf die anfänglichen Investitionskosten, die aus den Anschaffungskosten sowie den Planungs- und Installationskosten bestehen. Doch auch während des Betriebs fallen Kosten an, die bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen sind. Die Kosten für Kleinwindprojekte setzen sich wie folgt zusammen [1]:

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/der Betreiberin)
- ggf. Kosten durch Ertragsausfall

Kosten für den Rückbau sind in der Liste nicht enthalten und müssen gegebenenfalls mit berücksichtigt werden. Eine generelle Aussage über die Höhe der aufgeführten Posten kann nicht getroffen werden, da z. B. Kosten für Montage, den Netzanschluss und das Blitzschutzkonzept je nach Standortbedingungen stark divergieren können. Bei der Installation auf dem Boden bietet

der Großteil der Hersteller Fundamente mit an. In urbanen Gebieten sind Dachinstallationen für höhere Erträge ratsam, die jedoch oft zu kostenaufwendigen Speziallösungen führen [1]. Für die Auf-Dach-Montage gilt auch zu beachten, dass ein zusätzliches statisches Gutachten erforderlich ist. Bei den Planungs- und Installationskosten ist die Größe der Anlage von Bedeutung. Bei Anlagen kleiner als 1 kW Nennleistung kann die Planung und Installation selbst oder zum Großteil eigenständig und somit kostensparend vom Anlagenbetreiber vorgenommen werden. Hier sind das Gewicht, die Aufstellungshöhe sowie der Aufstellungsort der Anlage ausschlaggebend, ob die Planung und Installation ohne größere Hilfsmittel durchgeführt werden kann. Der Einsatz von schweren Maschinen wie z. B. Kränen kann zu einem großen Kostenfaktor werden, der bei kleinen Anlagen eine finanzielle Amortisation der Anlage erschwert.

Betriebskosten umfassen Kosten für Wartungen und Reparaturen sowie Versicherungskosten, Mietkosten für die Zählleinrichtung und gegebenenfalls Kosten für Ertragsausfälle. Bei kleinen Anlagen können Wartungen vom Anlagenbetreiber selbst durchgeführt werden und stellen daher keine zusätzlichen Kosten dar. Reparaturkosten hängen stark von der Qualität der KWEA ab und können pauschal schwer abgeschätzt werden. Bei Defekten der Anlage sind die Ertragsausfälle während der Wartungs- und Reparaturarbeiten zu berücksichtigen. Versicherungen können Sachschäden an KWEA und Peripherie über eine Betreiberhaftpflicht, die auch Pauschalleistungen bei Ertragsausfällen umfassen kann, übernehmen. Die Jahresprämie ist abhängig vom Investitionsvolumen der Anlage und kann wie in Tabelle 15 ersichtlich, einen nicht unerheblichen Kostenfaktor ausmachen. Die Werte stammen von einer Anfrage bei einem Versicherer für eine Gebäudeinstallation [1].

Tabelle 15: Versicherungskosten für KWEA [1]

Versicherungsumfang	Investitionskosten (netto)	Jahresprämie (netto)
• Sachschäden an KWEA und Peripherie	25.000,00 €	87,50 €
• Betreiberhaftpflicht	40.000,00 €	120,00 €
• Ertragsausfall (Pauschale pro Tag)	250.000,00 €	625,00 €

4.3 Stromgestehungskosten

Mit der Berechnung von **Stromgestehungskosten** kann für Kleinwindprojekte schnell abgeschätzt werden, ob ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage möglich ist. Wenn die Stromgestehungskosten unter die **Strombezugskosten** für Endverbraucher sinken, wird die sog. **Netzparität** erreicht und ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage ist möglich [1]. In diesem Falle erwirtschaftet der Anlagenbetreiber einen Gewinn aus der Differenz der Stromgestehungskosten und der Strombezugskosten. Die Stromgestehungskosten (levelized cost of electricity, LCOE) berechnen sich durch eine dynamische Investitionsrechnung aus den Investitions- und Betriebskosten für die Anlage und den über die Lebensdauer erwirtschafteten Energieertrag nach Gleichung (1) [42]. In die Kalkulation fließen auch Kapitalkosten für die Zinsen des verwendeten Fremdkapitals und die entgangene Eigenkapitalrendite ein. Daraus ergibt sich nach Gleichung (4) der gewichtete,

durchschnittliche Kapitalkosteneinsatz (weighted average cost of capital, WACC). Die Finanzierungskosten werden in Gleichung (3) über die Annuitätenmethode ermittelt.

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+WACC)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{t,el}}{(1+WACC)^t}} \quad (3)$$

Dabei ist:

- LCOE: Stromgestehungskosten in Euro/kWh
- I_0 : Investitionsausgaben in Euro
- A_t : Jährliche Gesamtkosten in Euro im Jahr
- $M_{t,el}$: Produzierte Strommenge im jeweiligen Jahr in kWh
- WACC: Gewichteter durchschnittlicher Kapitalkostensatz
- n : wirtschaftliche Nutzungsdauer in Jahren
- t : Jahr der Nutzungsperiode (1, 2, ...n)

$$WACC = \frac{E}{E+D} * k_E + \frac{D}{E+D} * k_D \quad (4)$$

Dabei ist:

- WACC: Gewichteter durchschnittlicher Kapitalkostensatz
- E: Eigenkapital
- D: Fremdkapital
- k_E : Eigenkapitalrendite
- k_D : Verzinsungsanspruch der Fremdkapitalgeber

Das Fraunhofer ISE veröffentlichte im Jahr 2013 eine Studie zu Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, deren Ergebnisse in Abbildung 38 dargestellt sind [42] Demnach hat Windenergie auf dem Land die geringsten Stromgestehungskosten mit 4,5 – 10,7 Ct/kWh, gefolgt von der Photovoltaik mit 7,8 – 14,2 Ct/kWh, Offshore- Windenergie mit 11,9 – 19,4 Ct/kWh und Biomasse mit 13,5 – 21,5 Ct/kWh.

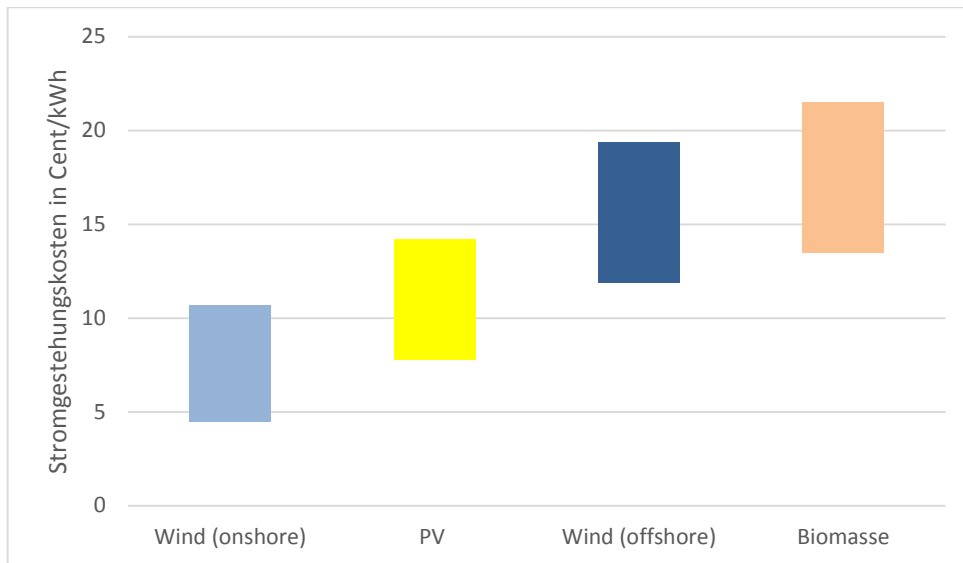


Abbildung 38: Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, Quelle: Fraunhofer ISE [42]

Die spezifischen Investitionskosten für Onshore-WEA und Photovoltaikanlagen betragen 1000 – 1800 €/kW. Im Vergleich dazu betragen alleine die Anschaffungskosten von KWEA laut BWE zwischen 2.000 und 10.000 Euro [43], was deutlich höhere Stromgestehungskosten zur Folge hat. Zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit von KWEA sollen die Stromgestehungskosten sechs verschiedener KWEA im Leistungsbereich zwischen 1 kWp und 20 kWp untereinander verglichen werden. In Tabelle 16 sind die Investitions- und Betriebskosten der KWEA aufgelistet, wobei hier die spezifischen Investitionskosten bei den Anlagen alle bei 5000 €/kW und mehr liegen. Bei dem vertikalachsigen KD VK 58 liegen die spezifischen Investitionskosten sogar bei über 12.000 €. Die Kosten in Tabelle 16 beziehen sich alle auf schlüsselfertig aufgestellte und an das Netz angeschlossene Anlagen.

Tabelle 16: Investitions- und Betriebskosten verschiedener KWEA

KWEA	Leistung in kW	Investitionskosten in €	Spezifische Investitionskosten in €/kW	Betriebskosten in €/a
KD-VK-58	1	12.515	12.515	125*
Windspot 3.5	3,5	17.410	4.974	175*
Easywind 6	6	32.725	5.454	320*
Lely Aircon 10	9,8	57.050	5.821	550
TN535	10	75.000	7.500	1.190
CF20	20	122.391	6.120	1.220*

*Annahme der Betriebskosten mit 1% der Investitionskosten

Für die Finanzierung einer KWEA bietet die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) günstige Kredite an. Im Programm „Erneuerbare Energien – Standard“ werden Kredite mit Zinssätzen zwischen 1,3% und 7,7% vergeben [44]. Die Zinskonditionen hängen von der Bonität und Besicherung ab, welche von der Hausbank individuell bewertet wird. Je besser die Bonität des Kreditnehmers ist,

desto kleiner ist der Zinssatz. Die Darlehnslaufzeit beträgt 1 – 20 Jahre und je nach Laufzeit können bis zu drei Tilgungsfreie Jahre vereinbart werden. Die KfW finanziert Vorhaben mit bis zu 25 Mio. Euro, wobei bis hundert Prozent der Nettoinvestitionskosten finanziert werden können. Der Kredit wird nur dann gewährt, wenn zumindest ein kleiner Teil des Stroms ins öffentliche Netz eingespeist wird. Für die Berechnung der Stromgestehungskosten wird eine Kreditlaufzeit von zehn Jahren angenommen bei einem Zinssatz von 4 %, was einer „ausreichenden“ Bonität entspricht. Die entgangene Eigenkapitalrendite wird mit einem Zinssatz von 2 % berücksichtigt. Der Anteil des Fremdkapitals an den Investitionskosten wird mit 80 % angesetzt, was den gesamten Nettoinvestitionskosten entspricht. Die Lebenszeit der KWEA wird mit 20 Jahren veranschlagt.

4.4 Beispielhafte Berechnung der Wirtschaftlichkeit an vier verschiedenen Standorten

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollen die Erträge anhand der vier verschiedenen Standorte in Tabelle 17 berechnet werden. Die Daten des ersten Standortes stammen von Windmessungen auf dem Dach des Mensagebäudes der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. Die anderen Standorte sind der Literatur entnommen und beziehen sich auf eine Referenzhöhe von 10 m. Die Ertragsberechnung wird mit Hilfe der Leistungskennlinien der Hersteller und der Weibullverteilung nach Gasch & Tvele durchgeführt [45]. Die Erträge der KWEA beziehen sich alle auf die Windbedingungen in Referenzhöhe in Tabelle 17 und nicht auf die Nabenhöhe der Anlagen. Wechselrichterverluste und Ertragsausfälle bleiben bei der Berechnung unberücksichtigt, weshalb die erreichte Anzahl an Volllaststunden im Folgenden etwas überschätzt wird.

Tabelle 17: Windbedingungen und Weibullparameter an verschiedenen Standorten

Standort	Höhe in m	v in m/s	A: Skalierungsfaktor	k: Formfaktor
HTW Berlin	34,4 m	3,4	3,8	1,49
Hamburg [1]	10,0 m	4,1	4,6	1,87
Bremerhaven [18]	10,0 m	5,3	5,9	1,88
Wasserkuppe [1]	10,0 m	6,0	6,8	1,98

In Abbildung 39 werden die Stromgestehungskosten der KWEA in Abhängigkeit der Volllaststunden dargestellt. Als Vergleichswert für die zu erwartenden Einnahmen durch die Verringerung der Strombezugskosten ist in Abbildung 39 der für das Jahr 2015 prognostizierte, durchschnittliche Haushaltsstrompreis von 28 Ct/kWh [40] sowie der durchschnittliche Industriestrompreis von 16 Ct/kWh [46] eingezeichnet. Der Industriestrompreis bezieht sich auf das Jahr 2014 für Unternehmen mit einem Jahresstromverbrauch von 160 – 20.000 MWh. Die anhand der Leistungskennlinie ermittelten Volllaststunden für die vier Standorte aus Tabelle 17 sind für alle sechs Anlagen in Abbildung 39 gekennzeichnet. Durch die hohen spezifischen Investitionskosten wird sich die KD-VK-58 an keinem der vier Standorte finanziell rechnen. Die TN535 ist eine vom Germanischen Lloyd nach IEC 61400-12-1 zertifizierte Schwachwindanlage und erreicht schon bei 7,5 m/s ihre Nennleistung, wodurch für alle Standorte eine sehr hohe Volllaststundenanzahl ermittelt wird.

und die Stromgestehungskosten für den Standort Hamburg unter dem Haushaltsstrompreis liegen. Für bessere Standorte wie Bremerhaven und Wasserkuppe liegen die Stromgestehungskosten im Bereich des Industriestrompreises. Für die anderen Anlagen kann eine Wirtschaftlichkeit nur an den guten Standorten Bremerhaven und Wasserkuppe erreicht werden.

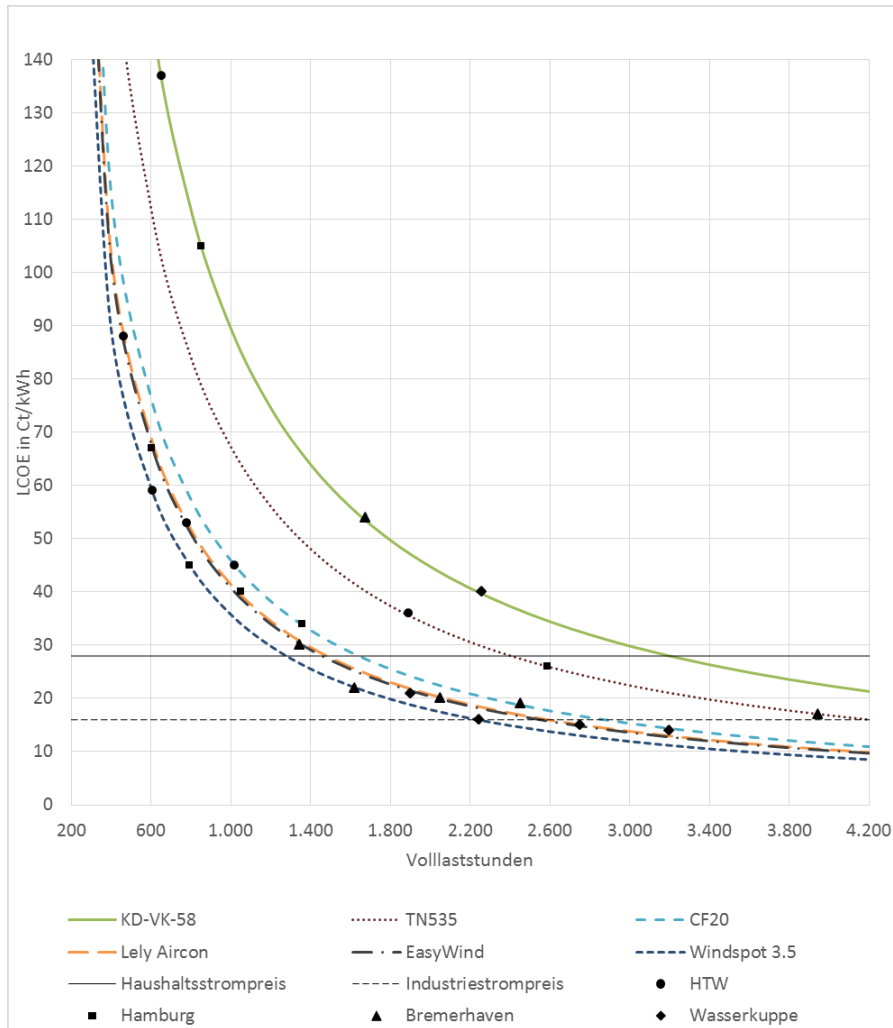


Abbildung 39: Stromgestehungskosten verschiedener KWEA in Abhängigkeit der Volllaststunden

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass neben den spezifischen Investitionskosten vor allen Dingen das Leistungsverhalten der Anlagen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten darüber entscheidet, ob ein KWEA wirtschaftlich betrieben werden kann. Die TN535 kann durch ihre gute Schwachwindauslegung bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 m/s bei einem Formfaktor von 1,5 mit dem Haushaltsstrompreis konkurrieren, obwohl sie die zweithöchsten spezifischen Investitionskosten bei den hier verglichenen Anlagen hat.

4.5 Wirtschaftlichkeitspotenzial von Kleinwind

Für eine Verbesserung des Wirtschaftlichkeitspotenzials von KWEA können sinkende Anlagenpreise und die technische Optimierung der Anlagen sorgen. Während bei großen WEA bezüglich der Effizienz nur noch beschränkte Entwicklungsmöglichkeiten bestehen, ist für viele KWEA noch ein großes Entwicklungspotenzial bei der Optimierung der Leistungskennlinie vorhanden. Die meisten KWEA werden in Einzel- oder Kleinstfertigungen produziert, was relativ hohe Produktionskosten zur Folge hat. Bei einer steigenden Nachfrage könnten Hersteller ihre KWEA in größeren Serien fertigen und somit die Stückkosten senken. Auch der Einsatz anderer Materialien und Fertigungsprozesse kann helfen die Kosten zu verringern. Forschungen am Fraunhofer IWES beziffern beispielsweise Kosteneinsparpotenziale der Produktion von Türmen für KWEA aus Glas- oder Kohlefasergranulaten im Schleudergussverfahren auf 30 Prozent gegenüber herkömmlichen Stahltürmen [47] Ob sich solche Herstellungsverfahren in Zukunft durchsetzen werden, wird unter anderem durch die Entwicklung des Stahlpreises beeinflusst.

5. Rechtliche Rahmenbedingungen für KWEA in Deutschland

Die bau- und genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung von Kleinwindenergieanlagen auf Dächern oder als freistehende Anlagen berühren viele Rechtsbereiche. Hieraus ergibt sich im Vorfeld ein erheblicher Organisationsaufwand. In diesem Kapitel wird ein Überblick gegeben, was es zu beachten gilt und welche rechtlichen Anforderungen an das KWEA-Projekt gestellt werden. Für eine erste rechtliche Einordnung von KWEA werden zunächst die relevanten Rechtsbereiche aufgezeigt.

Anschließend wird die Frage, ob eine behördliche Genehmigung benötigt wird, entsprechend der geltenden Landesbauordnung für jedes Bundesland geklärt. Daran schließt sich die Frage an, welche Kriterien die Antragsunterlagen (Bauvorlage) für die Erteilung einer Baugenehmigung in den einzelnen Bundesländern erfüllen müssen.

Die Informationen wurden hauptsächlich aus den landesspezifischen Bauordnungen und Bauvorlagen- bzw. Durchführungsverordnungen entnommen sowie in Telefoninterviews mit den jeweiligen Bauaufsichtsbehörden der Länder erfragt. Des Weiteren wurden Gesetzestexte zum Natur- und Denkmalschutz sowie das Luftverkehrsrecht herangezogen.

5.1 Relevante Gesetzestexte

Die Tabelle soll zunächst einen ersten rechtlichen Überblick über die relevanten Gesetzestexte schaffen [1].

Bauplanungsrecht:

- Baugesetzbuch (BauGB): Insbes. die §§ 29 ff. BauGB,
- Baunutzungsverordnung (BauNVO),
- ggf. Bebauungsplan.

Bauordnungsrecht:

- Bauordnung des jeweiligen Bundeslands,
- Bauvorlagen- bzw. Durchführungsverordnung des jeweiligen Bundeslandes,
- 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 sowie die jeweiligen länderspezifischen Ausführungsgesetze zum Bundesnaturschutzgesetz

Denkmalschutzrecht:

- Denkmalschutzgesetz im jeweiligen Bundesland

Luftverkehrsrecht:

- §§ 12 ff. Luftverkehrsgesetz (LuftVG). (Bei Dachkonstruktionen relevant)

KWEA gelten als bauliche Anlagen i.S.d. § 29 BauGB [48] und fallen, wie bereits beschrieben, unter die landesspezifischen Regelungen der Bauordnungen. Ab einer Höhe von 50 m muss ein Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) durchgeführt werden.

Im Anschluss an diesen kurzen Überblick zum Rechtsrahmen wird nun die Genehmigungspflicht bzw.- Freiheit von KWEA geklärt.

5.2 Bauplanung im Zusammenhang mit dem Baugesetzbuch des Bundes

Tabelle 18 gibt einen Überblick über die grundsätzliche Dreigliederung der bauplanungsrechtlichen Bereiche durch das Baugesetzbuch. Der Bereich, in dem eine KWEA errichtet werden soll ist relevant für die jeweiligen Erfolgsaussichten bei der Genehmigung. Die BauNVO unterteilt die Bereiche weiter in einzelne Baugebiete, die hier im Einzelnen jedoch nicht aufgeführt werden [49]. Die entsprechende bauplanungsrechtliche Zulässigkeit wird sowohl im vereinfachten Verfahren als auch im förmlichen Verfahren durch die Bauaufsichtsbehörde geprüft. **Der Bebauungsplan** regelt die Art und Weise der Bebauung und wird von der Gemeinde als Satzung beschlossen. Rechtskräftig wird er durch die Bekanntmachung.

Bei dieser Einteilung ist zu beachten, dass Schulen sowie sonstige Bildungseinrichtungen nur in den seltensten Fällen im Außenbereich stehen. Normalerweise befinden sie sich in Bereichen, für die ein Bebauungsplan existiert.

Tabelle 18: Baugebiete nach BauGB

§ 35 BauGB	§ 34 BauGB	§ 30 BauGB
unbeplanter Außenbereich	unbeplanter Innenbereich	beplanter Innenbereich
<p>es wird zwischen privilegierten und nicht-privilegierten Vorhaben unterschieden.</p> <p>§ 35 Abs. 1 Nr. 5 BauGB erklärt Windanlagen in diesem Bereich als privilegiert, wenn sie nach § 35 Abs. 1 Nr. 3 der öffentlichen Energieversorgung dienen.</p> <p>Der Bau bedarf dem gemeindlichen Einvernehmen nach § 36 BauGB</p> <p>Die Erschließung muss gesichert sein</p>	<p>Es besteht kein (qualifizierter) Bebauungsplan und es liegt ein im Zusammenhang bebauter Ortsteil vor.</p> <p>Die Voraussetzung für bauplanungsrechtliche Zulässigkeit von Vorhaben bedingt sich durch:</p> <p>KWEA fügt sich in Eigenart der (näheren) Umgebung ein</p> <p>gemeindliches Einvernehmen nach § 36 BauGB, gesicherte Erschließung, keine schädlichen Auswirkungen auf zentrale Versorgungsbereiche in der Gemeinde oder in anderen Gemeinden, § 34 III BauGB</p>	<p>In § 30 I-II BauGB werden verschiedene Arten von Bebauungsplänen unterschieden:</p> <p>Der qualifizierte Bebauungsplan wird in § 30 I BauGB definiert. Er liegt vor, wenn mindestens Festsetzungen über die Art und das Maß der baulichen Nutzung der überbaubaren Grundstücksfläche in ihm festgelegt sind.</p> <p>Ein rechtswirksamer qualifizierter Bebauungsplan heißt: kein Widerspruch zu den Festsetzungen der §§ 1- 15 BauNVO (Art der baulichen Nutzung) sowie §§16-21 (das Maß der baulichen Nutzung) und §23 (überbaubare Grundstücke)</p> <p>Die Erschließung ist gesichert.</p>
	<p>Im beplanten und unbeplanten Innenbereich können KWEA als untergeordnete Nebenanlagen gemäß § 14 BauNVO zulässig sein.</p> <p>Voraussetzung: Sie dienen dem primären Nutzungszweck von Grundstücken, d.h. es besteht eine funktionale Unterordnung), die Energie wird überwiegend (> 50 %) für das jeweilige Grundstück selbst erzeugt¹.</p>	

5.3 Genehmigungsrechtliche Bestimmungen für KWEA

Bevor eine Kleinwindenergieanlage errichtet wird, muss geklärt werden, ob hierfür eine behördliche Baugenehmigung notwendig ist. Es gibt verschiedene Typen von Verfahren:

Förmliches Genehmigungsverfahren: Dieses Verfahren entspricht dem allgemeinen Verfahren ohne jegliche Vereinfachungen:

- Die Behörde prüft umfassend, ob die Kleinwindenergieanlage den materiellen Regelungen des Bauordnungs- und Bauplanungsrechts sowie weiteren Rechtsfeldern entspricht.

¹ Die Einordnung von KWEAs als Nebenanlage im Sinne des § 14 BauNVO ist ein strittiges Thema, da KWEA nicht explizit erwähnt wird Solaranlagen hingegen schon. Dennoch können KWEA nach diesem Paragraphen als Nebenanlage interpretiert werden, wenn die in der Tabelle genannten Bedingungen erfüllt sind. (Thorbecke 2013: 310 ff).

- Die Behörde bezieht ebenfalls selbstständig die Denkmal- und Naturschutzbehörde mit ein sowie die Gemeinde.
 - Baugenehmigungsverfahren kann ein **Vorteil** sein, da es Rechtssicherheit verschafft.
 - Im Falle der anderen Verfahren oder der Verfahrensfreiheit trägt der/die Betreiber_in die Verantwortung für die Rechtmäßigkeit der Anlage. Für den Fall, dass die Baubehörde nachträglich öffentlich-rechtliche Verstöße feststellt, kann sie die Nutzung bzw. auch den Abriss der Anlage verordnen [2]

Vereinfachtes Genehmigungsverfahren: Bei diesem Verfahren werden nur bestimmte Punkte der Bauvorlage geprüft. Der Prüfungsumfang variiert zwischen den Bundesländern.

- Sinn und Zweck des Verfahrens ist es die Genehmigungsbehörden zu entlasten und die Wartezeiten zu verkürzen.
- Für den/die Antragssteller_in selbst ändert sich jedoch nichts. Er/Sie muss die üblichen Bauvorlagen einreichen, Anzeigen und Nachweise erbringen. Die Behörde bezieht hier selbstständig die Gemeinde mit ein. [50]

Zustimmungsverfahren: Diese Verfahrensart gilt nur, wenn

- **Bauvorhaben in öffentlicher Trägerschaft** realisiert werden, womit es auch für Schulen gelten würde.
- Voraussetzung ist, dass die Baudienststelle des jeweiligen Landes die Entwurfsarbeiten und die Bauüberwachung übernimmt.
- Ansonsten entspricht das Verfahren einem Baugenehmigungsverfahren, wobei der Prüfungsumfang zwischen den Ländern variiert. Am Ende wird die Zustimmung erteilt, die dann einer Baugenehmigung entspricht. [2]

Genehmigungsfreistellung (Kenntnisgabeverfahren, Bauanzeigeverfahren):

- In diesem Verfahren findet **keine Prüfung** seitens der Bauaufsichtsbehörde statt.
- Bauherr_in und Architekt_in müssen eigenverantwortlich die baurechtlichen Vorschriften umsetzen.
- Die Bauvorlage muss bei der zuständigen Bauaufsichtsbehörde und Gemeinde eingereicht werden, die dann innerhalb einer Frist entscheiden, ob ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren durchgeführt werden soll.
- In manchen Bundesländern wird eine vollständige Bauvorlage gefordert.
- Die Bauaufsichtsbehörde hat nach Baubeginn jederzeit das Recht, zu kontrollieren, ob die Bauvorschriften tatsächlich eingehalten werden und kann ggf. entsprechende Sanktionen verhängen.

- Das Freistellungsverfahren kann nur angewendet werden, wenn die KWEA **im Geltungsbereich eines rechtskräftigen Bebauungsplans** errichtet werden soll und diesem nicht widerspricht sowie eine **gesicherte Erschließung** der Anlage gewährleistet ist. Somit kann dieses Verfahren nicht im Außenbereich und im unbeplanten Innenbereich durchgeführt werden. [2]

Verfahrensfreiheit: Die jeweilige Landesbauordnung kann KWEA bis zu einer bestimmten Höhe (meistens 10 m Eigenhöhe, wobei die Höhenmessungen hier variieren) als verfahrensfreies Bauvorhaben festlegen. Außerdem beschränken einige Landesbauordnungen die verfahrensfreie Errichtung auf bestimmte Baugebiete. Trotz Verfahrensfreiheit gelten auch hier alle weiteren öffentlich-rechtlichen Vorschriften, sodass der/die Bauherr_in eigenverantwortlich für dessen Einhaltung zuständig ist [50].

In manchen Bundesländern können KWEA als **Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung** verfahrensfrei errichtet werden. Die KWEA muss hierfür dem Gebäude „dienen“ und sich diesem funktional unterordnen. Hieraus leitet sich ab, dass die Energie, die aus der Anlage gewonnen wird, ins Hausnetz eingespeist werden muss und für den Eigenverbrauch genutzt wird [2].

Die **Beteiligung anderer Behörden** fällt je nach Verfahrensart in die Aufgabe des/der Bauherr_in oder wird von der Bauaufsichtsbehörde übernommen. Im Zuge einer Verfahrensfreiheit oder Freistellung muss der/die Bauherr_in sicherstellen, dass Genehmigungen von z.B. der Natur- und Denkmalschutzbehörde eingeholt werden, wenn dies erforderlich ist. Sowohl im vereinfachten als auch im förmlichen Genehmigungsverfahren kümmert sich die mit der Genehmigung beauftragte Bauaufsichtsbehörde um die Einbeziehung anderer Behörden [2].

In den jeweiligen **Gebührenverordnungen** des Landes kann eingesehen werden, wie viel der Antrag bei der Behörde kostet. Die Kosten variieren zwischen den einzelnen Verfahrensarten. Zum Beispiel kostet in Berlin der Bauantrag im vereinfachten Baugenehmigungsverfahren 0,26 v.H. der Herstellungskosten und mindestens 150 Euro. Die für die Berechnung der Gebühr maßgeblichen Herstellungskosten (HK) beziehen sämtliche Kosten mit ein, die für den Bau der Anlage erforderlich sind. Das heißt es werden auch Architekten- und Ingenieursleistungen sowie etwaige Eigenleistungen mit einbezogen. Die Grundlage zur Berechnung der HK bildet in Berlin die DIN 276 – 1 Ausgabe 02/2007. Welche Gebühren für das KWEA Projekt anfallen, hängt also direkt von den Kosten der Anlage ab. Da die Gebührenfestlegung sehr unterschiedlich ist zwischen den einzelnen Bundesländern, ist es am besten direkt bei der Behörde nachzufragen. Schulen sind allerdings oft von diesen Bearbeitungsgebühren befreit. Alle weiteren Kosten des Verfahrens (z.B. Gutachten) kommen noch zusätzliche auf den/die Bauherr_in zu [2].

5.3.1 Berlin

Nach der Bauordnung von Berlin (BauO Bln) [51] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtlichen Bedingungen

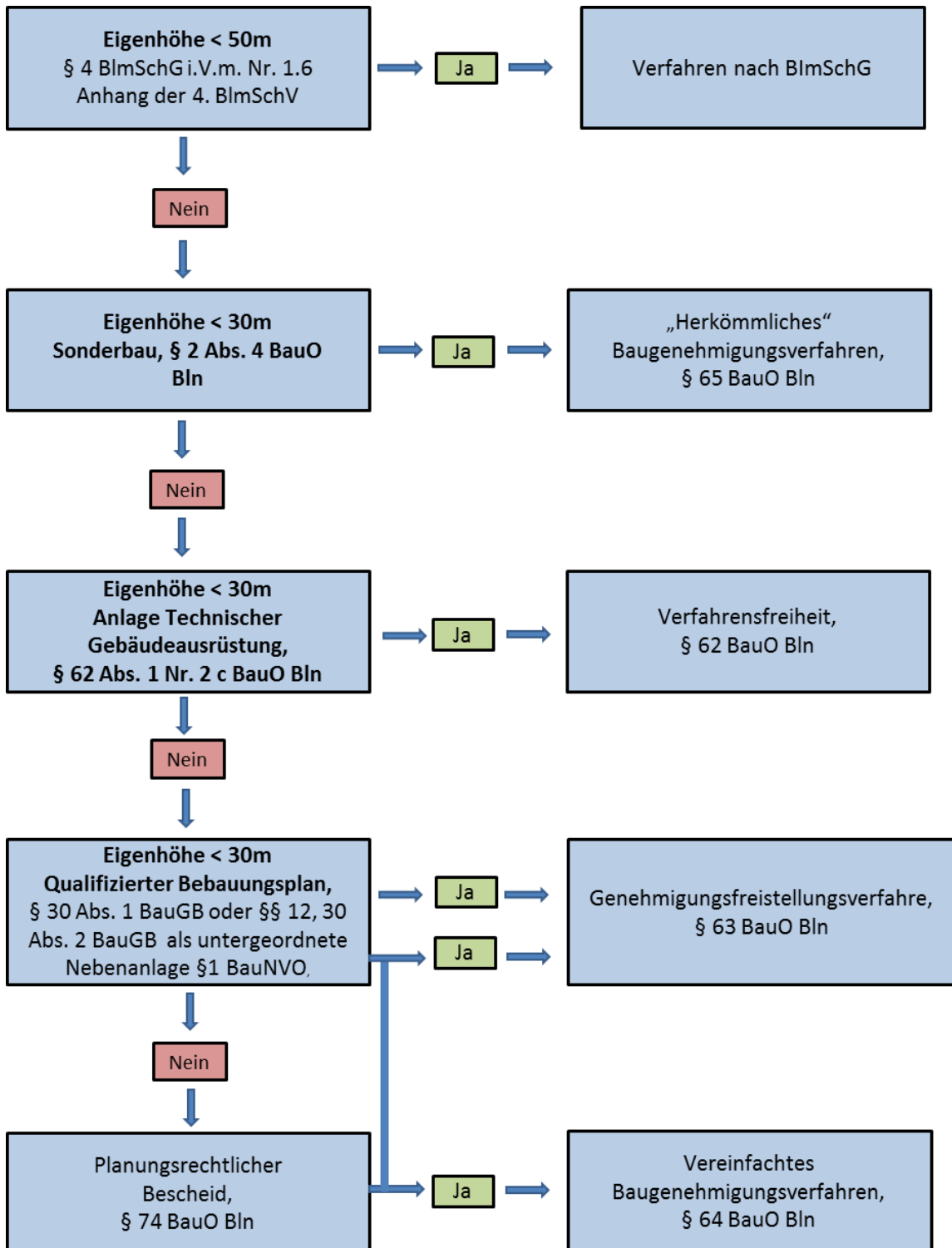


Abbildung 40: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Berlin [1]

Zusätzliche Anmerkungen

Im Zuge des HTW-Projekts wurden die KWEA über die Deklaration als technische Gebäudeausrüstung durch die Bauaufsichtsbehörde verfahrensfrei errichtet. Dies war auch der Fall an der Kooperationsschule, dem OSZ TIEM. Verfahrensfreiheit bedeutet hierbei nicht, dass die Anlage ohne Anträge bei der Behörde direkt errichtet werden darf. Der/die Bauherr_in ist verantwortlich, auf die Einhaltung aller rechtlichen Vorschriften zu achten.

Die Verfahrensfreiheit von KWEA 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.

Die Behörde muss auf Antrag des/der Bauherren_in nach § 74 BauO Bln zu einzelnen Aspekten des Bauvorhabens einen Vorbescheid erteilen. Dieser ist dann drei Jahre gültig. Wenn die KWEA den Regelungen des vereinfachten Baugenehmigungsverfahrens unterfällt, ist auf Antrag der Bauherrin oder des Bauherrn ein planungsrechtlicher Bescheid zu erteilen. In der Folge wird das Verfahren auf ein Genehmigungsfreistellungsverfahren umgestellt, wenn durch diesen Bescheid insgesamt die planungsrechtliche Zulässigkeit des Vorhabens festgestellt worden ist. (§ 74 Abs. 2 BauO Bln) [52].

5.3.2 Brandenburg

Nach der Bauordnung von Brandenburg (BbgBO) [53] gelten für KWEA die genehmigungsrechtlichen Bedingungen, die in der Abbildung veranschaulicht werden.

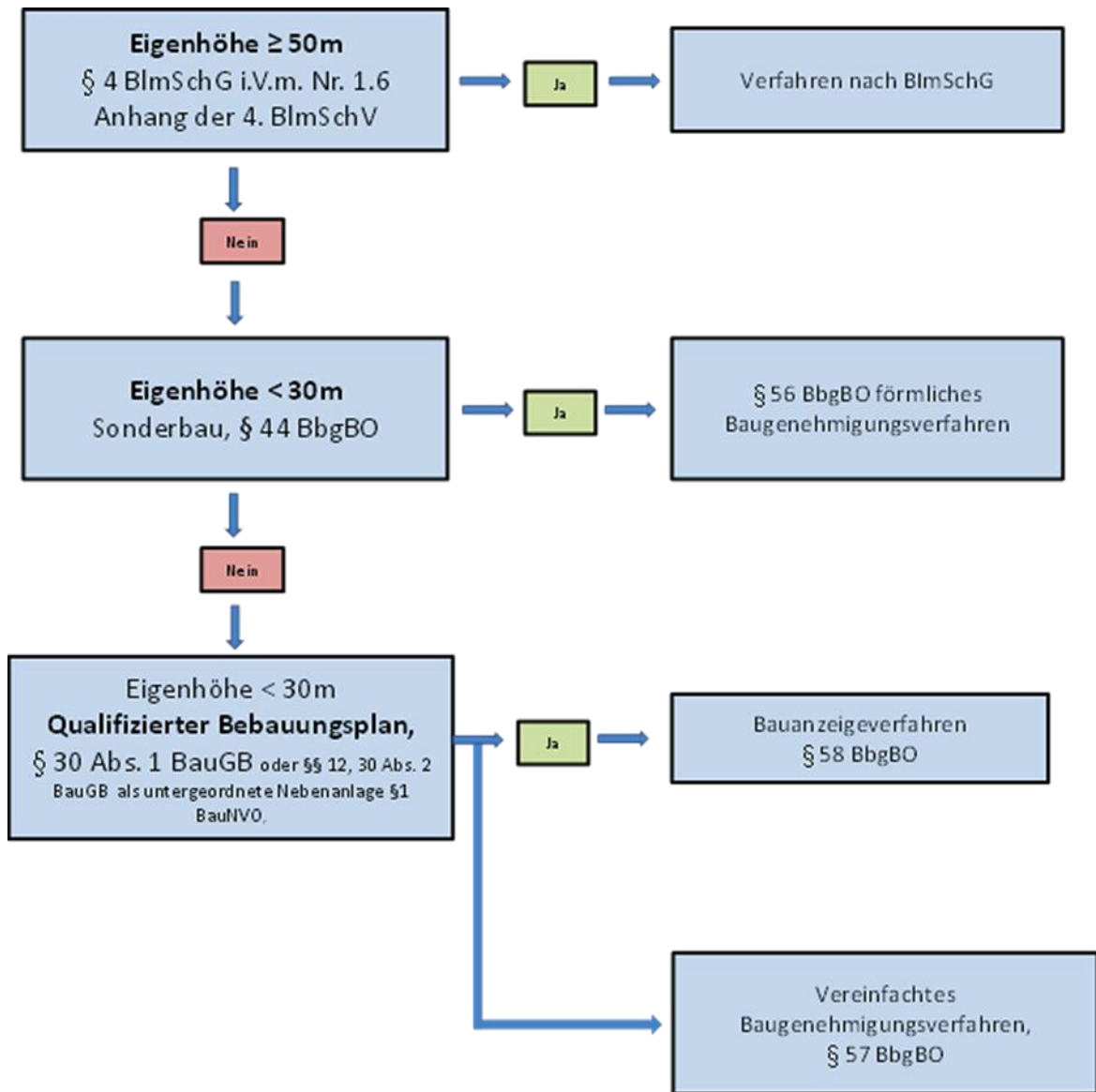


Abbildung 41: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Brandenburg (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Zusätzliche Anmerkungen

Im Telefonat mit der unteren Bauaufsichtsbehörde des Landkreises Barnim wurde gesagt, dass in Brandenburg alle Kleinwindenergieanlagen unabhängig von Größe und Standort ein förmliches Genehmigungsverfahren durchlaufen müssen. Dies gelte, da hier die KWEA nicht als Nebenanlage nach § 14 Abs. 3 BauNVO gewertet wird, wodurch kein vereinfachtes Verfahren möglich sei. Dies zeigt, wie bereits im Gliederungspunkt 5 erwähnt, dass die Einordnung von KWEA als Nebenanlagen nicht selbstverständlich ist. Diese Einschätzung kann jedoch im Einzelfall und abhängig von der zuständigen Behörde variieren. Für ein Bauanzeigeverfahren muss die KWEA jedoch als Nebenanlage mit geringer Höhe eingestuft werden, sodass es hier auf die Beurteilung der zuständigen Behörde ankommt. Das vereinfachte Genehmigungsverfahren kann ebenfalls nur im Rahmen eines Bebauungsplans durchgeführt werden. Liegen die Voraussetzungen für das vereinfachte Baugenehmigungsverfahren nicht vor, weil das Vorhaben zwar in einem Bebauungsplangebiet liegt, aber Abweichungen von örtlichen Bauvorschriften oder Befreiungen von planungsrechtlichen Festsetzungen des Bebauungsplans erforderlich sind, ist ein Regelverfahren nach § 56 BbgBO durchzuführen.

5.3.3 Sachsen

Nach der Bauordnung von Sachsen (SächsBO) [54] gelten für KWEA die genehmigungsrechtlichen Bedingungen, die in der Abbildung veranschaulicht werden.

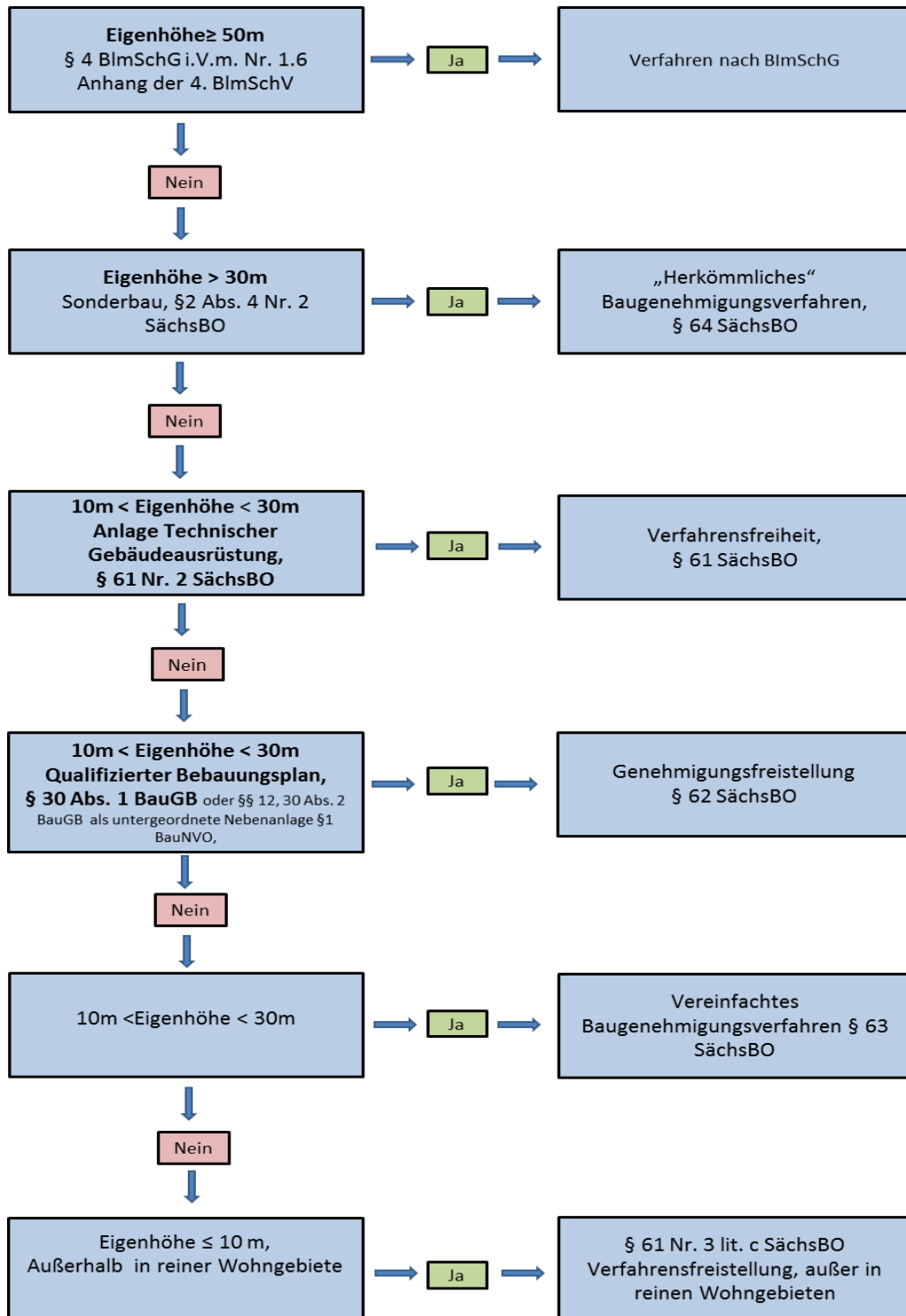


Abbildung 42: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Sachsen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Zusätzliche Anmerkungen

Im Telefonat mit der unteren Bauaufsichtsbehörde Nordsachsen wurde darüber hinaus hinzugefügt, dass je nach Baugebiet (Gebietscharakter) auch bei Anlagen, die kleiner als 30 m sind, schon eine Zustimmung der Immissionsschutzbehörde nötig sein kann. Diese Anmerkung wird für die allermeisten Fälle jedoch nicht zutreffen, da dieses Verfahren eindeutig für Anlagen ab 50 m vorgesehen ist. Nur in äußersten Ausnahmefällen könnte es sein, dass dennoch ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren durchgeführt werden muss.

Die Höhe der KWEA wird von der Geländeoberfläche an bis zum höchsten Punkt der Anlage gemessen, was besonders für Dachkonstruktionen wichtig ist, da hier die Gebäudehöhe mit einbezogen wird.

5.3.4 Sachsen-Anhalt

Nach der Bauordnung von Sachsen-Anhalt (BauO LSA) [55] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtlichen Bedingungen:

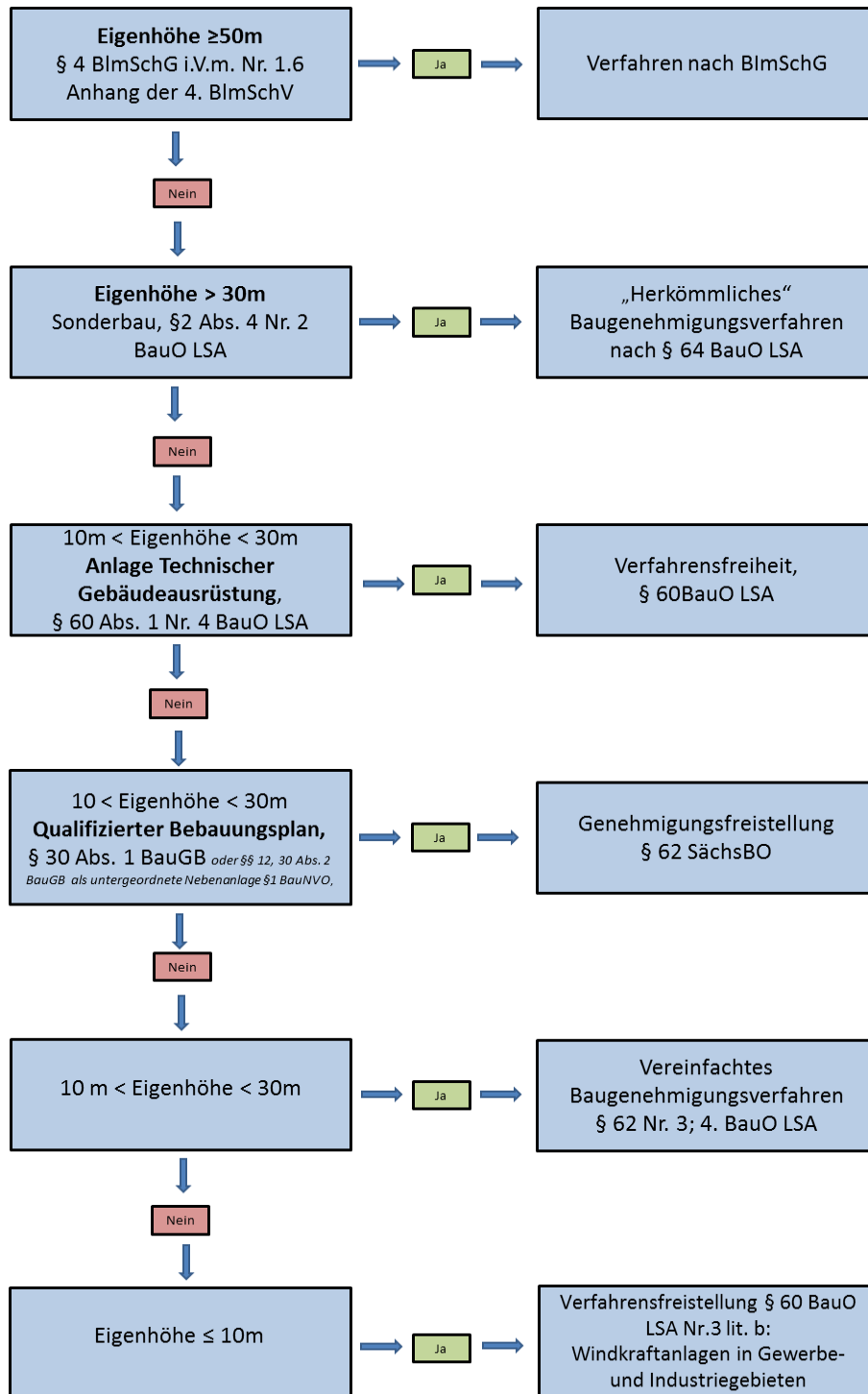


Abbildung 44: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Sachsen-Anhalt (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Zusätzliche Anmerkungen

Die Verfahrensfreiheit für Anlagen bis einschließlich 10 m Eigenhöhe gilt nur in dafür in der Bauordnung vorgesehenen Gebieten. In Sachsen-Anhalt dürfen KWEA in Gewerbe- und Industriegebieten genehmigungsfrei errichtet werden. Schulen sind eher nicht in diesen Gebieten angesiedelt, sodass es sein kann, dass die Schule auch für Anlagen, die kleiner als 10 m sind, einen Genehmigungsprozess durchlaufen muss. Die Gesamthöhe wird nach § 6 Abs. 8 Satz 3 BauO LSA bestimmt. Die größte Höhe der KWEA errechnet sich demnach bei Anlagen mit Horizontalachse aus der Höhe der Rotorachse über der Geländeoberfläche in der geometrischen Mitte des Mastes zuzüglich des Rotorradius.

5.3.5 Thüringen

Nach der Bauordnung von Thüringen (ThürBO) [56] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

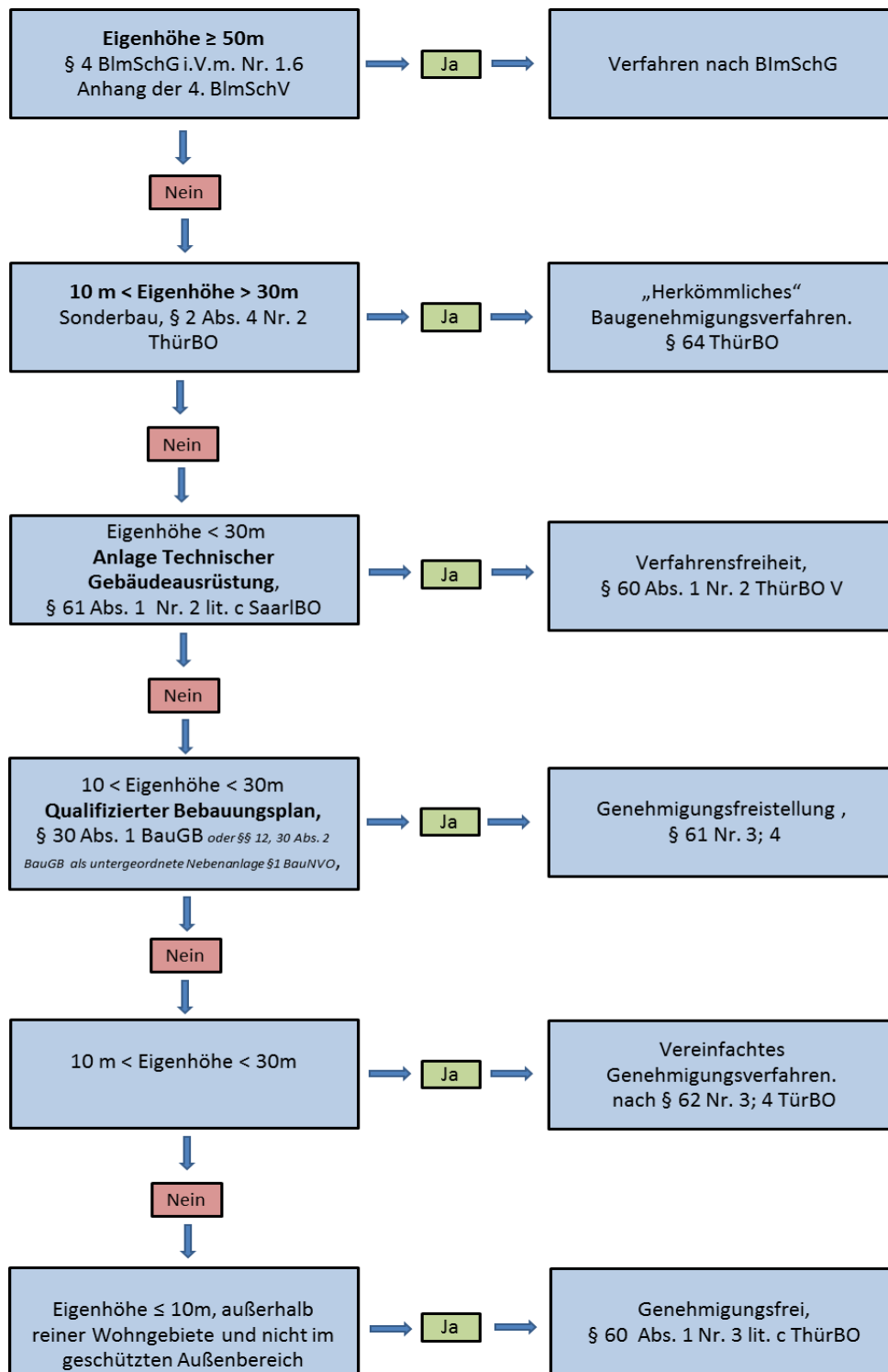


Abbildung 45: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Thüringen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Zusätzliche Anmerkungen

Die Verfahrensfreiheit gilt für Anlagen mit einer maximalen Anlagenhöhe von 10 m und einem Rotordurchmesser von maximal 3 m. Die Anlagenhöhe wird in Thüringen von der Geländeoberfläche bis zum höchsten Punkt der vom Rotor bestrichenen Fläche gemessen, was für Dachanlagen die Einbeziehung der Gebäudehöhe in die Berechnung der Anlagenhöhe bedeutet. Im Telefonat mit dem Landratsamt Unstrut-Hainrich-Kreis wurde jedoch erwähnt, dass dies im Einzelfall bewertet werden müsse und bei sehr kleinen Anlagen eine Dachmontage unter Umständen dennoch zu den verfahrensfreien Vorhaben gezählt werden könne, selbst wenn die 10 m Grenze überschritten sein sollte. Eine weitere Beschränkung der freien Aufstellung ist der Gebietscharakter. Die Verfahrensfreiheit gilt nicht in reinen Wohngebieten und im Außenbereich, soweit es sich um geschützte Teile von Natur und Landschaft im Sinne des § 20 Abs. 2 des Bundesnaturschutzgesetzes oder des § 26 a Abs. 2 des Thüringer Gesetzes für Natur und Landschaft handelt. Wenn Anlagen einer Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung oder einer Vorprüfung nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung oder dem Thüringer Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung unterliegen, müssen sie durch das herkömmliche Baugenehmigungsverfahren genehmigt werden. Das vereinfachte Verfahren und das Genehmigungs-freistellungsverfahren sind dann nicht möglich.

5.3.6 Mecklenburg-Vorpommern

Nach der Bauordnung von Mecklenburg-Vorpommern (LBauO) [57] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

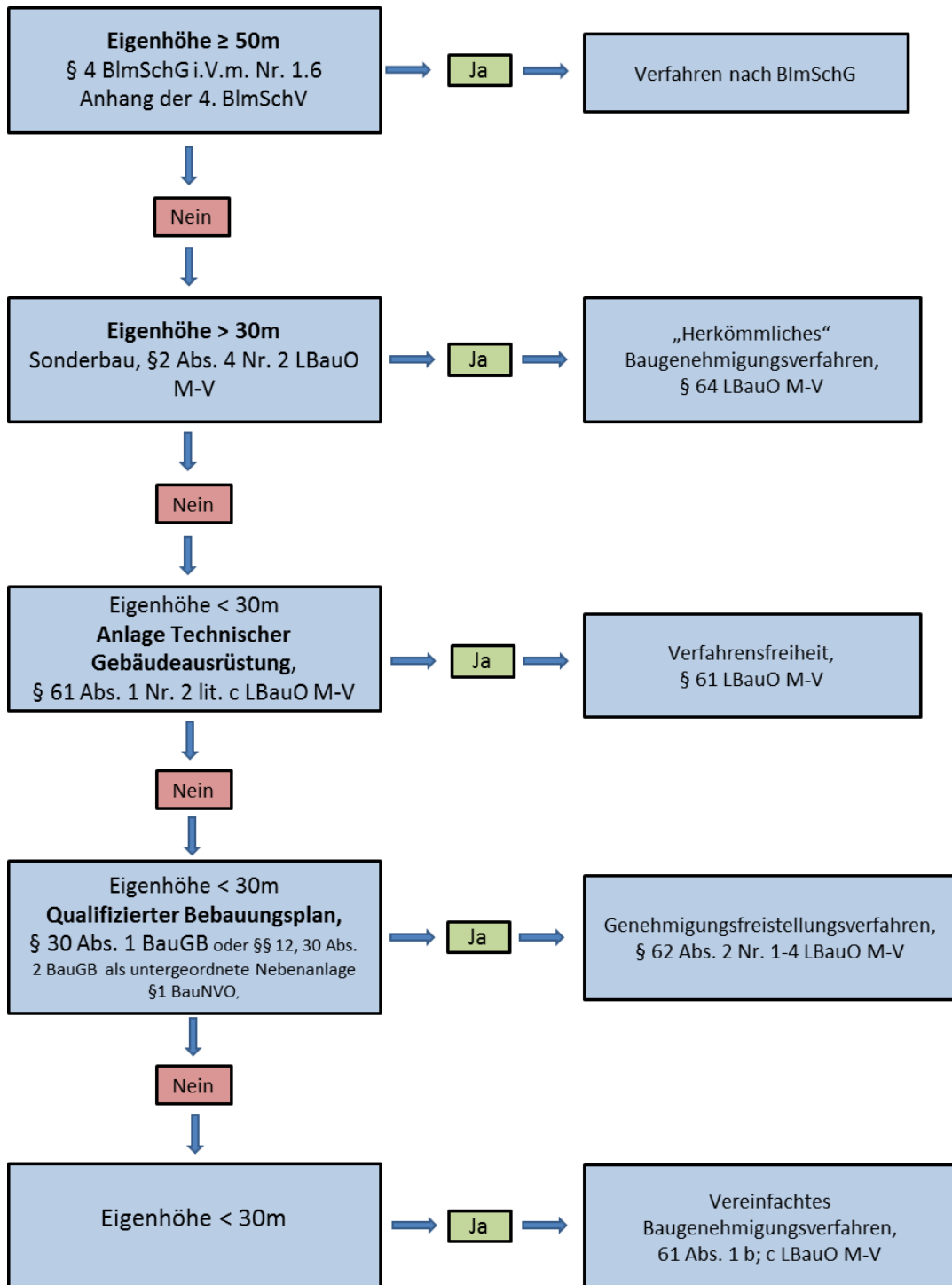


Abbildung 46: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Mecklenburg-Vorpommern (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

5.3.7 Schleswig-Holstein

Nach der Bauordnung von Schleswig-Holstein (LBauO SH) [58] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

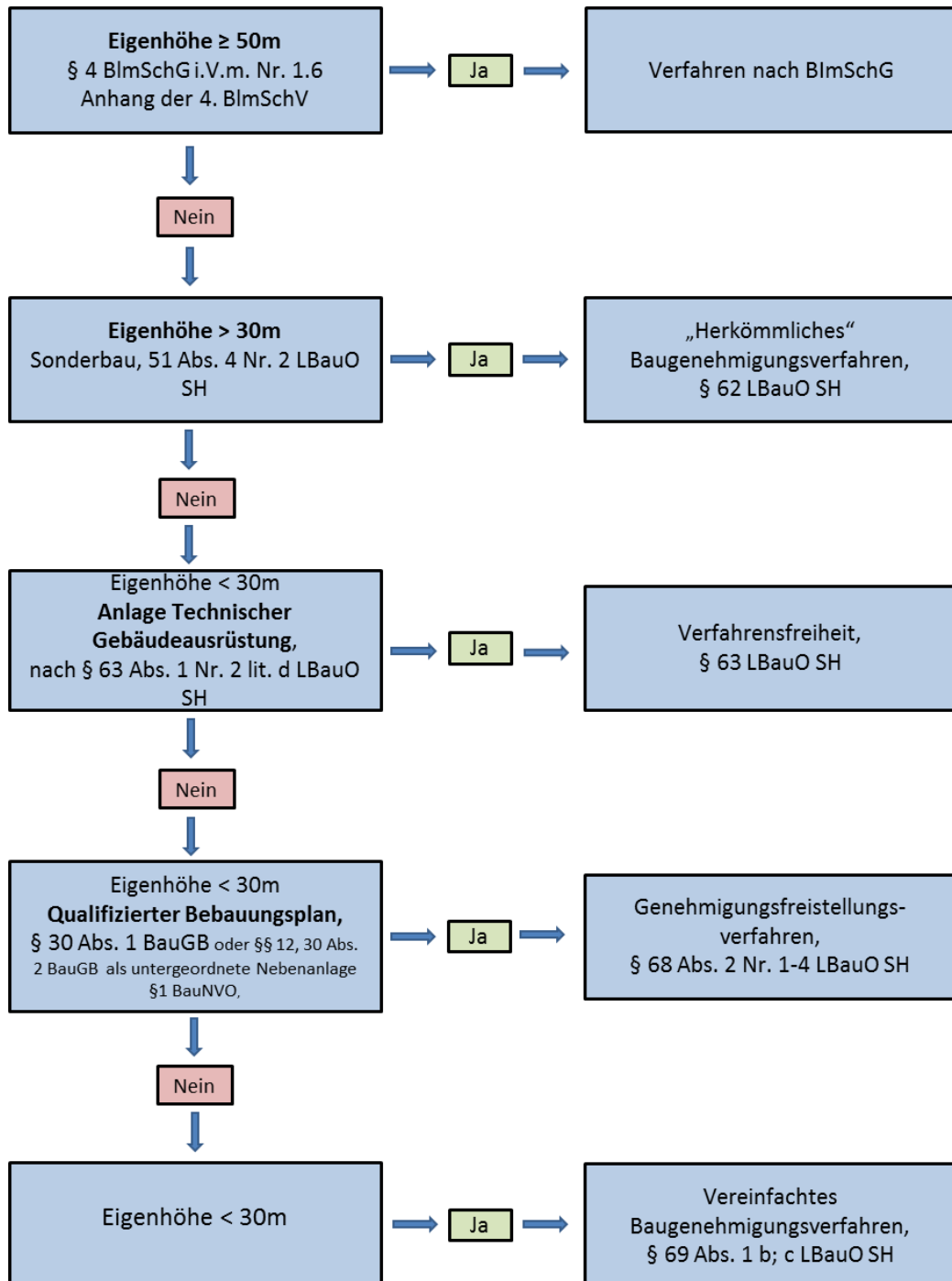


Abbildung 47: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Schleswig-Holstein (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Zusätzliche Anmerkungen

Das Land Schleswig-Holstein hatte ursprünglich 2014 eine Reform ihrer Bauordnung vorgesehen, in der KWEA bis 10 m zu den verfahrensfreien Bauvorhaben gezählt werden sollen. Bisher ist diese Reform jedoch noch nicht umgesetzt worden. Hierbei wurde im Gespräch mit der unteren Bauaufsichtsbehörde gesagt, dass die Bedenken im Vorfeld der Reform sich unter anderem auf die nachbarschaftsrechtlichen Belange beziehen. Bei einer Freistellung von KWEA bis 10 m würde im Streitfall nicht mehr das öffentliche Recht greifen sondern das zivilrechtliche, wodurch die Behörde letztendlich aus dem Spiel wäre und die Streitparteien sich vor dem Zivilgericht oder untereinander einigen müssten. Ein weiteres Bedenken ist, dass der Natur- und Artenschutz nicht mehr ausreichend gewährleistet werden kann. Es bleibt offen, ob die Reform noch durchgeführt oder doch wieder verworfen wird.

5.3.8 Niedersachsen

Nach der Bauordnung von Niedersachsen (NBauO) [59] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

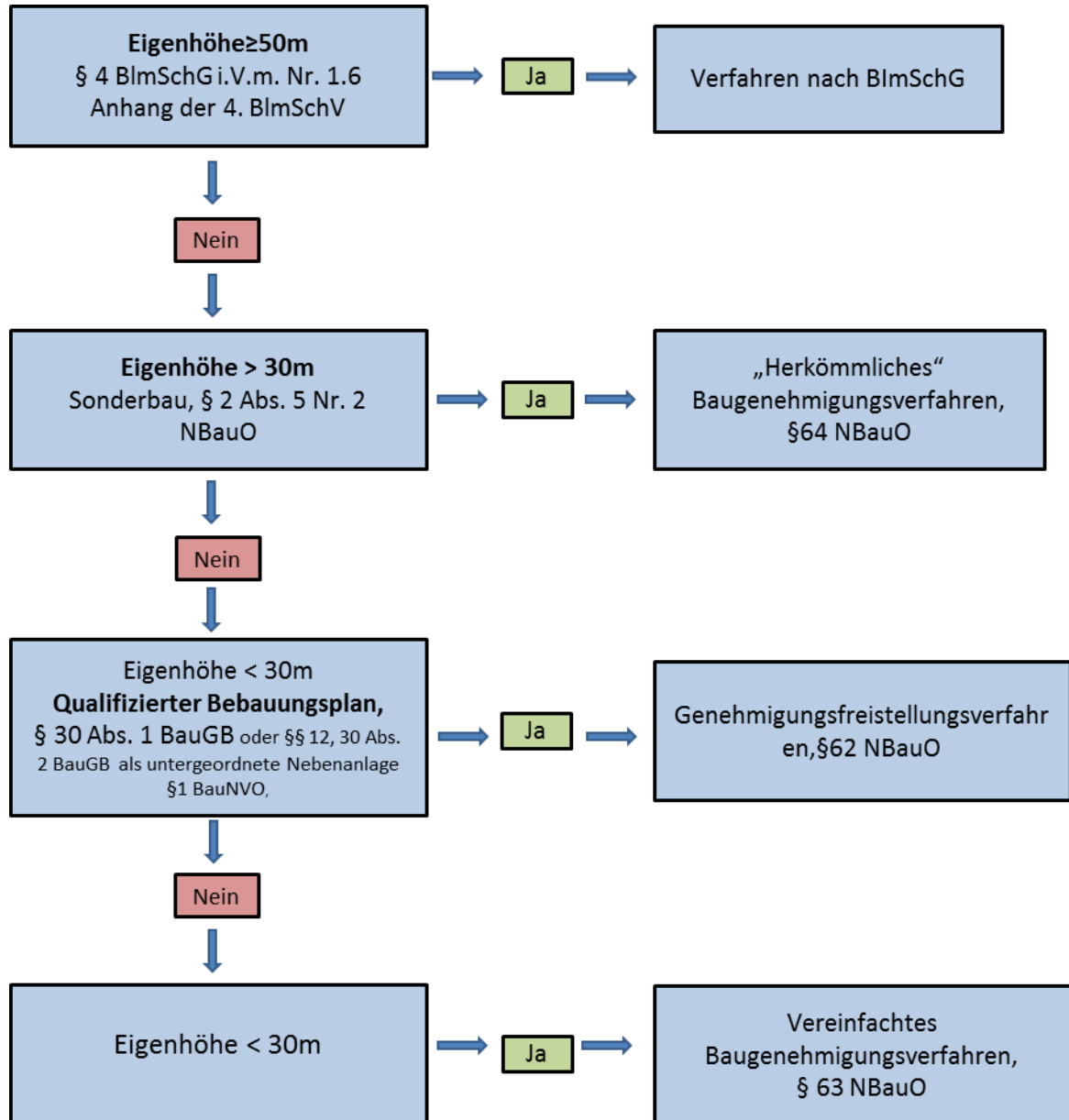


Abbildung 48: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Niedersachsen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.9 Bremen

Nach der Bauordnung von Bremen (BremLBO) [60] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

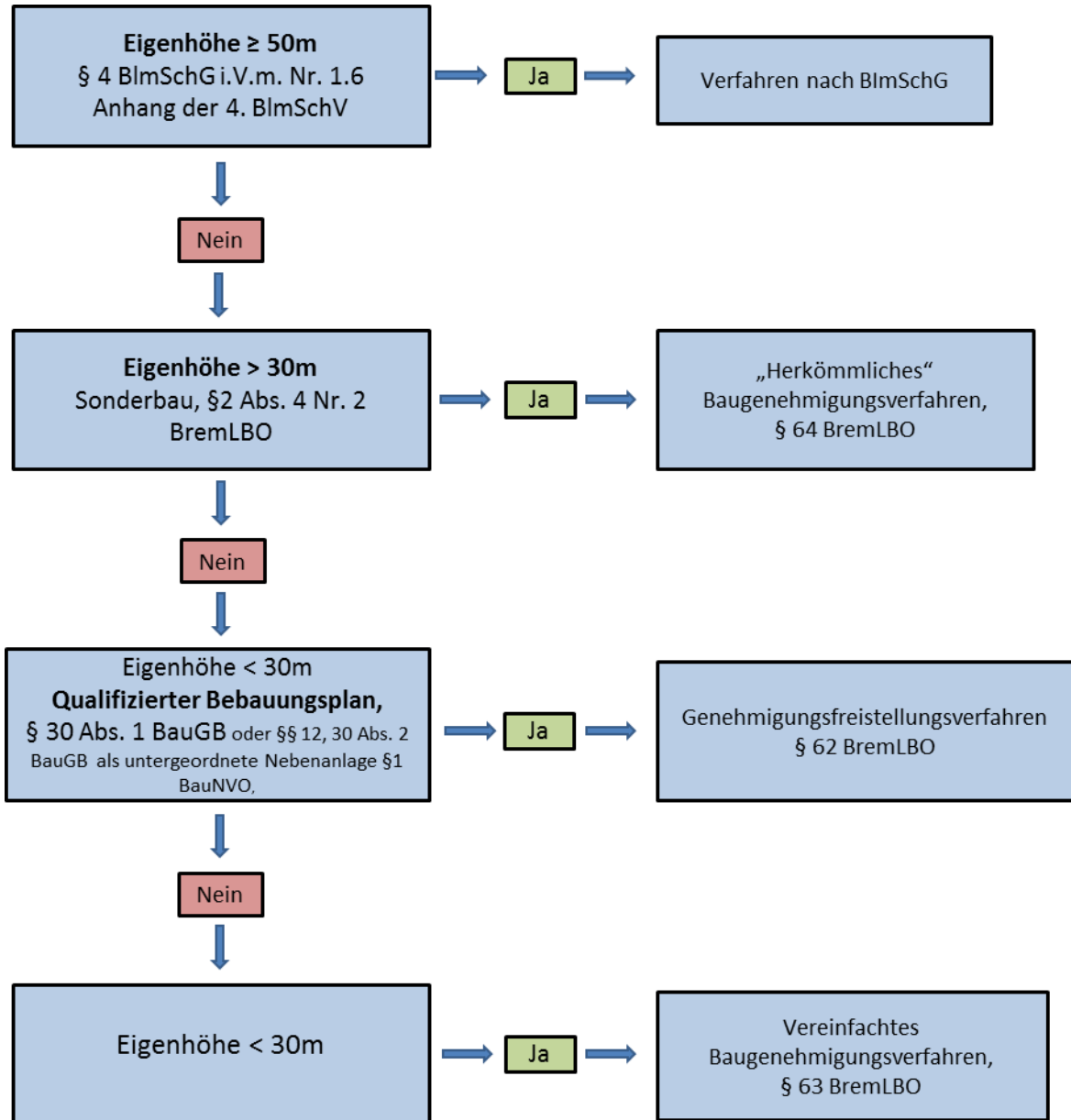


Abbildung 49: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Bremen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.10 Hamburg

Nach der Bauordnung von Hamburg (HBauO) [61] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

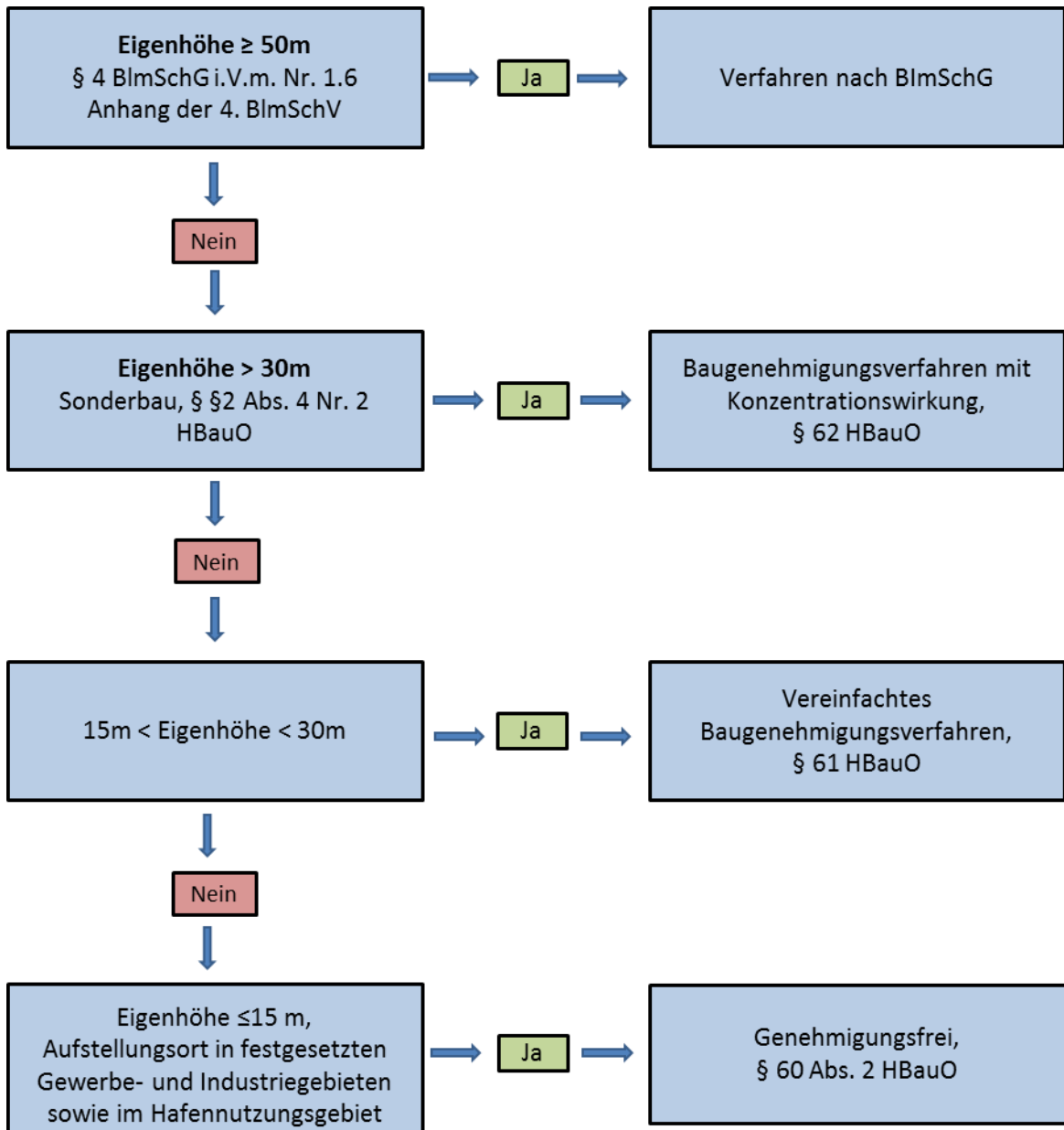


Abbildung 50: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Hamburg (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Hamburg ist das einzige Bundesland, in dem KWEA bis 15 m in bestimmten Gebieten zu den verfahrensfreien Anlagen gerechnet werden. Es gibt allerdings nicht die Möglichkeit, eine Genehmigungsfreistellung zu erwirken.

5.3.11 Hessen

Nach der Bauordnung von Hessen (HBO) [62] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

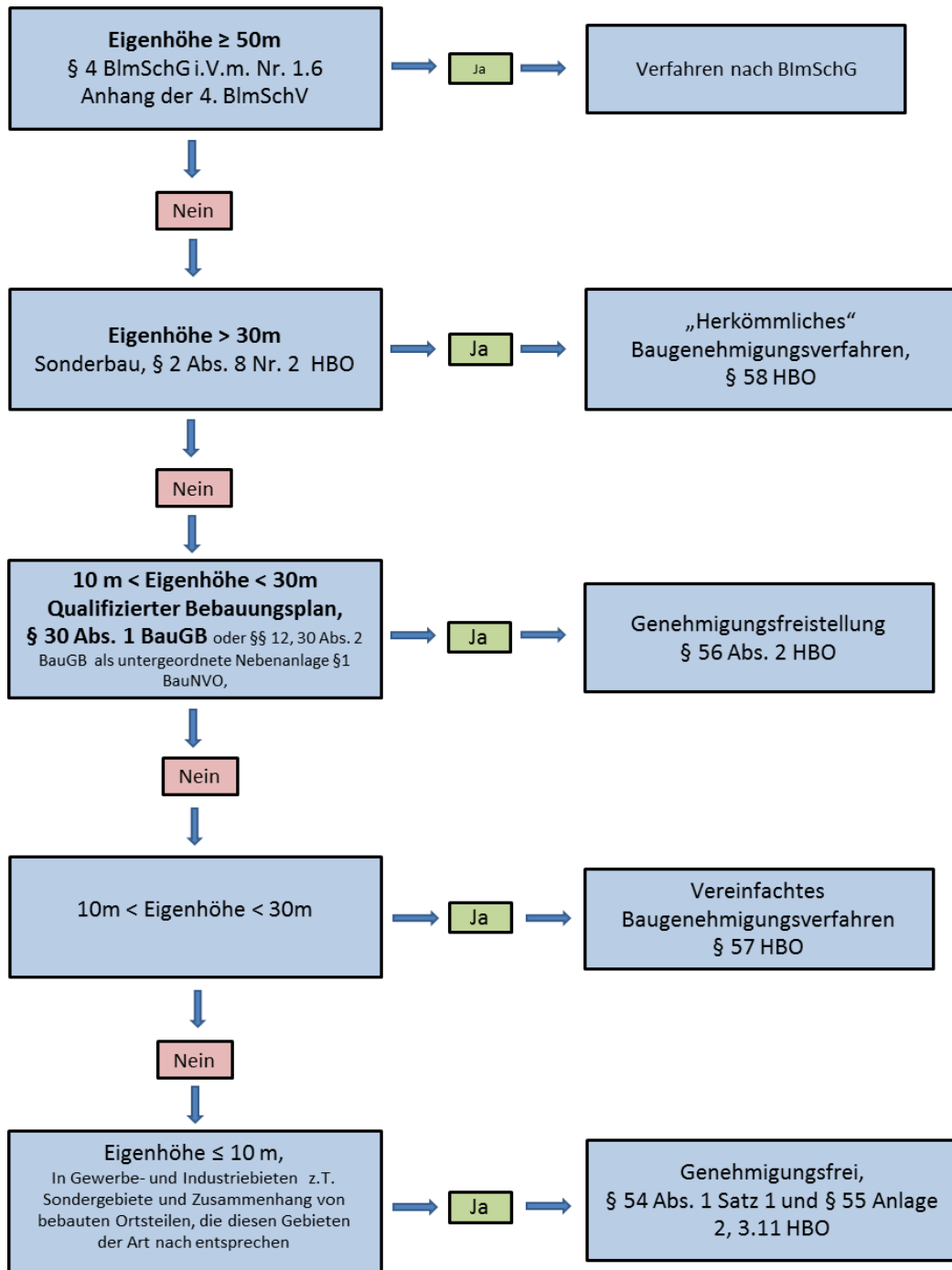


Abbildung 51: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Hessen (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.12 Saarland

Nach der Bauordnung vom Saarland (LBO) [63] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

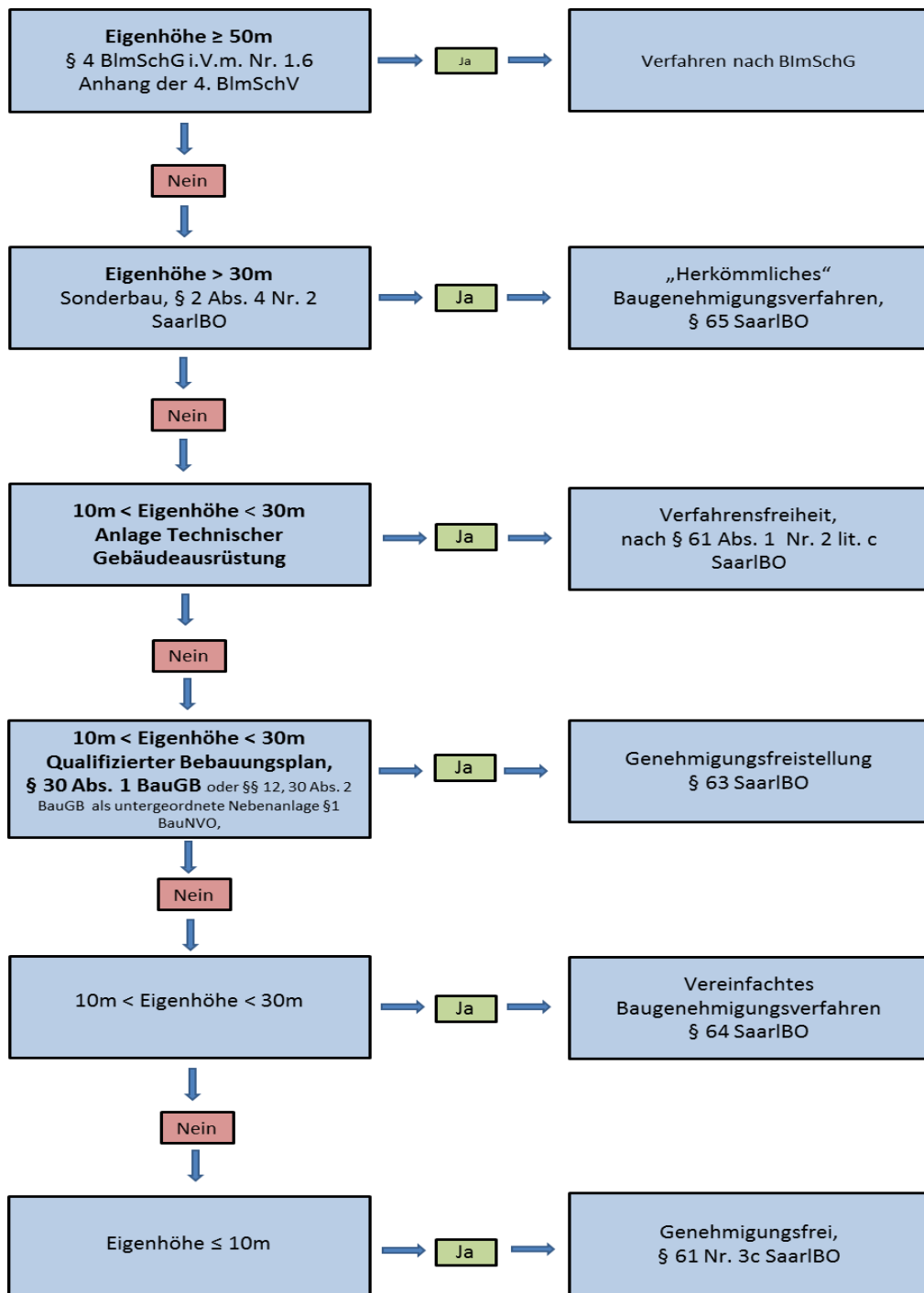


Abbildung 52: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Saarland (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.13 Rheinland-Pfalz

Nach der Bauordnung von Rheinland-Pfalz (RhPflBauO) [64] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

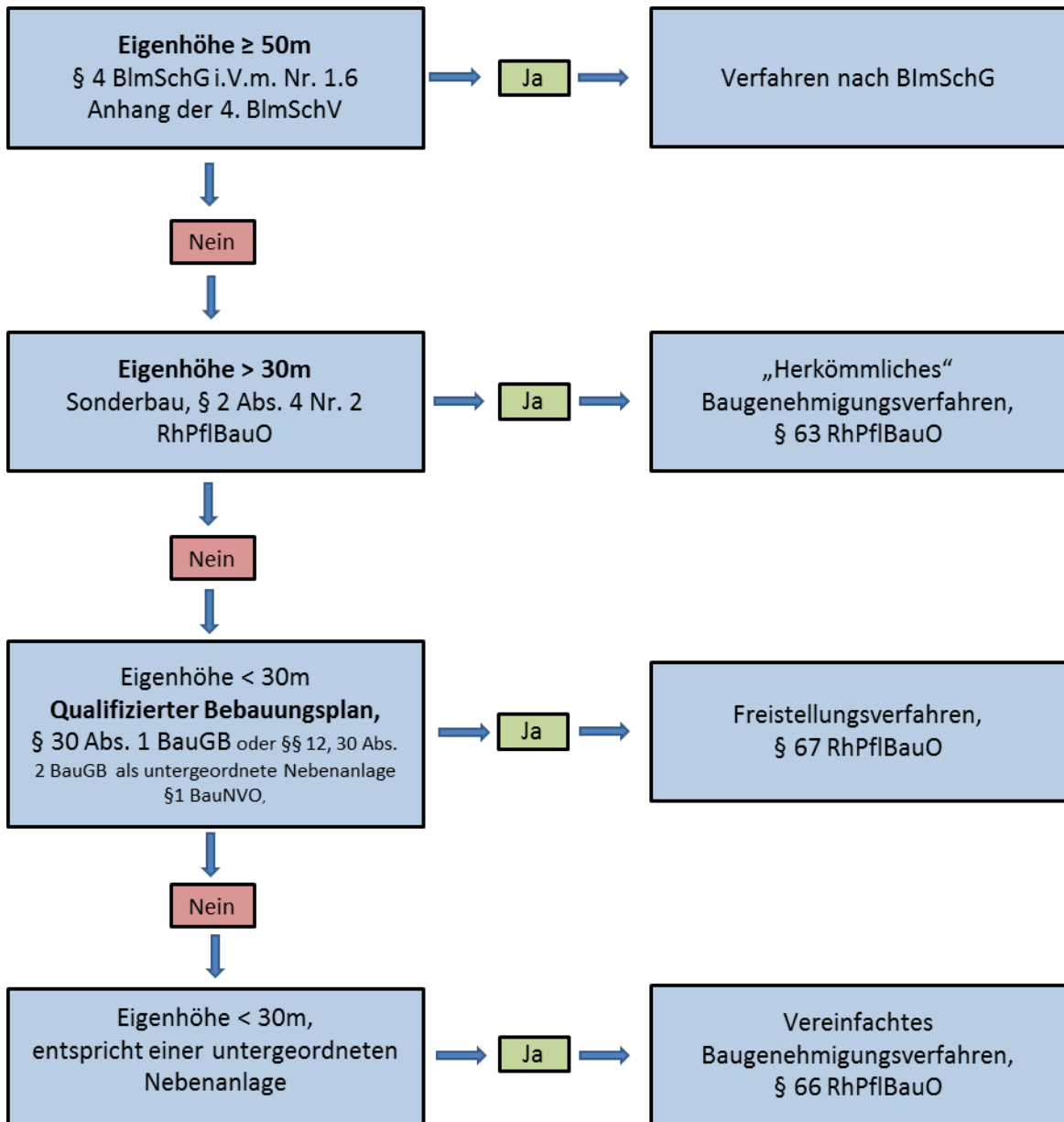


Abbildung 53: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Rheinland-Pfalz (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.14 Baden-Württemberg

Nach der Bauordnung von Baden-Württemberg (LBO BW) [65] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

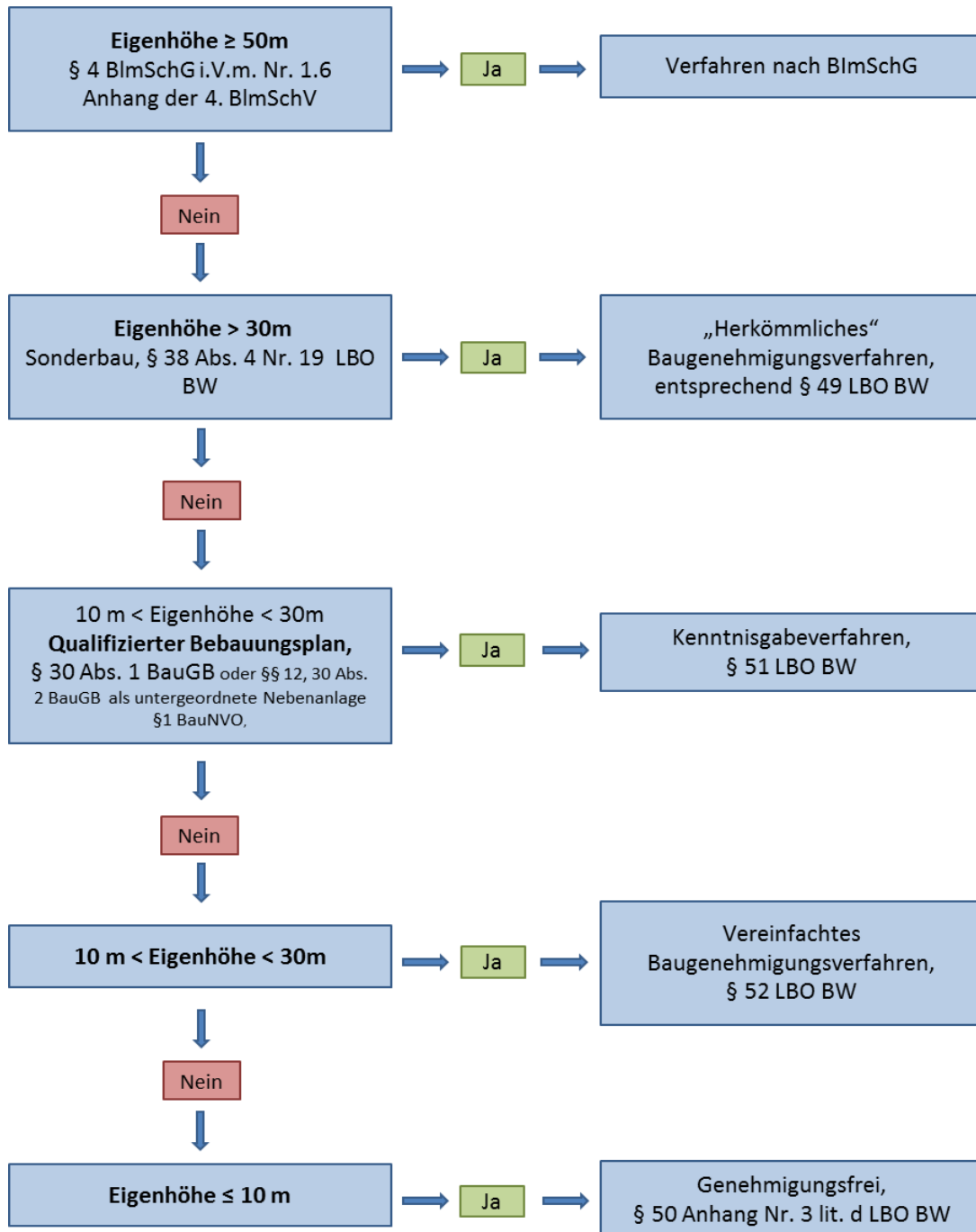


Abbildung 54: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Baden-Württemberg (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.15 Bayern

Nach der Bauordnung von Bayern (BayBo) [66] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

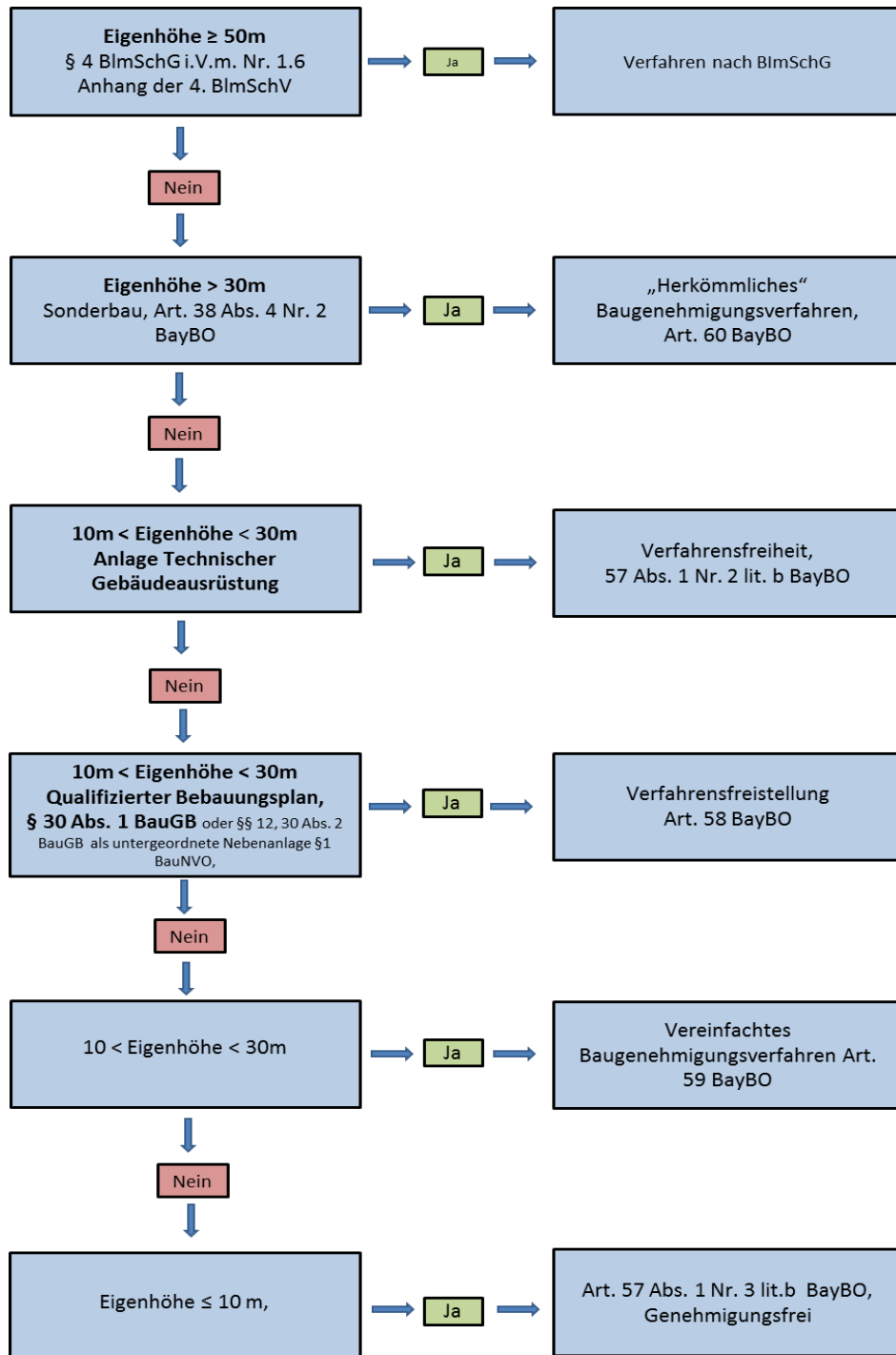


Abbildung 55: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in Bayer (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.3.16 Nordrhein-Westfalen

Nach der Bauordnung von Bayern (BauO NRW) [67] gelten für KWEA folgende genehmigungsrechtliche Bedingungen:

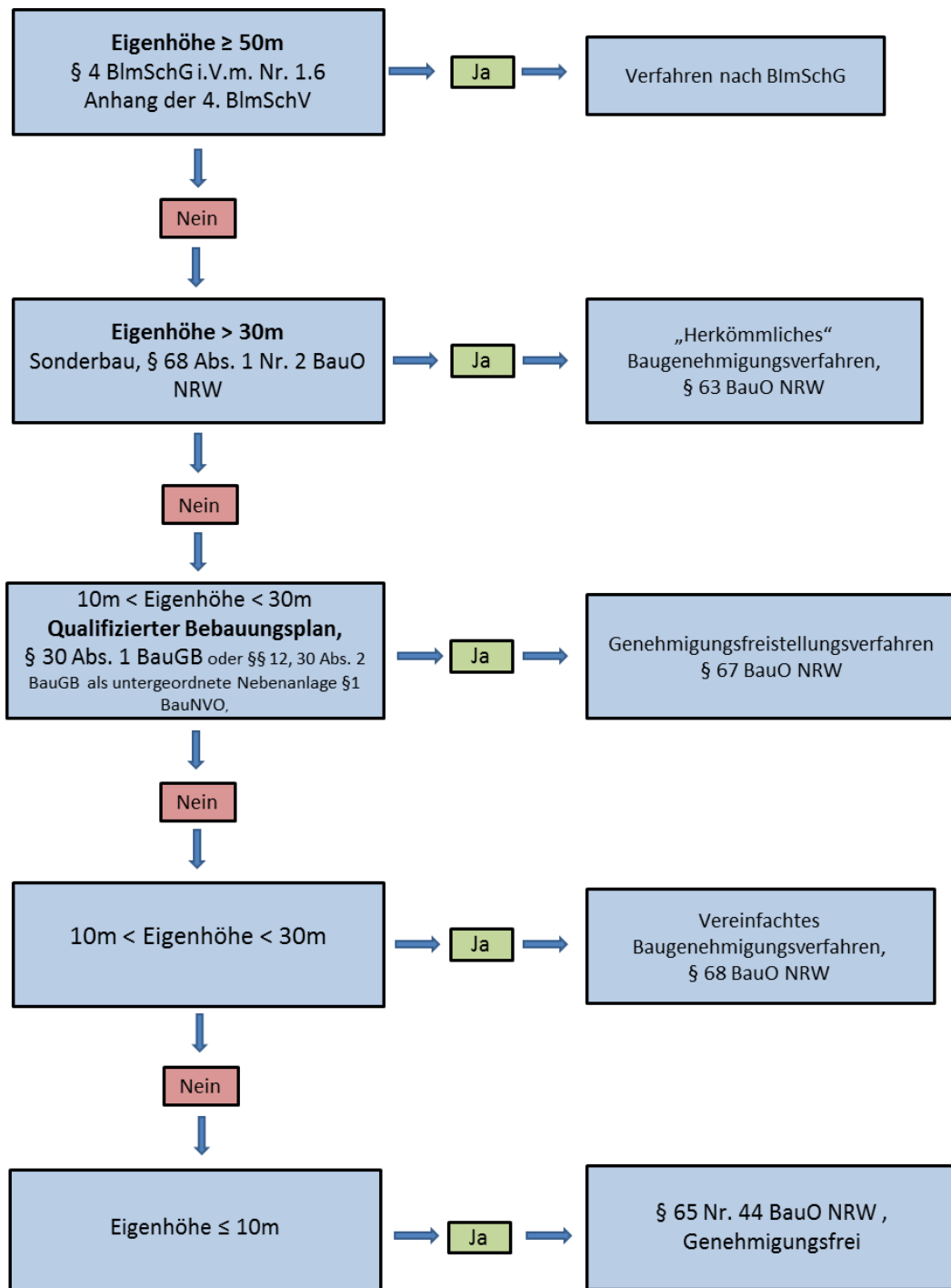


Abbildung 56: Genehmigungsrechtliche Bedingungen in NRW (eigene Darstellung in Anlehnung an [1])

Keine zusätzlichen Anmerkungen.

5.4 Zusammenfassungen der genehmigungsrechtlichen Bestimmungen

Die obigen Ausführungen zu den genehmigungsrechtlichen Bestimmungen der Bundesländer zu KWEA werden, um einen abschließenden Überblick zu schaffen, nochmal zusammengefasst.

5.4.1 Zusammenfassung der Genehmigungsfreiheit/Verfahrensfreiheit von KWEA

Die Höhe von KWEA hat Auswirkungen auf die Verfahrensart. Die Bestimmungen zur Messung der Anlagenhöhe variieren zwischen den Bundesländern. Der oberste Bezugspunkt stellt meistens die Rotorspitze (höchster Punkt mit 3 m Rotorradius).

Für freistehende Anlagen ist der unterste Bezugspunkt für die Höhenbemessung die Geländeoberfläche. Wenn die Anlage auf einem Fundament montiert wird, zählt dieses nicht mit zur Höhe.

Für Dachanlagen ist der untere Bezugspunkt schwieriger zu identifizieren. In einigen Bundesländern gilt die Messung ab der Geländeoberfläche, sodass die Anlagenhöhe bei Dachmontagen der Gebäudehöhe plus Anlagenhöhe entspricht. Daraus folgt, dass eine Anlage, die an sich verfahrensfrei errichtet werden darf, bei Dachmontage einer Baugenehmigung bedarf. Wenn als unterer Bezugspunkt der Mastsockel/fuß genannt wird, dann fällt die Gebäudehöhe nicht ins Gewicht. In den Bundesländern, in denen die freie Errichtung von KWEA als Anlage der technischen Gebäudeausrüstung möglich ist, sollte die Dachmontage vom Grundsatz her verfahrensfrei möglich sein [2].

Tabelle 19: Bundesländer, in denen KWEA verfahrensfrei errichtet werden können

Bundesland	Grenzwert für Verfahrensfreiheit
BaWü	KWEA bis 10 m Höhe
Bayern	KWEA mit einer freien Höhe von 10 m
NRW	KWEA bis 10 m Anlagengesamthöhe außer in reinen, allgemeinen und besonderen Wohngebieten, sowie in Mischgebieten)
Saarland	KWEA bis 10 m Höhe, gemessen von der Geländeoberfläche bis zum höchsten Punkt der vom Rotor bestrichenen Fläche
Sachsen	KWEA bis zu 10 m Höhe, gemessen von der Geländeoberfläche bis zum höchsten Punkt der vom Rotor bestrichenen Fläche, und einem Rotordurchmesser bis 3 m, außer in reinen Wohngebieten)
Sachsen-Anhalt	KWEA bis zu 10 m Nabenhöhe im bauplanungs- rechtlichen Außenbereich
Thüringen	KWEA bis zu 10 m Höhe, gemessen von der Geländeoberfläche bis zum höchsten Punkt der vom Rotor bestrichenen Fläche und mit einem Rotordurchmesser bis zu 3 m, außer in reinen Wohngebieten und im Außenbereich
Hamburg	KWEA ≤ 15 m über der Geländeoberfläche in festgesetzten Gewerbe- und Industriegebieten sowie im Hafennutzungsgebiet)
Hessen	KWEA bis 10 m Anlagengesamthöhe in Gewerbe- und Industriegebieten, vergleichbaren Sondergebieten und anderen bebauten Ortsteilen, die diesen Gebieten der Art nach entsprechen

In Tabelle 19 zur Verfahrensfreiheit von KWEA wurden bereits die genauen Bestimmungen der Bezugspunkte zur Höhenbemessung der Landesbauordnungen mit aufgeführt.

Für den oberen Bezugspunkt gilt:

- Bei den Bundesländern: Hamburg, Hessen und NRW sind die Vorgaben zur Höhenbemessung weniger eindeutig. Sie beziehen sich auf die *Gesamthöhe* in Anlehnung an Nr. 1.6 Anhang 1 zur 4. BImSchV. Es kann hierbei von der Messung bis zum höchsten vom Roter umstrichenen Punkt als Bezugspunkt ausgegangen werden.
- Sachsen, Saarland, Thüringen haben eindeutige Regelungen zur Höhenbemessung festgelegt.
- Bayern und Baden-Württemberg haben in ihren Landesbauordnungen keine konkreten Vorgaben zur Höhenbemessung festgeschrieben. Die Frage nach dem oberen Bezugspunkt lässt sich für Bayern über die Gesetzesbegründung erschließen, wo die Höhe der Anlage der Höhe des Mastes zuzüglich des Radius entspricht. Für BaWü muss dies mit der zuständigen Behörde geklärt werden [2].

Für den unteren Bezugspunkt gilt:

- Hamburg, Saarland und Thüringen legen die Geländeoberfläche als unteren Bezugspunkt fest
- NRW und Hessen haben als Angabe in deren LBOs nur „*Anlagengesamthöhe*“ festgelegt. Nach [2] sprechen sich die Ausschussempfehlung im Zuge der Erarbeitung des Gesetzes für NRW für die Festsetzung der *Geländeoberfläche* als unteren Bezugspunkt aus. Da die Ausfertigung des hessischen Gesetzes stark an die nordrhein-westfälischen Ausarbeitungen angelehnt war, gilt hier ebenfalls die Geländeoberfläche als unterer Punkt für die Höhenbemessung.
 - ➔ Für diese Länder gilt bei Dachmontagen, dass die Gebäudehöhe in die Gesamthöhe mit einbezogen werden muss
- Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen-Anhalt haben hierfür keine konkreten Vorgaben. Nach Thorbecke 2013 legen die übrigen Bestimmungen der LBOs bezüglich z.B. Aufstellung von Antennen nahe, dass die Gebäudehöhe nicht mit in die Bemessung der KWEA Höhe mit einbezogen wird. Hier gilt es allerdings dies mit der zuständigen Behörde zu klären.

Abbildung 57 visualisiert Tabelle 19. Alle grün dargestellten Bundesländer deklarieren KWEA bis einschließlich 10 m (bzw. in Hamburg bis einschließlich 15m) genehmigungsfrei. In allen blau eingefärbten Bundesländern müssen KWEA ein Genehmigungsverfahren durchlaufen.

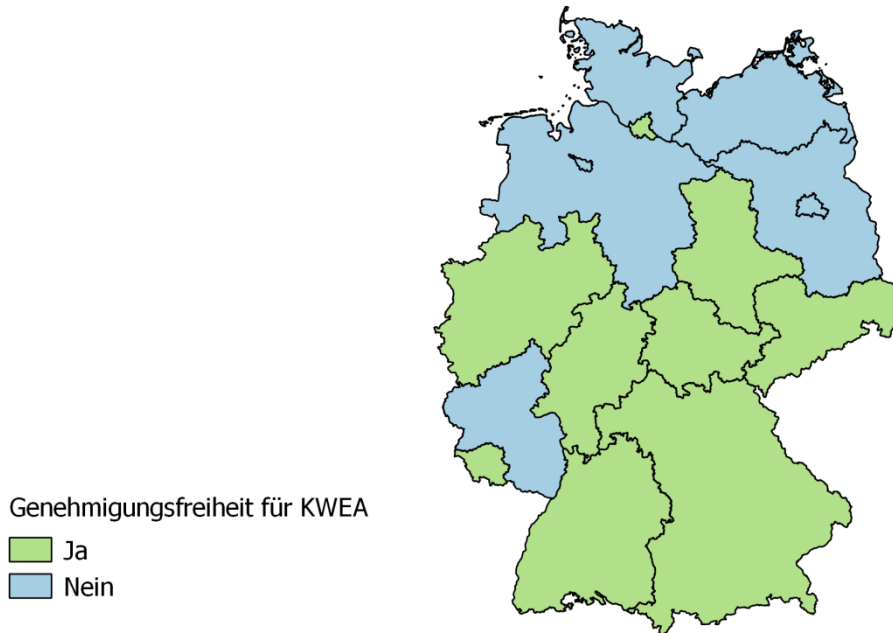


Abbildung 57: Genehmigungsfreiheit für KWEA in Deutschland (eigene Darstellung)

Tabelle 20: Bundesländer, in denen KWEA bis 30 m als Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung genehmigungsfrei errichtet werden können

Bundesländer	Paragrafen der Landesbauordnungen
Bayern	Art. 57 Abs. 1 Nr. 2 lit. b BayBO
Berlin	§ 62 Abs. 1 Nr. 2 lit. c BauOBl
Hamburg	§ 60 Abs. 2 i. V. m. Nr. 2 Anlage 2 HBauO
Mecklenburg-Vorpommern	§ 61 Abs. 1 Nr. 2 lit. c LBauO M-V
Saarland	§ 61 Abs. 1 Nr. 2 lit. c LBO
Sachsen	§ 61 Nr. 2 SächsBO
Sachsen-Anhalt	§ 60 Abs. 1 Nr. 4 BauO LSA
Schleswig-Holstein	§ 68 Abs. 2 Nr. 1-4 LBO
Thüringen	§ 60 Abs. 1 Nr. 2 ThürBO

Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung werden in keiner Landesbauordnung genauer definiert. In den Landesbauordnungen befinden sich zwar Abschnitte, die eine Auflistung von Anlagen, die hierunter gefasst werden, beinhalten, aber auch dort gibt es keine Definition. Nach Thorbecke muss „*der Terminus Technische Gebäudeausrüstung [...] wegen der dynamischen technischen Entwicklung gerade in diesem Bereich auch neuartigen Anlagen offen stehen*“ [2] Die Einstufung als eine solche Anlage und der daraus folgenden genehmigungsfreien Errichtung muss durch die zuständige Baubehörde geschehen. Die KWEA, die im Rahmen des HTW-Projekts in Berlin errichtet worden sind, wurden über diesen Weg verfahrensfrei errichtet.

In Gesprächen mit den Bauämtern von Bundesländern, die diese Regelung in ihrer jeweiligen LBO verankert haben, meinten jedoch die meisten, dass sie eine KWEA nicht über diesen Weg freistellen würden, da sie nicht explizit als Anlage der technischen Gebäudeausrüstung in der Bauordnung deklariert werden.

Abbildung 58 visualisiert Tabelle 20, um einen Überblick zu geben, in welchen Bundesländern in Deutschland, die Errichtung einer KWEA als Anlage der technischen Gebäudeausrüstung genehmigungsfrei möglich ist.

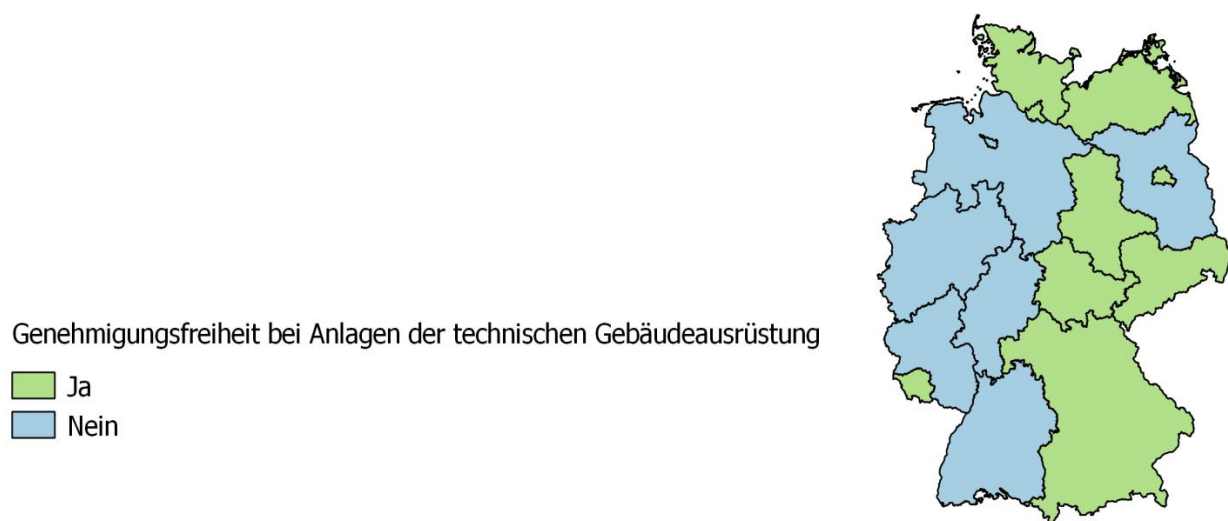


Abbildung 58: Überblick Deutschlandkarte mit KWEA als Anlage der technischen Gebäudeausrüstung (eigene Darstellung)

5.4.2 Zusammenfassung der Genehmigungsfreistellung von KWEA

Die Unterlagen (Bauvorlage) müssen bei der Gemeinde eingereicht werden, die diese dann (wenn sie nicht selbst die untere Bauaufsichtsbehörde ist) an die zuständige Behörde weiterleitet. In manchen Ländern muss der/die Antragssteller_in die Unterlagen auch bei der Gemeinde und der unteren Bauaufsichtsbehörde einreichen. Die Frist, innerhalb derer die Gemeinde eine vorläufige Unterbrechung bzw. die Einleitung eines (vereinfachten) Baugenehmigungsverfahrens fordern kann, beträgt meistens um die 4 bis 6 Wochen. Des Weiteren muss die KWEA im Rahmen eines qualifizierten Bebauungsplans nach § 30 Abs. 1 BauGB erbaut werden. Die Erschließung der Anlage muss gesichert sein.

- Die Bundesländer teilen sich in ihren Verfahrensbestimmungen in zwei Gruppen auf. Die einen sehen die Freistellung für alle Anlagen vor, die keine Gebäude sind² wodurch

² Vgl. hierzu Art. 58 Abs. 1 BayBO; § 63 Abs. 1 BauO Bln; § 62 Abs. 1 Brem LBO; § 56 Abs. 1 u. 2 HBO; § 62 Abs. 2 Nr. 2 LBauO MV; § 62 Abs. 1 Nr. 3 NBauO (in Gewerbe- und Industriegebieten); § 63 Abs. 1 Nr. 2 SaarlBO; § 61 Nr. 3 BauO LSA; § 68 Abs. 1 Nr. 2 LBauO SH; § 63a Abs. 1 Nr. 3 ThürBO.

KWEA eingeschlossen sind. Die andere Gruppe der Bundesländer sieht dieses Verfahren für Anlagen vor, die als Nebenanlagen im Sinne des § 14 BauNVO zu näher bestimmten Gebäuden fungieren. Die KWEA muss sich demnach räumlich-gegenständlich dem Gebäude unterordnen³ [2].

- Hamburg ist das einzige Bundesland, in dem dieses Verfahren überhaupt nicht möglich ist.
- Die KWEA darf für dieses Verfahren keinen Sonderbau darstellen, was bedeutet, dass sie nicht höher als 30 m sein darf.

Tabelle 21: Bundesländer, in denen ein Antrag auf Genehmigungsfreistellung/Kenntnisgabeverfahren gestellt werden kann

Bundesländer	Genehmigungsfreistellung oder auch Kenntnisgabeverfahren
Bawü	§ 51 LBO BW
Bayern	Art. 58 Abs. 1 BayBO
Berlin	§ 63 Abs. 1 BauO Bln
Bremen	§ 62 Abs. 1 Brem LBO
Hessen	§ 56 Abs. 1 u. 2 HBO
Mecklenburg-Vorpommern	§ 62 Abs. 2 Nr. 2 LBauO MV
Rheinland-Pfalz	§ 67 RhPflBauO als Nebenanlage zu einem Wohngebäude
Saarland	§ 63 Abs. 1 Nr. 2 SaarLBO
Sachsen	§ 62 SächsBO
Sachsen-Anhalt	§ 61 Nr. 3 BauO LSA
Thüringen	§ 63a Abs. 1 Nr. 3 ThürBO
Schleswig-Holstein	§ 68 Abs. 1 Nr. 2 LBauO SH
Niedersachsen	§ 62 Abs. 1 Nr. 3 NBauO in Gewerbe- und Industriegebieten

5.4.3 Zusammenfassung der Bestimmungen zur Durchführung eines vereinfachten Baugenehmigungsverfahrens für KWEA

In den meisten Bundesländern durchlaufen KWEA ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren. Die Regelungen hierzu greifen in den Ländern, wenn:

- KWEA bis 10 m verfahrensfrei sind,
- KWEA zwischen 10 m (bzw. 15 m in Hamburg) bis einschließlich 30 m verfahrensfrei sind und
- es keine Verfahrensfreiheit gibt.

Anlagen die höher als 30 m sind, entsprechen einem Sonderbau und müssen im förmlichen Verfahren genehmigt werden. Der Unterschied zum förmlichen Verfahren ist der Prüfumfang, welcher

³ Restliche Bundesländer :P

wiederum ebenfalls zwischen den Bundesländern variiert. Die Baubehörde hat die Genehmigung oder Ablehnung innerhalb einer Frist von maximal 3 Monaten zu erteilen.

Tabelle 22: Bundesländer mit vereinfachten Genehmigungsverfahren für KWEA > 30m

Bundesländer	Vereinfachtes Genehmigungsverfahren
BaWü	§ 52 LBO BW
Bayern	Art. 59 BayBO
Berlin	§ 64 Bau Bln
Bremen	Bei KWEA als Nebenanlage § 63 BremLBO
Hamburg	KWEA untergeordnete Nebenanlage zu einem Gebäude § 61 HBauO
Hessen	§ 57 HBO
Mecklenburg-Vorpommern	KWEA als Nebenanlage § 61 Abs. 1 b; c LBauO M-V
NRW	§ 68 BauO NRW
Rheinland-Pfalz	KWEA Nebenanlage zu einem Wohngebäude oder einem landwirtschaftlichen Betriebsgebäude § 66 RhPflBauO
Saarland	§ 61 Abs. 1 Nr. 2 lit. c SaarlBO
Sachsen	§ 63 SächsBO
Sachsen-Anhalt	§ 62 Nr. 3; 4. BauO LSA
Thüringen	§ 62 Nr. 3; 4 ThürBO
Schleswig-Holstein	§ 69 Abs. 1 b; c LBauO SH

Der Prüfumfang

- In allen Bundesländern wird die Einhaltung der bauplanungsrechtlichen Vorschriften der Paragraphen §§ 29 ff. BauGB überprüft.
- In Bayern und Sachsen-Anhalt wird das gesamte Bauordnungsrecht überprüft.
- In Brandenburg, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein findet keine Prüfung des Bauordnungsrechts statt.
- In den restlichen Bundesländern wird die Einhaltung einzelner Anforderungen des Bauordnungsrechts überprüft.

5.4.4 Förmliches Baugenehmigungsverfahren

Ein förmliches Baugenehmigungsverfahren muss in den meisten Bundesländern ab einer Höhe von 30 m (Variationen zu der Höhenbemessung wurden bereits ausgeführt) durchgeführt werden. In Brandenburg müssen, nach Angaben des Bauaufsichtsamts, alle KWEA-Bauvorhaben im Zuge des förmlichen Verfahrens genehmigt werden. Des Weiteren kommt es darauf an in welchem Baugebiet (geregelt in der BauNVO) die Anlage gebaut werden soll. Die Charakteristik des Baugebiets ist einerseits wichtig für die grundsätzlichen Erfolgsaussichten des KWEA-Projekts und andererseits kann die Bauaufsichtsbehörde auch bei kleineren Anlagen ein förmliches Verfahren fordern, wenn diese in „kritischen“ Gebieten errichtet werden sollen. Hierzu werden zum Beispiel Wohngebiete gezählt [2].

5.5 Baurechtliche Voraussetzungen der Bauvorlage nach Bundesländern – Aspekte des Fachrechts

Wenn die KWEA nicht verfahrensfrei errichtet werden darf, muss eine Bauvorlage für den Bauantrag angefertigt werden. Diese umfasst alle relevanten Unterlagen und ist vollständig bei allen Verfahren einzureichen. Im Zuge des vereinfachten und förmlichen Verfahrens bedarf es hierfür einen/eine **bauvorlagenberechtigte_n Entwurfsverfasser_in**, der/die die Bauvorlage entweder entwirft oder diese beglaubigt und somit auch die Verantwortung und Haftung für die Einhaltung der Anforderungen der jeweiligen Landesbauordnungen übernimmt. Wer zum Bauvorlagenberechtigten Personenkreis gehört ist der jeweiligen Bauordnung des Landes zu entnehmen.

Als Musterdefinition zur Bauvorlage wurde hier beispielhaft auf die Bauvorlagenverordnung Sachsen-Anhalts zurückgegriffen:

Die Bauvorlage: z. B. nach § 1 Abs. 1 BauVorIVO Sachsen-Anhalt: *Bauvorlagen sind die einzureichenden Unterlagen, die für die Prüfung und Beurteilung des Bauvorhabens, die Durchführung bauaufsichtlicher Verfahren und bei Anzeigen erforderlich sind. Bautechnische Nachweise gelten auch dann als Bauvorlagen, wenn sie der Bauaufsichtsbehörde nicht vorzulegen sind*

Wenn die Bauvorlage erstellt ist kann der Bauvorlagenberechtigte einen Bauantrag bei der zuständigen Behörde stellen.

Der Bauantrag: z.B. nach § 68 Abs. 2 BauO LSA: *Mit dem Bauantrag sind alle für die Beurteilung des Bauvorhabens und die Bearbeitung des Bauantrags erforderlichen Unterlagen (Bauvorlagen) einzureichen. Es kann gestattet werden, dass einzelne Bauvorlagen nachgereicht werden.*

5.5.1 Die Bauvorlage

Die folgende Auflistung ist eine beispielhafte Zusammenstellung, wie sie in den allermeisten **Bauvorlagen- bzw. Durchführungsverordnungen** der Länder zu finden ist. Im Vorfeld des KWEA-Projekts sollte vorher jedoch dringend die entsprechende Verordnung zur Hand genommen werden. Dort werden bereits im ersten Paragraphen unter „Allgemeines“ die beizufügenden Unterlagen aufgelistet.

Die Bauvorlage – ein Muster

- Lageplan
- Bauzeichnung
- Bau- und Betriebsbeschreibung
- Bautechnische Nachweise (Standicherheit, Brandschutz, Schall- und Erschütterungsschutz)
- Unterlagen zur Beurteilung der Immissionen
- ggf. Auszug aus dem Bebauungsplan
- Falls erforderlich Genehmigung der Denkmalschutzbehörde und der Naturschutzbehörde

- Überprüfung, ob das Luftverkehrsrecht betroffen ist (KWEA befindet sich in dafür relevanten Höhen z.B. durch die Dachmontage)

5.5.2 Der Lageplan

Der Lageplan basiert (meistens) auf einem Auszug aus der Flurkarte/Liegenschaftskarte, die nicht älter als 6 Monate sein darf. Er ist in einem Maßstab von 1:500 anzufertigen. Wenn es zur Beurteilung des Bauvorhabens notwendig ist kann die Behörde auch einen anderen Maßstab verlangen.

Der Lageplan soll das Baugrundstück und die Umgebung bzw. Nachbargrundstücke zumeist in einem Umkreis von mindestens 50 m aufzeigen.

Der amtliche Lageplan ist von einer Katasterbehörde anzufertigen. Je nach Bauvorhaben kann dieser auch selbst erstellt werden und/oder durch eine offizielle Stelle (Katasterbehörde/Architekt) beglaubigt werden. Ob die Erstellung des Lageplans von einem/einer Sachverständigen durchgeführt werden muss oder diese_r beteiligt werden muss, ist im Einzelfall mit der zuständigen Behörde zu klären. Die Regelungen hierfür sind nach Bundesland und Baugebiet unterschiedlich streng. Der Auszug ist mit dem Namen des/der Bauherr_in, der Bezeichnung des Bauvorhabens und dem Datum des dazugehörigen Bauantrags zu versehen [2].

5.5.3 Die Bauzeichnung

Die Bauzeichnung ist eine zeichnerische Darstellung des Bauvorhabens mit einem Maßstab 1:1000. Die Bauvorlage des Landes beschreibt genau, was vorhanden sein muss und wie dieses dargestellt werden soll. Wenn es zur Beurteilung des Bauvorhabens notwendig ist kann die Behörde auch einen anderen Maßstab verlangen:

5.5.4 Die Baubeschreibung

Durch die Baubeschreibung wird das Vorhaben in seinen technischen Einzelheiten durch die Angabe von verwendeten Baumaterialien und Ausstattungen erläutert. Der/die Bauherr_in kann hier gezielt Informationen vermitteln und mögliche Problemfelder im Zusammenhang mit der KWEA beleuchten. Dadurch ist die Baubeschreibung ein hilfreiches Instrument im Umgang mit den zuständigen Behörden, die oft noch wenig praktische Erfahrung rund um Kleinwind gemacht haben.

Die folgenden Punkte wurden in der Baubeschreibung für die KWEA am OSZ TIEM (HTW-Projekt) aufgenommen und näher erläutert:

- Allgemeine Beschreibung von Anlage und Gebäude
- Lage und Einordnung in die Umgebung
- Abstandsflächen
- Material
- Aufstellung bzw. Montage
- Statik

- Stromeinspeisung und –nutzung
- Brandschutz
- Blitzschutz
- Schallprognose
- Prognose zum Schattenwurf auf umliegende Gebäude und zum Diskoeffekt
- Schutz vor Eisabwurf
- Naturschutz und Artenschutz
- Nutzungsdauer

5.5.5 Bautechnische Nachweise

Die Bestimmungen zu den Bautechnischen Nachweisen werden in Bauordnungen der Länder geregelt.

Stand sicherheitsnachweis – die Vorgaben hinsichtlich der zu erbringenden Nachweise bzw. Gutachten variieren bei den einzelnen Bauordnungen. Für KWEA vor allem bei Dachmontagen gilt in der Regel, dass der Stand sicherheitsnachweis von einem Prüfen genieur erstellt werden muss. Dieser Nachweis ist von zentraler Bedeutung vor allem für KWEA, die auf Dächern montiert werden sollen, wo ebenfalls nachgewiesen werden muss, dass die Anlage die Statik des Trägergebäudes nicht beeinträchtigt. Der Nachweis umfasst [1] [2]:

- Aufstellung statischer Berechnungen, die das gesamte statische System der KWEA umfassen,
- die Baukonstruktionszeichnungen,
- Prüfbericht eines zugelassenen Prüfstatikers
- Die DIBt-Richtlinie enthält die Vorgaben, die bei der Erstellung der Einzelnachweise zur Stand sicherheit zu beachten sind [68]
- Für KWEA, mit einer überstrichenen Rotorfläche kleiner als 200 m² erfolgt der Stand sicherheitsnachweis nach DIN EN 61400-2.

Bevor man ein Gutachten anfertigen lässt, sollte man beim Hersteller nachfragen, inwieweit hierfür bereits eine Dokumentation aus anderen Zertifizierungs- und Prüfungsverfahren vorhanden ist, die der Bauvorlage beige fügt werden könnten und somit einen erneuten Nachweis der Stand sicherheit eventuell ersetzen würden. Hierfür sollte jedoch vorab bei der Behörde nachgefragt werden, ob diese Art von Nachweis ausreichend wäre. Der Stand sicherheitsnachweis muss spätestens zum Zeitpunkt des Baubeginns erbracht worden sein. [2].

Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile gehört zum Nachweis der Stand sicherheit dazu und sollte vom Hersteller nachgewiesen werden.

Brandschutz i.d.R. braucht eine KWEA kein eigenes, mit einem offiziellen Gutachten belegtes, Brandschutzkonzept. Der vorgesehene Brandschutz sollte im Lageplan verdeutlicht werden, da er bei dortiger ausreichender Darstellung häufig nicht gesondert nachgewiesen werden muss.

Der **Blitzschutz** muss bei Dachanlagen gewährleistet sein. Bei freistehenden ebenfalls, wenn die KWEA hierfür im Verhältnis zur Umgebung entsprechend hoch ist.

5.5.6 Schall- und Erschütterungsschutz

Beide Nachweise sind ebenfalls über Berechnungen darzulegen, allerdings können diese auch zusammen mit anderen Nachweisen erbracht werden, wenn dies deutlich hervorgeht. Dann muss nicht extra ein Sondernachweis erstellt werden. Der Erschütterungsschutz trifft insbesondere für Dachanlagen zu, da die Schwingungen der KWEA sich auf das Gebäude übertragen können.

Unterlagen zur Bewertung der Immissionen, die von KWEA ausgehen

Hierzu zählen Lärm- und Verschattungsgutachten und für den Fall, dass nachbarschaftliche Belange betroffen sind, kann zusätzlich ein Gutachten zur Reflexionsbewertung notwendig werden. Solche Einzelgutachten können sehr teuer werden. **Ein Schallgutachten kann zum Beispiel bis zu 3000 Euro kosten [2].**

Ein solches Gutachten sollte in der Regel jedoch nur erforderlich werden, wenn die **immissionschutzrechtlichen Grenzwerte überschritten** werden. Möglicherweise können Auskünfte zur Lärmemission der KWEA vom Hersteller bezogen werden, die nachweisen, dass die einschlägigen Grenzwerte nicht überschritten werden. Aus den Interviews mit den Bauaufsichtsämtern wurde hierzu dennoch angemerkt, dass die Angabe zur Geräuschemission der KWEA alleine nicht immer ausreicht. Die KWEA müsse im Zusammenhang mit den restlichen Lärm imitierenden Gegebenheiten am Standort bewertet werden, um feststellen zu können, ob die Gesamtheit der Immissionen nicht über den Grenzwerten liegt.

Tabelle 23: Maximal zulässige Schallpegel nach TA Lärm Nr. 6.1

Baugebiete	Tag	Nacht
Industriegebieten	70 dB(A)	70 dB(A)
in Gewerbegebieten	65 dB(A)	50 dB(A)
in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	60 dB(A)	45 dB(A)
in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	55 dB(A)	40 dB(A)
in reinen Wohngebieten	50 dB(A)	35 dB(A)
in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Als Richtwert für die immissionsschutzrechtlichen Grenzwerte bezüglich Lärm/Geräuschemission kann die Technische Anleitung für Lärm (TA Lärm) [69] herangezogen werden. Für die **Schallprognose** sind die Richtwerte nach TA Lärm Nr. 6.1 Orientierungspunkt anzulegen (vgl. Tabelle 23).

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tage um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten

Die Art der in Nummer 6.1 bezeichneten Gebiete und Einrichtungen ergibt sich aus den Festlegungen in den Bebauungsplänen. Sonstige in Bebauungsplänen festgesetzte Flächen für Gebiete und Einrichtungen sowie Gebiete und Einrichtungen, für die keine Festsetzungen bestehen, sind nach Nummer 6.1 entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen [69].

Immissionsort nach Nr. 2.3 TA Lärm: der Ort nach Anhang A.1.3 im Einwirkungsbereich der KWEA, der potenziell am ehesten die Richtwerte überschreiten würde.

Tabelle 24: Schallprognose bei Körperschallübertragung TA Lärm Nr. 6.2 (bei Dachmontagen)

	Tageszeit	Grenzwert
Tags	06.00 – 22.00 Uhr	35 dB(A)
Nachts	22.00 – 06.00 Uhr	25 dB(A).

5.5.7 Prognose zum Schattenwurf und zum Diskoeffekt

Der Arbeitskreis Lichtimmissionen der Bund/Länder –Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz hat die „Hinweisen zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ beschrieben, die hier als Richtwerte eingesetzt werden können. Außerdem können auf dem folgenden Link weitere nützliche Informationen zum Thema Schattenwurf nachgelesen werden:

<http://www.energieatlas.bayern.de/file/pdf/1099/ErI%C3%A4uterungen%20zur%20Schattensimulation%20von%20Windkraftanlagen.pdf>

Hier kann eine Simulation zum Thema Schattenwurf betrachtet werden, die die Thematik gut visualisiert:

http://www.energieatlas.bayern.de/thema_wind/faq.html#schattenwurf

Bei der Prognose zum Schattenwurf und zum Diskoeffekt gilt es folgende Dinge zu beachten:

Lichtblitze (Disco-Effekte) sind periodische Reflexionen des Sonnenlichtes an den Rotorblättern. Sie sind abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe. **Hierzu sollte der Hersteller Auskunft geben können.**

Kernschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Halbschatten ist vom Immissionsort aus betrachtet die nicht vollständige Verdeckung der Sonne durch das Rotorblatt.

Periodischer Schattenwurf ist die wiederkehrende Verschattung des direkten Sonnenlichtes durch die Rotorblätter einer Windenergieanlage. Der Schattenwurf ist dabei abhängig von den Wetterbedingungen, der Windrichtung, dem Sonnenstand und den Betriebszeiten der Anlage. Vom menschlichen Auge werden Helligkeitsunterschiede größer als 2,5 % wahrgenommen

Beschattungsbereich ist die Fläche, in der periodischer Schattenwurf auftritt.

Astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer (worst case) ist die Zeit, bei der die Sonne theoretisch während der gesamten Zeit zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist.

Tatsächliche Beschattungsdauer ist die vor Ort real ermittelte und aufsummierte Einwirkzeit an periodischem Schattenwurf. Beträgt die Bestrahlungsstärke der direkten Sonneneinstrahlung auf der zur Einfallrichtung normalen Ebene mehr als 120 W/m², so ist Sonnenschein mit Schattenwurf anzunehmen. Die Umrechnung in die Beleuchtungsstärke ist im Anhang aufgeführt.

Meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer ist die Zeit, für die der Schattenwurf unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen berechnet wird. Als Grundlage dienen die langfristigen Messreihen des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Maßgebliche Immissionsorte sind

a) schutzwürdige Räume, die als

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume genutzt werden.

Direkt an Gebäuden beginnende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 6:00 - 22:00 Uhr gleichgestellt.

b) unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zulässig sind.

Eine Verschattungsdauer von nicht länger als **30 min pro Tag und insgesamt nicht länger als 30 Stunden im Jahr** gilt als vertragliches Maß.

Eine wichtige technische Maßnahme stellt als Gegenstand von Auflagen und Anordnungen die Installierung einer Abschaltautomatik dar, die mittels Strahlungs- oder Beleuchtungsstärkesensoren die konkrete meteorologische Beschattungssituation erfasst und somit die vor Ort konkret vorhandene Beschattungsdauer begrenzt. Da der Wert von 30 Stunden pro Kalenderjahr auf Grundlage der astronomisch möglichen Beschattung entwickelt wurde, wird für Abschaltautomatiken die tatsächliche, reale Schattendauer auf Basis der meteorologischen Beschattungsdauer festgelegt. Dieser Wert liegt bei 8 Stunden pro Kalenderjahr. **Das Berechnungsverfahren** wird im Anhang (S.7) der „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen“ erläutert [70].

5.5.8 Beispiele zu den immissionsschutztechnischen Aspekten (Schattenwurf und Schall) anhand der KWEA vom Typen „EasyWind“ am Bahnhof Südkreuz in Berlin

Am Bahnhof Südkreuz wurden zwei horizontalachsige KWEA vom Typ EasyWind 6 installiert. Die KWEA werden jeweils mit einer Nabenhöhe von 19 m über dem Grund installiert und haben Rotoren mit einem Durchmesser von 6 m.

Die Schattenwurfprognose erfolgt mithilfe einer Simulation mit minutengenauen Werten des Sonnenstands für ein Jahr. Für alle Orte in einem Raster in der Umgebung der KWEA im Abstand von wenigen Metern wird die maximale Schattendauer im Jahr sowie an den einzelnen Tagen berechnet. Die Ergebnisse der Einzelanlagen werden gemäß ihrem Abstand zueinander überlagert, um die Gesamtimmissionen durch beide Anlagen zu ermitteln.

Für die KWEA am Bahnhof Südkreuz werden 2 verschiedene Szenarien betrachtet: Es wird jeweils der Schattenwurf in einer Bezugshöhe von vier Metern über dem Boden (siehe Abbildung 59), sowie in einer Höhe von 15 m ermittelt (siehe Abbildung 60). Diese Höhen entsprechen in etwa den Höhen einer Hochparterre-Wohnung und einer im 5. Stock, wie sie in dem Gebäude im Südosten der KWEA vorkommen.

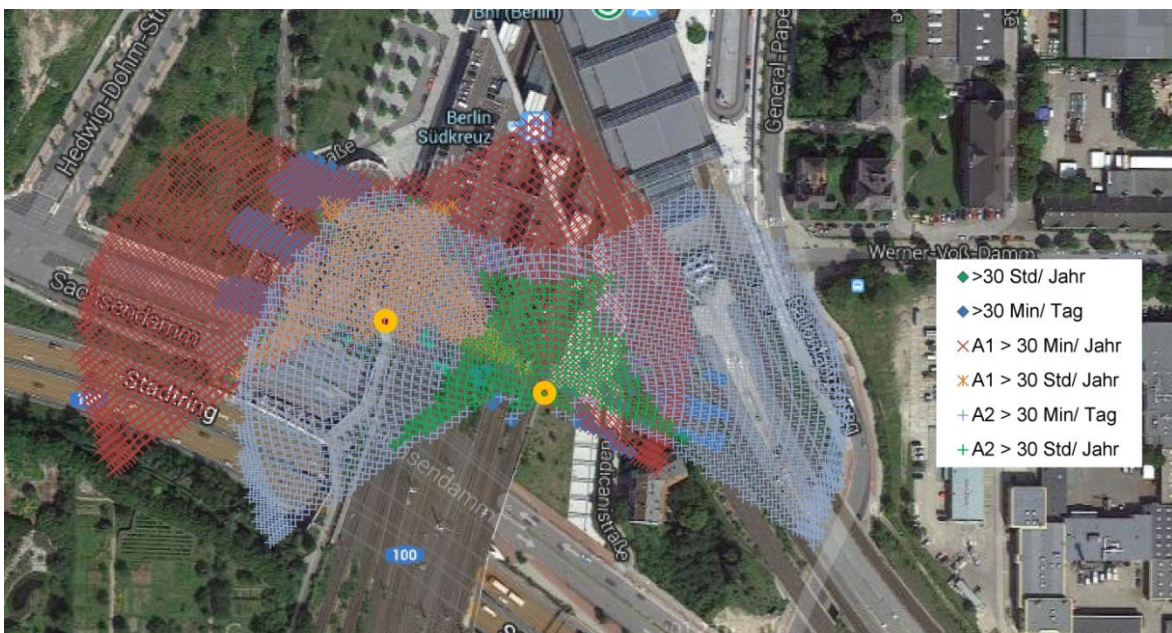


Abbildung 59: Schattenwurf in einer Bezugshöhe von 4 m (Bild: google.maps), (eigene Darstellung)

Ergebnisse: Die Richtwerte der maximal zulässigen Beschattungsdauer betragen 30 Minuten an einzelnen Tagen und 30 Stunden im Jahr [3]. Abbildung 59 und Abbildung 60 zeigen die Positionen der Anlagen sowie die Orte, an denen diese Richtwerte überschritten werden in den Bezugshöhen 4 m und 15 m. Es wird deutlich, dass das Wohngebäude im Südosten der Anlagen von Überschreitungen der Richtwerte betroffen ist. Ein weiterer vergleichbarer Immissionsort befindet sich aber nicht im Bereich der Überschreitungen. Um die Richtwerte einzuhalten und die Belästi-

gung durch Schattenwurf möglichst gering zu halten, sollte die Anlage zeitweise abgeschaltet werden. Aus den Berechnungen wurden die Tage des Jahres und Uhrzeiten ermittelt, an denen mehr als 30 Minuten Schattenwurf an einem Tag verursacht werden können. Um die Grenzwerte sicher zu unterschreiten sollte der Betrieb der Anlage zu folgenden Zeiten unterbrochen werden: KWEA 1 vom 24. Mai bis 20. Juni und KWEA 2 vom 02. Mai bis zum 09. August jeweils in der Zeit zwischen 19:00 Uhr und 20:30 Uhr. Die Überschreitungen der Jahresgrenzwerte werden dadurch ebenso vermieden.

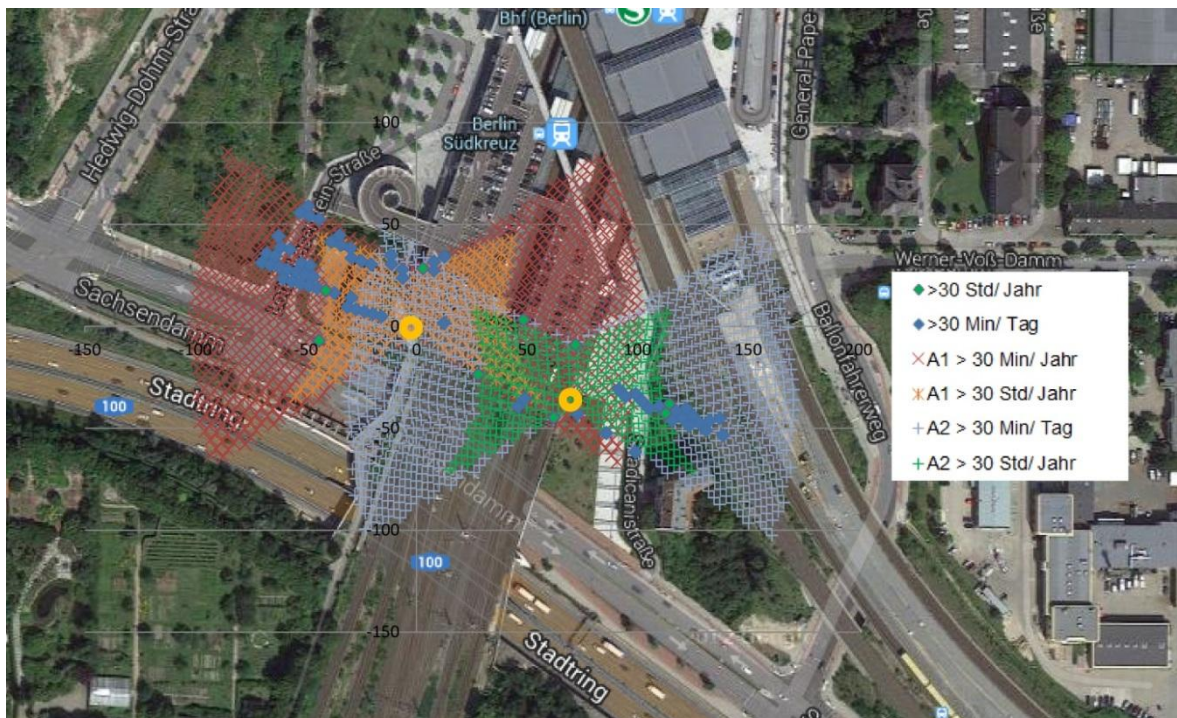


Abbildung 60: Schattenwurf in einer Bezugshöhe von 15 m (Bild: google.maps), (eigene Darstellung)

Schallprognose

Die Schallimmissionen der beiden KWEA werden mithilfe einer Schallausbreitungsrechnung nach **DIN ISO 9613-2** ermittelt.

Berechnet wird der Schalldruckpegel für eine Windgeschwindigkeit von 11 m/s. Das entspricht starkem Wind der Stärke 6 auf der Beaufort-Skala. Der Schallleistungspegel der KWEA beträgt dann 87,4 dB(A). Auch die Schallimmissionen werden für eine Höhe von 15 m ermittelt. Für niedrigere Höhen sind die Immissionswerte aufgrund des größeren Abstandes zu den KWEA in jedem Fall kleiner.

Die Ergebnisse werden im Folgenden im Kontext der Grenzwerte entsprechend der TA Lärm dargestellt.

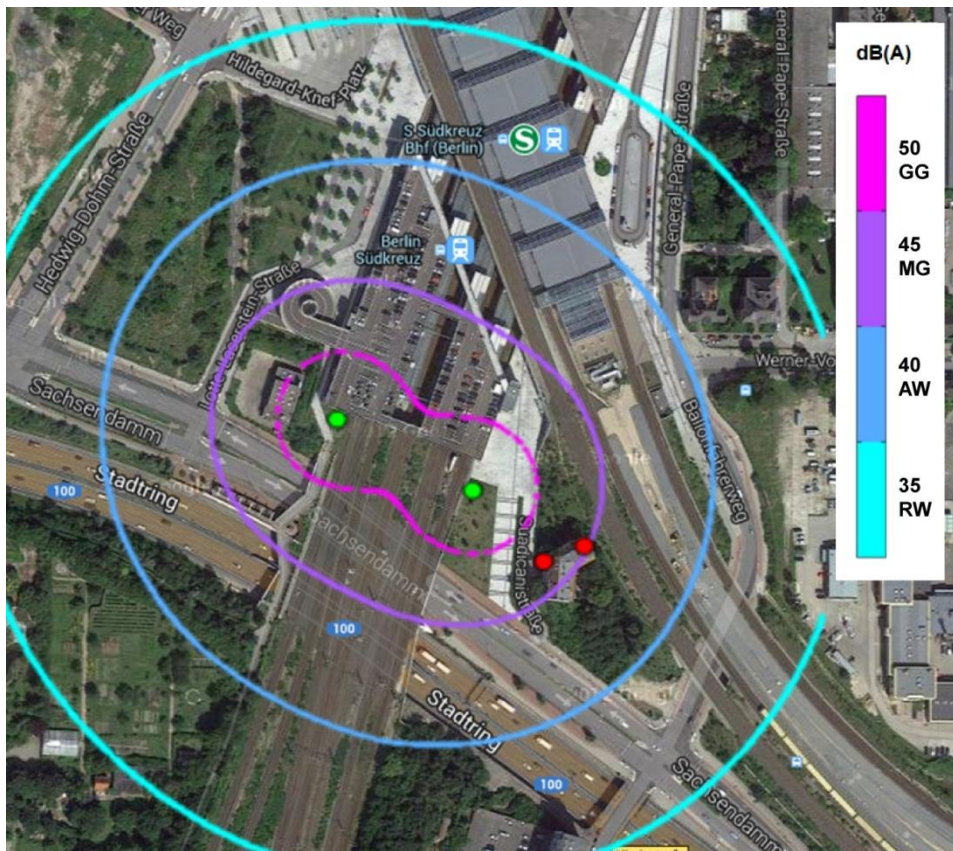


Abbildung 61: resultierende Schalldruckpegel in der Umgebung der KWEA (Bild: google.maps), (eigene Darstellung)

Abbildung 61 zeigt die Abstände, in denen die oberen nächtlichen Grenzwerte der TA Lärm für verschiedene Nutzungsgebiete erreicht werden in einer Höhe von 15 m. Bei größeren Abständen werden jeweils kleinere Pegel erreicht und somit die Grenzwerte unterschritten. Diese nächtlichen Grenzwerte sind:

- 50 dB(A) im Gewerbegebiet (GG)
- 45 dB(A) im Mischgebiet (MG)
- 40 dB(A) im allgemeinen Wohngebiet (AG)
- 35 dB(A) im reinen Wohngebiet (RW)

Die Grenzwerte am Tag für die genannten Gebiete sind jeweils 15 dB(A) höher.

Aus Abbildung 61 kann zum Beispiel abgelesen werden, dass das Wohnhaus im Südosten der Anlagen (durch rote Punkte gekennzeichnet) einen Schalldruckpegel erfährt, der nachts in allgemeinen und reinen Wohngebieten sowie Mischgebieten unzulässig sind.

5.5.9 Auszug aus dem Bebauungsplan

Die Bedeutung eines Bebauungsplans wurde bereits zu Beginn erläutert. Er legt die Art und Weise der Bebauung eines Gebiets fest. Wenn die KWEA im Geltungsbereich von einem Bau-

ungsplan errichtet werden soll, was im Falle von Schulen wahrscheinlich der Fall sein wird, bedarf es nach einigen Bauvorlagenvorschriften eine Berechnung der zulässigen, der vorhandenen und der geplanten baulichen Nutzung. Darüber hinaus kann eine Übernahmeerklärung von Abstandsflächen betroffener Grundstückseigentümer von Nöten sein bzw. ein Nachweis für deren Sicherung erbracht werden [2]

5.5.10 Denkmalschutz- und Naturschutzrecht

Wenn es sich bei dem Gebäude, auf dem die KWEA errichtet werden soll, um ein denkmalgeschütztes Gebäude handelt oder sich in der Umgebung ein Kulturdenkmal befindet, muss eine **zusätzliche Genehmigung der jeweiligen Denkmalschutzbehörde** des Landes eingeholt werden. Im förmlichen genehmigungsverfahren übernimmt dies die Bauaufsichtsbehörde. Ansonsten ist der/die Bauherr_in dafür selbst verantwortlich. Wird die Genehmigung nicht erteilt, darf die KWEA auch nicht errichtet werden. Eine Auflistung der Denkmäler des jeweiligen Landes ist meistens auf den Seiten der Denkmalschutzbehörden einzusehen.

Dies gilt auch für den **Naturschutz**. Soll die KWEA in einem geschützten Gebiet errichtet werden z.B. im europäischen ökologischen Netz „Natura 2000“ oder in anderen gesetzliche geschützten Biotopen oder Biotopverbänden, muss eine Genehmigung der Naturschutzbehörde erteilt werden. Im förmlichen Verfahren würde dies ebenfalls das Bauaufsichtsamt übernehmen und in allen anderen Fällen wäre hierfür der/ die Bauherr_in verantwortlich. Im Rahmen des Naturschutzrechts wird festgestellt inwiefern das Bauvorhaben die Natur beeinträchtigt. Es können Regelungen getroffen werden, in denen Ausgleichszahlungen im Gegenzug zur Errichtung geleistet werden womit die KWEA trotz Naturbeeinträchtigung errichtet werden darf.

Für KWEA sind außerdem die Bestimmungen zum **Artenschutz** von besonderer Bedeutung. Wenn geschützte Vogelarten oder Fledermäuse durch die Anlage gestört oder gefährdet werden, darf diese nicht errichtet werden [2].

5.6 Die Bauvorlage sowie weitere Aspekte des Fachrechts

Die zuvor erfolgte theoretische Klärung und das vertraut machen mit den Begrifflichkeiten und Anforderungen wird nun für die einzelnen Bundesländer detaillierter dargelegt. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Darstellung keine Absolutheit hat. Die Anforderungen und Ansprüche der Bauaufsichtsbehörde können je nach Einzelfall variieren. Es ist dringend notwendig sich mit der zuständigen Behörde auseinanderzusetzen und die Kriterien, die die Bauvorlage erfüllen muss, für den konkreten Fall zu besprechen. Dies ist vor allem für jene Unterlagen wichtig, die durch ein Gutachten bzw. von offizieller Seite her erstellt oder gegengezeichnet/beglaubigt werden müssen.

Die Bauordnungen und Bauvorlagenverordnungen können sich im politischen Reformprozess verändern, daher ist es ebenfalls wichtig in die entsprechenden Gesetzestexte zu gucken. Gerade für Kleinwindenergieanlagen sind die Regelungen oft noch impliziter Natur, daher stellt dieser Bereich ein mögliches Reformfeld für die (Landes-)Politik dar.

Für alle Bundesländer gilt, wie bereits im vorherigen Gliederungspunkt 5.5 dargelegt worden ist, dass die Nachweise zum Schattenwurf bzw. die Erstellung einer Schattenwurfprognose auf den obigen Ausführungen beruhen kann sowie die Schallprognose nach der TA Lärm. Des Weiteren gilt bundesländerweit die Bestimmung, dass ein Auszug aus dem Bebauungsplan zur Bauvorlage beigelegt werden muss, sofern dieser vorhanden ist. Es kann sein, dass KWEA vom **Luftverkehrsrecht nach §§ 12-15** betroffen sind. Dies gilt vor allem für KWEA auf hohen Dächern (Anlagen über 100m über der Erdoberfläche). Bei geringer Distanz zu einem Flughafen können Einschränkungen auch schon bei geringeren Höhen greifen. Bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung kann eine Karte der wegen des Luftverkehrs besonders geschützten Gebiete angefordert werden. Diese Regelung ist für alle Bundesländer gleich.

Diese Bestandteile und Bestimmungen, die für alle Bundesländer gelten und keine eigenen Paragraphen in den Bauordnungen und Bauvorlagenverordnungen haben, werden in der anschließenden tabellarischen Darstellung nicht mit aufgeführt.

Es zeigt sich, dass sich die Bundesländer zum Teil deutlich in ihrer rechtlichen Handhabung von KWEA unterscheiden. Hierzu kommt, dass der praktische Umgang mit KWEA auch bei den Baugenehmigungs- und Bauaufsichtsbehörden (in einem Bundesland) variieren kann. Die folgenden Tabellen fassen diesen Sachverhalt zusammen.

5.6.1 Berlin und Brandenburg

Unterlagen für Bauvorlage	Berlin [71]	Brandenburg [72]
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 3 Abs. 1 BauVerfVO Auszug aus der Flurkarte und § 3 Abs. 2 bis 7 BauVerfVO Lageplan	§ 3 Abs. 1 und 2 BbgBauVorIV amtlicher Lageplan Besonderheit: § 4 BbgBauVorIV Objektbezogener Lageplan: basiert auf dem amtlichen Lageplan § 4 Abs. 2 listet die vorgeschriebenen Inhalte auf, falls ein amtlicher Lageplan nicht vonnöten, dann ist der objektbezogene auf der Grundlage des Liegenschaftskatasters anzufertigen und muss ferner die Angaben nach § 3 Absatz 2 enthalten
Bauzeichnungen	§ 4 BauVerfVO Bauzeichnungen Abs. 2 Nr. 1; 2; 3	§ 5 BbgBauVorIV Bauzeichnungen
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 5 BauVerfVO Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 6 BbgBauVorIV Bau- und Betriebsbeschreibung
Bautechnische Nachweise	§ 67 Abs. 1 BauO Bln und §§ 9 f. BauVerfVO Bautechnische Nachweise	§ 66 BbgBO Bautechnische Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz
Standsicherheit	§ 9 BauO Berlin gehört zu den bautechnischen Nachweisen § 10 BauO Berlin Standsicherheit	§ 11 BbgBO Standsicherheit, Schutz gegen schädliche Einflüsse und § 7 Bbg-BauVorIV
Brandschutz	Brandschutz § 14 und § 26 ff BauO Bln und § 11 BauVerfVO; bauaufsichtlich geprüfter Brandschutznachweis § 67 Abs. 2	§ 8 BbgBauVorIV Brandschutznachweis und § 12 BbgBO
Blitzschutz	§ 47 BauO Bln Blitzschutz	§ 12 Abs. 3 BbgBO Blitzschutz
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	Schall- und Erschütterungsschutz § 15 BauO Bln.	§ 9 Abs. 1 BbgBauVorIV und § 13 Abs. 3 BbgBO Nachweise für Wärme-, Schall- und Erschütterungsschutz
Verkehrssicherheit	§ 16 Abs. 1; 2 Verkehrssicherheit	§ 44 Verkehrssicherheit

Unterlagen für Bauvorlage	Berlin [71]	Brandenburg [72]
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	u.a. § 14 § 26 e NatSch-GBln	Anlage 1 BbgBauVorIV und § 17; 18 BbgNatSchG
Denkmalschutz	Denkmalschutz § 8; 9; 10; 11DschG Bn	Anlage 3 BbgBauVorIV § 9 Erlaubnispflichtige Maßnahmen
Verunstaltungsgebot	Verunstaltungsgebot § 9 Abs. 2 BauO Bln	§ 8 BbgBO Gestaltung
Abstandsflächen, Abstände	§ 6 Abstandsflächen, Abstände	§ 6 BbgBO Abstandsflächen

Der „Leitfaden zum Baunebenrecht“ hilft bei der Frage nach zusätzlichen Genehmigungen [73].

5.6.2 Sachsen und Sachsen-Anhalt

Unterlagen für Bauvorlage	Sachsen [65]	Sachsen-Anhalt [65]
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 9 DVOSächsBO Lageplan und ein Auszug aus der Liegenschaftskarte	§ 11 BauVorIVO der Lageplan und ein Auszug aus dem Liegenschaftskataster
Bauzeichnungen	§ 10 DVOSächsBO Bauzeichnungen	§ 12 BauVorIVO Bauzeichnungen
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 11 DVOSächsBO Baubeschreibung	§ 13 BauVorIVO die Bau- und Betriebsbeschreibung
Bautechnische Nachweise	§ 66 SächsBO Bautechnische Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz	§ 65 BauO LSA Bautechnische Nachweise Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz
Standsicherheit	§ 12 Standsicherheit SächsBO hier fehlt noch Bauvorlagenverordnung	§ 14 BauVorIVO Standsicherheitsnachweis, Konstruktionszeichnungen und § 12 BauO LSA Standsicherheit
Brandschutz	§ 12 Abs. 4 Nr. 1 bis 7 DVOSächsBO der Brandschutznachweis	§ 15 BauVorIVO Brandschutznachweis und § 14 BauO LSA Brandschutz, Brandschutzanforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Blitzschutz	§ 12 Abs. 3 BbgBO Blitzschutz	§ 45 BauO LSA Blitzschutzanlagen
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	Schallemission § 12 Abs. 5 Nr. 1 bis 7 DVOSächsBO und § 15 SächsBO und Erschütterungsschutz § 5 DVOSächsBO und § 15 Abs. 3 SächsBO	§ 15 BauO LSA Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz
Verkehrssicherheit	§ 16 SächsBO Verkehrssicherheit	§ 16 Abs. 1 und 2 BauO LSA Verkehrssicherheit
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	§ 9 SächsNatSchG und 14 BNatSchG	Naturschutzrecht Sachsen-Anhalt NatSchG LSA § 24 Verträglichkeit und Unzulässigkeit von Projekten § 18 Naturschutzregister, Kompensationsverzeichnis, Liegenschaftskataster

Unterlagen für Bauvorlage	Sachsen [65]	Sachsen-Anhalt [65]
Denkmalschutz	§ 21 Denkmalschutzgebiete § 12 Abs. 1 Nr. 2	§ 12 Genehmigungspflichtigen Vorhaben an Kulturdenkmälern Denkmalschutz- recht Sachsen-Anhalt
Verunstaltungsgebot	§ 9 SächsBO Gestaltung	§ 9 Bauo LSA Gestaltung
Abstandsflächen, Abstände	§ 6 SächsBO Abstandsflächen, Abstände	§ 6 BauO LSA Abstandsflächen, Abstände

5.6.3 Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern

Unterlagen für Bauvorlage	Thüringen [74]	Mecklenburg-Vorpommern [75]
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 7 Abs. 1 bis 6 ThürBauVorlVO Liegenschaftskarte und der Lageplan	§ 7 BauVorlVO M-V der Auszug aus der amtlichen Liegenschaftskarte und der Lageplan
Bauzeichnungen	§ 8 ThürBauVorlVO Bauzeichnungen	§ 8BauVorlVO M-V Bauzeichnungen
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 9 ThürBauVorlVO die Baubeschreibung	§ 9 BauVorlVO M-V die Baubeschreibung
Bautechnische Nachweise	§ 65 Bautechnische Nachweise - Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz	§ 66 LBauO M-V Bautechnische Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz
Standsicherheit	§ 10 ThürBauVorlVO Standsicherheitsnachweis und § 12 Standsicherheit ThürBO	§ 10 BauVorlVO M-V Standsicherheitsnachweis und § 12 LBauO M-V
Brandschutz	§ 11 ThürBauVorlVO Brandschutznachweis und § 14 Brandschutz ThürBO	§ 11 BauVorlVO M-V Brandschutznachweis und § 14 Brandschutz LBauO M-V
Blitzschutz	§ 46 ThürBO Blitzschutzanlagen	§ 46 Blitzschutz LBauO M-V
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	§ 15 ThürBO Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz und § 12 ThürBauVorlVO Nachweise für Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz	§ 15 LBauO M-V Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz § 12 BauVorlVO M-V Nachweise für Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz
Verkehrssicherheit	§ 16 ThürBO Verkehrssicherheit	§ 16 LBauO M-V Verkehrssicherheit
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	Thüringer Gesetz für Natur und Landschaft (ThürNatG) § 7 Genehmigung von Eingriffen und 8 Verfahrensregelung bei Eingriffen § 26 und § 6 Eingriffe in Natur und Landschaft	Landesnaturenschutzgesetz – LNatG M-V

Unterlagen für Bauvorlage	Thüringen	Mecklenburg-Vorpommern
Denkmalschutz	Thüringer Denkmalschutzgesetz - ThürDSchG § 13 Erlaubnis und § 14 Erlaubnisverfahren	Denkmalschutzgesetz - § 7 DSchG M-V
Verunstaltungsgebot	§ 9 ThürBO Gestaltung	§ 9 LBauO M-V Gestaltung
Abstandsflächen, Abstände	§ 6 ThürBO Abstandsflächen, Abstände	§ 6 LBauO M-V Abstandsflächen, Abstände

5.6.4 Schleswig-Holstein und Niedersachsen

Unterlagen für Bauvorlage	Schleswig-Holstein	Niedersachsen
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 7 BauVorIVO der Auszug aus der Liegenschaftskarte und der Lageplan	§ 7 BauVorIVO der Auszug aus der Liegenschaftskarte und der Lageplan gemäß der Bauvorlagenverordnung (BauVorIVO) ist ein einfacher oder qualifizierter Lagepläne einzureichen
Bauzeichnungen	§ 8 BauVorIVO Bauzeichnungen	§ 8 BauVorIVO Bauzeichnungen
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 9 BauVorIVO die Baubeschreibung	§ 9 BauVorIVO die Baubeschreibung
Bautechnische Nachweise	§ 70 LBO Bautechnische Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz	§ 65 NBauO Bautechnische Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz
Standsicherheit	§ 10 BauVorIVO Standsicherheitsnachweis und § 13 Standsicherheit LBO	§ 12; 65 Abs. 3 bis 5 NBauO Standsicherheit und § 10 Abs. 1 bis 3 BauVorIVO Nachweis der Standsicherheit (siehe in den Anforderungen die Richtlinie für WEA)
Brandschutz	§ 11 BauVorIVO Brandschutznachweis und § 15 Brandschutz LBO	§ 11 BauVorIVO Brandschutznachweis und § 14 Brandschutz NBauO
Blitzschutz	§ 47 Blitzschutz LBO	§ 42 Blitzschutz NBauO
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	§ 16 LBO Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz und § 12 BauVorIVO Nachweise für Wärme-, Schall-, Erschütterungsschutz	§ 15 NBauO Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz
Verkehrssicherheit	§ 17 LBO Verkehrssicherheit Landesnaturschutzgesetz – LNatSchG (SH) u.a. § 9 Verursacherpflichten, Unzulässigkeit von Eingriffen; Ermächtigung zum Erlass von Rechtsverordnungen § 61 Bestehende Landschaftsschutzverordnungen	§ 16 NBauO Verkehrssicherheit
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	Denkmalschutzgesetz § 12 Genehmigungspflichtige Maßnahmen	Niedersächsisches Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz § 5 NAGBNatSchG Eingriffe in Natur und Landschaft § 8 Genehmigungsvorbehalt ff.
Denkmalschutz	Denkmalschutzgesetz § 12 Genehmigungspflichtige Maßnahmen	§ 10 Genehmigungspflichtige Maßnahmen § 8 Anlagen in der Umgebung von Baudenkmalen

Unterlagen für Bauvorlage	Schleswig-Holstein	Niedersachsen
Verunstaltungsgebot	§ 10 LBO Gestaltung	§ 10 NBauO Gestaltung
Abstandsflächen, Abstände	§ 6 LBBO Abstandsflächen, Abstände	§ 5 NBauO Grenzabstände

Anmerkungen zu Niedersachsen:

Die Vorlage eines **qualifizierten Lageplans** ist in aller Regel bei Grenzbebauung oder bei der Einhaltung von Grenzabständen erforderlich. Die Entscheidung darüber, welche Art des Lageplans einem Bauantrag beizufügen ist, trifft die jeweils zuständige Baugenehmigungsbehörde. Der **einfache Lageplan** enthält folgende Angaben aus dem Liegenschaftskataster:

- die Angabe des Maßstabes und die Lage des Grundstücks zur Himmelsrichtung
- die Bezeichnung des Baugrundstücks nach Gemeinde, Straße, Hausnummer, Grundbuch, Gemarkung, Flur, Flurstück mit Angabe der Eigentümer oder der Erbbauberechtigten
- den Flächeninhalt des Baugrundstücks
- die katastermäßigen Grenzen des Baugrundstücks und der benachbarten Grundstücke
- den Bestand der vorhandenen Gebäude auf dem Baugrundstück und auf den benachbarten Grundstücken (soweit im Liegenschaftskataster nachgewiesen)
- die im Liegenschaftsbuch enthaltenen Hinweise auf Baulasten [76]

Der **qualifizierte Lageplan** enthält zusätzlich noch folgende Angaben:

- die für die bauaufsichtliche Beurteilung erforderlichen Abmessungen des Baugrundstücks nach dem Liegenschaftskataster
- eine Aussage über die Zuverlässigkeit von Grenzen und ihre Erkennbarkeit in der Örtlichkeit
- die Eigentümer der benachbarten Grundstücke
- eine Aussage über die Vollständigkeit des Gebäudebestandes

Weitere Informationen erhalten Sie von den Ansprechpartnern in den jeweiligen Katasterämtern der zuständigen Regionaldirektionen des Landesamtes für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN) oder einem öffentlich bestellten Vermessungsingenieur (ÖbVI) [76].

5.6.5 Bremen und Hamburg

Unterlagen für Bauvorlage	Bremen [77]	Hamburg [78]
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 7 BremBauVorIV der Lageplan und Auszug aus dem Bebauungsplan einschließlich legende	§ 10 Lageplan BauVorIVO
Bauzeichnungen	§ 8 BremBauVorIV Bauzeichnungen	§ 11 Bauzeichnung BauVorIVO
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 9 BremBauVorIV die Bau- und Betriebsbeschreibung mit Berechnungen	§ 12 Baubeschreibung BauVorIVO
Bautechnische Nachweise	§ 66 BremLBO Bautechnische Nachweise Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz	§ 68 HBauO Bautechnische Nachweise und ihre Prüfung
Standsicherheit	§ 10 BremBauVorIV und § 12 Standsicherheit BremLBO	§ 14 Standsicherheitsnachweis BauVorIVO und § 15 Standsicherheit HBauO
Brandschutz	§ 14 BremLBO und § & Abs. 4 Nr. 1 Brandschutz und § 11 Brandschutznachweis BremBauVorIV	§ 17 Brandschutz HBauO § 15 BauVorIVO Brandschutznachweis
Blitzschutz	§ 46 BremLBO Blitzschutzanlagen	§ 43a Elektrische Anlagen und Blitzschutzanlagen HBauO
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	§ 12 BremBauVorIV und § 15 BremLBO Schall-, Wärme- und Erschütterungsschutz	§ 18 Wärmeschutz, Schallschutz und Erschütterungsschutz HBauO und § 17 Nachweise des Schall- und Erschütterungsschutzes BauVorIVO
Verkehrssicherheit	§ 16 BremLBO Verkehrssicherheit	§ 19 HBauO Verkehrssicherheit
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	Naturschutz § 7 Nr. 5 BremBauVorIV	§ 9 Eingriffe in Natur und Landschaft
Denkmalschutz	Denkmalschutz § 10 DSchG Genehmigungspflichtige Maßnahmen	Denkmalschutz §8 HmbGVBL, Umgebungsschutz und §9 HmbGVBL, Genehmigungsvorbehalt für Veränderungen von Denkmälern

Unterlagen für Bauvorlage	Bremen [77]	Hamburg [78]
Verunstaltungsgebot	§ 9 BremLBo Gestaltung	§ 12 HBauO Gestaltung
Abstandsflächen, Abstände	§ 6 BremLBO Grenzabstände	§ 6 HBauO Abstandsflächen

5.6.6 Hessen und Saarland

Unterlagen für Bauvorlage	Hessen [79]	Saarland [80]
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 2 Lageplan BauVorIVO	§ 2 BauVorIVO Vervielfältigung der Flurkarte § 3 BauVorIVO Lageplan
Bauzeichnungen	§ 4 Bauzeichnung BauVorIVO	§ 4 Bauzeichnung BauVorIVO
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 5 Baubeschreibung BauVorIVO	§ 5 Bau- und Nutzungsbeschreibung BauVorIVO evtl auch § 6 Nachweis BauVirIVO der baulichen Nutzung
Bautechnische Nachweise	§ 59 HBO Bautechnische Nachweise, Typenprüfung - Nachweise für die Standsicherheit einschließlich der Feuerwiderstandsdauer tragender Bauteile, den vorbeugenden Brandschutz, den Schall- und Wärmeschutz	§ 67 LBO Bautechnische Nachweise - Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall- und Erschütterungsschutz
Standsicherheit	§ 6 BauVorIVO Nachweis der Standsicherheit und andere bautechnische Nachweise und § 11 HBO und § 59 Abs. 1 und 3 HBO	§ 8 Standsicherheit BauVorIVO und § 13 Standsicherheit LBO
Brandschutz	§ 59 Abs. 1 und 3 HBO § 13 Brandschutz HBO	§ 15 LBO Brandschutz
Blitzschutz	§ 13 Abs. 4 HBO Blitzschutz	§ 44 Blitzschutz
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	§ 14 HBO Wärmeschutz, Schallschutz, Erschütterungsschutz	§ 16 LBO Wärmeschutz, Schallschutz, Erschütterungsschutz § 9 Schallschutz BauVorIVO
Verkehrssicherheit	§ 15 HBO Verkehrssicherheit	§ 17 LBO Verkehrssicherheit
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten		Naturschutz § 25 Verträglichkeit von Projekten § 27 Eingriffe in Natur und Landschaft und § 28 Verursacherpflichten, Unzulässigkeit von Eingriffen § 29 Zulassung von Eingriffen
Denkmalschutz	Denkmalschutzrecht § 16 Genehmigungspflichtige Maßnahmen	§ 6 Denkmalliste und § 8 Veränderung von Baudenkmalern und Denkmalbereichen
Verunstaltungsgebot	§ 9 HBO Gestaltung	§ 4 LBO gestalterische Anforderungen
Abstandsflächen, Abstände	§ 6 HBO Abstandsflächen	§ 7 LBO Abstandsflächen

5.6.7 Rheinland-Pfalz und NRW

Unterlagen für Bauvorlage	Rheinland-Pfalz [81]	NRW [82]
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	§ 2 BauuntPrüfVO Lageplan	§ 2 BauPrüfVO Auszüge aus dem Katasterkartenwerk und § 3 BauPrüfVO Lageplan
Bauzeichnungen	§ 3 Bauzeichnung BauuntPrüfVO	§ 4 BauPrüfVO Bauzeichnung
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 4 BauuntPrüfVO Baubeschreibung	§ 5 BauPrüfVO Baubeschreibung und Betriebsbeschreibung
Bautechnische Nachweise	§ 5 BauuntPrüfVO Bautechnische Nachweise hier bezogen und Standsicherheit und Brandschutz	
Standsicherheit	§ 13 Standsicherheit LBauO § 5 BauuntPrüfVO Bautechnische Nachweise und § 15 BauuntPrüfVO Prüfung des Standsicherheitsnachweises	§ 8 Nachweis zur Standsicherheit BauPrüfVO § 15 BauO NRW Standsicherheit
Brandschutz	§ 15 LBauO Brandschutz	§ 17 Brandschutz § 9 Brandschutzkonzept
Blitzschutz	§ 15 Brandschutz Abs. 5 LBauO (hier Blitzschutz geregelt)	§ 18 Abs. 4 BauO NRW Blitzschutzanlage
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	§ 16 LBauO Wärme-, Schall- und Erschütterungsschutz	§ 18 BauO NRW Wärmeschutz, Schallschutz und Erschütterungsschutz § 8 Nachweis Schallschutz BauPrüfVO
Verkehrssicherheit	§ 17 LBauO Verkehrssicherheit	§ 19 Verkehrssicherheit BauO NRW
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	§ 9 Eingriffe in Natur und Landschaft; § 10 Zulässigkeit, Folgen und Kompensation von Eingriffen und § 13 Verfahren bei Eingriffen	§ 4 Eingriffe § 4a Kompensation und § 6 Verfahren bei Eingriffen
Denkmalschutz	§ 4 Unbewegliche und bewegliche Kulturdenkmäler, Umgebungsschutz § 13 Genehmigung von Veränderungen, Anzeige von Instandsetzungen	§ 5 Unterschutzstellung von Denkmalbereichen § 9 Erlaubnispflichtige Maßnahmen

Unterlagen für Bauvorlage	Rheinland-Pfalz [81]	NRW [82]
Verunstaltungsgebot	§ 5 LBauO Gestaltung	§ 12 Gestaltung BauO NRW
Abstandsflächen, Abstände	§ 8 LBauO Abstandsfläche	§ 6 BauO NRW Abstandsflächen

Zusätzliche Anmerkungen für NRW:

Weitere Informationen sind dem „Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung“ zu entnehmen [83].

5.6.8 Bayern und Baden-Württemberg

Unterlagen für Bauvorlage	Bayern	Baden-Württemberg
Auszug aus der Flurkarte und Lageplan	ein aktueller Auszug aus dem Katasterwerk und, soweit es sich nicht um Änderungen baulicher Anlagen handelt, bei denen Außenwände und Dächer sowie die Nutzung nicht verändert werden, der Lageplan § 7 BauvorlVO	§ 4 LBOVVO Lageplan § 5 LBOVVO Erstellung des Lageplans durch Sachverständige
Bauzeichnungen	§ 8 Bauzeichnung BauVorlVO	§ 6 Bauzeichnung LBOVVO
Bau- und Betriebsbeschreibung	§ 9 BauVorlVO Baubeschreibung	§ 7 LBOVVO Baubeschreibung
Bautechnische Nachweise	Art. 62 BayBo Bautechnische Nachweise - Einhaltung der Anforderungen an die Standsicherheit, den Brand-, Schall- und Erschütterungsschutz ist nach näherer Maßgabe der Verordnung auf Grund des Art. 80 Abs. 4 BayBO nachzuweisen (bautechnische Nachweise)	§ 9 LBOVVO Bautechnische Nachweise § 18 LBOVVO Wegfall der bautechnischen Prüfung § 19 LBOVVO Verzicht auf bautechnische Bauvorlagen sowie bautechnische Prüfbestätigungen § 13 LBO
Standsicherheit	§ 10 BauVorlVO und Art, 10 BayBO Standsicherheitsnachweis	§ 10 LBOVVO Erklärung zum Standsicherheitsnachweis und § 13 LBO Standsicherheit
Brandschutz	§ 11 Brandschutznachweis BauVorlVO Art. 12 BayBO Brandschutz des Weiteren gilt der Art. 62 BayBO	§ 15 LBO Brandschutz § 9 LBOVVO Bautechnische Nachweise
Blitzschutz	Art. 44 BayBO Blitzschutzanlagen	Blitzschutz § 15 Abs. 2 LBO
Schall- und Erschütterungsschutz Nach § 22 Abs. 1 BImSchG und § 3 Abs. 1 BImSchG müssen so errichtet werden, dass vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen vermieden werden	Art. 12 BayBO Nachweise für Schall- und Erschütterungsschutz Art. 13 BayBO Wärme-, Schall- und Erschütterungsschutz	Schall- und Erschütterungsschutz nach § 14 LBO Schutz baulicher Anlagen § 9 LBOVVO Bautechnische Nachweise
Verkehrssicherheit	Art. 14 BayBO Verkehrssicherheit	§ 16 LBO Verkehrssicherheit

Unterlagen für Bauvorlage	Bayern [84]	Baden-Württemberg [85]
Naturschutz - KWEA müssen Vorgaben zum Naturschutzrecht und Artenschutzrecht beachten	Art. 6 Eingriffe in Natur und Landschaft	§ 20 Eingriffe in Natur und Landschaft § 21 Verursacherpflichten, Unzulässigkeit von Eingriffen § 23 Verfahren bei Gestattungen nach anderen Vorschriften
Denkmalschutz	Art. 6 Maßnahmen an Baudenkmalern Art. 6a Untersagung; Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen Art. 6b Zuständigkeit und Verfahren bei Eingriffen; landschaftspflegerischer Begleitplan; Meldung der	§ 8 Allgemeiner Schutz von Kulturdenkmälern § 15 Wirkung der Eintragung
Verunstaltungsgebot	Art. 8 BayBO Baugestaltung	§ 11 LBO Gestaltung
Abstandsflächen, Abstände	Art. 6 Abstandsflächen, Abstände Art. 82 Windenergie und Nutzungsänderung ehemaliger landwirtschaftlicher Gebäude*	§ 5 LBO Abstandsflächen

5.7 Abstandsflächen

Abstandsflächen haben unter anderem eine nachbarschützende Wirkung. Sie variieren zwischen den einzelnen Bundesländern.

Alle Landesbauordnungen enthalten Bestimmungen zu den Mindestabständen zwischen baulichen Anlagen, in denen keine anderen baulichen Anlagen errichtet werden dürfen. Dies nennt man auch **Überdeckungsverbot**, das heißt, dass sich Abstandsflächen von verschiedenen baulichen Anlagen nicht überschneiden dürfen. Die Abstände müssen auf dem eigenen Grundstück liegen. Hier können jedoch auch Ausnahmen greifen, wodurch sich die Abstandsflächen auch auf die Nachbargrundstücke erstrecken können. Hierfür muss eine Absicherung der Anlage gewährleistet sein, welche über eine regelmäßige Eintragung einer Baulast in das Baulastverzeichnis erreicht wird, was wiederum zusätzliche Kosten erzeugt. [2].

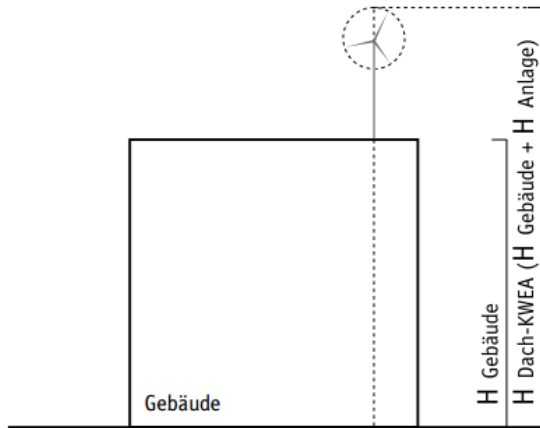
Die **Berechnung** der Abstandsfläche ist ebenfalls nicht einheitlich geregelt im Bundesgebiet. Vom Grundsatz her ergibt sich die **Tiefe aus der Höhe (H) der KWEA**. Die Tiefe ist festgelegt als Faktor von H (Höhe) – z.B. 0,4 H. Insgesamt umfassen die Regelungen in den Bundesländern den Bereich von 0,2 H bis 1 H. Die Bestimmungen, wie die Höhe H für die Abstandsflächen zu messen ist, sind nur in den Bundesländern NRW, Sachsen-Anhalt und Saarland eindeutig festgelegt. Hier wird die „größte Höhe“ veranschlagt. Das heißt für:

- **Horizontalachser:** Höhe Rotorachse über der Geländeoberfläche plus Rotorradius (Nabenhöhe plus Rotorblattlänge)
- **Vertikalachser:** Der höchste Punkt des Rotationskörpers.

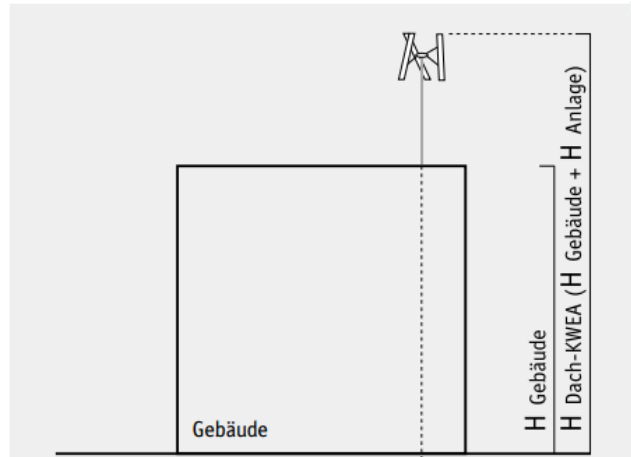
Für die drei Bundesländer ist weiter festgelegt, dass die Abstandsfläche als Kreis um den geometrischen Mittelpunkt des Mastes anzusetzen ist.

Für alle anderen Bundesländer lässt sich keine klare Regelung in den jeweiligen Bauordnungen finden, die H bestimmt. Daher kann hier als Faustregel festgehalten werden, dass H dem höchsten vom Rotor umstrichenen Punkt entspricht. Des Weiteren finden sich auch keine Bestimmungen wie die Abstandsfläche anzusetzen ist, daher muss dies mit der zuständigen Behörde abgesprochen werden. Als Ausgangspunkt kann man sich an den vorher beschriebenen Bestimmungen aus NRW, Sachsen-Anhalt und dem Saarland orientieren.

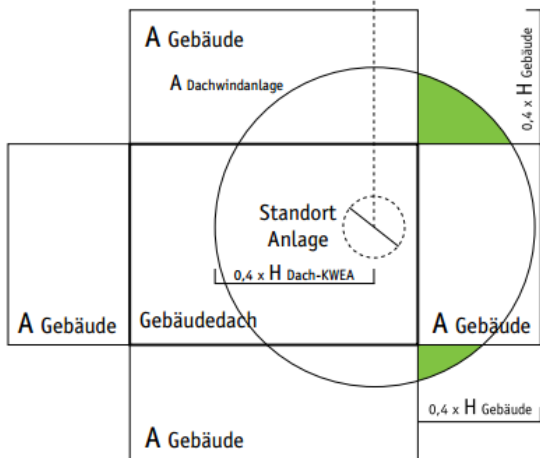
Für KWEA, die auf Dächern montiert werden sollen, ergibt sich die Höhe der Gebäudehöhe zuzüglich der Anlagenhöhe. Die folgende Abbildung 62 zeigt wie Abstandsflächen für Dachkonstruktionen vermessen werden. Die Abbildung wurde der Handlungsempfehlung der HTW für Berlin entnommen, kann aber als Orientierungshilfe auch für die Errichtung in anderen Bundesländern herangezogen werden [1].



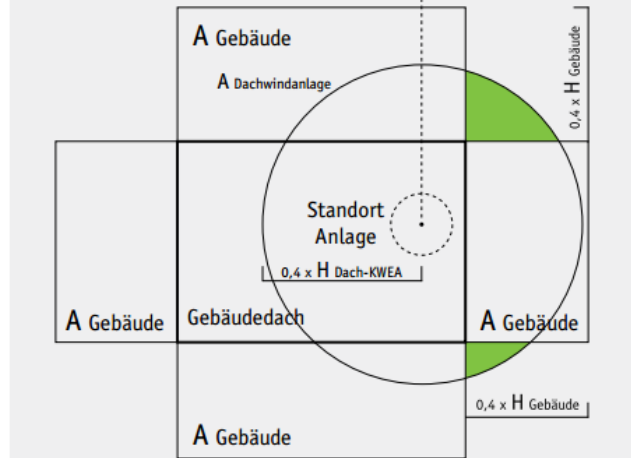
Ansicht Horizontalachse



Ansicht Vertikalachse



Draufsicht Horizontalachse



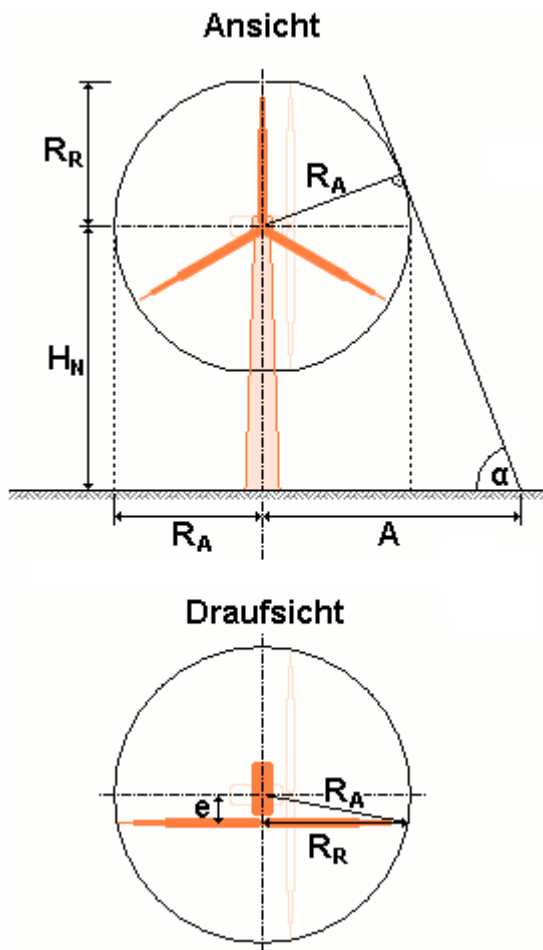
Draufsicht Vertikalachse

- A** Abstandsflächen
- nicht innerhalb der Abstandsfläche des Gebäudes liegende Abstandsfläche der Dach-Windanlage

- A** Abstandsflächen
- nicht innerhalb der Abstandsfläche des Gebäudes liegende Abstandsfläche der Dach-Windanlage

Abbildung 62: Berechnung der Abstandsfläche bei horizontaler und vertikaler Achse [1]

Demgegenüber gibt die folgende Grafik einen Überblick für die Abstandsbemessung bei freistehenden Anlagen und die dazugehörigen Berechnungsformeln. Diese Darstellung ist zwar nicht explizit für Kleinwind, kann aber darauf übertragen werden



R_A = Radius der fiktiven Kugel
 R_R = Radius des Rotorkreises
 e = Exzentrizität des Rotors
 H_N = Höhe der Nabe
 A = Abstandsflächentiefe um Turmachse

Berechnung des Kugelradius:

$$20.1 \quad R_A = \sqrt{R^2 + e^2}$$

Abstandsflächentiefe bei 0,25 H:

$$20.21 \quad \alpha = 75,96^\circ$$

$$20.22 \quad A = 0,25 \cdot H_N + 1,03078 \cdot R_A$$

Abstandsflächentiefe bei 0,4 H:

$$20.31 \quad \alpha = 68,20^\circ$$

$$20.32 \quad A = 0,4 \cdot H_N + 1,07704 \cdot R_A$$

Abstandsflächentiefe bei 0,5 H:

$$20.41 \quad \alpha = 63,43^\circ$$

$$20.42 \quad A = 0,5 \cdot H_N + 1,11804 \cdot R_A$$

Abbildung 63: Abstandsflächen freistehender Anlagen und Berechnung [98]

Da die Regelungen zu den einzuhaltenden Abstandsflächen auch zwischen den einzelnen Baugebieten variieren werden hier vorab die relevanten Baugebiete nach BauNVO definiert.

Wohngebiete nach § 4 Abs. 1 BauNVO: Dienen hauptsächlich dem Wohnen, was ungestört möglich sein soll. Dort ansässige Gewerbebetriebe sollen der Gebietsversorgung dienen oder „nicht störend“ sein § 4 Abs. 3 BauNVO. Daher gelten hier auch nicht die sonst immissionsschutzrechtlich angesetzten Lärmwerte, da hier der Schutz der Wohnruhe im Vordergrund steht. Für die Errichtung einer KWEA sind hier die Hürden besonders hoch.

Dorfgebiete § 5 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Kerngebiete § 7 BauNVO: Gemeinsames Kennzeichen ist die Mischnutzung von Wohnen und Ansiedlungsort für „nicht wesentlich störende Gewerbebetriebe“. Daher als Oberbegriff auch Mischgebiete genannt. KWEA sind hier prinzipiell möglich. Für die beschriebenen Gebietsformen ist die Nutzung von Kleinwind vor allem für gewerbliche Zwecke denkbar.

Gewerbegebiete § 8 BauNVO: Vorrangig Gebiet für „nicht erheblich störende Gewerbebetriebe“. In diesem Gebiet ist von einer grundsätzlichen Gebietsverträglichkeit von KWEA auszugehen.

Dennoch gilt für die Lärmbelästigung, die von KWEA ausgehen kann, dass diese die Arbeit der Menschen im Gebiet nicht „unmöglich“ machen darf.

Industriegebiet § 9 BauNVO: Hier werden die Betriebe angesiedelt, die in keinem anderen Baugebiet zulässig sind. KWEA sind hier prinzipiell zulässig

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Abstandflächen, die für KWEA in den einzelnen Bundesländern eingehalten werden müssen. Die Höhe H steht für die Gesamtanlagenhöhen.

Tabelle 25: Abstandflächen für KWEA in den verschiedenen Bundesländern

Bundesland	Baugebiet	Abstandsfläche	Mindestabstand
Berlin	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	3 m
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,2 H	3m
	Vor Außenwänden von Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2 mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen		3m
Brandenburg	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,5 H	3m
	Vor Außenwänden ohne Fenster für Aufenthaltsräume	0,4 H	3m
	In Gewerbe- und Industriegebieten sowie in Sondergebieten, die nicht der Erholung dienen	0,25 H	3m
	Vor Außenwänden von Wohngebäuden mit nicht mehr als zwei oberirdischen Geschossen und nicht mehr als 9 m Gebäudehöhe		3m
Sachsen	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,5 H	3m
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,25 H	3m
	Gebiete mit besonderer Nutzung * Bei aneinandergrenzenden Baugebieten gilt entlang der gemeinsamen Gebietsgrenze die jeweils größere Abstandsflächenforderung	0,1 H	3m
Sachsen-Anhalt	KWEA in allen Bebauungsgebieten	0,4 H	3m
	Tiefe der Abstandsfläche nach der größten Höhe der Anlage		
Thüringen	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	3m
	Gewerbe- und Industriegebiete sowie Sondergebieten	0,2 H	3m
	Vor den Außenwänden von Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2 mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen		3m
Niedersachsen	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,5 H	3m
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,25	3m

Bundesland	Baugebiet	Abstandsfläche	Mindestabstand
Bremen	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	3m
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,2 H	3m
	Vor den Außenwänden von Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2 mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen		3m
Mecklenburg-Vorpommern	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	3m
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,2 H	3m
	Vor den Außenwänden von Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2 mit nicht mehr als drei oberirdischen Geschossen		3m
Hessen	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,2 H	3 m
Saarland	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	
	Kerngebiete sowie Sondergebiete, die nicht der Erholung dienen	Tiefe kann geringer sein als 0,4 H	
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,25H	
	Windkraftanlagen in nicht bebauten Gebieten	0,25H	3m
	Für WEA gilt Absatz 4 nicht. Bei diesen Anlagen ist H die größte Höhe, die sich bei Anlagen mit Horizontalachse aus der Höhe der Rotorachse über der geometrischen Mitte des Mastes zuzüglich des Rotorradius errechnet. Die Abstandsfläche ist ein Kreis um den geometrischen Mittelpunkt des Mastes		
Rheinland-Pfalz	Kerngebiete, Wohn- und Mischgebiete	0,4 H	3m
	Gewerbe- und Industriegebiete	0,25 H	3m
	Kerngebiete sowie Sondergebiete, die nicht der Erholung dienen	Tiefe kann geringer sein als 0,4 H	3m
	Windkraftanlagen in nicht bebauten Gebieten	0,25H	
BaWü	Kerngebieten, Dorfgebieten und in besonderen Wohngebieten	0,2 der Wandhöhe	
	In Gewerbegebieten und in Industriegebieten, sowie in Sondergebieten, die nicht der Erholung dienen	0,125 der Wandhöhe	
	allgemein	0,4 der Wandhöhe	
	bei Windenergieanlagen nur die Höhe bis zur Rotorachse, wobei die Tiefe der Abstandsfläche mindestens der Länge des Rotorradius entsprechen muss.		
Bayern	Gemeindegebiet	0,4 H	3m
	in Gewerbe- und Industriegebieten	0,2 H	3m
	Art. 82 BayBo Windenergie und Nutzungsänderung ehemaliger landwirtschaftlicher Gebäude, Abstand bemisst sich von der Mitte des Mastfußes		
NRW (Nabenhöhe plus Radius)	Windenergieanlagen in allen Bebauungsgebieten	0,5 H	

5.8 Die Baugenehmigung bzw. der Ablehnungsbescheid

Wenn das Bauvorhaben allen öffentlich-rechtlichen Bauvorschriften entspricht, wird eine schriftliche Baugenehmigung ausgestellt. Die Genehmigung kann an das Bauvorhaben zusätzliche Bedingungen stellen: Auflagen, Nebenbestimmungen und nachbarschützende Vorschriften.

Letztendlich können Kleinwindenergieprojekte noch an diesen Zusätzen, trotz der grundsätzlichen Baugenehmigung, scheitern, da sie die Gesamtkosten nochmal stark erhöhen können [2].

Wenn die Baugenehmigung verwehrt wird, da das KWEA-Projekt den rechtlichen Anforderung nicht entspricht/genügt, wird ein schriftlicher Ablehnungsbescheid erteilt.

Eine Ablehnung kann unter anderem wegen unvollständiger Antragsunterlagen (Bauvorlage siehe Gliederungspunkt 5.5.1) erteilt werden. Werden Fehler bzw. Mängel in der Bauvorlage festgestellt, können diese innerhalb einer Frist behoben werden. Wenn dies nicht geschieht, wird der Antrag als aufgehoben angesehen und in Folge dessen eine Ablehnung ausgestellt [2].

5.9 Auswertung der Interviews mit den Bauaufsichtsämtern

Es wurde bereits an einigen Stellen auf die Aussagen der jeweiligen Bauaufsichtsbehörden verwiesen. An dieser Stelle soll eine Zusammenfassung der Erfahrungen aus den Telefonaten gegeben werden.

Die Erfahrungen aus den Telefonaten mit den verschiedenen Bauaufsichtsämtern der Bundesländer waren gemischt. Grundsätzlich ist die Thematik Kleinwindenergieanlagen oft erst selten und zum Teil noch gar nicht in der Praxis angewandt worden. Es besteht daher keine klare Genehmigungspraxis, die auf Erfahrungswerten aufbaut. Dies, in Kombination mit der rechtlich oft noch unklaren Handhabung von KWEA, kann in strengen Auflagen von Seiten der Behörden münden.

Einige Gesprächspartner_innen waren dennoch bereits gut mit der Thematik vertraut und Kleinwindvorhaben gegenüber offen und interessiert eingestellt, obwohl keiner mehr als 2 Genehmigungsverfahren selbst betreut hat. Die Einstellung zu Kleinwind und dessen Realisierbarkeit für Schulen wurde als eher schwierig eingeschätzt, da damit ein erheblicher Aufwand verbunden sei. Die Behörden hatten bereits öfters die Erfahrung gemacht, dass es Anfragen bezüglich Kleinwind gab, die jedoch, nachdem den Interessenten_innen die Dimension ihres Vorhabens bewusst wurde, nicht weiter verfolgt wurden. Grundsätzlich haben so gut wie alle Gesprächspartner_innen betont, dass die Einbeziehung der Behörde sowie der direkte Austausch über das KWEA-Projekt bereits im Anfangsstadium sehr wichtig und hilfreich für den/die Bauherrn_in sei, da die rechtlichen Anforderungen zum Teil sehr an die Gegebenheiten des Einzelfalls gebunden sind.

Dazu, inwiefern Schulen und Bildungseinrichtungen besondere Auflagen oder Vereinfachungen im Verfahren bekommen, konnten die Telefonate keine neuen Erkenntnisse bringen. Es ist festzuhalten, dass es von Vorteil ist sich selbst eingehend mit den Rechtsfragen rund um KWEA im Bundesland auseinandergesetzt zu haben, bevor man sich mit der Behörde zusammensetzt. Im

Zweifelsfall kann es helfen, selbst gute Kenntnisse über die genehmigungs- und planungsrechtlichen Aspekte zu haben, da sie einem bei strittigen und unklaren Fragen im konkreten Fall in der Auseinandersetzung helfen.

5.10 Rechtliche Abschlussbetrachtung für KWEA an Schulen

Im Kapitel „Rechtliche Rahmenbedingungen für KWEA in Deutschland“ wurden sowohl die bauplanungsrechtlichen Fragen sowie die bauordnungsrechtlichen Genehmigungsfragen betrachtet und geklärt. Es wurde deutlich, wie umfangreich und komplex der rechtliche Teil in einem KWEA-Projekt ist. Er stellt den Kern eines jeden Vorhabens dar, denn auch bei verfahrensfreien Anlagen müssen die öffentlich rechtlichen Regelungen eingehalten werden, was die Schule oder Bildungseinrichtung selbstständig übernehmen und gewährleisten müsste. Für die rechtlichen Rahmenbedingungen des KWEA-Projekts sind Standort und Höhe der Anlage die entscheidenden Einflussfaktoren.

Je nach Standort der Schule und somit dem Standort der KWEA ergeben sich bauplanungsrechtliche Kriterien nach dem BauGB und der BauNVO. Zunächst muss man sich die Frage stellen, ob man sich im Außenbereich, beplanten Innenbereich oder unbeplanten Innenbereich befindet und inwieweit die KWEA dem Bebauungsplan entspricht, wenn einer vorhanden ist. Des Weiteren ist es wichtig den Charakter des Baugebiets nach BauNVO zu definieren (z.B. Mischgebiet). An diese Voraussetzungen schließt sich die Genehmigungsfrage der KWEA an. In einigen Bundesländern ist die Aufstellung von KWEA bis zu einer bestimmten Höhe sowie teilweise in Verbindung mit einem bestimmten Baugebiet verfahrensfrei. Ein weiterer Weg eine Anlage verfahrensfrei zu errichten, ist über die Deklaration der Anlage zur Technischen Gebäudeausrüstung, was jedoch durch die Behörde bestätigt werden muss.

Wenn ein Bebauungsplan vorliegt mit dem die KWEA im Einklang steht, kann in fast allen Bundesländern eine Genehmigungsfreistellung beantragt werden. Hier hat die Gemeinde ein „Veto-recht“, mit dem sie die Durchführung eines vereinfachten Genehmigungsverfahrens einfordern kann. Genauso kann auch die zuständige Baubehörde dem Freistellungsantrag widersprechen und ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren fordern.

Die Schule muss sich bewusst sein, dass eine Freistellung oder eine generelle Verfahrensfreiheit das Kleinwindunterfangen nicht automatisch auch rechtlich abgesichert ist. Es liegt in der Verantwortung der Schule alle weiteren öffentlich-rechtlichen Anforderungen einzuhalten. Wenn keine Baugenehmigung notwendig ist, könnten Genehmigungen von z.B. der Denkmal-und/oder Naturschutzbehörde erforderlich sein, die dann selbstständig bezogen werden müssten.

Wenn eine Baugenehmigung benötigt wird, wird in den meisten Bundesländern bis 30 m Höhe ein vereinfachtes Verfahren durchgeführt. Dies entlastet nur die Behörde. Die Schule (Bauherr_in) muss eine vollständige Bauvorlage einreichen wie sie auch im förmlichen Verfahren verlangt wird.

Das Zustimmungsverfahren ist am Ende besonders hervorzuheben, da es nur für Bauvorhaben in öffentlicher Trägerschaft gilt. Dafür müsste die Bauleitung –und Überwachung allerdings von einer öffentlichen Stelle übernommen werden.

Wie sich auch im Zuge der Auswertung der Erfahrungsberichte der Schulen mit KWEA gezeigt hat, ist dieser Weg dennoch nicht der gängigste gewesen. Viele Schulen sind über andere Stellen und in Kooperation mit Privatpersonen oder externen Projekten an ihre Anlagen gelangt.

Je nachdem ob sich die Schule im ländlichen oder städtischen Raum befindet werden gerade nachbarschaftsrechtliche Belange in KWEA-Projekten eine Rolle spielen. Grundsätzlich ist die Umsetzung in ländlichen Gebieten für KWEA einfacher genehmigt zu bekommen, als im dichtbesiedelten urbanen Raum.

Die Montage der KWEA auf Dächern ist ebenfalls an höhere Auflagen gebunden als bei freistehende Anlagen.

Tabelle 26: Wichtige Links - Formularübersicht der Bundesländer

Bundesland	Weblinks
Berlin	http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/bauaufsicht/de/formulare.shtml
Brandenburg	https://secure.service.brandenburg.de/intelliform/forms/mil/index
Sachsen	http://amt24.sachsen.de/ZFinder/verfahren.do?action=showdetail&modul=VB&id=3391110
Sachsen-Anhalt	http://include-st.zfinder.de/215172101
Thüringen	http://thformular.thueringen.de/index.php?act_1=Suche&act_2=ShowFormular&act_3=Rubrik&Mandant=18&volltext=Th%FCringer%20Bauordnung
Mecklenburg-Vorpommern	http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/wm/Themen/Bau/Planen_und_Bauen/index.jsp
Schleswig-Holstein	https://www.kiel.de/rathaus/service/leistung.php?id=8968530
Bremen:	http://www.bauumwelt.bremen.de/detail.php?gsid=bremen213.c.3555.de
Niedersachsen	http://ni.zfinder.de/ Suchbegriff: Baugenehmigung Ort/Ortsteil: z.B. Hannover Register: Formulare. Weitere Formulare sind auf den direkten Seiten der zuständigen Bauaufsichtsbehörden einzusehen.
Hamburg	http://www.hamburg.de/formulardownload/103154/formulare-bauaemter/
Hessen	https://wirtschaft.hessen.de/landesentwicklung/bauen-und-wohnen/formulare
Saarland	http://www.saarland.de/3552.htm
Rheinland-Pfalz	http://fm.rlp.de/bauen-und-wohnen/baurecht-und-bautechnik/vordrucke/
NRW	http://www.ikbaunrw.de/service/antraege-anzeigen/formulare/
Bayern:	http://www.stmi.bayern.de/buw/baurechtundtechnik/bauordnungsrecht/bauantragsformulare/
Baden-Württemberg	http://www.akbw.de/service/bauplanung-technik-und-baubetrieb/bauvorschriften-und-vordrucke.html

Tabelle 27: Bebauungspläne, Kartenmaterial und geografische Informationssysteme

Bundesländer	Weblinks
Berlin	http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/b-planverfahren/de/b-plaene_fisbroker.shtml
Sachsen	http://amt24.sachsen.de/ZFinder/verfahren.do;jsessionid=079i8nHZlus5LeASbmL104p9.zufi2_2?action=showdetail&modul=VB&id=92591!0
Sachsen-Anhalt	http://www.umwelt.sachsen-anhalt.de/servlet/is/5985/
Mecklenburg-Vorpommern	http://www.geoportal-mv.de/land-mv/GeoPortalMV_prod/de/Suche/Themensuche/?q=Landkreis&keyword=Bebauungsplan#extended=true
Schleswig-Holstein	Kartendienste, Auskünfte zum Liegenschaftskataster: https://service.schleswig-holstein.de/Verwaltungsportal/FVP/Application/DienstEinstieg.aspx?fid=4
Niedersachsen	Kartendienste, Auskünfte zum Liegenschaftskataster. http://www.gll.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=10599&article_id=50445&psmand=34 Am Ende der Seite befinden sich die Ansprechpartner_innen. Material ist nicht online verfügbar.
Bremen	Bauleitplan-Informationssystem http://www.bauleitplan.bremen.de/index.php
Hamburg	Bebauungspläne online http://www.hamburg.de/bebauungsplaene-online/
Hessen	http://www.hessenfinder.de/portal?SOURCE=PstList&PSTID=8959893
Saarland	http://geoportal.saarland.de/portal/de/fachanwendungen/bebauungsplaene-der-saarlaendischen-gemeinden.html
Rheinland-Pfalz	http://www.geoportal.rlp.de/
NRW	http://www.service.nrw.de/ressorts/MIK/tim/
Bayern	Flurkarte digital http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/dfk.html
Baden-Württemberg	http://www.geoportal-bw.de/geoportal/opencms/de/index.html

Tabelle 28: Denkmaldatenbanken der Bundesländer

Bundesländer	Weblinks
Berlin	http://www.stadtentwicklung.berlin.de/denkmal/liste_karte_datenbank/de/denkmaldatenbank/
Brandenburg	http://www.bldam-brandenburg.de/denkmalliste-denkmaldatenbank
Sachsen	http://www.lfd.sachsen.de/1406.htm
Thüringen	http://www.kulturerbe-digital.de/de/projekte/9_38_383038.php
Mecklenburg-Vorpommern	http://www.kulturportal-mv.de/index.phtml?view-137&SpecialTop=1
Schleswig-Holstein	http://www.schleswig-holstein.de/LD/DE/Service/VerzeichnisKulturdenkmale/verzeichnisKulturdenkmale_node.html
Bremen	http://www.denkmalpflege.bremen.de/sixcms/detail.php?gsid=bremen02.c.738.de
Hessen	Ansprechpartner_innen, um Einblick in die Denkmalschutzliste zu erhalten http://hessenfinder.de/portal/?SOURCE=PstListAZ&SEARCHTYPE=PST&POSTALCODE=&SEARCHLETTER=E&PSTID=343825621 Datenbank für die Kulturdenkmäler: http://denkxweb.denkmalpflege-hessen.de/
Saarland	http://www.saarland.de/47342.htm
Rheinland-Pfalz	http://www.pgis.de/
Bayern	http://www.blfd.bayern.de/

Tabelle 29: Natur- und Artenschutz in den Bundesländern

Bundesländer	Weblinks
Berlin	http://www.stadtentwicklung.berlin.de/natur_gruen/naturschutz/rechtsgrundlagen/index.shtml
Brandenburg	http://www.mlul.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.300751.de
Sachsen	http://amt24.sachsen.de/ZFinder/lebenslagen.do?action=showdetail&modul=LL&id=33513!0
Sachsen-Anhalt	http://www.lvwa-natur.sachsen-anhalt.de/beginn.html
Thüringen	Naturschutzgebiete: https://www.bfn.de/0308_nsg.html Vogelschutzrichtlinie und geschützte Arten: http://www.thueringen.de/th8/tlug/umwelt-themen/natura2000/lebensraeume_und_arten/arten_anhangl_vs_rl/
Mecklenburg-Vorpommern	Naturschutzgebiete: http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/natur/schutzgebiete_portal/schutzgebiete_mv.htm Vogelschutz: http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/Im/Themen/Naturschutz_und_Landschaftspflege/NATURA_2000/index.jsp
Schleswig-Holstein	Naturschutzgebiete: http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/NaturschutzForstJagd/02_Schutzgebiete/03_NSgebiete/ein_node.html Vogelschutz: http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/NaturschutzForstJagd/02_Schutzgebiete/04_NSFlaechen/03_Flaechentyp/04_Vogelschutz/ein_node.html

Bundesländer	Weblinks (Fortführung)
Bayern	Naturschutzgebiete http://www.lfu.bayern.de/natur/schutzgebiete/naturschutzgebiete/index.htm Vogelschutzgebiete http://www.stmuv.bayern.de/umwelt/naturschutz/vogelschutz/
Baden-Württemberg	Naturschutzgebiete: https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11423/ Vogelschutzgebiete: https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/44490/
Niedersachsen	Naturschutzgebiete: http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=8062&article_id=45299&psmand=26 Vogelschutz: http://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/staatliche_vogelschutzwarte/vogelarten_erfassungsprogramm/datenbewertung_und_herausgabe/datenbewertung-und--herausgabe-98563.html
Bremen	Naturschutzgebiete: http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.3412.de Vogelschutzgebiete: http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.4256.de
Hamburg	Naturschutzgebiete: http://www.hamburg.de/naturschutzgebiet/ Vogelschutz: http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/vogelschutzgebiete-in-hamburg
Hamburg	Naturschutzgebiete: http://www.hamburg.de/naturschutzgebiet/ Vogelschutz: http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/vogelschutzgebiete-in-hamburg
Hessen	http://www.hlug.de/start/geografische-informationssysteme/geodienste/naturschutz.html
Saarland	http://www.saarland.de/8885.htm
Rheinland-Pfalz:	Naturschutzgebiete: http://www.naturschutz.rlp.de/?q=node/56 Vogelschutzgebiete: http://www.naturschutz.rlp.de/?q=vogelschutzgebiete
NRW	http://www.naturschutzinformationen-nrw.de/nsg/de/start

6. Auswertung der Interviews mit den Schulen

Im Rahmen des Projektes „EE-Schulen“ wurden Interviews mit Schulen durchgeführt um deren Erfahrungen für weitere Projekte nutzen zu können sowie um deren Rahmenbedingungen, Wünsche und Vorbehalte für zukünftige Projekte mit Erneuerbaren Energien genauer zu beleuchten.

6.1 Beteiligte Schulen und Einrichtungen

Insgesamt wurden 11 Interviews geführt, 7 davon telefonisch und 4 im Rahmen von Vor-Ort-Besuchen. Die Telefoninterviews, mit einem zeitlichen Umfang zwischen 30 und 45 Minuten, wurden mit einem anschließend verfassten Gesprächsprotokoll dokumentiert. Die Vor-Ort-Besuche, ca. 90 Minuten, wurden gemeinsam vom Unabhängigen Institut für Umweltfragen und vom RLI durchgeführt.

6.2 Wichtige Erkenntnisse

6.2.1 Impuls zur Installation einer schuleigenen KWEA

Bei den interviewten Lehrern_innen handelte es sich um die treibende Kraft hinter der schuleigenen KWEA. Sie sind somit meist gleichzeitig der Impulsgeber für das jeweilige Schulprojekt. Zum Teil wurde der Impuls auch extern durch Wettbewerbe oder Forschungsprojekte ausgelöst, da sich dadurch Möglichkeiten für die Schulen ergaben, eine eigene KWEA zu bekommen. Impulse durch die Schülerschaft waren bei den interviewten Schulen nicht ursächlich, ein KWEA-Projekt zu initiieren. Alle Interviewpartner_innen waren sehr motivierte und engagierte Lehrkräfte, die bereit waren, viel Zeit und Energie in das Schulprojekt KWEA zu investieren.

Bei den Positionen der interviewten Lehrkräfte handelte es sich zumeist um Fachlehrer aus der Physik und/oder leitende Lehrkräfte, also Schulleiter oder Fachbereichsleiter.

6.2.2 PV-Module

Bei allen Schulen und außerschulischen Lernorten gibt es bereits Vorerfahrungen im Umgang mit EE-Anlagen in Form von PV-Modulen. Dies zeigt deutlich die Offenheit und Hinwendung zum Thema Klimaschutz und EE. An zwei Schulen (Brandis und Robert-Havemann-Oberschule) wurden die KWEA in Kombination mit PV, also in einem Hybridsystem, installiert. Grundsätzlich haben hier alle interviewten Schulen mit den PV-Anlagen sehr positive Erfahrungen gemacht. Bei der Wentzinger Realschule konnten mit den PV-Modulen sogar deutliche Gewinne erwirtschaftet werden, die dann die KWEA mit finanziert haben.

6.2.3 Finanzierung

Vier Schulen haben ihre KWEA geschenkt bekommen. Dies geschah entweder innerhalb eines Forschungsprojektes, wie das der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin (HTW) im Zuge dessen am OSZ TIEM eine Anlage errichtet wurde oder als Folge einer erfolgreichen Wettbewerbsteilnahme (Brandis). Hierbei war der Gewinn entweder direkt eine Anlage oder das gewon-

nene Geld wurde, wie bei der Robert-Havemann-Oberschule, genutzt, um die Anlage zu finanzieren. Das OSZ Lise-Meitner erhielt die Anlage von einem engagierten Ingenieur (Prof. Zastrow), dessen Anliegen die Etablierung von KWEA im urbanen Bereich ist.

Die Teilnahme an Wettbewerben, vor allem bei erfolgreichem Abschluss, wurde vom Großteil der Schulen als besonders wichtig betont, da hierbei Freiräume entstehen, Schüler_innen gezielt im Bereich der Erneuerbaren Energien zu fördern. Die Rahmenpläne ließen ansonsten oft wenig Spielraum für eine intensive Auseinandersetzung mit Windenergie zu. Der Impuls, eine schuleigene Anlage anzuschaffen, ging bei allen interviewten Schulen immer von Seiten der Lehrer_innen aus, sodass deutlich wird, dass es engagierte Lehrer_innen braucht, um ein solches Projekt zu realisieren. Die Frage der Finanzierung ist bei einem kostenintensiven Projekt wie einer eigenen KWEA besonders wichtig. Schulen, die daran interessiert sind, sollten sich nach Fördergeldern umhören. Zum Beispiel könnte eine Kooperation mit der Stadt möglich sein, die die Schule auch im Genehmigungsprozess unterstützen könnte. So hat zum Beispiel die Stadt Freiburg bei der Wentzinger Realschule die Kosten für das Statikgutachten übernommen. Neben der Stadt ist auch eine Kooperations- und Förderanfrage bei dem Gebäudebetreiber eine Möglichkeit, Unterstützung zu erhalten. Der Vorteil für den Gebäudebetreiber liegt beispielsweise in der Verwendung der KWEA zu Werbezwecken, was dem Gebäude ein „grünes Image“ verleihen kann.

Eine weitere Möglichkeit ist die Aufnahme eines Kredits, z.B. bei der KfW-Bank, die für entsprechende EE-Projekte günstige Konditionen bietet. Die Schülerschaft mit einzubinden, kann sich ebenfalls als hilfreich erweisen, da diese auf Schulfesten Spenden sammeln oder über Kuchenverkauf und ähnliche Aktionen weitere Einnahmen generieren können.

6.2.4 Verwendung des erzeugten Stroms

Keine der Schulen speist in das öffentliche Netz ein, sodass der produzierte Strom immer zur Eigenversorgung dient. Wobei der Strom entweder direkt ins Hausnetz eingespeist wird oder zum Betreiben einer Lampe genutzt wird. In Brandis wird zum Beispiel ein Bewegungsmelder mit dem eigens produzierten Strom betrieben. Meistens sind die Anlagen viel zu klein, um tatsächlich einen energetischen Zugewinn für die Schule darzustellen (vgl. Kapitel Wirtschaftlichkeit 4). Dabei haben ebenfalls alle Schulen gesagt, dass das Ziel des Betriebs der KWEA, anders als zum Teil bei den PV-Anlagen, gar keine wirtschaftlichen Ergebnisse seien, da die Anlage sowieso nur als Anschauungsobjekt dienen soll.

An einigen Schulen wurden mit der KWEA ein Batteriesystem sowie verschiedene Beleuchtungsmittel verbunden/versorgt. Aus den Interviews ging hervor, dass gerade bei jüngeren Schülern (z.B. Grundschule) der Zusammenhang von Wind – Anlage – Strom dadurch deutlich wird und nachhaltig ist.

6.2.5 Visualisierung/Sichtbarkeit der KWEA

Die meisten Schulen verfügen für ihre PV-Anlagen bereits über Digitalanzeigen/ Tafeln im Eingangsbereich, an denen die gewonnene Strommenge ablesbar ist und/oder Poster, die die Funk-

tionsweise der Anlage erläutern. Im Bereich der Windenergie speziell in Bezug auf die Kleinwindenergieanlagen besteht noch Nachholbedarf. Selten findet sich ein Verweis oder Bild in der Schule oder auf deren Homepage. Das OSZ Lise-Meitner ist hier ein Positivbeispiel mit einem Beitrag auf der schuleigenen Homepage [86]. Außerdem sind nur bei einer der interviewten Schulen im Foyer oder in den Aufenthaltsräumen der Schüler_innen erklärende Poster zur Anlage und zum Thema Windenergie zu finden. Dies widerspricht der allgemeinen Aussage, das Projekt auch zur Bewusstseinsförderung durch Sichtbarmachung der EE-Anlage zu nutzen und die Identifikation sowohl mit Erneuerbaren Energien als auch mit der Schule zu steigern.

Der Wissenstransport über Aushänge o.ä. wird generell empfohlen, da sich in den Gesprächen herausstellte, dass eine Integration neuer Inhalte, wie Windenergie oder der technische Umgang mit Kleinwindenergieanlagen, aufgrund des sehr dicht gestalteten Lehrplans nur schwer zu bewältigen ist. Die Erstellung der Infoplakate kann sowohl im Unterricht als auch im Rahmen von Projektwochen erstellt werden.

6.2.6 Digitalisierung

Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die Digitalisierung dar. Mehrere der befragten Lehrer bestätigten, dass die Ertragsdaten ihrer Anlagen in ein Online-Portal eingebunden sind. Diese Datenaufbereitung nutzen sie für die Veranschaulichung im Unterricht. Sowohl die Leistung als auch der Ertrag können so im Unterricht den Schülern vermittelt werden. Es hat sich herausgestellt, dass dies auch mit die effektivste Art der Auseinandersetzung mit der KWEA-Technik ist. Hieraus leitet sich ab, dass bei der Durchführung eines KWEA-Projektes vermeintlich nebensächliche Themen wie die Messdatenaufnahme und –weiterverarbeitung mit höherer Priorität bearbeitet werden müssen.

6.2.7 Standortauswahl

Die Schulen, die ihre Anlage im Rahmen eines Forschungsprojekts bekommen haben, haben durch das Projekt auch eine professionelle Standortbestimmung in Form von Windmessungen bekommen. Die Wentzinger Realschule hat eine Kooperation mit der dortigen technischen Hochschule aufgebaut und ebenfalls durch Windmessungen, die von Studenten durchgeführt wurden, Unterstützung bei der Standortauswahl bekommen. Wenn eine professionelle Standortbestimmung stattgefunden hat, war der ausgewählte Standort immer ein Kompromiss aus Windbedingungen, Sicherheitsaspekten für die Schule, Statik und Sichtbarkeit, sodass es nie der optimale Standort wurde. Alle anderen Schulen haben keine Windmessungen durchgeführt und die KWEA frei platziert.

Im Kapitel 3 wird gezeigt, dass kleinere Windmessungen relativ einfach und kostengünstig durchzuführen sind und somit auch ein guter Weg, dies in z.B. den Physikunterricht zu integrieren und so die Schüler_innen einzubinden.

6.2.8 Art der Baugenehmigung und Gutachten

Wie das Kapitel 5 gezeigt hat, sind die rechtlichen Anforderungen an die Aufstellung einer KWEA anspruchsvoll. Die interviewten Schulen waren in den rechtlichen Genehmigungsprozess jedoch wenig involviert. Bei den zwei OSZs in Berlin sind die KWEA als Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung genehmigungsfrei errichtet worden. Um die Kommunikation mit der Bauaufsichtsbehörde sowie der Einstufung als Anlage der technischen Gebäudeausrüstung hatte sich das Projektteam der HTW Berlin gekümmert. Auch die Anfertigung des Statikgutachtens sowie die weiteren Vermessungen, z.B. Schattenwurf, wurde von den Mitarbeitern der HTW übernommen, sodass die Schule weder einen großen Organisationsaufwand noch einen finanziellen Aufwand hatte.

Alle anderen Schulen haben die Anlage genehmigungsfrei aufgestellt. Wenn es nötig war, Gutachten anzufertigen, wurde die Organisation von behördlich übergestellten Abteilungen für die Schulen übernommen. Bei der Robert-Havemann-Oberschule hat das Schulamt die Genehmigung durchgeführt und bei der Wentzinger Realschule hat z.B. das Statikgutachten die Stadt Freiburg organisiert. Die Ilse Demme Gartenarbeitsschule wurde bspw. durch die Abteilung Umwelt der unteren Bauaufsichtsbehörde Berlin unterstützt. Es wird deutlich, dass die interviewten Schulen viel Unterstützung bei den Baugenehmigungen erfahren haben.

Im Interview wurde von den meisten Schulen, aber unter anderem auch in den Gesprächen mit den Bauaufsichtssämtern, betont, dass Schulen mit Interesse an einer eigenen KWEA eine professionelle Projektbegleitung/Unterstützung suchen und den Arbeitsaufwand nicht unterschätzen sollten.

6.2.9 Zuständigkeiten

Die Schulen verfügen meistens über keine interne Dokumentation. Die Kompetenz und Verantwortung der Anlage wird i.d.R. von wenigen Lehrer_innen getragen. Nur zwei Schulen gaben an, dass die Verantwortung für die KWEA verteilt auf mehrere Lehrer_innen sei und das Wissen um die Anlage intern umfassend dokumentiert sei.

Es ist sehr sinnvoll, von Beginn an eine strukturierte Projektdokumentation zu allen organisatorischen und technischen Belangen der Anlage (Unterlagen zu behördlichen Genehmigungen und Gutachten) anzulegen und damit sicherzustellen, dass das Wissen allen Lehrer_innen und möglichen Nachfolger_innen zugänglich ist. Auf diese Weise kann vermieden werden, dass die Anlage nach der Pensionierung des/der zuvor zuständigen Lehrers_in verwaist.

6.2.10 Außenwirkung

Die meisten Schulen haben die Anlage im Rahmen einer großen Eröffnungsfeier eingeweiht, bei denen Persönlichkeiten aus der Region und Politik anwesend waren und zum Teil auch die Presse kleine Artikel veröffentlicht hat. Die Anlagen konnten den Schulen also zu einem „grünen Image“ verhelfen. Allerdings wird die Anlage nur selten für weitere Öffentlichkeitsarbeit genutzt und selten auf der Homepage erwähnt. Demnach könnte die KWEA im Bereich Öffentlichkeitsarbeit stärker genutzt werden.

6.2.11 Probleme

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass mit der Anlagengröße/-leistung der Umfang zu bewältigender Probleme für die Schulen zunimmt.

Bei Brandis, die ein Hybridsystem aus einer JPT-100 und einem PV-Modul haben, läuft die KWEA einwandfrei. Im Vergleich dazu haben andere Schulen wie die Surheider Schule in Bremerhaven, die eine Whisper 100 mit einem 7 m Mast auf dem Schuldach stehen haben, viele Probleme zum Beispiel mit der Elektrik der Anlage. Bei den größeren Anlagen sind außerdem öfters Schwingungsprobleme aufgetreten, sodass bei stärkerem Wind die Anlage abgestellt werden muss, da in den darunter liegenden Klassenzimmern erhöhte Geräuschpegel aufgrund von Gebäudeschwingungen zu registrieren waren.

Probleme mit der Elektronik der Anlage sind öfters aufgetreten. Des Weiteren funktioniert zum Beispiel bei beiden OSZ in Berlin die Datenübertragung der KWEA nicht, was eine Nutzung für den Unterricht erschwert bzw. nicht in dem Ausmaß möglich ist, wie dies die Lehrer_innen anstreben. Die Anlagen stellen die Schulen vor teilweise große technische Herausforderungen, die sie aufgrund mangelnder Kompetenzen in diesem Bereich alleine nur schwer lösen können. Die Lösung dieser Probleme stellt eine hohe zeitliche Zusatzbelastung für die Lehrer_innen da, sodass sich an manchen Schulen Enttäuschung bzgl. des eigenen KWEA-Projekts eingestellt hat. Obwohl eine Schule mit einer kleineren KWEA nicht vor zum Beispiel Elektronikproblemen gefeit ist, sind kleinere Anlagen im Betrieb weniger komplex und andere Probleme wie Schwingungen kleiner bzw. nicht vorhanden. Schulen, die wenig Knowhow in diesem Bereich haben, sollten aus diesem Grunde eher auf KWEA mit wenigen 100 W Leistung zurückgreifen.

6.2.12 Einbindung in den Unterricht

Die Einbindung der KWEA in den Unterricht findet nur vereinzelt statt. Die Rahmen- und Lehrpläne geben den Lehrern_innen wenige Freiräume, neue Inhalte zu gestalten und in den Lehrplan einzubinden. Die Anlage dient eher der Veranschaulichung durch ihre schlichte Präsenz. Im Rahmen von Projekttagen oder AGs findet jedoch öfter eine intensivere Nutzung statt.

Gerade bei jüngeren Schüler_innen ist der sichtbare Zusammenhang zwischen dem Windaufkommen, der sich drehenden KWEA und z.B. einer leuchtenden Lampe sehr anschaulich und einprägsam, sodass sich die Aufstellung für Anschauungszwecke definitiv lohnt. Die Comenius Schule hat eine kleine selbst gebaute Anlage aus Fahrradzubehör gebaut, über einen Fahrraddynamo bringt der Wind eine LED zum Leuchten. Dies ist ebenfalls ein Weg, sich direkt mit den Schüler_innen mit dem Thema Windenergie praktisch zu beschäftigen ohne den aufwendigen Weg einer eigenen KWEA auf sich nehmen zu müssen.

6.2.13 Zufriedenheit

Insgesamt bereiteten die KWEA den Schulen mehr Probleme und stellten sie vor größere Herausforderungen als die PV-Anlagen. Die Zufriedenheit vor allem bei den etwas "größeren" Anla-

gen ist begrenzt. Es gibt aber sehr gute Beispiele, wie zum Beispiel die Wentzinger Realschule, die sehr zufrieden mit der eigenen Anlage ist.

Zweifelsohne ist es kein einfaches Projekt, sich eine KWEA aufzustellen. Die hier beschriebenen Beispiele sollen nicht abschreckend wirken. Im Gegenteil sollen die positiven Erfahrungen motivieren, sich mit der Thematik auseinanderzusetzen, aber gleichzeitig die Probleme und Schwierigkeiten bewusst machen und somit verhindern, dass die Zielsetzung eine eigene KWEA zu haben unterschätzt wird.

7. Bildungsmaterialien zu KWEA

Als Einstieg in das Thema Windenergie und (Klein)windkraftanlagen oder auch als zusätzliche Ergänzung für den Unterricht, können Experimentierkoffer zum Thema Windenergie genutzt werden. Diese variieren in ihrer Ausstattung und dienen entweder der reinen Veranschaulichung oder auch komplexer Experimente.

Die Firma Klüver & Schulz bietet einen umfangreichen Koffer mit Windanlagenmodell, Ventilator zur Winderzeugung sowie zahlreicher Messtechnik und Elektrokleinenteile an, siehe Abbildung 64.



Abbildung 64: Experimentierkoffer – komplett [87]

Dieses Set bietet folgende Anwendungsversuche:

- Abhängigkeit zwischen Rotordrehzahl und Leistung der Windkraftanlage von der Windgeschwindigkeit,
- Veränderung der erzeugten Spannung bei Zuschalten eines Verbrauchers,
- Untersuchung der Windgeschwindigkeit vor und hinter dem Rotor,
- Bestimmung des Wirkungsgrades einer Windkraftanlage,
- Speicherung von Energie,
- Untersuchung verschiedener Rotortypen,
- Kennlinie des Windgenerators,
- Anlagenverhalten in Abhängigkeit von der Windrichtung/ Schräganströmung.

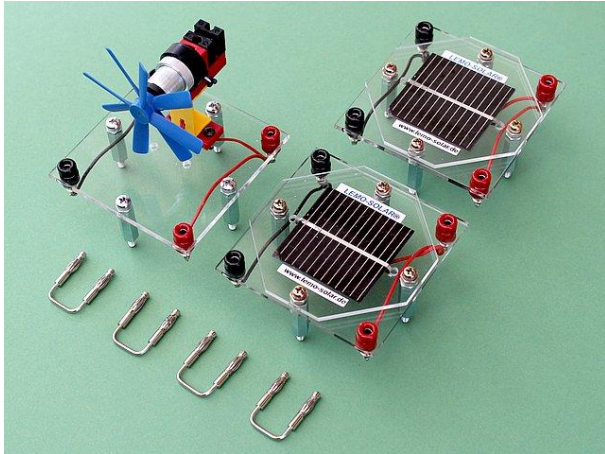


Abbildung 65: Solarenergie und Windenergie Experimentierkit [88]



Abbildung 66: Windkraft-Bausatz für Schüler zw. 8-14 Jahren [89]

Es gibt weitere Angebote die von allgemeiner Veranschaulichung für Grundschüler, siehe Abbildung 66, bis hin zu komplexen Elektrobaukästen reichen, siehe Abbildung 65.

Da die Anschaffung eines umfangreichen Experimentierkoffers sehr kostenintensiv sein kann, kann das Mieten solcher Bausätze eine Alternative sein. In den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz besteht dafür die Möglichkeit für die Sekundarstufen I und II für einen Zeitraum von bis zu 4 Wochen [90]

Eine weitere Möglichkeit bieten die Stadtwerke Bochum, bei denen über eine Schulkooperation ein Experimentierkoffer gestellt werden kann [91].

Schulen, die Interesse an solchen Experimentierkits haben, aber finanziell wenig Spielraum, sollten überprüfen, ob es ähnliche Angebote/Möglichkeiten in ihrer Region gibt.

Tabelle 30: Auswahl verschiedener Experimentierkoffer zum Thema „Windenergie“

Experimentierkoffer	Informationen
	<ul style="list-style-type: none"> • Firma Klüver & Schulz • Experimentierkoffer Windenergie • 895,- € [88]
	<ul style="list-style-type: none"> • Firma Lemo-Solar • Verschiedene Modular-Experimentier-Systeme • Für unterschiedliche Altersstufen • 13,- € bis 480,- € [88]
	<ul style="list-style-type: none"> • Firma Badenova • Windtrainer Junior • Sekundarstufe I und II • 1.400,- € [92]
	<ul style="list-style-type: none"> • Firma Reinhold • Wind und Wetter - Experimentierbox • 3. – 5. Schuljahr • 577,15 € [93]
	<ul style="list-style-type: none"> • Firma enviaM • Verschiedene Experimentierkoffer "Windenergie" • Von 5. Schuljahr bis Fachkräfte • 99,- € bis 1.400,- € [94]
	<ul style="list-style-type: none"> • Firma Betzold • Windkraft-Bausatz • 8-14 Jahre • 44,- € [89]

Literaturverzeichnis

- [1] Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), „Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum - Ein Leitfaden,“ Berlin, 2013.
- [2] J. Thorbecke, Der Rechtsrahmen für die Errichtung von Kleinwindenergieanlagen, Baden-Baden: Nomos, 2015.
- [3] J. Twele, S. Burkam, O. Schömann und C. Witt, *Qualitätssicherung im Sektor der Kleinwindenergieanlagen Bildung von Kategorien / Anforderungen an technische Angaben*, Berlin: Bundesverband WindEnergie e.V., 2011.
- [4] Reiner Lemoine Institut gGmbH, *Kleinwindenergieanlage - Marktanalyse und Konzeptstudie*, Berlin, 2014.
- [5] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)*, Berlin, 2014.
- [6] J. Twele und R. Gasch, *Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011.
- [7] Wikipedia, „Skizze des dynamischen Auftriebs FA und des Strömungswiderstands FW an einer angeströmten Tragfläche,“ [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamischer_Auftrieb#/media/File:SkizzeStroemungskraft.svg. [Zugriff am 16 07 2015].
- [8] My Windpower GmbH, „Horizontale Windanlage,“ [Online]. Available: <http://www.mywindpower.de/wp-content/uploads/2012/05/Horizontale-Windanlage-1.png>. [Zugriff am 30 07 2015].
- [9] Lexikon Energiewelten, „Leeläufer und Luvläufer,“ [Online]. Available: http://www.energiewelten.de/lexikon/lexikon/seiten/htm/050508_Leelaeufer_und_Luvlaeufer_versch_Windkraftanlagen.htm. [Zugriff am 04 05 2015].
- [10] World Wind Energy Association, „Small Wind World Report 2015,“ World Wind Energy Association, Bonn, 2015.

- [11] Green Rhino Energy, „Wind Turbine Technologies,“ [Online]. Available: greenrhinoenergy.com/renewable/wind/wind_technology.php. [Zugriff am 20 05 2015].
- [12] DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG., „HVI-Blitzschutz, CUI-Leitung,“ [Online]. Available: <http://www.dehn.de/de/blitzschutz-erdung/hvi-blitzschutz-cui-leitung>. [Zugriff am 01 06 2015].
- [13] Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V., „Trennungsabstand,“ [Online]. Available: http://www.vdb.blitzschutz.com/infos/abc_trennungsabstand.htm. [Zugriff am 10 06 2015].
- [14] VDE Verband der Elektrotechnik, „VDE-AR-N 4105:2011-08 - Technische Anschlussbedingungen,“ [Online]. Available: <https://www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/seiten/n4105.aspx>. [Zugriff am 20 06 2015].
- [15] Smart Power Electronics GmbH & Co. KG, „Smart!wind,“ [Online]. Available: <http://www.smart-power-electronics.de/cms/de/>. [Zugriff am 01 06 2015].
- [16] Bundesverband WindEnergie e.V., Kleinwindanlagen. Handbuch der Technik, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit kleiner Windräder, Berlin: Bundesverband WindEnergie e.V., 2013.
- [17] Christensen, Katie, Catalogue of Small Wind Turbines 2012, Dänemark: Nordic Folkecenter for Renewable Energy, 2012.
- [18] Jetpro Technology, „Our Products > JPT-100,“ [Online]. Available: <http://www.jetprotech.com.tw/en/products/jpt100.htm>. [Zugriff am 12 03 2015].
- [19] Amperius, „Amperius Turbina,“ [Online]. Available: <http://www.amperius.pl/images/Amperius-turbina.jpg>. [Zugriff am 16 07 2015].
- [20] KD Stahl- und Maschinenbau GmbH, „System im Überblick,“ [Online]. Available: <http://www.amperius.de/das-amperius-prinzip/>. [Zugriff am 21 Mai 2015].
- [21] EasyWind GmbH, „Galerie - Bilder,“ [Online]. Available: <http://www.easywind.org/de/produkt/galerie/windmuehlen>. [Zugriff am 16 07 2015].
- [22] EasyWind GmbH, „Produkt,“ [Online]. Available: <http://www.easywind.org/de/produkt>. [Zugriff am 07 05 2015].
- [23] Kleinwindkraft-Portal, „Kleinwindanlage des deutschen Herstellers Aircon zertifiziert,“ [Online]. Available: <http://www.klein-windkraftanlagen.com/news/kleinwindanlage-des->

- deutschen-herstellers-aircon-zertifiziert/. [Zugriff am 06 03 2015].
- [24] Lely Aircon B.V., „Kleinwindkraftanlage Lely Aircon 10,“ [Online]. Available: <https://www.lelyaircon.com/de/produkte/lely-aircon-10.html>. [Zugriff am 06 03 2015].
- [25] Drakes Renewables, „Wind Turbine Range,“ [Online]. Available: <http://drakesrenewables.com/wind-turbine-range/>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [26] C&F Green Energy, „CF 20,“ [Online]. Available: http://www.cfgreenenergy.com/product_uk/cf-20. [Zugriff am 15 07 2015].
- [27] RS-Energietechnik GmbH, *Preisliste für Kleinwindenergieanlagen von C&F Green Energy*, Teltow: C&F Green Energy, 2013.
- [28] Fraunhofer IWES, „WindMonitor,“ [Online]. Available: <http://www.windmonitor.de/>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [29] Hochschule für Technik und Wirtschaft, „Wind und atmosphärische Grenzschicht,“ [Online]. Available: <http://kleinwind.htw-berlin.de/website/index.php?id=52>. [Zugriff am 27 05 2014].
- [30] N. Pieniak, *Die Kleinwindanlage: Technische Konzepte und Leistungsklassen*, Köln: BWE, 2013.
- [31] S. Lindner, *Konzeptionierung eines Testgeländes für Kleinwindenergieanlagen unter Berücksichtigung von internationalen Standards (Bachelorarbeit)*, Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin, 2013.
- [32] M. Melsheimer, Nicht nur Gutes kommt von oben, 21. Windenergietage, Berlin: BerlinWind GmbH, 2012.
- [33] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Luftverkehrsgesetz (LuftVG)*, Berlin: juris GmbH, 2013.
- [34] BFtec GmbH, *Mammut Steel-Roots*, Philipsthal: BFtec GmbH, 2015.
- [35] BFtec GmbH, *Steel-Root / Kleinwindkraftanlage*.
- [36] Direct Industry, „Schalenkreuzanemometer T031 TVV,“ [Online]. Available: http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/schalenkreuzanemometer-158525-8485837.jpg. [Zugriff am 27 04 2015].

- [37] PCE Instruments, „Windmessgerät,“ [Online]. Available: https://www.pce-instruments.com/deutsch/messtechnik/messgeraete-fuer-alle-parameter/windmessgeraet-kat_10110_1.htm. [Zugriff am 28 07 2015].
- [38] Kleinwindkraft-Portal, „Wind-Meister A1 – Windmessgerät für Kleinwindanlagen,“ [Online]. Available: <http://www.klein-windkraftanlagen.com/kauf/windmesser-fur-kleine-windkraftanlagen/w2m-1-windmessgeraet-kleinwindanlagen/>. [Zugriff am 14 05 2015].
- [39] SMA Solar Technology AG, „Die neue VDE-Anwendungsregel (VDE-AR-N 4105),“ [Online]. Available: http://files.sma.de/dl/7418/Flyer_Niederspr-ADE123016w.pdf. [Zugriff am 13 05 2015].
- [40] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, „EEG 2014,“ [Online]. Available: http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/. [Zugriff am 30 07 2015].
- [41] Agentur für Erneuerbare Energien, „Potenzial für sinkenden Haushaltsstrompreis 2015 ist gegeben,“ [Online]. Available: <http://www.unendlich-viel-energie.de/potenzial-fuer-sinkenden-haushaltsstrompreis-2015-ist-gegeben>. [Zugriff am 18 Mai 2015].
- [42] Netztransparenz.de, „Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, EEG-Umlage 2015,“ [Online]. Available: <https://www.netztransparenz.de/de/EEG-Umlage.html>. [Zugriff am 18 05 2015].
- [43] Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien,“ [Online]. Available: <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf>. [Zugriff am 20 05 2015].
- [44] Bundesverband WindEnergie e.V., „Kleinwind,“ [Online]. Available: <https://www.wind-energie.de/themen/kleinwind>. [Zugriff am 20 05 2015].
- [45] Leipziger Institut für Energie, „Marktanalyse – Windenergie an Land,“ [Online]. Available: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/S-T/studie-windenergie-an-land,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>. [Zugriff am 7 06 2015].
- [46] K. Traup, Winddaten für Windenergienutzer, Offenbach: Selbstverlag des DWD, 1996.
- [47] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), „Industriestrompreise - Ausnahmeregelungen bei Energiepreisbestandteilen,“ [Online]. Available:

- [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20140428-o-energie-info-industriestrompreise--ausnahmeregelungen-bei-energiepreisbestandteilen/\\$file/BDEW_Energie-Info_Industriestrompreise_final_28.04.2014_ohne_AP.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20140428-o-energie-info-industriestrompreise--ausnahmeregelungen-bei-energiepreisbestandteilen/$file/BDEW_Energie-Info_Industriestrompreise_final_28.04.2014_ohne_AP.pdf). [Zugriff am 02 06 2015].
- [48] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Baugesetzbuch (BauGB)*, Berlin, 2014.
- [49] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO)*, Berlin: juris GmbH, 2013.
- [50] Maslaton Rechtsanwaltsgesellschaft mbH, *Genehmigungspraxis von Kleinwindenergieprojekten*, Bundesverband Windenergie e.V., 2013.
- [51] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, *Bauordnung für Berlin (BauO Bln)*, Berlin, 2011.
- [52] Bezirksamt Marzahn-Hellersdorf, „Vorbescheid/planungsrechtlicher Bescheid,“ [Online]. Available: <http://www.berlin.de/ba-marzahn-hellersdorf/politik-und-verwaltung/aemter/stadtentwicklungsamt/bauaufsicht-wohnungsaufsicht-denkmalschutz/artikel.187786.php>. [Zugriff am 16 07 2015].
- [53] Land Brandenburg, *Brandenburgische Bauordnung (BbgBO)*, Potsdam, 2010.
- [54] Landesregierung Sachsen, *Sächsische Bauordnung (SächsBO)*, Dresden, 2014.
- [55] Land Sachsen-Anhalt, *Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA)*, Magdeburg, 2013.
- [56] Freistaat Thüringen, *Thüringer Bauordnung (ThürBO)*, Erfurt, 2014.
- [57] Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern, *Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern (LBauO M-V)*, Schwerin, 2011.
- [58] Landesregierung Schleswig-Holstein, *Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein (LBauO SH)*, Kiel, 2009.
- [59] Landesregierung Niedersachsen, *Niedersächsische Bauordnung (NBauO)*, Hannover, 2012.
- [60] Freie Hansestadt Bremen, *Bremische Landesbauordnung (BremLBO)*, Bremen, 2015.
- [61] Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen, *Hamburgische Bauordnung (HBauO)*, Hamburg,

2014.

- [62] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, *Hessische Bauordnung (HBO)*, Wiesbaden, 2011.
- [63] Landesregierung Saarland, *Landesbauordnung des Saarlandes*, Saarbrücken, 2012.
- [64] Landesregierung Rheinland-Pfalz, *Landesbauordnung Rheinland-Pfalz (RhPflBauO)*, Mainz, 2015.
- [65] Landesregierung Baden-Württemberg, *Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO BW)*, Stuttgart, 2010.
- [66] Bayerische Staatsregierung, *Bayerische Bauordnung (BayBO)*, München, 2014.
- [67] Der Minister für Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen, *Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen - Landesbauordnung (BauO NRW)*, Düsseldorf, 2015.
- [68] Deutsches Institut für Bautechnik, „Richtlinie für Windenergieanlagen,“ [Online]. Available: https://www.dibt.de/en/Departments/data/Aktuelles_Ref_I_1_Richtlinie_Windenergieanlagen_Okt_2012.pdf. [Zugriff am 16 07 2015].
- [69] Umweltbundesamt, *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm*, Berlin, 1998.
- [70] Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von,“ [Online]. Available: http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/wea_schattenwurf_hinweise.pdf. [Zugriff am 16 07 2015].
- [71] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, *Bauverfahrensverordnung - BauVerfVO*, Berlin, 2013.
- [72] Land Brandenburg, *Brandenburgische Bauvorlagenverordnung – BbgBauVorIV*, Potsdam, 2009.
- [73] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, „Leitfaden zum Baunebenrecht,“ [Online]. Available: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/gesetzestexte/de/download/bauen/leitfaden_baunebenrecht.pdf. [Zugriff am 16 07 2015].
- [74] Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr Thüringen, *Thüringer*

Bauvorlagenverordnung (ThürBauVorIVO), Erfurt, 2010.

- [75] Landesgesetz, *Mecklenburg-Vorpommern Bauvorlagenverordnung - BauVorIVO M-V*, Schwerin, stand 2006.
- [76] Serviceportal Niedersachsen, „Lagepläne,“ [Online]. Available: <http://buergerservice.niedersachsen.de/portal/?PSTCATID=8663716&SEARCHTYPE=PST&SOURCE=PstCategoryView&PSTID=8702837>. [Zugriff am 06 April 2015].
- [77] Freie Hansestadt Bremen, *Bremische Bauvorlagenverordnung - BremBauVorIV*, Bremen, 2010.
- [78] Freie und Hasestadt Hamburg, *Hamburg Bauvorlagenverordnung - BauVorIVO*, Hamburg, 2010.
- [79] Land Hessen, *Hessische Bauvorlagenverordnung - BauVorIVO*, Wiesbaden, 1994.
- [80] Justizministerium Saarland, *Bauvorlagenverordnung Saarland - BauVorIVO*, Saarbrücken, 2004.
- [81] Ministerium der Jusitz und für Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, *Landesverordnung über Bauunterlagen und die bautechnische Prüfung (BauuntPrüfVO)*, Mainz, 2010.
- [82] Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen, *Verordnung über bautechnische Prüfungen NRW - BauPrüfVO*, Düsseldorf, 2015.
- [83] Verschiedene Ministerien des Landes Nordrhein-Westfalen, „Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung,“ [Online]. Available: http://www.mbwsv.nrw.de/service/downloads/Bauen/windenergieerlass/1-Winderlass11_07_2011Endf.pdf. [Zugriff am 16 07 2015].
- [84] Bayerische Staatsregierung, *Verordnung über Bauvorlagen und bauaufsichtliche Anzeigen Bauvorlagenverordnung Bayern - BauVorIV*, München, 2007.
- [85] Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, *Verfahrensverordnung zur Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBOVVO)*, Stuttgart, 1995.
- [86] OSZ Lise-Meitner, „Webcam,“ [Online]. Available: <http://osz-lise-meitner.eu/index.php/webcam-auf-dem-dach>. [Zugriff am 16 07 2015].

- [87] Klüver und Schulz, „EXPERIMENTIERKOFFER WINDENERGIE – KOMPLETT,“ [Online]. Available: <http://www.klueverundschulz.de/experimentierkoffer-windenergie-komplett.html>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [88] Lemo Solar, „Experimentierkoffer,“ [Online]. Available: <http://www.lemo-solar.de/shop/experimentierkoffer.php>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [89] Arnulf Betzold GmbH, „Betzold Windkraft-Bausatz,“ [Online]. Available: <https://www.betzold.at/prod/83931/>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [90] RWE Deutschland GmbH - Bildung mit Energie, „Lernen aus dem Koffer – Experimentieren und Forschen,“ [Online]. Available: <http://www.3male.de/web/cms/de/1545450/schule/materialien-fuer-kindergarten-schule/experimentierkoffer/?set=45128;Essen>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [91] Stadtwerke Bochum, „Bildungskonzept - Experimentierkoffer,“ [Online]. Available: <http://www.stadtwerke-bochum.de/privatkunden/unternehmen/engagement/schulkooperationen/experimentierkoffer.html>. [Zugriff am 15 07 2015].
- [92] Badenova, „EXPERIMENTIERKOFFER,“ [Online]. Available: https://www.badenova.de/web/de/ueberbadenova/engagement/bildung/energie_in_der_schule/experimentierkoffer/Experimentierkoffer.html. [Zugriff am 16 07 2015].
- [93] Lehrmittel Reinhold, „Wind und Wetter - Experimentierbox,“ [Online]. Available: <http://www.lehrmittel-reinhold.de/cgi-bin-reinhold/shop/shop.pl?shop=web1554-h&w=1282035513&sp=de&shopvorschau=&SID=&kat=01911&Artikel=000000004466>. [Zugriff am 16 07 2015].
- [94] leXsolar GmbH, „Shop,“ [Online]. Available: <http://www.lexsolar.de/index.php?boxleft=3b>. [Zugriff am 29 07 2015].
- [95] Wikipedia, „Prinzip des Savonius-Rotors im Querschnitt,“ [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Savonius_Querschnitt.png. [Zugriff am 30 07 2015].