

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN
Studienrichtung Bauökologie und Umweltschutz

„Umweltwirkungen von Windenergieanlagen“

- Analyse, Bewertung, Empfehlungen -

Diplomarbeit

eingereicht von:

Martin Schramm

Martin.Schramm@gmx.net

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. habil. H.- G. Coers

Prof. Dr.-Ing. habil. H.- B. Horlacher

am 27. August 2001.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Bauingenieurwesen

Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

in der Studienrichtung Bauökologie und Umweltschutz
Name des Diplomanden Martin Schramm, geb. am 08.12.1975
Thema: Umweltwirkungen von Windenergieanlagen

Zielsetzung:

Die Novellierung des Energieeinspeisegesetzes hat einen Entwicklungsschub im Bau von Windenergieanlagen zur Folge, der in der öffentlichen Debatte zu kritischer Auseinandersetzung aus Gründen des Umwelt- und Naturschutzes geführt hat.

Herr Schramm hat die Aufgabe, die Umweltwirkungen von Windkraftanlagen an charakteristischen deutschen Binnenlandstandorten vergleichend zu untersuchen. Dabei sind sowohl Beeinträchtigungen der Funktionen Wohnen und Erholen des Menschen als auch Auswirkungen auf Fauna, Flora und die Landschaft zu berücksichtigen.

Der Nutzung von immer größeren und leistungsfähigeren Windkraftanlagen (1,5 - 2 MW) soll hierbei besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Schwerpunkte der Aufgabe sind:

- Wirkungskettenanalyse und Bewertung der Umweltwirkungen von Windkraftanlagen
- Klassifizierung charakteristischer Binnenlandstandorte und die Bewertung ihrer Eignung für Windenergieanlagen nach der Ökologischen Risikoanalyse unter Berücksichtigung der Eingriffsregelung
- Nachweis der Anwendbarkeit der Klassifizierungsmethodik anhand vertiefter Untersuchungen ausgewählter Beispielstandorte
- Empfehlungen für die Genehmigungspraxis von Windkraftanlagen unter Umweltaspekten

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Coers
Prof. Dr.-Ing. habil. Horlacher



Ausgehändigt am: 11.05.2001

Verantwortlicher Hochschullehrer

Einzureichen am: 11.08.2001

Prof. Dr.-Ing. habil. Coers

Thesen zur Arbeit

- Die Umweltwirkungen von Windenergieanlagen können mit Hilfe von Wirkungsanalysen ermittelt und beschrieben werden.
- Baubedingte Umweltwirkungen treten im Vergleich zu den betriebs- und anlagebedingten Umweltwirkungen zurück.
- Charakteristische Umweltwirkungen von Windenergieanlagen können:
 - die Beeinträchtigung der Avifauna,
 - die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes sein.
- Aufgrund der Schallemissionen und dem periodischen Schattenwurf bestehen Nutzungskonflikte zwischen den Standorten von Windenergieanlagen und Siedlungsflächen sowie Erholungsräumen.
- Die Ökologische Risikoanalyse ist grundsätzlich als Bewertungsmethode geeignet, um die Eignung von Standorten für die Windenergie aus der Sicht des Umweltschutzes zu ermitteln.
- Für die Anwendung der Eingriffsregelung im Rahmen der Genehmigungsverfahren sind einheitliche Bewertungsverfahren von Vorteil. Bisher ist dieser Bereich noch von einer großen Methodenvielfalt gekennzeichnet.
- Ein weiterer Ausbau der Windenergienutzung, der ökologisch und sozial verträglich sein soll, muss mit sorgfältiger Standortplanung einhergehen, da Windenergieanlagen nicht überall umweltverträglich sind.
- Die, für eine solche Standortplanung zu berücksichtigenden, Punkte sind in der vorliegenden Arbeit ansatzweise aufgezeigt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Einleitung	8
2 Nutzung von Windenergie.....	10
2.1 Einführung	10
2.2 Entwicklung und Potentiale der Windenergienutzung	12
2.2.1 Historischer Abriss der Windenergienutzung	12
2.2.2 Entwicklung der letzten Jahre und Potentiale in Deutschland.....	13
2.3 Bauart von Windenergieanlagen	18
2.3.1 Rotor und Rotornabe	20
2.3.2 Maschinenhaus mit Antriebsstrang – Generator und Getriebe	20
2.3.3 Turm	21
2.3.4 Fundament	22
2.3.5 Netzanschluss	23
2.4 Energiebilanz und Recycling von Windenergieanlagen.....	23
3 Analyse der Umweltwirkungen von Windenergieanlagen	26
3.1 Einführende Bemerkungen	26
3.1.1 Zu Betrachtende Umwelt-Schutzgüter.....	26
3.1.2 Methode zur Beschreibung und Ermittlung der Umweltwirkungen.....	32
3.2 Baubedingte Umweltwirkungen	34
3.2.1 Baustelleneinrichtung	35
3.2.2 Fundamenterstellung und Errichtung von Betriebsgebäuden	35
3.2.3 Bau von Zufahrts- und Erschließungswegen.....	36
3.2.4 Betrieb von Baumaschinen und Fahrzeugen	36
3.2.5 Zusammenfassung der baubedingten Umweltwirkungen.....	37
3.3 Anlagebedingte Umweltwirkungen	38
3.3.1 Zufahrts- und Erschließungswege.....	38
3.3.2 Fundament	39
3.3.3 Externe Bauwerke	39
3.3.4 Mast und Rotor.....	40
3.3.5 Zusammenfassung der anlagebedingten Umweltwirkungen.....	44
3.4 Betriebsbedingte Umweltwirkungen	45
3.4.1 Rotordrehung	45
3.4.2 Besucherverkehr	56
3.4.3 Wartungs- und Servicearbeiten.....	56
3.4.4 Zusammenfassung der betriebsbedingten Umweltwirkungen.....	56

3.4.5	Gefahrenpotential durch Störfälle an Windenergieanlagen.....	57
3.5	Zusammenfassung der möglichen Umweltwirkungen	59
3.5.1	Umweltwirkungen auf das Schutzgut Avifauna	59
4	Bewertungsmöglichkeiten der Umweltwirkungen an Binnenlandstandorten ...	64
4.1	Bewertungsmethoden.....	64
4.2	Methode der Ökologischen Risikoanalyse.....	66
4.3	Bewertung von Standorten für beispielhafte Schutzgüter.....	68
4.3.1	Einleitung.....	68
4.3.2	Schutzgut Landschaftsbild.....	68
4.3.3	Schutzgut Mensch	81
4.3.4	Sachgut Erholungsnutzung der Landschaft.....	86
4.3.5	Schutzgut Avifauna (Rast- und Brutvögel)	90
4.4	Anwendungsmöglichkeiten der Bewertungsverfahren.....	95
4.4.1	Anwendung im Planungsprozess	95
4.4.2	Kritische Analyse der vorgestellten Bewertungsverfahren	96
5	Windenergiestandorte im Binnenland – Beispiele	98
5.1	Beispiel 1 – Bärenbrück.....	98
5.1.1	Projektbeschreibung.....	98
5.1.2	Ermittlung und Bewertung von Beeinträchtigungen der Umwelt	99
5.1.3	Berücksichtigung der Umweltwirkungen im Planungsprozess	102
5.2	Beispiel 2 – Wangenheim-Hochheim.....	103
5.2.1	Projektbeschreibung.....	103
5.2.2	Ermittlung und Bewertung von Beeinträchtigungen der Umwelt	103
5.2.3	Berücksichtigung der Umweltwirkungen im Planungsprozess	106
5.3	Beispiel 3 – Windpark Kleptow/ Klockow.....	108
5.3.1	Projektbeschreibung.....	108
5.3.2	Ermittlung und Bewertung von Beeinträchtigungen der Umwelt	108
5.3.3	Berücksichtigung der Umweltwirkungen im Planungsprozess	111
6	Empfehlungen für die Planungs- und Genehmigungspraxis	113
6.1	Ausschlussgebiete.....	113
6.2	Regionalplanung.....	114
6.3	Bauleitplanung.....	115
6.4	Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung.....	116
6.4.1	Vermeidungs- und Minderungsgebot	117
6.4.2	Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen.....	118
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	120
8	Literaturverzeichnis.....	123

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland bezogen auf die jährlich neu installierte und kumulierte Leistung sowie eine Prognose bis 2005 (REHFELDT et. al. 2001, 94).....	13
Abbildung 2: Anteil unterschiedlicher Anlagengrößenklassen an der jährlich neu installierten Leistung aus WEA in Deutschland (REHFELDT et. al. 2001, 19).....	14
Abbildung 3: Entwicklung der errichteten Anlagenanzahl mit einer Prognose bis 2005 (REHFELDT et. al. 2001, 96).....	14
Abbildung 4: Entwicklung und Prognose des potentiellen Jahresenergieertrages von Windenergieanlagen und ihr Beitrag zum Netto-Stromverbrauch in Deutschland (REHFELDT et. al. 2001, 96).....	15
Abbildung 5: Regionale Verteilung der Windenergienutzung in Deutschland Ende des Jahres 2000 (verändert nach REHFELDT et.al. 2001, 57).....	16
Abbildung 6: Prognose für die Windenergienutzung an Land bis 2030 ((REHFELDT et. al. 2001, 102).....	17
Abbildung 7: Schematische Darstellung einer WEA (KALTSCHMITT 1995, 238).....	19
Abbildung 8: Komponenten und Baugruppen einer Windenergieanlage des Typs VESTAS V15-55 (GASCH 1996, 33).....	20
Abbildung 9: Schnitt durchs Maschinenhaus der E 40 (ENERCON).....	21
Abbildung 11: KEA für Herstellung und Betrieb für unterschiedliche Referenzstandorte und Nabenhöhen (PICK et al. 1998, 54).....	23
Abbildung 12: Verhältnis der Schutzgüter von BNatSchG und UVPG (nach Köppel, 1998, 30).....	27
Abbildung 13: Überblick über die Wechselbeziehungen zwischen den Schutzgütern des UVPG (SCHOLLES 1997, 180).....	31
Abbildung 14: Schema zur Analyse der Wirkfaktoren des Vorhabens Errichtung und Betrieb von WEA.....	33
Abbildung 15: Fundament einer WEA der 1,5 MW-Klasse im Windpark Kleptow/ Klockow.....	35
Abbildung 16: Baubedingte Wirkfaktoren auf die Schutzgüter (eigene Darstellung).....	37
Abbildung 17: Windpark Rabenstein und WEA Zwönitz.....	39
Abbildung 18: Anlagebedingte Wirkfaktoren auf die Schutzgüter (eigene Darstellung).....	44
Abbildung 19: Schattenwurf des Rotors einer WEA auf die Umgebung (MANUAL WINDPRO UMWELTBERECHNUNG 1998, 20).....	46
Abbildung 20: Schattenpunkte der Rotoroberkanten einer WEA mit einer Gesamthöhe von 100 m für ein ganzes Jahr in 10-Minuten-Schritten (OSTEN/ PAHLKE 1998, 7).....	47
Abbildung 21: Prozentualer Anteil der vom Rotorblatt verdeckten Sonnenfläche in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Betrachter und Blattsegment für verschiedene Blatttiefen. (OSTEN/ PAHLKE 1998, 10).....	48
Abbildung 22: Schalldruckpegel bei Ausgangssituation und schalloptimiertem Betrieb nach Kennfeldmodifikation der Steuerung (SCHÄLLIG 1998B, 131).....	53
Abbildung 23: Schalleistungspegel einiger WEA (eigene Zusammenstellung).....	53
Abbildung 24: Betriebsbedingte Wirkfaktoren auf die Schutzgüter (eigene Darstellung).....	56
Abbildung 25: Abstand Nahrung suchender Blässgänse zum Windpark Holtgaste (KRUCKENBERG et al. 1998, 424).....	62
Abbildung 26: Aggregationsschritte der Ökologischen Risikoanalyse.....	66
Abbildung 27: Ablaufschema zur Ermittlung des Risikos der Landschaftsbildbeeinträchtigung.....	69
Abbildung 28: Wirkzonen für Windenergieanlagen (GALLER 2000, 44).....	69

Abbildung 29: Präferenzmatrix zur Ermittlung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit in einer Landschaftseinheit bei Errichtung von Windenergieanlagen.	75
Abbildung 30: Theoretische vertikale Betrachtungswinkel verschiedener WEA.	77
Abbildung 31: Ermittlung des Beeinträchtigungsrisikos.	81
Abbildung 32: Ablaufschema zur Ermittlung des Risikos der Beeinträchtigung der Erholungsnutzung.	87
Abbildung 33: Aggregation zur Beeinträchtigungsempfindlichkeit.	89
Abbildung 34: Aggregierung von avifaunistischer Bedeutung und eingriffsspezifischer Veränderungsempfindlichkeit (verändert nach REICHENBACH 1999, 20).	92
Abbildung 35: Lage der Außenhalde Bärenbrück (ohne Maßstab!).	98
Abbildung 36: WEA auf der Außenhalde Bärenbrück (OELKER, J.).	101
Abbildung 37: Lage des Windfeldes Wangenheim-Hochheim (ohne Maßstab).	103
Abbildung 38: Lage der Windenergieanlagen im Windfeld Wangenheim-Hochheim (ohne Maßstab).	104
Abbildung 39: Visualisierung des Windparks Wangenheim/ Hochheim (Ingenieurbüro Kuntzsch 1998).	105
Abbildung 40: Lageplan des gesamten Windfeld Uckermark mit dem blau gekennzeichneten Windpark Kleptow/ Klockow (ohne Maßstab).	108

Tabellen

Tabelle 1: Entsorgungsmöglichkeiten von WEA (KEHRBAUM 1995, 36).	24
Tabelle 2: Energetische Kenngrößen der untersuchten Anlagen (PICK et al. 1998, 54).	25
Tabelle 3: Definition der Wertstufen für die einzelnen Kriterien der Ästhetische Qualität (eigene Zusammenstellung nach GALLER 2000, 60 und DEMUTH 2000, 155).	72
Tabelle 4: Verknüpfungsschema zur Ermittlung der Ästhetischen Qualität (nach WENZEL et al. 1995, 57).	72
Tabelle 5: Definitionen der einzelnen Wertstufen der Visuellen Empfindlichkeit (nach DEMUTH 2000, 164).	74
Tabelle 6: Aggregation der Wertstufen der Visuellen Empfindlichkeit.	75
Tabelle 7: Vertikale Betrachtungswinkel für verschiedene Windenergieanlagen.	76
Tabelle 8: Vorschlag zur Ermittlung der Beeinträchtigungsintensität auf das Landschaftsbild.	78
Tabelle 9: Aggregationsvorschrift für das Beeinträchtigungsrisiko Landschaftsbild.	80
Tabelle 10: Beeinträchtigungsrisiko Landschaftsbild.	80
Tabelle 11: Empfindlichkeit gegenüber Schall- und Schattenemissionen.	82
Tabelle 12: Immissionsrichtwerte nach Abschnitt 6.1 der TA Lärm.	83
Tabelle 13: Beeinträchtigungsintensität durch Schallimmissionen.	84
Tabelle 14: Beeinträchtigungsintensität durch periodischen Schattenwurf.	85
Tabelle 15: Risiko der Beeinträchtigung durch periodischen Schattenwurf.	86
Tabelle 16: Risiko der Beeinträchtigung durch Schallimmissionen.	86
Tabelle 17: Bewertung der infrastrukturellen Ausstattung zur Erholungsnutzung.	88
Tabelle 18: Kategorien der ästhetischen Qualität einer Landschaftseinheit.	88
Tabelle 19: Aggregationsvorschrift für die Eignung zur Erholungsnutzung.	89
Tabelle 20: Vorschlag zur Einstufung der Empfindlichkeit von Räumen gegenüber Windenergieanlagen in Abhängigkeit von der avifaunistischen Ausstattung (REICHENBACH 1999, 19).	92

Abkürzungsverzeichnis

BauGB	Baugesetzbuch
BbgNatSchG	Brandenburger Naturschutzgesetz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
GOP	Grünordnungsplan
KEA	kumulierter Energieaufwand
LBP	Landschaftspflegerischer Begleitplan
ÖRA	Ökologische Risikoanalyse
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
WEA	Windenergieanlage
WKA	Windkraftanlage

1 Einleitung

Das letzte Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts war geprägt von Schlagworten wie: „Klimawandel“, „Treibhauseffekt“, „Ressourcenverbrauch“, „Agenda 21“, „Nachhaltige Entwicklung“, „regenerative Energien“, „Solarzeitalter“. In der gesellschaftlichen Debatte sind die globalen Dimensionen der weltweiten Ausbeutung von Ressourcen, zur Mehrung des Wohlstandes eines geringen Teiles der Erdbevölkerung, zu einem wichtigen Thema geworden.

Die ökologischen Folgen des Industriezeitalters sind nicht spurlos an der Natur vorübergegangen. Mit ersten Anzeichen von Klimaveränderungen durch anthropogen verursachte Emissionen von Treibhausgasen und dem Bewusstsein der Endlichkeit der Vorräte an fossilen Energieträgern wird die Menschheit derzeit konfrontiert.

Die verstärkte Nutzung von regenerativen Energien spielt bei der Erneuerung unseres Wirtschaftens, Denkens und Handelns hin zu einer Nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle.

Regenerative Energien können einerseits helfen, mit unseren endlichen Ressourcen schonender umzugehen, andererseits kann durch ihre Nutzung die Belastung der Umwelt mit Schadstoffen und anthropogen verursachten Treibhausgasen verringert werden. Die Nutzung der Windenergie kann als ein Baustein im System der verwendbaren regenerativen Energien dazu beitragen.

In Deutschland wird die Nutzung von regenerativen Energien politisch gefordert und durch gesetzgeberische Maßnahmen unterstützt. Dadurch konnte in den letzten Jahren ein stetig wachsender Ausbau der Windenergienutzung stattfinden.

Die Aufstellung von Windenergieanlagen fand in den windreichen Küstenregionen ihren Anfang. Technische Neuerungen und die gesetzgeberische Förderung durch das Strom-einspeisungsgesetz und später dem Erneuerbare-Energien-Gesetz ermöglichten die wirtschaftliche Nutzung von Windenergie auch im Binnenland. Während 1991 in Deutschland ca. 200 MW installierte Nennleistung zu verzeichnen war, waren zum Ende des Jahres 2000 die mehr als 30fache Menge von 6100 MW Nennleistung installiert.

Windenergieanlagen sind aber nicht nur umweltschonende Energielieferanten, sie sind auch als bauliche Anlage ein Eingriff in Natur und Landschaft mit den möglichen negativen Folgen für die Umwelt.

In der breiten Öffentlichkeit wird über die Nutzung von Windenergie derzeit eine heftige Debatte geführt. Dabei haben auch die möglichen Beeinträchtigungen und Gefährdungen von Mensch, Naturhaushalt und Landschaft durch die Umweltwirkungen von Windenergieanlagen eine hohen Stellenwert.

In dieser Arbeit sollen die Umweltwirkungen von Windenergieanlagen an Binnenlandstandorten analysiert und bewertet werden. Aus den Ergebnissen der Analyse und Bewertung lassen sich Empfehlungen für die Planungs- und Genehmigungspraxis entwickeln.

Im ersten Teil der Arbeit wird eine Einführung in die Thematik der Nutzung von Windenergie gegeben. Dabei werden technische Grundlagen, bisherige Entwicklungen und zukünftige Potentiale der Windenergienutzung in Deutschland vorgestellt. Die Bauarten und Bauteile von Windenergieanlagen sowie die Energiebilanz, unter Berücksichtigung von Recyclingmöglichkeiten, werden weitere betrachtete Punkte sein.

Im Anschluss daran, erfolgt in Kapitel 3 die Analyse und Beschreibung der Umweltwirkungen von Windenergieanlagen anhand von Wirkungsanalysen. Die einzelnen Wirkfaktoren, ihre Wirkungen und mögliche Beeinträchtigungen von Mensch und Umwelt werden beschrieben, aber auch bereits Vermeidungs- und Minderungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Mit Hilfe der Methode der Ökologischen Risikoanalyse soll im 4. Kapitel versucht werden, für vier beispielhafte Schutzgüter ein Bewertungsverfahren zu entwickeln, mit dem eine Bewertung und Klassifizierung von Standorten hinsichtlich ihrer Eignung zur Nutzung von Windenergie möglich ist.

Drei Beispiele von Windenergiestandorten im Binnenland werden im Kapitel 5 vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Ermittlung und Bewertung der Umweltwirkungen im Planungsprozess und die Berücksichtigung dieser Ergebnisse in der Projektumsetzung. Die Empfehlungen für die Planungs- und Genehmigungspraxis am Ende dieser Arbeit sollen Möglichkeiten aufzeigen, wie ein weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Einklang mit Mensch, Natur und Landschaft durchsetzbar ist.

Dank geht für die Anregungen und stetige Gesprächsbereitschaft, an die Mitarbeiter der Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH und der BOREAS-Gruppe. Ebenso bestand jederzeit die Möglichkeit, in den Planungsunterlagen zahlreicher Windenergieprojekte der beiden Firmen zu recherchieren, was die Auseinandersetzung mit dem Thema sehr bereichert hat.

2 Nutzung von Windenergie

2.1 Einführung

Wind ist bewegte Luft. Er entsteht durch die Ausgleichsbewegungen zwischen verschiedenen stark erwärmten Gebieten, den Hoch- und Tiefdruckgebieten.

Die Leistung (P) des Windes ist abhängig von der Luftdichte (ρ), der Windgeschwindigkeit (v) und der durchströmten Fläche (F) mit folgenden Zusammenhängen:

$$P = \frac{1}{2} \rho * v^3 * F$$

Anhand der Formel ist erkennbar, dass der entscheidende Faktor für die Leistung des Windes die Windgeschwindigkeit ist, da sie in der dritten Potenz eingeht.

Durch Reibungswiderstände (Rauigkeit) der Geländeoberfläche werden Luftbewegungen abgeschwächt. Die Abnahme ist umso stärker, je größer die Rauigkeit der Geländeoberfläche ist. Verschiedene Oberflächenstrukturen (Meer, Wiese, Wald, Bebauung) weisen unterschiedliche Rauigkeiten auf. Daher ist, aufgrund des vergleichsweise geringen Reibungsverlustes, die Windgeschwindigkeit über der See am größten. Mit zunehmender Höhe nimmt der Einfluss dieser Oberflächenrauigkeit ab.

Neben den Auswirkungen der Bodenoberfläche können auch einzelne größere Hindernisse und orographische Gegebenheiten starken Einfluss auf die Windstruktur nehmen. Diese Störungen können positive (z.B. Geschwindigkeitsüberhöhungen über Hügeln und Bergrücken), als auch negative Effekte (Abschattung und starke Turbulenz durch große Hindernisse) hervorrufen (vgl. MOLLY 1990).

Windenergieanlagen (WEA) entziehen dem Wind die kinetische Energie, wandeln sie in mechanische und dann über Generatoren in elektrische Energie um. Von BETZ wurde bereits im Jahre 1926 das Verhältnis der maximal entziehbaren mechanischen Leistung zu der im Windstrom vorhandenen mechanischen Leistung ermittelt. Die Geschwindigkeit des Windes kann nicht gänzlich abgebremst werden, da sonst ein Luftstau entstehen würde. Deshalb liegt der maximale theoretische Wirkungsgrad der Umwandlung der kinetischen Energie in mechanische Energie bei 0,593 (vgl. BETZ 1926). Derzeit werden bei der Umwandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie, aufgrund von Leistungsverlusten, in der Praxis Wirkungsgrade von 0,3 bis 0,35 erreicht.

Die entscheidende Größe zur wirtschaftlichen Nutzung von Windenergie ist die Windgeschwindigkeit. Denn eine um 10% höhere Windgeschwindigkeit entspricht einer um 30% höheren Windleistung (vgl. GASCH 1996). In Deutschland sind insbesondere in den Küstenregionen und in den Hochlagen der Mittelgebirge im Binnenlandes die Windverhältnis-

se besonders günstig. Aber auch in anderen Regionen des Binnenlandes ist es möglich, Windenergieanlagen erfolgreich und wirtschaftlich zu betreiben, wenn die Besonderheiten der Windverhältnisse in mäßig bis stark gegliedertem Gelände bei der Standortplanung berücksichtigt werden. Vor allem Winde, die von der Höhenstruktur und eventuell lokalen thermischen Effekten beeinflusst werden, sind hier zu beachten. So können die Windverhältnisse – anders als an der Küste – aufgrund der vielgestaltigeren Orographie kleinräumig wechseln.

Da die Windgeschwindigkeit exponentiell mit zunehmender Höhe über Grund anwächst und dies bei den relativ hohen Rauigkeiten im Binnenland umso entscheidender wird, werden hier oftmals Anlagen mit höheren Türmen errichtet.

Aus technischer Sicht ist neben der Anlagenhöhe aber auch die durchströmte Fläche für die Ausbeute an Windenergie entscheidend. Nach der obigen Formel steigt die Leistung linear mit der durchströmten Fläche, die der vom Rotor einer Windenergieanlage überstrichenen Fläche entspricht. Die nutzbare Windenergie wächst damit quadratisch mit dem Durchmesser des Rotors. Über die Länge der Rotorblätter kann somit entscheidend Einfluss auf die nutzbare Leistung des Windes genommen werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Windenergienutzung dann möglich, wenn:

- die Windgeschwindigkeit eine bestimmte durchschnittliche Mindestgeschwindigkeit überschreitet,
- der Netzanschluss zu ökonomisch vertretbaren Kosten herstellbar ist.

Windenergieanlagen werden an Einzelstandorten oder in Windparks errichtet. In Windparks stehen mehrere Anlagen nahe beieinander. Aufgrund des erforderlichen Netzanschlusses und anderweitiger Erschließungseinrichtungen hat die räumliche Konzentration der Anlagen in Windparks gegenüber Einzelstandorten wirtschaftliche Vorteile.

Dabei ist in der Regel mit einem Abschattungseffekt der Anlagen untereinander zu rechnen. Dieser führt zu einer geringeren Energieausbeute der einzelnen Windenergieanlagen. Dadurch kommt es zu einem verminderten Wirkungsgrad des Windparks gegenüber einer gleichen Anzahl an unverschatteten Einzelanlagen. Um einen hohen Parkwirkungsgrad (ca. 95%) zu erreichen, müssen die Anlagen in einem gewissen Mindestabstand zueinander aufgestellt werden. Dieser beträgt in Hauptwindrichtung ca. 5-8 Rotordurchmesser und quer zur Hauptwindrichtung 3-5 Rotordurchmesser. Zum Beispiel beträgt die benötigte Mindestfläche einer Windenergieanlage mit 1,5 MW Nennleistung in einem Windpark ca. 7,5 ha.

2.2 Entwicklung und Potentiale der Windenergienutzung

2.2.1 Historischer Abriss der Windenergienutzung

Die Nutzung des Windes als Energiequelle hat eine jahrtausendalte Geschichte. Bereits 1700 v. Chr. soll Hammurabi die Ebenen Mesopotamiens mit Windrädern bewässert haben. Erste Abbildungen von Windmühlen im Abendland stammen aus dem 12. Jh. (GASCH 1996, 9).

Die technisch ausgereiften Windmühlen fanden in Europa vom Mittelalter bis in das 19. Jh. hinein mit einigen hunderttausend Anlagen weite Verbreitung. In den USA wurden ab der zweiten Hälfte des 19. Jh. vielblättrige Windräder als Stahlkonstruktion ausgeführt. Diese oftmals zum Pumpen von Wasser eingesetzten Mühlen wurden ca. 6 Millionen mal gebaut (vgl. HEIER 1995).

In Europa setzte mit der Verbreitung der Dampfmaschinen und der Elektrizität Ende des 19. Jh. ein Mühlensterben ein.

Im Jahre 1891 wurde von dem Dänen La Cours erstmals elektrische Energie aus Windkraft gewonnen. Die Verbreitung sogenannter Windmotoren, die Wasser pumpen, Maschinen antrieben und elektrischen Strom erzeugten, konnte den Niedergang der Windmühlen allerdings nicht mehr stoppen, da auch im ländlichen Raum die Versorgung mit elektrischer Energie vorangetrieben wurde (vgl. HEYMAN 1997).

In den 30er Jahren des 20. Jh. gab es in Deutschland Diskussionen um sogenannte Großwindkraftwerke, die mit gigantischen Abmessungen riesige Mengen an Energie erzeugen sollten. Diese phantastischen Entwürfe, die vor allem von Hermann Honnef stammten, wurden allerdings nie verwirklicht.

Nach dem 2. Weltkrieg wurden in vielen Ländern Europas umfangreiche Forschungen zur Nutzung von Windenergie durchgeführt. Dabei entstanden mehrere erfolgreich laufende Windenergieanlagen mit Nennleistungen um 100 bis 200 kW. Windpioniere dieser Zeit waren in Deutschland Ulrich Hütter mit seiner W 34 und in Dänemark Johannes Juul mit seiner Anlage in Gedser. Aufgrund der sinkenden Preise für fossile Brennstoffe und der Nutzung der Kernenergie sank aber in den 60er Jahren das Interesse an der Nutzung der Windenergie (vgl. ebenda).

Bedingt durch die Ölkrise der 70er Jahre und den zunehmenden öffentlichen Widerstand gegen die Kernenergie, wuchs das Interesse wieder. Die daraufhin aufgelegten Förderprogramme der 70er und frühen 80er Jahre beschäftigten sich mit der Entwicklung von Großanlagen mit mehreren Megawatt Nennleistung. Die größte Anlage dieser Zeit war die gescheiterte GROWIAN mit 3 MW Nennleistung. Die Anlage kostete 90 Millionen DM, lief aber in den 4 Jahren bis zur Stilllegung 1987 nur 420 Stunden. Das zum Teil sogar verlo-

rengegangene Wissen und die Erfahrungen mit den kleinen Anlagen der 50er Jahre konnte nicht ohne weiteres auf solch große Anlagen angewandt werden (vgl. ebenda).

Ein anderes Konzept hatte mehr Erfolg. Vor allem in Dänemark begannen Bastler und Tüftler kleine Anlagen mit ca. 10 bis 50 kW Nennleistung zu entwickeln. Aus diesen entwickelten sich die größeren, weltweit erfolgreichen Anlagen des sogenannten dänischen Designs mit einer Nennleistung um 300 kW. In den 80er Jahren wurden in den USA, aufgrund der dortigen Subventionierung, tausende dieser Anlagen errichtet (vgl. HEYMANN 1997, HEIER 1995).

In Deutschland setzte der, durch Förderprogramme ausgelöste Boom, der Windenergie 1989 ein. Mit der 1991 geregelten Einspeisevergütung nahm die rasante Entwicklung der Windenergietechnik in Deutschland ihren Anfang. Mit dem Wachstum von den ersten 100 kW-Anlagen bis zu den heutigen Serienanlagen der 2 MW-Klasse und den derzeit entwickelten Prototypen der 5 MW-Anlagen wird wieder die Größendimension der Multimegawatt-Anlagen erreicht.

2.2.2 Entwicklung der letzten Jahre und Potentiale in Deutschland

Im Januar 1991 ist das Stromeinspeisegesetz in Kraft getreten. Durch die damit geregelte Vergütung und Abnahme des Stroms durch die Energieversorgungsunternehmen wurde die Nutzung der Windenergie in großen Schritten ausgebaut. Denn erstmals war eine wirtschaftliche Nutzung dieser Form der Energiegewinnung möglich.

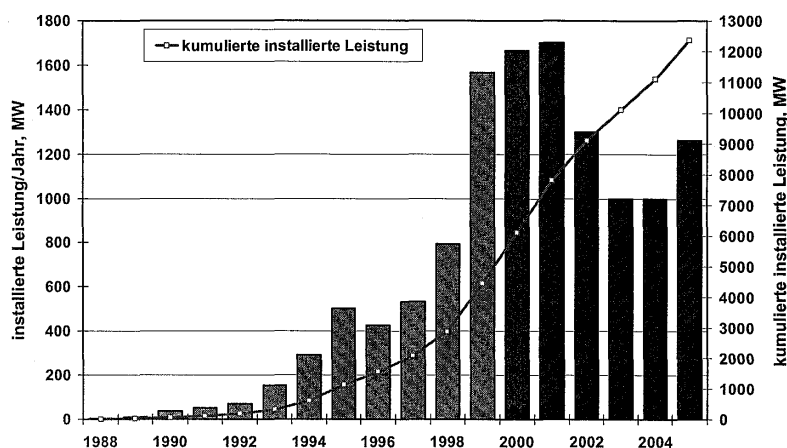


Abbildung 1: Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland bezogen auf die jährlich neu installierte und kumulierte Leistung sowie eine Prognose bis 2005 (REHFELDT et. al. 2001, 94).

Anhand der Abbildung 1 ist die jährlich neuinstallierte Leistung in den letzten 12 Jahren zu erkennen. Mit einer, dem Planungsverlauf geschuldeten, Verzögerung von 2 Jahren setzte der rasante Ausbau 1993 ein. Nach der Privilegierung von Windenergieanlagen im Außenbereich nach § 35 BauGB im Jahre 1997, ist Ende der 90er Jahre ein weiterer Sprung zu verzeichnen. Das enorme Wachstum konnte 2000 allerdings nicht mehr gehalten werden. Während sich 1999 die Menge der neuinstallierten Nennleistung im Vergleich zu 1998 verdoppelte, ist im Jahr 2000, mit 1665 neuinstallierten MW Nennleistung, nur noch ein Zuwachs um 6 % zu verzeichnen.

Mit Stichtag 31.12.2000 waren in Deutschland 9359 Windenergieanlagen mit 6095 MW Nennleistung installiert (vgl. REHFELDT 2001).

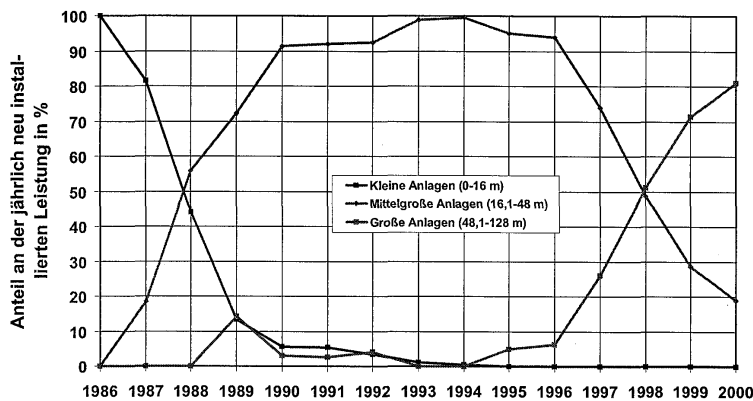


Abbildung 2: Anteil unterschiedlicher Anlagengrößenklassen an der jährlich neu installierten Leistung aus WEA in Deutschland (REHFELDT et. al. 2001, 19).

aber wohl eher im Bereich der Offshore-Windenergienutzung liegen. Die Größe der errichteten Windenergieanlagen hat in den letzten Jahren stetig zugenommen.

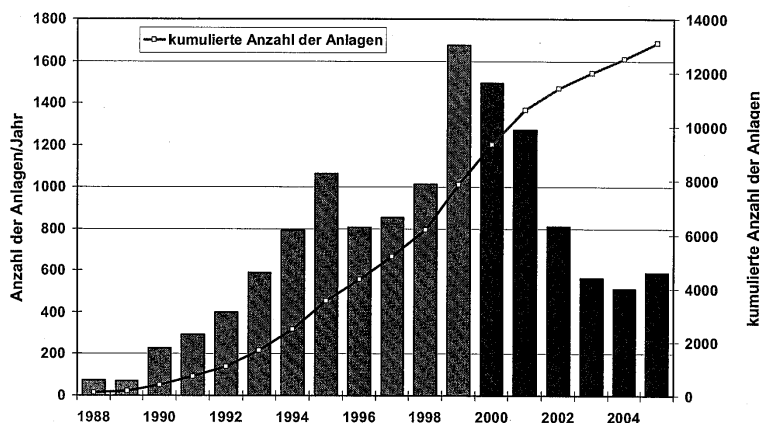


Abbildung 3: Entwicklung der errichteten Anlagenanzahl mit einer Prognose bis 2005 (REHFELDT et. al. 2001, 96).

die Steigerungsrate jährlich 20%. Es werden auch für die nächsten zwei Jahre gleiche Steigerungsraten prognostiziert. Erst danach wird mit Steigerungsraten von 10% im Jahr gerechnet. Im Jahr 2000 hatten die neuinstallierten Anlagen eine durchschnittliche Nennleistung von 1,1 MW und im Jahre 2005 werden es nach Schätzung von REHFELDT et. al. (2001) bereits 2,1 MW pro WEA sein.

Die Anzahl der installierten Windenergieanlagen hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Aufgrund der steigenden Anlagengröße ist das Wachstum niedriger als bei der installierten Leistung. In den nächsten Jahren wird die Anzahl der jährlich neu instal-

Die derzeit produzierten Großanlagen haben eine Nennleistung von 1,5 bis 2,5 MW bei einem Rotordurchmesser um 80m. Die Entwicklung von Prototypen mit einer Nennleistung von 3 bis 5 MW ist bei einigen Herstellern bereits im Gange. Diese Anlagen werden Flügel bis zu ca. 55 m Länge erhalten. Der Einsatz solcher Anlagen wird

Die Anteile der unterschiedlichen Größenklassen an den jährlich neu installierten Anlagen sind in Abbildung 2 dargestellt. Durch diese seit 1996 veränderte Nachfrage nach Großanlagen steigt auch kontinuierlich die durchschnittliche Größe der installierten Anlagen. In den letzten fünf Jahren betrug

lierten Anlagen voraussichtlich stark abnehmen. Ein gewisser Sättigungseffekt ist bereits erreicht. Schon im Jahr 2000 wurden 180 Anlagen weniger als 1999 errichtet (vgl. REHFELDT et. al. 2001).

Mit der Änderung des § 35 BauGB im Jahr 1997 wurde die Privilegierung der Windenergie im Außenbereich festgesetzt. Die Gemeinden haben die Möglichkeit durch die Ausweisung von Sondernutzungsgebieten für Windenergie in den Flächennutzungsplänen diese Privilegierung für das restliche Gemeindegebiet zu umgehen.

Viele Gemeinden, insbesondere diejenigen in windhöffigen Gebieten haben dies bereits getan oder stehen kurz davor. Diese Vorrangflächen werden also derzeit beplant oder bebaut. Dieser Prozess wird wahrscheinlich in 2 bis 3 Jahren abgeschlossen sein. Danach stehen neue Flächen für die Windenergienutzung nur noch in geringerem Maße zur Verfügung (REHFELDT et. al. 2001, 93).

Für 2001 wird noch einmal mit steigenden Werten gerechnet. Es ist mit einer Neuinstallation von 1700 MW zurechnen. In den darauffolgenden Jahren wird die Zahl der neuinstallierten Leistung auf ca. 1000 MW im Jahr zurückgehen, erst mit der beginnenden Errichtung von Offshore-Anlagen ab 2004 bzw. 2005 kann mit einer Kompensation der sinkenden Aufstellungszahlen an Land gerechnet werden.

So wird sich die Anzahl der installierten Windenergieanlagen bis zum Jahr 2005 wahrscheinlich auf lediglich 13100 WEA erhöhen.

REHFELDT et. al. (2001) schätzen in ihrer Prognose für das Jahr 2005 die gesamte installierte Nennleistung der Windenergieanlagen auf 12.350 MW.

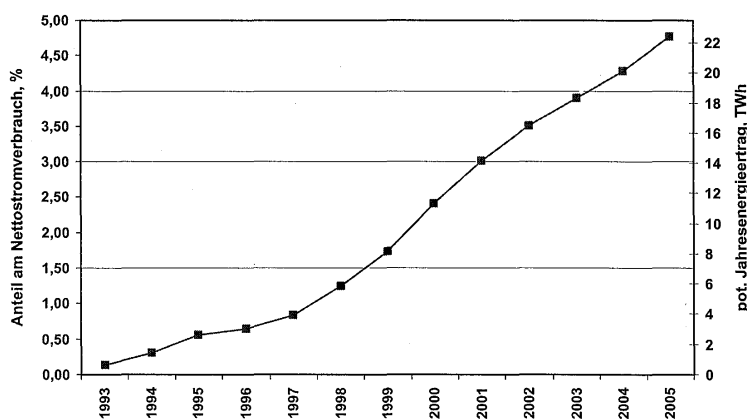


Abbildung 4: Entwicklung und Prognose des potentiellen Jahresenergieertrages von Windenergieanlagen und ihr Beitrag zum Netto-Stromverbrauch in Deutschland (REHFELDT et. al. 2001, 96).

Der Anteil des potentiellen Jahresenergieertrages durch Windenergienutzung ist in den letzten Jahren konstant angestiegen und wächst noch weiter. Dieser potentielle Jahresenergieertrag wird im Jahr 2001 bereits etwa 14 TWh betragen. Das sind 3% des Netto-Stromverbrauchs in Deutschland. In der Untersuchung von REHFELDT et.

al. (2001) wird der potentiellen Jahresenergieertrag nach obiger Prognose für das Jahr 2005 mit 22,7 TWh eingeschätzt. Das wären dann ca. 4,7% des Nettostromverbrauchs in

Deutschland. Damit wird die Nutzung der Windenergie als eine Komponente der regenerativen Energien aus dem Strom-Mix nicht mehr wegzudenken sein.

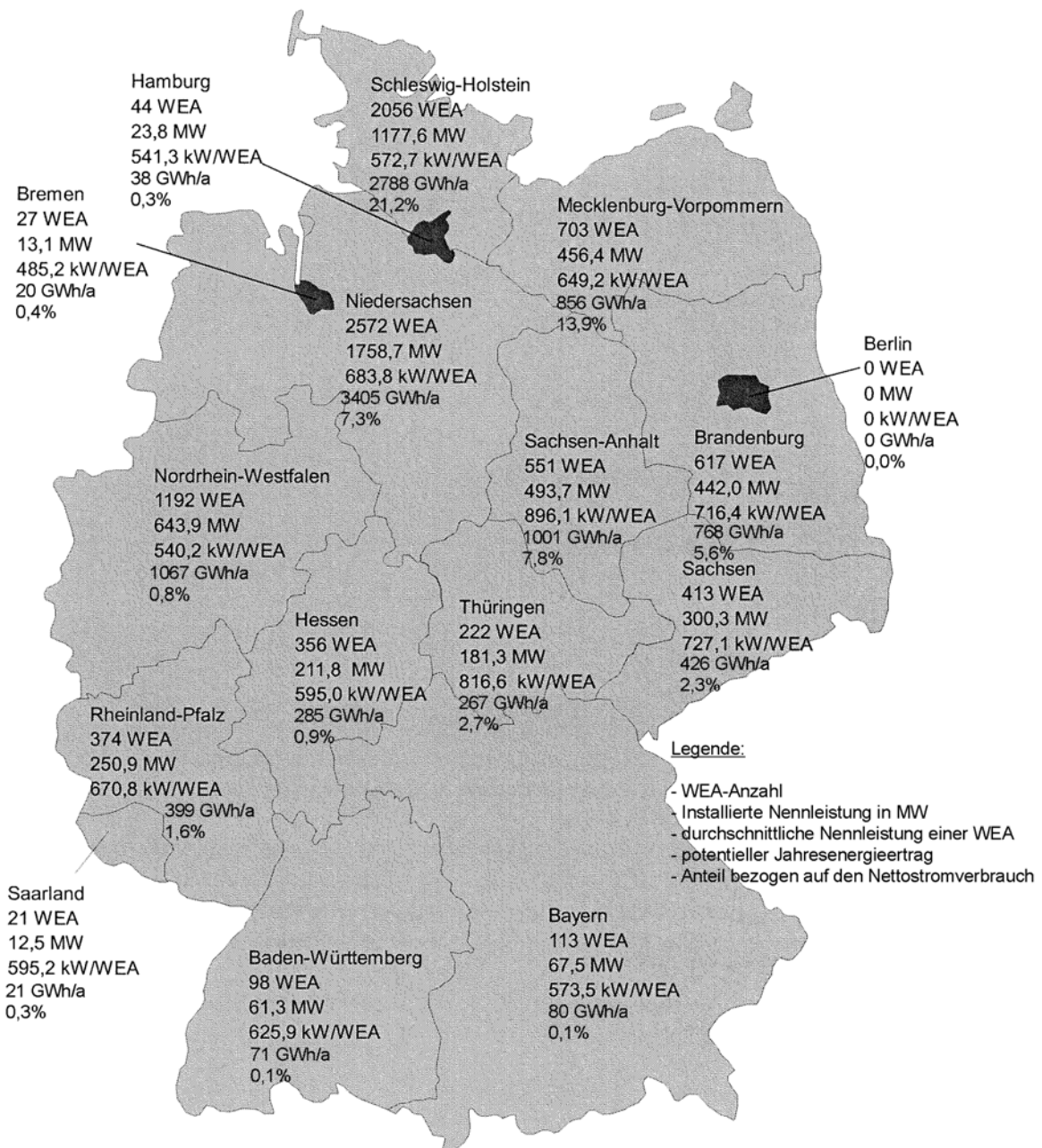


Abbildung 5: Regionale Verteilung der Windenergienutzung in Deutschland Ende des Jahres 2000 (verändert nach REHFELDT et.al. 2001, 57).

Die derzeitige Nutzung von Windenergie ist in den einzelnen Bundesländern recht unterschiedlich. Während in den Küstenregionen das Ausbaupotential (mit Ausnahme Mecklenburg-Vorpommerns) schon weitgehend ausgeschöpft ist, bestehen in den Binnenländern noch Ausbaureserven (REHFELDT et. al. 2001, 57 f.). In der abgebildeten Karte (Abbildung 5) ist die Nutzung der Windenergie in den einzelnen Bundesländer dargestellt. Mehr als die Hälfte der installierten Nennleistung entfällt auf die 5 norddeutschen Bundes-

länder. Dies zeigt die Bedeutung der Küstenregionen für die Nutzung der Windenergie. Aber auch in südlicheren Bundesländern mit windhöffigen Regionen, z.B. im Mittelgebirgsraum ist ein nicht geringer Anteil an Windenergieanlagen errichtet (NRW, Sachsen-Anhalt, Sachsen) worden. Lediglich die Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg mit wenig windhöffigen Standorten, haben einen nur geringen Anteil an der Windenergienutzung in Deutschland.

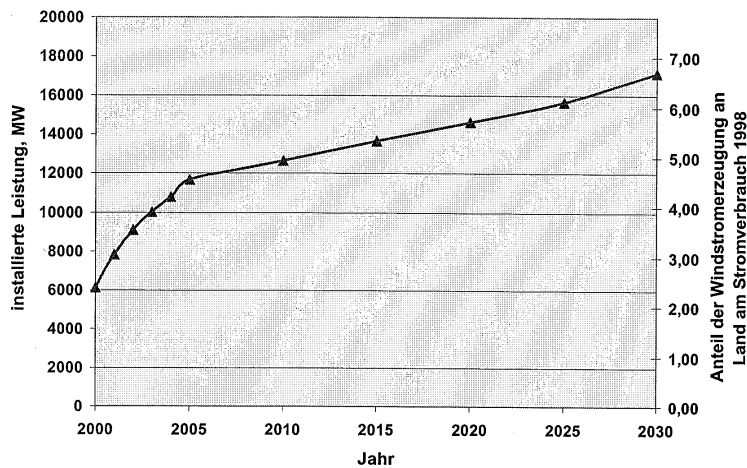


Abbildung 6: Prognose für die Windenergienutzung an Land bis 2030 ((REHFELDT et. al. 2001, 102).

Aufgrund der knapper werdenden Standorte ist nach 2005 nicht mehr mit einem solchen Wachstum der Windenergienutzung an Land – im Gegensatz zu den Offshore-Standorten – zu rechnen. Die Wachstumsprognosen, die REHFELDT et. al. (2001) abschätzen, beruhen auf der Annahme, dass eine weitere Erhöhung der in-

stallierten Nennleistung durch ein Repowering der älteren Anlagen zu Stande kommt. Die angenommene Laufzeit einer Windenergieanlage beträgt ca. 20 Jahre, so dass bis 2030 ein Großteil des heutigen Anlagenparks ersetzt werden muss. Dies bedeutet, dass ältere, kleinere Windenergieanlagen durch größere, leistungsfähigere Anlagen ersetzt werden können. Man schätzt, dass die wahrscheinlich bis 2005 installierten 11600 MW Nennleistung durch die Repoweringmaßnahmen auf 17000 MW bis zum Jahr 2030 gesteigert werden können. Damit besteht die Möglichkeit, dass dann etwa 6,7% des Nettostromverbrauchs durch Windenergie gedeckt werden kann (REHFELDT et. al. 2001).

Es ist erkennbar, dass die Nutzung von Windenergie, trotz des bisher rasanten Wachstums, in den nächsten Jahren noch erhebliche Ausbaumöglichkeiten hat. In Deutschland wird der Ausbau der Nutzung regenerativer Energien mit der Windenergie ein starkes Standbein haben.

Dabei müssen aber auch die Probleme, die bei der Nutzung von Windenergie hinsichtlich der Umweltwirkungen auftreten können und von denen in dieser Arbeit die Rede sein soll, beachtet werden.

2.3 Bauart von Windenergieanlagen

Das Spektrum technischer Ausführungen von Windenergieanlagen ist sehr groß. Es wird hinsichtlich der Bauart, in Anlagen mit horizontaler und vertikaler Drehachse unterschieden. Weiterhin kann nach der Nutzung des Auftriebsprinzips oder des Widerstandsprinzips unterschieden werden (vgl. MOLLY 1990, 81).

Am weitesten verbreitet sind die Anlagen mit horizontaler Drehachse nach dem Auftriebsprinzip, auf diese soll im folgenden näher eingegangen werden.

Bei diesen Anlagen mit horizontaler Drehachse kann nach der Anzahl der Flügel (Ein-, Zwei, Drei- oder Mehrblattrotoren), und nach der Anordnung der Rotoren in Luv oder Lee unterschieden werden.

Die Einteilung solcher Anlagen erfolgt oftmals auch nach ihrer Größe, wobei man sich z.B. am Rotordurchmesser orientiert (vgl. MOLLY 1990, 81 f.). Aufgrund der rasanten Entwicklung in den letzten 10 Jahren sind die Einteilungen in der Literatur in kleine, mittlere und große Anlagen oftmals überholt.

Im folgenden soll die Einteilung der Anlagen anhand der Nennleistung erfolgen, da auf diese, in der weiterführenden Literatur zu den Umweltwirkungen von Windenergieanlagen, immer wieder Bezug genommen wird. Heute wird oftmals von Anlagen kleiner 500 kW, 500 bis 1000 kW und größer 1 MW Nennleistung gesprochen. Derzeit haben sich 1,5 MW Anlagen in der Praxis bewährt, erste 2,5 MW Anlagen sind als Prototypen bereits gebaut. Die durchschnittliche Leistung der im Jahr 2000 neu errichteten Anlagen liegt bei 1113,90 MW Nennleistung (REHFELDT 2001, 53).

Die am weitesten verbreitete Bauart marktüblicher Windenergieanlagen ist die 3-flügelige Horizontalachsenanlage, die als Luvläufer gebaut wird.

Eine solche Anlage kann man in die Baugruppen Turm und Fundament, Rotor, Rotornabe, Maschinenhaus (oder Gondel) mit mechanisch-elektrischem Energiewandler (meist Getriebe, Generator, z.T. Umrichter) und Sicherheitseinrichtungen, Windrichtungsnachführung sowie einer Trafostation als Netzanschluss unterteilen.

Der grundsätzliche Aufbau dieser Anlagen entspricht im wesentlichen dem der schematischen Darstellung in Abbildung 7. Lediglich die Art der Energieumwandlung und der Leistungs- und Drehzahlbegrenzung wird von den Herstellern technisch unterschiedlich gelöst.

Bei einigen Herstellern erfolgt die Energieumwandlung direkt von der Nabe über einen Ringgenerator. Andere Anlagenkonzepte sehen ein Getriebe zur Erhöhung der Drehfrequenz zwischen Nabe und Generator vor.

Die Leistungs- und Drehzahlbegrenzung kann auf zweierlei Art erfolgen:

- Die Rotorblätter von stall-regulierten Windenergieanlagen sind starr mit der Rotornabe verbunden. Anlagen mit Stallregelung werden in der Regel unabhängig von der Windgeschwindigkeit auf nahezu konstanter Drehzahl gehalten. Bei hohen Windgeschwindigkeiten verändern sich die Anströmverhältnisse an den Rotorblättern derart, dass die Strömung am Blattprofil infolge eines sehr steilen Anströmwinkels abreißt. Die Rotorblätter sind so ausgelegt, dass der Strömungsabriss oberhalb der Nennleistung bei zunehmender Windgeschwindigkeit eintritt. Neben dem Auftrieb reduziert sich dabei auch die Leistungsabgabe des Rotors. Stall-Anlagen müssen in der Lage sein, sehr hohen Schubbelastungen standzuhalten, denn ihre Rotorblätter bleiben dem Wind auch bei sehr hohen Geschwindigkeiten voll zugewandt.
- Im Gegensatz zu den stall-regulierten Anlagen sind die Rotorblätter von sogenannten pitch-regulierten Windenergieanlagen drehbar gelagert. Durch Verdrehung der Rotorblätter wird das Anströmverhältnis und damit der Auftrieb so beeinflusst, dass die Leistungsabgabe des Rotors mit Erreichen der Nennleistung konstant bleibt.

Die Blätter drehen sich bei steigender Windgeschwindigkeit kontinuierlich aus dem Wind und reduzieren somit, die auf die WEA wirkenden Lasten. Beim Abschalten von pitch-regulierten Anlagen drehen sich die Blätter aus dem Wind, so dass der Rotor sanft abbremsst.

Einige Hersteller bieten auch Anlagen an, bei denen die Stall- und Pitch-Regelung kombiniert sind (vgl. AN WINDENERGIE, 2001).

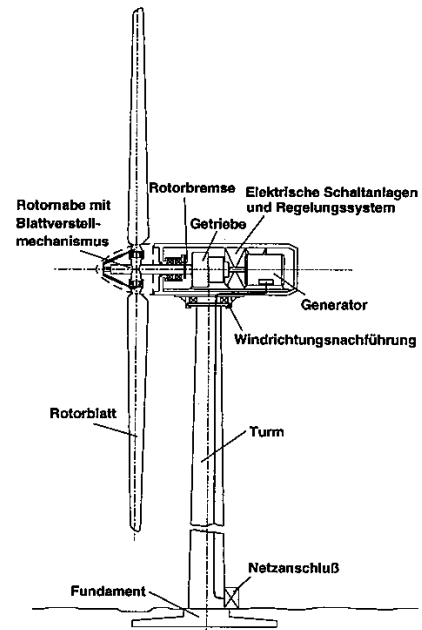


Abbildung 7: Schematische Darstellung einer WEA (KALTSCHMITT 1995, 238)

2.3.1 Rotor und Rotornabe

Wie bereits erwähnt, gibt es WEA mit unterschiedlicher Anzahl an Rotorblättern. Üblich sind derzeit Anlagen mit drei Rotorblättern. Viele Genehmigungsbehörden in Deutschland genehmigen wegen des ruhigeren Laufbildes nur solche Windenergieanlagen. Bei älteren und kleineren Anlagen findet man auch Zweiflügler, eher unüblich sind Anlagen mit nur einem Flügel. Auf die unterschiedlichen technischen und statischen Eigenschaften dieser verschiedenen Typen soll hier nicht näher eingegangen werden. Dreiflüglige Anlagen haben aber eine geringere Drehzahl als Anlagen mit einem oder zwei Flügeln und sind somit leiser (siehe Kapitel 3.4.1.2).

„Moderne Rotorblätter von großen Windkraftanlagen werden aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) hergestellt, z.B. aus glasfaserverstärktem Polyester oder Epoxid. Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung von Kohlefaser oder Aramid (Kevlar), doch gewöhnlich sind solche Blätter für große Anlagen unwirtschaftlich. Holz, Holz-Epoxid oder Holz-Faser-Epoxid-Verbundwerkstoffe sind noch nicht in den Markt eingedrungen, obwohl in diese Richtung noch entwickelt wird“ (DWTMA 2001, <http://www.windpower.org/de/tour/wtrb/blades.htm>).

Die Flügellängen bewegen sich derzeit zwischen ca. 20 m bei 500 kW-Anlagen und 40 m bei 2-2,5 MW-Anlagen. Das Gewicht eines 37,5 m langen Flügels beträgt ca. 5 t.

Bei pitch-geregelten Anlagen sind die Vorrichtungen für die Blattverstellungen in die Aufhängung der Flügel in die Rotornabe integriert.

2.3.2 Maschinenhaus mit Antriebsstrang – Generator und Getriebe

Ebenfalls angesprochen wurden schon die unterschiedlichen Konzepte zur Umwandlung der mechanischen in elektrische Energie.

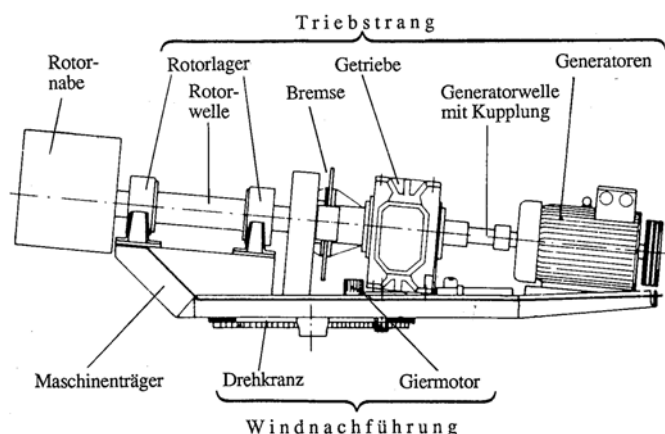


Abbildung 8: Komponenten und Baugruppen einer Windenergieanlage des Typs VESTAS V15-55 (GASCH 1996, 33).

Am weitesten verbreitet ist die Umwandlung der relativ langsamen Drehzahl des Rotors in eine schnelle, dem elektrischen Netz angepassten Drehzahl mit Hilfe eines Getriebes. „Es unterteilt die Antriebswelle in eine „langsame“ und die „schnelle“ Generatorwelle“ (KALTSCHMITT/ WIESE 1995, 242).

Mit der schnellen Antriebswelle wird dann entweder ein Synchron- oder Asynchrongenerator betrieben. Der Aufbau eines solchen Antriebsstranges ist in der Abbildung 8 zu erkennen.

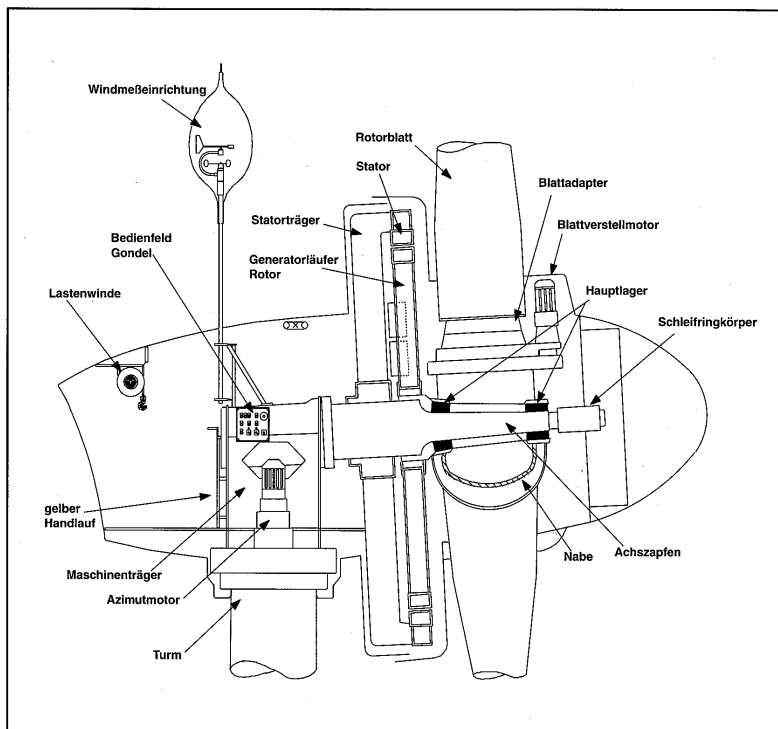


Abbildung 9: Schnitt durchs Maschinenhaus der E 40 (ENERCON).

Eine weitere Möglichkeit ist die direkte Umwandlung der mechanischen Energie der langsamen Rotorwelle in elektrische Energie mit Hilfe eines Ringgenerators. Dieses Konzept hat den Vorteil, dass auf das Getriebe verzichtet werden kann und somit Wartungs- und Reparaturaufgaben sowie Schallquellen wegfallen. Der Aufbau eines Maschinenhauses mit einem solchen getriebelosen Antriebskonzept ist in Abbildung 9 dargestellt.

Das Maschinenhaus sitzt drehbar gelagert auf dem Turm. Um permanent eine optimale Energieausbeute erzielen zu können, wird das Maschinenhaus bzw. die Gondel mit Hilfe eines Nachführungssystems automatisch in die Windrichtung gedreht. Diese Windrichtungsnachführung wird über das Azimutverstellsystem realisiert.

2.3.3 Turm

Aufgrund der mit der Höhe steigenden Windgeschwindigkeit und der somit größer werdenden Energieausbeute ist die Höhe des Turmes mit entscheidend für den Ertrag einer Windenergieanlage. Insbesondere im Binnenland ist dies besonders wichtig, da hier durch die größeren Rauigkeiten der Erdoberfläche die Windgeschwindigkeit und Konstanz mit der Höhe zunehmen.

Der Turm muss die statischen und dynamischen Belastungen des Rotors und des Antriebsstrangs sowie der Gondel aufnehmen und zum Fundament ableiten (vgl. KALTSCHMITT 1995, 245). Bei der Konstruktion des Turmes sind außerdem die für den Transport wichtigen Abmessungen und Gewichte, die Aufrichtmethode, die Zugänglichkeit zur Gondel, seine Langzeiteigenschaften bezüglich Witterung und Materialeigenschaften sowie die Fertigungskosten zu berücksichtigen (vgl. MOLLY 1990, 147). Der Turm muss so konstruiert sein, dass eine Besteigbarkeit (meist innen) gewährleistet ist. Ebenso sind in den heutigen Türmen im Turmfuß Schaltschränke installiert.

Die am weitesten verbreitete Bauart für einen Turm ist der freitragende Stahlrohrturm. Dieser wird geschlossen und meist in konischer Form mit unterschiedlichen Wandstärken gebaut. Stahlrohrtürme werden heute biegeweich für die erste Biegeeigenfrequenz ausgelegt und können so mit geringeren Massen und Kosten hergestellt werden als steife Türme. Die heute verwendeten Türme werden meist in 3-4 Segmenten mit bis zu ca. 25 m Länge gefertigt und vor Ort montiert. Sie sind derzeit in Gesamthöhen bis 100 m erhältlich (vgl. BWE 2001).

Weitere noch verwendete Konstruktionen sind Fachwerk-Gittermasttürme und Türme in Betonbauweise.

Die höchste montierte Serienanlage steht auf einem 117 m hohen Gittermastturm (vgl. JOHNSEN 2000). Gittermasttürme können durch die Montage vor Ort auch in schlecht zugänglichem Gelände errichtet werden und benötigen keine großen Kräne bei der Montage.

Türme in Betonbauweise werden entweder als vorgefertigte Schleuderbetontürme (vgl. HAU 1995, 375) oder vor Ort in Spannbetonbauweise errichtet. Nachteil der Ortbetonbauweise ist der technische Aufwand vor Ort durch die notwendige Schal- und Betoniertechnik, die über den Errichtungszeitraum vorhanden sein muss. Eine weitere Möglichkeit ist die Montage von vorgefertigten Betonbauteilen, die mit einander verspannt werden.

Es gibt daneben natürlich noch weitere Sonderbauarten, so wird z.B. von einem Hersteller für eine WEA mit 100 m Nabenhöhe ein 8 m hoher Betonsockel erstellt, auf den ein Stahlrohrturm aufgesetzt wird.

2.3.4 Fundament

Das Fundament einer Windenergieanlage dient zur Abtragung der Lasten vom Turm in den Untergrund. Zwei Bauformen sind zu unterscheiden, die Tiefgründung mit Hilfe eines Pfahlfundamentes und die Flachgründung. Die Art und Dimensionierung eines Fundamentes hängt von der Anlagengröße, den meteorologischen und betrieblichen Lasten sowie von den Bodenverhältnissen ab (vgl. KALTSCHMITT/ WIESE 1995, 246).

Die Fundamente werden in Stahlbeton ausgeführt. Stahlrohrtürme werden über einen mit der Bewehrung verbundenen Ankerring am Fundament befestigt. Der Ankerring muss mit sehr geringer Toleranz horizontal liegen, um ein Schiefstehen des Turmes zu vermeiden (vgl. HAU 1996, 390). Für die Klasse der 1 bis 2 Megawatt-Anlagen liegen die Durchmesser eines quadratischen oder achteckigen Fundamentes zwischen 12 und 20 m. Die Technologien für die Fundamente und die Einbindung des Ankerrings sind je nach Hersteller unterschiedlich. Zum Teil ist eine Überdeckung des Fundamentes mit Erdboden notwendig.

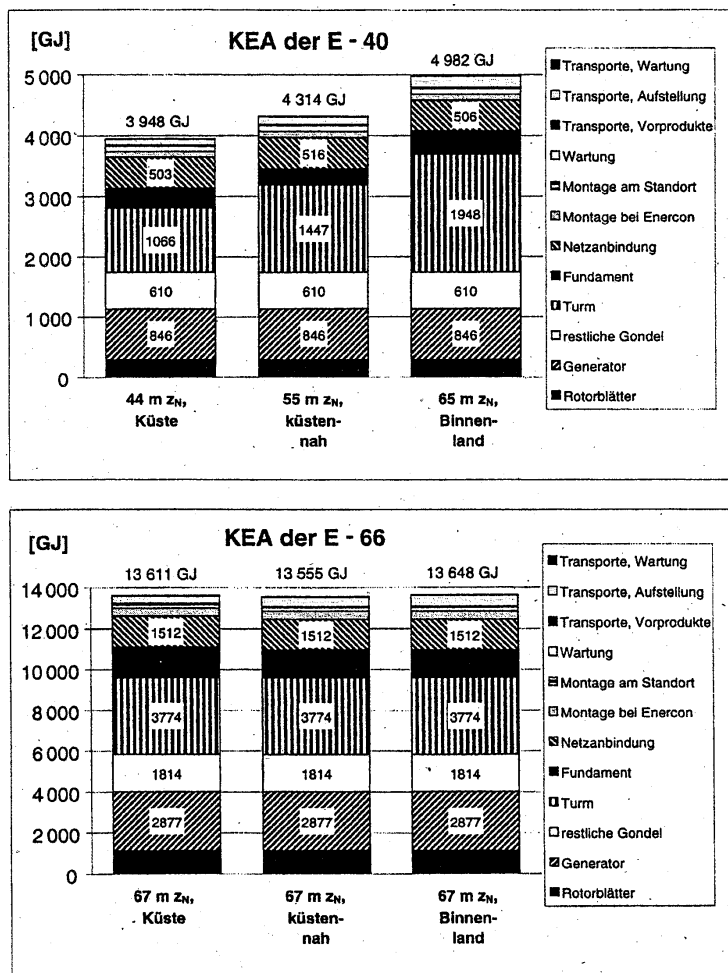
2.3.5 Netzanschluss

Der Netzanschluss einer WEA erfolgt über eine separate Trafostation, die neben der Anlage steht.

Die elektrische Energie wird meist über Erdkabel zum nächsten Umspannwerk abgeführt. Unter Umständen ist es gerade bei größeren Windenergieparks notwendig, ein eigenes Umspannwerk zu bauen.

2.4 Energiebilanz und Recycling von Windenergieanlagen

In dem folgenden Abschnitt soll kurz auf den Lebenszyklus einer WEA und die damit verbundenen Stoff- und Energiebilanzen eingegangen werden. Der Begriff der energetischen Amortisationsrate ist dabei im Zusammenhang mit einer Anlage zur Energieerzeugung ohne den Verbrauch von fossilen Rohstoffen von besonderem Interesse.



Der kumulierte Energieaufwand (KEA) einer Windenergieanlage soll am Beispiel der Windenergieanlagen E40 und E66 des deutschen Marktführers ENERCON vorgestellt werden. Der KEA einer Windenergieanlage setzt sich aus dem Energieverbrauch der zur Herstellung (KEA_H), Nutzung (KEA_N), und Entsorgung (KEA_E) benötigten Energie zusammen. PICK et al. haben den KEA_H und KEA_N für zwei Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von 500 kW (E 40) und 1,5 MW (E 66) ohne Berücksichtigung der Zuwegung zur WEA ermittelt (PICK et al. 1998).

Abbildung 10: KEA für Herstellung und Betrieb für unterschiedliche Referenzstandorte und Nabenhöhen (PICK et al. 1998, 54).

Der Energieaufwand für die Herstellung wurde für die Baugruppen Rotorblätter, Generator, restliche Gondel, Turm, Steuertechnik/ Netzanbindung sowie Fundament getrennt ermittelt. Fertigungsenergien und Energieaufwendungen für

Betriebsstoffe, Transporte und Montage wurden gesondert berücksichtigt (PICK et al. 1998). Zu beachten ist, dass bei der Berechnung des Energieaufwandes für den Turm eine Ausführung in Stahlbauweise zugrundegelegt wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Abbildung 10 dargestellt.

Die Entsorgung der WEA wurde in der Darstellung der Ergebnisse (Abbildung 10) nicht berücksichtigt, da ein Recycling zur Zeit der Untersuchung nicht praktiziert wurde. Die Autoren führen jedoch aus: „Würde ein Recycling der in den Anlagen eingesetzten Materialien vorgenommen, dann entstünde trotz der zu berücksichtigenden Energieaufwendungen für den Abriss und das Recycling eine Energiegutschrift. Dadurch würde der KEA [...] um circa 20% sinken“ (PICK et al. 1998, 55).

KEHRBAUM (1995) setzt sich mit dem Recycling von Windenergieanlagen auseinander. Sie sind bei ausreichender Nachfrage nach Sekundärrohstoffen als überwiegend stofflich recycelbar einzustufen. „Offene Fragestellungen bestehen aus ökologischer Sicht im wesentlichen im stofflichen Recycling der Rotorblätter [...]“ (KEHRBAUM 1995, 35). Hier sind wahrscheinlich stofflich-thermische Verwertungsverfahren am besten geeignet. Problemstoff ist allerdings der, in den Rotorblättern enthaltene, PVC-Schaum. Die verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten für die Bauteile einer Windenergieanlage sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Auch KEHRBAUM kommt zu dem Ergebnis, dass sich der KEA durch ein Recycling am Ende des Lebenszyklus einer WEA verringert (vgl. ebenda, 38).

	Wieder-/Weiterverwertung von Werkstoff	Verbrennung	Deponierung
Rotorblätter GFK-UP GFK-EP	(GFK als Füllstoff für Kunststoffe, z.B. SMC, BMC, PA, PP) (Harz als Reduktionsmittel im Stahlwerk und GF als Schlacke, im Zementwerk verwertbar) (Harz als Brennstoff und GF als Zementzusatz im Zementwerk) R. in MVA		Hausmüll
Fundament	Stahl im Stahlwerk Kupfer in der Sekundärhütte Beton als Zuschlagstoff z.B. für neuen Beton oder Straßenuntergrund		Bauschutt
Turm Stahlrohr Schleuderbeton Stahlgitter	Stahl im Stahlwerk Beton als Zuschlagstoff z.B. für neuen Beton oder Straßenuntergrund		
Generator und Getriebe Asynchron mit Getriebe Synchron ohne Getriebe	Stahl im Stahlwerk legierter Stahl im Edelstahlwerk Zweitrafination des Getriebeöls zu Getriebeöl	Getriebeöl in MVA/SVA	

(...) Verfahren nicht verfügbar, aber relativ weit entwickelt

Abkürzungen MVA/SVA = Müll-/Sondermüllverbrennungsanlage; R. = Rotorblatt; GFK = glasfaserverstärkter Kunststoff

Tabelle 1: Entsorgungsmöglichkeiten von Windenergieanlagen (KEHRBAUM 1995, 36).

Die Ermittlung des KEA ist bei der Erstellung von Anlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie aus regenerativen Quellen von besonderem Interesse, denn es stellt sich folgende Frage: Wie lange muss die Anlage betrieben werden, bis die Energie, die bei Herstellung und Nutzung (sowie Entsorgung) benötigt wurde, wieder bereitgestellt ist? Diese Zeit nennt man energetische Amortisationszeit. Ist diese energetische Amortisationszeit zum Beispiel länger als die Lebenszeit der Anlage, hat die Anlage über ihren gesamten Lebenszyklus eine negative Energiebilanz. Der Begriff Erntefaktor drückt das Verhältnis zwischen KEA und erzeugter Energie aus.

PICK et al. haben für die zwei Anlagen E 40 und E 66 nicht nur den KEA_H und KEA_N berechnet, sondern für charakteristische Standorte auch den dementsprechenden energetischen Amortisationszeitraum und den Erntefaktor ermittelt. „Dabei wird der erzeugte Windstrom durch einen Vergleich mit dem deutschen Kraftwerksmix primärenergetisch bewertet, in dem ein Bereitstellungsfaktor von 2,97 MJ Primärenergie pro MJ Elektrizität angesetzt wird“ (PICK et al. 1998, 55). Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Kenngröße	Anlage, Nabenhöhe, Standort					
	E-40, 44 m, Küste	E-40, 55 m, küstennah	E-40, 65 m, Binnenland	E-66, 67 m, Küste	E-66, 67 m, küstennah	E-66, 67 m, Binnenland
Windgeschw. in NH [m/s]	6,87	6,33	5,91	7,32	6,58	5,96
Jahresenergieertrag, netto [kWh/a]	1296985	1060645	881972	4072018	3193185	2488809
KEA_H+KEA_N [kWh]	1096801	1198271	1383803	3780909	3765209	3791149
Energetische Amortisationszeit [Monate]	3,3	4,5	6,2	3,7	4,7	6,1
Erntefaktor	70	53	38	64	50	39

Tabelle 2: Energetische Kenngrößen der untersuchten Anlagen (PICK et al. 1998, 54).

Mit der Errichtung und dem Betrieb von Windenergieanlagen kann an einem guten Küstenstandort die 70fache Menge an Energie gewonnen werden, als jene, die zur Herstellung und Betrieb benötigt wird. Selbst an einem weniger guten Standort im Binnenland kann noch ein Erntefaktor von 38 erreicht werden.

3 Analyse der Umweltwirkungen von Windenergieanlagen

Inhalt dieses Kapitels soll es sein, alle wesentlichen Umweltwirkungen, die im Zusammenhang mit Errichtung und Betrieb von Windenergieanlagen stehen können, zu analysieren und zu beschreiben. Die Verursacher der verschiedenen Umweltwirkungen und die verantwortlichen Wirkfaktoren werden benannt und beschrieben. Zum Teil können Minderungs- und Vermeidungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

3.1 Einführende Bemerkungen

Die Umweltwirkungen sollen für bestimmte hier Schutzgüter betrachtet werden. Diese Umwelt-Schutzgüter werden hier vorgestellt.

Die Beschreibung der Umweltwirkungen kann anhand verschiedener Methoden durchgeführt werden, die im vorliegenden Fall angewandte Methode wird nachfolgend beschrieben. Die Berücksichtigung von Systemgrenzen und die Zuordnung der Umweltwirkungen zu verschiedenen Projektphasen wird dabei beachtet.

3.1.1 Zu Betrachtende Umwelt-Schutzgüter

Die Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz bezieht sich bei den Ermittlungen der Beeinträchtigung durch einen Eingriff, in Form einer Veränderung der Gestalt oder Nutzung einer Grundfläche, auf die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes (vgl. § 8 BNatSchG). Dies umfasst nach §1 BNatSchG ebenso die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, die Pflanzen- und Tierwelt sowie die Vielfalt, Eigenart und Schönheit der Landschaft (vgl. Abbildung 11).

Das Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP-Gesetz) geht über diesen Ansatz hinaus, es begreift als Schutzgüter, neben den abiotischen und biotischen Faktoren des Naturhaushaltes, den Menschen, die Landschaft und die Kultur- und Sachgüter (§ 2 UVP-G). Damit müssen zusätzlich die direkten Auswirkungen eines Vorhabens auf den Menschen und Kultur- und Sachgüter ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Im Gegensatz zum BNatSchG stehen hier der Mensch und die, von ihm geschaffenen, Kultur- und Sachgüter zusätzlich im Interesse bei der Ermittlung der Auswirkungen eines Vorhabens. Gerade auch in eng besiedelten Räumen, wie es in Deutschland oft der Fall ist, sind Auswirkungen auf den Menschen durch Vorhaben, wie z.B. die Gewinnung von elektrischer Energie durch Windenergieanlagen, nicht generell auszuschließen.

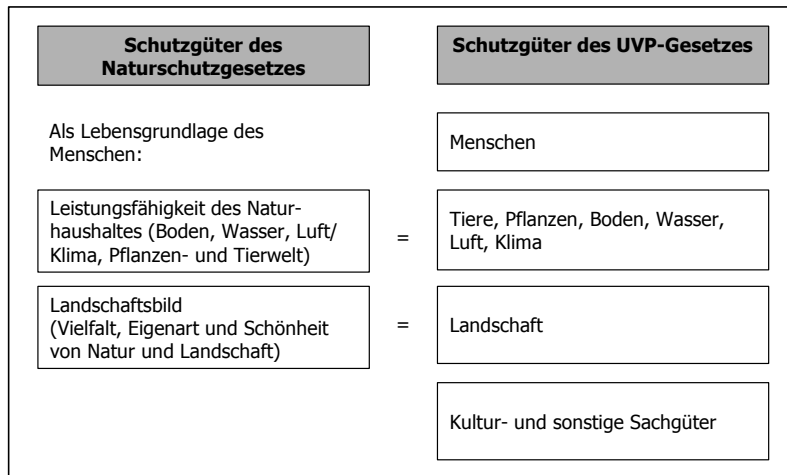


Abbildung 11: Verhältnis der Schutzgüter von BNatSchG und UVPG (nach Köppel, 1998, 30).

Die Beschreibung und Bewertung von Umweltwirkungen durch Windenergieanlagen orientiert sich deshalb in dieser Arbeit an den im UVP-Gesetz genannten Schutzgütern.

Diese umfassen also Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft/ Klima und

Landschaft, einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen sowie Kultur und Sachgüter. Was unter diesen einzelnen Schutzgütern zu verstehen ist und welche Besonderheiten es gibt soll im folgenden geklärt werden:

- **Boden:**

Böden im engeren Sinne umfassen den verwitterten und belebten bzw. durchwurzelten obersten Bereich der Erdkruste. Sie können wenige Zentimeter bis mehrere Meter mächtig sein und gliedern sich im allgemeinen in Oberboden (Mutterboden) und Unterboden (Verwitterungsbereich).

Böden sind integrale Bestandteile von Ökosystemen. Veränderungen der Böden entziehen vielen Tier- und Pflanzenarten die Lebensgrundlage (vgl. COERS/ KINZE 1999). Filterung, Pufferung, Transformation, Bindung und Abbau erfüllen Böden Regulations- und Speicherfunktionen im Naturhaushalt. Böden bilden den Lebensraum für Bodenorganismen. Den Pflanzen bieten Böden Wurzelraum zur Verankerung und zur Versorgung mit Wasser, Nährstoffen und Luft. Außerdem stellen Böden eine Grundlage für die Produktion von Biomasse dar.

Aufgrund ihrer Eigenart, Seltenheit und Gefährdung sind Böden als kaum vermehrbare, knappe natürliche Ressource zu betrachten (KÖPPEL et. al. 1998, 78).

- **Wasser/ Gewässer:**

Wasser zählt zur unbelebten Umweltsphäre und ist doch oft mit vielfältigem Leben erfüllt. Wasser ist einem ständigen Kreislauf unterworfen, der als Wasserhaushalt bezeichnet wird. Es ist elementarer Lebensstoff für alle Organismen und damit Voraussetzung für das Bestehen der Biosphäre.

Man unterscheidet das Vorkommen von Wasser in oberirdische Gewässer und Grundwasser. Oberirdische Gewässer können in offene Meere, Küstenmeere, Fließgewässer und stehende Gewässer eingeteilt werden.

„Da Wasser die anderen Umweltsphären durchdringt, unterliegt es einer Vielzahl natürlicher Prozesse und hat damit enge Verbindungen zu den anderen Umweltschutzgütern. Darüber hinaus hat es elementare Bedeutung für den Menschen als Trinkwasser und ist an einer Reihe gesellschaftlicher Funktionen mittelbar beteiligt“ (GASSNER/ WINKELBRANDT 1997, 103).

- Luft/ Klima:

„Luft ist ein die Erde umgebendes Gasgemisch. An die Konsistenz der Luft sind viele physikalische und chemische Gesetzmäßigkeiten und Eigenschaften gebunden. Sie bildet als Gasgemisch den Luftraum. Sie ist das Medium, in welchem Klima und Wettergeschehen wirksam werden“ (GASSNER/ WINKELBRANDT 1997, 123).

Klima ist die Gesamtheit aller Witterungen an einem Ort, mit einer für diesen Ort charakteristischen Verteilung der mittleren, aber auch extremen Werte.

Über die Beschaffenheit der Luft, den Strahlungshaushalt, die Verdunstung, die Lufttemperatur und den Wind werden wichtige Regulationsfunktionen im Naturhaushalt wahrgenommen. Beim Stoffwechsel von Pflanzen sind Luft und Klima unverzichtbare Grundlage für den Aufbau, Abbau und die Speicherung hochmolekularer organischer Stoffe. Der Luftraum besitzt für viele Pflanzen und Tiere eine essentielle Bedeutung, die u.a. von seiner stofflichen und klimatischen Ausprägung abhängt (KÖPPEL et. al. 1998, 81).

- Tiere und Pflanzen:

Pflanzen und Tiere sind ein wichtiger Bestandteil des Ökosystems, sie erfüllen im Naturhaushalt ökosystemare Funktionen, wie Regulationsfunktion, Produktionsfunktion und Lebensraumfunktion.

Diesen Funktionen steht die Nutzung von wildlebenden Pflanzen und Tieren (nutzungsbezogene Funktion) gegenüber. So stellen Pflanzen und Tiere, neben ihrer Bedeutung für die menschliche Ernährung, die Voraussetzung für die Herstellung pharmazeutischer Produkte, für die biotechnologische Energiegewinnung, für den biologischen Abbau von Abfallstoffen und für die landschaftsgebundene Erholung dar (KÖPPEL et. al. 1998, 65).

Aufgrund der massiven Inanspruchnahme von Pflanzen und -beständen für die vielfältigsten Zwecke und aufgrund der Empfindlichkeiten gegenüber Standort- und Umweltveränderungen sind wildwachsende Pflanzenarten in erheblichen Umfang in ih-

rem Bestand gefährdet (GASSNER/ WINKELBRANDT, 1997, 133). Bei der Beurteilung von Auswirkungen eines Eingriffs auf Pflanzen sind Sensitivität, Belastung und die Gefährdung von Pflanzen bzw. der Vegetation von Bedeutung. Wirkungen auf abiotische Schutzgüter, wie Boden, Wasser sowie Luft und Klima, können sich auch auf die Pflanzenarten, -gesellschaften und ihre Biotope auswirken (siehe auch Wechselwirkungen) (vgl. ebenda).

„Aufgrund der spezifischen Bedingungen, die die Tiere an ihren Lebensraum stellen, und wegen ihrer häufigen Konkurrenz zum Menschen in bezug auf Lebensraum und Nahrungsressourcen sind Tierarten noch mehr als Pflanzenarten in ihrem Bestand gefährdet.

Die Ursachen für den Rückgang von freilebenden Tierarten sind zu vielfältig, die wirkungsanalytischen Erkenntnisse noch zu wenig fortgeschritten, um die Ursachen-Wirkungs-Beziehungen quantitativ belegen zu können“ (ebenda, 147).

- Menschen:

Der Mensch ist Umweltbelastungen gegenüber ebenso als Schutzgut zu verstehen. Umweltwirkungen können in vielfältiger Weise auf Körper, Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen einwirken. Neben direkten körperlichen Wirkungen, können Beeinträchtigungen der Psyche auftreten, die Gesundheit und Wohlbefinden belasten.

Die Grenze zwischen Wohlbefinden und Gesundheit des Menschen ist fließend und auch von der Konstitution, den Vorbelastungen und dem Alter der Menschen abhängig. Auswirkungen können über die Sinne wahrgenommen werden, wie z.B. Veränderungen des Landschaftsbildes und Lärm. Umweltbelastungen wirken aber auch über die Aufnahme von Nahrung oder Atmung auf den Menschen (vgl. GASSNER/ WINKELBRANDT, 1997, 175 ff.).

- Landschaft:

„Unter Landschaft kann einerseits das räumliche Integral aller Umwelt-Schutzgüter verstanden werden oder aber die, durch die Sinne des Menschen erfassbare, strukturelle Dimension aller Umwelt-Schutzgüter oder Ökosysteme“ (GASSNER/ WINKELBRANDT 1997, 160). Im Rahmen dieser Arbeit soll der zweiten Herangehensweise gefolgt werden.

Demnach ist unter dem Begriff Landschaftsbild die äußere, sinnlich wahrnehmbare Erscheinung von Natur und Landschaft zu verstehen. Das Landschaftsbild umfasst alle wesentlichen Strukturen der Landschaft, ungeachtet ob sie historisch oder aktuell, natur- oder kulturbedingt entstanden sind.

Dadurch, dass das Landschaftsbild subjektiv wahrgenommen wird, sind nicht nur Strukturen, sondern auch deren Bedeutungsgehalte wesentlich. Es kommt auf das Bild und seine Interpretation durch den Betroffenen an. Dieses ist wiederum abhängig von den gesellschaftlichen und individuellen Wertschätzungen. Die Wünsche nach Schönheit, Heimat und Erlebnis sind gepaart mit den Bedürfnissen nach Information, Identifikation, Freiheit und Selbstverwirklichung (ebenda, 162).

- Kultur- und Sachgüter:

Kulturgüter sind „Zeugnisse menschlichen Handelns ideeller, geistiger und materieller Art, die als solche für die Geschichte des Menschen bedeutsam sind und die sich als Sachen, als Raumdisposition oder als Orte in der Kulturlandschaft beschreiben und lokalisieren lassen.

Der Begriff Kulturgut umfasst damit sowohl Einzelobjekte oder Mehrheiten von Objekten, einschließlich ihres notwendigen Umgebungsbezuges, als auch flächenhafte Ausprägungen sowie räumliche Beziehungen bis hin zu kulturhistorischen bedeutsamen Landschaftsteilen und Landschaften“ (LANDSCHAFTSVERBAND RHEINLAND (1994) in (GASSNER/ WINKELBRANDT 1997, 183)

Dazu kommen noch archäologische Funde und Bodendenkmale, die die prähistorische Entwicklung dokumentieren. Diese sind oftmals durch direkte Inanspruchnahme bedroht oder gefährdet.

Sonstige Sachgüter sind einerseits gesellschaftliche Werte mit hoher funktionaler Bedeutung, wie z.B. Brücken, Gebäude und dergleichen, andererseits sind Sachgüter auch Umweltnutzungen, die bestimmte Zustände der Umwelt-Schutzgüter als Ressource nutzen. Dazu gehören die Nutzungen Erholung, Wohnen, Land- und Forstwirtschaft.

- Wechselwirkungen:

Wechselwirkungen können als Auswirkungsverlagerungen zwischen den Schutzgütern verstanden werden. Darüber hinaus gibt es Auswirkungen auf ökosystemare Wechselbeziehungen, die sekundäre Auswirkungen zur Folge haben (SCHOLLES 1997, 181).

Eine Übersicht über mögliche Wechselwirkungen zwischen den Schutzgütern des UVP-Gesetz sind nach SCHOLLES (1997) in Abbildung 12 dargestellt.

Wirkung von	Wirkung auf	Menschen	Tiere	Pflanzen	Boden	Wasser	Luft	Klima	Landschaft
Tieren		Ernährung Erholung Naturerlebnis	Konkurrenz Minimalareal Populationsdynamik Nahrungskette	Fraß, Tritt Düngung Bestäubung Verbreitung	Düngung Verdichtung Lockerung Bodenbildung (Bodenfauna)	Nutzung Stoffein- und -austag	Nutzung Stoffein- und -austag	Beeinflussung durch CO ₂ -Produktion etc. Atmosphärenbildung (zus. mit Pflanzen)	gestaltende Elemente Nutzung
Pflanzen		Schutz Ernährung Erholung Naturerlebnis O ₂ -Produktion	Nahrungsgrundlage O ₂ -Produktion Lebensraum, Schutz	Konkurrenz Pflanzengesellschaften Schutz	Durchwurzelung (Erosionsschutz) Nährstoffentzug Schadstoffentzug Bodenbildung	Nutzung Stoffein- und -austag Reinigung Regulation	Nutzung Stoffein- und -austag Reinigung	Klimabildung durch Beeinflussung durch O ₂ -Produktion CO ₂ -Aufnahme Atmosphärenbildung (zus. mit Tieren)	Strukturelemente Topographie, Höhen
Boden		Lebensraum Ertragspotential Reinstoffgewinnung	Lebensraum	Lebensraum Nährstoffversorgung Schadstoffquelle	trockene Deposition Bodeneintrag	Stoffeintrag Trübung Sedimentbildung Filtration von Schadstoffen	Staubbildung	Beeinflussung durch Staubbildung	Wasserhaushalt Stoffhaushalt Energiehaushalt Strukturelemente
Wasser		Lebensgrundlage Trinkwasser Brauchwasser Erholung	Lebensgrundlage Trinkwasser Lebensraum	Lebensgrundlage Lebensraum	Stoffverlagerung Erosion nasse Deposition Beeinflussung von Bodenart und -struktur	Regen Stoffeintrag	Aerosole Luftfeuchtigkeit	Lokalklima Verdunstung Wolken, Nebel etc.	Wasserhaushalt, Stoffhaushalt Energiehaushalt Strukturelemente Relief
Luft		Lebensgrundlage Atemluft	Lebensgrundlage Atemluft Lebensraum	Lebensgrundlage Atemluft CO ₂	Bodenluft Bodenklima Erosion Stoffeintrag	Belüftung trockene Deposition (Trägermedium)	chem. Reaktionen mit Schadstoffen Durchmischung O ₂ -Ausgleich	Lokal- und Kleinklima	Stoffhaushalt Erholungsgeignung
Klima		Wohlbefinden Umfeldbedingungen	Wohlbefinden Umfeldbedingungen	Verbreitung Bestäubung Wuchsbedingungen Umfeldbedingungen	Bodenklima Bodenentwicklung	Gewässertemperatur Grundwasserneubildung	Störung, Wind Luftqualität	Beeinflussung verschiedener Klimazonen (Wirkungen, Ausgleichsräume)	Wasserhaushalt Energiehaushalt Element der gesamtheitlichen Wirkung
Landschaft		Ästhetisches Empfinden Erholung Schutz Wohlbefinden	Lebensraumstruktur	Lebensraumstruktur	ggf. Erosionsschutz	Gewässerverlauf Wasserscheiden	Störungsverlauf	Klimabildung Reinluftbildung Kaltluftströmung	Naturlandschaft vs. Stadtl./Kulturlandschaft
(Menschen) Vorbelastung		konkurrierende Raumansprüche	Verbreitung Störungen (Lärm etc.) Verdrängung	Verbreitung Nutzung, Pflege Verdrängung	Bearbeitung, Düngung Verdichtung Versiegelung Umlagerung	Nutzung (Trinkwasser, Erholung) Stoffeintrag Gestaltung	Nutzung (Schad-)Stoffeintrag	z.B. Aufheizung durch Stoffeintrag "Ozonloch"	Nutzung z.B. durch Erholungssuchende Überformung Gestaltung

Abbildung 12: Überblick über die Wechselbeziehungen zwischen den Schutzgütern des UVPG (SCHOLLES 1997, 180).

3.1.2 Methode zur Beschreibung und Ermittlung der Umweltwirkungen

Die Beschreibung der Umweltwirkungen von Windenergieanlagen soll mit Hilfe von Wirkungsanalysen erfolgen. „Wirkungsanalysen fragen nach den Ursachen für Ereignisse. Ihr Ziel ist das systematische Erfassen und Bewerten von Wirkungen eines bestimmten Nutzungsanspruchs auf die Umwelt. Dabei lassen sich vier Fragestellungen unterscheiden:

- Wer verursacht was bei wem?
- Wer verursacht was und wodurch bei wem?
- Wodurch wird etwas verursacht?
- Was würde passieren, wenn?

Indem sie versuchen, beobachtete oder prognostizierte Wirkungen Verursachern zuzuordnen, dienen ökologische Wirkungsanalysen dem Verursacherprinzip in der Umweltpolitik“ (SCHOLLES 1999). Bei der ökologische Wirkungsanalyse ist folgendes Grundmuster zu erkennen: verursachender Nutzungsanspruch - ausgelöster Wirkfaktor - davon betroffene Nutzungsansprüche bzw. Naturraumpotentiale, oder anders: Verursacher – Wirkung – betroffenes Schutzgut.

Weiterhin können Folgewirkungen, die von der Veränderung eines betroffenen Nutzungsanspruchs bzw. Potentials auf andere Nutzungen und Potentiale ausgehen können, berücksichtigt werden. Darunter können auch Rückwirkungen fallen, sodass Wechselwirkungen zwischen Nutzungsansprüchen oder Schutzgütern offengelegt werden (vgl. ebenda).

Wirkfaktoren sind das zentrale Element der Wirkungsanalyse, sie stellen somit die vorhabensbürtigen Einflussgrößen dar, die letztendlich die Beeinträchtigungen der Schutzgüter bedingen. Sie bilden in einer Wirkungskette die Schnittstelle zwischen Vorhaben und Schutzgut. Sie sind die entscheidenden Einflussgrößen, die zur Prognose der Beeinträchtigungen benötigt werden (vgl. KÖPPEL et. al. 1998, 48). „Werden die Wirkfaktoren nur unzureichend beschrieben, bzw. vollständig außer Acht gelassen, so können diese Mängel in den nachfolgenden Schritten erheblich zu Buche schlagen [...]“ (ebenda, 49). So kann die Beschreibung und Bewertung der Beeinträchtigung unzureichend sein, Vorkehrungen zur Vermeidung, Ermittlung der Ausgleichbarkeit und eventuelle Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen auf falschen Grundlagen beruhen. Ein systematisches Vorgehen bei der Ermittlung der Wirkfaktoren ist daher unerlässlich.

Die Wirkungen und ihre Wirkfaktoren sollen nach ihrer Entstehung in bau-, anlage- und betriebsbedingt eingeteilt werden, dies hat sich nach KÖPPEL (1998) in der Praxis bewährt. Zusätzlich sollen noch Wirkungen, die nur in Ausnahmefällen auftreten, also sogenannte Störfälle, beschrieben werden (siehe auch Abbildung 13).

Innerhalb der Maßnahmenphasen sollen die Wirkungen ihren jeweiligen Verursachern, dies sind meist einzelne Anlagenteile etc., zugeordnet werden.

Allerdings kann dies nicht immer möglich sein, da es beeinträchtigte Schutzgüter gibt, die von verschiedensten Wirkfaktoren beeinflusst werden, deren einzelne Anteile an der Gesamtbeeinträchtigung nicht genau bekannt sind (z.B. Beeinträchtigung der Vogelwelt).

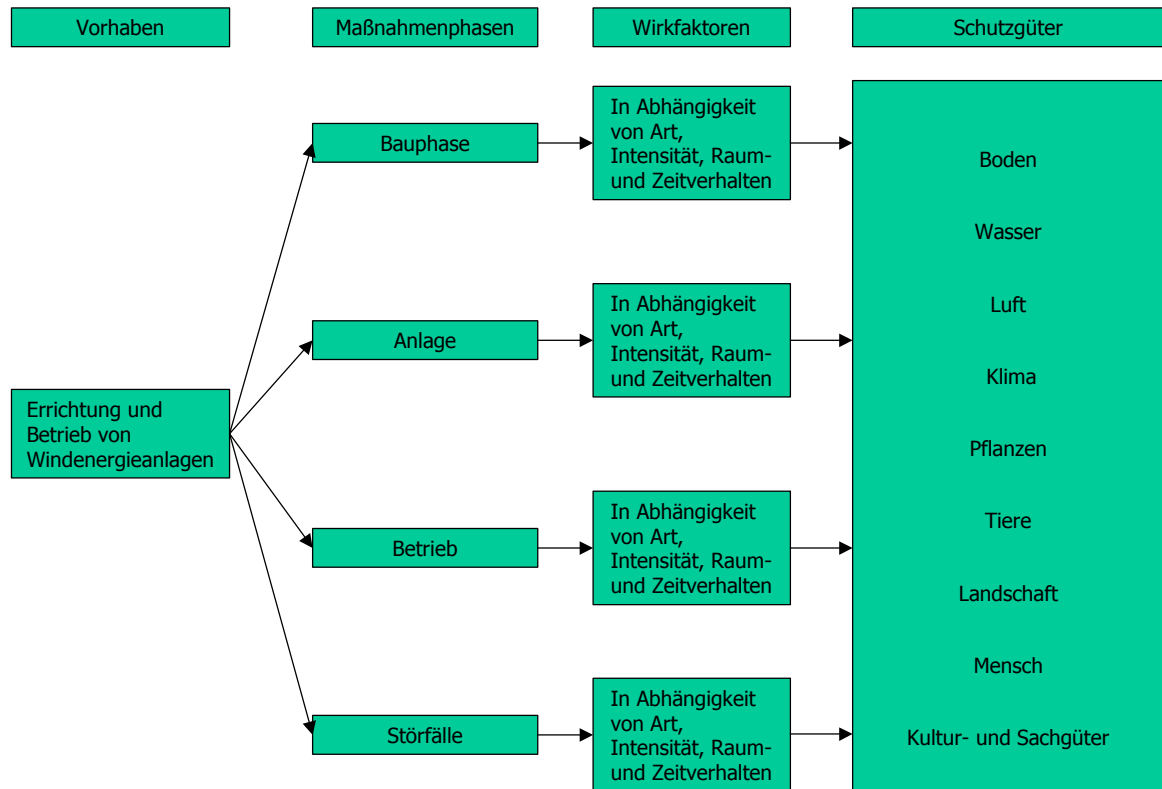


Abbildung 13: Schema zur Analyse der Wirkfaktoren des Vorhabens Errichtung und Betrieb von WEA.

Für die spätere Bewertung der Umweltwirkungen ist es von großer Bedeutung, die Wirkfaktoren hinsichtlich ihrer Art, Intensität sowie Raum- und Zeitverhalten zu ermitteln (vgl. KÖPPEL 1998, 128). In der Beschreibung der potentiellen Wirkfaktoren sollen deshalb mögliche zeitliche Rahmen und räumliche Ausdehnungen der Wirkungen berücksichtigt werden. Die vorausschauende Berücksichtigung dieser Punkte bei der Beschreibung der Wirkfaktoren ist auch notwendig, um charakteristische Indikatoren zur Bewertung des Eingriffs zu ermitteln und festzulegen. Auch die zeitlichen und räumlichen Grenzen des Untersuchungsrahmens hängen von diesen Faktoren ab.

Die Beschreibung und Ermittlung der Umweltwirkungen mit Wirkungsanalysen ist natürlich nur mit Hilfe einer Modellbildung zu erreichen. „Modellbildung bedeutet Vereinfachung komplexer Realitäten. Eingriffe können letztendlich nur über Modelle prognostiziert und bewertet werden [...]. Der jeweilige Sachverhalt muss auf die wichtigsten Faktoren und Beziehungen vereinfacht werden [...] damit die Nachvollziehbarkeit gewährleistet bleibt“ (HABER et. al. 1993, 136). Dabei wird im vorliegenden Fall das Wortmodell verwendet.

„Das Wortmodell ist eine erste, noch nicht quantifizierte Darstellung der Wirkungsbeziehungen im System, es zeigt die grundsätzliche Struktur des Modells. [...] Wortmodelle sind also erkenntnisorientierte Modelle, welche das Ziel verfolgen, die Realität und ihre Zusammenhänge abzubilden und so ein Verständnis für Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zu vermitteln“ (HABER et. al. 1998, 137).

Merkmale von Modellen sind:

- „die Abbildungsfunktion (Modelle erheben nicht den Anspruch, die Wirklichkeit umfassend abzubilden)
- das Verkürzungsmerkmal (nur die für die Fragestellung relevanten Aspekte werden berücksichtigt)
- das pragmatische Merkmal (Ausrichtung auf einen Zweck)“ (DEMUTH 2000, 75 nach JESSEL 1998).

Für die Entwicklung eines Modells ist eine inhaltlich abgesicherte Kriterienauswahl und ein Methodenaufbau notwendig, die den Anforderungen an wissenschaftliches Arbeiten genügen und im Rahmen der jeweiligen Aufgabenstellung dazu geeignet sein müssen, fundierte Ergebnisse zu liefern (DEMUTH 2000, 75). Dies ist bei der Erarbeitung einer Wirkungsanalyse, insbesondere im Hinblick auf die später zu erfolgende Bewertung der Auswirkungen eines Eingriffs, zu beachten.

3.2 Baubedingte Umweltwirkungen

Unter baubedingten Umweltwirkungen sollen alle Umweltwirkungen, die im Zusammenhang mit der Errichtung von Windenergieanlagen stehen, verstanden werden.

Die Bauphase eines Windenergieprojektes umfasst nur einige wenige Wochen. Im Normalfall werden ca. 2 Wochen für Erstellung der Zufahrtswege und ca. 6 Wochen bis zur Belastbarkeit der Fundamente benötigt. Die Errichtung der Windenergieanlage selbst, findet innerhalb von drei Tagen statt. Somit beeinflussen die im folgenden beschriebenen Verursacher nur für eine recht kurze Zeitspanne die einzelnen Schutzgüter, wobei natürlich einzelne Wirkfaktoren unter Umständen auch langfristige Beeinflussungen auf die Schutzgüter auslösen können. Die Umweltwirkungen sollen für die Verursacher:

- Baustelleneinrichtung,
- Fundamenterstellung und Errichtung von Betriebsgebäuden,
- Bau von Zufahrts- und Erschließungswegen und
- Betrieb von Baumaschinen und Fahrzeugen

beschrieben werden.

Weitere Umweltwirkungen können in der Bauphase durch die Netzanbindung über Freileitungen oder Erdkabel auftreten (vgl. JUSTKA 1996).

3.2.1 Baustelleneinrichtung

Bei der Errichtung von Windenergieanlagen ist für den Bauzeitraum eine gewisse Baustelleneinrichtung notwendig. Diese umfasst die benötigten Arbeitsmittel zur Errichtung von Zufahrtswegen, zur Erstellung von Betonfundamenten sowie zur Montage von bis zu 80 Tonnen schweren Einzelementen der Windenergieanlage. Insbesondere die Stellfläche für die Montagekräne fällt hierbei ins Gewicht.

Es sind folgende Beeinträchtigungen möglich:

- Die Flächeninanspruchnahme als Stellfläche für mindestens 2 Mobilkräne führt zur Beeinträchtigung des Schutzgutes Boden. Durch den Abtrag des Bodens und den Einbau einer Tragschicht, die meist wasserdurchlässig ist, kann es zu einer Einschränkung der Produktions- und Lebensraumfunktion des Bodens kommen (vgl. GASSNER/ WINKELBRANDT 1997). Die Stellflächen können theoretisch nach der Montage, bis auf einen kleinen Bereich für Wartungsfahrzeuge, rückgebaut werden, oftmals bleiben sie aber erhalten, sodass diese Wirkungen langfristig sind.
- Beim Umgang mit Schadstoffen, wie z.B. mineralischen Ölen und Treibstoffen, an der Baustelle kann es bei unvorsichtigem Handeln zu Schadstoffeintrag in Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser kommen. Die einzelnen Folgewirkungen eines solchen Schadstoffeintrages hier näher zu erläutern, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

3.2.2 Fundamenterstellung und Errichtung von Betriebsgebäuden

Die Umweltwirkungen, die bei der Errichtung von Fundamenten und Betriebsgebäuden auftreten können, umfassen insbesondere die Schutzgüter Wasser und Boden.



Abbildung 14: Fundament einer WEA der 1,5 MW-Klasse im Windpark Kleptow/ Klockow.

Die Stahlbetonfundamente für Stahlrohrtürme werden als Ortbetonfundamente hergestellt. Dabei kommt es zu den Beeinträchtigungen des Bodens, die bei dieser Technologie häufig auf Baustellen vorzufinden sind (Betonschlämme, Versiegelung, Verdichtung durch mechanische Belastung). Bei der Erstellung von Pfahlfundamenten kommt es

zu Erschütterungsbelastungen in der näheren Umgebung, die meist mit Lärmemission verbunden ist.

Eine eventuell notwendige temporäre Grundwasserabsenkung zieht die dementsprechenden Folgen nach sich.

Der unachtsame Umgang mit Schadstoffen, insbesondere Betonzusatz- und Trennmittel, kann zu einer Belastung des Bodens und des Grundwassers führen.

Belastungen des Bodens in Bereichen, die nach der Bauphase wieder ihrer ursprünglichen Nutzung zugeführt werden sollen, können durch entsprechende Schutzmaßnahmen (z.B. Oberbodenabtrag mit Zwischenlagerung) minimiert werden.

Die Zerstörung und Beeinträchtigung von Kulturgütern, wie z.B. archäologischen Denkmälern durch die Erdarbeiten ist natürlich möglich.

3.2.3 Bau von Zufahrts- und Erschließungswegen

Wie auch bei der Fundamenterstellung, kann es bei der Errichtung von Zufahrts- und Erschließungswegen zu Beeinträchtigungen von Boden und Wasser bzw. Grundwasser kommen.

Die dauerhafte Versiegelung von Flächen ist der größte Eingriff, der hier zu nennen wäre. Die mechanische Belastung des Bodens durch Baufahrzeuge ist ein weiterer Eingriff in das Gefüge des Bodens. Der Gefahr des Einbaus von belasteten Materialien in den Wegeunterbau muss mit einer Güteüberwachung der Füllstoffe begegnet werden.

Grundwasserabsenkungen und Verrohrungen von Fließgewässern können bei der Errichtung der Wege notwendig werden. Insbesondere langfristige Verrohrungen führen zu einer Veränderung des angestammten Landschaftsbildes.

3.2.4 Betrieb von Baumaschinen und Fahrzeugen

Wesentliche und vielfältige Einwirkungen auf die Schutzgüter gehen vom Betrieb der Baumaschinen und –fahrzeuge aus. Dabei sind folgende Punkte zu nennen:

- mechanische Einwirkungen auf den Boden,
- Schadstoffeintrag durch Schmier- und Treibstoffe,
- Emission von Stäuben und Abgasen,
- Fahr- und Arbeitsgeräusche sowie
- optische Störungen in der Landschaft (vgl. JUSTKA 1996).

Die Wirkungen führen weiterhin zur Zerstörung von Pflanzen und zur Beunruhigung von Tieren. Diese Tiere verlassen ihre angestammten Habitate und kehren, je nach Grad der Beeinträchtigung und Empfindlichkeit, erst nach gewisser Zeit wieder zurück.

Ebenso ist natürlich der Erholungswert des Baugeländes für den Menschen durch die Schall- und Staubemissionen herabgesetzt.

3.2.5 Zusammenfassung der baubedingten Umweltwirkungen

Die baubedingten Wirkfaktoren und ihre Wirkungen auf die einzelnen Schutzgüter sind in der Abbildung 15 dargestellt.

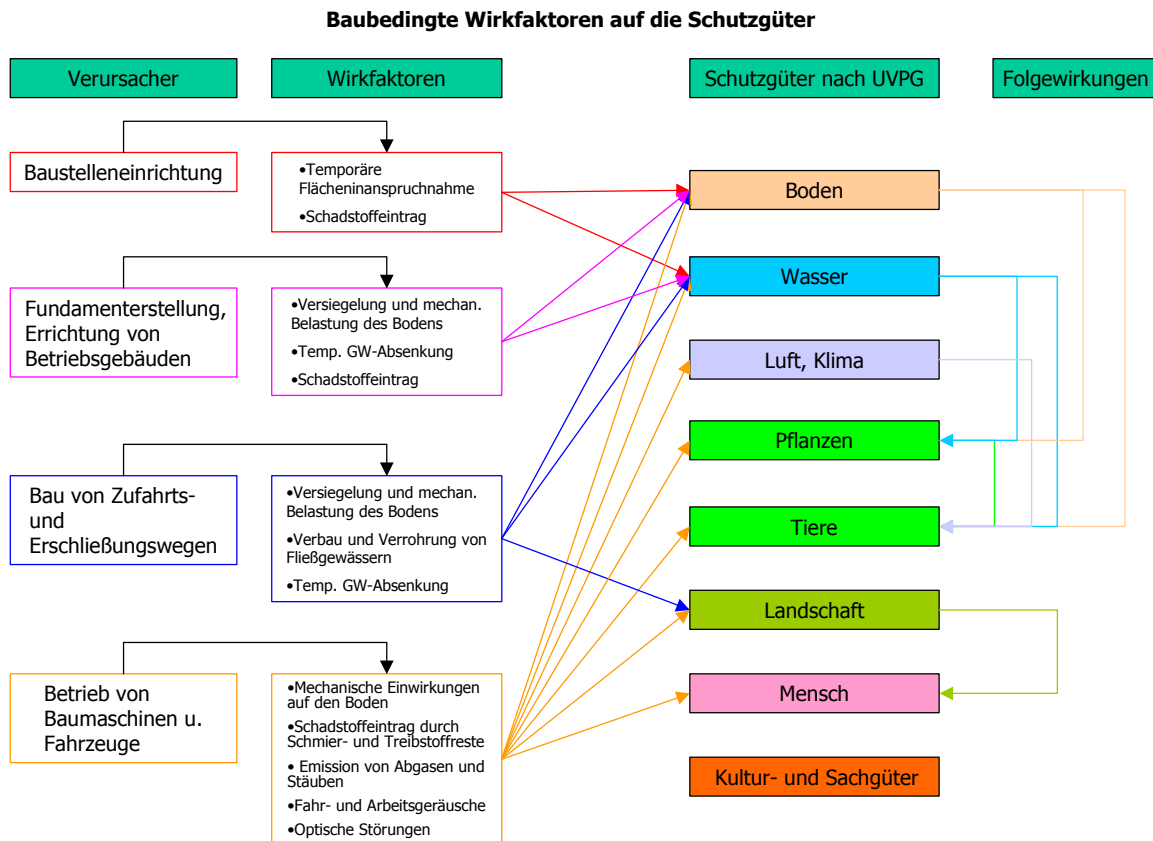


Abbildung 15: Baubedingte Wirkfaktoren auf die Schutzgüter (eigene Darstellung).

Die Beeinträchtigungen der Schutzgüter sind sehr vielfältig. In Abhängigkeit von der Bauphase und der Empfindlichkeit der einzelnen Schutzgüter können die Beeinträchtigungen auf einzelne Schutzgüter erheblich sein. Die Störung von Boden und Wasser in empfindlichen Biotopen kann zu teilweise längerfristigen Zerstörungen von Lebensräumen führen. Durch Folgewirkungen können auch Tier- und Pflanzenwelt davon beeinträchtigt sein. Wenn diese in bestimmte zeitliche Entwicklungsperioden der Tier- und Pflanzenwelt fallen, kann es zu irreversiblen Störungen im lokalen Ökosystem kommen.

Abgesehen von diesen, unter Umständen erheblichen Beeinträchtigungen, sind aufgrund der kurzen Zeitdauer der Baumaßnahmen die baubedingten Wirkungen, im Vergleich zu den anderen Wirkungen nicht sehr relevant.

3.3 Anlagebedingte Umweltwirkungen

Anlagebedingte Umweltwirkungen sind Wirkungen, die in direktem Zusammenhang mit einer oder mehreren errichteten Windenergieanlagen stehen. Demzufolge sind die Verursacher die einzelnen Anlagenteile einer WEA. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Verursacher (Sender) ihre Wirkungen mindestens über die gesamte Standzeit der Windenergieanlagen entfalten. Da Windenergieanlagen für eine Laufzeit von ca. 20 Jahren konzipiert werden, wird die Standzeit in etwa dieser Zeitspanne entsprechen. Damit sind anlagebedingte Umweltwirkungen aufgrund ihrer langfristigen Wirkdauer nachhaltige Umweltwirkungen.

Die Demontage der Anlagen nach ihrer Betriebszeit ist rechtlich festgelegt. Teilweise müssen in einzelnen Bundesländern die Betreiber finanzielle Rücklagen zur Demontage und Entsorgung der Anlagen nachweisen. Somit ist gesichert, dass Windenergieanlagen die im folgenden beschriebenen Umweltwirkungen nur für eine bestimmte vorhersehbare Zeit entfalten. Es soll bei der Beschreibung der Umweltwirkungen zwischen den Verursachern:

- Zufahrts- und Erschließungswege,
- Fundament,
- Trafostation und Betriebsgebäude sowie
- Mast und Rotor

unterschieden werden.

3.3.1 Zufahrts- und Erschließungswege

Für jede Windenergieanlage muss die Erschließung und somit die Zufahrt gesichert sein. Im allgemeinen sind dafür Wege mit einer Breite von 4 m, mit einer wassergebundenen Deckschicht ausreichend.

Die Neuanlage von Wegen zerstört in diesem Bereich den Boden als Lebensraum für Fauna und Flora und versiegelt diese Flächen, was zu einer verminderten Grundwasserneubildungsrate führen kann. Ebenso können sie zerschneidend auf die Lebensräume von Tieren wirken. In Abhängigkeit von Länge, Breite und notwendigen Abgrabungen oder Anschüttungen wird die Landschaftsgliederung verändert. Eine Veränderung und Beeinflussung von Luftbewegungen durch notwendige Abgrabungen und Anschüttungen kann Auswirkungen auf das Mikroklima haben.

Zur Minderung solcher Beeinträchtigungen ist es sinnvoll, soweit wie möglich auf bereits vorhandene Wege zurückzugreifen. In sehr strukturarmen ausgeräumten Feldlandschaften können eventuell alte Wege wieder neu hergestellt und genutzt werden und durch zusätzliche Pflanzungen (Hecken o.ä.) sogar lebensraumschaffend für Tier- und Pflanzenwelt sein. Bei der Errichtung von Anlagen auf sehr stark agrarisch genutzten Flächen

sind die Beeinträchtigungen für Tiere und Pflanzen minimal. Problematisch ist allerdings die Errichtung der Wege in naturnahen und intakten Biotopen, hier können sie erhebliche Beeinträchtigungen hervorrufen.

3.3.2 Fundament

Das Fundament ist in Abhängigkeit von Größe und Art für die Versiegelung von Boden verantwortlich. Folgewirkungen sind theoretisch für Pflanzen- und Tierwelt, sowie Grundwasser zu erwarten. Ein achteckiges Fundament einer Windenergieanlage mit einer Nennleistung von 1,5 MW hat z.B. bei einem Durchmesser von 12,50 m eine Grundfläche von ca. 150 m². Bei einigen Konstruktionen muss bzw. kann das Fundament nach der Errichtung mit Boden überdeckt werden, sodass gar keine Fläche versiegelt ist.

Grundsätzlich ist die versiegelte Fläche aber in jedem Fall verhältnismäßig klein. Da Windenergieanlagen mit einem Mindestabstand von 3 bis 5 Rotordurchmessern zueinander aufgestellt werden können, beträgt die benötigte Fläche bei einer Windenergieanlage mit einem Rotordurchmesser von 70 m mind. 73 500 m². Somit würde der Anteil der versiegelten Flächen je WEA nur 0,2% betragen. Damit ist diese Beeinträchtigung oftmals als nicht erheblich anzusehen.



Abbildung 16: Windpark Rabenstein und WEA Zwönitz. In den beiden Fotos sind die Fundamente, die Trafostationen und Mastfüße der Windenergieanlagen zu sehen. Im Unterschied zur WEA im linken Bild sind bei der Anlage im rechten Bild Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen, wie farbliche Anpassung des Turmschaftes und der Trafostation sowie Begrünung des Fundamentes berücksichtigt worden.

3.3.3 Externe Bauwerke

Externe Gebäude sind Trafostation, Informationsgebäude u.ä.. Bei größeren Windparks wird unter Umständen ein Besucherzentrum errichtet.

Oft wird der zugehörige Transformator neben der Anlage in einem Container mit einer Grundfläche von ca. 10-12 m² untergebracht. Die Höhe beträgt etwa 2,50 m. Weitere Betriebsgebäude sind meist nicht vorhanden. Die Betriebsgebäude wirken als technogenes Element in der Landschaft. Allerdings ist die visuelle Störung durch die Trafostationen im

Vergleich zur Beeinträchtigung durch die Anlage selbst sehr gering. Die Versiegelung des Bodens durch die Trafostation kann vernachlässigt werden.

Zur Vermeidung und Verminderung der visuellen Störungen bestehen mehrere Möglichkeiten. Einige Hersteller bringen den Transformator direkt im Turm der WEA unter. Die Ausführung der Trafogebäude in landschaftsgerechten Farbtönen kann die visuelle Störung vermindern helfen.

Besucher- und Informationszentren sollten nur dann errichtet werden, wenn keine Störungen der Fauna und Flora durch den Besucherverkehr zu befürchten sind (siehe auch Kapitel 3.4.2 Besucherverkehr).

3.3.4 Mast und Rotor

Die augenscheinlichsten und am meisten diskutierten anlagebedingten Beeinträchtigungen der Umwelt-Schutzgüter gehen vom Turm und Rotor einer Windenergieanlage aus. Die Wirkungen sind in ihrer Art und Intensität von folgenden Eigenschaften abhängig:

- Anlagenanzahl und Anordnung
- Turmhöhe
- Rotordurchmesser
- Farbgebung und Befeuerung

Durch die Errichtung von Windenergieanlagen können insbesondere die Tierwelt und das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigt werden. Der Erholungswert der Landschaft für den Menschen kann durch die Störung und Veränderung des Landschaftsbildes gemindert werden.

3.3.4.1 Wirkungen auf die Tierwelt

Windenergieanlagen werden aus Ertragsgründen meist in offenen Feld- und Wiesenlandschaften errichtet. Sie stellen dort dominante, neuartige vertikale Strukturen dar, die es bisher in dem Ausmaß in solchen Landschaften nicht gegeben hat.

Insbesondere im Zusammenhang mit der Diskussion über die Auswirkungen von Windenergieanlagen auf die Tierwelt wird oft von einer sogenannten Scheuchwirkung, aufgrund dieser neuartigen vertikalen Strukturelemente auf die Avifauna gesprochen (z.B. BREUER/SÜDBECK 1999). Weitere Faktoren sind wahrscheinlich ebenso Ursache für das Meidungsverhalten verschiedener Vogelarten. So werden auch periodischer Schattenwurf und Drehbewegung des Rotors sowie Schallemissionen für die Beeinträchtigung der Avifauna verantwortlich gemacht. Allerdings lassen die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse noch keine genauen Ursache- Wirkungsanalysen zu (vgl. WALTER/ BRUX 1999). Deshalb sollen die Wirkungen von Windenergieanlagen auf die Avifauna zusammengefasst in Kapitel 3.5.1 beschrieben werden.

3.3.4.2 Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes

Windenergieanlagen beeinflussen und verändern das Landschaftsbild, ähnlich wie andere vom Menschen geschaffene Bauwerke, wie z.B. Verkehrswege und Hochspannungsleitungen. Sie sind in der Landschaft relativ neue Elemente, die eine Landschaft prägen und überformen können. Als technische Bauwerke sind sie oft gleichförmig und standardisiert. Dies kann zu einer Uniformierung und Nivellierung von unterschiedlichen Landschaftsräumen führen. In Abhängigkeit von der Anzahl, Anordnung, Form und Dimension sowie Farbgebung wirken sie auf die Landschaft. Weitere Faktoren, wie Betrachtungsabstand und -perspektive, Beleuchtungsverhältnisse, Maßstabbilder und charakteristische Landschaftsstrukturen beeinflussen den Grad der Beeinträchtigung, je nach Betrachtungsort, Wetterlage etc. (vgl. PIEGSA/ WERNIG 2000).

Nach OTT (1995) und DEMUTH (2000) sollen die wichtigsten ästhetischen Beeinträchtigungen für das Landschaftsbild im Allgemeinen genannt werden:

- Maßstabsverlust: Einführung von Elementen in die Landschaft, die die existierenden Größenverhältnisse und die Maßstäblichkeit durch ihre Dimensionierung, Massierung oder Strukturierung stören bzw. sprengen.
- Oberflächenverfremdung: Oberflächengestaltung von Elementen in der Landschaft mit Formen, Farben und Strukturen, die daher auffällig wirken.
- Strukturstörung: Lage von Bestandteilen in der Landschaft, die sich nicht an vorgegebenen landschaftlichen Leitlinien orientieren, und dadurch auffallen.
- Vielfaltverlust: Durch die Einführung neuer Elemente geht in Bezug auf die Landschaftsfaktoren Relief, Vegetation usw. mehr an Vielfalt verloren, als sie selbst ersetzen können.
- Naturnäheverlust: Durch die Einführung neuer und die Umwandlung alter Elemente wird die Natürlichkeit der Landschaft reduziert.
- Eigenartverlust: Durch das Einbringen neuer Elemente wird die charakteristische Eigenart der Landschaft mit ihren alten, gewachsenen kulturhistorischen sowie natürlichen Strukturen und Elementen reduziert.
- Bedeutungswandel: Mit der Einführung bestimmter Bauwerke und Einrichtungen in die Landschaft geht die Verbindung von Mensch und Natur verloren.

Die Anzahl der Windenergieanlagen ist für die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes natürlich auch von Bedeutung. Es wird nach Einzelstandorten, Anlagengruppen von 2-5 Anlagen und größeren Windenergieparks unterschieden.

KRIESE (1993) geht von einer kritischen Größe von 10 bis 20 Anlagen aus, bei einer größeren Anzahl der Anlagen in einem Windpark sinke die Akzeptanz erheblich.

Einzelstehende Anlagen werden als punktförmige Objekte wahrgenommen, während von Windparks eine flächige oder linienförmige Wirkung ausgeht. Die Beeinträchtigungen durch solche flächenhafte oder linienförmige Wirkungen sind natürlich höher als die einer punktförmigen Wirkung. Allerdings ist die konzentrierte Anordnung von Windenergieanlagen an einem Ort weniger gravierend für das Landschaftsbild, als die gleiche Anzahl Anlagen über mehrere Einzelstandorte verteilt (vgl. GALLER 2000).

Nach KRIESE (1993) kann man zwischen folgenden Anordnungsmöglichkeiten der Windenergieanlagen in einem Windpark unterscheiden:

- unsystematisches Aufstellungsmuster (Anlagen sind „zufällig“ verteilt)
- Aufstellungsmuster die sich an gegebenen Landschaftsstrukturen und dem Relief orientieren (z.B. entlang von Wegen, Ackerrainen, Gräben, parallel zu Hanglinien oder Geländekanten)
- Geometrisches Aufstellungsmuster (eine oder mehrere Linien/ Raster, ohne direkten Bezug zur Umgebung)
- In größeren Windenergieparks ist darüber hinaus eine zweistufige Aufstellung möglich, nämlich die Bildung von Untergruppen, in und zwischen denen, die oben genannten Muster in Kombination auftreten können (KRIESE, 1993, 20 f.).

Ein völliges Chaos, aber auch die totale Ordnung werden als Anordnungsvarianten meist abgelehnt (vgl. KRIESE 1993). Die Anordnung der Anlagen nach einem geometrischen Muster, ist oftmals nur aus der Vogelperspektive zu erkennen. Für den Betrachter erschließt sich diese Ordnung nicht sofort. Die Aufstellung von Reihen sollte sich daher an den Aufenthaltsorten der Menschen orientieren. Die Tendenz geht dahin, dass die Aufstellung der Anlagen den Strukturen der Landschaft folgt und ihnen nicht entgegenläuft.

Die Errichtung von Windenergieanlagen verschiedener Typen und unterschiedlichen Größen innerhalb eines Windparks verstärkt die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Insbesondere durch die unterschiedlichen Größenverhältnisse und die verschiedenen Drehgeschwindigkeiten (s.a. Kapitel 3.4.1) ist mit einem unruhigeren Bild und größerem „Durcheinander“ zu rechnen (vgl. KRIESE 1993).

Windenergieanlagen haben in den letzten Jahren eine enorme Größenentwicklung durchlaufen. Während Ende der 80er Jahre Anlagen mit Nabenhöhen um 30 m und einem Rotordurchmesser zwischen 25 und 30 m dominierten, sind mittlerweile in der MW-Klasse insbesondere im Binnenland, Anlagen mit Nabenhöhen um 80 m und einem Rotordurchmesser zwischen 70 und 80 m verbreitet. Die Gesamthöhe beträgt dann ca. 120 m. Einige Serienanlagen werden bereits mit 100 m hohen Türmen angeboten. Diese Höhe der An-

lagen ist sehr auffällig und in der Landschaft recht einmalig, nur Fernsehtürme, Schornsteine und Sendemasten erreichen ähnliche Höhen. Der, durch natürliche Elemente (Bäume, Wälder, Hecken) geprägte vertikale Maßstab der Landschaft wird durch die Höhe der WEA um ein vielfaches gesprengt (vgl. SCHWAHN 2000, 59).

Die Dimension des Landschaftsbildes kann dadurch verändert bzw. gestört werden. Wenn künstliche Elemente in ihren Dimensionierungen den Landschaftsstrukturen angepasst sind, fügen sie sich in die Landschaft ein. Nach GALLER (2000) ist nicht die absolute Größe, sondern die Relativität zu den umgebenen Strukturen und Objekten entscheidend für die Wirkung. Daher sollen sich Windenergieanlagen in kleinteilige Landschaften weniger einfügen, als in großräumigen Landschaften. Andererseits tritt dieser Maßstabsverlust bereits bei wenigen Strukturmerkmalen auf. PIEGSA/ WERNIG (2000) zeigen, dass einige Straßenbäume ausreichen, um die Größendimension einer Windenergieanlage zu erfahren.

Durch die Errichtung von Windenergieanlagen kommt es insbesondere in Mittelgebirgslagen zu einer Veränderung gewohnter Horizontbilder und Silhouetten (vgl. SCHWAHN 2000, 59).

Aufgrund der großen Höhe von Windenergieanlagen geht von ihnen, in Abhängigkeit von Wetterlage und Sichtbarrieren, eine starke Fernwirkung aus. Dies kann dazu führen, dass sie als Orientierungspunkte in der Landschaft dienen. Bei einer Zunahme von Anlagen und bei einer weiten Streuung dieser, geht der Orientierungswert allerdings wieder verloren. Windenergieanlagen treten damit, vor allem bei räumlicher Nähe, in Konkurrenz zu anderen dominanten Objekten die eine Fernwirkung haben, wie z.B. Türme, Burgen und markante Reliefformen. Deren charakteristische Fernwirkung kann dadurch beeinträchtigt werden (vgl. GALLER 2000).

Die Farbgebung des Turmes und der Rotorblätter kann für die Fernwirkung der Windenergieanlagen im Landschaftsbild eine große Rolle spielen. Üblich sind derzeit weiß-graue Anstriche. Die abgetönten Grauwerte passen sich besser in das Landschaftsbild ein, während ein ungebrochenes Weiß die Kontraste noch verstärken würde. Bei direkter Sonneneinstrahlung werden die Anlagen durch die Reflexionen auch noch in weiter Entfernung gegenüber der Umgebung hervorgehoben. Bei bedecktem Himmel verschwinden die Anlagen im Hintergrund des Himmels (vgl. GALLER 2000).

Durch abgestufte, von unten nach oben heller werdende, Farbtöne wird versucht, den Mast der Anlage in das Landschaftsbild besser einzubinden (vgl. Abbildung 16).

Aus Gründen der Sicherheit für die Luftfahrt ist es allerdings notwendig, dass Windenergieanlagen ab einer Gesamthöhe von 100 m Markierungsanstriche erhalten. Diese, meist rot-weiß gehaltenen Anstriche der Rotorblätter bewirken eine Verstärkung des Kontrastes zwischen technischer Anlage und natürlicher Landschaft. In der Dunkelheit müssen Anla-

gen dieser Höhe eine Befeuerung aufweisen. Diese besteht aus zwei rot blinkenden Lichtern. Dadurch kommt es auch nachts zu einer Beeinträchtigung.

Aufgrund der Erholungsfunktion der Landschaft für den Menschen, kann es bei einer erheblichen Beeinträchtigung des Landschaftsbildes zu einem Verlust an Erholungswert für den Menschen kommen.

3.3.5 Zusammenfassung der anlagebedingten Umweltwirkungen

Die anlagebedingten Wirkfaktoren sind noch einmal in der Abbildung 17 im Überblick dargestellt.

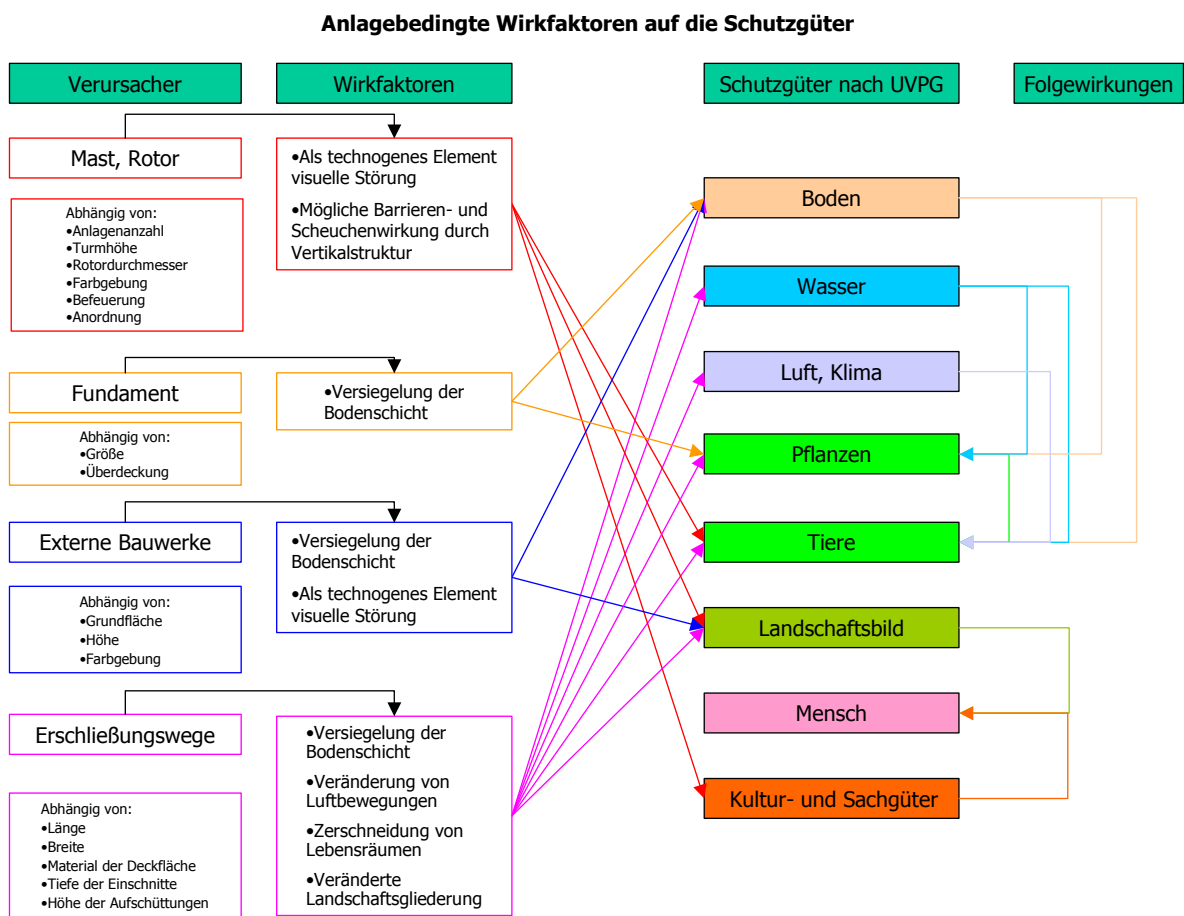


Abbildung 17: Anlagebedingte Wirkfaktoren auf die Schutzgüter (eigene Darstellung).

Die Versiegelung von Flächen durch Zufahrtswege, Fundamentflächen und externe Bauwerke ist meist sehr gering. Auch die Beeinträchtigung des Wasserhaushaltes durch eine Versiegelung ist meist nicht gegeben, da Erschließungswege oftmals mit wasserdurchlässigen Deckschichten gebaut werden und Fundamente nur einen minimalen Flächenbedarf haben.

Die Pflanzenwelt ist aufgrund des Verlustes von Lebensraum durch die Errichtung von Fundament und Erschließungswegen beeinträchtigt. Oftmals ist diese Beeinträchtigung aber nicht erheblich, da nur intensiv genutzte Ackerflächen davon betroffen sind.

Die Beeinträchtigung der Tierwelt durch anlagebedingte Wirkfaktoren wird vor allem für einige Arten der Avifauna vermutet.

Die erheblichsten Umweltwirkungen gehen von dem Mast und dem Rotor der WEA aus und beeinträchtigen vor allem das Landschaftsbild. Davon können dann auch Kultur- und Sachgüter, wie schützenswerte historische Kulturlandschaften beeinträchtigt sein. Da der Erholungswert eines Raumes in erheblichem Maße vom Landschaftsbild abhängig ist, könnte somit auch das Schutzgut Mensch beeinträchtigt werden.

3.4 Betriebsbedingte Umweltwirkungen

Die betriebsbedingten Umweltwirkungen sind die Wirkungen, die durch den Betrieb einer Windenergieanlage zum Tragen kommen.

Sie sollen nach den Verursachern:

- Rotordrehung
- Besucher
- Wartungsarbeiten

unterschieden und beschrieben werden.

3.4.1 Rotordrehung

Der Rotor einer Windenergieanlage wird vom Wind, aufgrund aerodynamischer Prozesse, in eine Drehbewegung versetzt. Die dadurch aufgenommene kinetische Energie wird über eine Welle und einen daran angeschlossenen Generator in elektrische Energie umgewandelt. Die Drehung des Rotors ist somit die ureigenste betriebsbedingte Eigenschaft einer Windenergieanlage. Folgende Wirkfaktoren auf die Umwelt-Schutzgüter gehen dabei von der Rotordrehung aus:

- Periodischer Schattenwurf und Lichtreflexionen,
- Schall- und Infrarotemissionen,
- Verminderung der Windgeschwindigkeit,
- Drehbewegung des Rotors.

Die Intensität der Beeinträchtigung durch die Wirkfaktoren ist unter anderem von den Eigenschaften, wie:

- Anzahl der Rotorblätter,
- Drehrichtung,
- Drehgeschwindigkeit,

- Länge und Tiefe der Flügel,
 - Konstruktionsprinzip des Antriebsstrangs
- der Windenergieanlagen bzw. ihrer Rotorblätter abhängig.

Die Wirkfaktoren auf Grund der Rotordrehung und die dadurch möglichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter werden im folgenden beschrieben.

Die Verminderung der Windgeschwindigkeit durch die Nutzung der Windenergie mit Hilfe einer WEA soll hier nur als mögliche Beeinträchtigung des Schutzgutes Klima/ Luft erwähnt werden. Es gibt keine Angaben darüber, inwieweit die Abbremsung der Windgeschwindigkeit Auswirkungen auf dieses Schutzgut bzw. über Folge- und Wechselwirkungen auf andere Schutzgüter hat. Theoretisch denkbar wären eine Verminderung der Bodenerosion durch Wind und eine Beeinflussung von Insektenflügen (vgl. WENZEL et. al. 1995, KRIESE 1993).

3.4.1.1 Schattenwurf und Reflexionen

Die Drehbewegung der Rotoren von Windenergieanlagen führt zu einem unregelmäßigen, sich periodisch verändernden Schattenwurf. Dadurch hervorgerufene Beeinträchtigungen auf Mensch und Tierwelt sind nicht auszuschließen und werden insbesondere für die Vogelwelt vermutet.

Die theoretischen Grundlagen sowie Wirkungen auf die Schutzgüter Mensch und Tierwelt und Minderungs- und Vermeidungsmöglichkeiten sollen hier besprochen werden.

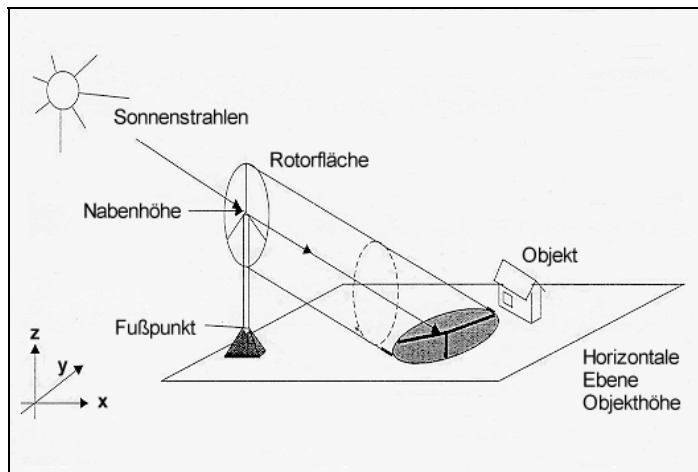


Abbildung 18: Schattenwurf des Rotors einer WEA auf die Umgebung (MANUAL WINDPRO UMWELTBERECHNUNG 1998, 20).

Standort, Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Rotorblatttiefe sind die Parameter einer WEA, die bei der Berechnung des Schattenwurfs zu berücksichtigen sind. Der Zusammenhang zwischen Sonnenstand, Nabenhöhe, Rotordurchmesser sowie Schattenfläche ist in Abbildung 18 zu erkennen.

Der Schattenwurf einer WEA ist von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen muss natürlich die Sonne scheinen, sodass sich ein Schatten bilden kann. Weiterhin ist der Einfallswinkel der Sonne entscheidend. Dieser lässt sich aus astronomischen, jahreszeitlichen und geografischen Parametern bestimmen.

Standort, Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Rotorblatttiefe

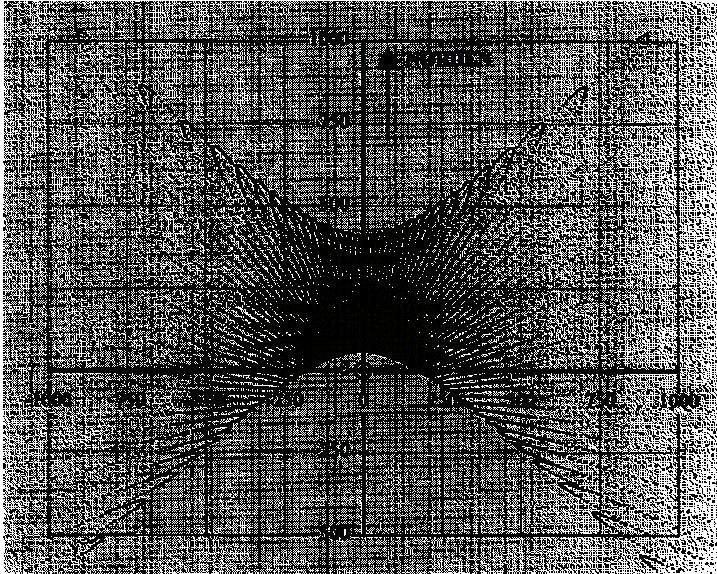


Abbildung 19: Schattenpunkte der Rotoroberkanten einer WEA mit einer Gesamthöhe von 100m für ein ganzes Jahr in 10-Minuten-Schritten (OSTEN/ PAHLKE 1998, 7).

Abbildung 19 zeigt den theoretischen Einwirkungsbereich des Schattens einer typischen 1,5-MW-Anlage mit einer Gesamthöhe von ca. 100 m. Aus der relativen Dichte der Punkte kann auf die Schattenwurfhäufigkeit geschlossen werden. Mit zunehmender Entfernung nehmen die Schattenwurfzeiten ab. Rein geometrisch betrachtet, reicht der Schatten bei Sonnenaufgang und -untergang unendlich weit, allerdings nimmt der Anteil der direkten Strahlung mit niedrigerem Sonnenstand ab, da die Sonnenstrahlen einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegen müssen. Dies führt dazu, dass bei niedrigem Sonnenstand kaum Schattenwurf existiert.

Da die Sonne keine Punktlichtquelle darstellt, sondern eine Kugel ist, hat das Licht einen Einstrahlungswinkel von $0,531^\circ$ (vgl. MANUAL WINDPRO UMWELTBERECHNUNG 1998). Dadurch gibt es Schattenbereiche, in denen die Sonnenstrahlen durch das Hindernis vollständig verdeckt werden und Bereiche, in denen nur ein Teil der Sonnenstrahlen verdeckt wird. Diese Bereiche werden als Kern- und Halbschatten bezeichnet. Im vorliegenden Fall sind die Rotorflügel das Hindernis. Da diese relativ schmal sind, ist der Kernschatten recht kurz, sodass bei Einhaltung bestimmter Mindestabständen zur WEA nur der Halbschatten relevant ist.

Unterschiedliche Schattenlängen für verschiedene Blatttiefen sind in Abbildung 20 dargestellt. Zur Vereinfachung wird bei der Ermittlung des Schattens mit einer mittleren Blatttiefe gerechnet. Der Anteil der verdeckten Sonnenfläche und somit die Intensität des Halbschattens nimmt mit der Entfernung ab. Ab einer bestimmten Entfernung sind die Helligkeitsschwankungen so gering, dass sie nicht mehr störend wirken bzw. nicht mehr wahrnehmbar sind. Das STAATLICHE UMWELTAMT SCHLESWIG hat festgelegt, dass der Einwirkungsbereich ab einem Verdeckungsgrad der Sonne von 20% zu betrachten ist, dies entspricht dem Grenzwert von 2,5%, ab dem Helligkeitsunterschiede vom Menschen wahrgenommen werden können (vgl. STAATLICHES UMWELTAMT SCHLESWIG 1998). Ebenso wird festgestellt, dass Sonnenstände unter 3° Erhöhung über dem Horizont wegen Bewuchs, Be-

bauung und der zu durchdringenden Atmosphärenschichten in ebenem Gelände nicht mehr zu berücksichtigen sind (vgl. ebenda).

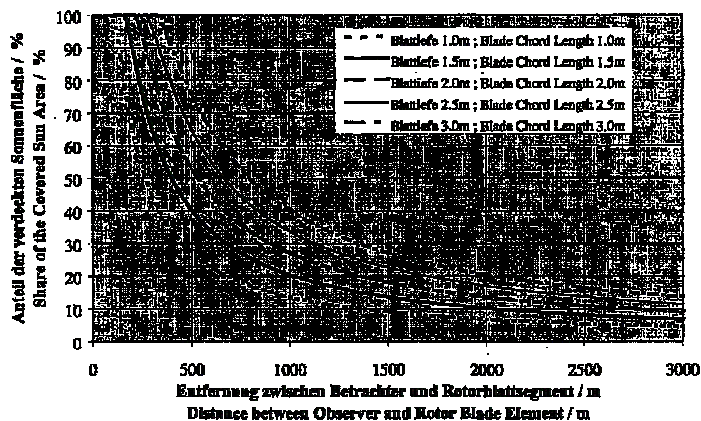


Abbildung 20: Prozentualer Anteil der vom Rotorblatt verdeckten Sonnenfläche in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Betrachter und Blattsegment für verschiedene Blatttiefen. (OSTEN/PAHLKE 1998, 10).

Sonne immer scheint, der Rotor sich kontinuierlich dreht und der Rotor immer senkrecht zu den Sonnenstrahlen steht“ (MANUAL WINDPRO UMWELTBERECHNUNG 1998, 19). Dies ist in der Realität natürlich nicht der Fall. Real zu erwartende Schattenwurfzeiten können unter Berücksichtigung der Parameter Sonnenscheinwahrscheinlichkeit, Windgeschwindigkeitsverteilung und Windrichtung berechnet werden.

Die Belästigung des Menschen durch diesen periodischen Schattenwurf kann erheblich sein. Ab einer bestimmten Immissionszeit ist die Wahrnehmung dieses periodischen Schattenwurfs mit starken und breiten negativen Effekten in zentralen Bereichen des Erlebens und Verhaltens verbunden (POHL et al. 1999, 70).

Minderungsmöglichkeiten der Beeinträchtigung durch Schattenwurf sind relativ einfach. Durch eine spezielle Steuerung der Betriebsführung lässt sich in Abhängigkeit von Sonnenschein und Stellung der Rotorebene zur Sonne in den kritischen Zeiträumen eine Abschaltung der WEA programmieren.

Die Beeinträchtigung der Tierwelt, insbesondere der Avifauna durch den Schattenwurf der Windenergieanlagen ist in der Literatur mehrfach beschrieben. Insbesondere Tiere die von Beutejägern aus der Luft angegriffen werden, meiden, mit der Errichtung der Windenergieanlagen, die vom Schattenwurf betroffenen Bereich des Habitates (vgl. u.a. BREUER/ SÜDBECK 1999, MIELKE 1996).

Der Schattenwurf einer oder mehrerer Windenergieanlagen kann mit Computerprogrammen berechnet werden. Dabei wird für verschiedene Rezeptoren (z.B. Fensterflächen) die tägliche und jährliche Schattendauer berechnet. Die Berechnung erfolgt entweder für ein „worst case“-Szenario oder für real zu erwartende Schattenwurfzeiten. Beim „worst case“-Szenario wird davon ausgegangen, „dass die

Abschließend soll noch auf den sogenannten Diskoeffekt eingegangen werden. Die Reflexion der Sonnenstrahlung an den drehenden Rotorblättern kann zum sogenannten „Diskoeffekt“ führen. Durch die Drehung der Rotorblätter wirken diese Reflexionen wie die Blitze eines Stroboskoplichtes. An sonnigen Tagen können diese Lichtreflexe an den Rotorblättern auftreten. Sie sind natürlich viel störender, als zum Beispiel die Lichtreflexion einer Fensterscheibe bei einem bestimmten Sonnenstand. Verursacht wird dieser Effekt im allgemeinen durch spiegelnde Oberflächen. Vermeiden lässt er sich, in dem man die Rotorblätter mit matten Farben versieht. Dies ist bei den meisten neueren Anlagen der Fall und daher tritt dieser Effekt nur bei älteren Windenergieanlagen auf.

3.4.1.2 Schallemissionen

Im Betriebszustand einer Windenergieanlage kommt es zur Emission von Schall. Dieser kann je nach Höhe der Schallbelastung im hörbaren Frequenzbereich zu einer Lärmbelastung für Menschen und Tiere führen. Es sollen gängige Mess- und Prognoseverfahren zur Ermittlung der Schallemissionen von WEA und den Schallimmissionen an potentiellen Beeinträchtigungspunkten vorgestellt werden. Weiterhin wird auf die Emissionsquellen und ihre Minderungsmöglichkeiten eingegangen.

Die Emission von Infraschall soll aufgrund der ähnlichen Problematik außerdem in diesem Abschnitt besprochen werden.

Die Intensität und Ausprägung der emittierten Geräusche ist abhängig von der Bauart, Leistung sowie der Anzahl der Windenergieanlagen. Die Rauigkeit der Umgebung und die Windgeschwindigkeit haben ebenso Einfluss. Neben den Geräuschen der Windenergieanlagen spielt bei der Bewertung des Gesamtgeräusches am Immissionsort das Hintergrundgeräusch (durch Brechen des Windes an Vegetation, Gebäuden etc.) eine Rolle (vgl. KRIESE 1993).

Nach § 3 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) zählen Windenergieanlagen zu den nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen. Daher gilt für sie, insbesondere im Rahmen von Baugenehmigungsanträgen und Entscheidungen über Anordnungen und Untersagungen im Einzelfall (§§ 24 und 25 BImSchG) die TA Lärm. In Nr. A. 2 der TA Lärm sind unter anderem die Festlegungen zur Prognose von Geräuschimmissionen enthalten. Nach TA Lärm kann eine überschlägige oder eine detaillierte Prognose durchgeführt werden. Bei der überschlägigen Prognose werden Parameter, wie Luftabsorption, Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß und (weitgehend) alle Abschirmungseffekte vernachlässigt, dadurch liegt sie aus der Sicht des Immissionsschutzes auf der sicheren Seite. Die Berechnung erfolgt nicht frequenzselektiv (PIORR 1999, 118). Sie eignet sich für Vorplanun-

gen und ist ausreichend, wenn der errechnete Beurteilungspegel die Immissionsrichtwerte nicht überschreitet.

Die detaillierte Prognose ist laut TA Lärm entsprechend DIN ISO 9613-2 durchzuführen. Diese Norm erlaubt es, alternativ die Prognose mit Emissionsdaten zu berechnen, die nur als A-bewertete Schallpegel vorliegen.

Der Prognose ist nach TA Lärm Abschnitt A.1.2 diejenige bestimmungsgemäße Betriebsart der Anlage zugrunde zu legen, welche die höchsten Beurteilungspegel erzeugt. Der ARBEITSKREIS „GERÄUSCHE VON WINDENERGIEANLAGEN“ empfiehlt, den Schalleistungspegel zu verwenden, der „[...] bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 m Höhe über Boden, aber bei nicht mehr als 95 % der Nennleistung ermittelt wurde“ (ARBEITSKREIS „GERÄUSCHE VON WINDENERGIEANLAGEN“, 1999). Die Ermittlung dieser Beurteilungspegel soll weiter unten näher erläutert werden.

Diese Prognosen werden in der Regel mit Hilfe spezieller, für die Planung von Windenergieanlagen entwickelten, Computerprogrammen erstellt. Ein solches Programm ist z.B. WindPRO Decibel. In diesem Programm werden die Ergebnisse der Berechnung und die Standorte der Schallquellen grafisch in Form von ISO-Phonen auf einer Karte dargestellt. Außerdem werden bestimmte Immissionsorte auf die Einhaltung von Immissionsrichtwerten überprüft (vgl. Manual WindPRO Umweltberechnung 1998).

Für die Schallimmissionsprognosen sind vermessene Schallemissionswerte der Windenergieanlagen notwendig. Diese sollen nach der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen Teil1: „Bestimmung der Schallemissionswerte“ der Fördergesellschaft Windenergie e.V. ermittelt werden. Diese FGW-Richtlinie basiert mit einigen, der Vereinheitlichung dienenden Abweichungen auf den Mess- und Ermittlungsverfahren nach DIN EN 61400-11, DIN 45 681/E bzw. DIN 45 645-1.

Der Schallpegel wird in Abhängigkeit zur standardisierten Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe angegeben. Diese Windgeschwindigkeit wird aus den Daten der elektrischen Leistung der WEA ermittelt. Aus der vermessenen Leistungskurve wird auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe geschlossen. Diese wird dann nach der FGW-Richtlinie auf 10 m Höhe umgerechnet.

Der Schalldruckpegel wird mit Hilfe eines Messmikrofons auf einer schallharten Platte im Abstand R_0 (=Nabenhöhe + Rotorradius) in Mitwindrichtung über dem Erdboden aufgezeichnet. Die Aufzeichnung erfolgt in 1 min-Mittelwerten für Schalldruckpegel und elektrischer Wirkleistung. Eine Ermittlung der Hintergrundgeräusche erfolgt bei abgeschalteter WEA.

Der Schalldruckpegel bei Anlagenbetrieb wird aus einer Regressionsanalyse für ganzzahlige Windgeschwindigkeitswerte unter Korrektur der zu berücksichtigenden Hinter-

grundgeräusche ermittelt. Die Darstellung erfolgt für ganzzahlige Windgeschwindigkeiten v in 10 m Höhe (v_{10}) von $v_{10}=6$ bis 10 m/s (vgl. SCHÄLLIG 1999B, FGW-RICHTLINIE 2000).

Einzeltöne können konstruktionsbedingt durch aerodynamische Effekte oder durch Defekte an WEA entstehen. Diese sogenannten Tonhaltigkeiten entsprechen allerdings nicht dem Stand der Technik. Der Tonzuschlag K_T wird nach DIN 45681 gebildet. Da die Auffälligkeiten der Einzeltöne mit der Entfernung von der Emissionsquelle abnehmen, führt dies tendenziell bei der Prognose zu einer Überwertung (vgl. PIORR 1999, SCHÄLLIG 1999B).

Impulshaltigkeiten liegen nach SCHÄLLIG (1999B) nur sehr selten vor. Meist liegt die Impulshaltigkeit, für eine WEA mit Rotor im Luv des Turmes, unter $K_I < 1,5$ dB. Die Entscheidung, ob ein Geräusch impulshaltig ist, muss grundsätzlich nach dem Höreindruck erfolgen. Die erhöhte Lästigkeit impulshaltiger Geräusche wird bei der Prognose durch einen Impulzzuschlag berücksichtigt (PIORR 2000, 35).

Es ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass die Ermittlung der Schallemissionen sehr sorgfältig durchzuführen ist, da die Immissionsprognosen von diesen Werten abhängig sind. Wenn die errichteten Anlagen lauter sind als die vermessene Anlage kann es zu Problemen bei der Einhaltung der Immissionsrichtwerte kommen. Es müssen dann Lärm-senkungsmaßnahmen ergriffen werden, die zu Ertragseinbußen führen können.

Geräuschquellen:

Der Schallpegel von Windenergieanlagen setzt sich aus verschiedenen Quellen zusammen. Diese kann man in die zwei Hauptgruppen Maschinengeräusche und aerodynamische Geräusche einteilen.

Maschinengeräusche sind Getriebe-, Generator- und Lüftergeräusche sowie Geräusche die durch Transformator, Hydrauliksystem und Drehbewegungen der Gondel verursacht werden. Die Hauptanteil stellen hier die Getriebegeräusche. Oftmals werden tonhaltige Geräusche, die auch bei niedrigen Schalldruckpegeln störend sind, erzeugt (vgl. LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 1997). Diese Geräuschquellen können primär durch eine durchdachte konstruktive Gestaltung vermindert werden. Zu den sekundären Schallschutzmaßnahmen gehört die schwingungsisierte Montage zwischen Getriebe, Generator und Gondel, unter Berücksichtigung der Körperschallübertragung zwischen Gondel und Turm sowie die Auskleidung mit schallabsorbierenden Materialien (vgl. ebenda sowie GRAUTHOFF 1991, HAU 1996).

Durch die Umströmung des Rotors entstehen die aerodynamischen Geräusche. Sie sind meist ein breitbandiges tonloses Rauschen. Bei LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 1997 sind folgende Effekte als Ursache für diese Geräusche beschrieben:

- „Turbulente Strömungsgeräusche an Rotorblättern mit scharfer Hinterkante. In Abhängigkeit von der Profilform und der Strömungsgeschwindigkeit kommt es teilweise

zum Abreißen der Strömung. Durch die Wechselwirkung der turbulenten Wirbel mit dem Rotorblatt entstehen breitbandige Geräusche.

- Turbulente Strömungsgeräusche an Rotorblättern mit stumpfer Hinterkante. Zusätzlich zu den genannten breitbandigen Geräuschen entsteht hier, ein von der Dicke der Hinterkante abhängiges, höherfrequentes Geräusch. Je schmaler die Hinterkante, um so höher ist die Frequenz. Durch die verstärkte Luftabsorption im Bereich höherer Frequenzen werden solche Geräusche auf ihrem Ausbreitungsweg stärker gedämpft als tieferfrequente Geräusche.
- Im Windfeld sind turbulente Wirbel enthalten. Durch das Zusammentreffen dieser Wirbel mit der Vorderkante des Rotorblattes entstehen Geräusche im unteren Frequenzbereich“ (ebenda, 13 f.).
- Eine weitere Schallquelle sind Geräusche, die durch die Wirbelablösungen an den Rotorblattspitzen entstehen. Diese Geräusche hängen insbesondere von der Form der Blattspitzen ab (vgl. ebenda sowie GRAUTHOFF 1991).

Die Minderung dieser Geräusche spielt bei Forschung und Entwicklung von Flügelprofilen eine wichtige Rolle (vgl. LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 1997, BUNK/ KUHLMANN 1999). Alle aerodynamisch bedingten Geräusche nehmen mit der Anströmgeschwindigkeit stark zu (etwa in der 5. Potenz). Da die Anströmgeschwindigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit abhängt, ist insbesondere die Schnellläufigkeit entscheidend für die Stärke der aerodynamischen Geräusche. Deshalb sind Windenergieanlagen mit einer niedrigeren Schnelllaufzahl und drehzahlvariablem Betrieb im Vorteil (vgl. HAU 1996). Windenergieanlagen mit drei Rotorblättern sind demnach Anlagen mit einem oder zwei Rotorblättern vorzuziehen, da sie einer geringere Blattspitzengeschwindigkeit haben.

Neben diesen Schallminderungsmaßnahmen, die auf der konstruktiven Seite ansetzen, kann die Reduzierung der Schallemissionen über eine darauf abzielende Betriebsführung erreicht werden. Dabei muss man allerdings zumeist Ertragseinbußen hinnehmen.

SCHÄLLIG listet dafür folgende Möglichkeiten auf:

- „Leistungsbegrenzung der WEA,
- Drehzahlbegrenzung
- Akustisch optimierte Kennlinie (Drehzahlabenkung, Pitchverstellung...),
- Abschaltung im Nachtzeitraum oder
- definierte Abschaltung z.B. ab Windgeschwindigkeit $V_{10} > 7$ m/s nach $t = xx$ min“ (SCHÄLLIG 1999A, 129).

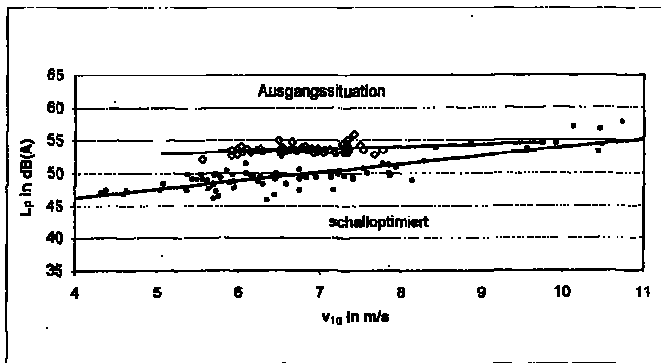


Abbildung 21: Schallleistungspegel bei Ausgangssituation und schalloptimiertem Betrieb nach Kennfeldmodifikation der Steuerung (SCHÄLLIG 1998B, 131)

drehzahl reduziert und der Pitchwinkel der Rotorblätter verändert (SCHÄLLIG 1999B). Ein schalloptimierter Betrieb ist, aufgrund der unterschiedlichen Grenzwerte, zumeist nur in den Nachtstunden notwendig, somit minimieren sich die Ertragseinbußen.

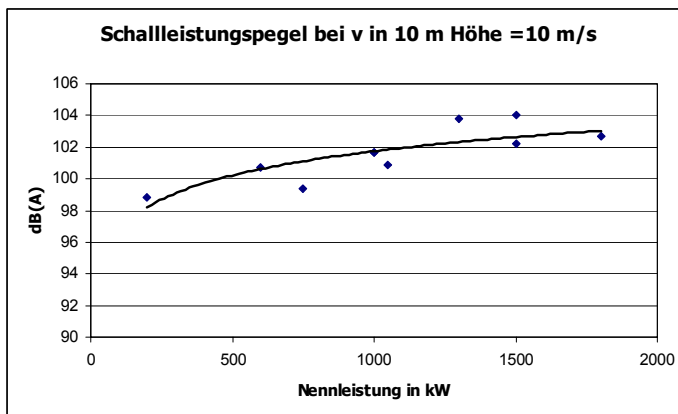


Abbildung 22: Schalleistungspegel einiger WEA (eigene Zusammenstellung).

Die Beeinträchtigung und Belästigung des Menschen durch Schall ist hinreichend bekannt. Über die Wirkungen dieser Schallemissionen der Windenergieanlagen auf die Tierwelt liegen keine Angaben vor. Sollten Tiere grundsätzlich durch Lärm aus ihren Habitaten vertrieben werden, so muss davon ausgegangen werden, dass dies auch bei Betrieb von Windenergieanlagen der Fall sein kann.

Infraschall:

Schall in einem Frequenzbereich unterhalb von 16 Hz wird als Infraschall bezeichnet. Er liegt außerhalb des menschlichen Hörbereiches, ist für den Menschen aber bei hohen Schallpegeln (80 bis 130 dB) als „Druck“ auf den Ohren oder über den ganzen Körper wahrnehmbar. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei sehr hohen Infraschallpegeln, etwa ab 130 dB, das menschliche Wohlbefinden beeinträchtigt werden kann. Es kann zu

Insbesondere der schalloptimierte Betrieb über eine Veränderung der Steuerung der Anlage durch eine Softwareanpassung kann bei drehzahlvariablen Anlagen schnell und preiswert zu einer Lösung des Geräuschproblems führen (vgl. SCHÄLLIG 1999B). In Abbildung 21 erkennt man die niedrigeren Schalleistungspegel der optimierten Anlage. Es wurde lediglich die Rotor-

In der Abbildung 22 sind beispielhafte Windenergieanlagen mit ihren vermessenen Schallpegeln in Abhängigkeit von ihrer Nennleistung dargestellt. Anlagen, die derzeit dem Stand der Technik entsprechen, haben bei $v_{10} = 10$ m/s Schalleistungspegel um 103 bis 104 dB(A).

Die Schallemissionen können Menschen und auch Tiere beein-

einer Beeinflussung der Gleichgewichtsorgane, Müdigkeit, Übelkeit, Ohrendruck und Unsicherheitsgefühl kommen. Nichtwahrnehmbarer Infraschall gilt allerdings als harmlos (LÖSER 1998, 82). Windenergieanlagen erzeugen Infraschall. Der Infraschall wird durch das periodische Vorbeistreichen der Rotorblätter am Mast und dem dort gestörte Windfeld verursacht (PIORR 1999, 120). Der Infraschallpegel liegt allerdings in den relevanten Entfernungen bereits unterhalb der Wahrnehmbarkeitsgrenzen und kann somit als nicht relevant für potentielle Belästigungen eingestuft werden (vgl. LÖSER 1998, PIORR 1999, KLUG 1996).

3.4.1.3 Drehbewegung des Rotors

Visuelle Beeinträchtigung der Landschaft

Durch die drehende Bewegung der Rotoren kommt es zu einem in der natürlichen Landschaft normalerweise nicht vorhandenen technischen bewegten Element, welches die Beeinträchtigung der Anlagen auf das Landschaftsbild verstärkt.

In der Literatur gibt es einen einhelligen Konsens darüber, dass Windenergieanlagen mit drei Flügeln aufgrund ihrer größeren Ruhe des Laufbildes denen mit zwei oder einem Flügel vorzuziehen sind (vgl. BFN 2000, BEHNKE 1996 u.a.).

Wirkungen auf die Tierwelt

Insekten:

Über die Auswirkungen der Drehbewegung auf Insekten gibt es keine gesicherten Erkenntnisse, sie sind aber nicht auszuschließen (vgl. REHFELDT 2001, 69). Insektenanflug wird bereits bei BÖTTGER et. al. (1990) beschrieben, es wird darauf hingewiesen, dass bei der Standortwahl der Massenanflug von Insekten zu berücksichtigen ist. Denn bei sehr starkem Anflug kann das Profil der Rotorblätter so stark verschmutzt werden, dass es zu einem Leistungsabfall der WEA kommen kann. So ist aus heutiger Sicht die Beeinträchtigung der Leistung einer WEA durch Insektenanflug eher beurteilbar, als die Beeinträchtigung von Insektenpopulationen durch Windenergieanlagen.

Fledermäuse:

Da Fledermäuse ihre durch Ultraschall wahrgenommenen Nahrungsinsekten im Flug erbeuten, kann dies also auch dort geschehen wo Windenergieanlagen stehen (RAHMEL et. al. 1999, 156). Dabei kann der drehende Rotor einer sich im Betrieb befindlichen WEA folgendermaßen als potentieller Wirkfaktor Einfluss auf Fledermäuse ausüben:

- Direkte Wirkung:

Auf Berichte über Kollisionen von Fledermäusen mit den Rotorblättern von Windenergieanlagen wird von RAHMEL et. al. (1999) verwiesen. Die Autoren erheben aber die

Vermutung, dass die Anzahl der verunglückten Tiere, ähnlich wie beim Vogelschlag als relativ gering einzustufen ist. Aber, „der aktuelle Kenntnisstand zum Problemfeld Fledermausschlag an Windenergieanlagen lässt eine sichere Einschätzung des Ausmaßes der Gefährdung zur Zeit noch nicht zu, es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf“ (RAHMEL et. al. 1999, 156). REHFELDT et. al. (2001) weisen noch darauf hin, dass die hohe Drehgeschwindigkeit der Rotorblattspitzen keine präzise Ortung des Hindernisses für Fledermäuse zulässt.

- Indirekte Wirkung:

RAHMEL et. al. (1999) nehmen an, dass, da Fledermäuse ihren Lebensraum regelmäßig erkunden und Veränderungen im Lebensraum wahrnehmen und verarbeiten, sie die Bereiche um die Rotoren meiden. Dies betrifft bei Windenergieparks den gesamten Bereich einschließlich der Zwischenräume zwischen den Anlagen. Die Autoren schätzen dieses Meidungsverhalten, bei einem Verlust von Jagdhabitaten, als eine Auswirkung von hoher Intensität ein.

Neben dem Verlust von Jagdhabitaten, kann die Unterbrechung von Flugkorridoren zwischen Quartier und Jagdgebiet auch zu einer Barrierewirkung für Fledermäuse führen.

Wildtiere:

Das Institut für Wildtierforschung der Tierärztlichen Hochschule Hannover hat in einer dreijährigen Studie die Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Verhalten und Vorkommen von Wildtieren, wie z.B. Feldhase, Rehwild, Rotfuchs und Rebhuhn untersucht (vgl. MENZEL 2001). „Für alle Wildarten wurde in allen Gebieten ganz überwiegend eine flächendeckende Nutzung – auch des Nahbereiches der WKA – bestätigt [...] Das Wild scheint sich an das Vorhandensein und den Betrieb der WKA gewöhnen zu können, da sie eine in Raum und Zeit kalkulierbare Störquelle darstellen“ (MENZEL 2001, <http://www.tiho-hannover.de/einricht/wildtier/windkraft.htm>). Die Autoren weisen allerdings darauf hin, dass eine Verallgemeinerung auf andere Wildtierarten nicht zulässig ist.

Avifauna:

Die Auswirkungen der verschiedenen Wirkfaktoren der Windenergieanlagen auf die Avifauna sind, wie bereits beschrieben sehr komplex und werden daher gemeinsam in Kapitel 3.5.1 besprochen. Die Drehbewegung der Rotoren ist eindeutig als Wirkfaktor für den Vogelschlag verantwortlich. Die Wirkung der Windenergieanlagen als sogenannte „Vogelscheuchen“ kann eventuell auch auf die Rotordrehung zurückgeführt werden.

3.4.2 Besucherverkehr

Der Besucherverkehr zu Windenergieanlagen und Windparks, insbesondere mit einem Informationszentrum kann zu zusätzlichen Beeinträchtigungen der Umwelt führen. Gerade Standorte, die bisher nicht vom Menschen, zum Beispiel als Erholungsgebiet genutzt wurden, werden, wenn die Infrastruktur vorhanden ist, von Besuchern frequentiert und damit neuen Belastungen ausgesetzt. Trittbelastungen der Vegetation, Lärm und Schadstoffe von Kraftfahrzeugen und andere Faktoren können auf Tiere und Pflanzen negative Wirkungen entfalten. Diese Wirkungen sind natürlich von der Anzahl und Häufigkeit der Besucher und dementsprechenden Vorbelastungen abhängig. Eventuell sollten Besucherzentren, zur Lenkung des Besucherverkehrs z.B. direkt an einer Straße, abseits der kritischen Bereiche errichtet werden (vgl. HINZEN/ MAYR 1995).

3.4.3 Wartungs- und Servicearbeiten

Windenergieanlagen im Betrieb müssen in regelmäßigen Abständen gewartet werden, auch ist mit Reparaturmaßnahmen zu rechnen. Dabei ist eine Belastung des Bodens und des Grundwassers durch unsachgemäßen Umgang mit Schadstoffen nicht auszuschließen. Eine Beeinträchtigung der Flora und Fauna ist durch Wechselwirkungen möglich.

3.4.4 Zusammenfassung der betriebsbedingten Umweltwirkungen

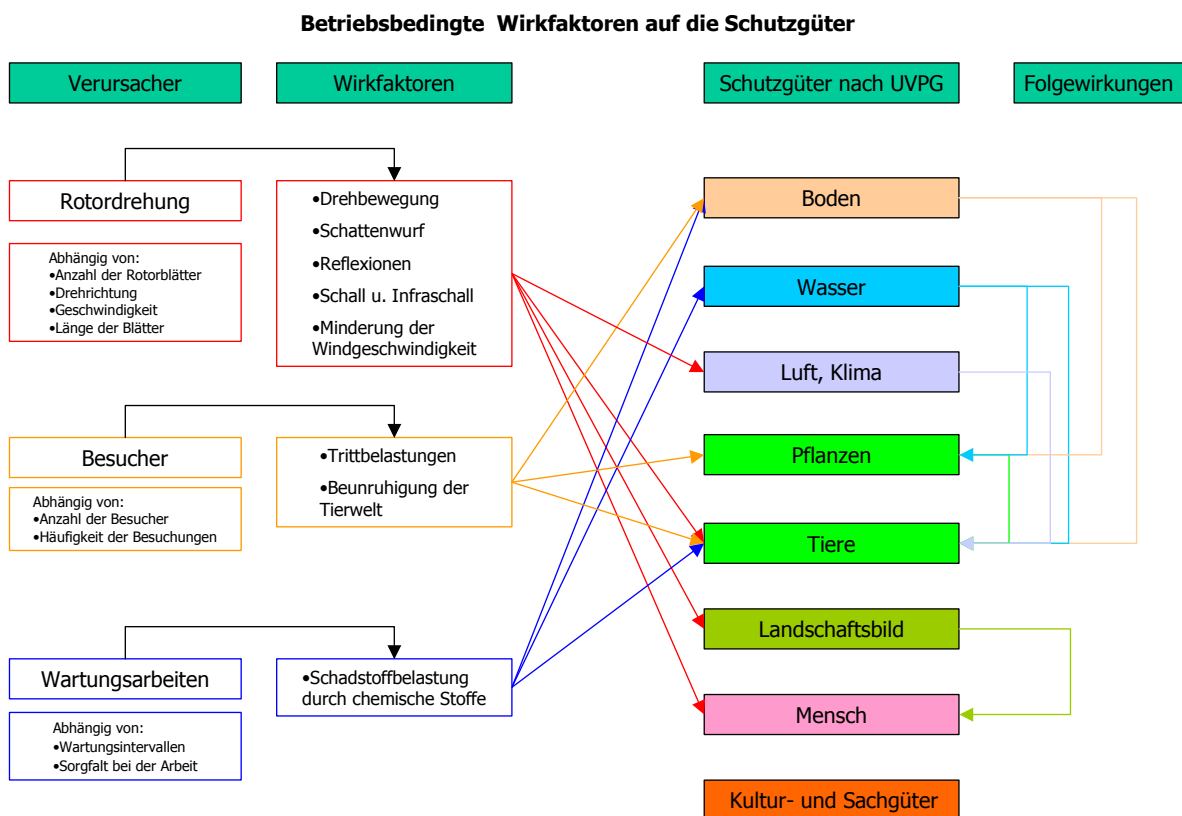


Abbildung 23: Betriebsbedingte Wirkfaktoren auf die Schutzgüter (eigene Darstellung).

Für die einzelnen Umwelt-Schutzgüter lassen sich also folgende betriebsbedingte Umweltwirkungen zusammentragen.

Das Schutzgut Boden kann durch Trittbelastungen von Besuchern der Windenergieanlagen beeinträchtigt werden, aber auch ein Schadstoffeintrag bei unsachgemäßem Umgang mit chemischen Stoffen bei Wartungsarbeiten ist denkbar. Dieser könnte sich auch direkt oder über Wechselwirkungen auf das Schutzgut Wasser auswirken.

Die Verminderung der Windgeschwindigkeit stellt eine Wirkung auf das Schutzgut Luft/Klima dar, nachteilige Auswirkungen sind allerdings nicht bekannt.

Eine Möglichkeit der Beeinträchtigung der Pflanzenwelt besteht durch die Besucher der Anlagen.

Auswirkungen auf die Tierwelt sind, aufgrund der Wirkfaktoren, die durch den Betrieb der WEA (z.B. Schall und Schattenemissionen) entstehen, sowie durch Störungen von Besuchern und bei Wartungsarbeiten möglich.

Eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und damit auch des Erholungswertes der Landschaft ist, aufgrund der visuellen Sichtbarkeit der Rotordrehung, gegeben. Die Beeinträchtigung des Menschen durch den Betrieb der Windenergieanlagen kann aufgrund der Schallemissionen und dem periodischen Schattenwurf erheblich sein.

3.4.5 Gefahrenpotential durch Störfälle an Windenergieanlagen

Störfälle an Windenergieanlagen treten meist während des Betriebes der Anlage auf. Auch das Gefahrenpotential für den Menschen ist während des Betriebes der Anlage am größten. Die hier behandelten Störfälle, wie Brand des Maschinenhauses, Rotorblattbruch, Eisabwurf und Blitzschlag sind bereits in der Praxis aufgetreten. Die Auswirkungen der Störfälle sollen unter besonderer Berücksichtigung des Gefahrenpotentials für den Menschen besprochen werden.

- **Brand des Maschinenhauses**

Der Brand des Maschinenhauses bei einer Störung kann nicht hundertprozentig ausgeschlossen werden. Das Löschen eines solchen Brandes stellt sich außerordentlich kompliziert dar, da meist keine Technik vorhanden ist, um in der Höhe von 50 bis 100 m einen Brand zu bekämpfen.

Da Windenergieanlagen im Außenbereich errichtet werden, ist eine tatsächliche Gefahr für den Menschen durch einen solchen Brand nicht gegeben.

- **Rotorblattbruch**

Durch wegfliegende Rotorblätter bzw. Rotorblattteile besteht eine theoretische Gefahr für Mensch und Tier.

Dieser Fall des Rotorblattbruchs kann zum einen beim Durchgehen des Rotors geschehen. Wenn alle Rotorbremssysteme versagen, kann die Rotordrehzahl bis zu ihrer aerodynamischen Grenzdrehzahl ansteigen. Diese wird erreicht, wenn sich die Anströmgeschwindigkeit im Blattaußenbereich der Schallgeschwindigkeit zu nähern beginnt. Die Grenzdrehzahl für die Bruchfestigkeit liegt im allgemeinen jedoch unterhalb der aerodynamisch möglichen Drehzahl. Moderne Anlagen besitzen zwei unabhängige Rotorbremssysteme, sodass dieser Gefahr wirksam begegnet wird (vgl. HAU 1996).

Der andere Fall des Rotorblattbruchs kann sich infolge von Materialermüdungen einstellen. Für die Windenergieanlage bedeutet dies, einen möglichen Blattbruch bei Nenndrehzahl des Rotors, also bei Normalbetrieb. Dadurch könnten Rotorblattteile von der Anlage weggeschleudert werden. Ein größerer Unfall aufgrund eines solchen Fehlers ist dem Autor dieser Arbeit nicht bekannt geworden.

- **Eisabwurf**

Wesentlich reeller ist die Gefahr des Eisabwurfs. Die Vereisung der Rotorblätter und der Abwurf von Eisbrocken ist eine nicht zu unterschätzende Gefahr und kann die Betriebssicherheit von Windenergieanlagen beeinträchtigen. „Die Vereisungsgefahr ist bei rotierenden Rotorblättern größer als bei stillstehendem Rotor. Ähnlich wie bei Flugzeugtragflächen begünstigt die Umströmung die Eisbildung bei gewissen Wetterlagen (HAU 1996, 464). Da diese Eisbrocken durchaus eine gefährliche Größe annehmen können und über beträchtliche Distanzen weggeschleudert werden können, ist diese Gefahr nicht zu unterschätzen. Um diesem Problem zu begegnen, kann man einerseits mit Hilfe eines Eiswarnsystems die automatische Abschaltung der Anlage bei kritischen Wetterbedingungen veranlassen (vgl. HAU 1996). Andererseits besteht die Möglichkeit, die Rotorblätter zu beheizen, um die Bildung von Eis zu verhindern.

- **Blitzschlag**

Für Windenergieanlagen ist ein guter Blitzschutz sehr wichtig, da sie aufgrund ihrer exponierten Lage stark gefährdet sind. Die primär von einem Blitz getroffenen Teile sind die Rotorblätter. Da bei den, aus Glasfasermaterial hergestellten Rotorblättern, sehr häufig Blitzschäden zu verzeichnen gewesen sind, werden diese heute mit besonderen Blitzschutzvorrichtungen gefertigt. Dadurch lässt sich die Wahrscheinlichkeit größerer Blitzschäden verringern.

3.5 Zusammenfassung der möglichen Umweltwirkungen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren analysiert, ihre Umweltwirkungen beschrieben und den einzelnen Umweltschutzgütern zugeordnet.

Dabei war bereits zu erkennen, dass unter Berücksichtigung der Intensität, der zeitlichen und räumlichen Dimension die anlage- und betriebsbedingten Umweltwirkungen gegenüber den baubedingten Umweltwirkungen überwiegen. Insbesondere aufgrund der kurzen Bauzeit ist hier im allgemeinen nicht mit wesentlichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter zu rechnen, es sei denn sie finden in besonders sensiblen Biotopen oder im Zeitraum der Entwicklungsperioden von Pflanzen und Tieren statt (vgl. JUSTKA 1996).

Anlage- und betriebsbedingte Wirkungen sind, aufgrund der durchschnittlichen Stand- und Betriebszeit von ca. 20 Jahren, in ihrer zeitlichen Dimension als nachhaltig einzuschätzen. Unter den anlagebedingten Wirkungen ist, auch unter Berücksichtigung der räumlichen Intensität (siehe auch Kapitel 4.3.2.3), die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes die größte Umweltwirkung. Folgewirkungen sind dadurch, insbesondere für die Beeinträchtigung des Erholungswertes der Landschaft für den Menschen, zu erwarten.

Durch die, beim Betrieb der Anlagen entstehenden, Schall- und Schattenemissionen kann, neben der Erholungsnutzung der Landschaft auch die Wohnnutzung beeinträchtigt sein. Insbesondere Schallemissionen treten während des Betriebes einer WEA, mehr oder weniger intensiv, immer auf. Dadurch kann die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen beeinträchtigt werden und somit eine erhebliche Entwertung von betroffenen Wohn- und Erholungsgebieten bewirkt werden.

Durch anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren können Lebensräume der Avifauna beeinträchtigt werden. Dabei ist eine genaue Ursache-Wirkungsbeziehung allerdings noch nicht exakt möglich. Deshalb soll im folgenden Kapitel eine Beschreibung der möglichen Beeinträchtigungen der Avifauna gesondert erfolgen. Für andere Tiere konnte eine wesentliche Beeinträchtigung durch die anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren nicht nachgewiesen werden.

3.5.1 Umweltwirkungen auf das Schutzgut Avifauna

Die Auswirkungen von Windenergieanlagen auf die Avifauna können, wie weiter oben bereits gesagt, nicht exakt auf bestimmte Wirkfaktoren zurückgeführt werden. Es gibt eine große Anzahl an Untersuchungen und Studien, die sich mit der Beeinträchtigung der Avifauna auseinandersetzen. Aber bis heute sind genaue Untersuchungen über Ursache-Wirkungsketten nicht durchgeführt worden.

Daher soll hier ein Überblick über die bisher bekannten Wirkungen von Windenergieanlagen gegeben werden.

Beeinträchtigungen auf die Avifauna können direkt durch die Zerstörung von Lebensräumen mit der Errichtung von Fundamenten und dem Bau von Wegen auftreten. Aufgrund der geringen überbauten Fläche im Vergleich zur Gesamtfläche eines Windparks spielt dies allerdings nur eine untergeordnete Rolle. Wesentlich größer sind indirekte Beeinträchtigungen, die durch eine Vertreibungswirkung der Windenergieanlagen auftreten. Neben diesen Vertreibungswirkungen besteht noch die Gefahr des Vogelschlages am Mast und den drehenden Rotorflügeln.

Diese Wirkungen können also unterteilt werden in:

- Vogelschlag,
- Meidungsverhalten von Rast- (Gast-)Vögeln
- Meidungsverhalten von Brutvögeln
- verändertes Flugverhalten von Zugvögeln

Sie sollen im folgenden näher beschrieben werden.

Vogelschlag:

Die Gefährdung von Vögeln durch direkte Kollisionen mit Teilen der WEA hat sich als relativ gering herausgestellt. Die Vögel nehmen die Windenergieanlagen wahrscheinlich anhand der Rotordrehungen und der Geräusche als Hindernisse wahr und über- oder umfliegen diese dann. Im Vergleich zu Vogelschlag durch andere anthropogene Belastungen, wie Hochspannungsleitungen, Verkehr und Sendemasten ist die Gefährdung durch Windenergieanlagen eher von untergeordneter Bedeutung (vgl. MIELKE 1996).

Das Vogelschlagrisiko kann allerdings bei ungünstigen Wetterbedingungen (Nebel, starker Wind) erheblich ansteigen, da eine präzise Ortung von Windenergieanlagen und ein sicheres Ausweichen der Vögel dann oftmals nicht mehr möglich ist (vgl. AG EINGRIFFSREGELUNG 1996).

Meidungsverhalten:

Wesentlich umfangreicher sind die Beeinträchtigungen der Avifauna durch Beunruhigung und Scheuchwirkung, aufgrund der vertikalen Struktur und der Drehbewegung, der Windenergieanlagen. Daraus folgt die Meidung von Brut-, Rast- und Nahrungsgebieten durch bestimmte Vogelarten sowie die Barrierewirkung bei häufig genutzten Flugwegen. Als Wirkfaktoren, die für diese Meidungsreaktionen verantwortlich sind, werden Schallemissionen, periodischer Schattenwurf, Rotordrehung und die Vertikalstruktur der WEA diskutiert (vgl. BREUER/ SÜDBECK 1999, CLAUSSAGER/ NØHR 1995). Genauere Untersuchungen stehen dazu aber noch aus (vgl. BRUX/ WALTER 1999, 104).

Es wird vermutet, dass die Unterbrechung und Zergliederung der offenen, weiträumigen Landschaften mit Windenergieanlagen zu einer Meidungsreaktion von Wiesen- und Wat-

vogelarten führt, die in eben diesen offenen Flächen siedeln. „Neben den Anlagen selbst ist auch ein Effekt des Schlagschattens, den die rotierende Rotorbewegung auf den Erdboden projiziert, wahrscheinlich. Für Vogelarten des Offenlandes, die stets mit Beutegreifen aus der Luft rechnen müssen, kann sich eine Reaktion auch auf Schattenbewegungen als überlebenswichtiges Verhalten herausgebildet haben“ (BREUER/ SÜDBECK 1999, 172).

Meidungsverhalten der Brutvögel:

Bei Brutvögeln wird seltener von Meidungsreaktionen gegenüber Windenergieanlagen berichtet. Feldlerche und Wiesenpieper sind auch noch in nächster Nähe zu Windenergieanlagen zu finden (vgl. BACH et al. 1999). Für andere Vogelarten liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor, es gibt aber Beobachtungen von Stockente, Mäusebussard, Rohrweihe, Fasan, Wachtel, Rotschenkel, Austernfischer, Schafstelze, Bachstelze, Schilfrohrsänger, Braunkehlchen und Dorngrasmücke in der Nähe von Windenergieanlagen. Diese Beobachtungen sind, aufgrund der geringen Datenlage, aber nicht als allgemeingültige Aussagen zu betrachten. Allerdings ist zu vermuten, dass die meisten dieser Arten wenig oder gar nicht negativ bei ihrer Revierbildung beeinflusst werden, da sie die Standorte sogar als Nistplätze nutzen (HANDKE 2000, 50).

Beim Kiebitz kann, aufgrund verschiedenster Untersuchungen, als gesichert angenommen werden, dass eine deutliche Verlagerung von brütenden Vögeln stattgefunden hat. Je nach Untersuchung sind im Umkreis von 100 bis 200 m deutliche Verdrängungseffekte zu beobachten gewesen (vgl. BÖTTGER et al. 1990, BACH et al. 1999, BRUX/ WALTER 1999).

Für andere Arten, wie Großer Brachvogel, Kranich und Wiesenweihe, fehlen gesicherte Daten (HANDKE 2000, 50).

Meidungsverhalten von Rastvögeln:

Für Rastvögel liegen bereits relativ umfangreiche Untersuchungen vor. Es sind deutliche Meidungsreaktionen bei verschiedensten Vogelarten beobachtet worden (vgl. HANDKE 2000). Die meisten Untersuchungen wurden in Küstenregionen durchgeführt, sie lassen sich aber auch auf das Binnenland übertragen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Vogelrastgebiete linienhaft an der Küste konzentrieren, während sie im Binnenland eher flächenhaft verteilt sind (vgl. JUSTKA/ BRUNS 1996). Insbesondere für rastende Kiebitze, Goldregenpfeifer und Große Brachvögel konnte ein deutliches Meidungs- und Ausweichverhalten von bis zu 250 m nachgewiesen werden (vgl. CLEMENS/ LAMMEN 1995, BACH et. al. 1999, HANDKE 2000).

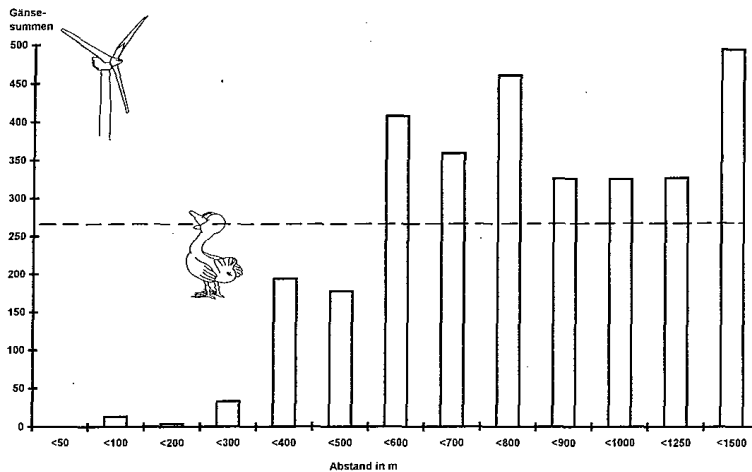


Abbildung 24: Abstand Nahrung suchender Blässgänse zum Windpark Holtgaste (Winter 1996/97 – 1997/98) nach Kategorien, die gestrichelte Linie gibt die Nutzungsdichte des Vergleichsgebietes wieder (KRUCKENBERG et al. 1998, 424).

Rastende und fressende Saat- und Blässgänse sind ebenfalls sehr empfindlich bei Störungen, zu denen auch Windenergieanlagen zählen (vgl. KAATZ 1999, KRUCKENBERG et al. 1998, HANDKE 2000). Blässgänse reagieren auf die vertikalen Strukturen der WEA und das bewegte Element der drehenden Rotoren mit reflexartigem Fluchtverhalten, da diese sich genau in den Be-

reichen am Horizont bewegen, in denen die Vögel nach natürlichen Feinden Ausschau halten. In der Untersuchung von KRUCKENBERG et al. mieden die Gänse das Nahrungsgebiet vollständig bis ungefähr 400 m Abstand zu den ca. 70 m hohen Windenergieanlagen (KRUCKENBERG et al. 1998). Wie in Abbildung 24 ersichtlich, ist die Verteilung der rastenden Gänse ab der Abstandskategorie von 600 m vom Windpark nicht mehr beeinflusst. Die Verteilung von rastenden Vögeln wird allerdings nicht nur von Windenergieanlagen bzw. Windparks bestimmt. Viele andere Faktoren, wie Nahrungsangebot, Biotopstruktur, andere Störungen und Tradition sind ebenfalls für Verteilungsmuster von Rastvögeln entscheidend. Wenn solche anderen Faktoren stärker wirken, kann die Toleranz gegenüber Windparks größer werden, der durchschnittliche Abstand zu den Anlagen wird kleiner. Steht allerdings ausreichend Ausweichfläche zur Verfügung, wird der Abstand zu den WEA dementsprechend größer gewählt.

Zugvögel, Flugverhalten:

Windenergieanlagen, insbesondere in Windparks können auch auf ziehende und fliegende Vögel negativen Einfluss haben. Die Windenergieanlagen wirken als Barriere, die die Vögel über – oder umfliegen müssen. Beobachtungen deuten darauf hin, dass niedrig ziehende Vögel den Anlagen bis auf zwei Kilometer Entfernung ausweichen (vgl. HANDKE 2000). Das Umfliegen und besonders das Überfliegen bedeutet einen enormen energetischen Aufwand, der für im Zug befindliche Vögel, die ohnehin beträchtliche Stressbelastung zusätzlich erhöht (vgl. BFN 2000).

Bei entsprechend verlaufenden Gebirgszügen ist mit Leitlinien und Trichterwirkungen für Zugvögel im deutschen Mittelgebirgsraum zu rechnen. An Einschnitten, insbesondere

Flusstälern, sind starke Zugverdichtungen zu erwarten. Die Zughöhen sind zwar im Binnenland wesentlich höher als an der Küste, können allerdings bei bestimmten Witterungsbedingungen im Höhenbereich von Windenergieanlagen liegen (vgl. KOOP 1997). Windparks an dementsprechenden Stellen bergen die Gefahr der Störung von Zugvögeln. Die Wirkungen von Windenergieanlagen der neuen Generation mit Nabenhöhen bis 120 m und Rotorradien von über 50 m sind in dieser Hinsicht bisher unbekannt, da die meisten Untersuchungen an Windenergieanlagen der älteren Generationen mit niedrigeren Gesamthöhen durchgeführt wurden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese größeren Nabenhöhen, aufgrund von möglichen Ertragssteigerungen der Windenergieanlagen, wohl vorrangig im Binnenland eingesetzt werden. Hier sind die Flughöhen von Zugvögeln aber deutlich höher als an der Küste (vgl. KOOP 1997, SACHSLEHNER/ KOLLER 1997).

Es ist zu vermuten, dass die Luftverwirbelungen hinter den Windenergieanlagen zu abweichenden Reaktionen im Flugverhalten bei bestimmten Vögeln (besonders bei Seglern) führen. Dementsprechende Beobachtungen von KAATZ (1999) beziehen sich vor allem auf Saatgänse, Kraniche und Krähen. Bei Seglern können die, sich hinter den Windenergieanlagen bildenden, Wirbelschleppen zu Strömungsabrissen führen, die in einem seitlichen Abkippen über einen Flügel erkennbar sind. Dies ist wahrscheinlich auf das Phänomen der, in zwei Ebenen rotierenden Wirbelfelder zurückzuführen, welches in der Natur normalerweise nicht vorkommt (vgl. KAATZ 1999).

Die Barrierewirkung der Windenergieanlagen und insbesondere der Windparks können durch die Zerschneidung von Flugbahnen zu weiteren Verlusten von Habitaten führen. Aufstellung von Windenergieanlagen in langen Linien und Aneinanderreihung von mehreren Windparks können zu solchen Abriegelungen von bestimmten Habitaten führen, wenn dadurch die angestammte Flugbahn zwischen Ruhe- und Nahrungshabitaten gestört ist (vgl. KRUCKENBERG et al. 1998).

4 Bewertungsmöglichkeiten der Umweltwirkungen an Binnenlandstandorten

Die Suche nach Standorten für Windenergieanlagen ist neben wirtschaftlichen Fragen auch von den Problemen der Beeinträchtigungen der einzelnen Umwelt-Schutzgüter geprägt. Die Einschätzung der Beeinträchtigung dieser Schutzgüter durch die Wirkungen der Anlagen ist deshalb von zentraler Bedeutung bei der Ermittlung von geeigneten Standorten zur Nutzung von Windenergie.

Die Bewertung dieser Beeinträchtigungen durch Windenergieanlagen und die Ermittlung der Empfindlichkeiten der einzelnen Landschaftsräume in denen die Nutzung von Windenergie angedacht ist, kann mit Hilfe der Ökologischen Risikoanalyse erfolgen. Durch die Einschätzung der Beeinträchtigungsintensitäten und den Empfindlichkeiten der Schutzgüter besteht die Möglichkeit, das Risiko einer Beeinträchtigung abzuschätzen und zu bewerten.

Aufgrund der Bewertung dieser Beeinträchtigungen kann eine realistische Einschätzung und Klassifizierung bestimmter Windenergiestandorte hinsichtlich ihrer Eignung aus der Sicht des Umweltschutzes erfolgen.

4.1 Bewertungsmethoden

Bewertungsverfahren, wie z.B. die Ökologische Risikoanalyse, haben die Aufgabe, Bewertungen formal und inhaltlich zu strukturieren, um ein aussagefähiges, operables Bewertungsergebnis zu erhalten. Dabei werden Objekte nach Wertgesichtspunkten verglichen, geordnet oder quantifiziert (vgl. BECHMANN 1981 in HABER et. al. 1993, 171 oder in DEMUTH 2000, 75). Es erfolgt dadurch eine regelhafte Verknüpfung von Sachinformationen und Wertmaßstäben zu einem Werturteil (vgl. BECHMANN 1993).

„Die Bewertung bildet den Übergang von der Beschreibung der Wirklichkeit (und sei es auch mit teilweise unzureichenden prognostischen Wissen) zur Handlungsempfehlung. [...] Durch die Bewertung wird erst die Möglichkeit geschaffen, von einer auf naturwissenschaftliche Erkenntnisse gestützten Beschreibung der Welt und Prognose möglicher Veränderungen zu handlungsorientierenden Empfehlungen zu kommen“ (BECHMANN 1993, 87).

„Unter Bewertung versteht man die Einschätzung eines Gutes, einer Leistung oder einer Idee nach Wert und Bedeutung. Bewertung heißt Stellung beziehen zu einem Sachverhalt (Sachebene) von einer Vorstellung (Wertebene) aus.

Bewertung erfordert zum einen bestimmte Informationen über den zu bewertenden Gegenstand, zum anderen einen Bezugsrahmen (Bewertungsmaßstab). Dies setzt eine Vorstellung vom Sollzustand des Bewertungsgegenstandes voraus (Umweltqualitätsziele und

-standards), erfordert jedoch zusätzlich, dass diese Ziele und Werthaltungen von der Gesellschaft anerkannt werden. Nur auf Grundlage gesellschaftlich anerkannter Umweltqualitätsziele ist eine verbindliche Bewertung der von einem umweltbelastenden Vorhaben ausgehenden Beeinträchtigungen der betroffenen Umwelt möglich“ (HABER et. al. 1993, 166).

Daher muss die Bewertung auf einem angemessenen und zutreffenden Sachmodell fußen. Dies bedeutet nicht möglichst genau, denn es ist unmöglich, alle Elemente des Systems Umwelt mit ihren Beziehungen zu erfassen und zu erklären. Die Bewertung sollte sich explizit auf Ziele (Werte) beziehen.

Bewertungsmethoden sollten deshalb aus einem Sachmodell, einem Zielsystem und Bewertungsregeln zur Wertzuordnung und Wertsynthese/Aggregation bestehen (SCHOLLES 1999).

Daher müssen folgende Anforderungen an Bewertungsverfahren gestellt werden:

- **Validität (Gültigkeit):**

Das angewandte Verfahren muss für die spezielle Zielstellung geeignet sein, die Aussagen des Ergebnisses müssen Gültigkeit beanspruchen können. Das Modell muss die Wirklichkeit richtig abbilden. Die Indikatoren entsprechen ihrer Definition und der Stand der Wissenschaft wurde zu Grunde gelegt. Die Anwendung des Verfahrens ist widerspruchsfrei.

- **Reliabilität (Zuverlässigkeit):**

Dies bedeutet, dass eine Wiederholbarkeit des Bewertungsverfahrens möglich ist. Unter gleichen Rahmenbedingungen sollte bei einer Wiederholung das gleiche Ergebnis herauskommen.

- **Intersubjektivität:**

Die Ergebnisse sollen, bei der Verwendung des gleichen Verfahrens und gleicher Bewertungsregeln, von der Person des Anwenders unabhängig sein.

- **Transparenz und Nachvollziehbarkeit:**

Das Sachmodell, die Struktur, Bewertungsmaßstäbe, Bewertungsergebnisse und alle Bewertungsschritte sollen für alle Beteiligten, aber auch Außenstehende, durchschaubar und nachvollziehbar sein.

- **Flexibilität:**

Flexibilität ist die Anpassungsfähigkeit des Bewertungsverfahrens an unterschiedliche Besonderheiten und Erfordernisse im Rahmen von Bewertungen.

(vgl. DEMUTH 2000, SCHOLLES 1999 und COERS 1999)

4.2 Methode der Ökologischen Risikoanalyse

Die Bewertung von Umweltwirkungen soll im vorliegenden Fall mit der Methode der Ökologischen Risikoanalyse (ÖRA) vorgenommen werden.

„Ziel der Ökologischen Risikoanalyse ist die Beurteilung der ökologischen Nutzungsverträglichkeit bei unvollständiger Information“ (SCHOLLES 1997, 9). Damit wird berücksichtigt, dass bei der Analyse und Prognose der ökologischen Wirkungen eine relativ große Unsicherheit bestehen kann. Mit dem Begriff Risiko soll diese Unsicherheit einkalkuliert werden können (vgl. ebenda). Die Ökologische Risikoanalyse wurde erstmals als Methode zur Betrachtung natürlicher Ressourcen in einem größeren Planungsraum im Rahmen eines wissenschaftlichen Gutachtens Mitte der 70er Jahre entwickelt (in SCHOLLES 1997, 9 wird auf AULIG et. al. 1977 und BACHFISCHER 1978 verwiesen).

Zur Beurteilung des Risikos der Beeinträchtigungen werden die drei Aggregatgrößen

- Intensität der Beeinträchtigung (Beeinträchtigungsintensität)
- Empfindlichkeit gegenüber Beeinträchtigungen (Beeinträchtigungsempfindlichkeit)
- das Risiko der Beeinträchtigung gebildet.

Die Beeinträchtigungsempfindlichkeit wird aus der Eignung von Naturgütern und / oder Landschaften als Träger bestehender Leistungen und Qualitäten und der Sensibilität dieser gegenüber möglichen Veränderungen (Veränderungsempfindlichkeit) ermittelt.

Auf der Verursacherseite werden die Beeinträchtigungsfaktoren für die verschiedenen Schutzgüter entsprechend der von ihnen ausgehenden Wirkungen zusammengefasst und über Prognosen nach zeitlich und räumlich divergierenden Beeinträchtigungsintensitäten geordnet (vgl. SCHOLLES 1997).

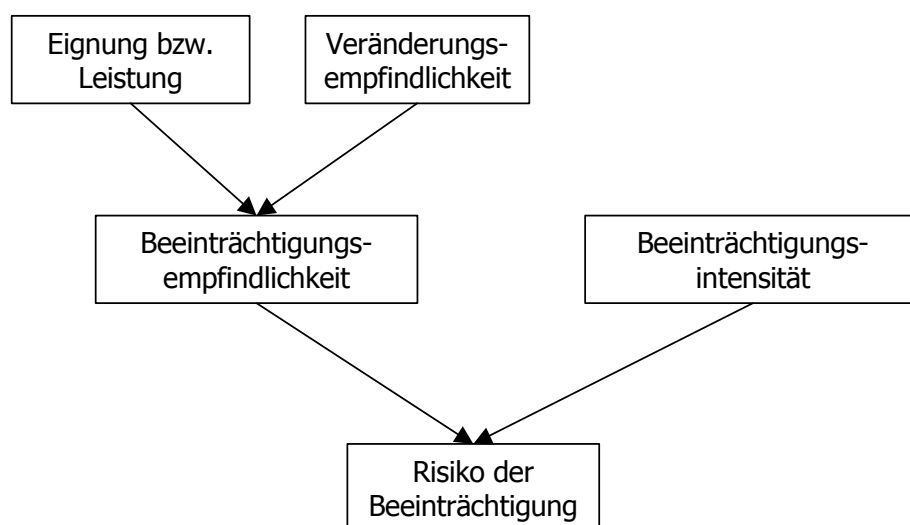


Abbildung 25: Aggregationsschritte der Ökologischen Risikoanalyse.

Das Risiko der Beeinträchtigung ergibt sich aus der Verknüpfung der beiden Größen Beeinträchtigungsempfindlichkeit und Beeinträchtigungsintensität.

Da die Beeinträchtigungsempfindlichkeit und die Beeinträchtigungsintensität in ordinalen Skalen eingestuft sind, kann die Verknüpfung dieser Größen zum Risiko der Beeinträchtigung mit Hilfe einer Präferenzmatrix erfolgen.

Eine Präferenzmatrix erlaubt es, zwei ordinal skalierte Größen, zu einer Größe zu aggregieren, welche sich dann auf einer höheren Abstraktionsebene befindet. Dabei werden die zwei Größen durch logische Kombination, sog. „Boole'sche Algebra“, aggregiert. Diese beruht auf Wenn-Dann-Aussagen nach dem Muster: „WENN Merkmal A den Wert 1 hat UND Merkmal B den Wert 1, DANN wird auch der aggregierten Größe der Wert 1 zugeordnet“. Üblich sind ordinale Skalen mit 3 bis 9 Stufen, bewährt hat sich eine ungerade Anzahl von Klassen (vgl. SCHOLLES 1999).

Die Ermittlung der Risiken erfolgt für einzelne Naturraumpotenziale, Raumfunktionen oder Schutzgüter. Eine Aggregation der Risiken der einzelnen Schutzgüter zu einem Gesamtrisiko wird im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt, da nur beispielhaft einige Beeinträchtigungen mit Hilfe der ÖRA betrachtet werden. Grundsätzlich sollte diese Abwägung zwischen einzelnen Schutzgütern dem Entscheidungsträger (z.B. im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung) überlassen werden (vgl. SCHOLLES 1999).

Die Ermittlung der ordinalen Skalen für die verschiedenen Größen kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen. Sie können über Relevanzbäume ermittelt, verbal oder tabellarisch zugeordnet oder wiederum aus verschiedenen Merkmalen aggregiert werden. Diese Zuordnung zu verschiedenen Klassen innerhalb der ordinalen Skala, muss aber transparent und offen geschehen. Sie muss nachvollziehbar und begründet sein. Die Einordnung von Merkmalen in verschiedene Klassen ist bereits Teil der Bewertung des Eingriffs.

Denn eine Ökologische Risikoanalyse ist immer in Sach- und Wertaussage zu trennen. SCHOLLES (1999) unterteilt diese daher in die Arbeitsschritte:

- naturwissenschaftlich-empirische Wirkungsanalyse (Wie funktioniert der Naturhaushalt? Wie wirken Belastungen? Wie reagieren die Schutzgüter?) und
- normative Aussage (Einschätzung, Beurteilung, Bewertung) aus fachlicher Sicht (Wie gut funktioniert der Naturhaushalt? Führen die Belastungen zu Beeinträchtigungen? Verlieren die Schutzgüter ihre Funktionen? Besteht eine Schutzwürdigkeit?).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Grundlagen für den ersten Arbeitsschritt bereits im 3. Kapitel erarbeitet.

4.3 Bewertung von Standorten für beispielhafte Schutzgüter

4.3.1 Einleitung

In der Wirkungsanalyse im 3. Kapitel wurden die Umweltwirkungen von Windenergieanlagen auf alle Schutzgüter beschrieben. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Beeinträchtigung der Tierwelt, insbesondere der Avifauna sowie die Beeinträchtigung und Veränderung der Landschaft durch die weiträumige visuelle Wirkung der Anlagen die größten Wirkungen auf die Umwelt darstellen. Die Emission von Schall und der periodische Schattenwurf sind weitere Wirkfaktoren die großen Einfluss auf das Wohlbefinden von Menschen haben können. Dadurch können die Sachgüter Wohnen und Erholen des Menschen im Landschaftsraum beeinträchtigt sein.

Deshalb soll das Risiko der Beeinträchtigung durch Windenergieanlagen in Anlehnung an die Methode der Ökologischen Risikoanalyse für die folgende Punkte ermittelt und bewertet werden:

- für Landschaftsbild als Teil des Schutzgutes Landschaft
- für Avifauna als Teil des Schutzgutes Tierwelt
- für das Schutzgut Mensch
- für das Sachgut der Erholungsnutzung von Landschaftsräumen.

Mit Hilfe dieser Bewertungsverfahren soll eine Möglichkeit geschaffen werden, die Risiken für verschiedene Standorte zu ermitteln. Die Ergebnisse einer solchen Risikoermittlung sollten vielfältig nutzbar sein. Einerseits können sie die Vergleichbarkeit verschiedener Standortalternativen ermöglichen, aber auch die Verwendung der Ergebnisse im Rahmen der Eingriffsregelung oder in Umweltverträglichkeitsstudien ist vorstellbar.

4.3.2 Schutzgut Landschaftsbild

Die Beeinträchtigung des Schutzgutes Landschaftsbild durch die Errichtung von Windenergieanlagen wurde bereits in den Kapiteln 3.3 und 3.4 beschrieben. Es soll nun ein nutzerunabhängiges Bewertungsverfahren zur Einschätzung der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes entwickelt werden.

In Anlehnung an die Ökologische Risikoanalyse werden verschiedene Aggregatgrößen, wie in Abbildung 26 dargestellt, miteinander verknüpft.

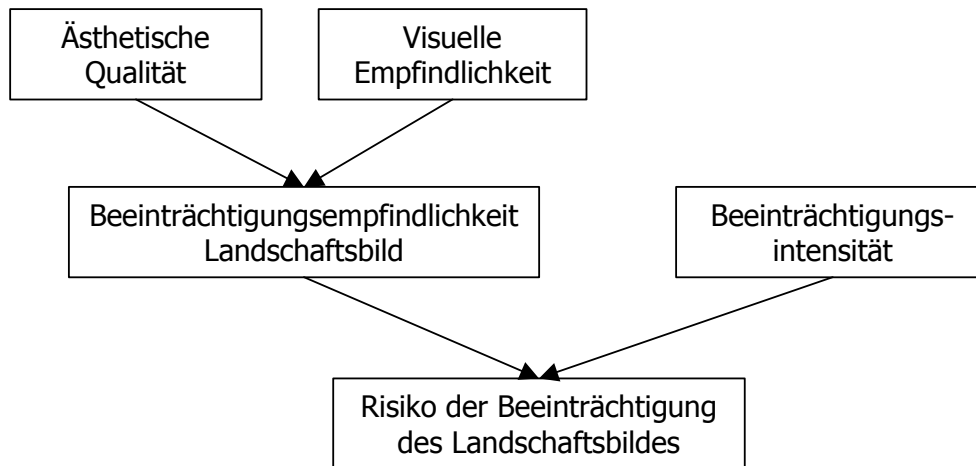


Abbildung 26: Ablaufschema zur Ermittlung des Risikos der Landschaftsbildbeeinträchtigung.

4.3.2.1 Eingriffsraum

Der Einwirkungsbereich, also der vom Eingriffsobjekt ästhetisch beeinträchtigte Landschaftsbereich, bestimmt sich über die Fernwirkung des Objekts. Im allgemeinen ist die Fernwirkung und damit der Einwirkungsbereich umso größer, je höher das Eingriffsobjekt ist (NOHL 1993, 16). Die Erheblichkeit eines Eingriffs in das Landschaftsbild hängt natürlich auch von der Entfernung zum Eingriffsort ab. Nach NOHL (1993) kann der Wirkungsbereich deshalb in drei Wirkzonen geteilt werden (siehe Abbildung 27). Die Wirkzonen orientieren sich an den sinnlichen Wahrnehmungsmöglichkeiten des Menschen und der Einteilung eines Blickfeldes in Nah-, Mittel- und Hintergrund (vgl. GALLER 2000, 43).

- **Wirkzone I (0 – 0,5 km):** Nahbereich, hier kommen neben der Sichtbarkeit noch andere Beeinträchtigungen, wie z.B. Schall dazu.
- **Wirkzone II (0,5 – 1,5 km):** Mittelgrund, visuelle Beeinträchtigung durch Lage im Bildmittelgrund stärker als Wirkzone III.
- **Wirkzone III (1,5 – 10 km):** Hintergrund, visuelle Beeinträchtigung durch Fernwirkung.

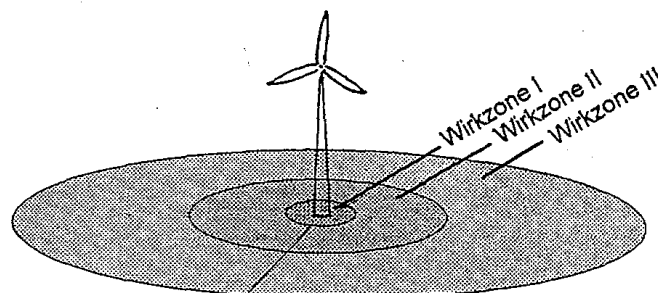


Abbildung 27: Wirkzonen für Windenergieanlagen (GALLER 2000, 44).

Der zu untersuchende Eingriffsraum soll somit für das Schutzgut Landschaftsbild mindestens 10 km im Radius um den Standort der Windenergieanlagen liegen.

4.3.2.2 Empfindlichkeit des Schutzgutes Landschaft

Die Beeinträchtigungsempfindlichkeit eines Schutzgutes ergibt sich aus der Aggregation von Eignung/ Leistung und der Veränderungsempfindlichkeit. Für das Landschaftsbild soll die Eignung und Leistungsfähigkeit eines Schutzgutes mit dem Begriff der Ästhetischen Qualität und die Veränderungsempfindlichkeit mit der Visuellen Empfindlichkeit beschrieben werden.

Die Beeinträchtigungsempfindlichkeit des zu untersuchenden Landschaftsraumes ist somit von seiner Ästhetischen Qualität und von seiner Visuellen Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen abhängig. Die beiden Kriterien sollen im folgenden definiert und ihre Ermittlung für den Landschaftsraum beschrieben werden.

Grundlage für die Bewertung des Landschaftsbildes ist die Abgrenzung ästhetischer Raumeinheiten. Ästhetische Raumeinheiten sind Landschaftsbildeinheiten, die in der menschlichen Wahrnehmung charakteristische, gegeneinander abgrenzbare Erscheinungsbilder abgeben. Morphologische Gestaltmerkmale, Flächennutzungen und Anordnungsmuster differenzieren die ästhetischen Raumeinheiten. Die Grenzen zwischen einzelnen Einheiten sind nicht immer sichtbar, sondern eine gedachte Linie, da die Übergänge zum Teil fließend sind (GALLER 2000, 44).

Ästhetische Qualität:

Die landschaftsästhetische Qualität lässt sich anhand der Kriterien Vielfalt, Eigenart und Naturnähe bestimmen (vgl. NOHL 1993, GALLER 2000). Um diese einzelnen Kriterien einschätzen zu können, sollen diese im folgenden definiert und beschrieben werden.

Vielfalt:

Die Vielfalt einer Landschaft ist deren vielgestaltige Erscheinungsform unter Berücksichtigung der naturraumtypischen standörtlichen Vielfalt der gewachsenen Landschaft (vgl. LOUIS 1990 in GALLER 2000). Ein Landschaftsraum ist umso vielfältiger, je mehr visuell unterscheidbare Elemente in ihm vorhanden sind. Eine vielfältige Wirkung kann dabei nicht nur durch viele verschiedene Nutzungsstrukturen und Einzelelemente hervorgerufen werden, sondern auch durch die abwechslungsreiche Anordnung weniger Elemente zueinander entstehen (vgl. WENZEL 1995). Jedoch kann das Kriterium Vielfalt nicht dergestalt aufgefasst werden, dass eine beliebige Steigerung zu einer Erhöhung der Wertigkeit

des Landschaftsbildes führt. Die Vielfalt findet ihre Begrenzung in der Wechselbeziehung zur Eigenart.

Bei der Ermittlung und Bewertung der Vielfalt einer ästhetischen Raumeinheit sind nach DEMUTH (2000) folgende Einzelkriterien zu berücksichtigen:

- Reliefvielfalt,
- Vegetationsvielfalt,
- Nutzungsvielfalt,
- Formenvielfalt,
- Gewässervorkommen.

Eigenart:

Der Begriff Eigenart beschreibt die Charakteristik einer Landschaft. Die Eigenart wird durch die naturräumlichen Gegebenheiten, aber auch durch die kulturhistorische Entwicklung und derzeitige Nutzungsform einer Landschaft bestimmt.

Nach NOHL (1993) kommt der Eigenart eine hohe Bedeutung für das Bedürfnis des Menschen nach Heimat zu.

Als Eigenartverlust wird die Überformung charakteristischer Merkmale durch neue, orts-untypische Elemente bzw. Strukturen verstanden. Dabei ist der Faktor Zeit, d.h. die Geschwindigkeit der ablaufenden Veränderungsprozesse, von entscheidender Bedeutung. Während ein stetiger, kontinuierlicher Wandel die Herausbildung räumlicher Identität fördern kann, zerstört ein abrupter, schneller Wechsel gewachsene Strukturen und wird vom Betrachter als Eigenartverlust empfunden. Als Referenzzeitraum wird in der Regel ein Zeitraum von 50 Jahren angegeben, also der Zeitraum, an den sich ein Mensch zurück erinnern kann (GALLER 2000, 31).

Naturnähe:

Eine naturnahe Landschaft ist eine Landschaft, die sich durch ein hohes Maß an Spontanentwicklung, Selbststeuerung und Eigenproduktion in ihrer Flora und Fauna auszeichnet. Sie vermag in besonderer Weise die Bedürfnisse des Betrachters nach Freiheit, Unabhängigkeit und Zwanglosigkeit befriedigen (NOHL 1993, 7). Entscheidend bestimmt wird die Naturnähe durch das Ausmaß des anthropogenen Einflusses, der insbesondere an Art und Intensität der Nutzung deutlich wird. Dabei kann Naturnähe lediglich den Grad der natürlichen Wirkung einer Landschaft bezeichnen, sie muss nicht zwangsläufig in ökologischem Sinn naturnah sein (vgl. GALLER 2000, 31).

Bei der Bewertung der ästhetischen Raumeinheiten nach ihrer Eigenart, Vielfalt und Naturnähe sind die Vorbelastungen der Landschaft zu berücksichtigen.

Die Bewertung der einzelnen Kriterien für die ästhetische Qualität erfolgt anhand der dreistufigen Skala in Tabelle 3.

Ästhetische Qualität			
	Naturnähe	Vielfalt	Eigenart
hoch	Naturnahes Erscheinungsbild, Vorherrschen von Naturelementen, keine Störwirkungen	In der Landschaftseinheit besteht die landschaftsraumtypische Vielfalt, ggf. sind Besonderheiten vorhanden.	Entspricht der charakteristischen Eigenart in allen Belangen. Hohe Kontinuität in der Landschaftsentwicklung, harmonisches Erscheinungsbild, keine oder geringe Störwirkung.
mittel	Das Erscheinungsbild der Landschaftseinheit ist, trotz anthropogene Nutzung, noch als naturnah anzusehen.	Gemäß dem Charakter der Landschaftseinheit ist nur eine mittlere Vielfalt vorhanden.	Entspricht überwiegend der charakteristischen Eigenart. Das Erscheinungsbild ist unauffällig. Es gibt wenig charakteristische Merkmale.
gering	Naturfernes Erscheinungsbild, starke technisch-anthropogene Prägung.	Die Vielfalt der Landschaftseinheit ist gering, es ist ein homogenes Erscheinungsbild vorhanden, typische Landschaftsstrukturen fehlen.	Die Eigenart ist durch landschaftsuntypische Faktoren bzw. Flächennutzungen überprägt. Starker Eigenartverlust.

Tabelle 3: Definition der Wertstufen für die einzelnen Kriterien der Ästhetischen Qualität (eigene Zusammenstellung nach GALLER 2000, 60 und DEMUTH 2000, 155).

Die drei Teilkriterien werden mit Hilfe der Tabelle 4 zur Ästhetischen Qualität zusammengefasst. Die Ästhetische Qualität wird als hoch eingestuft, wenn mindestens zwei der Teilkriterien ebenfalls als hoch eingestuft wurden bzw. als gering, wenn mindestens zwei der Teilkriterien zuvor mit gering bewertet wurden. Alle übrigen Konstellationen führen zu einer mittleren Ästhetischen Qualität (vgl. WENZEL 1995 et. al., 57).

Kriterien (Vielfalt, Eigenart, Naturnähe)			Ästhetische Qualität		
hoch	hoch	hoch	→	hoch	3 Punkte
hoch	hoch	mittel	→	hoch	
hoch	hoch	gering	→	hoch	
mittel	mittel	mittel	→	mittel	2 Punkte
mittel	mittel	gering	→	mittel	
mittel	mittel	hoch	→	mittel	
mittel	hoch	gering	→	mittel	1 Punkt
gering	gering	gering	→	gering	
gering	gering	hoch	→	gering	
gering	gering	mittel	→	gering	

Tabelle 4: Verknüpfungsschema zur Ermittlung der Ästhetischen Qualität (nach WENZEL et al. 1995, 57).

Visuelle Empfindlichkeit:

Die gesamtästhetische Wirkung eines Eingriffs, wie die Errichtung von Windenergieanlagen, entfaltet sich erst im Rahmen der landschaftlichen Umgebung. Die Beeinträchtigung ist in einer weiträumig einsehbaren Landschaft wesentlich höher, als in kleinteiligen, strukturierten Landschaften, in denen durch viele sichtverschattende Elemente, wie z.B. Baumreihen, Hecken und Höhenrücken, die Sichtbarkeit immer wieder unterbrochen ist.

Deshalb wird neben der Ästhetischen Qualität einer Raumeinheit ihre Visuelle Empfindlichkeit ermittelt. Die Visuelle Empfindlichkeit einer Landschaft gibt Anhaltspunkte für die Auswirkungen von potentiellen Störungen auf das Landschaftsbild und drückt den Grad der Verletzlichkeit gegenüber solchen Störungen aus (DEMUTH 2000, 162).

Nach DEMUTH (2000) kann diese Visuelle Empfindlichkeit mit Hilfe der drei Teilaspekte:

- Reliefierung,
- Vegetationsdichte und
- Kleinteiligkeit ermittelt und bewertet werden.

Maßgeblicher Indikator für die Visuelle Empfindlichkeit ist die Strukturierung der Landschaft innerhalb der jeweiligen Bewertungseinheit. In einem in sich geschlossenen, stark strukturierten Landschaftsbild wirkt sich ein baulicher Eingriff in der Regel weniger gravierend aus, als in einer weit einsehbaren Landschaft.

Zu den einzelnen Teilkriterien:

Reliefierung: Die Raumeinheiten mit einer ausgeprägten Reliefierung, also großen absoluten Höhenunterschieden, weisen eine geringere Visuelle Empfindlichkeit gegenüber einem Eingriff auf.

Vegetationsdichte: Je dichter die Bedeckung der Raumeinheit mit baumartiger Vegetation ist, desto geringer ist auch die Visuelle Empfindlichkeit gegenüber einem Eingriff.

Kleinteiligkeit: Raumeinheiten mit einer ausgeprägt kleinteiligen Strukturierung weisen eine geringere Visuelle Empfindlichkeit gegenüber möglichen Eingriffen auf. In das Merkmal der Kleinteiligkeit fließen eine Vielzahl von strukturellen Merkmalen, wie z.B. aus den Bereichen Geomorphologie, Vegetation und anthropogene Nutzung mit ein.

Die Definitionen für die einzelnen Wertstufen der drei Teilaspekte sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Visuelle Empfindlichkeit			
	Reliefierung	Vegetationsdichte	Kleinteiligkeit
sehr hoch (5 Punkte)	Innerhalb der Bewertungseinheit existiert fast kein Relief. Die absoluten Höhenunterschiede betragen höchstens 10 m.	Die Bewertungseinheit weist einen Bedeckungsgrad durch baumartige Vegetation bis zu 10% auf.	Die Bewertungseinheit ist kaum strukturiert. Weitläufige, monotone Flächen ohne erkennbare Differenzierung bezüglich der nutzungsbedingten Strukturen, Höhengliederung der Vegetation und der Geomorphologie prägen das Landschaftsbild.
hoch (4 Punkte)	Die absoluten Höhenunterschiede innerhalb der Bewertungseinheit betragen bis zu 25 m.	Die Bewertungseinheit weist einen Bedeckungsgrad durch baumartige Vegetation von 10% bis 20% auf.	Die Bewertungseinheit ist nur gering strukturiert. Großflächige Nutzungen beherrschen das Landschaftsbild. Eine Differenzierung bezüglich der nutzungsbedingten Strukturen, Höhengliedern der Vegetation und der Geomorphologie ist in Ansätzen vorhanden.
mittel (3 Punkte)	Die absoluten Höhenunterschiede innerhalb der Bewertungseinheit betragen zwischen 25 m und 50 m.	Die Bewertungseinheit weist einen Bedeckungsgrad durch baumartige Vegetation von 20% bis 40% auf.	Die Bewertungseinheit ist durch unterschiedliche Strukturen bezüglich der Nutzung, Höhengliederung der Vegetation und der Geomorphologie gegliedert und weist sichtbare Differenzierungen auf.
gering (2 Punkte)	Das Landschaftsbild der Bewertungseinheit ist durch starke Reliefierung geprägt. Die absoluten Höhenunterschiede betragen zwischen 50 m und 75 m	Die Bewertungseinheit weist einen Bedeckungsgrad durch baumartige Vegetation von 40% bis 60% auf.	Die Bewertungseinheit ist durch unterschiedliche Strukturen bezüglich der Nutzung, Höhengliederung der Vegetation und der Geomorphologie gegliedert und weist in den meisten Bereichen sichtbare Differenzierungen auf.
sehr gering (1 Punkt)	Das Landschaftsbild der Bewertungseinheit ist durch eine besonders hohe Reliefenergie geprägt. Die absoluten Höhenunterschiede betragen über 75 m.	Die Bewertungseinheit weist einen Bedeckungsgrad durch baumartige Vegetation von über 60% auf.	Die Bewertungseinheit ist durch unterschiedliche Strukturen bezüglich der Nutzung, Höhengliederung der Vegetation und der Geomorphologie räumlich deutlich gegliedert und weist in sämtlichen Bereichen markante Differenzierungen auf.

Tabelle 5: Definitionen der einzelnen Wertstufen der Visuellen Empfindlichkeit (nach DEMUTH 2000, 164).

Bei der Bewertung der Visuellen Empfindlichkeit mit Hilfe dieser drei Teilaspekte ist zu berücksichtigen, dass die Raumeinheiten nicht zu klein gewählt sind. DEMUTH (2000) geht von einer Kartengrundlage mit einem Maßstab von 1: 50 000 aus. Insbesondere für den Aspekt der Reliefierung ist natürlich nur bei etwas größeren Raumeinheiten überhaupt die Einstufung „sehr gering“ möglich.

Die Aggregation der Wertstufen der einzelnen Kriterien erfolgt durch die Summation der einzelnen Teilaspekte und der Zuordnung der Punktzahl anhand der in Tabelle 6 dargestellten Vorschrift. Es ergibt sich wiederum eine fünfstufige ordinale Skala.

Visuelle Empfindlichkeit	
3 – 4 Punkte	sehr gering
5 – 7 Punkte	gering
8 – 10 Punkte	mittel
11 – 12 Punkte	hoch
13 – 15 Punkte	sehr hoch

Tabelle 6: Aggregation der Wertstufen der Visuellen Empfindlichkeit.

Für die Überprüfung konkreter Windenergieprojekte ist die Durchführung einer Sichtraum-analyse von Vorteil. Dabei werden alle Bereiche eines dreidimensionalen Landschaftsmo-dells ermittelt, in denen die Windenergieanlagen sichtbar sind. Damit können Raumeinhei-ten eventuell ganz aus dem Bewertungsverfahren herausfallen. Ebenso ist es möglich, den prozentualen Anteil der visuell beeinträchtigten Fläche zu ermitteln. Dabei ist aller-dings zu berücksichtigen, dass diese Sichtraumanalyse die Ermittlung der Visuellen Emp-findlichkeit nicht ersetzen kann, da nur die Reliefierung und großflächig geschlossene Waldflächen als Sichthindernisse berücksichtigt werden können. Sichtraumanalysen kön-nen vorzugsweise mit Geoinformationssystemen (GIS) durchgeführt werden.

Die Beeinträchtigungsempfindlichkeit gegenüber einem Eingriff in das Landschaftsbild kann nach Abbildung 26 aus der Verknüpfung der Ästhetischen Qualität einer Land-schaftseinheit und ihrer Visuellen Empfindlichkeit ermittelt werden. Der Grad der Beein-trächtigungsempfindlichkeit bzw. des Konfliktpotentials ergibt sich aus der Präferenzmatrix in Abbildung 28.

Beeinträchtigungsempfind-lichkeit Landschaftsbild		Ästhetische Qualität		
		gering	mittel	hoch
Visuelle Empfindlichkeit	sehr gering	gering	gering	mittel
	gering	gering	mittel	mittel
	mittel	mittel	mittel	hoch
	hoch	mittel	hoch	hoch
	sehr hoch	mittel	hoch	hoch

Abbildung 28: Präferenzmatrix zur Ermittlung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit in einer Landschaftseinheit bei Errichtung von Windenergieanlagen.

Die Einstufung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit erfolgt auf einer dreistufigen ordina-len Skala.

4.3.2.3 Intensität des Eingriffs

Im vorangegangenen Kapitel wurde die Bewertung der Empfindlichkeit eines Landschaftsraumes gegenüber der Errichtung von Windenergieanlagen beschrieben. Im folgenden Abschnitt sollen nun Kriterien erarbeitet und besprochen werden, mit denen die Intensität eines solchen Eingriffs bewertet werden kann.

Die grundsätzlichen potentiellen Auswirkungen der Windenergieanlagen auf das Landschaftsbild wurden bereits im Kapitel 3 beschrieben. Die Intensität dieser Auswirkungen sind von zwei Kriteriengruppen abhängig. Einige Kriterien stehen in direktem Zusammenhang mit den baulichen und technischen Eigenschaften der Windenergieanlagen. Andere Kriterien sind von Anzahl der Anlagen an einem Standort abhängig.

Folgende Kriterien sind direkt von der Art und Größe der Anlage abhängig:

- Mastenhöhe,
- Mastendurchmesser,
- Material und Konstruktion des Masten, Farbanstrich,
- Rotordurchmesser,
- Anzahl der Rotorblätter,
- Luftfahrtsicherungseinrichtungen.

In Abhängigkeit von der Größe eines Windparks sind die folgenden Kriterien:

- Anlagenanzahl, Gesamtgröße des Windparks,
- Anordnung der Anlagen.

Zusätzlich ist natürlich die Entfernung der zu bewertenden Raumeinheit vom Eingriffsort ein wichtiges Kriterium zur Bewertung des Eingriffs. Nach NOHL (1993) wurde deshalb im Kapitel 4.3.2.1 der Eingriffsraum in drei Wirkzonen eingeteilt.

Für verschiedene Windenergieanlagentypen sind in Tabelle 7 und Abbildung 29 vertikale Betrachtungswinkel aus unterschiedlichen Entfernungen dargestellt.

Vertikale Betrachtungswinkel für verschiedene Windenergieanlagen							
Anlagentyp (Bsp.)	Gesamthöhe	Entfernung des Betrachters zur Windenergieanlage					
		200 m	500 m	1000 m	1500 m	5000 m	10000 m
E40 Nabhöhe 58 m	80 m	21,9°	9,1°	4,6°	3,1°	0,9°	0,5°
MD70 Nabhöhe 65 m	100 m	26,7°	11,3°	5,7°	3,8°	1,1°	0,6°
MD77 Nabhöhe 85 m	120 m	31,1°	13,5°	6,8°	4,6°	1,4°	0,7°
V80 Nabhöhe 100 m	140 m	35,2°	15,7°	8,0°	5,3°	1,6°	0,8°
Rotord. 80 m, Nabh. 120 m	160 m	38,8°	17,8°	9,1°	6,1°	1,8°	0,9°
Rotord. 100 m, Nabh. 150 m	200 m	45,2°	21,8°	11,3°	7,6°	2,3°	1,1°

Tabelle 7: Vertikale Betrachtungswinkel für verschiedene Windenergieanlagen.

Es ist zu erkennen, dass der Betrachtungswinkel exponentiell mit der Entfernung abnimmt. Nach NOHL (1993) nimmt die Beeinträchtigung mit der Entfernung ebenso exponentiell ab. Daher könnte der vertikale Betrachtungswinkel als ein Indikator für die Intensität der ästhetischen Beeinträchtigung durch WEA angesehen werden.

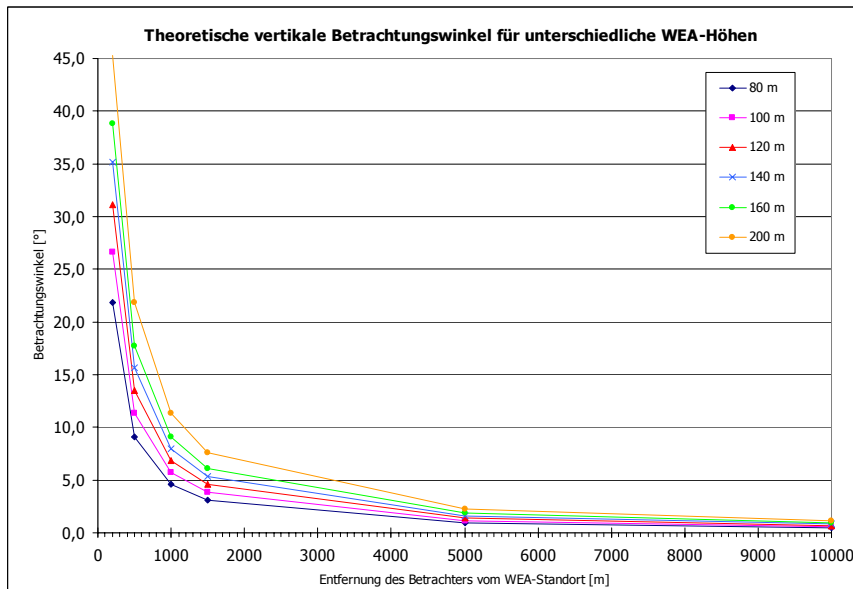


Abbildung 29: Theoretische vertikale Betrachtungswinkel verschiedener WEA.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass unabhängig vom betrachteten Kriterium, die Beeinträchtigung mit zunehmender Entfernung vom Eingriffsort abnimmt. Die Intensität der Beeinträchtigung der Landschaft ist aber auch im großen Maße von der Anzahl der Windenergieanlagen abhängig.

Die Errichtung einer einzelnen Windenergieanlage kann, insbesondere in nicht vorbelasteten Landschaftsräumen, einen Eingriff mit hoher Intensität darstellen. Die nachträgliche Errichtung weiterer Windenergieanlagen erhöht zwar die Beeinträchtigungsintensität, aber nicht in dem Maße, wie ein erster Eingriff das Landschaftsbild beeinträchtigt (vgl. PIEGSA/WERNIG 2000).

Dabei unterscheiden sich die Wirkweisen von Windparks im Vergleich zu einzelnen Windenergieanlagen grundsätzlich. Während einzelne Anlagen als punktförmiges Objekt wahrgenommen werden, geht von räumlich konzentrierten Windparks eine linienhafte oder flächenförmige Wirkung aus (vgl. KLÖPPEL/ KRAUSE 1996, 92 f.). Die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch diese flächenhafte Wirkung ist höher zu bewerten, als die eines Punktobjektes.

Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass eine konzentrierte Anordnung von Anlagen, aufgrund der geringeren Gesamtfläche die beeinträchtigt wird, weniger gravierende Auswirkungen auf das Landschaftsbild hat, als die gleiche Anzahl an verstreuten Einzelanlagen (vgl. GALLER 2000, MIELKE 1996, BFN 2000).

Die Anzahl der Windenergieanlagen eines Windparks hat also wesentlichen Anteil an der Beeinträchtigungsintensität des Landschaftsbildes.

Oftmals ist ein Investor gezwungen, aber auch gewillt, eine hohe Menge an Gesamtnennleistung an einem Standort zu installieren. Die Höhe der Nennleistung lässt sich entweder über die Zahl, oder aber über die Größe der Anlagen steuern.

Eine geringe Anlagenanzahl an einem Standort geht also häufig mit der Installation von größeren Anlagen einher.

Die derzeitigen Standortplanungen in Deutschland erfolgen in der Bandbreite von 500 kW-Anlagen bis zu Anlagen der 2 MW-Klasse. Marktüblich sind Anlagen mit ca. 1,5 MW Nennleistung. Drei Windenergieanlagen mit 500 kW Nennleistung (z.B. ENERCON E40), mit einer Gesamthöhe von 80 m, können also durch eine Anlage mit 1,5 MW Nennleistung (z.B. MD 77), mit einer Gesamthöhe von 120 bis 140 m, ersetzt werden.

Sehr oft wird die Meinung vertreten, dass eine kleinere Anzahl großer Anlagen eine niedrigere Beeinträchtigung des Landschaftsbildes darstellt, als eine entsprechend größere Anzahl kleinerer Anlagen (vgl. REHFELDT et. al. 2001, BFN 2000, MIELKE 1996).

Bei gleicher Nennleistung eines Windparks verdreifacht sich im oben genannten Beispiel, die Anlagenanzahl, während der Betrachtungswinkel nach Tabelle 7 nur um 30 bis 40% kleiner wird.

Die Anzahl der Anlagen soll daher bei der Bewertung der Beeinträchtigung ein größeres Gewicht haben als die Gesamthöhe einer WEA. Deshalb wird die Anlagenanzahl als zweites Bewertungskriterium, neben den verschiedenen Wirkzonen, für eine Bewertungsvorschrift der Beeinträchtigungsintensität herangezogen.

In Tabelle 8 ist ein Vorschlag zur Bewertung der Beeinträchtigungsintensität dargestellt. Diese soll, wie bereits beschrieben, in Abhängigkeit der Entfernung einer Raumeinheit vom Eingriffsort und der Anzahl der Windenergieanlagen ermittelt werden. Mit zunehmender Entfernung vom Anlagenstandort sinkt die Beeinträchtigungsintensität. Je mehr Anlagen errichtet werden, desto größer werden die Bereiche, in denen die Beeinträchtigungsintensität höher ist.

Beeinträchtigungsintensität			
Wirkzonen	Anlagenanzahl		
	1-2 WEA	3-5 WEA	> 5 WEA
I	hoch	hoch	hoch
II	mittel	mittel	hoch
III	gering	mittel	mittel

Tabelle 8: Vorschlag zur Ermittlung der Beeinträchtigungsintensität auf das Landschaftsbild.

Die weiter oben genannten Beeinträchtigungskriterien haben natürlich auch Auswirkungen auf die Beeinträchtigungsintensität. Allerdings ist ihr Anteil von geringerem Einfluss auf die Gesamtbeeinträchtigungsintensität. Bei Berücksichtigung der Eigenschaften dieser Kriterien können die Beeinträchtigungen oftmals vermieden oder minimiert werden.

So werden Drei-Blatt-Rotoren aufgrund ihres ruhigeren Laufbildes, denen mit zwei oder nur einem Flügel vorgezogen (vgl. u.a. BFN 2000, KRIESE 1993, BEHNKE 1996 u.a.).

Die Bauart, Form und Farben der Masten können so gestaltet werden, dass sie sich harmonischer in das Landschaftsbild einfügen.

Anlagen mit größeren Rotordurchmessern haben eine geringere Drehzahl. Sie laufen dadurch ruhiger und langsamer als kleinere Rotoren. Andererseits sind die Anlagen auch größer und somit weiter sichtbar.

Ab einer Gesamthöhe von 100 m über Grund gelten Bauwerke als Luftfahrthindernisse. Es ist dann eine Tages- und Nachtkennzeichnung der Windenergieanlage erforderlich. Die Tageskennzeichnung kann mit einer farblichen Markierung der Flügel erfolgen. Dabei ist es notwendig, dass die Rotorblätter mit drei Farbfeldern von je 6 m Länge in den Farben orange-weiß-orange gezeichnet werden (vgl. Richtlinien für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen). Dies hat natürlich zur Folge, dass sich die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes verstärkt. Alternativ dazu, ist eine Tageslichtmarkierung mit einem weißblitzenden Feuer mittlerer Lichtstärke genehmigt. Dadurch kann auf die farbliche Markierung verzichtet werden. Inwieweit dadurch aber andere Beeinträchtigungen zu erwarten sind, kann derzeit noch nicht gesagt werden, da diese Technik noch sehr neu ist. Eine vergleichende Untersuchung dieser Problematik ist notwendig, da die Anzahl der neuerrichteten Windenergieanlagen, welche die Gesamthöhe von 100 m überschreiten, im Binnenland immer mehr zunimmt.

Die Anordnung der Windenergieanlagen fließt nicht in die Bewertung der Beeinträchtigungsintensität ein, obwohl sie einen nicht geringen Anteil daran hat. Eine bezüglich der Wirkungen auf das Landschaftsbild, schlecht geplante Anordnung der Windenergieanlagen in einem Windpark kann die Beeinträchtigung ungemein vergrößern, insbesondere wenn die Anlagen ungeordnet aufgestellt werden oder charakteristische Linien (z.B. Höhenzüge, Flussläufe) der Landschaft nicht berücksichtigt oder sogar zerschnitten werden. Daher sollte eine gut durchdachte, der Landschaft und ihrer Nutzung angepasste Anordnung, bei jeder Planung dazugehören, da sie die Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes mindern kann.

4.3.2.4 Risiko der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes

Das Risiko der Beeinträchtigung wird nach der Ökologischen Risikoanalyse durch die Verknüpfung von Beeinträchtigungsintensität und Beeinträchtigungsempfindlichkeit ermittelt. Dabei werden die Beeinträchtigungsintensität aus Tabelle 8 und die Beeinträchtigungsempfindlichkeiten der einzelnen Raumeinheiten mit Hilfe der Präferenzmatrix in Tabelle 9 aggregiert.

Risiko der Beeinträchtigung	Beeinträchtigungsintensität		
	gering	mittel	hoch
Beeinträchtigungsempfindlichkeit			
gering	gering	gering	mittel
mittel	gering	mittel	hoch
hoch	mittel	hoch	hoch

Tabelle 9: Aggregationsvorschrift für das Beeinträchtigungsrisiko Landschaftsbild.

Somit kann in Tabelle 10 ein Vorschlag für die Ermittlung des Beeinträchtigungsrisikos unterbreitet werden.

Risiko der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes				
Beeinträchtigungsempfindlichkeit	Wirkzonen	1-2 WEA	3-5 WEA	>5 WEA
gering	I	mittel	mittel	mittel
	II	gering	gering	mittel
	III	gering	gering	gering
mittel	I	hoch	hoch	hoch
	II	mittel	mittel	hoch
	III	gering	mittel	mittel
hoch	I	hoch	hoch	hoch
	II	hoch	hoch	hoch
	III	mittel	hoch	hoch

Tabelle 10: Beeinträchtigungsrisiko Landschaftsbild.

Für eine hohe Beeinträchtigungsempfindlichkeit soll das Risiko der Beeinträchtigung in fast allen Klassen als hoch eingeschätzt werden. Für eine mittlere Beeinträchtigungsempfindlichkeit ist insbesondere im Nahbereich der Windenergieanlagen mit einem hohen Beeinträchtigungsrisiko zu rechnen. Lediglich bei einer geringen Beeinträchtigungsempfindlichkeit ist kein hohes Beeinträchtigungsrisiko für das Landschaftsbild zu erwarten.

Für eine abschließende Bewertung stellt sich die Frage, ab wann ein Eingriff in das Landschaftsbild nicht mehr zulässig ist. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass wenn das Beeinträchtigungsrisiko hoch ist, ein Eingriff aus der Sicht des Landschaftsschutzes zu unterlassen ist. Dabei muss allerdings noch einmal zwischen den einzelnen Wirkzonen differenziert werden. Aufgrund der hohen Eingriffsintensität im Nahbereich der Anlagen wird dort sehr schnell ein hohes Beeinträchtigungsrisiko erreicht. Da die betroffene Fläche

aber vor allem in der Wirkzone I relativ klein ist, wird vorgeschlagen, dass Beeinträchtigungsrisko der Wirkzone I in der Abwägung nicht zu berücksichtigen.

Für die Wirkzonen II und III wird soll die folgende Bewertung erfolgen: Bei hohem Beeinträchtigungsrisko in einer der Wirkzonen sollte der Eingriff zum Schutz des Landschaftsbildes unterbleiben.

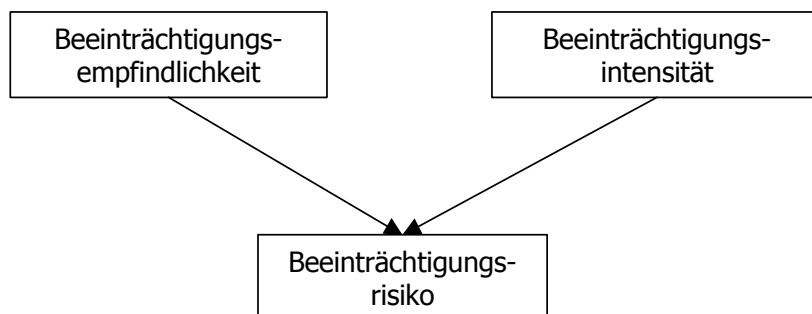
Für eine vergleichende Untersuchung verschiedener Standorte muss die Gesamtgröße des beeinträchtigten Raumes und das Beeinträchtigungsrisko der einzelnen Raumeinheiten berücksichtigt werden.

4.3.3 Schutzgut Mensch

Die mögliche Beeinträchtigung des Menschen durch Windenergieanlagen ist durch mehrere Umweltwirkungen gegeben. Insbesondere kann es durch betriebsbedingte Schall- und Schattenemissionen zu erheblichen Beeinträchtigungen des Schutzgutes Mensch kommen. Die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen können durch diese Umweltwirkungen beeinträchtigt werden. Da diese Wirkfaktoren allerdings nur bei langfristiger Belästigung wirksam werden, steht die Beeinträchtigung der Wohnnutzung im Vordergrund.

Deshalb wird das Risiko der Beeinträchtigung für den Menschen speziell für das Sachgut Wohnnutzung ermittelt.

Für die Ermittlung des Beeinträchtigungsriskos wird die Beeinträchtigungsempfindlichkeit der potentiell betroffenen Flächen und die Beeinträchtigungsintensität der Wirkfaktoren



ermittelt. Aus der Aggregation ergibt sich dann dieses Beeinträchtigungsrisko. Die wesentlichsten Wirkfaktoren, die Beeinträchtigungen für den Menschen hervorrufen können, sind die

Abbildung 30: Ermittlung des Beeinträchtigungsriskos.

Schallemissionen und der periodische Schattenwurf. Die Beeinträchtigungsintensität durch Schallimmissionen und periodischen Schattenwurf soll anhand von Grenzwerten ermittelt werden.

4.3.3.1 Beeinträchtigungsempfindlichkeit

Die Empfindlichkeit gegenüber möglichen Beeinträchtigungen durch den Betrieb von Windenergieanlagen soll für die Gebiete ermittelt werden, in denen Wohnnutzung vorhanden ist. Dabei sollte sich die Ermittlung auf vorhandene Unterlagen, wie z.B. Flächennutzungspläne stützen. Bei der Ermittlung dieser Informationen ist sehr sorgfältig vorzuge-

hen, um insbesondere im Außenbereich liegende Höfe etc. nicht zu übersehen. Wenn es keine aktuellen Unterlagen vom Untersuchungsgebiet gibt, muss die räumliche Lage der zum Wohnen genutzten Gebiete vor Ort erhoben werden.

Die Empfindlichkeit gegenüber diesen Emissionen wird für alle Arten von Nutzungsgebieten mit Wohnnutzung nach dem jeweiligen Flächennutzungsplan bzw. nach der jeweiligen Nutzung vor Ort, aus Gründen des Vorsorgeprinzips gleich hoch eingeschätzt. Daher sollen keine unterschiedlichen Empfindlichkeiten, etwa wie in der TA Lärm, für verschiedene Gebiete ermittelt werden. Dort, wo gewohnt wird, sind die Menschen empfindlich gegenüber Beeinträchtigungen.

Daher ist die Empfindlichkeit gegenüber Emissionen in Gebieten mit Wohnnutzung generell hoch (siehe Tabelle 11).

Empfindlichkeit gegenüber Schall- und Schattenwurfemissionen		
Wohnnutzung	ja	nein
Empfindlichkeit	hoch	keine

Tabelle 11: Empfindlichkeit gegenüber Schall- und Schattenemissionen.

4.3.3.2 Beeinträchtigungsintensität von Schallimmissionen

Durch den Betrieb von Windenergieanlagen kommt es zu Geräuschemissionen, wie bereits in Kapitel 3.4.1.2 beschrieben. Die Beeinträchtigungsintensität ist in erster Linie von der Lästigkeit dieser Geräusche abhängig.

Menschen empfinden Geräusche, also Schall, dann als Lärm, wenn er als unangenehm oder störend erlebt wird. Die Belastung des Menschen durch Lärm hängt einerseits von den folgenden Geräuschfaktoren ab:

- Stärke,
- Dauer,
- Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens,
- Frequenzzusammensetzung,
- Auffälligkeit,
- Ortsüblichkeit,
- Art und Betriebsweise der Geräuschquelle.

Andererseits sind subjektive Faktoren, wie die Situation des Betroffenen von großer Bedeutung, z.B.:

- Gesundheitszustand (physisch, psychisch),
- Tätigkeit während der Geräuscheinwirkung,
- Gewöhnung,
- Einstellung zum Geräuscherzeuger.

Diese subjektiven Einflüsse sind allerdings quantitativ nicht eindeutig zu beurteilen. Daher ist Lärm kein physikalischer, sondern ein subjektiver Begriff und somit nicht messbar (vgl. STRATENSCHULTE 2001).

Nach BERANEK wird Schall dann zu Lärm, wenn:

- er das Gehör oder die Gesundheit überhaupt schädigt,
- er Unterhaltungen stört,
- er beim Arbeiten stört,
- er das Privatleben in Räumen beeinträchtigt,
- er den Schlaf stört,
- er überhaupt zu einem Gefühl des Belästigtseins führt (vgl. SCHICK 1997, 62 nach BERANEK).

Grundsätzlich kann gesagt werden, „je lauter jedoch ein Schall ist, desto einheitlicher wird dieser als Lärm empfunden“ (WANNER 1983, 129).

Messbar hingegen ist der Schalldruck, der von einer Schallquelle ausgeht. Daher wird zur objektiven Erfassung von Lärmbelastigungen, mit Hilfe von Messungen, die physikalische Größe des Schalldruckpegels – dargestellt als logarithmisches Maß mit der Einheit Dezibel (dB) – verwendet (vgl. UMWELTBEBÖRDE HAMBURG 1999). Da der Mensch Frequenzen von 16 bis 16000 Hz wahrnehmen kann, allerdings mit unterschiedlich hoher Empfindlichkeit, wird der Schallpegel mit Hilfe einer Frequenzbewertung dem menschlichen Hörempfinden angepasst, z.B. mit der sogenannten A-Bewertung. Der Schallpegel wird dann in dB(A) angegeben.

Nach der TA Lärm muss der von Technischen Anlagen emittierte Schall an den Immissionsorten die in Tabelle 12 beschriebenen Richtwerte einhalten.

Gebietsausweisung	Beurteilungszeit	Immissionswert
Industriegebiete		70 dB(A)
Gewerbegebiet	tags	65 dB(A)
	nachts	50 dB(A)
Kern-, Dorf- u. Mischgebiet	tags	60 dB(A)
	nachts	45 dB(A)
Allgemeines Wohngebiet, Kleinsiedlungsgebiet	tags	55 dB(A)
	nachts	40 dB(A)
Reines Wohngebiet	tags	50 dB(A)
	nachts	35 dB(A)

Tabelle 12: Immissionsrichtwerte nach Abschnitt 6.1 der TA Lärm.

Aus Gründen des Vorsorgeprinzips ist es sinnvoll auch in Gebieten (besonders Dorfgebieten), in denen nachts Werte bis 45 dB(A) zugelassen sind, die Planung der Standorte von Windenergieanlagen so zu gestalten, dass nur Immissionswerte um 35 dB(A) auftreten.

Einerseits ist in der Praxis immer wieder festzustellen, dass die von den Herstellern der Anlagen garantierten Schallemissionspegel in der Realität überschritten werden, da zum Beispiel Tonhaltigkeiten auftreten. Somit birgt ein großzügig gewählter Abstand die Sicherheit, dass es nicht zur Überschreitung der gesetzlich geforderten Richtwerte kommt. Andererseits haben Dorfgebiete heute oft den Charakter von Reinen Wohngebieten. Vor allem durch den Strukturwandel im ländlichen Raum sind es oftmals „Städter“, die die ländliche Ruhe suchen und auf das Land ziehen. Dadurch wandelt sich der ländliche Raum zu Reinen Wohngebieten und die Bewohner fühlen sich durch die Schallemissionen von Windenergieanlagen in ihrer gesuchten „Ruhe“ gestört. Aus diesen Gründen soll für Schallimmissionen höher 35 dB(A), eine hohe Beeinträchtigungintensität angesetzt werden (Tabelle 13).

Beeinträchtigungintensität durch Schallimmissionen	
> 35 db(A)	< 35 db(A)
hoch	gering

Tabelle 13: Beeinträchtigungintensität durch Schallimmissionen.

Nach der Definition von BERANEK wird Schall unter anderem dann zu Lärm, wenn er den Schlaf stört oder allgemein zu einem Gefühl des Belästigtsein führt. Dies kann auch bereits bei 35 dB(A) der Fall sein, dieser Schallpegel entspricht ungefähr dem Ticken eines Weckers.

4.3.3.3 Beeinträchtigungintensität des periodischen Schattenwurfs

Die Belästigung des Menschen durch periodischen Schattenwurf wurde vom Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in zwei Studien untersucht. Dabei ging es zum einen darum, die vom STAATLICHEN UMWELTAMT SCHLESWIG (1998) als zumutbar eingeschätzten Grenzwerte von 30 min/Tag bzw. 30 h/Jahr Schattenwurf im sogenannten „worst case“-Szenario im Hinblick auf ihre Belästigung zu untersuchen.

Diese erste, als Feldstudie durchgeführte Untersuchung, kommt zu dem Ergebnis, dass eine sogenannte gewichtete Dauer der periodischen Beschattung von mehr als 15 h/Jahr, bei Anwohnern „mit starken und breiten negativen Effekten in zentralen Bereichen des Erlebens und Verhaltens verbunden ist“ (POHL et al. 1999, 70). Die Autoren schätzen das als erhebliche Belästigung ein. Eine solche gewichtete Schattendauer ergibt sich aus dem Schattenwurf des „worst case“-Szenario, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Beschattungen verschiedener Räume in der Wohnung der Anwohner. POHL et al. schlagen vor, die Überprüfung der Wohneinheiten zweistufig durchzuführen. Mit Hilfe eines Computerprogramms soll in der ersten Stufe überprüft werden, ob eine Wohneinheit die Obergrenze von 30 h/Jahr periodischen Schattenwurfs nach dem „worst case“-Modell überschreitet. Ist dies der Fall, wird bei jedem Einzelfall überprüft, ob eine gewichtete

Schattenwurfdauer von 15 h/Jahr vorliegt. Somit könnte man die Anzahl der Haushalte für die das Kriterium der erheblichen Belästigung zutrifft, exakter bestimmen (vgl. POHL et al. 2000B).

Zum anderen ging es in einer zweiten, als Laborstudie durchgeführten, Untersuchung darum, ob eine einmalige Immission von mehr als 30 min periodischer Schattenwurf zu Stresseffekten führt. „Die gewählte Konfiguration von periodischem Schatten [...] führte [...] zu systematischen und deutlich erkennbaren, wenn auch schwachen Stresseffekten“ (POHL et al. 2000A, 76). Die Autoren der Studie kommen zu dem Ergebnis, dass diese alleinigen, nur durch den periodischen Schattenwurf hervorgerufenen Stresseffekte, nicht für eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG sprechen. Allerdings können deutlich stärkere Stresseffekte durch kumulative Langzeitwirkungen ausgelöst werden, welche dann die Kriterien einer erheblichen Belästigung erfüllen dürften (vgl. ebenda).

Man kann als Fazit der beiden Studien feststellen, dass die Belästigung und Beeinträchtigung von Menschen durch den periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen nicht zu unterschätzen ist.

Die neu eingeführte Größe der gewichteten Schattendauer erscheint als eine sinnvolle Größe, allerdings ist der Erhebungsaufwand der konkreten Wohnraumverteilung in den Wohneinheiten der Anwohner zu hoch. Aus Gründen des Vorsorgeprinzips und einer einfacheren Praktikabilität, könnte hier als Obergrenze die Dauer von 15 h/Jahr periodischer Schatten nach dem „worst case“-Modell festgesetzt werden. Der vom STAATLICHEN UMWELTAMT SCHLESWIG (1998) vorgeschlagene Grenzwert für die maximale tägliche Beschattungsdauer von 30 min, scheint gerechtfertigt zu sein.

Deshalb ist, für das hier vorgeschlagene Bewertungsverfahren bei einer Beschattungsdauer von mehr als 15 h/ Jahr oder einer täglichen Beschattung von mehr als 30 min, von einer hohen Beeinträchtigung auszugehen. Die somit ermittelbaren Beeinträchtigungsintensitäten sind in Tabelle 14 dargestellt.

Beeinträchtigungsintensität durch Schattenwurfimmissionen		
> 15 h/Jahr oder 30 min/d	<15 h/Jahr oder 30 min/d	kein Schattenwurf
hoch	gering	nicht vorhanden

Tabelle 14: Beeinträchtigungsintensität durch periodischen Schattenwurf.

4.3.3.4 Risiko der Beeinträchtigung durch Schallimmissionen und Schattenwurf

Mit den definierten Kriterien für die Beeinträchtigungsintensität und der nach Tabelle 11 ermittelten Beeinträchtigungsempfindlichkeit lässt sich das Risiko einer Beeinträchtigung bestimmen.

Dabei tritt ein Risiko natürlich nur ein, wenn eine Empfindlichkeit vorhanden ist, daher ist die Ermittlung des Beeinträchtigungsrisikos recht einfach.

Für die zwei Kriterien Schall- und Schattenwurfemission kann das Risiko der Beeinträchtigungen anhand der Tabelle 15 und Tabelle 16 ermittelt werden.

Das Risiko der Beeinträchtigung für den Menschen soll immer dann als hoch eingeschätzt werden, wenn für eines der beiden Kriterien das Risiko mit „hoch“ eingeschätzt wird.

Risiko der Beeinträchtigung		Beeinträchtigungsintensität Schattenwurf		
		hoch	gering	keine
Empfindlichkeit	hoch	hoch	vorhanden	nicht vorhanden

Tabelle 15: Risiko der Beeinträchtigung durch periodischen Schattenwurf.

Risiko der Beeinträchtigung		Beeinträchtigungsintensität Schallimmissionen	
		hoch	gering
Empfindlichkeit	hoch	hoch	vorhanden

Tabelle 16: Risiko der Beeinträchtigung durch Schallimmissionen.

Also ist für die Wohnnutzung immer dann mit einem hohen Beeinträchtigungsrisiko zu rechnen, wenn mit Schallimmissionen höher 35 dB(A) oder einem Schattenwurf länger als 15 h/ Jahr oder 30 min am Tag zu rechnen ist. Ein Eingriff sollte dann unterbleiben.

4.3.4 Sachgut Erholungsnutzung der Landschaft

Die Erholung und der Fremdenverkehr sind sogenannte umweltabhängige Nutzungen. Sie sind in hohem Maße von den Schutzgütern Gewässer, Klima/ Luft, Pflanzen und Landschaftsbild abhängig. Denn Fremdenverkehr, Natursportarten und Erholung sind auf die Qualitäten der natürlichen Umwelt als Erlebnisraum angewiesen (vgl. GASSNER/ WINKELBRANDT 1997, 187 f.).

Naturnahe Erholung wird vor allem von den Aktivitätskomplexen:

- Wandern und Naturerlebnis,
- Lagern, Spiel und Sport (extensiv),
- Baden, Bootfahren,
- Spazieren gehen geprägt (nach KIEMSTEDT et. al. 1980 in GASSNER/ WINKELBRANDT 1997, 188).

Diese Erholungsarten können auch als extensive Erholung bezeichnet werden, da eine geringe Belastung auf großer Fläche zu erwarten ist und sie meist ohne spezielle Ausrüstung und besondere Freizeit und Erholungseinrichtungen auskommen.

Bei intensiver Erholung handelt es sich meist um Erholungsarten die mit hoher Belastung auf kleiner Fläche verbunden sind (z.B. Spielen, Picknick, Camping, Zelten, Freibäder etc.). Oftmals werden dafür spezielle Ausrüstung und besondere Freizeit- und Erholungseinrichtungen benötigt (KLÖPPEL/ KRAUSE 1996, 95 f.).

Die Beeinträchtigung der Erholungsnutzung durch Windenergieanlagen bezieht sich insbesondere auf eine Minderung der Qualität des Landschaftserlebnisses, weniger auf die Einschränkung einzelner Tätigkeiten. Somit sollten mit diesem Bewertungsverfahren die Erholungsräume betrachtet werden, in denen die Erholungsarten und -ansprüche ausgeübt werden, die auf landschaftlichen Gegebenheiten beruhen und unmittelbar mit dem Bedürfnis nach dem Erleben von Landschaft und Natur zusammenhängen (ebenda, 98).

Da das Risiko der Beeinträchtigung der Erholungsnutzung dadurch zu großen Teilen auf der Bewertung der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes beruht, wird sich das Bewertungsverfahren an das Verfahren zur Ermittlung des Beeinträchtigungsrisikos für das Landschaftsbild anlehnen.

Der Ablauf des Bewertungsverfahrens, in Anlehnung an die Methode der Ökologischen Risikoanalyse, ist in Abbildung 31 zu erkennen.

Da die Beeinträchtigungen visuell wahrgenommen werden, kann der betrachtete Eingriffsräum in Anlehnung an das Bewertungsverfahren für das Schutzgut Landschaftsbild einen Kreis mit 10 km Radius um den Standort betragen. Sichtverschattete Teile dieser Fläche müssen natürlich nicht berücksichtigt werden. Die zu untersuchenden Einheiten sollten sich an den landschaftsästhetischen Raumeinheiten orientieren.

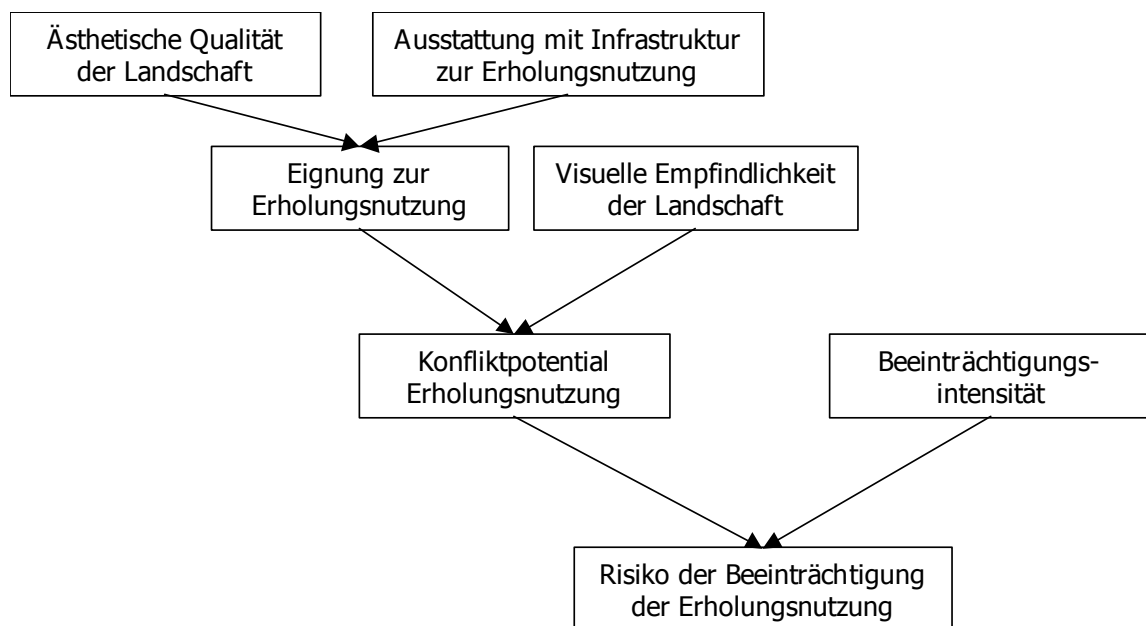


Abbildung 31: Ablaufschema zur Ermittlung des Risikos der Beeinträchtigung der Erholungsnutzung.

4.3.4.1 Beeinträchtigungsempfindlichkeit

Die Eignung eines Erholungsraumes zur Erholungsnutzung ist anhand der Kriterien Ästhetische Qualität der Landschaft und der Infrastrukturellen Ausstattung zur Erholungsnutzung einschätzbar.

Die Infrastrukturelle Ausstattung lässt sich nach KLÖPPEL/ KRAUSE (1996) anhand der Indikatoren:

- Erreichbarkeit der Erholungsräume (ÖPNV-Netz, Nähe zu Wohngebieten etc.),
- Zugänglichkeit und Begehbarkeit durch öffentliches Wegenetz, Radwege u.a. und
- Ausstattung mit Freizeit- und Erholungseinrichtungen bewerten.

Eine Bewertung der Infrastrukturellen Ausstattung soll anhand dieser Kriterien auf einer dreistufigen Skala erfolgen. Dabei erfolgt eine Einschätzung über eine gute, mittlere oder eher schlechte Ausstattung.

Infrastrukturelle Ausstattung zur Erholungsnutzung	
gut	3 Punkte
mittel	2 Punkte
schlecht	1 Punkt

Tabelle 17: Bewertung der Infrastrukturellen Ausstattung zur Erholungsnutzung.

Für das Bedürfnis nach dem Erleben von Natur und Landschaft ist die Ästhetische Qualität einer Landschaft, unter Berücksichtigung der Vorbelastung, von entscheidender Bedeutung. Die Erlebnisqualität der landschaftlichen Komponenten, die zur Bestimmung der Erholungsqualität der Erholungsräume berücksichtigt werden sollen, kann über die drei Kriterien Vielfalt, Eigenart und Naturnähe bestimmt werden.

Diese zweite wichtige Komponente zur Ermittlung der Eignung einer Landschaft zur Erholung wurde bereits in Kapitel 4.3.2 beschrieben. Die ästhetische Qualität wird anhand Tabelle 3 und Tabelle 4 mit Hilfe der Kriterien Vielfalt, Eigenart und Naturnähe ermittelt. In Tabelle 18 sind noch einmal die drei Kategorien und die dazugehörige Punktverteilung dargestellt (siehe auch Kapitel 4.3.2.2).

Ästhetische Qualität	
hoch	3 Punkte
mittel	2 Punkte
gering	1 Punkt

Tabelle 18: Kategorien der Ästhetischen Qualität einer Landschaftseinheit.

Die Einschätzung der Eignung und Leistung eines Erholungsraumes erfolgt über die Aggregation der beiden Kriterien Infrastrukturelle Ausstattung zur Erholungsnutzung und Ästhetische Qualität der Landschaftseinheit. Die Kriterien zur Bewertung richten sich nach dem Ziel der Beurteilung der vorhabensspezifischen Beeinträchtigungen der Erholungsqualität. Daher wird die Ästhetische Qualität einer Landschaft, für die Eignung zur Erho-

lungsnutzung, als wichtigeres Kriterium eingestuft, als die Infrastrukturelle Ausstattung. Deshalb wird die Ästhetische Qualität gegenüber der Infrastrukturellen Ausstattung doppelt gewertet. Die Aggregationsvorschrift ist in Tabelle 19 dargestellt.

Eignung zur Erholungsnutzung		
1x (Infrastrukturelle Ausstattung zur Erholungsnutzung) + 2x (Ästhetische Qualität)	9-7 Punkte	hoch
	5-6 Punkte	mittel
	3-4 Punkte	gering

Tabelle 19: Aggregationsvorschrift für die Eignung zur Erholungsnutzung.

In Anlehnung an die Beeinträchtigungsempfindlichkeit für das Landschaftsbild, wird die Beeinträchtigungsempfindlichkeit für die Erholungsnutzung aus der Aggregation der Eignung und Leistung zur Erholungsnutzung und der Visuellen Empfindlichkeit der Landschaftseinheit ermittelt. Da sich die Beeinträchtigungsempfindlichkeit der Erholungsnutzung einer Landschaftseinheit vordergründig auf die Beeinträchtigung der landschaftsästhetischen Qualität bezieht, kennzeichnet die Visuelle Empfindlichkeit nach Tabelle 5 die Veränderungsempfindlichkeit gegenüber einer möglichen Beeinträchtigung (siehe Kapitel 4.3.2.2).

Konfliktpotential bzw. Beeinträchtigungsempfindlichkeit		Eignung und Leistung zur Erholungsnutzung		
		gering	mittel	hoch
Visuelle Empfindlichkeit	sehr gering	gering	gering	mittel
	gering	gering	mittel	mittel
	mittel	mittel	mittel	hoch
	hoch	mittel	hoch	hoch
	sehr hoch	mittel	hoch	hoch

Abbildung 32: Aggregation zur Beeinträchtigungsempfindlichkeit.

Die Aggregation der fünfstufig klassifizierten Visuellen Empfindlichkeit und der dreistufig klassifizierten Eignung bzw. Leistung zur Erholungsnutzung erfolgt mittels der Präferenzmatrix in Abbildung 32.

4.3.4.2 Beeinträchtigungsintensität und Risiko der Beeinträchtigung

Die Ermittlung der Beeinträchtigungsintensität kann von der Bewertung des Schutzgutes Landschaftsbild übernommen werden. Die Ermittlung des Risikos der Beeinträchtigung entspricht ebenfalls den Verfahrensschritten für die Bewertung des Risikos für das Schutzgut Landschaftsbild.

Letztendlich ist die Betrachtung des Sachgutes der Erholungsnutzung sehr stark an das Schutzgut Landschaftsbild gekoppelt. Insbesondere die Nutzungsräume für die extensiven Erholungsarten sind sehr stark von der Qualität des Landschaftserlebnisses abhängig. Somit ist eine zusammenhängende Betrachtung des Schutzgutes Landschaftsbild

und des Sachgutes Erholungsnutzung wahrscheinlich vorteilhafter als eine getrennte Bewertung.

Ansatzweise ist dies in dem Vorschlag für ein Bewertungsverfahren bereits zu erkennen. Die Hauptrolle spielt die Berücksichtigung des Landschaftsbildes. Bei einer guten Infrastrukturellen Ausstattung für die Erholungsnutzung ergibt sich eine zusätzliche Aufwertung der Eignung bzw. Leistung der betrachteten Landschaftseinheit. Durch die Definition der Aggregationsvorschrift in Tabelle 19 kann es aber nicht zu einer Abwertung der Eignung bei einer schlechten Infrastrukturellen Ausstattung kommen. Somit kann die Berücksichtigung bereits vorhandener Infrastrukturen für die Erholungsnutzung nur zu einer Erhöhung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit führen.

4.3.5 Schutzgut Avifauna (Rast- und Brutvögel)

Für die Ermittlung von, aus Sicht des Naturschutzes, unbedenklichen Standorten ist es notwendig, dass potentielle Beeinträchtigungsrisiko auf die Tierwelt ermitteln zu können. Deshalb soll hier eine Möglichkeit vorgestellt werden, wie für Rast- und Brutvögel die Beeinträchtigungsempfindlichkeit gegenüber dem Betrieb von Windenergieanlagen ermittelt werden kann.

4.3.5.1 Beeinträchtigungsempfindlichkeit

Allgemein betrachtet, kann eine Planung aus Sicht des Vogelschutzes dann als problemlos eingestuft werden, wenn mit keinerlei negativen Auswirkungen auf Brut- und Rastvögel zu rechnen ist. Dies kann allerdings nur dann der Fall sein, wenn in dem betrachteten Untersuchungsraum keine Vögel vorkommen. Vögel besiedeln aber nahezu alle verfügbaren Lebensräume. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass jeder potentielle Standort auch als Lebensraum von Vögeln genutzt wird (REICHENBACH et. al., 16). Somit sind negative Auswirkungen auf die Vogelwelt theoretisch immer denkbar.

Da also eine Beeinträchtigung immer möglich ist, muss geprüft werden, ob die Vogelbestände des betrachteten Raumes von dem geplanten Vorhaben auch tatsächlich betroffen sind, wie erheblich diese Beeinträchtigung ist und ob dadurch ein besonders hohes Beeinträchtigungsrisiko besteht.

Die Beeinträchtigung der Vogelwelt durch die direkte Zerstörung von Lebensräumen ist meist gering, da dies nur durch die Anlagenfundamente und Zuwegung geschehen kann. Wesentlich weitreichender können indirekte Beeinträchtigungen durch die Wirkung der Windenergieanlagen als sogenannte „Vogelscheuchen“ sein. Es wird vermutet, dass bestimmte Arten teilweise große Bereiche um die Windenergieanlagen meiden, da sie sich von den hohen Vertikalstrukturen und den Rotordrehungen bzw. dem periodischen Schattwurf gestört fühlen. Dieses Meidungsverhalten ist in mehreren Studien beschrieben

und nachgewiesen worden, detaillierte Untersuchungen zu den genauen Ursachen stehen allerdings noch aus (REHFELDT et. al. 2001, 69, vgl. auch Kapitel 3).

Wie kann nun die Beeinträchtigungsempfindlichkeit für Rast- und Brutvögel hinsichtlich des Eingriffstyps Windenergieanlage ermittelt werden?

Bisher erfolgte die Einschätzung der Erheblichkeit eines möglichen Eingriffs allein aufgrund der naturschutzfachlichen Bedeutung des Lebensraumes für die Avifauna. Die artenspezifische Empfindlichkeit für Veränderungen im Lebensraum wurden dabei nicht berücksichtigt. „Eine differenzierte Wirkungsprognose erfordert allerdings stets die Einbeziehung der Empfindlichkeit des jeweiligen Bestandteils des Naturhaushaltes gegenüber den spezifischen Wirkfaktoren des Vorhabens. Wird auf eine Beurteilung der Empfindlichkeit verzichtet und die Eingriffsbewertung alleine auf Grundlage der Bedeutung vorgenommen, setzt dies die Einstufung der Empfindlichkeit als maximal und bei allen Vogelarten identisch voraus“ (REICHENBACH 1999, 17).

REICHENBACH (1999) versucht dieses Problem zu lösen, indem er eine Klassifizierung für verschiedene Empfindlichkeitsintensitäten einführt, die unabhängig von der Vogelart angewendet werden kann. Das Konfliktpotential bzw. die Beeinträchtigungsintensität ergibt sich dann aus der Verknüpfung dieser Veränderungsempfindlichkeit mit der avifaunistischen Bedeutung des Untersuchungsraumes.

Methodisch orientiert sich dieses Verfahren an der Ökologischen Risikoanalyse, da die Bedeutung des potentiell beeinträchtigten Raumes und seine spezifische Veränderungsempfindlichkeit bei der Ermittlung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4.2.).

Die Einteilung der Empfindlichkeit des Untersuchungsraumes anhand der Charakterisierung der Arten in verschiedene Klassen kann, nach den in Tabelle 20 dargestellten Kriterien, erfolgen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass für einen bestimmten Untersuchungsraum nicht ein „Mittelwert“ für die dort vorkommenden Arten ermittelt werden kann. Die Einschätzung der Empfindlichkeit eines Raumes orientiert sich immer an der Art, mit der höchsten eingriffsspezifischen Empfindlichkeit, die im Untersuchungsraum vorkommt.

Die Zuordnung der verschiedenen, im Untersuchungsgebiet vorkommenden, Vogelarten zu den, in Tabelle 20, vorgeschlagenen Empfindlichkeitsstufen bereitet derzeit allerdings noch große Probleme. Aufgrund der zum Teil widersprüchlichen Aussagen der wenigen Untersuchungen und des damit einhergehenden geringen Kenntnisstandes der Problema-

tik wird, von den mit diesem Thema beschäftigten Fachleuten, eine solche Einteilung der Arten derzeit noch abgelehnt (vgl. REICHENBACH 1999). Mit Hilfe weiterer Monitoring-Untersuchungen nach Errichtung von Windparks und Vergleichsuntersuchungen in unbelasteten Gebieten könnte eine solche Einschätzung aber erfolgen.

Empfindlichkeitsstufe des Raumes	Allgemeine Charakterisierung des Artenspektrums
I. sehr gering	Flächen mit Arten, für die keine negativen Reaktionen bekannt sind
II. gering	Flächen mit Arten, die nur mit geringfügiger Verlagerung reagieren
III. mittel	Flächen mit Arten, die mit deutlicher Verlagerung reagieren, in geringer Individuenzahl
IV. hoch	Flächen mit Arten, die mit deutlicher Verlagerung reagieren, in hoher Individuenzahl; oder mit Arten, die mit vollständiger Gebietsmeidung reagieren, in geringer Arten- und Individuenzahl
V. sehr hoch	Flächen mit Arten, die mit vollständiger Gebietsmeidung reagieren, in hoher Individuen- und Artenzahl; oder, bei niedriger Individuenzahl, in Kombination mit Arten, die mit deutlicher Verlagerung reagieren.

Tabelle 20: Vorschlag zur Einstufung der Empfindlichkeit von Räumen gegenüber Windenergieanlagen in Abhängigkeit von der avifaunistischen Ausstattung (Brut- und Rastvögel) (REICHENBACH 1999, 19).

Für die Bewertung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit ist natürlich die Eignung bzw. avifaunistische Bedeutung des Gebietes von Wichtigkeit. Die Einordnung eines Gebietes anhand der avifaunistischen Bedeutung erfolgt mit Hilfe der Individuenanzahl in einem Gebiet und der jeweiligen Flächengröße. Die Gebiete können dadurch in lokal, regional, landesweit und national bedeutsame Flächen eingeteilt werden. International bedeutende Habitate (Important Bird Areas, IBA) werden in diese Skala nicht integriert, da die Nutzung von Windenergie, aufgrund des besonderen Schutzstatus, in solchen Gebieten sowieso nicht zulässig ist.

Beeinträchtigungsempfindlichkeit		Empfindlichkeitsstufe				
		Sehr gering (I)	Gering (II)	Mittel (III)	Hoch (IV)	Sehr hoch (V)
Avifaunistische Bedeutung	< lokal	sehr gering	gering	gering	mittel	mittel
	lokal	gering	gering	mittel	mittel	hoch
	regional	gering	mittel	mittel	hoch	hoch
	landesweit	mittel	mittel	hoch	hoch	sehr hoch
	national	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Abbildung 33: Aggregation von avifaunistischer Bedeutung und eingriffsspezifischer Veränderungsempfindlichkeit zur Beeinträchtigungsempfindlichkeit (verändert nach REICHENBACH 1999, 20).

Die Verknüpfung der beiden Kriterien avifaunistische Bedeutung und Empfindlichkeit der vorkommenden Arten erfolgt mit Hilfe der Verknüpfungsmatrix in Abbildung 33. Die Beein-

trächtigungsempfindlichkeit eines Gebietes kann dadurch in eine fünfstufige Skala eingeordnet werden.

Diese Einordnung hilft eine realistische Bewertung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit zu ermöglichen, kann aber nicht alleiniges Entscheidungskriterium für eine Bewertung der Beeinträchtigung aus avifaunistischer Sicht sein.

„Die Beschreibung der in einem Gebiet vorkommenden Vogelbestände, die Bewertung und Einstufung von Bedeutung und Empfindlichkeit sowie die Prognose und Beurteilung der zu erwartenden Beeinträchtigungen sollte einzelfallbezogen und vorrangig verbalargumentativ erfolgen, um der Komplexität des Naturhaushaltes wenigstens annäherungsweise gerecht werden zu können“ (REICHENBACH 1999, 21).

Insbesondere bei der Betrachtung der Lebensräume von Rastvögeln müssen großräumige Zusammenhänge und Wechselbeziehungen berücksichtigt werden. Hier kann sich der Untersuchungsraum nicht nur auf die Standorte der Windenergieanlagen und einer mehr oder weniger großen Pufferzone beziehen. Um den Auswirkungen gerecht werden zu können, muss der Untersuchungsraum weiträumige Flugkorridore und die Wechsel zwischen Ruhe- und Nahrungshabitaten berücksichtigen.

4.3.5.2 Beeinträchtigungsintensität und Beeinträchtigungsrisiko

Das ökologische Risiko einer Beeinträchtigung wird aus Beeinträchtigungsempfindlichkeit und Beeinträchtigungsintensität ermittelt. Welche Kriterien bei der Ermittlung der Beeinträchtigungsintensität in Bezug auf das Schutzgut Avifauna zur Anwendung kommen könnten, ist noch nicht geklärt.

Bei Betrachtung der möglichen Beeinträchtigungen für Brut- und Rastvögel ist vor allem die von einem Windpark beanspruchte Fläche eine wichtige Größe, da sich eine potentielle Vertreibungswirkung auf die gesamte Fläche des Windparks und einer bestimmten Pufferzone ausdehnen kann. Die Größe des betrachteten Habitates und der Anteil desselben, der durch den Windenergiepark überbaut wird, spielt auch eine Rolle. So ist das Beeinträchtigungsrisiko wahrscheinlich kleiner, wenn genügend gleichwertige Ausweichfläche in der Nähe zur Verfügung steht, als bei einem Totalverlust der Habitate.

Auch der Anteil der einzelnen Wirkfaktoren an der Vertreibungswirkung und die Auswirkung verschiedener Intensitäten ist nicht geklärt.

„Zukünftig ist verstärkt die Frage zu erwarten, ob höhere Anlagen mit größeren Rotordurchmessern, langsameren Drehzahlen und weiteren Abständen untereinander anders zu bewerten sind als die derzeit üblichen Anlagentypen.

Es ist ferner die Frage zu beantworten, ob es eine Empfindlichkeit von Landschaften oder großflächigen Lebensräumen gegenüber einer bestimmten Dichte von Einzelanlagen oder Windparks in einem Raum gibt“ (SPRÖTGE 1999, 9).

Aufgrund dieser bisher ungeklärten Fragen ist es derzeit nicht möglich, ein Bewertungsschema zur Beeinträchtigungsintensität aufzustellen.

Die Beeinträchtigung der Brut- und Rastvögel kann nur durch die Beeinträchtigungsempfindlichkeit, die auch als Konfliktpotential bezeichnet werden kann, bestimmt werden. Je höher das Konfliktpotential ist, umso mehr steigt auch das Risiko einer Beeinträchtigung an.

Dabei muss aus Gründen des Vorsorgeprinzips von einem totalen Verlust der Flächen zwischen den Anlagen eines Windparks und einem Bereich um die äußeren Anlagen für die Vögel ausgegangen werden.

Da die verschiedenen Arten unterschiedlich empfindlich reagieren, kann hier auch keine Größe für einen generellen Wirkraum angegeben werden. Es wird von SINNING/ THEILEN (1999) empfohlen, die Avifauna bei Brutvögeln in einem Bereich von mind. 500 m und bei Rastvögeln von mind. 1000 m um die äußeren geplanten Anlagen zu erfassen. Damit sind die Entfernungen bis zu denen mögliche Beeinträchtigungen, nach den bisherigen Erfahrungen, auftreten können, mit einer gewissen Sicherheit abgegrenzt. Denn, die meisten bisher beobachteten Vogelarten zeigen ein geringes Meidungsverhalten. Inwieweit die Größe der Anlagen bei der Bemessung des Wirkraumes zu berücksichtigen ist, kann derzeit nicht gesagt werden. BREUER/ SÜDBECK (1999) fordern aus Gründen des Vorsorgeprinzips einen pauschalen Abstand der zehnfachen Anlagenhöhe zu bedeutenden Vogel Lebensräumen, ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Empfindlichkeit der einzelnen Arten. Bei den derzeit errichteten Anlagen können das bis zu 1400 m sein. Ob diese lineare Skalierung der Vorsorgeabstände anhand der Anlagenhöhe aber den wirklichen Notwendigkeiten entspricht, ist bisher nicht bekannt.

Deshalb sollten Eingriffe dann unterbleiben, wenn davon Bereiche mit einer hohen oder sehr hohen avifaunistischen Beeinträchtigungsempfindlichkeit betroffen sind.

4.4 Anwendungsmöglichkeiten der Bewertungsverfahren

In den vorangegangenen Abschnitten wurde für beispielhafte Schutzgüter versucht, Bewertungsverfahren nach der Methode der ökologischen Risikoanalyse zu entwickeln. Es sollen hier die Anwendungsmöglichkeiten aber auch Probleme dieser Bewertungsverfahren aufgezeigt werden.

4.4.1 Anwendung im Planungsprozess

Die entwickelten Bewertungsverfahren sollen mit Blick auf mögliche Anwendbarkeit im Planungsprozess betrachtet werden.

Die Umweltauswirkungen von Windenergieanlagen müssen im Rahmen der Regionalplanung, der vorbereitenden und der verbindlichen Bauleitplanung sowie bei der Projektrealisierung aufgrund der Eingriffsregelung berücksichtigt werden.

Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) stehen die Umweltauswirkungen eines Eingriffs ebenfalls im Mittelpunkt der Betrachtung.

Oftmals werden in Regionalplänen Vorrang- und Eignungsgebiete für die Nutzung der Windenergie festgelegt. Bei der Festlegung dieser Gebiete müssen bereits neben anderen Nutzungskonflikten auch die möglichen Umweltwirkungen berücksichtigt werden. Da die Detailgenauigkeit bei der Bearbeitung der Raumordnungspläne sehr gering ist, lassen sich die vorgestellten Bewertungsverfahren, aufgrund der notwendigen umfangreichen und intensiven Auseinandersetzung mit dem Planungsraum, hier nicht anwenden. Die Suche nach Eignungsgebieten für die Windenergienutzung muss mit Hilfe anderer Methoden stattfinden. Eine Ermittlung und Bewertung der Umweltwirkungen für ein gefundenes Vorranggebiet lässt sich aber mit den Bewertungsmethoden für die besprochenen Schutzgüter durchführen. Insbesondere Teilelemente der Bewertungsverfahren, wie die Ermittlung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit von Landschaftsbildern oder des Konfliktpotentials für die Avifauna können helfen, verschiedene Varianten von Vorranggebieten gegeneinander abzuwägen. Ebenso können, mit Hilfe der eingriffsspezifischen Empfindlichkeiten der Schutzgüter, Ausschlussgebiete festgesetzt werden.

Aufgrund der Privilegierung von Bauvorhaben im Rahmen der Nutzung von Windenergie nach § 35 im BauGB, können Baugenehmigungen für Windenergieanlagen im gesamten Außenbereich einer Gemeinde beantragt werden, wenn dem keine öffentlichen Belange entgegenstehen. Mit Hilfe der Ausweisung von Sondernutzungsgebieten für Windenergie in den Flächennutzungsplänen, kann diese Privilegierung in geordnete Bahnen gelenkt werden, da dann die Baugenehmigung im restlichen Gemeindegebiet versagt werden kann. Für die Suche von, aus Sicht des Umweltschutzes, geeigneten Flächen, können die

vorgestellten Bewertungsmethoden genutzt werden. Für verschiedene Suchflächen können die Umweltwirkungen, anhand von Beispielkonfigurationen, ermittelt und bewertet werden. Dadurch lassen sich spätere Konfliktfelder, insbesondere im Bereich des Immissionsschutzes frühzeitig ausschließen.

Im Rahmen der Eingriffsregelung sind die Bewertungsverfahren für die Schutzgüter Landschaftsbild und Avifauna möglicherweise geeignet, die Schwere des Eingriffs zu ermitteln. Damit könnte dann die Ermittlung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen unterstützt werden.

Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen können alle Bewertungsverfahren angewendet werden. Vor allem verschiedene Varianten und Standortoptionen sollten mit Hilfe der vorgestellten Methoden klassifizierbar sein.

4.4.2 Kritische Analyse der vorgestellten Bewertungsverfahren

In Kapitel 4.1 wurden die Anforderungen, die an ein Bewertungsverfahren gestellt werden, definiert. Mit Blick auf diese Anforderungen, wie Validität, Reliabilität, Intersubjektivität, Transparenz sowie Nachvollziehbarkeit sollen die Probleme der Bewertungsverfahren besprochen werden.

4.4.2.1 Schutzgut Landschaftsbild

Die Anwendbarkeit des Verfahrens zur Ermittlung des Beeinträchtigungsrisikos für das Landschaftsbild konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht erprobt werden.

Einerseits ist es schematisch am dichtesten an der Methode der Ökologischen Risikoanalyse geblieben. Andererseits stellt sich die Frage, ob eine solche Vielzahl an Einzelkriterien für einen solch großen Betrachtungsraum notwendig ist, um das Risiko der Beeinträchtigung zu ermitteln. Vor allem unter dem Gesichtspunkt, dass am Ende lediglich eine dreistufige Skalierung steht. Wahrscheinlich besteht die Gefahr, dass mit jedem Aggregationsschritt eine Nivellierung der Bewertung der einzelnen Kriterien stattfindet. Um dem Verfahren besser gerecht zu werden, sollte eventuell durchgehend eine fünf- oder besser siebenstufige Skalierung entwickelt werden.

Das zweite Problem ist die sehr umfangreiche Erhebung der Informationen für die einzelnen Kriterien in den verschiedenen Ästhetischen Raumeinheiten. Hier stellt sich die Frage der Verhältnismäßigkeit zum erzielbaren Ergebnis.

4.4.2.2 Schutzgut Mensch

Die technisch gut durchführbaren und in der Planungspraxis sehr oft eingesetzten Schall- und Schattenimmissionsprognosen, lassen bei bereits feststehenden Standorten und An-

lagekonfigurationen eine Bewertung des Beeinträchtigungsrisikos sehr gut zu. Da eine Differenzierung in verschiedene Risiken hier nicht sinnvoll erschien, konnte die Methode der Ökologischen Risikoanalyse zwar angewandt, aber nicht effektiv genutzt werden.

4.4.2.3 Sachgut Erholungsnutzung

Die mögliche Beeinträchtigung der landschaftsbezogenen Erholungsnutzungen machte eine enge Anbindung an das Bewertungsverfahren für das Schutzgut Landschaftsbild notwendig. Die für dieses Schutzgut gemachten Anmerkungen haben deshalb auch hier ihre Gültigkeit.

Es ist zu überlegen, ob eine Einschätzung der Beeinträchtigung für die Erholungsnutzung nicht aufgrund des separat bewerteten Beeinträchtigungsrisikos für das Landschaftsbildes und einer zusätzlichen Bewertung der Erholungseignung, durchzuführen ist.

4.4.2.4 Sachgut Avifauna

Die Ermittlung des Beeinträchtigungsrisikos für Rast- und Brutvögel ist mit dem derzeitigen Wissensstand nur mit großen Unsicherheiten möglich. Das vorgestellte Verfahren von REICHENBACH (1999) bietet methodisch bereits eine gute Möglichkeit zur Ermittlung der Beeinträchtigungsempfindlichkeit. Allerdings ist die Datenlage zur Ermittlung der spezifischen Veränderungsempfindlichkeit für die meisten Arten noch unzureichend.

Über die Ermittlung von verschiedenen Intensitäten der Beeinträchtigung durch die Windenergieanlagen und welche Indikatoren dabei anwendbar sind, gibt es noch große Unklarheiten.

5 Windenergiestandorte im Binnenland – Beispiele

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Umweltwirkungen von Windenergieanlagen analysiert und Bewertungsmöglichkeiten zur Ermittlung der Beeinträchtigungsrisiken für verschiedenste Standorte vorgestellt.

Ursprünglich sollte die Anwendbarkeit der Bewertungsverfahren anhand von Beispielstandorten nachgewiesen werden. Die vorhandenen Informationen zu den Beispielprojekten reichten aber nicht aus, um die erarbeiteten Bewertungsverfahren testen zu können. Eine eigene Erhebung der Daten würde in diesem Rahmen zu weit führen.

Im folgenden soll auf drei Beispielstandorte eingegangen werden, die in den letzten neun Jahren bearbeitet und realisiert wurden. Die einzelnen Projekte werden kurz vorgestellt und dann unter dem Gesichtspunkt der Ermittlung und Bewertung möglicher Umweltwirkungen betrachtet.

Inwieweit die Ergebnisse dieser Betrachtungen in die konkrete Projektplanung eingegangen sind, soll außerdem beschrieben werden.

5.1 Beispiel 1 – Bärenbrück

5.1.1 Projektbeschreibung

Im April 1994 wurde auf der Abraumhalde Bärenbrück eine Windenergieanlage des Typs ENERCON E 40 errichtet. Die Anlage hat eine Nennleistung von 500 kW. Die Flügel mit einer Länge von 20 m drehen sich in einer Höhe von 50 m.

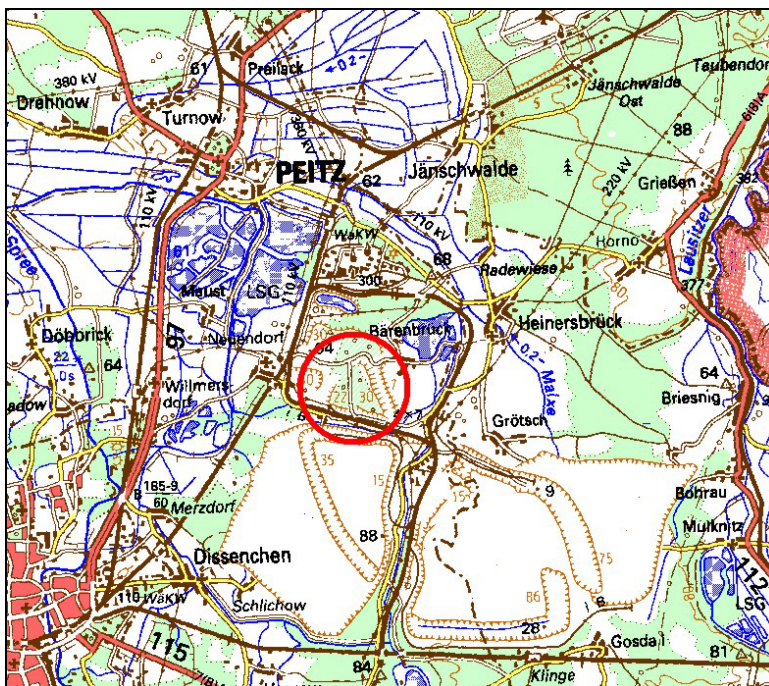


Abbildung 34: Lage der Außenhalde Bärenbrück (ohne Maßstab!).

Ursprünglich bestanden die Planungen darin, 10 Windenergieanlagen auf der Abraumhalde zu errichten. Aufgrund technischer Probleme bei der Realisierung der Netzeinspeisung und Bedenken bzw. Widerstände seitens der Forstverwaltung Peitz, wurden die Planungen auf 2 Anlagen reduziert. Bisher wurde allerdings nur eine Anlage aufgebaut.

Die Abraumhalde Bärenbrück wurde aus den Aufschlussmassen der Braunkohlentagebaue Jänschwalde-Mitte und Cottbus-Nord aufgeschüttet. Die Rekultivierungsmaßnahmen wurden Mitte der 80er Jahre begonnen. Erste Pflanzungen auf der Halde sind zum Zeitpunkt der Errichtung der WEA 13 Jahre alt gewesen. Die Rekultivierungsmaßnahmen beinhalteten neben einem Großteil an Aufforstungen mit Nadel- und Laubhölzern auch die landwirtschaftliche Nutzung von Teilflächen der Abraumhalde. Die Abraumhalde liegt in unmittelbarer Nähe des Tagebaus und in geringer Entfernung zum Kraftwerk Jänschwalde. Zwei kleinere Ortschaften westlich der Halde, Neuendorf und östlich Bärenbrück, befinden sich in unmittelbarer Nähe. Sie sind 1,7 km und 1,2 km entfernt.

5.1.2 Ermittlung und Bewertung von Beeinträchtigungen der Umwelt

Im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens für die erste Anlage wurde ein Landschaftsökologisches Gutachten erstellt. Inhalt dieses, von dem Büro IBL – Beratende Biologen und Ingenieure (Oldenburg i. O.) erarbeiteten Gutachtens, war die Ermittlung von möglichen Beeinträchtigungen aus tier- und landschaftsökologischen Gesichtspunkten im Rahmen der Eingriffsregelung für 10 Windenergieanlagen auf der Halde.

In diesem Gutachten wurden vorhandene Daten und Erkenntnisse über das Untersuchungsgebiet zusammengestellt und bewertet.

Für den Naturschutz wertvoll, sind vor allem die Teiche Peitz, Bärenbrück und Lakoma sowie die nördlich anschließenden Laßzins-Wiesen. Über die Außenhalde selbst, liegen nur wenige Angaben vor. Für den Südhang ist bekannt, dass sich dort eine interessante Wirbellosen-Fauna entwickelt hat. Dieser Bereich ist außerdem für nahrungssuchende Vögel von Bedeutung. Die Vegetation wird von Kiefern-dominierten Anpflanzungen geprägt. Abgesehen von der sich, bei jüngeren Sukzessionsstadien, einstellenden Pioniervegetation mit entsprechend assoziierter Fauna in einigen Bereichen, ist die Außenhalde aus der Sicht von Naturschutz und Landschaftspflege weniger wertvoll (IBL 1993, 4).

Wesentliche Vorbelastungen des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes stehen im Zusammenhang mit dem Braunkohletagebau, wie Tagebaue, Halden, Freileitungen, das Kraftwerk Jänschwalde und andere Infrastruktureinrichtungen. Der untersuchte Standort ist von zahlreichen Freileitungen umgeben, im Norden liegt das Großkraftwerk mit seinen 300 m hohen Schornsteinen, im Süden der Tagebau Cottbus-Nord. Diese Vorbelastungen stellen eine Beeinträchtigung der Biotopqualität für die in den angrenzenden Feuchtbiotopen beheimateten Vögel dar.

Die Gutachter haben die wesentlichen Aussagen, die 1993 bezüglich der Auswirkungen von Windenergieanlagen auf die Avifauna vorlagen, zusammengetragen und ausgewer-

tet. Aufgrund dieser Informationen und den bereits vorhandenen Vorbelastungen, kommen die Autoren zu folgenden Aussagen bezüglich der Beeinträchtigungen der Avifauna:

Es sind keine erheblichen Auswirkungen durch ein Windfeld auf Brutvögel zu erwarten, denn die auf der Halde brütenden Vögel sind zum Großteil Singvögel, die nach den bisherigen Untersuchungen keine Reaktionen gegenüber Windenergieanlagen zeigen.

Die Beeinträchtigung von Adler und anderen Greifvögeln kann ebenfalls ausgeschlossen werden.

Eine Behinderung des Vogelzuges ist nicht zu erwarten, da die Außenhalde Bärenbrück im allgemeinen und die für das Windfeld in Aussicht genommenen Aufstellungsorte, nicht im Bereich einer lokalen Vogelzugroute liegen (IBL 1993, 6).

Die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch die Errichtung von 10 Windenergieanlagen wurde im Rahmen des Gutachtens ebenfalls geprüft.

Die Errichtung von Windenergieanlagen in Bereichen, in denen bereits eine technisch-anthropogen überprägte Landschaft Realität ist, wurde bereits in früheren Veröffentlichungen empfohlen (vgl. GRAUTHOFF 1991, KRIESE 1993). Insbesondere abgedeckte Deponien und Halden zählen zu solchen Landschaftsbereichen. Nach Meinung der Autoren des Gutachtens, ist die Halde trotz der Rekultivierungsmaßnahmen noch eindeutig als künstlicher Landschaftsbestandteil erkennbar. Anhand von Zeichnungen und Geländebegehungen wurde die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes von drei Standorten aus, die in einer Entfernung von 2 bis 3 km zum Windfeld liegen, beurteilt. Zur Anwendung kam dabei eine fünfstufige ordinale Skala, mit Hilfe derer eine Bewertung eines Eingriffs in das Landschaftsbildes vorgenommen werden kann. Eine Einstufung kann in die Gruppen „dominierend“, „erheblich“, „mittel“, „gering“ und „nicht wahrnehmbar“ erfolgen. Dabei wird von den Autoren die Erheblichkeitsschwelle, nach der Eingriffsregelung des BNatSchG, zwischen den Kategorien „erheblich“ und „mittel“ angesetzt.

Die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes wurde, je nach Blickpunkt als „mittel“ bis „gering“ eingestuft. Die Anlagen sind, je nach Standpunkt nur zum Teil zu sehen. Zusätzlich wird das Landschaftsbild aus südlicher und westlicher Richtung von zahlreichen Freileitungen dominiert, hinter denen die Windenergieanlagen zurücktreten. Veränderungen des Landschaftsbildes sind lediglich aus der Blickrichtung von Bärenbrück aus zu konstatieren, eine erhebliche Beeinträchtigung ist jedoch, nach Meinung der Autoren, nicht gegeben.

Abschließend wird die Aussage getroffen, dass erhebliche und nachhaltige Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes im Sinne der §10ff. BbgNatSchG bei Verwirklichung der Planung für das Windfeld Außenhalde Bärenbrück – abgesehen

von kleinräumigen und ausgleichbaren Auswirkungen durch Zuwegung und Mastfuß – bei Beachtung der im Gutachten vorgeschlagenen Vermeidungsmaßnahmen nicht zu erwarten sind.



Abbildung 35: WEA auf der Außenhalde Bärenbrück (OELKER, J.).

Aufgrund des Gutachtens, wurde die Genehmigung vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg für diese eine Windenergieanlage erteilt, mit dem ausdrücklichen Hinweis, dass für die Genehmigung weiterer Windenergieanlagen standortkonkrete Untersuchungsergebnisse zur tierökologischen Verträglichkeit der WEA vorzulegen sind.

Im Vorfeld der Planungen zur Errichtung einer zweiten Anlage wurde im Rahmen der notwendigen Umweltverträglichkeitsuntersuchung, als Ergänzung zum ersten Gutachten, von WIEGLEB/ VORWALD 1995/96 eine Untersuchung, mit dem Titel „Faunistisch-ökologische Bestandsaufnahme und verhaltensbiologische Untersuchungen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung zum Vorhaben ‚Errichtung einer 2. Windkraftanlage auf der Außenhalde Bärenbrück (Landkreis Spree-Neiße)‘“, durchgeführt.

Aufgabe dieses zweiten Gutachtens war es, die Auswirkungen der bestehenden Anlage auf die Avifauna, insbesondere ihr Brutvorkommen, ihre Zugwege und Rastplätze sowie ihr Verhalten als Brut-, Rast- und Zugtiere und Nahrungsgäste zu untersuchen und die möglichen Auswirkungen einer zweiten Anlage abzuschätzen (vgl. WIEGLEB/ VORWALD 1996).

Eine Brutvogelkartierung ergab, dass die im zentralen Teil der Untersuchungsfläche befindlichen Forsten, aufgrund ihrer einheitlichen Strukturierung nur für wenige Arten als Habitat geeignet sind. Die Randbereiche des Untersuchungsgebietes sind durch ihrer stärkeren Strukturierung als Vogelhabitate eindeutig bevorzugt und von empfindlicheren Arten besiedelt. Die vorhandenen Arten sind von der bestehenden WEA in der Mitte des Untersuchungsgebietes weitgehend ungestört.

Zug- und Rastvögel sind vom Vorhandensein der bestehenden Windenergieanlage im Großen und Ganzen unberührt, da diese nicht im Bereich von Hauptzugrouten und Bewegungskorridoren steht. Bei vereinzelt Ereignissen waren Irritationen größerer ziehender Vögel sichtbar. Eine grundsätzliche Meidung durch Zug- und Rastvögel ist mit der

Strukturarmut der Biotope hinreichend erklärbar. Nahrungsgäste, wie z.B. Greifvögel und Eulen sind gänzlich von der bestehenden Anlage unbeeindruckt (vgl. WIEGLEB/ VORWALD 1996).

Die möglichen Auswirkungen auf die Avifauna durch die Errichtung einer zweiten WEA auf der Außenhalde Bärenbrück wurden in diesem Gutachten für zwei Alternativstandorte vergleichend abgeschätzt. Die überprüften Standorte liegen am Osthang der Halde und im zentralen Teil. Aufgrund der größeren Sicherheit mit der die Auswirkungen auf die Vogewelt abgeschätzt werden können, wird der Standort im zentralen Teil der Halde bevorzugt. Hier sind die eher allgemein verbreiteten, häufigen Waldbrüter heimisch, deren Reaktionen eher abzuschätzen sind, als die am Rand der Halde beobachteten, zum Teil naturschutzfachlich bedeutsameren Vögel.

5.1.3 Berücksichtigung der Umweltwirkungen im Planungsprozess

Mit der Hilfe des Gutachtens von IBL konnte eine Bewertung der Umweltwirkungen während der Planungsphase erfolgen. Aufgrund der Beurteilung der Gutachter ist eine erhebliche Beeinträchtigung nicht zu erwarten gewesen. Insbesondere durch die hohen Vorbelastungen im Planungsraum, stellt der Eingriff durch die Errichtung einer WEA keine erhebliche Beeinträchtigung dar.

Die bereits im ersten Genehmigungsverfahren geforderten tierökologischen Begleituntersuchungen wurden im Zuge des Genehmigungsverfahrens für eine zweite WEA durchgeführt. Dadurch ließen sich die Aussagen des ersten Gutachtens auch bezüglich des Schutzgutes Tiere bestätigen. Eine wesentliche Beeinträchtigung der Avifauna konnte nicht aufgezeigt werden.

Über durchgeführte Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen nach der Eingriffsregelung ist nichts bekannt.

5.2 Beispiel 2 – Wangenheim-Hochheim

5.2.1 Projektbeschreibung

Im September 1999 wurden in den Gemarkungen Wangenheim und Hochheim 19 Windenergieanlagen des Typs Tacke 1,5s in Betrieb genommen. Diese Windenergieanlagen haben eine Nennleistung von 1,5 MW, eine Nabenhöhe von ca. 65 m und einen Rotordurchmesser von 70 m. Sie erreichen damit eine Gesamthöhe von 100 m. Die Windenergieanlagen wurden in einem Vorranggebiet zur Nutzung der Windenergie des Regionalen Raumordnungsplanes Mittelthüringen errichtet. Die ursprünglichen Planungen sahen die Errichtung von 21 Anlagen vor, aber aus Gründen des Immissionsschutzes und der Einhaltung der Grenzen des Vorranggebietes wurde nur für 19 Anlagen eine Baugenehmigung erteilt.

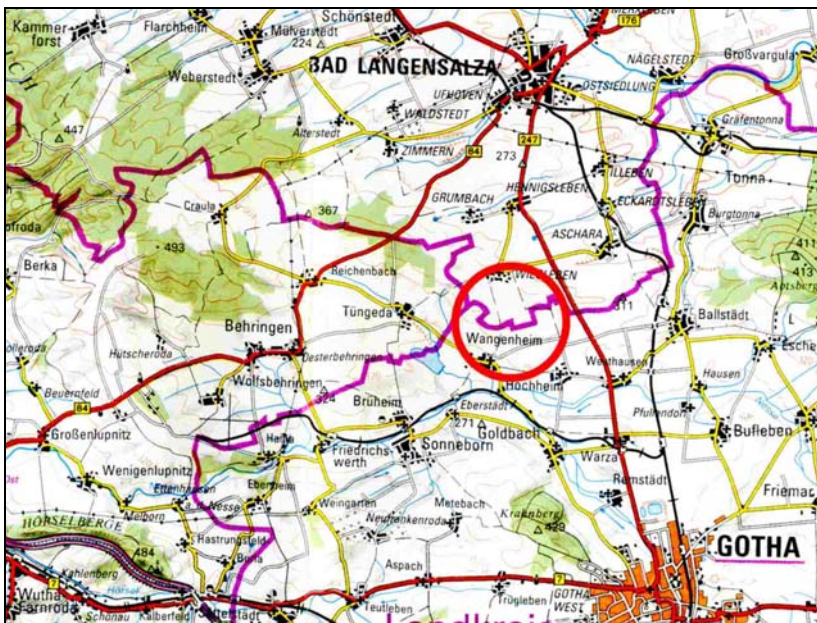


Abbildung 36: Lage des Windfeldes Wangenheim-Hochheim (ohne Maßstab).

Ein zweiter Windpark schließt sich nördlich des Windparks Wangenheim-Hochheim in der Nachbargemeinde Wiegleben an. Dort ist die Errichtung von bis zu 10 Windenergieanlagen geplant. Da die nördliche Gemeindegrenze auch Grenze des Landkreises und der Planungsregion ist, erfolgte eine Abstimmung

der Vorranggebiete in den jeweiligen Planungsgemeinschaften über die Regionale Planungsversammlung.

Ein Raumordnungsverfahren wurde nicht durchgeführt, da durch die Ausweisung eines Vorranggebietes, die Errichtung von Windenergieanlagen den Erfordernissen der Raumordnung entspricht.

5.2.2 Ermittlung und Bewertung von Beeinträchtigungen der Umwelt

Im Rahmen der Unterlagen zur Einteilung der Baugenehmigung für die Windenergieanlagen des Windfeldes mussten eine Schallimmissionsprognose und ein Landschaftspflegebegleitplan beigebracht werden.

Im Landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP), vom Planungsbüro für Landschafts- & Tierökologie Dr. R. Weise erarbeitet, wurden die Auswirkungen auf das Landschaftsbild und den Naturhaushalt ermittelt und bewertet (WEISE/ RASCHDORF 1998).

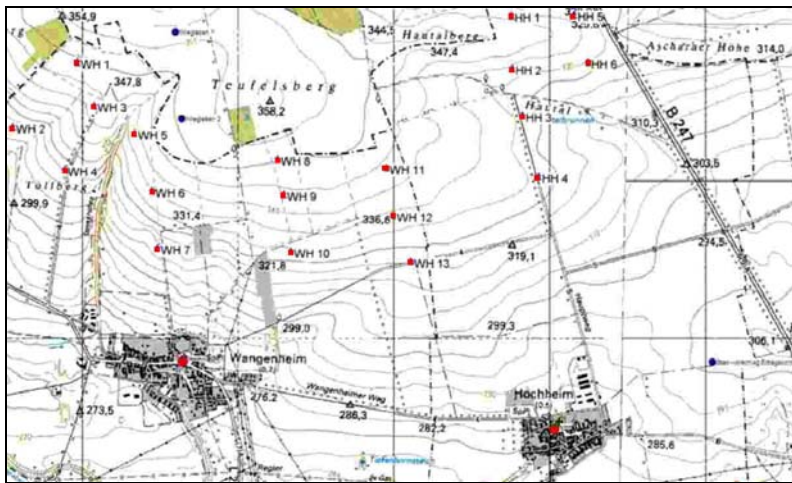


Abbildung 37: Lage der Windenergieanlagen im Windfeld Wangenheim-Hochheim (ohne Maßstab).

Qualitativ erfasst wurden baubedingte Beeinträchtigungen, wie Bodenverdichtung, Baustellenverkehr, Baulärm sowie Schadstoffbelastungen durch die Bautätigkeiten, eine Bewertung erfolgte nicht. Die Beeinträchtigung des Wasserhaushaltes und die Versiegelung von Boden durch die Errichtung der jeweils ca. 196 m² großen

Fundamente und der Neuanlage von Schotterwegen wird ohne Bewertung beschrieben. Die Begrünung des Fundamentaushubs kann aus der Sicht der Autoren eine Bereicherung der Vegetation auf der intensiv genutzten Ackerfläche darstellen.

Wirkfaktoren, wie Licht- und Schattenreflexe sowie Schallemissionen werden als beunruhigend für die Tierwelt eingeschätzt. Daher wird eine potentielle Verschlechterung der Situation für die Tierwelt im Planungsraum vermutet. Dazu kommt die potentielle Barrierewirkung der drehenden Rotoren für Zugvögel.

Signifikante Auswirkungen auf regionale und überregionale Vogelbewegungen werden aber, aufgrund der vorhandenen Gutachten zum Vogelzug in der Region, trotz eines ca. 2 km entfernten regional bedeutsamen Rast- und Brutgebietes (Staubecken Wangenheim), nicht erwartet.

Ein avifaunistisches Gutachten für den Planungsraum hat nur eine geringe Anzahl an Brutvogelarten feststellen können. Darunter waren die gefährdeten Arten Braunkehlchen, Grauammer, Rebhuhn und Neuntöter. Eine Beeinträchtigung dieser Brutvögel durch den geplanten Eingriff wird von den Autoren nicht erwartet.

Um die zukünftige Entwicklung der Avifauna nach Errichtung der Windenergieanlagen bewerten zu können, wurde zwischen Unterer Naturschutzbehörde und Eingriffsverursacher eine weitere Begutachtung der Avifauna für die ersten fünf Jahre nach der Errichtung der Windenergieanlagen vereinbart.

Die visuelle Verletzlichkeit des Landschaftsbildes gegenüber Veränderungen wird von den Autoren, aufgrund der weiträumig einsehbaren Landschaft, als stark eingeschätzt. Die Natürlichkeit der vorhandenen Landschaft misst sich an weiten Ebenen und durch eine von natürlichen Baumhöhen geprägte Horizontlinie. Die Erholungsnutzung, des nördlich der Ortschaften Wangenheim und Hochheim liegenden Landschaftsraumes, wird als gering eingeschätzt. Inwieweit das, als regionales Entwicklungszentrum für Naherholung ausgewiesene Staubecken südwestlich von Wangenheim von der Errichtung der Windenergieanlagen beeinträchtigt wird, kann von den Autoren nicht beurteilt werden.



Abbildung 38: Visualisierung des Windparks Wangenheim/ Hochheim mit Hilfe der Software WindPRO Visual. Blick nach Nordosten aus ca. 10 km Entfernung (Ingenieurbüro Kuntzsch 1998).

Durch die Dimensionierung der Anlagen ist, in der weitgehend ausgeräumten und stark landwirtschaftlich genutzten Landschaft, von einer erheblichen Fernwirkung auf das Landschaftsbild auszugehen. Im näheren Umfeld bis 1500 m wird die Landschaft stark technisiert wahrgenommen werden und dadurch an Erholungseignung verlieren.

Die Bewertung dieser Beeinträchtigung des Landschaftsbildes erfolgte mit dem Berechnungsverfahren nach NOHL (1993). Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, mit Hilfe der ermittelten Ästhetischen Erheblichkeit eines mastartigen Eingriffs die Kompensationsfläche zu berechnen, auf der Ersatzmaßnahmen im Sinne der Eingriffsregelung durchzuführen sind.

Die Bewertung eines solchen Eingriffs erfolgt nach NOHL (1993) getrennt für drei Sichtzonen mit einem Radius von 200 m, 1,5 km und 10 km um den Eingriffsort.

Nach NOHL (1993) wird der Landschaftsästhetische Eigenwert für die verschiedenen ästhetischen Raumeinheiten des tatsächlich betroffenen Untersuchungsgebietes, anhand der Kriterien Vielfalt, Naturnähe und Eigenart auf einer zehnstufigen Skala für die Situation vor und nach dem Eingriff eingeschätzt. Aus der Differenz der landschaftsästhetischen Eigenwerte vor und nach dem Eingriff ergibt sich die Eingriffsintensität. Mit Hilfe der weiteren Kriterien Visuelle Verletzlichkeit und Schutzwürdigkeit ergibt sich über mehrere Aggregationsschritte die Ästhetische Erheblichkeit des mastartigen Eingriffs.

Die Kompensationsfläche errechnet sich aus einer Formel, in der diese Ästhetische Erheblichkeit, die Fläche der Sichtzonen und ein Wahrnehmungskoeffizient für die drei verschiedenen Sichtzonen eingehen.

Im vorliegenden Landschaftspflegerischen Begleitplan wurde bei der Anwendung dieses Verfahrens sehr schematisch vorgegangen. Eine Einteilung des Untersuchungsgebietes in verschiedene Landschaftsästhetische Raumeinheiten erfolgte nicht. Der gesamte Untersuchungsraum, von dem der Eingriff sichtbar sein wird, immerhin eine Fläche von ca. 19 km², wurde von den Autoren des LBP als ein Landschaftsästhetische Raumeinheit betrachtet. Die Ermittlung der sichtverschatteten Bereiche im Untersuchungsgebiet ist im LBP nicht nachzuvollziehen.

Die Einordnung in die zehnstufigen Skalen nach NOHL (1993) für die verschiedenen Kriterien erfolgte ohne verbale Begründung. Dadurch ist eine Nachvollziehbarkeit nicht mehr gegeben.

5.2.3 Berücksichtigung der Umweltwirkungen im Planungsprozess

Die ermittelten Beeinträchtigungen der Umwelt durch die Neuanlage von geschotterten Wegen, der Versiegelung von Boden durch die Fundamentflächen, die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und der Erholungseignung der Landschaft sowie mögliche Beeinträchtigungen der Avifauna sollen durch die, im LBP vorgeschlagenen, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen kompensiert werden. Die Bilanzierung dieser Maßnahmen erfolgte nach NOHL (1993).

Die mit Hilfe des Verfahrens nach NOHL (1993) ermittelte Kompensationsfläche von ca. 27 ha wurde in Abstimmung mit der Unteren Naturschutzbehörde Gotha halbiert, um die Kosten des Flächenerwerbs für die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen adäquat berücksichtigen zu können. Die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen mit einem Gesamtvolumen von ca. 570.000,- DM umfassen:

- die Umwandlung von mehreren Hektar Acker in Grünland mit lockerer Bepflanzung,
- Hecken- und Strauch-Pflanzungen entlang eines vorhandenen Grabenzuges,

- die Eingrünung des Ortsrandes und der Abriss einer ehemaligen Stallanlage mit der Entsiegelung von Flächen,
- Pflanzungen von Obstbaumreihen entlang von Wegen und
- die Anlage von Brutkästen und Steinschüttungen.

Diese Maßnahmen werden mit der Verbesserung des Landschaftsbildes, Strukturanreicherung, Biotopvernetzung und Schaffung von Habitaten begründet.

Mögliche Beeinträchtigungen durch Schallimmissionen wurden im Baugenehmigungsverfahren berücksichtigt. So musste ein Schallgutachten durch einen unabhängigen Gutachter angefertigt werden. Die darin berechneten Schallimmissionspegel unterschreiten den zulässigen Pegel von 40 dB(A) für die Nacht an zwei Immissionspunkten nur knapp.

Deshalb wurde die Baugenehmigung nur mit der Auflage erteilt, eine automatische Nachtabenkung an 3 Anlagen, die alle weniger als 950 m zum nächsten maßgebenden Immissionspunkt entfernt stehen, einzubauen. Weiterhin wurde gefordert, den tatsächlichen Schallemissionspegel nach Inbetriebnahme der Anlagen zu vermessen und bei Überschreitung des, in der Prognose verwendeten, Schallpegels dementsprechende Maßnahmen, wie zum Beispiel leistungsbegrenzten Betrieb der Anlagen, einzuleiten.

5.3 Beispiel 3 – Windpark Kleptow/ Klockow

5.3.1 Projektbeschreibung

Im Landkreis Uckermark, nördlich der Stadt Prenzlau sind in den letzten Jahren eine große Anzahl Windenergieanlagen im Rahmen des Gesamtvorhabens „Windfeld Uckermark“ entstanden. Der Windpark Kleptow/ Klockow mit 10 Windenergieanlagen der 1,5 MW-Klasse, ist Teil dieses Windfeldes. Zum Ende des Jahres 2000 wurden die letzten Anlagen des Windparks in Betrieb genommen. Die Anlagen verschiedener Hersteller haben Nabenhöhen von ca. 100 m und Rotordurchmesser zwischen 70 und 77 m. Damit erreichen sie Gesamthöhen bis 138 m. Die Anlagen stehen im Abstand von 270 m bis 320 m in einer Reihe, entlang des Wirtschaftsweges zwischen den Ortschaften Klockow und Kleptow.

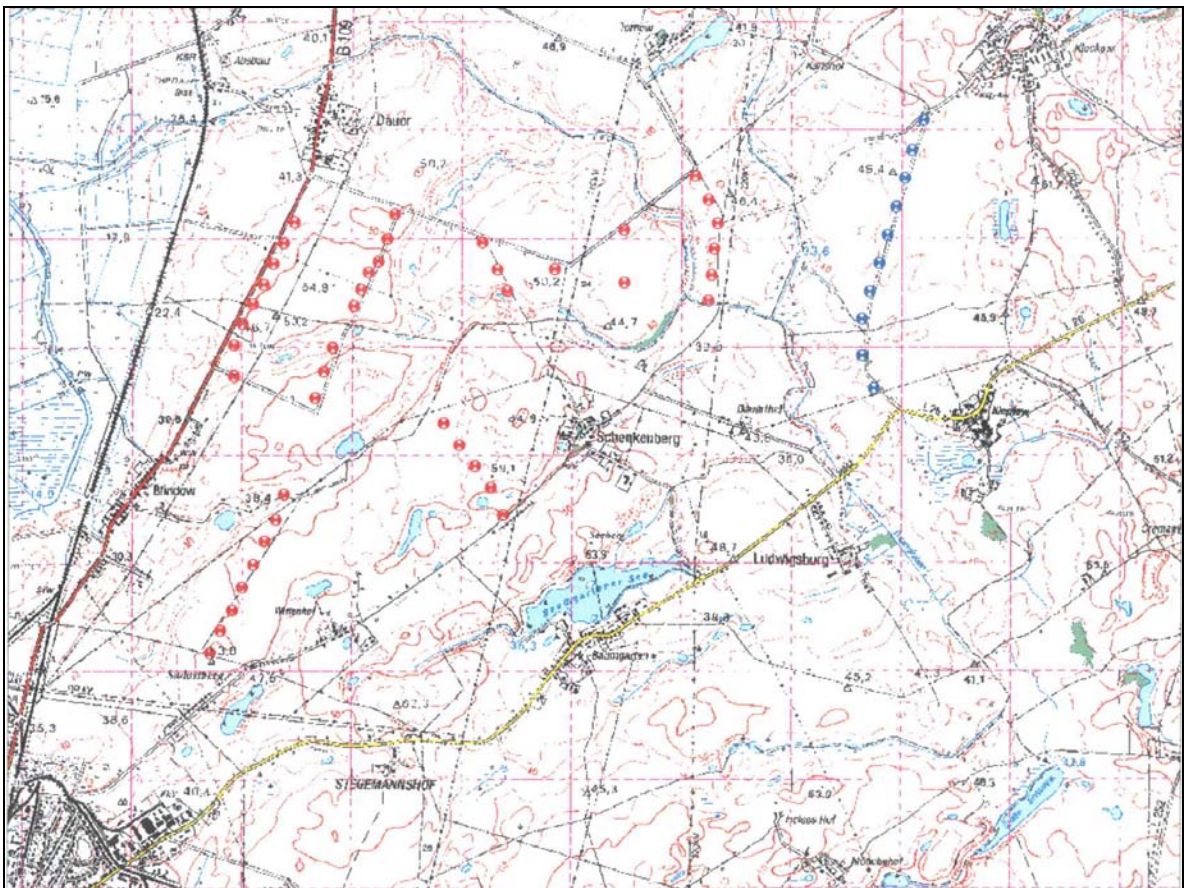


Abbildung 39: Lageplan des gesamten Windfeld Uckermark mit dem blau gekennzeichneten Windpark Kleptow/ Klockow (ohne Maßstab).

5.3.2 Ermittlung und Bewertung von Beeinträchtigungen der Umwelt

Im Zusammenhang mit der Aufstellung eines Vorhaben- und Erschließungsplanes für den Windpark Kleptow/ Klockow ist die Erarbeitung eines Grünordnungsplanes notwendig gewesen. Dieser Grünordnungsplan (GOP) stellt den fachplanerischen Beitrag aus Sicht

von Naturschutz und Landschaftspflege zur ressourcenschonenden Begleitung und Steuerung der Gesamtplanung auf Gemeindeebene dar.

Die Erarbeitung des GOP erfolgte, in Abstimmung mit dem Umweltamt des Landkreises Uckermark, durch die Gesellschaft für Luftbildinterpretation mbH und die Uckerwind Ing.ges.& Co. Windfeld Uckermark KG (WENZEL/ KEMPEL 1996). In einem Abstimmungstermin wurde der Untersuchungsrahmen für die Ermittlung des Zustandes vor der Errichtung der Windenergieanlagen und die bereits bestehenden Vorbelastungen festgelegt. Ebenso wurde der Rahmen für die Ermittlung und Bewertung der vorhabenbedingten Beeinträchtigungen abgesteckt.

Für das Windfeld Uckermark wurde im Zuge des Raumordnungsverfahren eine umfangreiche Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) angefertigt (WENZEL et. al. 1995). Die Aussagen des GOP für den Windpark Klepotw/ Klockow stützen sich zum großen Teil auf die Informationen, die im Zusammenhang mit der UVS gewonnen werden konnten.

Die Ermittlung und Bewertung der vorhabenbedingten Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft erfolgte im GOP verbal-argumentativ in Anlehnung an die Ökologische Risikoanalyse.

Aufgrund der, im ersten Teil des GOP, durchgeführten Erfassung des Zustandes und der Vorbelastungen von Natur und Landschaft, werden die zu erwartenden Beeinträchtigungen ermittelt.

Für die abiotischen Schutzgüter Boden, Wasser und Klima sind keine Beeinträchtigungen zu erwarten. Die Versiegelung durch Wegebau und Fundamente ist, bezogen auf die Gesamtfläche sehr gering, zumal von der Versiegelung nur intensiv genutztes Ackerland betroffen ist.

Die Bewertung der Beeinträchtigungen der Avifauna, durch die Errichtung und den Betrieb der 10 Windenergieanlagen, erfolgt mit Hilfe der Erfassung der Avifauna in der UVS und der Auswertung von avifaunistischer Fachliteratur. Dabei werden die Arten berücksichtigt, die in einem Umkreis von 1000 m um die geplanten Anlagen vorkommen.

Die Bestandserhebung der Brutvögel im Rahmen der UVS hat ergeben, dass die strukturarmen Ackerflächen im Windfeld Uckermark nur einen geringen Artenreichtum aufweisen. Der Großteil der nachgewiesenen Brutvogelarten besiedelt die wenigen Feldhecken, Gebüschgruppen, Krautfluren und Ruderalsäume entlang der Wege und Gewässer. Da das Untersuchungsgebiet in weiten Bereichen von ausgeräumten, mit wenigen Landschaftsstrukturen ausgestatteten, landwirtschaftlichen Nutzflächen geprägt wird, ist für die meisten Arten ein geringer Brutbestand anzunehmen. Für Brutvögel werden daher von den Autoren keine wesentlichen negativen Auswirkungen erwartet.

Für ziehende Großvögel wird mit einer Barrierewirkung in Ost-West-Richtung gerechnet. Da aber im Untersuchungsraum keine nennenswerten Flugbewegungen in dieser Richtung zu verzeichnen sind, stellt diese Barriere keine erhebliche Beeinträchtigung dar.

Über den Verlust von Nahrungsflächen für Kraniche, Gänse und andere Nahrungsgäste können von den Autoren keine gesicherten Aussagen gemacht werden. Da aber in 100 m Entfernung, parallel zur Windenergieanlagenreihe die Autobahn Berlin-Stralsund gebaut wird, ist wahrscheinlich grundsätzlich mit dem Verlust von Äsungsflächen zu rechnen.

Die Bestandserfassungen ergaben auch bisher nur eine geringe Bedeutung des Untersuchungsgebietes als Rast- und Nahrungsgebiet.

Die Erfassung und Bewertung des Landschaftsbildes erfolgt im GOP bis zu einem Radius von 1500 m um den Eingriffsort. Weitergehende Beeinträchtigungen werden als vernachlässigbar eingeschätzt.

Der Landschaftsraum um die Windenergieanlagen stellt sich als intensiv genutzte Agrarlandschaft dar. Die Vielfalt an landschaftsstrukturierenden Elementen ist sehr gering. Neben einigen Hecken entlang der Straßen und Wege und Baumbeständen entlang des Wirtschaftsweges zwischen Klockow und Kleptow sowie an der Kreisstraße existieren nur sehr wenige vertikale Strukturen.

Durch die starke landwirtschaftliche Nutzung und dem Fehlen weiterer nennenswerter Vegetationselemente wird die Naturnähe ebenfalls als sehr gering eingeschätzt.

Auch die Eigenart des Untersuchungsraumes wird als sehr gering bewertet, viele der als typisch geltenden landschaftsbildprägenden Elemente, wie z.B. Baumgruppen, Alleen oder Einzelbäume wurden im Zuge der Flurbereinigungen der vergangenen Jahrzehnte beseitigt. Zusätzlich kommen Vorbelastungen, wie Hochspannungsleitungen und vorhandene Windenergieanlagen des Windfeldes Uckermark, bei der Bewertung der Naturnähe und der Eigenart zum Tragen.

In der sehr flachen und überwiegend horizontal geprägten Grundmoränenlandschaft sind sehr hohe Sichtweiten möglich. Infolge des Fehlens großflächiger vertikaler Strukturen und des nur flachwelligen Reliefs sind praktisch keine nennenswerten Sichtverschattungsbereiche vorhanden. Daher wird die visuelle Empfindlichkeit von den Autoren des GOP als sehr hoch eingeschätzt.

Die folgenden Beeinträchtigungen durch die Windenergieanlagen wurden prognostiziert:

- In der unmittelbarer Umgebung der Windenergieanlagen bis etwa 500 m wird das Landschaftsbild völlig von der Wahrnehmbarkeit der Anlagen dominiert, da die Anlagen im gesamten Raum sichtbar sind.

- Aufgrund des technischen Charakters und der ortsuntypischen Größendimensionierung kommt es zu einer erheblichen Verfremdung der Eigenart des Landschaftsbildes.
- Auch in mittleren Entfernungen, von 500 m bis 1500 m, ergibt sich eine starke visuelle Beeinträchtigung, insbesondere des Horizontes, da das Gelände nicht weiter ansteigt und die Anlagen, vom vorhandenen Wegenetz ausgehend, aus allen Richtungen deutlich wahrgenommen werden.

Daher werden die Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes im Umkreis von 1500 m, also im gesamten Untersuchungsraum, als erheblich und nachhaltig eingeschätzt. Diese Einschätzung ergibt sich für die Autoren, trotz des geringen Ästhetischen Eigenwertes der Landschaft, vor allem aus der hohen Visuellen Empfindlichkeit des betroffenen Landschaftsraumes. Die vorhandenen Vorbelastungen führen danach nur bedingt zu einer Verminderung der Erheblichkeit des Eingriffs, da in Folge der großräumigen Verteilung der Anlagenstandorte im gesamten Windfeld Uckermark, neue ästhetisch intensiver beeinträchtigte Räume und Blickbeziehungen entstehen, die zuvor ästhetisch unbelastet waren.

Kritisch anzumerken ist, dass diese Aussagen ohne eine Visualisierung der geplanten Anlagen gemacht wurde.

5.3.3 Berücksichtigung der Umweltwirkungen im Planungsprozess

Von den Autoren des GOP wurden Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen der Beeinträchtigungen vorgeschlagen, die aus heutiger Sicht bei der Planung und Durchführung des Projektes berücksichtigt wurden.

Diese umfassen einerseits Bau und Betrieb der Windenergieanlagen und andererseits die Wahl der Standorte und der Anordnung. Da die Standortplanung zum Zeitpunkt der Erstellung des GOP bereits erfolgt war, können die dort gemachten Vorschläge nur als Bestätigung, bereits berücksichtigter Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen, gewertet werden. Das betrifft insbesondere die Wahl eines klaren gestalterischen Prinzips bei der Anordnung der Anlagen. Dies wird mit der linienhaften Anordnung entlang des Weges erfüllt.

Die erheblichen und unvermeidbaren Beeinträchtigungen, wie die ästhetischen Auswirkungen der Anlagen, werden erkannt und beschrieben. Da eine solche Beeinträchtigung des Landschaftsbildes nicht ausgeglichen werden kann, werden Kompensationsmaßnahmen als Ersatzmaßnahmen geplant. Diese sollen den Ästhetischen Eigenwert, also Vielfalt, Eigenart und Naturnähe verbessern und die Visuelle Empfindlichkeit verringern. Zusätzlich soll mit den Maßnahmen eine grundsätzliche Verbesserung der Situation des

Naturhaushaltes erreicht werden. Diese Ersatzmaßnahmen, in Form von Anpflanzungen von Baum- und Heckenreihen entlang der Wegen und der Anlage von Sitzhilfen für Greifvögel, haben einen finanziellen Umfang von ca. 120.000,- DM.

Die Bilanzierung der Umweltbeeinträchtigungen und der Kompensationsmaßnahmen erfolgt im GOP verbal-argumentativ. Inwieweit diese Bilanzierung gerechtfertigt ist, kann hier allerdings nicht beurteilt werden. Im Rahmen der Beteiligung der Träger öffentlicher Belange am Festsetzungsverfahren des V+E-Planes mit integriertem GOP wurden keine Einwände gegenüber der Bilanzierung erhoben.

Die Beeinträchtigungen des Menschen wurden im Planungsprozess nur im Rahmen der UVS für das gesamte Windfeld Uckermark ermittelt. Für das Windfeld Kleptow/ Klockow wurden seitens der Planungsbehörden keine Schall- und Schattengutachten gefordert. Interne Schallberechnungen für die nächstgelegenen Immissionspunkte in den Orten Klockow und Kleptow ergaben einen berechneten Beurteilungspegel von 38 bzw. 39,5 dB(A) bei Entfernungen zu den nächstgelegenen Wohnbebauung von 650 m und 780 m. Damit sind die nach TA Lärm geforderten Nacht-Werte von 45 dB(A) in Dörfern eingehalten. Zusätzlich ist zu bedenken, dass durch den Bau der Autobahn die Lärmbelastung im Untersuchungsgebiet grundsätzlich ansteigen wird. Die bei dem Betrieb der Autobahn entstehenden Schallemissionen werden wohl über denen der Windenergieanlagen liegen.

6 Empfehlungen für die Planungs- und Genehmigungspraxis

In diesem Teil sollen nun Empfehlungen für die Planungs- und Genehmigungspraxis gegeben werden. Oftmals werden bei der Planung von Windenergiestandorten durch Investoren oder bei der Standortsuche im Rahmen der Raumplanung, die Probleme, die durch die Beeinträchtigung der Umwelt entstehen können, nur unzureichend betrachtet. Insbesondere im Küstenraum hat der Zubau von Flächen bereits nachweislich negative Folgen für Teile der Avifauna (vgl. SCHREIBER 1999). Aber auch im Binnenland häufen sich die Anwohnerproteste gegenüber der Errichtung von Windenergieanlagen. Diese Stimmen sollten nicht unbeachtet bleiben, da die Beschwerden zum Teil, insbesondere bei den Schallemissionen, berechtigt sind.

Deshalb sollen hier die folgenden Hinweise und Empfehlungen gegeben werden. Diese sind der jeweiligen Planungs- und Bearbeitungsebene auf der sie wirksam werden können zugeordnet.

6.1 Ausschlussgebiete

Folgende Gebiete und Flächen sind aus der Sicht des Naturschutzes und der Landschaftspflege von der Windenergienutzung freizuhalten:

- bestehende und geplante Naturschutzgebiete,
- bestehende und geplante Nationalparke,
- bestehende und geplante flächenhafte Naturdenkmale,
- die Kern- und Pflegezonen von Biosphärenreservaten,
- die Kernzonen der Nationalparke,
- Landschaftsschutzgebiete (Einzelfallzulassungen sollten möglich sein),
- weitere geschützte Landschaftsbestandteile,
- Gebiete des Europäischen Netz Natura 2000:
 - Gebiete nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL),
 - Besondere Schutzgebiete nach Vogelschutzrichtlinie (VRL),
- Feuchtgebiete internationaler Bedeutung (RAMSAR),
- Important bird area (IBA) sowie
- besonders geschützte Biotope nach § 20c BNatSchG und entsprechenden Ländergesetzen (vgl. BFN 2000, 56, HINZEN/ MAYR 1995).

Für die Bereiche, die nicht unter Schutz gestellt sind, aber als schutzwürdig erscheinen, ist zum Erhalt der Leistungsfähigkeit von Natur und Landschaft eine Einzelfallprüfung vorzunehmen. Dabei sind vor allem:

- Brut-, Nahrungs- und Rastplätze besonders geschützter Tierarten,

- Bereiche, die der Orientierung für den Vogelzug dienen, ihn konzentrieren und leiten,
- Lebensstätten besonders geschützter Pflanzenarten,
- regionalplanerisch ausgewiesene Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft,
- Gebiete mit markanten landschaftsprägenden Strukturen und / oder mit besonderer Bedeutung für den Landschaftsschutz und das Landschaftsbild zu berücksichtigen (nach BfN 2000, 57).

Die genannten Gebiete sollten Einzelfallprüfungen, unter dem Gesichtspunkt der Vermeidbarkeit oder Ausgleichbarkeit des Eingriffs, unterzogen werden.

Dabei können auch die, in dieser Arbeit, vorgestellten Bewertungsverfahren zur Anwendung kommen.

Zu Gebieten, in denen die Nutzung von Windenergie nach den obigen Punkten zu unterlassen ist, sollten ausreichende Abstände eingehalten werden. Diese Abstände müssen aber, im Gegensatz zu den starren Regeln und Richtlinien der Bundesländer, flexibel gehandhabt werden. Die Festlegung der Abstände hat im Einzelfall in Abhängigkeit von den auslösenden Wirkfaktoren und der spezifischen Eignung und Leistung der Werte und Funktionen von Natur und Landschaft zu erfolgen (vgl. BfN 2000).

6.2 Regionalplanung

Die Lösung der Probleme bei der Planung von Standorten für Windenergieanlagen erfordert die Koordination verschiedener Raumansprüche und Belange, frei von Einzelinteressen und im großräumigen Zusammenhang. Eine solche Koordinierung kann am ehesten in der Landes- und Regionalplanung erfolgen (AG „EINGRIFFSREGELUNG“ 1996, 382).

Durch die Ausweisung von Eignungsgebieten auf regionaler Ebene kann eine Berücksichtigung der Belange des Natur- und Landschaftsschutzes erreicht werden. Da die Wirkungen, insbesondere größerer Windparks, in der Regel weitreichend über die kommunalen Grenzen hinaus gehen, ist eine vorsorgende Abstimmung und Flächenausweisung auf regionaler Ebene sinnvoll (vgl. SEHT 1997, 64). Hier kann die Raumverträglichkeit von Standorten, die Standortsuche und die Ausweisung von Eignungs- und Ausschlussgebieten erfolgen. Dabei sollten aus der Sicht des Umweltschutzes die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- Sinnvoll ist die Ausweisung von Eignungsgebieten, so dass die Konzentration von leistungsstarken Anlagen an wenigen Standorten gesichert und gleichzeitig die Energiegewinnungs- und Energieverbrauchsorte in möglichst räumlich zusammenhängender Nähe liegen (vgl. BfN 2000, 52).
- Mögliche Umweltwirkungen durch notwendige infrastrukturelle Erschließungsmaßnahmen der Standorte sind bei der Standortwahl zu berücksichtigen.

- Grundsätzlich sind Standorte mit hoher Vorbelastung zu bevorzugen. Dazu zählen insbesondere Halden, Verkehrsknotenpunkte und die Nähe zu Hochspannungsleitungen (vgl. HINZEN/ MAYR 1995, 56).
- Bei der Ausweisung von Flächen in der Regionalplanung ist zu berücksichtigen, dass exponierte Standorte, aufgrund der optischen Fernwirkung, möglichst zu vermeiden sind. Vor allem Sichtbeziehungen von Aussichtspunkten, Hauptaufenthaltsorten von Urlaubern und Hauptwanderwegen sind vor einer technogenen Überformung der Landschaft zu sichern (BFN 2000, 54). Denn Gebiete, die vorrangig der ruhigen Erholung in der freien Kulturlandschaft dienen, ziehen ihren Erholungswert gerade aus dem Fehlen technischer Bauwerke.
- Es ist zu prüfen, ob durch eine Begrenzung der Anlagenhöhe und Anzahl der Anlagen eine Verringerung der Fernwirkungen und der Störwirkung der Horizontlinie möglich ist.
- Zwischen Windparks sollten Mindestabstände eingehalten werden, um eine übermäßige Belastung des Landschaftsbildes zu vermeiden. Die Abstände sollten in Abhängigkeit von der vorhandenen Landschaft festgelegt werden. „Während in einer wenig strukturierten Landschaft mit großen Sichtweiten wenige große Windparks bei einem Freihalten der übrigen Landschaftsteile die sinnvollste Lösung sein können, dürften in anderen Gebieten kleinere, mehr der Landschaft angepasste Anlagengruppen landschaftsverträglicher sein“ (MIELKE 1996, 105).
- Die in Kapitel 6.1 definierten Ausschlussgebiete und die dazugehörigen Vorsorgeabstände zu ihnen, sind zu berücksichtigen.
- Die Einhaltung von Immissionsschutzabständen zu Siedlungs- und Erholungsgebieten sind bereits bei der Ausweisung von Standorten in der Regionalplanung überschlägig zu beachten.

6.3 Bauleitplanung

Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass es der kommunalen Bauleitplanung eher gelingt, die Berücksichtigung und objektive Abwägung aller öffentlichen und privaten Belange sicherzustellen und die durch Windenergieanlagen entstehenden Probleme aus Sicht des Umweltschutzes in befriedigender Weise planerisch zu lösen, wenn die Belange von Natur-, Landschafts-, und Immissionsschutz bereits in der Regionalplanung beachtet wurden und eine solche Planung zu Verfügung steht (AG „EINGRIFFSREGELUNG“ 1996, 382). Bereits in der Regionalplanung ausgewiesene Eignungs- und Vorranggebiete, erleichtern die optimale Ausweisung von Flächen für die Windenergienutzung in der vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung (BFN 2000, 55).

Durch die, in der Regionalplanung vorgegebenen Eignungs-, Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete besteht für die Bauleitplanung die Möglichkeit, der Konkretisierung von Flächenausweisungen für die Windenergienutzung unter Berücksichtigung der Konfliktarmut der Flächen hinsichtlich des geplanten Eingriffs.

Mit der Hilfe von erfahrenen Fachplanern sowie Planungs- und Ingenieurbüros die in der Planung von Windenergiestandorten tätig sind, sollte die Ausweisung und Konkretisierung dieser Flächen in Bauleitplänen anhand der folgenden Gesichtspunkte erfolgen.

Unter Berücksichtigung des Windangebotes sollten die Flächen hinsichtlich der optimalen Anordnung der Anlagen beplant werden. Dabei kann die Anzahl, Höhe und Anordnung der Anlagen festgeschrieben werden.

Eine überschlägige Berechnung der zu erwartenden Schallimmissionen und Beeinträchtigungen durch Schattenwurf wird dadurch möglich. In einem iterativen Prozess kann nun, unter Berücksichtigung der einzuhaltenden Grenzwerte, eine Optimierung der gewählten Konfiguration erfolgen, um ausreichende Abstände zu Siedlungs- und Erholungsgebieten zu gewährleisten.

Ebenso ist dies mit Hilfe von Sichtbeziehungsanalysen und Visualisierungen (Fotomontagen, Dreidimensionale Modelle) auch für eine landschaftsverträgliche Standortplanung möglich. Dabei ist natürlich auch die Beeinträchtigungsempfindlichkeit der Landschaft zu berücksichtigen.

Unter Umständen ist mit der Regionalplanung eine Veränderung der Eignungsgebiete abzustimmen, wenn sich herausstellen sollte, dass die vorgeschlagenen Gebiete aufgrund ihres hohen Beeinträchtigungsrisikos nicht geeignet sind, aber andere, bisher nicht berücksichtigte Flächen sich für die Nutzung von Windenergie sehr wohl eignen würden.

Durch eine solche, geregelte Planung, die in der Hand der zuständigen kommunalen Behörde verbleibt, kann einerseits einem Wildwuchs und unkoordinierten Bau von Windenergieanlagen Einhalt geboten werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, die vorhandenen Standorte aus der Sicht des Windangebotes, des Natur- und Landschaftsschutzes und aus der Sicht des Immissionsschutzes effizient zu nutzen.

6.4 Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung

Alle Standortentscheidungen für Windenergieanlagen müssen auf den verschiedenen Planungsebenen unter Berücksichtigung der Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz erfolgen.

„Eingriffe in Natur und Landschaft im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen, die die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes

oder das Landschaftsbild erheblich oder nachhaltig beeinträchtigen können“ (§ 8 Abs. 1 BNATSCHG). Vermeidbare Beeinträchtigungen in Natur und Landschaft sind zu unterlassen. Sind erhebliche oder nachhaltige Beeinträchtigungen nicht vermeidbar, so sind sie mit Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege auszugleichen. Sind die Beeinträchtigungen weder vermeidbar noch ausgleichbar, so ist eine solcher Eingriff zu untersagen, wenn die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege in der Abwägung vorgehen (vgl. § 8 Abs. 2 u. 3 BNATSCHG).

Wird ein Eingriff, der nicht ausgeglichen werden kann, zugelassen, so hat der Eingriffsverursacher Ersatzmaßnahmen zu leisten.

Bei der Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung können die positiven Umwelteffekte, die mit der Nutzung der Windenergie verbunden sind, nicht angerechnet werden. Eine vergleichende Gegenüberstellung der Verminderung von CO₂-Emissionen und der Minderung der Leistungsfähigkeit von Naturhaushalt und Landschaftsbild, durch die Errichtung und den Betrieb der Windenergieanlagen, ist aufgrund der Komplexität nicht möglich. Somit ist eine Anrechnung dieser Emissionsminderung nicht statthaft, zumal sich diese positiven Effekte nicht auf eine Stärkung der Leistungsfähigkeit betroffener Schutzgüter beziehen.

6.4.1 Vermeidungs- und Minderungsgebot

Grundsätzlich gilt auch bei einem Eingriff durch die Errichtung von Windenergieanlagen als erstes das Vermeidungs- und Minderungsgebot. Vermeidbar sind Beeinträchtigungen, wenn Vorhaben in veränderter Form keine oder geringere Beeinträchtigungen auslösen.

Im vorliegenden Eingriffsfall können die folgenden Vorschläge zur Vermeidung oder Verminderung von Beeinträchtigungen gemacht werden (u.a. nach BFN 2000, MIELKE 1996, AG „EINGRIFFSREGELUNG“ 1996).

- Die optischen und akustischen Effekte der Windenergieanlagen sind bei der Standortwahl ausreichend zu berücksichtigen, eventuell sind schalloptimierende Maßnahmen und Schattenabschaltungen in die Betriebsführung der Anlagen zu integrieren.
- Die Erschließungs- und Anfahrtswege sind möglichst kurz zu halten, und nur mit wassergebundene Decken zu versehen.
- Wenn möglich sind Nebenanlagen, insbesondere in Windparks, zu konzentrieren.
- Der energetische Verbund mit dem Leitungsnetz der Energieversorgungsunternehmen ist mittels Erdverkabelung herzustellen, um neue Freileitungen zu vermeiden.
- Auf Maßnahmen, die den Besucherverkehr fördern würden ist in störungsempfindlichen Bereichen zu verzichten.

Die Gestalt der einzelnen Windenergieanlagen und die räumliche Anordnung der Anlagen innerhalb eines Windparks ist landschaftsverträglich zu gestalten. Dies kann unter anderem durch Berücksichtigung der folgenden Punkte geschehen:

- Alle Einzelanlagen innerhalb einer Anlagengruppe (Windpark) sollen in Höhe und Bauart gleich sein.
- Die Farbgebung der Windenergieanlagen soll sich in das Landschaftsbild einfügen, z.B. durch nach oben heller werdende Farben im Fußbereich des Mastes. Ungebrochene, leuchtende Farben sind zu vermeiden. Reflexionsmöglichkeiten sind gering zu halten.
- Windenergieanlagen mit weniger als drei Rotorblättern sind wegen ihres unruhigen Laufbildes abzulehnen.
- Die Anordnung der Anlagen sollte sich den natürlichen Strukturen der Landschaft anpassen und ihnen nicht entgegenlaufen.

Die Wahrscheinlichkeit der erheblichen und nachhaltigen Beeinträchtigung der Avifauna durch die Errichtung von Windenergieanlagen kann durch folgende Maßnahmen gemindert werden:

- Es sollten keine abgespannten Masten verwendet werden, da Gefahr von Tierverlusten durch Drahtanflug besteht.
- Anlagengruppen sollten möglichst nicht in Reihe, sondern flächenhaft angeordnet werden, um eine Barrierewirkungen für den Vogelzug zu vermeiden.

6.4.2 Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen

Unvermeidbare Beeinträchtigungen sind auszugleichen. Beeinträchtigungen sind dann ausgleichbar, wenn nach der Beendigung des Vorhabens keine nachhaltigen und erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes zurückbleiben. Die Beeinträchtigung der betroffenen Werte und Funktionen im Raum muss durch die Ausgleichsmaßnahmen soweit wiederhergestellt werden, dass die Beeinträchtigung auf ein unerhebliches Maß gesenkt werden oder nicht mehr nachhaltig wirkt (vgl. AG „EINGRIFFSREGELUNG“ 1996).

Beeinträchtigungen in den in Kapitel 6.1 genannten Ausschlussgebieten sind in der Regel nicht ausgleichbar, daher ist dort der Eingriff zu unterlassen.

Werden Eingriffe trotz nicht ausgleichbarer erheblicher oder nachhaltiger Beeinträchtigungen für zulässig erklärt, sind die betroffenen Funktionen und Werte im vom Eingriff betroffenen Raum in möglichst ähnlicher Art und Weise durch Ersatzmaßnahmen wiederherzustellen (AG „EINGRIFFSREGELUNG“ 1996, 385).

In der Praxis wird oftmals nicht so exakt zwischen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen unterschieden. Während Ausgleichsmaßnahmen einen zeitlichen, räumlichen und funktionalen Bezug zum Eingriff haben müssen, ist dieser Umstand bei Ersatzmaßnahmen etwas gelockert. Oftmals werden beide Begriffe zu sogenannten Kompensationsmaßnahmen zusammengefasst (vgl. KÖPPEL et. al. 1998).

Einige Möglichkeiten für solche Kompensationsmaßnahmen sind z.B.:

- die Wiederherstellung von Brut-, Nahrungs- und Rastarealen für die Avifauna auf Ausweichflächen, etwa durch Rückbau des landwirtschaftlichen Entwässerungsnetzes oder der Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung (vgl. AG „EINGRIFFS-REGELUNG 1996, 385),
- die Wiederherstellung von naturraumtypischen Ausschnitten des Landschaftsbildes, etwa durch Abbau von störenden baulichen Anlagen wie Energiefreileitungen oder nicht mehr benötigter Schlote oder Sendemasten,
- die Pflanzung von Bäumen und Hecken an Wegen und Ortsrändern, die sichtverschattend wirken können.

Bei der Wahl der Kompensationsmaßnahmen ist zu berücksichtigen, dass die Schaffung von neuen und verbesserten Lebensräumen für beeinträchtigte Arten nicht in den Bereichen geschieht, in denen die Beeinträchtigungen durch die Umweltwirkungen der Windenergieanlagen noch auf diese Arten wirken. Besser ist es, wenn die Eignung und Leistungsfähigkeit benachbarter Landschaftsräume, etwa als Ausgleichsmaßnahme, verbessert wird.

In der Bauleitplanung wird die Eingriffsregelung im Rahmen der Landschaftspläne und Grünordnungspläne berücksichtigt. Hier kann bereits der Flächenbedarf für Kompensationsmaßnahmen gesichert und ausgewiesen werden. Die Art der Maßnahmen und der Umfang werden ebenfalls bereits festgesetzt. Wenn solche Pläne nicht vorhanden sind, können mit Hilfe von Landschaftspflegerischen Begleitplänen die Kompensationsmaßnahmen ermittelt und die konkrete Umsetzung dargestellt werden (siehe auch Kapitel 5).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Nutzung der Energie des Windes hat eine sehr alte Tradition. Auf der Suche nach erneuerbaren Energien wurde sie zur Gewinnung von elektrischem Strom in den letzten 20 Jahren wiederentdeckt. Die Entwicklung von kleinen Anlagen mit 20 kW Nennleistung Ende der 70er Jahre bis zu den heutigen Prototypen mit bis zu 4,5 MW Nennleistung nahm einen rasanten Lauf. Dabei haben sich die Horizontalachsenanlagen mit drei Rotorblättern durchgesetzt. Moderne Windenergieanlagen produzieren während ihrer Laufzeit 40 bis 70 mal soviel Energie, als für ihre Herstellung und den Betrieb benötigt wird.

Die Nutzung der Windenergie ist, im Rahmen des Zieles der Verminderung von CO₂-Emissionen und als Teil des Wechsels von fossilen Energieträgern auf regenerative Energien eindeutig, positiv zu beurteilen.

In Deutschland werden, nach dem Ausbau der Windenergienutzung in den Küstenregionen nun die nutzbaren Binnenlandstandorte erschlossen. Diese Entwicklung hält noch an, sodass für die nächsten Jahre mit einem weiteren starken Wachstum, der in Deutschland installierten, Windenergieleistung zu rechnen ist.

Windenergieanlagen stellen als bauliche Anlagen Eingriffe in Natur und Landschaft dar. Dadurch kann es durch verschiedenste Wirkfaktoren zu Beeinträchtigungen der Umwelt-Schutzgüter kommen.

Für die Schutzgüter nach dem UVP-Gesetz wurden mit Hilfe von Wirkungsanalysen die einzelnen Verursacher, die Wirkfaktoren und ihre Umweltwirkungen aufgezeigt. Dabei wird in bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren unterschieden.

Während durch die baubedingten Wirkfaktoren, aufgrund der kurzen zeitlichen Dimension, nur geringe Beeinträchtigungen zu erwarten sind, können die anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren erhebliche und nachhaltige Beeinträchtigungen verursachen.

Im folgenden sollen die wichtigsten, dieser möglichen Beeinträchtigungen noch einmal zusammengefasst werden.

Unter Berücksichtigung der räumlichen Intensität ist die visuelle Störung des Landschaftsbildes durch die Windenergieanlage als technogenes Element die größte Umweltwirkung. Verstärkt wird dies noch durch die Drehbewegung des Rotors. Dadurch kann auch die Erholungsnutzung einer Landschaft beeinträchtigt sein.

Die Beeinträchtigung der Vogelwelt durch anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren wurde bisher durch viele Studien untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass Gefährdung durch Vogelschlag von untergeordneter Bedeutung ist. Zugvögel erkennen die Windenergieanlagen als Hindernisse und können ihnen ausweichen. Ein Meidungsverhalten

ten von Brutvögeln in der Umgebung von Windenergieanlagen konnte bisher noch nicht zweifelsfrei bewiesen, aber auch nicht widerlegt werden. Lediglich für den Kiebitz kann sicher von einem Meidungsverhalten ausgegangen werden.

Für Rastvögel sind die Erkenntnisse über ein Meidungsverhalten sicherer. Für einige Arten kann von einem Meidungsverhalten bis zu 500 m Radius um die Anlage herum ausgegangen werden. Über die Ursachen dieses Meidungsverhaltens gibt es bisher nur Vermutungen, genaue Ursache-Wirkungsbeziehungen konnten deshalb nicht aufgezeigt werden.

Bei der Errichtung von Windenergieanlagen in dichtbesiedelten Räumen, wie Deutschland, ist mit Konflikten hinsichtlich der benachbarten Siedlungsräume zu rechnen. An Umweltwirkungen auf den Menschen können, neben der Beeinträchtigung der Erholungsnutzung der Landschaft, die Schallemissionen und Beeinträchtigungen durch periodischen Schattenwurf genannt werden.

Für vier beispielhafte Schutzgüter wurde mit Hilfe der Methode der Ökologischen Risikoanalyse versucht, Bewertungsverfahren zu entwickeln. Anhand dieser Bewertungsverfahren, mit denen für das jeweilige Schutzgut das Beeinträchtigungsrisiko an einem Standort ermittelbar ist, sollte es möglich sein, verschiedene Standorte zu bewerten und zu klassifizieren. Dabei können sowohl Standorte für Einzelanlagen, wie auch für Windparks berücksichtigt werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten für solche Bewertungsverfahren sind sehr breit. Neben der Eingriffsregelung und den Umweltverträglichkeitsprüfungen, können sie auch in der Standortplanung verwendet werden. Allerdings ist die Anwendbarkeit noch nicht bei allen Verfahren gegeben.

Die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes lässt sich mit dem entwickelten Bewertungsverfahren vergleichend untersuchen. Die Erhebung der einzelnen Kriterien zur Ermittlung der Beeinträchtigungsempfindlichkeiten der einzelnen Raumeinheiten ist aber im vorgeschlagenen Verfahren sehr aufwendig. Hier sollte versucht werden, eine Vereinfachung solcher Verfahren herbeizuführen um die Anwendbarkeit in der Planungspraxis zu ermöglichen.

Die Bewertung des Beeinträchtigungsrisikos des Menschen lässt sich sehr gut umsetzen. Die vorhandenen Berechnungsmethoden für die Immission von Schall und die Belästigung durch den periodischen Schattenwurf lassen eine reelle Einschätzung von Standor-

ten zu. Dabei muss aber darauf verwiesen werden, dass eine Empfehlung, hinsichtlich pauschaler Abstandsregeln nicht sinnvoll ist. Aufgrund der schnellen Veränderungen bei der Entwicklung neuer Anlagentypen sind solche Abstandsregeln oft überholt.

Inwieweit eine separate Bewertung des Beeinträchtigungsrisikos für die Erholungsnutzung einer Landschaft sinnvoll und notwendig ist, kann hier abschließend nicht gesagt werden. Aufgrund der engen Bindung an das Beeinträchtigungsrisiko für das Landschaftsbild, bleibt eine eigenständige Ermittlung schwierig.

Die Eignung von Standorten aus der Sicht des Umweltschutzes lässt sich für die Avifauna noch nicht konkret ermitteln, da die Wirkungsursachen für das Meidungsverhalten noch unbekannt sind. Auch ist für viele Vogelarten das Verhalten bezüglich von Windenergieanlagen noch gar nicht bekannt. Hier besteht auch unter besonderer Berücksichtigung der neueren, großen Anlagen und den speziellen Gegebenheiten des Binnenlandes viel Forschungsbedarf. Mit Hilfe der bekannten spezifischen Empfindlichkeiten einiger Vogelarten und ausreichenden Vorsorgeabständen können aber auch hier Standorte gefunden werden, bei denen das Beeinträchtigungsrisiko gering ist.

Anhand von Beispielen wurden die Umweltwirkungen und Beeinträchtigungen der Schutzgüter an verschiedenen Binnenlandstandorten aufgezeigt. Dabei war zu erkennen, dass die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes die erheblichste Auswirkung darstellt. Für die Anwendung der Eingriffsregelung im Rahmen der Genehmigungsverfahren sind einheitliche Bewertungsverfahren von Vorteil. Bisher ist dieser Bereich noch von einer großen Methodenvielfalt gekennzeichnet.

Zum Abschluss der Arbeit wurden Empfehlungen für die Planungs- und Genehmigungspraxis aufgezeigt. Mit Hilfe dieser Empfehlungen soll gezeigt werden, wie ein weiterer Ausbau der Windenergienutzung an neuen Standorten in Deutschland, unter Berücksichtigung des Umweltschutzes, vonstatten gehen kann. Dabei muss ein weiterer Ausbau, der ökologisch und sozial verträglich sein soll, mit sorgfältiger Standortplanung einhergehen, da Windenergieanlagen nicht überall umweltverträglich sind.

Durch die Novellierung des Gesetzes zur Umweltverträglichkeitsprüfung am 27. Juli dieses Jahres, wurde von der gesetzgeberischen Seite ein wichtiger Schritt dazu getan. Windenergieanlagenstandorte mit mehr als zwei Anlagen sind seitdem UVP-pflichtig. Damit kann die Berücksichtigung von Umweltaspekten bei der Standortwahl zukünftig noch besser gewährleistet werden.

8 Literaturverzeichnis

Gesetze, Richtlinien, Normen, Handbücher

BAUGB: Baugesetzbuch in der Fassung vom 27. August 1997 (BGBl. I S. 2141), ber. BGBl. 1998 I S. 137.

BIMSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umweltwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S: 880, 1193), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 19. Oktober 1998 (BGBl. I S. 3178).

BNatSchG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. März 1987 (BGBl. I S. 889), zuletzt geändert durch Gesetz vom 30.4.1998 (BGBl. I S. 823).

EEG: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) in der Fassung vom 1. April 2000.

UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12. Februar 1990 (BGBl. I S. 205), zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.8.1997 (BGBl. I S. 2081).

FGW-RICHTLINIE: Technische Richtlinien zur Bestimmung der Leistungskurve, des Schallleistungspegels und der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen. Stand 1.1.2000. Hrsg.: Fördergesellschaft für Windenergie e.V., Kiel.

TA LÄRM: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998, GMBI 1998, S. 503.

WINDPRO UMLTBERECHNUNGEN: Manual. Kassel: EMD Deutschland, 1998.

Literatur

ARBEITSGRUPPE „EINGRIFFSREGELUNG“: Empfehlungen zur Berücksichtigung der Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege beim Ausbau der Windkraftnutzung. In: NATUR UND LANDSCHAFT 71 (1996) Nr. 9, S. 381-385.

ARBEITSKREIS „GERÄUSCHE VON WINDENERGIEANLAGEN“: Schallimmissionsschutz im Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen – Empfehlungen des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen“. Oktober 1999.

BECHMANN, A.: Bewertungsverfahren – der handlungsbezogene Kern von Umweltverträglichkeitsprüfungen. In: Bewertung der Umweltverträglichkeit. Bewertungsmaßstäbe und Bewertungsverfahren für die Umweltverträglichkeitsprüfung/ HÜBLER, K.-H.; OTTO-ZIMMERMANN, K. (Hrsg.). Taunusstein: Blottner, 1993, S. 84-103.

BETZ, A.: Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1926. Reprint: Kassel: Öko-Buchverlag, 1982.

- BÖTTGER, M., T. CLEMENS, G. GROTE, G. HARTMANN, E. HARTWIG, C. LAMMEN & E. VAUK-HENTZELT: Biologisch-ökologische Begleituntersuchungen zum Bau und Betrieb von Windkraftanlagen. NNA-BERICHT 3 (1990), S. 1-124.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ – PROJEKTGRUPPE „WINDENERGIENUTZUNG“ (Hrsg.): Empfehlungen des Bundesamtes für Naturschutz zu naturschutzverträglichen Windkraftanlagen. Bonn: Landwirtschaftsverlag, 2000.
- BREUER, W.; SÜDBECK, P.: Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Vögel - Mindestabstände von Windkraftanlagen zum Schutz bedeutender Vogellebensräume. In: BREMER BEITRÄGE FÜR NATURKUNDE UND NATURSCHUTZ, Band 4 (1999), S. 171-176.
- BUNDESVERBAND WINDENERGIE SERVICE GMBH (Hrsg.): Windenergie 2001- Marktübersicht. Osnabrück, 2001.
- BUNK, O. / KUHLMANN, M.: Umsetzung der Forschungsaktivitäten sowie der neuen schaltechnischen Richtlinien aus der Sicht eines Windenergieanlagen-Herstellers. In: ZEITSCHRIFT FÜR LÄRMBEKÄMPFUNG 46 (1999) Nr. 4, S. 132-135.
- COERS, H.-G.: Vorlesung Umweltverträglichkeitsprüfung. TU Dresden, 1999.
- COERS, H.-G.; KINZE, M.: Grundlagen des Umweltschutzes im Bauwesen. Skript der Vorlesung. TU Dresden, 1999.
- CLAUSSAGER, I.; NØHR, H.: Vindmøllers indvirkning på fugle, Faglig rapport fra DMU, nr. 147, Kobenhagen 1995.
- DEMUTH, B.: Das Schutzgut Landschaftsbild in der Landschaftsplanung: Methodenprüfung anhand ausgewählter Beispiele der Landschaftsrahmenplanung. Berlin: Mensch-und-Buch-Verlag, 2000.
- GASCH, ROBERT (Hrsg.): Windkraftanlagen: Grundlagen und Entwurf. Stuttgart: B.G. Teubner, 1996.
- GASSNER, E. / WINKELBRANDT, A.: UVP – Umweltverträglichkeitsprüfung in der Praxis. München, Berlin: Jehle Rehm, 1997.
- GRAUTHOFF, M.: Windenergie in Nordwestdeutschland: Nutzungsmöglichkeiten und landschaftsökologische Einpassung von Windkraftanlagen. Frankfurt am Main, Bern, New York, Paris: Lang, 1991. Zugl.: Essen, Univ., Diss., 1990.
- HABER, W.; LANG, R.; JESSEL, B.; SPANDAU, L.; KÖPPEL, J.; SCHALLER, J.: Entwicklung von Methoden zur Beurteilung von Eingriffen nach § 8 Bundesnaturschutzgesetz. Baden-Baden: Nomos Verl.-Ges., 1993.
- HAU, E.: Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996.
- HEIER, S.: Nutzung der Windenergie. Köln: Verl. TÜV Rheinland, 1995.
- HEYMANN, M.: Zur Geschichte der Windenergienutzung. In: Jahrbuch Ökologie 1998. München: C.H. Beck, 1997.

- HINZEN, A.; MAYR, C.: Naturschutzprobleme durch Windkraftanlagen. In: LÖBF-MITTEILUNGEN 20 (1995) Nr. 1, S. 55-57.
- IBL – BERATENDE BIOLOGEN UND INGENIEURE: Landschaftsökologische Gutachten für das geplante Windfeld Außenhalde Bärenbrück (Lkr. Cottbus). Oldenburg: unveröffentlicht, 1993.
- JOHNSEN, B.: Die höchste Serienanlage der Welt. In: ERNEUERBARE ENERGIEN 2000 Nr. 12, S. 16.
- JUSTKA, K.; BRUNS, E.: Naturschutzfachliche Beurteilung der Windenergienutzung im Land Brandenburg. In: NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE IN BRANDENBURG (1995) Nr. 2, S. 4-12.
- JUSTKA, K.: Beurteilung von Windkraftanlagen auf Landesebene. In: NNA-BERICHT 9 (1996) Heft 3, S. 9-13.
- KAATZ, J.: Einfluß von Windenergieanlagen auf das Verhalten der Vögel im Binnenland. In: Vogelschutz und Windenergie. / Ihde, S.; Vauk-Hentzelt, E. (Hrsg.). Osnabrück: BWE e.V. 1999.
- KALTSCHMITT, M.; WIESE, A.: Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1995.
- KEHRBAUM, R.: Perspektiven eines Recycling von Windkraftanlagen. In: DEWI MAGAZIN Nr.7 August 1995, S. 35-38.
- KLÖPPPEL, D.; KRAUSE, C.L.: Windparks in der Erholungslandschaft: Standortprobleme unter dem Aspekt von Landschaftsbild und Erholungsqualität. Sankt Augustin: Academia-Verlag, 1996.
- KOOP, B.: Vogelzug und Windenergieplanung. In: NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPLANUNG 29 (1997) Nr. 7, S. 202-207.
- KÖPPEL, J.; FEICKERT, U.; SPANAU, L.; STRAßER, H.: Praxis der Eingriffsregelung. Schadensersatz an Natur und Landschaft? Stuttgart: Ullmer, 1998.
- KLUG, H.: Infraschall bei Windkraftanlagen. In: NEUE ENERGIE 1996 Nr. 1, S. 22.
- KRIESE, U.: Akzeptanz und Umweltverträglichkeit von Windenergieparks: Eine Herausforderung an die Planungspraxis. Hannover, Universität, Diplomarbeit, 1993.
- KRUCKENBERG, H.; JAENE, J.: Zum Einfluss eines Windparks auf die Verteilung weidender Bläßgänse im Rheiderland (Landkreis Leer, Niedersachsen). In: NATUR UND LANDSCHAFT 74 (1999) Heft 10, S. 420-427.
- LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (Hrsg.): Geräuschemissionen und Geräuschimmissionen im Umfeld von Windkraftanlagen. Potsdam, 1997.
- LÖSER, G.: Windenergie: Umweltschutz contra Naturschutz? In: Windiger Protest. Konflikte um das Zukunftspotential der Windkraft/ Franz Alt, Jürgen Claus Herrmann Scheer (Hrsg.). Bochum: Ponte Press, 1998.

- MENZEL, C.: Mehr Hasen gezählt – Wildtiere lassen sich durch Windturbinen nicht stören. In: NEUE ENERGIE 2001 NR. 4, S. 24-25.
- MIELKE, B.: Räumliche Steuerung bei der Planung von Windenergie-Anlagen. In: NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPLANUNG 28 (1996) Nr. 4, S. 101-107.
- MOLLY, J.-P.: Windenergie: Theorie – Anwendung – Messung. Karlsruhe: Verlag C. F. Müller, 1990.
- NOHL, W.: Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW. Vervielfältigter Bericht, Kirchheim, 1993.
- OSTEN, T.; PAHLKE, T.: Schattenwurf von Windenergieanlagen: Wird die Geräuschabstrahlung der MW-Anlagen in den Schatten gestellt? In: DEWI MAGAZIN Nr. 13, August 1998, S. 6-11.
- OTT, H.: Beurteilung des Landschaftsbildes bei punktförmigen Anlagen (z.B. Windkraftanlagen und Sendemasten). In: Der Wind, das himmlische Kind./ Bund Naturschutz Bildungswerk (Hrsg.). Wiesenfelden, 1995.
- PICK, E.; WAGNER, H.-J.; BUNK, O.: Kumulierter Energieaufwand von Windkraftanlagen. In: BWK – BRENNSTOFF-WÄRME-KRAFT 50 (1998) Nr. 11/12, S. 52-55.
- PIEGSA, G.; WERNIG, R.: Veränderung von Landschaftsbildern durch Windenergieanlagen. Versuch einer Fotodokumentation. In: NATUR UND LANDSCHAFT 75 (2000) Nr. 2, S. 54-58.
- PIORR, D.: Gesetzliche Grundlagen und Beurteilungskriterien der Geräuschimmissionen von Windenergieanlagen. In: ZEITSCHRIFT FÜR LÄRMBEKÄMPFUNG 46 (1999) Nr. 4, S. 117-122.
- PIORR, D.: Immissionsschutzrechtliche Aspekte der Genehmigung von Windenergieanlagen. In: Fachtagung Windtech 2000: Windenergie – Technische und wirtschaftliche Perspektiven, Grevenbroich, 15. 11. 2000.
- POHL, J.; FAUL, F.; MAUSFELD, R. (1999): Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Güstrow: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 1999.
- POHL, J.; FAUL, F.; MAUSFELD, R. (2000A): Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen: Laborpilotstudie. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2000. (Text zum downloaden: www.umwelt.schleswig-holstein.de/servlet/is/3948).
- POHL, J.; FAUL, F.; MAUSFELD, R. (2000B): Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. In: 5. Deutsche Windenergiekonferenz: The technical conference, 7.-8. 6. 2000, Wilhelmshaven, S.217-220.
- REHFELDT, K.; STAND, CH.: Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland - Stand 31.12.2000. In: DEWI MAGAZIN (2001) Nr. 18, S. 53-63.

- REHFELDT, K.; GERDES, G. J.; SCHREIBER, M.: Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz – Teil 1 – Studie des BMU im Rahmen des F & E Vorhabens 999 46 101. Berlin: BMU, 2001. (Text zum downloaden: www.bmu.de/fset1024.htm).
- REICHENBACH, M.: Der Streit um die Vogelscheuchen – ein Kampf gegen Windmühlen? Ein Diskussionsbeitrag zur Eingriffsbewertung im Konfliktfeld Windenergie und Vogelschutz. In: BREMER BEITRÄGE FÜR NATURKUNDE UND NATURSCHUTZ 4 (1999), S. 15-23.
- SCHÄLLIG, A. (1999A): Lärmprognosen und Abnahmemessungen an Windenergieanlagen. In: Workshop Immissionsschutz. 24./25. Februar 1999. Rheine: Kötter Consulting Engineers. 1999, S. 119-1129.
- SCHÄLLIG, A. (1999B): Emissionsmessungen bei Windenergieanlagen. In: ZEITSCHRIFT FÜR LÄRMBEKÄMPFUNG 46 (1999) Nr. 4, S. 127-131.
- SCHICK, A.: Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich, Berlin, Riga, Scottsdale, Wien, Zagreb: Pabst, 1997.
- SCHOLLES, F.: Abschätzen, Einschätzen und Bewerten in der UVP. Dortmund: Dortmunder Vertrieb für Bau und Planungsliteratur, 1997.
- SCHREIBER, M.: Zur Notwendigkeit einer großräumigen Steuerung der Windkraft im Nordseeküstenbereich. In: Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 4 (1999), S. 177-180.
- SCHWAHN, C.: Zur landschaftspflegerischen Begleitplanung für Windenergieprojekte im Mittelgebirgsraum. In: NATUR UND LANDSCHAFT 75 (2000) Nr. 2. S. 59-63.
- SEHT, H. VON: Windkraftnutzung: Neue Dimensionen als Herausforderung für die Raum- und Umweltplanung. In: RAUMPLANUNG 76 (1997), S. 61-67.
- SPRÖTGE, M.: Entwicklung der Windenergienutzung und Anforderungen an planungsorientierte ornithologische Fachbeiträge. Ein Beitrag aus der Planungspraxis. In: BREMER BEITRÄGE FÜR NATURKUNDE UND NATURSCHUTZ 4 (1999), S. 7-14.
- STAATLICHES UMWELTAMT SCHLESWIG: Ergebnisprotokoll der 2. Besprechung über Windkraftanlagen am 04.09.1998. Unveröffentlicht, 1998.
- STRATENSCHULTE, J.; SPANNAN, J.: Grundlagen der Lärmimmissionsmessungen. Seminarunterlagen. Oelde-Stromberg. Unveröffentlicht, 2001.
- WALTER, G.; BRUX, H.: Erste Ergebnisse eines dreijährigen Brut- und Gastvogelmonitorings (1994-1997) im Einzugsbereich von zwei Windparks im Landkreis Cuxhaven. In: BREMER BEITRÄGE FÜR NATURKUNDE UND NATURSCHUTZ 4 (1999), S. 81-106.
- WANNER, H.U.: Lärm und Gesundheit. In: Ökologie im Bau- und Planungswesen./ W. Engelhardt (Hrsg.). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1983.
- WEISE, R.; RASCHDORF, M.: Landschaftspflegerischer Begleitplan zum Bauvorhaben Neubau Windefeld Wangenheim in den Gemarkungen Wangenheim / Hochheim. Mühlhausen: unveröffentlicht, 1998.

WENZEL, F.; KEMPEL, T.: Gründordnungsplan zum Vorhaben- und Erschließungsplan Windfeld Uckermark im Bereich der Gemeinden Schönfeld und Ludwigsdorf. Unveröffentlicht. Berlin, Prenzlau: unveröffentlicht, 1996.

WENZEL, F.; SCHÄFER, E.; SCHARON, J.; RÜSCH, R.: Windfeld Uckermark, Umweltverträglichkeitsstudie. Berlin: unveröffentlicht, 1995.

WIEGLEB, G.; VORWALD, J.: Faunistisch-ökologische Bestandsaufnahme und verhaltensbiologische Untersuchungen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung zum Vorhaben Errichtung einer 2. Windkraftanlage auf der Außenhalde Bärenbrück (Landkreis Spree-Neiße). Cottbus: unveröffentlicht, 1996.

Internet-Seiten

AN WINDENERGIE: Homepage © 2001, <http://www.anwind.de/indexd.htm> am 15.05.2001.

DWTMA: Homepage © 2001, <http://www.windpower.org/de/tour/wtrb/blades.htm> am 21.05.2001.

TIHO HANNOVER: Homepage IWFO © 2001, <http://www.tiho-hannover.de/einrichtung/wildtier/windkraft.htm> am 8.6.2001.

SCHOLLES, FRANK: Gesellschaftswissenschaftliche Grundlagen – Planungsmethoden, ©1999, <http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm2.htm> am 17.7.2001.

UMWELTBEHÖRDE HAMBURG: Digitaler Umweltatlas Hamburg ©1999, <http://www.hamburg.de/Behoerden/Umweltbehoerde/duawww/dea8/home.htm> am 27.7.2001.

SACHSLEHNER, L.; KOLLAR, H. P.: Vogelschutz und Windkraftanlagen in Wien. Studie im Auftrag der Stadt Wien. © 1997, <http://people.freenet.de/natur2000/windkraft-voegel.pdf> am 26.6.2001.