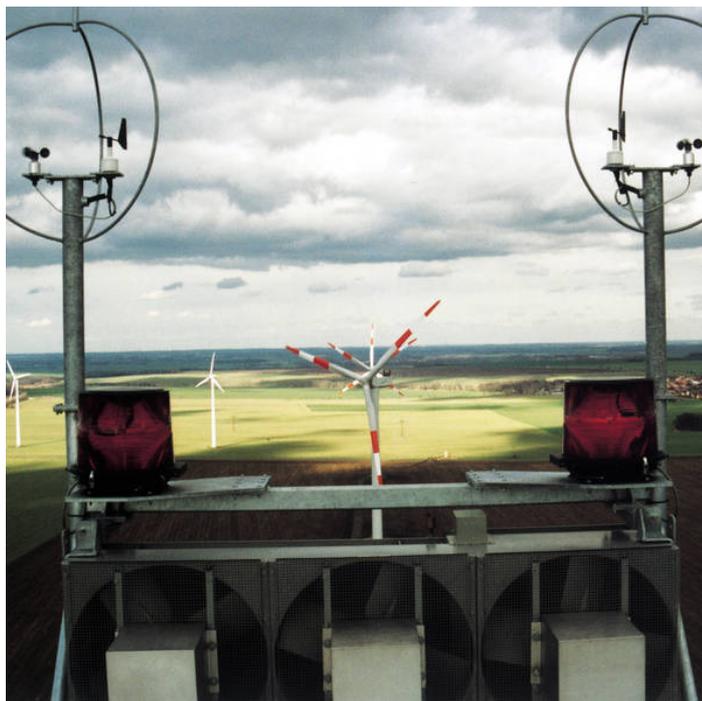


# HiWUS

Entwicklung eines **H**indernisbefeuerungskonzeptes zur Minimierung der Lichtemission an On- und Offshore-**W**indenergieparks und -anlagen unter besonderer Berücksichtigung der Vereinbarkeit der Aspekte **U**mweltverträglichkeit sowie **S**icherheit des Luft- und Seeverkehrs



Abschlussbericht zum HiWUS-Projekt

September 2008

Im Auftrag des Bundesverbandes WindEnergie e.V., [www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de)  
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt,  
Aktenzeichen: 24127, [www.dbu.de/550artikel27549\\_147.html](http://www.dbu.de/550artikel27549_147.html)

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>24127</b>	Referat	<b>24</b>	Fördersumme	<b>124.918,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>	Entwicklung eines Hindernisbefeuereungskonzeptes zur Minimierung der Lichtemission an On- und Offshore-Windenergieparks und -anlagen – Studie (HiWUS)				
<b>Stichworte</b>	Energie, Wind, regenerativ				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>12 Monate</b>	<b>01.02.2007</b>	<b>01.05.2008</b>	<b>4</b>		
Zwischenberichte					
<b>Bewilligungsempfänger</b>	<b>BWE Bundesverband WindEnergie e. V.</b> Bundesgeschäftsstelle Herrenteichsstraße 1  49074 Osnabrück			Tel 05 41 / 3 50 60 – 41 Fax 05 41 / 3 50 60 – 30 Projektleitung Carlo Reeker	
<b>Kooperationspartner</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie DFS Deutsche Flugsicherung GmbH FVT - Fachstelle für Verkehrstechniken Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest				

### ***Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens***

Windenergieanlagen (WEA) können unter bestimmten Bedingungen Verkehrshindernisse für den Luftverkehr und für den Seeverkehr darstellen. Als solche müssen sie zur Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffs- und Luftverkehrs gekennzeichnet werden. Das Vorhaben HiWUS hat zum Ziel, die maximalen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung der Kennzeichnung darzustellen. Zusätzlich sollen auf der Grundlage unabänderlicher Regelungen Entwürfe für Befeuereungsdesigns für die unterschiedlichen Bereiche entwickelt werden. Das Vorhaben soll dazu beitragen, durch eine maximale Reduzierung der als störend empfundenen Befeuereung die Akzeptanz dieser Technologie zu erhöhen.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

In der ersten Phase wurde der Status Quo der aktuellen nationalen und internationalen Regelungen für die Bereiche Onshore-, Nearshore- und Offshore-Windenergieanlagen für den Luftverkehr und für den Seeverkehr erfasst. Bei dieser Erfassung geht es um die Befeuereung an sich und um die Anordnung der Feuer. Die zweite Phase hat die Feststellung des sich aus der Phase 1 ergebenden Handlungsbedarfs sowie die Feststellung der unabänderlichen Vorgaben zum Ziel.

In der dritten Phase wurden zusätzliche technische Möglichkeiten zur Optimierung der Befeuereung unter Berücksichtigung der Belange der Luft- und Schifffahrt untersucht. Hierbei wurden folgende Verfahren berücksichtigt:

- die Schaltung der Befeuereung über Erfassung der Umgebungshelligkeit und Sichtweite
- die Schaltung der Befeuereung über die Wahrnehmung von Luft- und Seefahrzeugen.

In den Phasen 3.4 und 3.5 erfuhr die Radartechnologie als Wahrnehmungssystem von Luftfahrzeugen noch eine besondere Konzentration. In der vierten Phase fanden die Anliegen des Naturschutzes, insbe-

sondere des Schutzes der Zugvögel und Fledermäuse ihren Einfluss. Diese Phase fand auf Grund ihrer Relevanz projektbegleitend über die gesamte Vorhabensdauer statt.

---

### **Ergebnisse und Diskussion**

Durch die Studie wurde verdeutlicht, dass sehr unterschiedliche und zum Teil sehr komplexe Empfehlungen und Regelungen für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen in den einzelnen Ländern vorliegen. Die mit Abstand umfangreichsten Regelungen für die Markierung und Befeuerung von WEA an Land existieren zurzeit in der Bundesrepublik Deutschland (siehe Kapitel 1.2).

Auch für die Kennzeichnung von Offshore-WEA zeigt sich kein einheitliches Bild, obwohl hier im Gegensatz zu Onshore-WEA bereits eine internationale Empfehlung vorliegt (siehe Kapitel 1.6).

Im Rahmen der Diskussionen über die Zwischenergebnisse der Studie wurde bestätigt, dass eine Beeinträchtigung der Anwohner durch die Tages- und Nachtkennzeichnung an WEA existiert. Da jedoch nicht eindeutig feststellbar war, welche Art der Kennzeichnung in welchem Maße als störend empfunden wird, wurde eine weitere Untersuchung dieses Bereichs als sinnvoll angesehen. Im Rahmen der HiWUS-Studie wurde daher eine Literaturstudie und eine Projektskizze für eine empirische Untersuchung erstellt (siehe Kapitel 2.2).

Durch die Feldversuche zur Schaltung der Befeuerung über Radarsysteme wurde festgestellt, dass eine Erfassung aller Luftfahrzeuge möglich ist (siehe Kapitel 3.4 und 3.5). In mehreren Tests an und um Windparks wurde die Schaltung über den Empfang von Transpondersignalen und die Erfassung über Primärradar erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass weitere Forschungen in diesem Bereich sinnvoll sind.

Die im Rahmen der HiWUS-Studie durchgeführte Literaturstudie zum Einfluss der Befeuerung auf Vögel und Fledermäuse hat bestätigt, dass eine negative Einwirkung besteht. Auch wenn davon auszugehen ist, dass der Einsatz von blinkenden Feuern mit einer geringen Lichtintensität nicht so störend wirkt, erscheint eine weitere Untersuchung sinnvoll. Auch hier wurde wie in Phase 3 eine Projektskizze für eine empirische Untersuchung erstellt (siehe Kapitel 4.)

---

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Über die Studie wurde in dem Verbandmagazin des Bundesverband WindEnergie e.V. (Neue Energie 08/2007), im Fachmagazin „Erneuerbare Energien (09/2008) und im Unternehmensmagazin des Herstellers Enercon (Windblatt 02/2008) berichtet. Auf großes Interesse ist auch die Vorstellung der HiWUS-Studie bei einem deutsch/französischen Erfahrungsaustausch im November 2007 in Paris gestoßen (siehe [www.wind-eole.com/de/node/508](http://www.wind-eole.com/de/node/508) ).

Die Ergebnisse der Studie wurden im Rahmen einer Abschlussveranstaltung am 20. Mai 2008 im Zentrum für Umweltkommunikation (ZUK) der Deutschen Bundesstiftung Umwelt öffentlich vorgestellt. Im Rahmen der Präsentation wurden die unterschiedlichen Befeuerungssysteme anhand eines Videos dargestellt. Am Vorabend der Veranstaltung im ZUK wurde einem Kreis von Vertretern aus Ministerien und Genehmigungsbehörden die Möglichkeit gegeben, sich unterschiedliche Befeuerungssysteme an einem Windpark im Emsland anzuschauen. Der Abschlussbericht wurde am 9. September 2009 auf der HumWind vorgestellt.

---

### **Fazit**

Um die Akzeptanz für höhere WEA zu fördern, ist ein Interessenausgleich zwischen der Flugsicherung, der Seefahrt, des Naturschutzes und der Windbranche notwendig. Durch die Studie konnte gezeigt werden, dass es mit Einsatz neuer Techniken möglich scheint, die Wirkungen von Markierungen und Befeuerungen an WEA zu minimieren, ohne dass die Sicherheit des Flugverkehrs und der Seefahrt gefährdet wird. Notwendig sind dafür einheitliche Empfehlungs- und Regelungskataloge auf nationaler und internationaler Ebene. Für die Erstellung solcher Regelwerke ist eine intensive Kommunikation zwischen Wirtschafts-, Ministerien- und Behördenvertretern erforderlich. Die Windbranche ist dabei gefordert, weitere innovative Ideen zur Kennzeichnung zu entwickeln und diese in Fachkreisen vorzustellen. Um Komplikationen zu vermeiden, müssen dabei rechtzeitig die Ansprüche der Sicherheit des Flugverkehrs und der Seefahrt berücksichtigt werden. Bei der Entwicklung neuer Systeme sollte ausreichend Zeit für Pilotphasen eingeplant werden. Bereits in einer frühen Planungsphase sollten auch die Experten aus dem Naturschutzbereich einbezogen werden.

## **Teilnehmer**

### **Projektleitung:**

Carlo Reeker, Bundesverband WindEnergie e.V.

### **Bearbeitung der Phase 1:**

Klaus Helfenrath, Honeywell Airport Systems GmbH

Gerd Möller, Lanthan GmbH

Roland Hagendorff, Projekt GmbH

Dr. Oliver Frank, Engemann & Partner, Rechtsanwälte und Notare

### **Bearbeitung der Phase 2:**

Dr. Johannes Pohl und Dr. Gundula Hübner, Institut für Psychologie Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Carlo Reeker, Bundesverband WindEnergie e.V.

### **Bearbeitung der Phase 3:**

Gerd Möller, Lanthan GmbH und Stephan Harms, Enercon GmbH

Thomas Herrholz, Enertrag Systemtechnik GmbH

### **Bearbeitung der Phase 4:**

Katrin Hill, Institut für Vogelforschung

Dr. Hauke Ballasus, Institut für Vogelforschung

Dr. Ommo Hüppop, Institut für Vogelforschung

Dr. Helmut Wendeln, Institut für Angewandte Ökologie GmbH

### **Sachverständigen-Beirat:**

Udo Paschedag, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Susanne Hofmann, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung

Rainer Kleeßen, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Frank Hermann, Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken

Christian Dahlke, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie

Philipp Giertz, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest

### **Weitere Mitglieder der Arbeitsgruppe:**

Carolin Abromeit (BSH); Konrad Alles (WKW Obere Nahe); Peter Becker (Heliport Services GmbH); Andreas Düser (Enercon GmbH); Sebastian Friedrich (Repower Systems AG); Konrad Hölzl (BMU- Referat KI III 3 - Wasserkraft und Windenergie); Georg Klein (Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken); Susanne Kubisch (Reetec GmbH); Andreas Kunte (Staatliches Umweltamt Schleswig); Detlef Lindenau (Reetec GmbH); Andre Mefeldorn (argus GmbH) ; Freerk Nanninga (Prokon Nord Energiesysteme GmbH); Tobias Natt (Windwärts Energie GmbH); Melanie Persem (Deutsch/Französische Koordinierungsstelle Windenergie); Wilhelm Pieper (BWE RV Emsland); Dirk Prahll (Vestas Deutschland GmbH); Wilfried Röder (Honeywell Airport Systems GmbH); Bernd Rüßmeier (Vestas Deutschland GmbH); Sebastian Styrnol (Sandbank Power GmbH & Co. KG); Matthieu Scheffers (Orga BV); Armin Vogelsang (Werma Signaltechnik); Gregor Wehe (Honeywell Airport Systems GmbH).

## Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Inhaltsverzeichnis .....	5
Einleitung .....	6
1 Feststellung Status Quo – Vorgaben für die Kennzeichnung von Windenergieanlagen.....	7
1.1 Luftfahrt für Onshoreanlagen nach ICAO (international) .....	7
1.2 Luftfahrt für Onshoreanlagen nach nationalen Regelungen .....	11
1.3 Luftfahrt für Offshoreanlagen nach ICAO (international) .....	29
1.4 Luftfahrt für Offshoreanlagen nach nationalen Regelungen .....	29
1.5 Schifffahrtskennzeichnung für Offshore-Windenergieanlagen nach IALA (international).....	29
1.6 Schifffahrtskennzeichnung für Offshore-Windenergieanlagen nach nationalen Regelungen.....	32
1.7 Kennzeichnungspflicht für WEA im Einzelfall unter Berücksichtigung der verschiedenen Regelwerke.....	55
2 Befeuersdesign für WEA und Feststellung von Konflikten und Klärungsbedarfen .....	60
2.1 Anpassungsbedarf aus Sicht der Windbranche .....	60
2.2 Stresswirkung von Befeuerssystemen.....	63
3 Feststellung von Steuer- und Schaltmöglichkeiten .....	84
3.1 Einsatz des Dämmerungsschalters und der Sichtweitenmessung .....	84
3.2 Befeuersaktivierung durch Wahrnehmung von Luftfahrzeugen.....	84
3.3 Feldversuch Transponder.....	85
3.4 Feldversuch Primärradar .....	109
4 Anliegen Naturschutz, Zugvögel, Fledermäuse .....	126
4.1 Literaturrecherche.....	126
4.2 Untersuchungskonzept: Erarbeitung Maßnahmenkatalog.....	154
Anhang 1 ICAO (deutsche Übersetzung) .....	173
Anhang 2 FAA (deutsche Übersetzung).....	190
Anhang 3 IALA Recommendation O-117 (deutsche Übersetzung) .....	229
Anhang 4 AVV (Allgemeine Verwaltungsvorschrift für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen).....	239
Anhang 5 Französische Verwaltungsordnung (deutsche Übersetzung) .....	265
Anhang 6 Schwedische Rechtsverordnung (deutsche Übersetzung).....	277
Anhang 7 Englische Vorschrift (deutsche Übersetzung) .....	303
Anhang 8 Belgische Vorschrift (deutsche Übersetzung) .....	306
Anhang 9 Italienische Vorschrift (deutsche Übersetzung) .....	317
Anhang 10 Dänische Vorschrift (deutsche Übersetzung) .....	320
Anhang 11 FVT/WSV – Technische Information für Offshore-WEA .....	322
Anhang 12 ICAO Erweiterungsvorschlag (deutsche Übersetzung) .....	334
Anhang 13 Transponder Mode S- Informationen .....	335
Anhang 14 Darstellung eines Hinderniswarngerätes.....	336

## Einleitung

Die politische Forderung zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Windenergieanlagen (WEA) sieht eine optimalere Ausnutzung der Windressourcen vor. Dieses bedingt die Nutzung der Windgeschwindigkeiten in größeren Höhen. Deshalb ist eine stetige Erhöhung der Anlagen unausweichlich. Dies führt durch Auflagen zu einer stärkeren Kennzeichnung der Windenergieanlagen. Der Arbeitskreis "Kennzeichnung von Windenergieanlagen" des Bundesverbandes WindEnergie e.V. (BWE) hat sich zum Ziel gesetzt, zusammen mit Ministerien, der Flugsicherung und Fachleuten nach Lösungen für effiziente und akzeptable Markierungs- und Befuerungssysteme zu suchen.

Gemessen an dem Ertrag bewirken höhere Windenergieanlagen einen geringeren Einfluss auf das Landschaftsbild. Als Faustformel gilt, dass ein ein Meter höherer Turm einen Mehrertrag von einem Prozent erbringt. Bei einer Erhöhung des Turms von 80 auf 100 Meter könnten somit bei nahezu gleichem Einfluss auf das Landschaftsbild 20 Prozent mehr Ertrag und 20 Prozent höhere CO<sub>2</sub>-Einsparung erzielt werden.

Mit derzeit 20.000 installierten Windenergieanlagen und einer Gesamtleistung von über 22.000 Megawatt (MW) belegt Deutschland Platz eins der Weltrangliste. Bereits jetzt sind ein Drittel dieser Anlagen mit einer Tages- und/oder Nachtkennzeichnung versehen. Die Windenergiebranche hat den Stand erreicht, ernsthafte Umsetzungen von Repowering und Offshore-Windenergieanlagen anzugehen. Es ergibt sich somit ein sehr großes Potenzial für technische Neuerungen im Bereich der Befuerung und der entsprechenden Steuerung. Zudem wird es durch das Repowering, verbunden mit höheren Anlagen, verstärkt zu einem Bedarf für reduzierte und angepasste Befuerungstechniken an Land führen. Repowering bedeutet für Deutschland eine Verdreifachung der Energiebereitstellung auf 90 Milliarden Kilowattstunden Strom in 2020, ohne dass die Anlagenanzahl weiter steigt. Nach Schätzungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ergibt sich in Europa für die Offshore-Windenergie eine installierte Leistung von 70.000 MW im Jahr 2020. Nur durch eine hohe Akzeptanz werden die Kommunen und Landkreise dem Repowering ausreichend Möglichkeiten bieten können, damit auf diesem Weg Streuanlagen verschwinden, was wiederum zusätzlich zur Verbesserung der Akzeptanz führen würde.

Das vorliegende Vorhaben soll dazu beitragen, durch eine maximale Reduzierung der als störend empfundenen Befuerung, die Akzeptanz dieser Technologie zu erhöhen. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen des Projektes HiWUS wurden am 20. Mai 2008 im Zentrum für Umweltkommunikation der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vorgestellt. Geplant ist, dass der im Rahmen der HiWUS-Studie entstandene Erfahrungsaustausch fortgesetzt und auf internationaler Ebene erweitert wird.

# **1 Feststellung Status Quo – Vorgaben für die Kennzeichnung von Windenergieanlagen**

## **1.1 Luftfahrt für Onshoreanlagen nach ICAO (international)**

Windenergieanlagen (WEA) stellen im gleichen Maße wie Türme, Schornsteine oder hohe Gebäude im Sinne der Gesetzgebung Hindernisse für den Flugverkehr dar und sind entsprechend den nationalen oder internationalen Regelwerken zu kennzeichnen. Es wird zwischen Tages- und Nachtkennzeichnung unterschieden.

Die Kennzeichnungspflicht besteht jedoch nicht in jedem Fall und hängt von der Höhe des Bauwerkes und vom jeweiligen Regelwerk des betreffenden Landes ab. Die Kennzeichnungspflicht ist zusätzlich zum Beispiel in Deutschland vom Standort der Anlage abhängig (vgl. §§ 14 Abs. 2 und 16a Abs. 1 des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG) / siehe auch Kapitel 1.7).

Die Tageskennzeichnung kann in Form einer farbigen Markierung der Rotorblätter oder durch Befeuern der WEA erfolgen.

Derzeit gibt es keine einheitliche Art und Weise, wie Windenergieanlagen weltweit gekennzeichnet werden müssen. Das besondere Luftfahrthindernis „Windenergieanlage“ wird von den internationalen Empfehlungen bisher nicht richtig erfasst. Aus diesem Grunde haben sich für die Kennzeichnung national wie international unterschiedliche Regulierungen entwickelt.

Am 7. Dezember 1944 haben 52 Staaten die Convention on International Civil Aviation, auch bekannt unter Chicago Convention unterzeichnet. Heute hat die ICAO (International Civil Aviation Organisation) 189 Mitgliedsstaaten, die sich verpflichtet haben, die gemeinsam erarbeiteten Standards und Empfehlungen zu beachten – soweit anwendbar. Jedes Mitgliedsland der ICAO hat die Möglichkeit, Abweichungen zu melden, solange die öffentliche Ordnung und Sicherheit nicht beeinträchtigt wird.

Die Standards und Empfehlungen für den Anwendungsfall "Kennzeichnung von allgemeinen Hindernissen" sind in der ICAO Aerodromes Annex 14 Kapitel 6 Fourth Edition – July 2004 niedergelegt (siehe Anhang 1). Es wird empfohlen, den höchsten Punkt des Hindernisses zu kennzeichnen.

Die einzusetzenden Feuer gliedern sich in:

1. Niederleistungsfeuer der Typen A, B und C,
2. Mittelleistungsfeuer der Typen A, B und C
3. Hochleistungsfeuer der Typen A und B

Die Lichtstärken variieren im Bereich von 10 cd (Niederleistungsfeuer) und 200.000 cd (Hochleistungsfeuer).

Für die Kennzeichnung von WEA im europäischen Ausland werden überwiegend Mittelleistungsfeuer als Doppelfeuer mit 2.000 Candela (cd) in rot für die Nachtkennzeichnung und mit 20.000 cd in weiß für die Tageskennzeichnung eingesetzt. Niederleistungsfeuer mit 10 cd (oder auch seltener 32 cd) werden als zusätzliche Turmkennzeichnung verwendet. In Deutschland hat sich das Feuer W, rot derzeit durchgesetzt (100 cd).

Niederleistungsfeuer senden grundsätzlich Dauerlicht aus. Mittelleistungs- und Hochleistungsfeuer blinken mit 20 bis 60 Takten pro Minute. Es gibt allerdings eine Ausnahme. Dieses ist das Gefahrenfeuer mit 2.000 cd in rot, Typ C, das z. B. in Portugal gefordert wird.

In den der ICAO angeschlossenen Ländern wird überwiegend die Befeuerng mit gedoppelten Mittelleistungssfeuern in rot/weißer Kombination für die Nacht-/Tageskennzeichnung eingesetzt. Die Mittelleistungsfeuer werden bei einer Doppelung üblicherweise jeweils seitlich auf dem Dach der Gondel montiert, um einer Abschattung durch stillstehende und mit der Blinkfrequenz synchron drehende Rotorblätter entgegenzuwirken. Vor diesem Hintergrund wird in Deutschland nicht wie in einigen anderen Ländern (Frankreich, Spanien, Portugal, USA) auf die Doppelung der Feuer verzichtet.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Feuer-Typ	Farbe	Signal-Typ / (Blinkfrequenzrate)	Spitzenleistung (cd) bei gegebener Hintergrundhelligkeit			Vertikaler Strahlwinkel (c)	Leistung (cd) bei gegebenen Erhebungswinkeln und waagrecht ausgerichtetem Feuer (d)				
			Über 500 cd/in <sup>2</sup>	50 – 500 cd/m <sup>2</sup>	Unter 50 cd/m <sup>2</sup>		-10° (e)	-1° (f)	±0° (f)	+6°	+10°
Niederleistungs-Hindernisleuchte, Typ A (ortsfestes Hindernis)	Rot	Dauerlicht	k.A.	10 mmm	10 mmm	10°	—	—	—	10 mmm (g)	10 mmm (g)
Niederleistungs-Hindernisleuchte, Typ B (ortsfestes Hindernis)	Rot	Dauerlicht	k.A.	32 mmm	32 mmm	10°	—	—	—	32 mmm (g)	32 mmm (g)
Niederleistung, Typ C (mobiles Hindernis)	Gelb/Blau (a)	Blinklicht (60 -90 B/m)	k.A.	40 mmm (b) 400 max.	40 mmm (b) 400 max.	12° (h)	—	—	—	—	—
Niederleistung, Typ D Follow-Me-Fahrzeug	Gelb	Blinklicht (60 -90 B/m)	k.A.	200 mmm (b) 400 max.	200 mmm (b) 400 max.	12° (i)	—	—	—	—	—
Mittelleistung, Typ A	Weiß	Blinklicht (20 - 60 B/m)	20.000 (b) ±25%	20.000 (b) ±25%	2.000 (b) ±25%	3° mmm	3% max.	50% mmm 75% max.	100% mmm	—	—
Mittelleistung, Typ B	Rot	Blinklicht (20 - 60 B/m)	k.A.	k.A.	2.000 (b) ±25%	3° mmm	—	50% mmm 75% max.	100% mmm	—	—
Mittelleistung, Typ C	Rot	Dauerlicht	k.A.	k.A.	2.000 (b) ±25%	3° mmm	—	50% mmm 75% max.	100% mmm	—	—
Hochleistung, Typ A	Weiß	Blinklicht (40 - 60 B/m)	200.000 (b) ±25%	20.000 (b) ±25%	2.000 (b) ±25%	3°-7°	3% max.	50% mmm 75% max.	100% mmm	—	—
Hochleistung, Typ B	Weiß	Blinklicht (40 - 60 B/m)	100.000 (b) ±25%	20.000 (b) ±25%	2.000 (b) ±25%	3°-7°	3% max.	50% mmm 75% max.	100% mmm	—	—

Tabelle 6-3 Charakteristika von Hindernisleuchten (ICAO, Annex 14)

*Hinweis: - Diese Tabelle enthält nicht die empfohlenen horizontalen Strahlwinkel. 6.3.22 erfordert 360 °-Abdeckung rund um das Hindernis. Daher hängt die zur Erfüllung dieser Forderung benötigte Anzahl von Feuer von den horizontalen Strahlwinkeln der einzelnen Feuer ebenso ab wie von der Form des Hindernisses. Je enger die Strahlwinkel sind, umso mehr Feuer werden benötigt.*

- a) Siehe 6.3.25 (siehe Anhang S. 118)
- b) Effektive Leistung, ermittelt nach den Vorgaben des "Aerodrome Design Manual" Teil 4.
- c) Der Strahlwinkel ist definiert als der Winkel zwischen zwei Richtungen in einer Ebene, innerhalb dessen die Leistung 50% des unteren Leistungstoleranzwertes der Spalten 4, 5 und 6 erreicht. Die Strahlleistungs-

- Verteilung muss nicht unbedingt symmetrisch zum Erhebungswinkel verlaufen, an dem die Spitzenleistung erreicht wird.*
- d) Erhebungswinkel (vertikal) sind auf die Horizontale bezogen.*
  - e) Leistung an beliebigen Positionen des angegebenen horizontalen Kreissegmentes als Prozentsatz der tatsächlichen Spitzenleistung für das gleiche Segment beim Betrieb mit den in den Spalten 4, 5 und 6 angegebenen Leistungen.*
  - f) Leistung an beliebigen Positionen des angegebenen horizontalen Kreissegmentes als Prozentsatz des unteren Leistungs-Toleranzwertes der in den Spalten 4, 5 und 6 angegebenen Leistungen.*
  - g) Über die angegebenen Werte hinaus müssen die Feuer eine Leistung liefern, welche die Wahrnehmbarkeit bei Erhebungswinkel zwischen  $\pm 0^\circ$  und  $50^\circ$  sicherstellt.*
  - h) Die Spitzenleistung sollte auf einem vertikalen Winkel von etwa  $2,5^\circ$  erreicht werden.*
  - i) Die Spitzenleistung sollte auf einem vertikalen Winkel von etwa  $17^\circ$  erreicht werden.*

Die umfangreichste eigene Auslegung der ICAO hat Nordamerika mit den Regularien der FAA (Federal Aviation Administration) vorgenommen (siehe Anhang 2 und Kapitel 1.1, S. 24). Die FAA ist die amerikanische Flugverkehrsbehörde, die anders als zum Beispiel das deutsche Verkehrsministerium über eigene Bereiche auf Verkehrsflughäfen verfügt und diese auch ausrüstet. So gibt die FAA praktisch Bauvorschriften heraus, wie z.B. unter anderem auch Gefahrenfeuer aufzubauen sind.

Die Regelungen der FAA gelten verbindlich in Nordamerika, während die Standards und Empfehlungen der ICAO weltweit Anwendung finden. Weltweit wird in der Regel jeweils die FAA oder die ICAO als Grundlage für die Kennzeichnung von Hindernissen verwendet, soweit diese Regelungen in das jeweilige nationale Recht übernommen worden sind, bzw. für unmittelbar anwendbar erklärt werden. Auf Grund der globalen Bedeutung von Windenergieanlagen wird eine Erweiterung der Standards und Empfehlung der ICAO um das Kapitel 6.4 Wind Turbines (siehe Anhang 12) vorgeschlagen, wo die Standards und Empfehlung zur Markierung von Windenergieanlagen gesondert beschrieben wird. Damit soll eine Grundlage für internationale Standards und Empfehlungen für abgestimmte Standards bei der Kennzeichnung von Windenergieanlagen in den einzelnen Ländern entwickelt werden. Von Seiten des BMVBS wird die Erweiterung grundsätzlich begrüßt.

## **1.2 Luftfahrt für Onshoreanlagen nach nationalen Regelungen**

### **Derzeitige Situation in Deutschland**

Seit einigen Jahren wird in den Fachgremien sehr intensiv um einen tragfähigen Kompromiss zwischen den Erfordernissen der Flugsicherheit und des Schutzes von Anwohnern gegen Lichtemissionen der Gefahrenfeuer gerungen. Seit einiger Zeit werden Lösungen wie z.B. die in Verkehrsflugzeugen vorhandenen Transponder zum Einschalten der Gefahrenbefeuerung bei Annäherung oder die Möglichkeit des Einsatzes eines Annäherungsradars auf WEA diskutiert (siehe Kapitel 3).

Um Lichtemission am Boden zu minimieren, besteht die Möglichkeit, Feuer zu verwenden, deren Bauart im unteren Abstrahlungsbereich lichtreduzierend ausgelegt sind. Eine zusätzliche mechanische Abschirmung ist nicht gestattet (AVV / siehe Anhang 4).

Die derzeit gültige ICAO, Annex 14, Table 6-3 (Medium intensity type B and C) von Juli 2004 fordert bei  $-1^\circ$  nach unten einen extrem scharfen Abriss von 2.000 cd (rot) und 20.000 cd (weiß) auf 50% des Nominalwertes (750 cd bis 1125 cd bzw. 7.500 cd bis 11.250 cd Toleranzgrenzen). Diese Forderung wurde aus genau dem Grunde aufgenommen,

um aus Sicht des Piloten die volle Lichtstärke zu erhalten, aber die Belastung der Anwohner weitestgehend zu minimieren.  
Stand der Technik sind derzeit das Feuer W, rot für den nationalen Einsatz und das Mittelleistungs-Gefahrenfeuer mit 2.000 cd in rot (LED) unter Berücksichtigung des Kriteriums bei -1 °.

In der Bundesrepublik Deutschland gilt die Allgemeine Verwaltungsvorschrift für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV), die am 7. September 2004 im Bundesanzeiger Nr. 168 veröffentlicht wurde und somit Rechtskraft erlangte. Diese Verwaltungsvorschrift wurde mit Zustimmung des Bundesrates auf der Grundlage des Artikels 85 Abs. 2 in Verbindung mit Artikel 87d Abs. 2 des Grundgesetzes erlassen.

Mit Inkrafttreten dieser AVV sind die Richtlinien des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen vom 22. Dezember 1999 (NFL I-15/00) und die hierzu ergangene Mitteilung über Feuer W, rot vom 21. Januar 2003 (NFL I 97/03) gegenstandslos geworden. Auf die Übergangsvorschriften der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (Nr. 25) wird hingewiesen.

Eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen ist mit Datum vom 24. April 2007 verabschiedet und am 28. April 2007 im Bundesanzeiger veröffentlicht worden. Eine Zusammenfassung der neuen Verwaltungsvorschrift wurde in den Nachrichten für Luftfahrer (NfL 143/07) und im Verkehrsblatt 10/2007 (S. 391ff) veröffentlicht (siehe Anlage 5 und [www.dfs.de/dfs/internet/deutsch/inhalt/aviation\\_services\\_business/prim\\_aernavigation/richtlinien/rilis\\_bund/nfli\\_143\\_07.pdf](http://www.dfs.de/dfs/internet/deutsch/inhalt/aviation_services_business/prim_aernavigation/richtlinien/rilis_bund/nfli_143_07.pdf)). Eine nicht amtliche Übersetzung des AVV hat der Bundesverband WindEnergie e.V. veröffentlicht ([www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Kennzeichnung/handlungsempfehlung\\_kennzeichnung\\_english.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Kennzeichnung/handlungsempfehlung_kennzeichnung_english.pdf)). Die deutsch/französische Koordinierungsstelle Windenergie ([www.wind-eole.com](http://www.wind-eole.com)) hat eine Übersetzung in französischer Sprache erstellt.

Ferner soll auch auf die Tieffluggebiete und auf Bedingungen, die unter §§ 14 und 16a LuftVG fallen, hingewiesen werden.

### **In welchem Falle muß nun gekennzeichnet werden?**

WEA müssen normalerweise erst ab einer Höhe von 100 m, gemessen vom Erdboden bis zum höchsten Punkt der Flügelspitze, gekennzeichnet werden.

Bei allen Anlagen, die unter 100 m Gesamthöhe bleiben, entfällt normalerweise eine Kennzeichnung, es sei denn, dass die örtliche Lage dieses in besonderen Ausnahmefällen doch erforderlich macht, so z.B.

die örtliche Nähe von Flugplätzen (Flughäfen, Hubschrauberlandeplätzen, ...). Zum Schutze tief fliegender Luftfahrzeuge, insbesondere im Zusammenhang mit Arbeits-, Militär- und Rettungsflügen kann gemäß § 16a LuftVG im Einzelfall auch eine Kennzeichnung von Hindernissen ab einer Höhe von 20 m erforderlich sein (siehe AVV 4.1 und 4.2).

Ab einer Höhe von 100 m schreibt dies die örtliche Genehmigungsbehörde auf Grundlage der luftrechtlichen Zustimmung der zuständigen Luftfahrtbehörde vor.

### **Wie werden Anlagen über 100 m Gesamthöhe mit einer Nachtkennzeichnung versehen?**

WEA über 100 m Gesamthöhe werden in der Nacht durch Blattspitzenbefeuerung 10 cd oder rot blinkende, gedoppelte Gefahrenfeuer gem. ICAO, Annex 14, Band I, Kap. 6 (2.000 cd +/- 25%, Lichtstärkenreduzierung nach unten möglich, bei -5° 5%, Taktung 20-60 mal pro Minute) oder Feuer W, rot, gedoppelt (100 cd effektive Betriebslichtstärke, getakteter Betrieb 1s hell-0,5 s dunkel-1s hell-1,5 s dunkel) gekennzeichnet.

In Deutschland sind zwei Prototypen mit einer Blattspitzenbefeuerung ausgestattet. Durchgesetzt hat sich derzeit das Feuer W, rot und wird in der überwiegenden Anzahl der Anwendungsfälle eingesetzt.

Das Feuer W, rot für die Nachtkennzeichnung stellt eine mögliche weitere Differenzierung in den ICAO-Vorgaben zwischen Low-intensity, type A (10 cd) und Medium-intensity, type B (2.000 cd) dar.

Die Reduzierung der Lichtstärke stellt in der Bundesrepublik Deutschland – ohne Beeinträchtigung der Luftsicherheit – eine Möglichkeit dar, die Störungen nachts für die Anwohner zu minimieren.

Die geforderte visuell wirksame Betriebslichtstärke beträgt minimal 100 cd und ist somit um den Faktor 15 bis 20 geringer, als ein Gefahrenfeuer nach ICAO und um den Faktor 3 bis 10 höher als bei einem Hindernisfeuer.

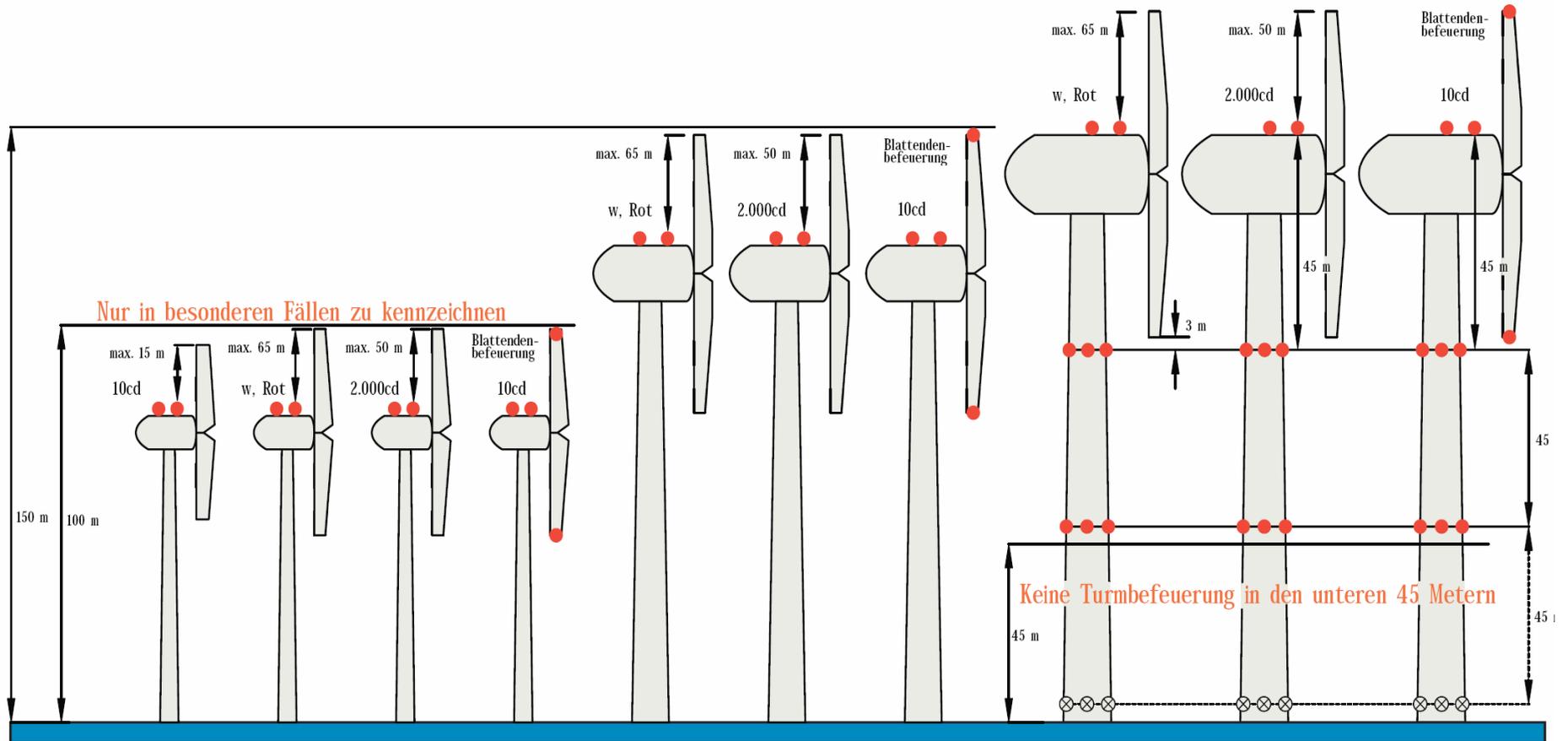
Bei Überschreitung des unbefeuerten Teils von 50 m darf das Gefahrenfeuer nicht eingesetzt werden. Beim Feuer W, rot darf der unbefeuerte Teil eine Länge von 65 m nicht überragen.

### **Wie werden Anlagen über 150 m Gesamthöhe im Nachtbetrieb gekennzeichnet?**

Wie zuvor, jedoch zusätzlich für die Nachtkennzeichnung werden Hindernisfeuer am Turm gefordert.

Aus jeder Richtung müssen zwei Hindernisfeuer jeder Befeuerungsebene sichtbar sein. Die Befeuerungsebene darf durch Rotorblätter nicht verdeckt werden.

## Nachtkennzeichnung



**Wie werden Anlagen über 100 m Gesamthöhe am Tage gekennzeichnet?**

Farbliche Kennzeichnung der Flügelspitzen durch drei Streifen von je 6 m Länge (rot/weiß/rot oder rot/weiß von außen beginnend ) oder weiß blitzendes Gefahrenfeuer mittlerer Lichtstärke (20.000 cd +/- 25%, Gefahrenfeuer Typ A gem. ICAO Anhang 14, Band I, Pkt 6.3.3). Das Gefahrenfeuer kann nach unten lichtstärkenreduziert betrieben werden (bei -5° 5%).

Bei Einsatz von weiß blitzenden Feuern (20.000 cd) kann auf die Streifen ganz verzichtet werden, wenn ein Farbring am Mast in orange/rot, beginnend in 40 +/- 5 m Höhe über Grund oder Wasser angebracht ist.

**Wie werden Anlagen über 150 m Gesamthöhe am Tage gekennzeichnet?**

Wie zuvor, jedoch ist auf dem Maschinenhaus zusätzlich ein 2 m breiter, horizontaler orange/roter Streifen in der Mitte von der linken bis zur rechten Seite des Maschinenhauses (rechtwinklig zur Rotorebene) anzubringen.

Bei Windenergieanlagen mit einer Höhe von mehr als 150 m über Grund oder Wasser kann bei einer Genehmigung weiß blitzender Feuer gemäß Nummer 14 die Anbringung eines zweiten orange/roten Streifens und die Kennzeichnung des Maschinenhauses entfallen. In diesem Fall darf der Abstand zwischen weiß blitzendem Feuer und Rotorblattspitze bis zu 65 m betragen.

Ein mindestens 3 m bzw. mindestens 6 m hoher Farbring am Mast in orange/rot, beginnend in 40 +/- 5 m Höhe über Grund oder Wasser, ist anzubringen.



## **Parksynchronisation**

Da die Befeuerungen ein intermittierendes Licht aussenden, hat es sich bewährt, die Feuer eines Windparks zu synchronisieren. Durch die Synchronisation der Feuer wird über alle Feuer ein gleichmäßiges Blinken erreicht, das heißt, dass alle Feuer im gleichen Takt ein- und ausgeschaltet werden. Für das menschliche Auge ergibt das ein ruhigeres Betrachtungsbild. Es haben sich verschiedene technische Lösungen zur Synchronisation durchgesetzt.

Eine mögliche Lösung stellt die Synchronisation über das GPS-Signal dar. Aus dem von den geostationär positionierten Satelliten empfangenen GPS-Signal wird der Zeittakt ausgewertet und zur Synchronisation aller in einem Park befindlichen Gefahrenfeuer verwendet. Die Vorteile bestehen darin, dass keine Verkabelung zwischen den Windkraftanlagen benötigt wird und die Zuverlässigkeit prinzipiell als hoch eingeschätzt werden kann.

Eine weitere Lösungsmöglichkeit besteht darin, ein Gefahrenfeuer als Mastertaktgeber zu verwenden und alle weiteren als Slave zu schalten. In diesem Falle übernehmen alle als Slave geschalteten Gefahrenfeuer den Takt des Masterfeuers.

Diese Lösung bietet sich für den Fall an, dass die WEA bereits miteinander verkabelt sind. Der Nachteil besteht darin, dass, falls der Master ausfällt, kein Synchronsignal mehr für die Slavefeuer zur Verfügung steht. Eine Synchronisation über Zeitsignale (DCF 77) ist ebenfalls möglich.

## **Zur aktuellen Situation in anderen Ländern**

Deutschland gehört zu den Ländern in Europa, die bereits über umfangreiche Vorschriften für die Kennzeichnung von WEA verfügen. Die WEA-Kennzeichnung ist ein bedeutendes aktuelles Problem, mit dem in den einzelnen Ländern unterschiedlich umgegangen wird und das auch in seiner Regelung unterschiedlich ausgeprägt ist. Eine deutliche Orientierung an der ICAO ist in vielen Ländern Europas wahrzunehmen. Entscheidungen über die Kennzeichnung von WEA in den europäischen Staaten werden von unterschiedlichsten Verantwortungsbereichen getroffen. Deutschland, Frankreich, Belgien und das Vereinigte Königreich verfügen bereits über erste ausführliche Regelungen, die nicht nur die Verantwortung definieren, sondern auch die Rahmenbedingungen darstellen. Weniger transparent erscheint der Umgang mit der Kennzeichnung in den anderen europäischen Staaten. Hier findet man häufig eine dezentrale und individuelle Entscheidungsstruktur.

Es wird neben der Orientierung an der ICAO oder an Regelungen in den Nachbarstaaten auch häufig dem Anlagenbauer die Entscheidung über die Kennzeichnung der WEA übertragen.

Es existieren verschiedene Technologien im Bereich der Befeuerung, sodass auch unterschiedliche Ausprägungen verwendet werden kön-

nen. Die Verwendung von Mittelleistungsfeuern dominiert in Europa. Hochleistungsfeuer und Niederleistungsfeuer sind jedoch auch in verschiedenen Staaten im Einsatz und auch in Vorschriften verankert.

Die Bedeutung der Windenergie und die installierte Leistung stehen in der Regel im Zusammenhang mit der Entwicklung von entsprechenden Vorschriften für die Kennzeichnung. Erste Ansätze eines Erfahrungsaustausches in Bezug auf die Kennzeichnung von WEA finden zwischen europäischen Ländern statt. Eine erste länderübergreifende Diskussion fand am 26. November 2007 zwischen Deutschland und Frankreich in Paris statt und ist auf positive Resonanz gestoßen (siehe [www.wind-eole.com/de/node/508](http://www.wind-eole.com/de/node/508) ).

Nachfolgend findet eine Beschreibung der wesentlichen Merkmale und Regelungen der Kennzeichnung in ausgewählten Ländern statt, an die eine zusammenfassende Übersicht anknüpft.

### **Belgien**

Die Kennzeichnung von Windenergieanlagen ist in Belgien in der CIR – GDF 03 CIRCULAIRE BALISAGE OBSTACLES vom 12.06.2006 des Directoraat Generaal Luchtvaart und des Direction générale Transport aérien niedergelegt (siehe Anlage 8 / oder [www.mobilit.fgov.be/data/aero/GDF03F.pdf](http://www.mobilit.fgov.be/data/aero/GDF03F.pdf) ). Weite Teile der Vorschrift entsprechen den Regelungen der deutschen AVV.

In der belgischen Vorschrift werden Zonen von A bis E definiert, die unterschiedliche Ausprägungen aufweisen.

Die Kennzeichnungs-Farben der Rotorblätter müssen im Kontrast zueinander und zum Hintergrund stehen. Es ist orange und weiß oder rot und weiß zu verwenden, außer wenn die Farben sich nicht vom Hintergrund abheben. Es sind drei Farbstreifen von je 6 m Länge (außen beginnend) mit 6 m orange/rot, 6 m weiß und 6 m orange/rot zu kennzeichnen.

Weiß blitzende Feuer (Hoch- oder Mittelleistung) können als Tagesmarkierungen anstelle von Farbmarkierungen genehmigt werden. Bei Sichtweiten über 5000 m darf die Nennlichtstärke auf 30% und bei Sichtweiten über 10 km auf 10% reduziert werden.

Beim Einsatz von Gefahrenfeuern (Mittelleistungshindernisfeuer vom Typ B, rot blitzend, 2000 cd) darf der unbefeuerte Teil des Hindernisses das Gefahrenfeuer nicht mehr als 50 m überragen. Gefahrenfeuer dürfen keinesfalls von den Rotorblättern in keiner Richtung völlig verdeckt werden.

Alternativ kann auch das Feuer W, rot auf dem Maschinenhaus gedoppelt montiert werden. In diesem Fall darf der unbefeuerte Teil des Hindernisses das Feuer W, rot um bis zu 65 m überragen. Bei Sichtweiten über 5000 m darf die Nennlichtstärke der Gefahrenfeuer auf 30% und bei Sichtweiten über 10 km auf 10% reduziert werden.

Die Nachtkennzeichnung besteht aus einem Feuer W, rot (gedoppelt) oder einer Blattspitzenbefeuerung. Die Schaltzeiten sowie die Blinkfolge sämtlicher Feuer innerhalb von Windenergieanlagen-Blöcken sind untereinander und mit den Schifffahrtszeichen abzustimmen.

Für die Windenergieanlagen ist ein redundantes Befeuerungssystem vorzusehen, sodass das System nicht sofort bei Ausfall eines Bauteiles außer Betrieb ist. Bei einer Systemstörung übernimmt das andere System automatisch das Relais.

Für die Windenergieanlagen ist eine Notstromversorgung vorzusehen, die die Befeuerung mindestens vier Stunden in Betrieb hält.

Es ist (z. B. durch Doppelung der Feuer) dafür zu sorgen, dass auch bei Stillstand des Rotors sowie bei mit einer Blinkfrequenz synchronen Drehzahl mindestens ein Feuer für einen unabhängig aus welcher Richtung sich nähernden Piloten sichtbar ist.

### **Dänemark**

Für Dänemark existieren Vorschriften (Bestemmelser om Luftfartshindringer BL 3-10, 9. April 1992), die die Markierung von Windenergieanlagen für die Luftfahrt beschreiben. Hindernisse müssen ab einer Höhe von 150 m am Tag mit weißen Hochleistungsfeuern (4.000 – 200.000 cd) versehen werden. Für die Nachtkennzeichnung ist die Blattspitzenbefeuerung oder das Mittelleistungsfeuer ICAO Typ B an der höchst möglichen Stelle am Turm anzubringen.

WEA zwischen 100 und 150 m werden Fallspezifisch betrachtet. Nach der Verhandlung mit dem Flugtaktischen Kommando (FTK) sind Projekte für die Errichtung der Windenergieanlagen zur Genehmigung in Zusammenarbeit mit dem FTK zunächst an das staatliche Luftfahrtsamt zu senden. Dort werden entsprechende Entscheidungen über die Kennzeichnung getroffen. In der Regel wird für die Nachtkennzeichnung ein Hindernisfeuer (10 cd) auf dem Maschinenhaus anerkannt (siehe Anlage 10). Tagsüber soll der farbige Anstrich der Anlagen für die Hinderniserkennung genutzt werden. Die Helligkeit des weißen Farbtones soll einen Kontrast zur Umgebung ermöglichen und damit eine verbesserte Sichtbarkeit der Anlage erwirken. Generell ist die Markierung der Windenergieanlage nicht immer gefordert. Die Kennzeichnung wird je nach Fall mit Niederleistungsfeuern oder Mittelleistungsfeuern umgesetzt. Zu gewährleisten ist bei der Implementierung von Befeuerungssystemen, dass die Befeuerung aus jeder Richtung zu jeder Zeit wahrzunehmen ist.

### **Finnland**

In Finnland werden WEA ab einer Höhe von 70 Metern (senkrecht Rotorblatt) gekennzeichnet. Es ist nur eine Nachtkennzeichnung vorgesehen, während eine Tageskennzeichnung mit der roten Schraffierung der Rotorblätter nur in gesonderten Fällen nach einer Studie der Luftfahrtsbehörde notwendig wird. Ab einer Höhe von 70 Metern wird eine Kennzeichnung durch Hindernisbefeuerung (10 cd, rot) gefordert. Über-

steigt die WEA eine Höhe von 150 Metern, wird die Befeuerung vom ICAO Typ C Mittelleistungsfeuer eingesetzt. Diese Regelungen spiegeln sich in der nationalen Vorschrift AGA M3-6 wieder.

### **Frankreich**

Frankreich hat ähnlich wie Deutschland bereits eine Verordnung erlassen (siehe Anhang 5), in der die Markierung von WEA geregelt wird. Windenergieanlagen werden weiß angestrichen. Bei Anlagen unter 150 m wird zwischen Nacht- und Tageskennzeichnung unterschieden. Die Tageskennzeichnung umfasst zwei Optionen. Alternativ kann die rote Markierung an den Blattspitzen oder das weiße Mittelleistungsfeuer ICAO Typ A (2.000 cd) eingesetzt werden. Die Nachtkennzeichnung wird durch die Installation von rotblitzenden Mittelleistungsfeuer ICAO Typ B (2.000 cd) umgesetzt.

Die Kennzeichnung von Windenergieanlagen von einer Gesamthöhe über 150 m wird im Rahmen einer Untersuchung festgelegt. Diese wird in Zusammenarbeit mit den Behörden und den zuständigen Diensten vor Ort sowie dem Technischen Luftfahrtamt durchgeführt. In Frankreich werden vermehrt nur die äußeren Anlagen eines WEA-Blockes gekennzeichnet. Auf die Doppelung der Feuer auf dem Maschinenhaus wird im Normalfall verzichtet.

### **Griechenland**

Für Griechenland existiert keine Regelung bezüglich der Kennzeichnung von WEA. Die Empfehlungen der ICAO werden für die Kennzeichnung berücksichtigt, jedoch wird die Kennzeichnung von der Situation vor Ort abhängig gemacht.

### **Italien**

Italien orientiert sich bei der Kennzeichnung von WEA an der ICAO. So sind die Flügelspitzen tagsüber farblich (Anstrich weiß/rot oder weiß/orange) zu kennzeichnen.

Die Nachtkennzeichnung erfolgt über feste rotfarbige Feuer (oder Feuergruppen), die am höchsten Punkt des Hindernisses angebracht sein müssen; das Licht muss nachts aus einer Entfernung von mindestens 5 Kilometern und aus jeder Richtung sichtbar sein.

Hindernisse über 150 m müssen zusätzlich zu den vorgenannten Feuern am höchsten Punkt mit einem Mittelleistungsfeuer mit den folgenden Eigenschaften versehen werden: Blinklicht mit einer Intensität von 2.000 cd (+/- 25%), Blinkfrequenz zwischen 40 und 60 Blitzsignalen pro Minute.

Wenn das Mittelleistungsfeuer nicht am höchsten Punkt des Hindernisses angebracht werden kann, muss es am höchstmöglichen Punkt des Hindernisses angebracht werden.

Wenn der Abstand zwischen zwei vertikalen Hindernissen geringer als 100 m ist, wird die Farbkennzeichnung und die Befeuerung auf dem

höchsten Hindernis angebracht oder – bei gleich hohen Hindernissen – auf dem Hindernis, das sich am höchsten über NN befindet.

Die Befeuerung muss Tag und Nacht aktiv sein und über eine primäre Stromversorgung und eine Notstromversorgung verfügen.

### **Niederlande**

Die Niederlande verfolgen im Vergleich zu den europäischen Nachbarn einen anderen Weg bei der Kennzeichnung der Windenergieanlagen. Es werden Niederintensitätsfeuer für die Nachtkennzeichnung verwendet. Dabei handelt es sich um Feuer mit 50 cd.

### **Norwegen**

Norwegen verwendet für Anlagen über 100 m Rotorblattbefeuerung, die jeweils für die Tag- und Nachtkennzeichnung eingesetzt wird. Für die Nachtkennzeichnung von Anlagen über 150 m wird der ICAO Typ B (2.000 cd) eingesetzt. Die Besonderheit in Norwegen liegt darin, dass für die Tageskennzeichnung für Anlagen höher als 150 m Hochleistungsfeuer vom ICAO Typ B mit 100.000 cd eingesetzt werden. Die jeweiligen Vorschriften und Regelungen sind der „Forskrift om Merking av Luftfårthinder BSL E 2-2 (03.Dez.2002) zu entnehmen.

### **Österreich**

In Österreich ergibt sich für die Kennzeichnung ein heterogenes Bild. Die Entscheidungsgewalt obliegt hier dem einzelnen Bundesland und nimmt damit eine dezentrale Form an, die zu deutlichen Unterschieden bei den Entscheidungen bezüglich der Kennzeichnung führt. Auch innerhalb des Bundeslandes werden keine einheitlichen Strukturen sichtbar. Präferiert wird für die Tageskennzeichnung die Blattspitzenmarkierung (auf 2/3 der Flügellänge mit bis zu 5 Streifen in rot). Für die Nachtkennzeichnung wird der ICAO Typ B (2.000 cd) oder die Befeuerung mit 70 cd rot verwendet. Im Bundesland Niederösterreich hat sich das Feuer W, rot als Nachtkennzeichnung durchgesetzt. Es entwickeln sich Bestrebungen das Feuer W, rot Sichtverhältnissen anzupassen. Innerhalb von Windparks wird eine Synchronisation vorgenommen. Die Anlage ist jedoch bezüglich ihrer Höhe nicht an die Kennzeichnung gebunden.

### **Portugal**

In Portugal gilt die ICAO, Chapter 6, Annex 14. Nach Herstellerangaben werden tagsüber rote Streifen an Rotorblättern oder weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd) eingesetzt. Nachts kommt eine rote Befeuerung nach ICAO Typ C (2.000 cd Dauerlicht) zum Einsatz.

### **Schweden**

In Schweden existieren derzeit keine verbindlichen Regelungen für die Kennzeichnung von WEA. Voraussichtlich tritt ein Gesetzentwurf (siehe Anlage 6) ab Mitte des Jahres in Kraft, der die Kennzeichnung festlegt. Dieser sieht vor, dass Windenergieanlagen vollständig in weiß gestrichen sein sollen. Es ist sowohl die Tageskennzeichnung als auch die Nachtkennzeichnung vorgesehen. Anlagen unter 150 m werden mit ICAO Typ B (2.000 cd), Anlagen über 150 m mit ICAO Typ A (20.000 cd) sowohl am Tag als auch in der Nacht gekennzeichnet. Aus ökonomischen Gründen ist das Herabsetzen der Lichtintensität bei Nacht zulässig. Alternativ ist auch die rote Blattspitzenbefeuerung für die Nachtkennzeichnung möglich. In der Praxis wurde dieses Feuer noch nicht eingesetzt.

### **Schweiz**

Die Schweiz gehört zu den Ländern Europas, in der die Windenergie relativ unbedeutend ist (in 2007 wurde kein einziges Windrad aufgestellt). Durch die recht geringe Anzahl von installierten Windenergieanlagen hat die Schweiz keine Vorschriften für die Kennzeichnung umgesetzt. Orientiert wird sich an der ICAO, entschieden wird von Fall zu Fall unterschiedlich ohne eine Vereinheitlichung.

### **Slowenien**

Nach Auskunft der örtlichen Honeywell-Vertretung werden zur Kennzeichnung von Windenergieanlagen tagsüber gedoppelte Gefahrenfeuer in weiß mit einer Lichtstärke von 20.000 cd und nachts gedoppelte Gefahrenfeuer in rot mit einer Lichtstärke von 2.000 cd oder Hindernisfeuer mit 10 cd eingesetzt.

### **Spanien**

In Spanien hat die ICAO, Chapter 6, Annex 14, sowie die Regelungen der Spanish Civil Aviation Authority Gültigkeit.

Nach Herstellerangaben ist eine Tageskennzeichnung ohne Farbmarkierung der Flügelspitzen mit einem weißen Mittelleistungsfeuer nach ICAO, Typ B mit 20.000 cd und einer weißen Nachtbefeuerung mit 2.000 cd, Typ B üblich.

### **Tschechien**

Der Windenergiemarkt in Tschechien wird sich nach verbreiteter Einschätzung kontinuierlich entwickeln, aber von seiner Größenordnung, bedingt durch die begrenzt vorhandenen wirtschaftlich zu betreibenden Standorte, eher klein bleiben.

Nach Auskunft der örtlichen Honeywell-Vertretung werden zur Kennzeichnung von Windenergieanlagen tagsüber gedoppelte Gefahrenfeuer in weiß mit einer Lichtstärke von 20.000 cd und nachts gedoppelte Gefahrenfeuer in rot mit einer Lichtstärke von 2.000 cd oder Hindernisfeuer mit 10 cd eingesetzt.

## **UK**

Das Vereinigte Königreich orientiert sich bei der Kennzeichnung von Windenergieanlagen an der „Civil Aviation Publication CAP 764“ (7.Juli 2006 / siehe Anlage 7 / [www.caa.co.uk/docs/33/Cap764.pdf](http://www.caa.co.uk/docs/33/Cap764.pdf) ). Für die Kennzeichnung von Anlagen höher 150 m wird bei Nacht ein rotes Mittelintensitätsfeuer gefordert. Das Feuer soll am höchstmöglichen Punkt platziert werden. Bei WEA ist darunter die Installation von Feuern an der Spitze der Tragstruktur (am Generatorgehäuse) zu verstehen, nicht eine Installation an den Spitzen der Flügel. Im Normalfall müssen jedoch Bauwerke mit einer Höhe von weniger als 150 m, die sich außerhalb der direkten Umgebung eines Flughafens befinden, nicht befeuert werden.

Die kürzlich verabschiedete Gesetzgebung fordert die Anbringung von Hindernisfeuern, insbesondere für den Einsatz bei Nacht, für Offshore-Windkraftanlagen mit einer Höhe von 60 m oder mehr über dem höchsten astronomischen Wasserstand. Dagegen fordert der Artikel 143 der Air Navigation Order 2005 allgemein, dass Windkraftanlagen mit einer Höhe von 60 m oder darüber folgendermaßen mit Hindernisfeuern auszustatten sind:

Bei Anordnung von vier oder mehr Windturbinen in einer Gruppe können bei Genehmigung durch die Civil Aviation Authority (CAA) nur die an der Peripherie der Gruppe liegenden Einheiten mit Hindernisfeuern ausgestattet werden.

## **Ungarn**

Ungarn gehört zu den Ländern, die über beschränktes Potential für die Errichtung von Windenergieanlagen verfügen. Entsprechende einheitliche Vorschriften für die Markierung von Windenergieanlagen existieren nicht. In der Regel wird in Ungarn das rote Mittelintensitätsfeuer ICAO Typ B (2.000 cd), unabhängig von der Höhe der Anlagen, für die Nachtkennzeichnung verwendet. Die Tageskennzeichnung wird durch rote Streifen auf den Rotorblättern vollzogen.

## **USA**

In den USA gelten die Vorschriften der FAA, die für die Kennzeichnung von Windenergieanlagen im Kapitel 13 der AC 70/7460-1K CHG 2 aufgeführt sind (siehe Anhang 2).

Danach beträgt die Grenze, ab der Hindernisse wie Windkraftanlagen gekennzeichnet werden müssen, 200 Fuß (61 m) über dem Niveau des umgebenden Geländes.

Nicht jede Windkraftanlage in einem Windpark muss notwendigerweise befeuert werden. Die Betonung der Begrenzung des Parks ist unverzichtbar, dagegen ist die Befeuern der weiter innen positionierten Windkraftanlagen weniger wichtig, außer wenn diese höher sind als die Anlagen am Rand des Windparks.

Die Hindernisfeuer innerhalb einer Gruppe von Windkraftanlagen dürfen unbefeuerte Zwischenräume oder Abstände von nicht mehr als 1/2

englischen Meile (0,5 x 1609,344m) haben, wenn das geschlossene Erscheinungsbild der Gruppe erhalten bleiben soll. Besonders wichtig ist dies, wenn die Anordnung der Objekte vorwiegend linear ist.

Alle Anordnungen von blinkenden oder gepulsten Hindernisfeuern müssen synchronisiert arbeiten oder im Gleichtakt blinken.

Die Hindernisbefeuerung von Windkraftanlagen bei Nacht muss mit roten Luftfahrt-Blinkfeuern vom Typ FAA L-864 erfolgen (Vorzugstyp).

Weißer Blitzsysteme (FAA L-865) können dann anstelle der roten Blinkfeuer L-864 (Vorzugstyp) verwendet werden, jedoch ausschließlich allein und ohne jegliche rote Befeuerung, wobei sie auf die gleiche Weise zu positionieren sind wie die roten Blinkfeuer.

Die Feuer sind so hoch wie möglich auf dem Windkraftanlagen-Generatorgehäuse zu positionieren, so dass das Licht auf 360° sichtbar ist.

**Tabelle 1: Kennzeichnung von WEA in Europa und weiteren Ländern**

Land	Onshore am Tag/ über 100 m	Onshore in der Nacht / über 100 m	Onshore am Tag/ über 150 m	Status	Windleistung in MW
Deutschland	Rote Streifen an Rotorblättern oder weiße Befeuerung (20.000 cd) plus roter Streifen am Turm (ein Sichtweitenmessgerät kann eingesetzt werden)	Feuer w, rot (100 cd) , Gefahrenfeuer oder Blattspitzenhindernissfeuer (ein Sichtweitenmessgerät kann eingesetzt werden)	Zusätzlicher roter Streifen am Maschinenhaus. Grundsätzlich rote Streifen am Turm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift (Mai 2007) Entwurf der WSV-Richtlinie (Juli 2007)	22.247
USA	Weißer Befeuerung nach ICAO Typ A, B (20.000 cd)	Rote Befeuerung nach ICAO Typ A, B (2.000 cd)	Weißer Befeuerung nach ICAO Hochleistung Typ A (200.000 cd)	Advisory circular AC 70/7460-1K (01.02.2007) ICAO Annex 14 (15.Juni 2006)	16.818
Spanien	keine Farbmarkierung, weiße Befeuerung nach ICAO Typ B (20.000cd)	Gefahrenbefeuerung weiß nach ICAO Typ B (2.000 cd)	nicht bekannt	According ICAO Chapter 6 Annex 14 and Spanisch Civil Aviation Authority	15.145
Dänemark	Weißer Turmanstrich	Hindernissfeuer (10 cd), an den Ecken Gefahrenfeuer (2.000 cd)	Weißer Befeuerung nach ICAO Hochleistung Typ A (200.000 cd)	Vereinbarung zwischen Luftfahrtkommando, Energie- und Umweltministerium (Juli 2005) Bestimmelser om Luftfartshindringer BL 3-10	3.125

**Tabelle 1: Kennzeichnung von WEA in Europa und weiteren Ländern**

Land	Onshore am Tag/ über 100 m	Onshore in der Nacht / über 100 m	Onshore am Tag/ über 150 m	Status	Windleistung in MW
Italien	Rote Streifen an Rotorblättern oder Weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	Rote Befeuerung nach ICAO Typ B (2.000 cd)	Rote Streifen an Rotor- blättern oder Weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	According to ICAO Annex 14 Chapter 6 and ENAC Italian Authority For Civil Aviation	2.726
Frankreich	Weißer Turmanstrich rote Markierung an Blattspitzen oder weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd) <u>nur ein</u> Feuer auf der Gondel Kennzeichnung muß außerhalb von Siedungsgebieten grund- sätzlich bei Baukörpern erfolgen, die höher als 80 m sind (50m im Ein- zugsbereich von Flugplätzen)	Gefahrenfeuer weiß oder rot nach ICAO Typ B 2.000 cd) nur ein Feuer auf der Gondel	Weißer Turmanstrich Durchführung besonderer Studie Insbesondere hoch lie- gende WEA sind zu befeuern	Verwaltungsanordnung Nr. 20700 DNA vom 16. Nov. 2000	2.454
UK	Weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	Rote Befeuerung nach ICAO Typ C (2.000 cd Dauerlicht)	Weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	CAP 764 CAA Policy an Guidelines on Wind Turbines Offshore nach Trinity House und Civil Aviation Authority	2.389
Portugal	Rote Streifen an Rotorblättern oder Weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	Rote Befeuerung nach ICAO Typ C (2.000 cd Dauerlicht)	Rote Streifen an Rotor- blättern oder Weiße Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	Hersteller-Auskunft Repower	2.150

**Tabelle 1: Kennzeichnung von WEA in Europa und weiteren Ländern**

Land	Onshore am Tag/ über 100 m	Onshore in der Nacht / über 100 m	Onshore am Tag/ über 150 m	Status	Windleistung in MW
Österreich	Rote Farbstreifen an Blattspitzen 5 Farbfelder rot beginnend an der Blattspitze, Farbfeld sollte 5% des Rotordurchmessers betragen rot RAL 3000 weiß RAL 9010	Feuer w, rot (100 cd) in Niederösterreich.	Rote Farbstreifen an Blattspitzen 5 Farbfelder rot beginnend an der Blattspitze, Farbfeld sollte 5% des Rotordurchmessers betragen rot RAL 3000 weiß RAL 9010		983
Griechenland	Weißer Befeuerung nach ICAO Typ A, B (20.000 cd)	Rote Befeuerung nach ICAO Typ A, B (2.000 cd)	Weißer Befeuerung nach ICAO Typ A, B (20.000 cd)	Hellenic Civil Aviation Administration (HCAA)	871
Schweden	Blattspitzenbefeuerung oder rote Befeuerung nach ICAO Typ B (2.000 cd)	Blattspitzenbefeuerung oder rote Befeuerung nach ICAO Typ B (2.000 cd) Reduzierung möglich	Weißer Befeuerung nach ICAO Hochleistung Typ B (100.000 cd)	Derzeit keine verbindlichen Regeln, Gesetzesentwurf ab Mitte 2008 vorgesehen	788
Norwegen	Rotorblattbefeuerung	Rotorblattbefeuerung	Weißer Befeuerung nach ICAO Hochleistung Typ B (100.000 cd)	Forskrift om merking av luftfartshinder BSL E 2-2 (03.Dez. 2002)	333
Belgien	Einteilung in Kategorien A-E Bei Kategorie A-B Flügel farblich markieren oder weißer Befeuerung (20.000 cd) auch schon bei Anlagen unter 100 m	Feuer w, rot oder 2.000 cd oder Flügel- spitzenbefeuerung 10 cd mit zusätzlichem Hindernisseuer auf der Gondel (10 cd)	Einteilung in Kategorien A-E Bei Kategorie A-B Flügel farblich markieren oder weißer Befeuerung (20.000 cd) zusätzlich farbige Turmkennzeichnung	Le Ministre de la Mobilité 12/06/2006 Circulaire CIR/GDF-03	287

**Tabelle 1: Kennzeichnung von WEA in Europa und weiteren Ländern**

Land	Onshore am Tag/ über 100 m	Onshore in der Nacht / über 100 m	Onshore am Tag/ über 150 m	Status	Windleistung in MW
Finnland	Hindernisfeuer rot 10 cd	Hindernisfeuer rot 10 cd	Rote Befeuerung nach ICAO Typ B (2.000 cd)	CAA FI Jari Nurmi Head of Unit, Aerodromes	86
Tschechien	2 x Gefahrenfeuer weiß (20.000 cd)	2 x Gefahrenfeuer rot (2.000 cd) <u>oder</u> 2 x Hindernisfeuer rot 10 cd	bislang nicht vorgesehen	Auskunft Honeywell Vertretung Slovenien	56
Ungarn	Rote Farbstreifen an Blattspitzen (5-7m)	50 cd rot Dauer	nicht bekannt	Hersteller-Auskunft Repower und Auskunft der Botschaft aus Budapest	37
Schweiz	Weißer Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)	Rote Befeuerung nach ICAO Typ B (2.000 cd)	Weißer Befeuerung nach ICAO Typ A (20.000 cd)		12
Slowenien	2 x Gefahrenfeuer weiß (20.000 cd)	2 x Gefahrenfeuer rot (2.000 cd)	bislang nicht vorgesehen	Auskunft Honeywell Vertretung Slovenien	5

Stand: 04/08

### **1.3 Luftfahrt für Offshoreanlagen nach ICAO (international)**

Die aktuelle Fassung der ICAO unterscheidet nicht nach Onshore- oder Offshorestandorten eines Hindernisses. Insofern gilt, soweit anwendbar und nicht anders lautende Vorschriften der einzelnen Staaten vorliegen, die derzeitige Fassung der ICAO (siehe auch Kapitel 1.1).

### **1.4 Luftfahrt für Offshoreanlagen nach nationalen Regelungen**

In einigen Ländern existieren gesonderte Vorgaben für die Kennzeichnung für Offshoreanlagen (siehe Kapitel 1.2). Für den Abschnitt Luftfahrt für Offshoreanlagen gilt in der Bundesrepublik Deutschland in der AVV der Abschnitt 4 „Kennzeichnung von Anlagen im Meeresbereich“. Diese Regelung bezieht sich auf WEA im Küstenmeer, den anschließenden inneren Gewässern sowie in der Ausschließlichen Wirtschaftszone. Nach Vorgaben der AVV ist sicherzustellen, dass eine Beeinträchtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs, insbesondere eine Verwechslung mit Schifffahrtszeichen, ausgeschlossen ist. Festzuhalten ist, dass eine mit der obersten Luftfahrtbehörde (BMVBS) abgestimmte und auch in den Küstenländern vielfach übernommene Genehmigungspraxis des BSH existiert. Demnach werden weiß-blitzende Feuer als Tageskennzeichnung aus Rücksicht auf die Schifffahrt nicht vorgesehen, sondern lediglich der weiß-rote Anstrich. Blattspitzenfeuer werden derzeit aus demselben Grund als Nachtkennzeichnung nicht zugelassen.

### **1.5 Schifffahrtskennzeichnung für Offshore-Windenergieanlagen nach IALA (international)**

Der Internationale Verband der Seezeichenverwaltungen (*IALA; International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities*) mit Sitz in Paris umfasst etwa 80 nationale Seezeichenbehörden, Hafenbehörden und Hersteller technischer Navigationshilfen. Die IALA ist eine Nichtregierungsorganisation. Ihre Hauptaufgabe ist die Verbesserung von Schifffahrtszeichen und Navigationshilfen im Sinne der Sicherheit und Leichtigkeit des Seeverkehrs. Dem IALA-Exekutivkomitee aus 15 Ländern gehört die Bundesrepublik Deutschland als ständiges Mitglied an.

Angesichts der zunehmenden Zahl künstlich geschaffener, den freien Seeraum einengender Schifffahrtshindernisse hat die IALA 1998 überarbeitete Handreichungen für die Kennzeichnung, insbesondere auch Befeuern von Offshore-Bauwerken herausgegeben (*IALA Recom-*

*mentation O-114 on the marking of offshore structures*). Diese IALA-Empfehlung ist im wesentlichen auf einzeln stehende Bauwerke mit Überwasserstrukturen wie z.B. Bohr-, Förder- oder Wohnplattformen und Messmasten abgestellt.

Die mit Ausweitung der Windenergienutzung auf See verbundene Errichtung großer Offshore-Windparks machte detailliertere Empfehlungen bezüglich ihrer Kennzeichnungen für die Schifffahrt erforderlich. Dementsprechend stellte die IALA mit der 2004 zuletzt überarbeiteten IALA-Empfehlung O-117 einen Leitfaden für die Schifffahrtskennzeichnung von einzelnen Offshore-Windenergieanlagen und Offshore-Windparks bereit (*IALA Recommendation O-117 on the Marking of Offshore Wind farms*). Darüber hinaus gibt die Empfehlung O-117 auch Richtlinien zur Markierung und Absicherung von Baustellen auf See nach dem IALA-Betonnungssystem (*IALA Maritime Buoyage System, MBS*).

Eine nichtamtliche deutsche Übersetzung des vollständigen Textes der IALA-Empfehlung O-117 ist in Anhang 4 dieser Studie beigefügt. Die Originaltexte sind in englischer und französischer Sprache unter <http://www.iala-aism.org> im Internet verfügbar.

Die folgenden Ausführungen fassen wesentliche Anforderungen der IALA-Empfehlung O-117 zur visuellen Kennzeichnung sinngemäß zusammen. Auf weitere nach IALA hierbei zusätzlich in Erwägung zu ziehende Maßnahmen wird bei der Darstellung der nationalen Umsetzung der IALA-Vorgaben in Kapitel 1.7 eingegangen.

Maßnahmen zur akustischen und radar- bzw. funktechnischen Kennzeichnung, sowie eine von der IALA angeregte Prüfung der Einrichtung von Ausschluss- oder Sicherheitszonen, wodurch die Möglichkeit einschränkt oder ausgeschlossen wird, dass Schiffe die Windparks befahren, werden hier nicht weiter betrachtet.

## **Allgemeines**

Grundsätzlich sollten gemäß IALA Offshore-Windenergieanlagen so markiert werden, dass sie tagsüber und auch bei Nacht unter Berücksichtigung der üblicherweise vorherrschenden Sicht- und Schiffsverkehrsverhältnisse jederzeit weithin deutlich sichtbar sind.

## Visuelle Tageskennzeichnung

Die farbtechnische Kennzeichnung sollte in Form eines allseitigen gelben Farbanstrichs im Fundament bzw. unteren Turmbereich der Windenergieanlage erfolgen. Der Anstrich sollte sich zwischen dem Niveau des höchsten Hochwassers (Highest Astronomical Tide, HAT) bis in eine Höhe von mindestens  $HAT + 15$  m oder bis in die Höhe ggf. noch darüber angebrachter Schifffahrtszeichen erstrecken. HAT bezeichnet das für einen Ort auf Basis der ermittelten, örtlich herrschenden Gezeitenbedingungen vorausberechnete, höchste Hochwasser.

Zusätzlich kann eine Kennzeichnung jeder einzelnen Anlage durch das Anbringen beleuchteter oder unbeleuchteter Beschriftungen (Nummierung) erfolgen.

## Visuelle Nachtkennzeichnung

Die lichttechnische Kennzeichnung durch Schifffahrtszeichen (Befeuerung) sollte unterhalb des niedrigsten Punktes des Rotorkreises erfolgen. Es wird eine Begrenzung der Installationshöhe der Befeuerung auf höchstens  $HAT + 15$  m empfohlen. Dies steht allerdings nicht mit der bei der o. g. Ausdehnung der farbtechnischen Kennzeichnung in Betracht gezogenen Möglichkeit höher angebrachter Schifffahrtszeichen in Einklang. Die Mindestverfügbarkeit der Befeuerung sollte 99 % betragen, was einer Ausfallzeit von maximal 87,5 Stunden pro Jahr entspricht (IALA-Kategorie 2).

Offshore-Windparks: Befeuerung markanter Randkonstruktionen (*Significant Peripheral Structures, SPS*) als *IALA – special marks*:

Die IALA hebt hervor, dass den Verwendungsmöglichkeiten von synchronisierter Befeuerung, unterschiedlichen Kennungen und abgestuften Tragweiten große Beachtung geschenkt werden sollte, um Irritationen zu vermeiden, welche durch die zunehmende Zahl von Schifffahrtszeichen in durch Windparks dicht bebauten Seegebieten hervorgerufen werden könnte.

Die lichttechnische Nachtkennzeichnung von Offshore-Windparks sollte daher durch synchrone Befeuerung der eckwärtigen peripheren Windenergieanlagen mit gelben getakteten Feuern einer Nenntagweite von mindestens 5 Seemeilen derart erfolgen, dass die Feuer eine „*special mark*“-Kennzeichnung für „Sondergebiete“ nach dem IALA-Betonnungssystem (*IALA MBS*) darstellen. Der Abstand zwischen diesen von der IALA auch als „*markante Randkonstruktionen (Significant Peripheral Structure, SPS)*“ bezeichneten Anlagen sollte grundsätzlich nicht mehr als 3 Seemeilen betragen. Ausgewählte dazwischen liegende Anlagen an der Peripherie des Windparks sollten eben-

falls mit gelben Taktfeuern kenntlich gemacht werden; sie sollten eine Nenntagweite von nicht unter 2 Seemeilen aufweisen. Die Kennung bei den eckwärtigen Anlagen einerseits und den weiteren ausgewählten peripheren Anlagen andererseits sollte unterschiedlich sein.

Befuerung von Umspannstationen, meteorologischen Messmasten und einzeln stehenden Offshore-Windenergieanlagen:

Meteorologische Messmasten und Plattformen z. B für Umspannstationen sollten, sofern sie als Bestandteil eines Offshore-Windparks angesehen werden können, in das gesamte Windpark-Kennzeichnungskonzept integriert werden.

Sofern diese Elemente jedoch nicht als Bestandteile des Windparkkomplexes angesehen werden können, sollten sie als einzeln stehendes Offshore-Bauwerk (d.h. mit weißem Taktfeuer – entsprechend Morsealphabet „U“, effektive Betriebslichtstärke von mindestens 1.400 cd) gemäß der IALA-Empfehlung O-114 gekennzeichnet werden. Gleiches empfiehlt die IALA für Offshore-Windenergieanlagen die einzeln außerhalb von Windparks errichtet werden.

Die vorgestellten Regelungen sind für die IALA-Mitgliedsstaaten nicht bindend. Es obliegt den Mitgliedsstaaten über Art und Umfang der Implementierung von IALA-Empfehlungen in einschlägige nationale Regelwerke zu entscheiden.

## **1.6 Schifffahrtskennzeichnung für Offshore-Windenergieanlagen nach nationalen Regelungen**

Im Folgenden wird an Hand von Beispielen aus der Planungs- und Genehmigungspraxis die visuelle (licht- und farbtechnische) Kennzeichnung von Offshore-Windenergieanlagen in den Hoheitsgewässern und ausschließlichen Wirtschaftszonen von Ländern des europäischen Auslands und der Bundesrepublik Deutschland vorgestellt.

Dargestellte Beispiele geben einen Ausschnitt aus den durch wachsende Erfahrungen in stetigem Wandel und Anpassung befindlichen Regelungen der genannten Länder. Der exemplarische Überblick erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### **Großbritannien**

Die Schifffahrtskennzeichnung von Offshore-Windenergieanlagen unterliegt in England und Wales den Vorgaben des als oberste Seezeichenverwaltung (*General Lighthouse Authority, GLA*) fungierenden *Trinity House Lighthouse Service*.

Beispiele: Offshore Windparks North Hoyle, Kentish Flats und Beatrice Wind Farm Demonstrator Project:

Der im Jahre 2003 als erster größerer Offshore-Windpark Großbritanniens küstennah vor Nord Wales auf einer Fläche von 10 km<sup>2</sup> in relativ geringer Wassertiefe errichtete Windpark umfasst 30 Windenergieanlagen der 2-MW-Klasse. Die Gründungen wurden als Monopile-Fundamente ausgeführt. Die Anlagen sind in einem Abstand untereinander von 350 X 800 Metern angeordnet. Die folgende Abbildung 1 zeigt den nach Vorgabe von *Trinity House* realisierten Befeuerungs- und Kennzeichnungsplan.

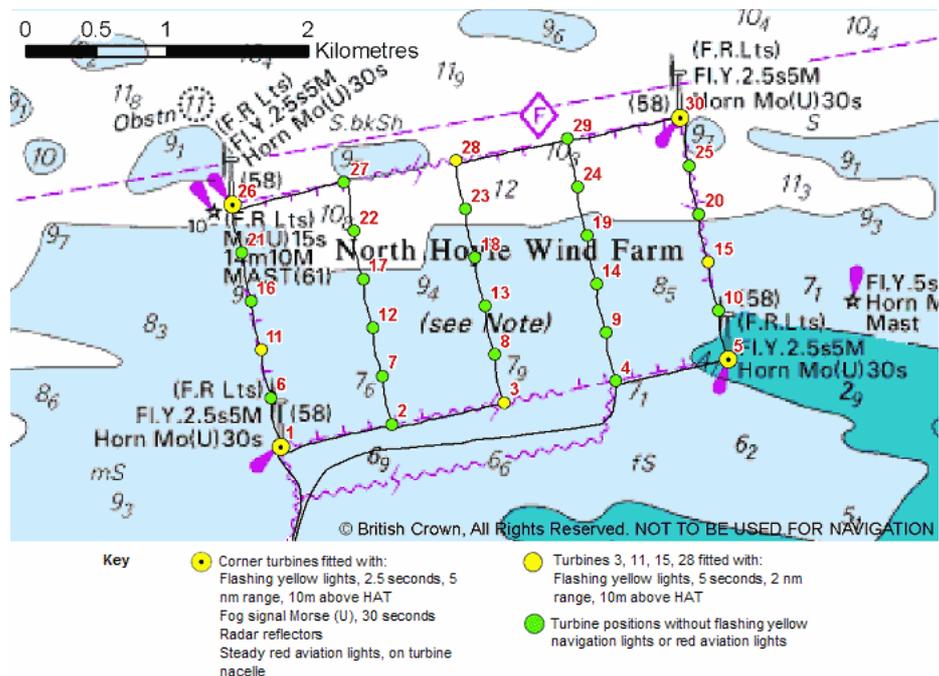


Abb. 1: Befeuerungs- und Kennzeichnungsplan North Hoyle Offshore Wind Farm, Wales ([www.npower-renewables.com/northhoyle/index.asp](http://www.npower-renewables.com/northhoyle/index.asp))

Die visuelle Schifffahrtskennzeichnung besteht hier aus einem gelben Anstrich aller Windenergieanlagen bis zu einer Höhe von HAT + 10 m. Alle Windenergieanlagen sind mit einer Nummerierung im unteren Bereich des Turmes und auf dem Maschinenhaus versehen. Ferner sind die 4 eckwärtigen Anlagen mit gelben Blitzlichtern, Taktung 2.5 Sekunden, 5 Seemeilen Nenntragweite gekennzeichnet. Weitere Anlagen an der Peripherie des Windparks sind ebenfalls mit gelb blitzenden Lichtern ausgestattet, jedoch mit Taktung 5 Sekunden und einer Nenntragweite von 2 Seemeilen. Die genannten Befeuerungen sind in einer Höhe von HAT + 10 m installiert. Die nach Errichtung des Offshore Windparks North Hoyle publizierte letzte Überarbeitung der IALA-Empfehlung O-117 wurde von *Trinity House* zwischenzeitlich weitgehend in die aktuellen Richtlinien („*Marking Renewable Energy Installations Farms and Fields - Provision and Maintenance of Local Aids*“

to Navigation“) übernommen<sup>1</sup>.

Abweichend von IALA sieht *Trinity House* die Höhe des gelben Anstrichs der Tageskennzeichnung bis mindestens HAT + 12 m (IALA: HAT +15m) oder bis in die Höhe ggf. noch darüber angebrachter Schiffsfahrtszeichen vor (Abbildung 2).

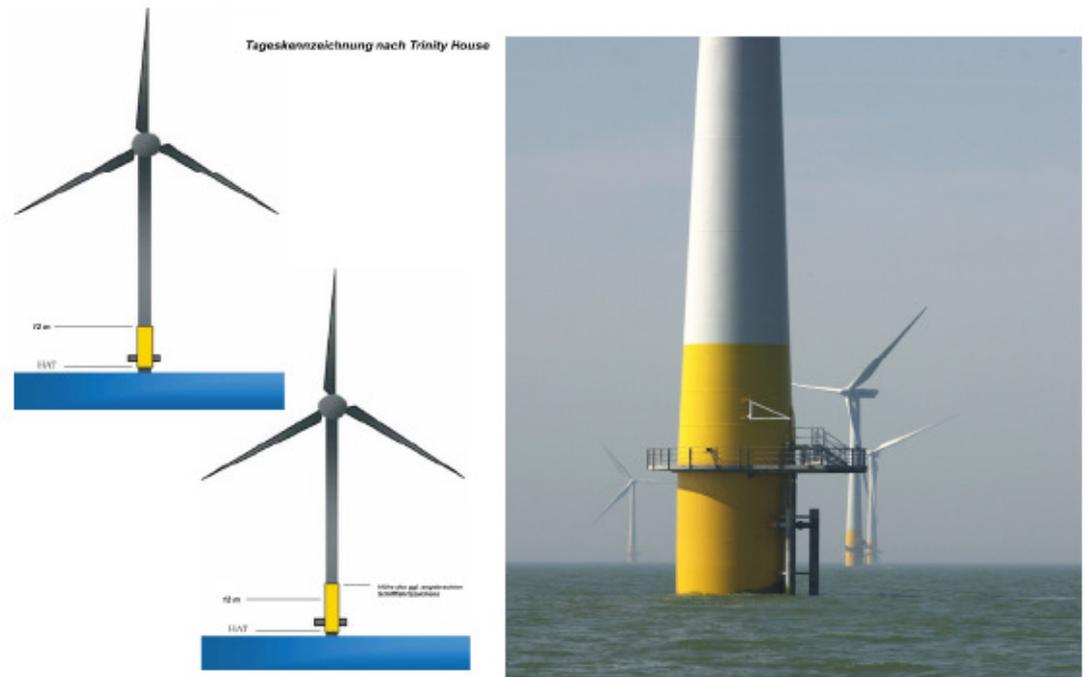


Abb. 2: Tageskennzeichnung für Offshore-Windenergieanlagen nach Vorgaben des *Trinity House Lighthouse Service* (Grafik nach IALA 2004, verändert sensu Trinity House 2008; Windfarm Kentish Flats<sup>2</sup>, Bild: ELSAM)

Beispiele für die Tageskennzeichnung von auf Jacket-Fundamenten gegründeten Offshore-Windenergieanlagen sind die beiden im Rahmen des Beatrice Wind Farm Demonstrator Project 25 km vor der schottischen Nordseeküste in einer Wassertiefe von ca. 45 m errichteten WEA der 5-MW-Klasse. Sie befinden sich am Rande des Beatrice Oilfield. Der Abstand der WEA untereinander beträgt 800 m. Die Jacketstruktur ist bis zur Zugangsplattform in 19m Höhe gelb angestrichelt.

<sup>1</sup> [http://www.trinityhouse.co.uk/aids\\_to\\_navigation/the\\_task/renewable\\_energy\\_documents/index.html](http://www.trinityhouse.co.uk/aids_to_navigation/the_task/renewable_energy_documents/index.html)

<sup>2</sup> Die Ausdehnung des gelben Anstrichs der Tageskennzeichnung auf den unteren Bereich des Turmes ist nach Angaben des Miteigentümers DONG Energy A/S sehr kostenintensiv (DONG Energy - Power, Planning & Environment Lars Bie Jensen Miljø- og myndighedskoordinator, Mitteilung vom 17. und 19.03.2008).

chen. Querverstrebungen des Gitterfachwerks waren wie in Abbildung 3 ersichtlich, hiervon ausgenommen. Ob hier nachträglich ein Anstrich vorgenommen wurde ist nicht bekannt<sup>3</sup>.



Abb.3: Beatrice Wind Farm Demonstrator Project, Bild © REpower

Die Nachtkennzeichnung folgt den Vorgaben von IALA und Trinity House. Nach Planerangaben war vorgesehen, die Anlagen nur mit der für die Schifffahrt nötigsten Befeuerung zu versehen, um Lichtemissionen zu minimieren: 2 gelb blitzende IALA 5-Seelaternen sollten in 19 m Höhe an jeweils gegenüberliegenden Ecken der Zugangsplattform angebracht werden um eine Rundumsichtbarkeit der Befeuerung sicherzustellen. Zur unmittelbaren Ausleuchtung des Arbeitsdecks der Zugangsplattform sowie der Boatlandings sollte ferner örtlich begrenzt Flutlicht eingesetzt werden. Für letzteres war ein durchgängiger Tag- und Nachtbetrieb vorgesehen. Inwieweit dieser Befeuerungsplan umgesetzt wurde, ist hier nicht bekannt.

---

<sup>3</sup> [http://www.beatricewind.co.uk/environmental\\_statement.pdf](http://www.beatricewind.co.uk/environmental_statement.pdf) und [http://www.beatricewind.co.uk/Uploads/Downloads/Scoping\\_doc.pdf](http://www.beatricewind.co.uk/Uploads/Downloads/Scoping_doc.pdf)

Von Seiten der britischen Küstenwache (Maritime and Coastguard Agency, MCA<sup>4</sup>) wird ferner für Offshore-Windenergieanlagen die Implementation einer Nahbereichskennzeichnung<sup>5</sup> gefordert. WEA sollen demnach, unter Berücksichtigung der Vermeidung unnötiger Lichtemissionen, mit einer Beleuchtung versehen sein, welche die Erkennung der individuellen Anlagenkennzeichnung (z. B. Beschriftung) für einen Betrachter von einem Standort in 3m Höhe über dem Wasserspiegel, mindestens über eine Distanz von 150m sicher ermöglicht.

---

<sup>4</sup> <http://www.mcga.gov.uk>

<sup>5</sup> The MCA's guidance on navigation Safety Issues for proposed UK Offshore Renewable Energy Installations - marine Guidance Note 275 [www.mcga.gov.uk/c4mca/mgn275-2.pdf](http://www.mcga.gov.uk/c4mca/mgn275-2.pdf), Annex 4:

*“All wind turbine generators (WTGs) will be marked with clearly visible unique identification characters. The identification characters shall each be illuminated by a low-intensity light visible from a vessel thus enabling the structure to be detected at a suitable distance to avoid a collision with it. The size of the identification characters in combination with the lighting should be such that, under normal conditions of visibility and all known tidal conditions, they are clearly readable by an observer, stationed 3 metres above sea levels, and at a distance of at least 150 metres from the turbine. It is recommended that lighting for this purpose be hooded or baffled so as to avoid unnecessary light pollution or confusion with navigation marks.”*

Siehe hierzu auch

*Interim Guidance for mariners operating in the vicinity of UK offshore wind farms*  
[www.mcga.gov.uk/c4mca/draft\\_interim\\_guidance.pdf](http://www.mcga.gov.uk/c4mca/draft_interim_guidance.pdf)

## Irland

### Beispiel: Arklow Bank Offshore Wind Farm

Der Offshore-Windpark Arklow Bank wurde im Jahr 2004 in Betrieb genommen. Die 7 Windenergieanlagen der 3-MW-Klasse wurden im Bereich einer Untiefe ca. 5 Seemeilen vor der Ostküste der Republik Irland auf Monopile-Fundamenten gegründet. Die einzelnen Anlagen sind in einem Abstand von ca. 600 m untereinander angeordnet<sup>6</sup>.



Abb. 4. Arklow Bank Offshore Wind Farm, Republik Irland, Bild: GE Energy, © 2005, General Electric International, Inc.

Nach Angaben des Betreibers<sup>7</sup> erfolgt die lichttechnische Schifffahrtskennzeichnung nach nationalen Regelungen der Republik Irland.

Am jeweiligen Ende der Anlagenreihe befindliche Windenergieanlagen sind durch gelb blitzende Seelaternen mit einer Nenntagweite von 10 Seemeilen gekennzeichnet. Diese Feuer sind im unteren Turmbereich am Geländer der Zugangsplattform bzw. unmittelbar darüber angebracht. Bei den übrigen Windenergieanlagen sind an gleicher Stelle gelb blitzende Seelaternen mit einer Nenntagweite von 5 Seemeilen installiert. Angaben zu etwaigen Unterschieden bezüglich Taktung und Synchronisation liegen nicht vor. Die Feuer strahlen ihr Licht unabhän-

---

<sup>6</sup> [http://www.gepower.com/businesses/ge\\_wind\\_energy/en/downloads/arklow\\_infosheet\\_final.pdf](http://www.gepower.com/businesses/ge_wind_energy/en/downloads/arklow_infosheet_final.pdf)

<sup>7</sup> Mitteilung von Herrn Schwencke, Airtricity an den BWE vom 25.01.2008

gig von der Tragweite horizontal in alle Richtungen ab. Die Tageskennzeichnung erfolgt im unteren Turmbereich durch als Doppelring rundum angebrachte, hoch reflektierende, gelbe Farbbänder (Abb. 4).

## Frankreich

### Beispiel: Offshore-Windpark Côte d'Albâtre

Der Standort des geplanten Offshore-Windparks Côte d'Albâtre befindet sich im Ärmelkanal ca. 3 Seemeilen nördlich der französischen Küste in der Nähe von Veulettes-sur-Mer. Geplant ist die Errichtung von 21 Windenergieanlagen der 5-MW-Klasse. Die Anlagen sind in 3 Reihen auf einer Fläche von ca. 15 km<sup>2</sup> geplant. Die Schifffahrtskennzeichnung folgt nach Planerangaben<sup>8</sup> den Empfehlungen der IALA (Abb. 5.).

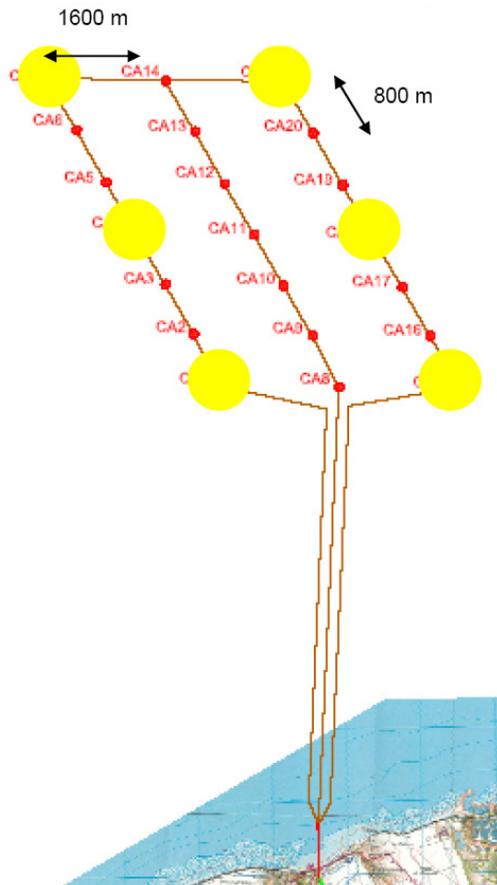


Abb. 5: Offshore-Windparkprojekt "Côte d'Albâtre" - Skizze des Befeuerungsplans (gelb: Schifffahrtszeichen; 5-Seemeilenlaternen) / Bild aus Fagot (2008)

<sup>8</sup> Fagot (2008): Atelier balisage des éoliennes - Eoliennes offshore et balisage en France. [http://www.wind-eole.com/de/system/files/Fagot\\_Enertrag\\_26.11.07.pdf](http://www.wind-eole.com/de/system/files/Fagot_Enertrag_26.11.07.pdf)

Gelbe 5-Seemeilenfeuer sind an den eckwärtigen Anlagen sowie an zwei weiteren Anlagen der Peripherielinie vorgesehen, so dass die Distanz zwischen zwei derart befeuerten Anlagen 2-Seemeilen nicht überschreitet. Die französischen Genehmigungsbehörden fordern für die Feuer eine Kennung Blitz, 4 Sekunden, um die Dauer der Dunkelphase möglichst kurz zu halten. Die weiteren Windenergieanlagen innerhalb des Windparks bleiben nach Sachstand vom Juni 2007 für die Schifffahrt unbefeuert<sup>9</sup>. Der von der IALA empfohlene gelbe Farbanstrich wird in der Farbe RAL 1003 HR bis zur Höhe der Schifffahrtskennzeichen angebracht. Ob es vorgesehen ist, auch nicht beleuchtete Anlagen farblich zu kennzeichnen, ist nicht bekannt.

## **Belgien**

Auch die belgischen Behörden<sup>10</sup> greifen bei in ihrem Zuständigkeitsbereich geplanten Offshore-Windparkplanungen auf die internationalen Regelungen der IALA für die Kennzeichnung als Schifffahrtshindernis zurück. Nach Errichtung aller für eine Genehmigung in Frage kommenden Projekte ist eine Vereinheitlichung der Befeuerung derart vorgesehen, dass alle belgischen Offshore-Windparks als ein zusammenhängendes Windparkgebiet für die Schifffahrt erkennbar sind. Abbildung 6 zeigt einen IALA-konformen Befeuerungsplan für das Windparkprojekt Bligh Bank, 46 km vor der Küste in der belgischen AWZ.

---

<sup>9</sup> PROCÈS VERBAL nO 012 SHOM/GCNINP des travaux de la grande commission nautique tenue le 20 juin 2007 dans les locaux de la direction départementale des affaires maritimes de Seine Maritime et de l'Eure;  
REUNION DE LA GRANDE COMMISSION NAUTIQUE: [www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_shom/pv/eoliennes.pdf](http://www.shom.fr/fr_page/fr_shom/pv/eoliennes.pdf).

<sup>10</sup> [http://www.mumm.ac.be/NL/Management/Sea-based/windmills\\_docs.php?proj=belwind](http://www.mumm.ac.be/NL/Management/Sea-based/windmills_docs.php?proj=belwind)

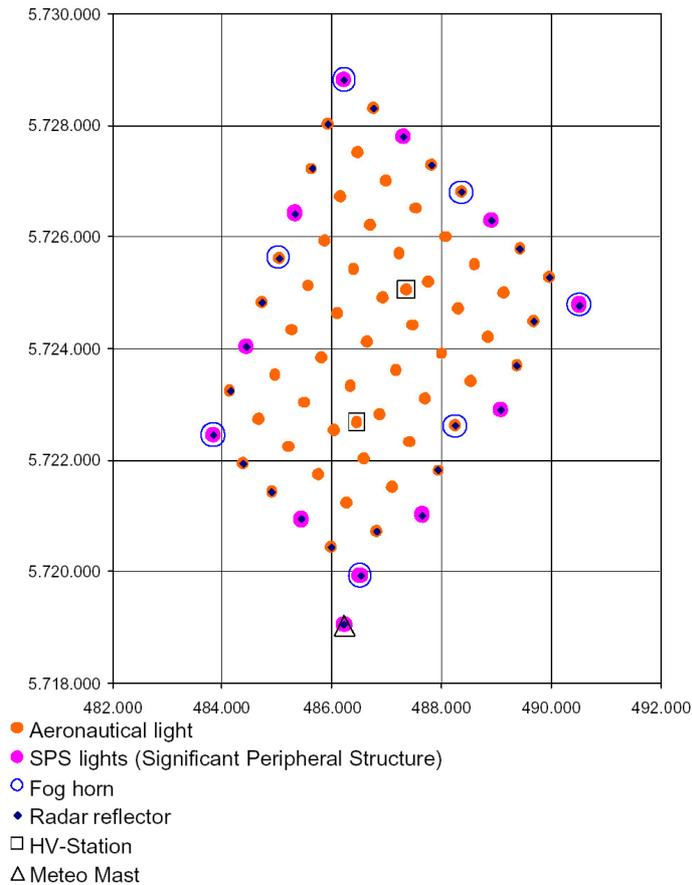


Abb. 6: Offshore-Windparkprojekt "Bligh Bank" - Skizze des Befeuerungsplans aus ECOLAS (2007)<sup>11</sup>

## Niederlande

Beispiele: Nearshore-Windpark (NSW) Egmont aan Zee, Offshore-Windparks Q7 und Katwijk

Aus der Genehmigungspraxis in den Niederlanden ist eine zunehmende Tendenz zur Anpassung der nationalen Vorgaben zur visuellen Schifffahrtskennzeichnung von Offshore-Windparks an die Standards der IALA ersichtlich. Sowohl bei dem in 2007 in Betrieb genommenen ersten niederländischen Windpark auf See, dem Near Shore Windpark NSW Egmont aan Zee (36 WEA der 3-MW-Klasse, Küstenentfernung ca. 5 Seemeilen), als auch bei dem in der niederländischen ausschließlichen Wirtschaftszone gelegenen Offshore-Windpark Q7 (60 WEA der 2-MW-Klasse, Küstenentfernung ca. 12 Seemeilen, Wasser-

<sup>11</sup> ECOLAS (2007) 07/12194/PV - MER Offshore Windmolenpark Bligh Bank  
<http://www.mumm.ac.be/Common/Windmills/belwind/12194-MEROffshoreWindmolenparkBlighBank.pdf>

tiefen 19-23 m, Inbetriebnahme 2008), wurde eine zunächst in Betracht gezogene Kennzeichnung randständiger Windenergieanlagen mittels Seelaternen roter Kennung durch Kennzeichnung mit Seelaternen synchronisierter gelber Kennung ersetzt (Ministerie van Verkeer en waterstaat 2004; WEOM 2007)<sup>12</sup>. Allerdings ist eine, laut der Genehmigungsunterlagen für den Windpark Egmont aan Zee vorgesehene Kennung mit gelbem Taktfeuer der Kennung Morsealphabet „U“, nicht mit *IALA Recommendations for the rhythmic characters of lights on aids to navigation E-110* vom Dezember 2005 konform. Ob eine Nahbereichskennzeichnung durch Beleuchtung der einzelnen Windenergieanlagen implementiert werden soll, geht aus genannten Genehmigungen nicht hervor.



Abb. 7: Windpark Egmont aan Zee, Niederlande  
Bild: <http://www.noordzeewind.nl>

Für den geplanten Offshore-Windpark Katwijk ist vorgesehen, die Beleuchtung bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von  $\leq 15$  Lux automatisch ein- und bei Werten von 60 Lux oder höher auszuschalten (WEOM 2006). Ein Datenblatt von in den Niederlanden zum Einsatz vorgesehenen IALA-Seelaternen ist nachfolgend beigefügt.

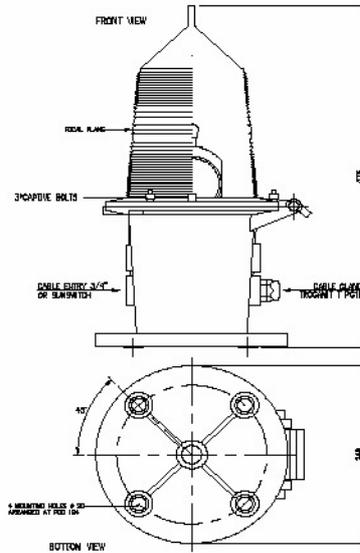
---

<sup>12</sup> Besluiten Near Shore Windpark (NSW): Beschikking Wet beheer rijkswaterstaatwerken (Wbr) NSW (9-3-2004)  
[http://www.noordzeeloket.nl/Images/Besluiten%20Noordzeewind%20\(Near%20Shore%20Windpark\)%20\(9-3-2004\)\\_tcm14-2342.pdf](http://www.noordzeeloket.nl/Images/Besluiten%20Noordzeewind%20(Near%20Shore%20Windpark)%20(9-3-2004)_tcm14-2342.pdf)

Ministerie van Verkeer en waterstaat (2004): Besluit wijziging verlichting Q7-WP (10-5-2004)  
[http://www.noordzeeloket.nl/Images/Besluiten%20E-connection%20\(Q7-WP\)%20\(18-2-2002\)\\_tcm14-2339.pdf](http://www.noordzeeloket.nl/Images/Besluiten%20E-connection%20(Q7-WP)%20(18-2-2002)_tcm14-2339.pdf)

WEOM (2007): Rapportage Proces vergunningverlening Offshore Windpark Egmond aan Zee, OWEZ\_R\_192\_20070820

## Datenblatt Seelaterne Orga FML 155SA



### BIJLAGE III: DATASHEETS PRODUCTEN

#### [5 NM yellow flashing medium range marine lantern](#)

Application	:	Buoys, jetties, channel markers, offshore platforms and windfarms.
Type	:	FML155SA
Make	:	Orga
Design ingress Protection	:	IP67
Lens material	:	Acrylic
Lens diameter	:	155 mm
Colour	:	Yellow.
Birdspike	:	Provided
Lens fixing	:	By hinge and captive screws.
Base material	:	Polycarbonate
Hardware	:	Stainless steel 316 or brass.
Lampchanger	:	Type ALC6-SA with 6 lamp positions. Dual filament lamp optional.
Lamps	:	12 VDC, size dependant on required range, up to 100 W. (12V/1.15A for 5 NM)
Lamp life expectancy	:	6 x 1000 burning hours.
Accuracy lampchanger	:	0,08 mm in focal plane. Automatic rotation stop after last lamp.
Horizontal divergence	:	360°, screens optional.
Vertical divergence	:	5°, 10.5° optional
Operating voltage	:	12 VDC (8-16 VDC), other voltages on request.
Short circuit protection	:	Provided
Reverse polarity protection	:	Provided
Cable entries	:	1 provided, M25
Dimensions (lxxw)	:	Approx. Ø250 x 475 mm
Mounting	:	Four mounting holes ø15 mm at bcd 200 mm.
Weight	:	Approx. 5 kg

Note: With transformer instead of flasher suitable for use with Navaid's central control panel.

Abb. 8: Seelaterne aus WEOM (2006)<sup>13</sup>

<sup>13</sup> WEOM (2006): Wbr vergunningaanvraag Windpark Katwijk - Verlichtingsplan, Bijlage III: Datasheets Producten 5 NM yellow flashing medim range marine lantern (Type Orga FML 155SA).

## Dänemark

Die Befeuereung von Offshore-Windparks in Dänemark folgt den Vorgaben der „Royal Danish Administration of Navigation and Hydrography, dän. Farvandsvæsenet (FRV)“<sup>14</sup>. Die Regelungen basieren auf den internationalen IALA Standards.

Beispiele: Offshore-Windparks Horns Rev I & II (Nordsee) und Nysted (Ostsee)

Die 80 2-MW-Anlagen des Offshore-Windparks Horns Rev I wurden bereits im Jahre 2002 rund 11 Seemeilen vor der dänischen Küste in der Nordsee auf einer Fläche von etwa 20 km<sup>2</sup> errichtet. Die Wassertiefe beträgt hier 6-14 m.

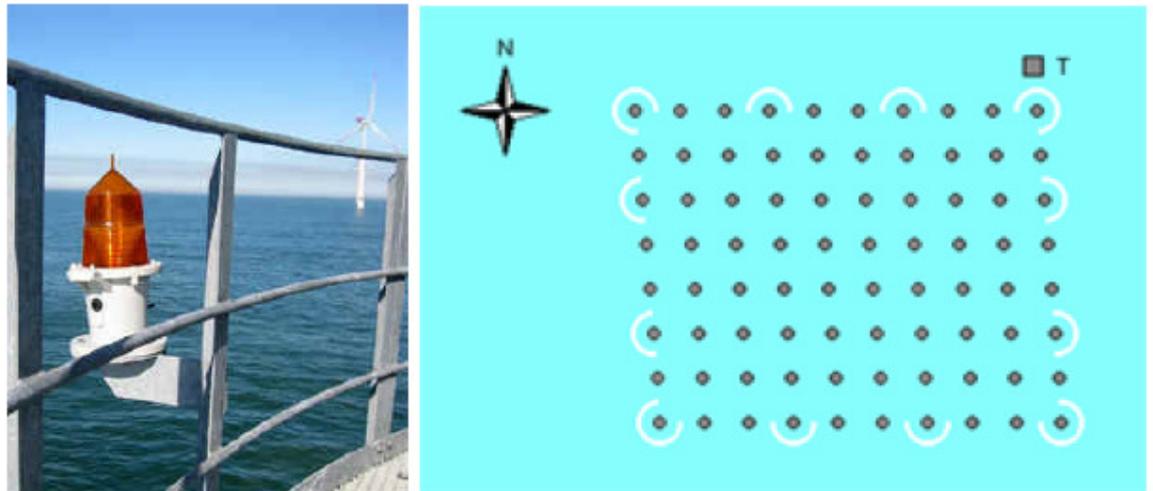


Abb. 9: Seelaterne und Befeuerungsschema HornsRev

Quelle: DONG Energy [www.hornsrev.dk/Engelsk/default\\_ie.htm](http://www.hornsrev.dk/Engelsk/default_ie.htm)

Die Kennzeichnung für die Schifffahrt erfolgt mittels IALA-5-Seemeilenlaternen der Kennung

gelb Blitz (3) 10s (1+1+1+1+5),

was bedeutet, dass die Feuer innerhalb eines 10-Sekunden-Zeitintervalls mit Pausen von einer Sekunde 3 mal jeweils einen gelben Blitz abstrahlen. Nach dem dritten Blitz folgen 5 Sekunden Pause:

Blitz - 0 - Blitz - 0 - Blitz - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

<sup>14</sup> <http://www.fomfrv.dk>

Die Feuer sind miteinander synchronisiert. Die Befeuerung ist bei Horns Rev I laut Projekt-Webseite<sup>15</sup> nur bei Dunkelheit eingeschaltet.

Beispiele: Horns Rev II und Nysted:

Der ca. 16 Seemeilen vor der Küste derzeit im Bau befindliche Windparks Horns Rev II umfasst 91 Windenergieanlagen der 3-MW-Klasse. Nach Angaben von DONG Energy<sup>16</sup> wurden folgende in Dänemark aktuell geltende Vorschriften zur visuellen Kennzeichnung von Offshore-Windparks für die Schifffahrt bei der Befeuerung von Horns Rev II zu Grunde gelegt:

- Die Befeuerung muss gelb und synchron blinken und eine photometrische Lichtstärke von 75 Candela oder eine Nenntagweite von 5 Seemeilen aufweisen.
- Die Befeuerungen der Eckturbinen müssen in einem Winkel von 270 Grad horizontal sichtbar sein. In passendem Abstand müssen Randturbinen mit einer Befeuerung mit horizontalem Abstrahlungswinkel von mindestens 180 Grad ausgestattet werden. (Dies gilt für weitgehend rechteckige Windpark-Layouts).
- Die Laternen können direkt am Geländer der Zugangsplattform befestigt werden oder direkt am Turbinenturm in ca. 2 Meter Höhe über der Plattform (um unbeabsichtigte Abdeckung zu vermeiden).
- Türme müssen nicht indirekt beleuchtet werden, die Anlagen innerhalb des Parks bleiben bis auf die Befeuerung für die Luftfahrt gänzlich unbefeuert.
- Im Unterschied zu Horns Rev I wird die Befeuerung 24 h am Tag betrieben, es gibt keinen Unterschied zwischen Tages- und Nachtkennzeichnung. Ob eine entsprechende Anpassung der Befeuerung bei Horns Rev I vorgenommen wurde, ist nicht bekannt.
- Vorschriften zur Verfügbarkeit der Befeuerung bestehen nicht.
- Die Laternen müssen ihren Strom von der einzelnen Turbine beziehen, aber auch ein unabhängiges back-up-System durch Batterien aufweisen.

---

<sup>15</sup> <http://www.hornsrev.dk>

<sup>16</sup> DONG Energy - Power, Planning & Environment , Lars Bie Jensen Miljø- og myndighedskordinator, Mitteilung vom 17. und 19.03.2008

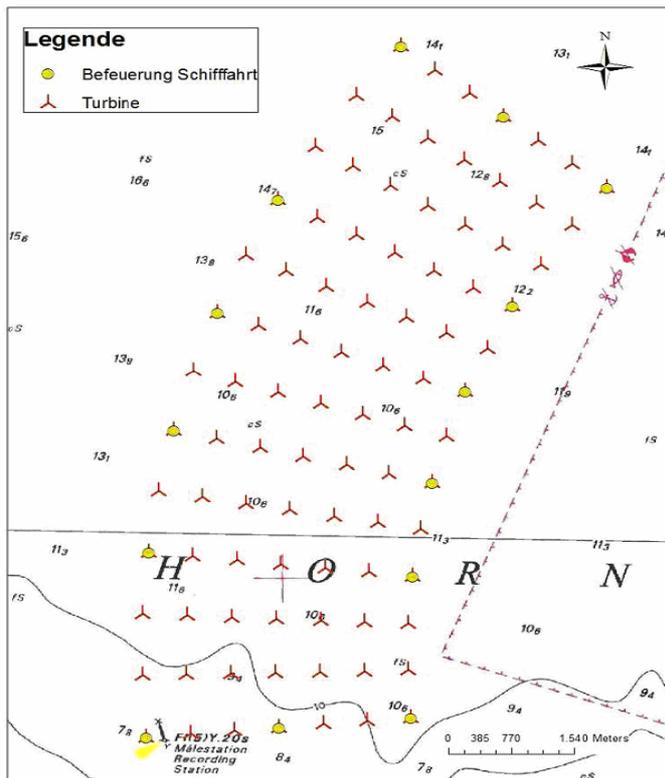


Abb.10: HornsRev II - Übersichtskarte der Schifffahrtskennzeichnung (Befeuerung), (Bild: DONG Energy /2008)

Abhängig vom Seegebiet und Fundamentstyp kann verlangt werden, dass die Turbinen vom Wasserspiegel (HAT) bis mindestens 10 m Höhe gelb angestrichen werden müssen. Nach aktueller Genehmigungspraxis der dänischen Behörden bleibt die gelbe Farbkennzeichnung bei Monopiles auf das Fundament einschließlich Turmschaft (*Übergangsstück*, engl. „*transition piece*“) beschränkt. Der Turm ist hiervon ausgenommen.



Abb.11: Windpark Nysted Siemens press picture

Die visuelle Kennzeichnung der 72 WEA der 2-MW-Klasse des in der Ostsee ca. 5 Seemeilen südlich von Lolland auf der Rødsand Bank gelegenen Offshore-Windparks Nysted folgt ebenfalls den hier genannten Vorschriften. Bei den auf Betonfundamenten gegründeten Windenergieanlagen wurde auf einen gelben Farbanstrich verzichtet. Die Transformatorplattform ist durch ein weißes Blinkfeuer gekennzeichnet ("U").

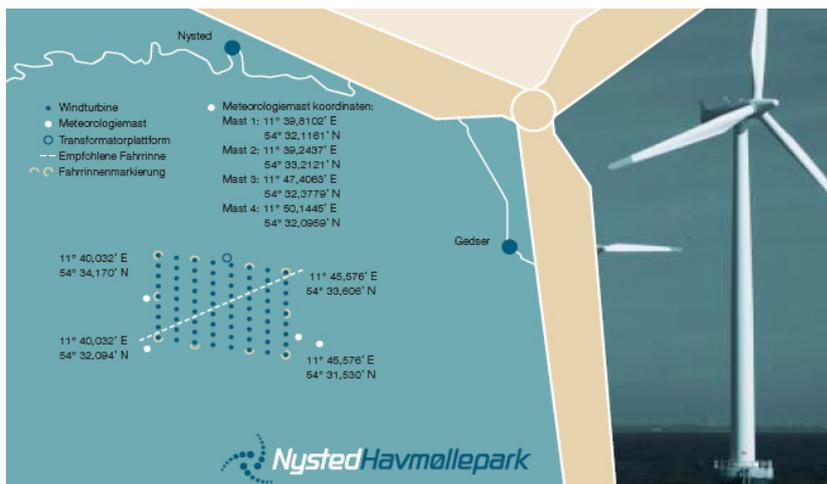


Abb. 12: Befuerungsschema des Windparks Nysted

Quelle: <http://uk.nystedhavmoellepark.dk/upload/pdf/17490tyskny.pdf>

## **Bundesrepublik Deutschland**

In Deutschland liegen bislang keine Erfahrungen aus dem Betrieb von Offshore-Windparks vor. In absehbarer Zeit sollen jedoch innerhalb des deutschen Küstenmeeres und im Bereich der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in Nord- und Ostsee Windenergieanlagen errichtet werden.

### **Rechtsrahmen:**

#### **Küstenmeer**

Innerhalb der 12 sm-Grenze, d.h. im Bereich des Küstenmeeres, sind die jeweiligen Bundesländer für die Errichtung und den Betrieb von WEA rechtlich zuständig.

Soweit durch derartige Anlagen eine Beeinträchtigung des für die Schifffahrt erforderlichen Zustandes einer Bundeswasserstraße oder der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs zu erwarten ist, besteht die Erfordernis einer strom- und schifffahrtspolizeilichen Genehmigung (ssG) des örtlich zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamtes nach § 31 Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG). Können o.g. Beeinträchtigungen auch durch Bedingungen und Auflagen nicht ausgeglichen werden, ist eine ssG gemäß § 31 Abs. 5 WaStrG zu versagen. Dies gilt auch, soweit eine Genehmigungspflicht nach Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) besteht und eine inhaltliche Einbindung einer ssG durch Einkonzentrierung in eine Genehmigung nach BImSchG erfolgt.

Versagensgründe liegen allgemein dann vor, wenn der Betrieb oder die Wirkung von Schifffahrtsanlagen oder -zeichen, die Benutzung der Schifffahrtswege, die Schifffahrt selbst oder der schiffbare Zustand von Bundeswasserstraßen beeinträchtigt würden und dies durch Bedingungen und Auflagen nicht ausgeglichen werden kann. Die Entscheidung über die Genehmigungs- bzw. Zustimmungsfähigkeit von Windenergieanlagen erfolgt regelmäßig im Rahmen einer Einzelfallprüfung durch die zuständige Stelle der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Gemäß § 12 - 17 Luftverkehrsgesetz (LuftVG) erfolgt die Zustimmung durch die zuständige Luftfahrtbehörde des Bundeslandes.

#### **AWZ**

Der Großteil in Deutschland bereits erteilter Genehmigungen für Offshore-Windparks betrifft Standorte in der AWZ der Nord- und Ostsee: siehe

<http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/CONTIS-Informationssystem/ContisKarten/NordseeOffshoreWindparksPilotgebiete.pdf>

und

<http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/CONTIS-Informationssystem/ContisKarten/OstseeOffshoreWindparksPilotgebiete.pdf> .

Über die Zulassung von Windenergieanlagen in der AWZ entscheidet das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)<sup>17</sup>. Grundlagen für die Errichtung von Anlagen in der AWZ sind das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen vom 10. Dezember 1982 (SRUe) und das deutsche Seeaufgabengesetz (SeeAufgG). Die darauf beruhende Seeanlagenverordnung (SeeAnIV) regelt das Genehmigungsverfahren.

Vor Erteilung einer Genehmigung ist die Zustimmung der regional zuständigen Wasser- und Schifffahrdirektion (WSD) unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs gemäß § 6 SeeAnIV einzuholen. In § 3 SeeAnIV sind die materiellen Genehmigungsvoraussetzungen in Form von Versagungsgründen abschließend aufgeführt. Eine Genehmigung zur Errichtung eines Windparks ist demnach zu versagen,

- wenn die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs beeinträchtigt oder
  - die Meeresumwelt gefährdet wird,
- ohne dass dies durch eine Befristung, durch Bedingungen oder Auflagen verhütet oder ausgeglichen werden kann. Die SeeAnIV räumt keinerlei Ermessen ein, es besteht ein Rechtsanspruch auf Errichtung des Offshore-Windparks, wenn keiner der beiden Versagungsgründe vorliegt.

Für weitere Ausführungen zum Rechtsrahmen wird auch verwiesen auf *Giertz, P. (2005)*<sup>18</sup> und *Zeiler et al. (2005)*<sup>19</sup>.

Die luftrechtlichen Belange werden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens gemäß § 3 Satz 2 Nr. 2 i.V.m. §§ 4 und 5 Seeanlagenverord-

---

<sup>17</sup> <http://www.bsh.de>

<sup>18</sup> *Giertz, P. (2005): Offshore-Windenergie im Bereich der WSD Nordwest, in WSD Nordwest (Hrsg.): Zwischen Weser und Ems 2005 Heft 39, S. 84 -108*  
[http://www.wsd-nordwest.de/downloads/Themen\\_aus\\_Heft\\_39/INFO2005\\_Beitr\\_14.pdf](http://www.wsd-nordwest.de/downloads/Themen_aus_Heft_39/INFO2005_Beitr_14.pdf)

<sup>19</sup> *M. Zeiler, C. Dahlke, N. Nolte (2005): Offshore-Windparks in der ausschließlichen Wirtschaftszone von Nord- und Ostsee, in : pro met, Jahrg. 31, Nr. 1, S. 71-76 (April 2005)*  
[http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/Genehmigungsverfahren\\_fuer\\_Offshore-Windparks.pdf](http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/Genehmigungsverfahren_fuer_Offshore-Windparks.pdf)

nung im Wege der Beteiligung der betroffenen Fachbehörden mitberücksichtigt.

Die technischen Anforderungen, die im Wege der Beteiligung von den Fachbehörden überprüft werden müssen, ergeben sich für Hubschrauberlandedecks aus den Vorgaben des Anhangs 14, Band II zum Abkommen von Chicago über die Internationale Zivilluftfahrt vom 07. Dezember 1944 und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zur Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Hubschrauberflugplätzen vom 19. Dezember 2005. Im Hinblick auf die technischen Anforderungen bei der Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen ist die Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen vom 08. Mai 2007 Grundlage für die Genehmigung.

Die technischen Vorgaben der o.g. AVV's sind von den Antragstellern durch entsprechende Eignungsgutachten nachzuweisen und dem BSH zur Prüfung vorzulegen.

Das BSH legt die luftrechtlichen Belange der zuständigen Behörde (derzeit dafür zuständige Stelle ist das BMVBS) zur Prüfung und Zustimmung vor.

### **Die optische Tages- und Nachtkennzeichnung zukünftiger deutscher Offshore-Windparks als Schifffahrtshindernis**

Um den Versagensgrund einer Beeinträchtigung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auszuschließen, kommt eine maßgebliche Bedeutung u. a. der regelmäßig vom BSH in Offshore-Windparkgenehmigungen getroffenen Anordnung zu, die Tages- und Nachtkennzeichnung der Anlagen gemäß Empfehlungen der IALA und der darauf aufbauenden *Richtlinie der WSDen Nord und Nordwest und der Fachstelle der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für Verkehrstechnik (FVT) zur Kennzeichnung, Gestaltung und Betrieb von Offshore-Windenergieanlagen* zu gestalten.

Diese Richtlinie unterliegt, vor dem Hintergrund auch international zunehmender Erfahrungen mit der verkehrstechnischen Kennzeichnung von Offshore-Windparks und –anlagen, stetiger Fortschreibung.<sup>20</sup> Bei Ihrer Anwendung in der einzelfallbezogenen Vorhabensprüfung kann es erforderlich werden, dass abweichende oder ggf. dem Wortlaut der Richtlinie entgegenstehende Auflagen im Rahmen der Nebenbestimmungen von Genehmigungen nach SeeAnIV, bzw. bei Genehmigungs-

---

<sup>20</sup> Die WSD-Kennzeichnungsrichtlinie wird z.Z reformiert. Hier dargestellte Anforderungen an die Schifffahrtskennzeichnung spiegeln den i. d. Genehmigungspraxis aktuell bereits zu Grunde gelegten Sachstand im Sinne der Reform wieder. (siehe auch Anlage 11, „Vorläufige Technische Information zur Kennzeichnung von Offshore WEA)

verfahren zu Windparkprojekten im Küstenmeer nach WaStrG oder BImSchG durch die jeweils zuständigen Behörden verbindlich auferlegt werden, um der nautisch-verkehrlichen Situation im jeweiligen Seegebiet gerecht zu werden.

Die folgenden Ausführungen basieren auf Angaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest und der Fachstelle der WSV für Verkehrstechniken (FVT WSV) zum derzeitigen Stand der, an die visuelle Tages- und Nachtkennzeichnung zukünftiger deutscher Offshore-Windparks anzulegenden Anforderungen.

#### Tageskennzeichnung

Die Tageskennzeichnung jeder Offshore-Windenergieanlage erfolgt in der Regel durch einen 15 m hohen gelben Anstrich und eine Beschriftung. Innerhalb dieses Bereiches sind der Mast/Turmschaft sowie alle Anlagenteile, wie z. B. Leitern, Plattformen, Kräne, etc. gelb anzustreichen. Bei Anlagen in der Nordsee ist der Anstrich in einem Bereich von HAT bis HAT plus 15 Meter erforderlich. In der Ostsee gilt dies im Bereich von 2 bis 17 Metern über dem „Mittleren Wasserstand“. Der Turmschaft jeder einzelnen Windenergieanlage eines Windparkclusters ist mit schwarzer Beschriftung zur Identifikation zu kennzeichnen. Sie ist rundum mehrfach anzuordnen.

### **Die visuelle Nachtkennzeichnung als Schifffahrtshindernis**

#### **Vermeidung unnötiger Lichtemissionen**

Um den Versagenstatbestand einer Gefährdung der Meeresumwelt nach SeeAnIV auszuschließen, wird u. a. regelmäßig in Nebenbestimmung 4.1 von Windparkgenehmigungen durch das BSH zur Auflage gemacht, dass die baulichen Anlagen in einer Weise konstruiert sein müssen,

*„dass weder bei der Errichtung noch bei dem Betrieb nach dem Stand der Technik vermeidbare Emissionen von Schadstoffen, Schall und Licht in die Meeresumwelt auftreten oder - soweit diese durch Sicherheitsanforderungen des Schiffs- und Luftverkehrs geboten und unvermeidlich sind - möglichst geringe Beeinträchtigungen hervorgerufen werden.“*

Auch für die Sicherheit des Schiffsverkehrs ist eine Beschränkung der Lichtemissionen auf das notwendige Maß von Bedeutung. Einerseits ist bei raumgreifenden baulichen Einrichtungen wie Windparks auf See sicherzustellen, dass sie für den passierenden Schiffsverkehr weithin sichtbar und in ihrer räumliche Ausdehnung und Lage erkennbar sind.

Andererseits können jedoch ggf. bei nächtlicher Anstrahlung aller Windenergieanlagen eines Offshore-Windparkgebietes u. U. hervorgerufene großräumige Steigerungen der Hintergrundhelligkeit des Nachthimmels (sogenannte „Lichtglocken“) die Erkennbarkeit sonstiger Schifffahrtszeichen gegenüber dem natürlicherweise dunklen Horizont beeinträchtigen. Daher folgen die von WSDn und BSH gestellten Anforderungen an die lichttechnische Kennzeichnung von Offshore-Windparks der Maxime „soviel Licht wie nötig, so wenig wie möglich“. Aus diesem Grunde fordert das BSH den Einsatz der LED-Technik<sup>21</sup>, sofern sie Stand der Technik ist und unnötige Lichtemissionen dadurch verhindert werden können.

Das BSH ordnet in seinen Windparkgenehmigungen an, einen Befeuerungsplan mit dem BSH und der jeweils zustimmungspflichtigen WSD abzustimmen. Er ist Bestandteil des für jeden Windpark zu erstellenden Schutz- und Sicherheitskonzeptes und wird im Rahmen dessen integraler Bestandteil der betreiberseitigen Anlagensicherung.

Die Nachtkennzeichnung für die Schifffahrt besteht aus einer Befeuerung aller peripheren Windenergieanlagen mit gelben 5-Seemeilenfeuern und in der Regel einer Nahbereichskennzeichnung jeder einzelnen Windenergieanlage. Die gesamte Befeuerung ist eine Stunde vor Sonnenuntergang ein- und eine Stunde nach Sonnenaufgang (Bezugsort Cuxhaven) auszuschalten. Die Feuer der visuellen Nachtkennzeichnung sind auch tagsüber zu betreiben, wenn die horizontale natürliche Beleuchtungsstärke unter 150 Lux, die praktische meteorologische Sichtweite unter 1000 m liegt oder eine spezielle Aufforderung zum Betrieb seitens der WSV ergeht. Die Verfügbarkeit aller Leuchten muss 99 % entsprechend der *IALA Recommendation O-117* betragen. Alle zur Nachtkennzeichnung verwendeten Leuchten müssen eine automatische Überwachung zur Erkennung einer Betriebsstörung besitzen.

### **5-Seemeilenfeuer**

Die Windenergieanlagen (WEA) an den Eckpositionen eines Windparks sind als *Significant Peripheral Structure (SPS)* im Sinne der *IALA Recommendation O-117* mit der Kennung Ubr. (3) gelb, 16 Sekunden, 5 sm Nenntragweite synchron zu befeuern. Die übrigen außen liegenden WEA sind mit 5-Seemeilenfeuer der Kennung Blz. gelb, 4 Sekunden, Nenntragweite 5 sm zu kennzeichnen. Die photometrische Lichtstärke der Leuchtmittel soll 120-150 Candela betragen.

Die hier vorgeschriebene, auch nach *IALA Recommendation O-117* in Betracht zu ziehende Befeuerung aller randständigen Anlagen ist in

<sup>21</sup> Siehe hierzu auch: *IALA- Guideline 1048 - on LED Technologies and their use in Signal Lights Edition 1 – December 2005*

den dicht befahrenen deutschen Seegebieten aus Gründen der Sicherheit des Schiffsverkehrs erforderlich. Dies gilt insbesondere in der Nordsee für Windparks in dem als Eignungsgebiet für Windenergieanlagen nach SeeAnIV ausgewiesenen Seegebiet zwischen dem Verkehrstrennungsgebiet (VTG) Terschelling-German Bight und dem VTG German Bight-Western Approach. Allein im VTG Terschelling-German Bight wurden jährlich ca. 30.000 Schiffsbewegungen registriert (WSD Nordwest). Auch wegen der Nähe zu Inseln und Schutzgebieten sind hier besonders hohe Anforderungen an die Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs zu stellen.

Durch eine harmonisierte Taktung der Feuer wird erreicht, dass für die Schifffahrt die jeweiligen Windparkcluster in ihrer räumliche Ausdehnung und Lage erkennbar sind. Die Ausgestaltung der horizontalen Abstrahlcharakteristik der 5-Seemeilenfeuer wird im Rahmen des Befeuierungsplanes mit der zuständigen Stelle der WSV und dem BSH abgestimmt. In zukünftige Entscheidungen des BSH über die Art dieser Befeuierung werden, u. a. durch das Offshore-Testfeld „alpha ventus“ ggf. gewonnene Erkenntnisse einfließen.

Die maximale Installationshöhe und etwaige Realisierung der Befeuierung durch Teilfeuer unterliegt, den hydrologischen Bedingungen im jeweiligen Seegebiet und dem Konstruktionstyp des Windenergieanlagenfundamentes (Monopile, Tripile, Jacket o. ä) entsprechend, der Entscheidung im Einzelfall. Maßnahmen zur Minimierung seeschlagbedingten Beschädigungsrisikos für die Befeuierung werden von den zuständigen WSDn geprüft.

Für den Fall, dass weitere Windparks in unmittelbarer Nachbarschaft errichtet werden, so dass eine Durchfahrt von Schiffen nicht mehr möglich ist, hat eine Anpassung der Befeuierung peripherer Windenergieanlagen zu erfolgen.

Einzel errichtete Offshore-Windenergieanlagen sind mit einer gelben 5-Seemeilen-Befeuierung (Kennung Morsealphabet (U) 8s) auszustatten. Der horizontal auszuleuchtende Sektor beträgt hier 360°.

Die Befeuierung aller deutschen Windparks und Einzelanlagen auf See ist nach koordinierter Weltzeit (UTC) zu synchronisieren. UTC ist z. B. via Umrechnung von Zeitsignalen (MEZ/MESZ) des Langwellensenders DCF-77 der Physikalisch Technischen Bundesanstalt oder über das Satellitennavigationssystem GPS verfügbar.

### **Kennzeichnung von Offshore-Umspannwerken**

Im Windpark z. B. für Umspannwerke errichtete Plattformen sind entsprechend ihrer Lage zu kennzeichnen: im Windpark gelegene Plattformen sind lediglich mit einer Nahbereichskennzeichnung zu versehen (siehe unten). Für an der Peripherie eines Windparks gelegene

Plattformen gelten dieselben Kennzeichnungsregeln wie für entsprechende WEA. Sofern Plattformen in einem Abstand zum Windpark stehen, der eine Passage von Schiffen zwischen beiden zulässt, sind sie als einzeln stehendes Offshore-Bauwerk gemäß der *IALA-Empfehlung O-114* mit weißem Taktfeuer entsprechend Morsealphabet „U“ zu versehen.

### **Nahbereichskennzeichnung als Schifffahrtshindernis**

Auf See errichtete WEA sind in der Regel mit einer Nahbereichskennzeichnung zu versehen. Die Nahbereichskennzeichnung erfolgt entweder durch die Anstrahlung der Tageskennzeichnung (Beschriftung und gelber Farbanstrich; Leuchtdichte mindestens 10 cd/m<sup>2</sup>) oder durch eine selbst leuchtende Beschriftung. Kombinationen beider Kennzeichnungsarten sind erlaubt. Ebenso ist die Darstellung der Beschriftung durch innen beleuchtete Tafelzeichen zulässig. Die Nahbereichskennzeichnung muss bis zu einem Abstand von 1000 m rundum sichtbar sein. Sie ist als gelbes Festfeuer auszuführen. Unnötige Lichtemissionen sind zu vermeiden, bei Anstrahlung der Tageskennzeichnung darf kein direktes Licht von der Lichtquelle horizontal nach außen abgestrahlt werden. Streulicht ist zu minimieren.

Soweit Windenergieanlagen einzeln in Seeschifffahrtsstraßen errichtet werden und in Ausnahmefällen eine 500m-Sicherheitszone nebst einhergehendem Befahrensverbot für die Schifffahrt nicht ausgewiesen werden kann, ist die Nahbereichskennzeichnung durch eine deutlich hellere indirekte Schaft- bzw. Turmanstrahlung zu ersetzen (Leuchtdichte mindestens 30-100 cd/m<sup>2</sup>). Hingegen können Einzelanlagen, die im Ausnahmefall nicht als Schifffahrtshindernis eingestuft werden, weil sie z. B. in nicht schiffbarem Gewässer stehen, bis auf die Luftfahrtfeuer unbefeuert bleiben.

### **Für die visuelle Schifffahrtskennzeichnung in der Bundesrepublik Deutschland mitgültige Vorschriften und Regeln**

- *IALA-Betonnungssystem*
- *DIN 5033 Farbmessung*
- *DIN 6171 Aufsichtfarben für Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen*
- *IALA Recommendations for the marking of Offshore Wind Farms O-117, Dezember 2004*
- *IALA Recommendation O-114 on the marking of offshore structures*
- *IALA Recommendations for the rhythmic characters of lights on aids to navigation E-110, Dezember 2005*

- *IALA Recommendation O-130 On Categorisation and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation, Dezember 2004*
- *IALA Guideline No. 1035 To Availability and Reliability of Aids to Navigation, Dezember 2004*
- *IALA-Recommendation for the colours of light signals on aids to navigation (1977)*
- *IALA-Recommendation E-122 On the photometry of marine aids to navigation signal lights, Juni 2001*
- *DIN EN 12899-1: Ortsfeste, vertikale Straßenverkehrszeichen (Teil 1: Ortsfeste Verkehrszeichen); Tabelle 10 Klasse L1 und Tabelle 12 Klasse U2*

## **1.7 Kennzeichnungspflicht für WEA im Einzelfall unter Berücksichtigung der verschiedenen Regelwerke**

Im Folgenden wird für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland dargestellt, welche Bedeutung die bereits im Einzelnen erläuterten Regelwerke (AVV, ICAO-Standards und Empfehlung, WSD-Richtlinie, IALA-Empfehlung) für die Festlegung konkreter Kennzeichnungspflichten von WEA durch die zuständige Behörde haben.

### **Onshore-Windenergieanlagen:**

In Deutschland onshore zu errichtende WEA bedürfen im Regelfall einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG). Die zuständige Genehmigungsbehörde bestimmt sich nach dem jeweiligen Recht des Bundeslandes; zuständig sind insoweit entweder die Landkreise oder das Land selbst (Bezirksregierungen, Landesverwaltungsämter etc.).

Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung ist eine gebundene Entscheidung, d.h. sie ist zu erteilen, wenn die Genehmigungsvoraussetzungen des § 6 BImSchG vorliegen. Entscheidend ist dabei insbesondere, dass öffentlich-rechtliche Vorschriften der Errichtung und dem Betrieb der Anlage nicht entgegenstehen.

Eine solche Vorschrift stellt § 14 des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG) dar, wonach die Errichtung von Bauwerken, die eine Höhe von 100 m über der Erdoberfläche überschreiten, nur mit Zustimmung der Luftfahrtbehörden genehmigt werden darf. Eine solche Zustimmung kann auch davon abhängig gemacht werden, dass die Genehmigung unter Auflagen erteilt wird (§ 14 Abs. 1 i.V.m. § 12 Abs. 4 LuftVG). Auf dieser Grundlage fordern die im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren beteiligten Luftfahrtbehörden regelmäßig die Kennzeichnung von WEA mit einer Gesamthöhe von mehr als 100 m zur Tag- und Nachtzeit.

Für die Beurteilung der Frage, auf welche Art und Weise die zur Genehmigung gestellten WEA gekennzeichnet werden sollen, greifen die Luftfahrtbehörden auf die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (AVV) vom 28.04.2007 zurück (siehe dazu Kap. 1.2). Bei dieser handelt es sich nicht um ein Gesetz, welches unmittelbare Wirkung gegenüber dem Einzelnen hat. Vielmehr hat die AVV als Verwaltungsvorschrift behördeninterne Verbindlichkeit. Das bedeutet, dass sie von den Luftfahrtverwaltungen der Länder im Rahmen ihres Zustimmungserfordernisses anzuwenden ist (siehe Nr. 1.1 und 1.2 der AVV).

Die AVV verfolgt den Zweck, bundeseinheitlich Leitlinien hinsichtlich der Kennzeichnungspflichten von Luftfahrthindernissen vorzugeben. Den Luftfahrtbehörden verbleiben bei der Anwendung der AVV aber durchaus Spielräume. Dies verdeutlichen insbesondere konkrete Formulierungen der AVV, z.B. in Nr. 12 Satz 3:

*"Im Einzelfall **kann** die zuständige Luftfahrtbehörde bestimmen, dass ..."*

Besonders bedeutsam sind die Spielräume der Luftfahrtbehörden hinsichtlich der Vorgabe der konkreten Tages- und Nachtkennzeichnungen. So können gemäß Nr. 14.1 der AVV weißblitzende Feuer statt der in Nr. 13 vorgesehenen Farbkennzeichnung genehmigt werden. In vielen Fällen sehen die durch die Luftfahrtbehörden vorgesehenen Genehmigungsaufgaben beide Kennzeichnungsvarianten alternativ vor, sodass es dem Anlagenbetreiber überlassen bleibt, sich für eine davon zu entscheiden.

Entsprechendes gilt für die Nachtkennzeichnung, denn diese erfolgt nach Nr. 15.1 der AVV durch Hindernisfeuer, Gefahrenfeuer, Blattspitzenhindernisfeuer **oder** Feuer W, rot. Auch hier überlassen Luftfahrtbehörden dem Anlagenbetreiber oftmals die Entscheidung, welche Befeuervariante gewählt wird. Zwingend ist dies jedoch nicht; so hat die zuständige Luftfahrtbehörde die Möglichkeit, sich je nach den Umständen des Einzelfalls für eine bestimmte und gegen eine andere Kennzeichnungsvariante zu entscheiden.

Gerade in Bezug auf die Tageskennzeichnung ist diese Wahlmöglichkeit der Luftfahrtbehörde von besonderer Bedeutung. So werden - den räumlichen Umständen und der jeweiligen Umgebung entsprechend - mancherorts eher die roten Flügelstreifen, andernorts hingegen das weißblitzende Feuer als optisch störend empfunden. Die Luftfahrtbehörde hat hinsichtlich der insoweit geforderten Auflage ein nicht unerhebliches Auswahlmessen. Dieses findet jedoch seine Grenzen in der Forderung von Kennzeichnungssystemen, deren geringem zusätzlichen Nutzen immense finanzielle Mehrbelastungen des Anlagenbetreibers gegenüberstehen.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass es sich bei der AVV nicht in allen Punkten um eine für die Luftfahrtbehörden abschließende Vorgabe handeln muss. So haben die Luftfahrtbehörden die Möglichkeit, ergänzende Punkte im Rahmen der von ihnen geforderten Auflagen vorzusehen, sofern diese im Rahmen der Beurteilung nach § 14 in Verbindung mit §§ 12 und 17 LuftVG zur Gewährleistung der luftverkehrsrechtlichen Sicherheit erforderlich sind. Auch hier ist in jedem Einzelfall die Frage zu stellen, ob die entsprechende Auflage dem Verhältnismä-

Bigkeitsgebot genüge tut, d.h. ob sie zur Erreichung des mit ihr verfolgten Zweckes geeignet, erforderlich und angemessen ist.

Weitere Fragen stellen sich im Zusammenhang mit Möglichkeiten der Genehmigungsbehörde, nachträglich ergänzende oder geänderte Anforderungen an die Kennzeichnung zu stellen, nachdem die Genehmigung bereits erteilt und die Anlage errichtet worden ist. Gemäß § 17 BImSchG hat die zuständige Behörde die grundsätzliche Möglichkeit, zur Erfüllung der sich aus dem BImSchG und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsvorschriften ergebenden Pflichten auch nach Erteilung der Genehmigung nachträgliche Anordnungen zu treffen. Die Behörde **soll** entsprechende Anordnungen treffen, wenn sie im Nachhinein feststellt, dass die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft nicht ausreichend vor schädlichen Umwelteinwirkungen oder sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen geschützt ist (§ 17 Abs. 1 BImSchG). Der Bestandsschutz bereits errichteter WEA kann insoweit im Einzelfall eingeschränkt werden.

Nachträgliche Anordnungen dürfen hingegen nicht getroffen werden, wenn sie unverhältnismäßig sind, vor allem wenn der mit der Erfüllung der Anordnung verbundene Aufwand außer Verhältnis zu dem mit der Anordnung angestrebten Erfolg steht (§ 17 Abs. 2 BImSchG).

Soweit sich also in einem bestimmten Fall nachträglich herausstellen sollte, dass die als Auflage vorgesehene Kennzeichnung einer WEA nicht ausreicht, um die Sicherstellung luftverkehrssicherheitsrechtlicher Belange zu gewährleisten, kommt grundsätzlich eine nachträgliche Anordnung in Betracht, mit welcher eine abweichende oder modifizierte Kennzeichnung gefordert wird. Während die entsprechenden Vorgaben auch hier von der fachlich zuständigen Luftfahrtbehörde ausgehen, werden sie erst durch die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde als nachträgliche Anordnung gegenüber dem Anlagenbetreiber erlassen.

Die Anforderungen an ein entsprechendes Bedürfnis zu geänderter Kennzeichnung sind jedoch hoch. Besondere Bedeutung kommt hier der Frage der Zumutbarkeit eines Austauschs der Kennzeichnung zu, wenn diese mit erheblichen Kosten für den Anlagenbetreiber verbunden wäre. Allein eine geringfügige sicherheitstechnische Verbesserung der neuen im Vergleich zur vorhandenen Kennzeichnung dürfte jedenfalls kaum zur Möglichkeit einer nachträglichen Anordnung führen, wenn gleichzeitig immense wirtschaftliche Mehraufwendungen des Anlagenbetreibers hierdurch erforderlich würden. Eine konkrete Bewertung dieser Problematik kann jedoch nur im jeweiligen Einzelfall vorgenommen werden.

Während die AVV für die zuständige Luftfahrtbehörde verwaltungsin-tern verbindlich ist, handelt es sich bei den ICAO-Empfehlungen und Standards Aerodromes Annex 14 Kap. 6 um ein internationales Luftfahrtübereinkommen. (siehe insoweit auch Kap. 1.1). Bei Erarbeitung der AVV durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) wurden die in den Standards und Empfehlung der ICAO enthaltenen Grundsätze berücksichtigt. Die AVV enthält aber auch Anforderungen an die Kennzeichnung von WEA, die von den ICAO-Standards und Empfehlung abweichen (z.B. Einsatz des Feuers W, rot als Nachtkennzeichnung).

Es ist festzuhalten, dass die Luftfahrtbehörden jedenfalls ab Inkrafttreten der AVV nur noch in den Fällen auf die ICAO-Empfehlung und Standards zurückgreifen werden, in denen es um Kennzeichnungsfragen geht, die nicht durch die AVV beantwortet werden. Dieser Fall dürfte aber gerade in Bezug auf WEA kaum noch eintreffen.

### **Offshore-Windenergieanlagen:**

Offshore zu errichtende WEA sind innerhalb der 12 Seemeilen-Grenze entweder nach § 31 Bundeswasserstraßengesetz oder nach BImSchG genehmigungspflichtig (siehe dazu Kap. 1.6). Neben der Luftverkehrssicherheit ist bei Offshore-WEA insbesondere die Frage der Sicherheit der Schifffahrt zu prüfen.

Demgegenüber bedürfen Offshore-Windparks in der AWZ einer Genehmigung des BSH nach der Seeanlagenverordnung (SeeAnIV). Dabei bedarf es der Zustimmung der WSD (siehe dazu im Einzelnen Kap. 1.6). Gemäß LuftVG § 12-17 bedarf es der Zustimmung der Luftfahrtbehörde.

Während die AVV hinsichtlich der Luftverkehrssicherheit in Teil 3, Abschnitt 4 auch für Offshore-WEA konkrete Vorgaben enthält (siehe dazu Kap. 1.3 und 1.4), ist hinsichtlich der Sicherheit der Schifffahrt entscheidend auf die IALA-Empfehlung O-117 sowie auf die Richtlinie der WSD'en Nord und Nord-West zu Kennzeichnung, Gestaltung und Betrieb von Offshore-WEA zurückzugreifen (siehe dazu Kap. 1.5 und 1.6). Letztendlich bindende Vorgaben enthalten beide Regelwerke für die zuständigen Fachbehörden allerdings nicht.

So handelt es sich bei der IALA lediglich um eine Nicht-Regierungsorganisation, die sich unter anderem das Ziel gesetzt hat, im Wege von Sachverständigenempfehlungen die Sicherheit und Leichtigkeit des Seeverkehrs durch Verbesserung der Schifffahrtszeichen zu gewährleisten. Ob sich die im nationalen Recht jeweils zuständige Fachbehörde an den Empfehlungen der IALA orientiert, bleibt dieser also selbst überlassen.

Auch die WSD-Richtlinie beansprucht keine direkte Bindungswirkung und will insbesondere keine starren Regelungen vorgeben. Sie unterliegt der stetigen Fortschreibung und berücksichtigt insoweit auch aktuelle Erfahrungen, die im Zusammenhang mit der Kennzeichnung von Offshore-WEA gemacht werden.

Welche schifffahrtsrechtliche Kennzeichnung im Einzelfall durch die zuständige Fachbehörde als Auflage vorgesehen wird, ist damit stets von den jeweiligen Umständen des Einzelfalls abhängig. Die insoweit zuständige Fachbehörde hat dabei die Möglichkeit, auf die Empfehlungen der IALA und auf die WSD-Richtlinie zurückzugreifen. Entscheidend ist stets, ob die jeweilige Lage des Offshore-Windparks und die konkrete Situation aus Gründen der Sicherheit der Schifffahrt eine bestimmte Kennzeichnung erfordern.

Im Hinblick auf die Möglichkeit des nachträglichen Forderns einer von der ursprünglichen Genehmigung abweichenden Kennzeichnung kann für WEA innerhalb der 12 Seemeilen-Grenze auf obige Ausführungen verwiesen werden. Für Genehmigungen im Bereich der AWZ gilt § 4 Abs. 3 SeeAnIV, wonach die nachträgliche Aufnahme, Änderung oder Ergänzung von Auflagen zulässig ist. Trotz der einschränkungslosen Formulierung dieser Vorschrift gilt jedoch auch hier der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz, wonach der Nutzen der zusätzlichen oder geänderten Auflage zu den für den Anlagenbetreiber entstehenden wirtschaftlichen Mehraufwendungen in Bezug zu setzen ist.

### **Fazit**

Das einzige Regelwerk mit für die Fachbehörden verbindlichem Charakter stellt im Hinblick auf die Kennzeichnungspflicht für WEA in Deutschland die AVV dar. Auch diese beinhaltet jedoch zahlreiche weitgehende Spielräume für die Luftfahrtbehörden, die je nach der Situation des jeweiligen Einzelfalls genutzt werden können.

Hinsichtlich der Kennzeichnung von Offshore-WEA zu Zwecken der Sicherheit des Schiffsverkehrs bestehen demgegenüber keine für die Fachbehörden verbindlichen Vorgaben, sondern lediglich Empfehlungen und Richtlinien, die als Argumentationshilfe für die Festlegung der konkreten Kennzeichnungsaufgaben herangezogen werden können.

## 2 **Befeuerungsdesign für WEA und Feststellung von Konflikten und Klärungsbedarfen**

Im Rahmen der Diskussionen innerhalb der Sitzung des Arbeitskreises Kennzeichnung über die Zwischenergebnisse der Phase 1 „Status Quo“ ergab sich für die Bundesrepublik Deutschland der im Folgenden beschriebene Anpassung- bzw. Erweiterungsbedarf (siehe 2.1). Darüber hinaus wurde bei der Auswertung der Zwischenergebnisse festgestellt, dass nicht genau bekannt ist, wie groß der Einfluss unterschiedlicher Kennzeichnungssysteme auf die Bevölkerung ist. Aus diesem Grund wurde von den Mitgliedern des Arbeitskreises empfohlen, die Auswirkungen von Befeuerungssystemen weiter zu untersuchen (siehe 2.2).

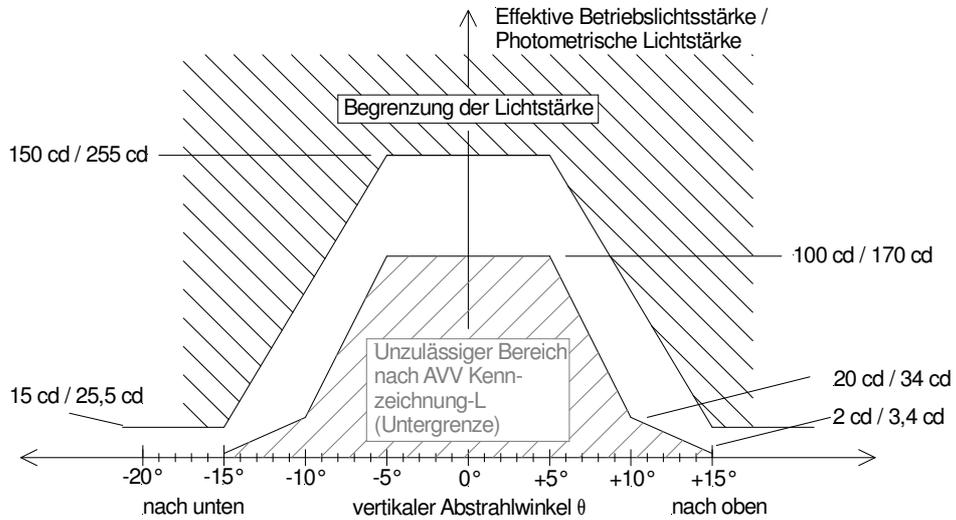
### 2.1 **Anpassungsbedarf aus Sicht der Windbranche**

Nach Abstimmung der Handlungsempfehlung für die Kennzeichnung von WEA des Arbeitskreises Kennzeichnung des BWE am 6. November 2007 wird empfohlen, dass Systeme, die auf Grundlage älterer Bestimmung (Ausnahmeregelungen) eingebaut wurden, ungeachtet des Bestandschutzes, den Vorgaben der aktuellen AVV angepasst werden sollen. Hierbei soll ab dem 1. Juli 2008 nur noch der Austausch von Leuchtmitteln und der elektrischen Betriebsgeräte vorgenommen werden. Beim Ausfall der Steuerung oder weiteren maßgeblichen Bestandteilen (z.B. Gehäuse) sollen die Systeme (z.B. Doppelblitze) durch das Feuer W, rot ersetzt werden. Dieses deckt sich nicht mit den Forderungen des BMVBS, das einen Austausch aller Doppelblitzsysteme bis Mitte 2008 fordert.

Siehe BWE- Handlungsempfehlung Kennzeichnung unter [www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Kennzeichnung/handlungsempfehlung\\_kennzeichnung.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Kennzeichnung/handlungsempfehlung_kennzeichnung.pdf)

Bei neuen WEA empfiehlt der BWE grundsätzlich das Feuer W, rot mit Lichtstärkenreduzierung durch Sichtweitenmessung zu betreiben. Um ein hohes Maß an Akzeptanz zu erzielen, sollte dies bereits als Nebenbestimmung in die BImSchG-Genehmigung aufgenommen werden. Entsprechend wird auch beim Einsatz des weißen Blitzes die Lichtstärkenreduzierung sowie die genaue Beachtung der Umschaltsschwellen dringend empfohlen.

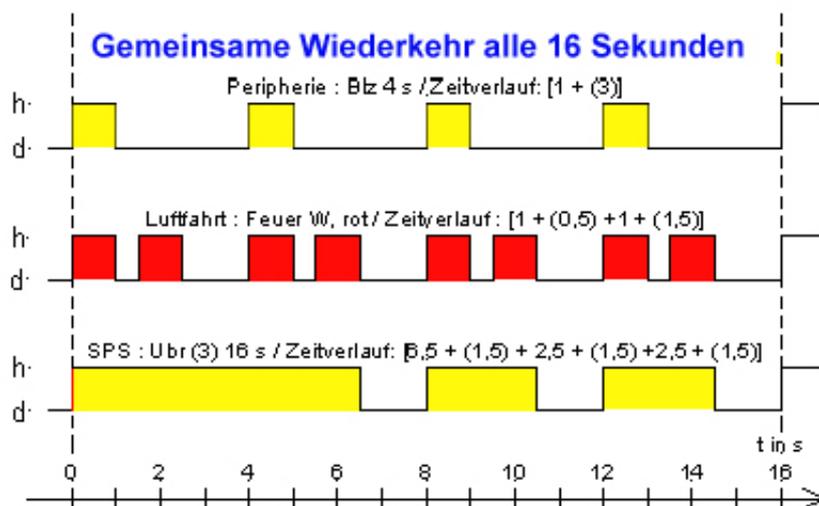
Für das Feuer W, rot sollten aus Sicht des BWE folgende Richtwerte zur Begrenzung der Lichtstärke eingehalten werden (s. folgende Abb.):



Winkel	Photometrische Lichtstärke	Effektive Betriebslichtstärke
-5° bis +5°	≤ 255 cd	≤ 150 cd
< -15° und > +15°	≤ 25,5 cd	≤ 15 cd

Quelle: Entwurf der WSV-Richtlinie / FVT

Des Weiteren ist nach der Handlungsempfehlung eine einheitliche Taktfolge für die Befeuerung und damit auch für das Feuer W, rot anzustreben. Hierbei soll die in der AVV geforderte synchronisierte Taktfolge auf der 00.00.00 Sekunde gemäß UTC starten (siehe folgende Abbildung).



Quelle: Entwurf der WSV-Richtlinie / FVT

Weiter scheint dem BWE eine Präzisierung der in der AVV vorgeschlagenen Begrenzung der Kennzeichnung auf die äußeren Anlagen eines Windparks sinnvoll (siehe AVV, Teil 3, Abschnitt 1). Eine entsprechende Änderung der ICAO (siehe Anhang 12) wird von Seiten der Windbranche begrüßt.

Als sinnvoll haben sich die einheitlichen und umfangreichen Regelungen der AVV für die Kennzeichnung von WEA an Land erwiesen. Es wird daher als zweckmäßig erachtet, entsprechende Regelung auch für die Kennzeichnung von WEA auf dem Meer weiter zu entwickeln. Sinnvoll erscheint es vor diesem Hintergrund, den Austausch in entsprechenden Fachgremien (z.B. AK-Kennzeichnung des BWE) zu forcieren. Ein Erfahrungsaustausch auf europäischer Ebene in Form eines Workshops erscheint zielführend.

## 2.2 Stresswirkung von Befeuerungssystemen

### Teil A: Literaturstudie: Stresswirkung von Befeuerungssystemen

#### Ausgangssituation

Zunehmend werden Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamthöhe von mehr als 100 m errichtet. Entsprechend steigt der Anteil von Anlagen, welche der Kennzeichnungspflicht nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (Bundesanzeiger, 2007; BMV, 2007) unterliegen. Für die notwendige Nacht-kennzeichnung dürfen in Deutschland nur rote Feuer verwendet werden. Die Tageskennzeichnung darf dagegen über farbige Markierungen und/oder weiße Feuer erfolgen.

Die Befeuerung erweist sich im Hinblick auf die Akzeptanz der Anwohner von WEA jedoch als problematisch. So liegen beispielsweise nach Angaben des StUA Schleswig (Kunte, 2007) Beschwerden von Anwohnern über die nächtliche rote Befeuerung vor, häufiger jedoch sind Beschwerden über weiße Lichtblitze am Tag. In Brandenburg führten Anwohnerbeschwerden über weiße Lichtblitze zu einer umweltmedizinischen Stellungnahme des Landesgesundheitsamtes Brandenburg (Nowak, 2006). Die Behörde wies daraufhin, dass bislang keine rechtsverbindlichen Vorschriften zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen der genannten Kennzeichnungsart vorliegen. Damit wird Handlungsbedarf in Hinblick auf die Entwicklung angemessener Richtlinien deutlich.

Licht gehört zu den vom Bundes-Immissionsschutzgesetz berücksichtigten Emissionen und Immissionen (BImSchG, 1998). Nach den vom Länderausschuss für Immissionsschutz erarbeiteten „Hinweisen zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen“ (LAI, 2000) liegt eine schädliche Umwelteinwirkung von Lichtimmissionen vor, „ ... wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft herbeizuführen.“ (S. 1) Ob dies für Hindernis-Kennzeichnungen der Fall ist, ist bislang ungeklärt. Zwar werden die zulässigen Immissionswerte für Blendung und Raumaufhellung i. S. der LAI-Hinweise nicht überschritten. Wie die Beschwerden zeigen, reicht dies aber nicht aus, um negative Auswirkungen auf Anwohner auszuschließen.

Es ist eine offene Frage, wie die Lichtimmissionen von Hindernis-Kennzeichnungen von WEA insgesamt zu bewerten sind. Zur Klärung dieser Frage ist es sinnvoll, empirische Untersuchungen heranzuzie-

hen, die prüfen, ob und in welchem Ausmaß bei Durchschnittsbürgern Belästigung vorliegt. Wenn sich deutliche Hinweise auf Wirkungen ergäben, die als erhebliche Belästigung oder sogar als Gesundheitsgefahr zu werten sind, würde damit Handlungsbedarf bei Herstellern und Behörden aufgezeigt.

Um den Stand der Forschung zusammenfassend zu bewerten und weiteren Untersuchungsbedarf abzuschätzen, erhielten wir im Rahmen der Phase 2 des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten HiWUS-Projekts „Befeuerungsdesign für Windenergieanlagenparks und Feststellung von Konflikten und Klärungsbedarfen“ den Auftrag

1.) eine Literaturstudie zum Einfluss von Befeuerungssystemen auf Menschen zu erstellen, 2.) eine Projektskizze für eine Umfrage bei WEA-Anwohnern zu entwickeln.

Der vorliegende Zwischenbericht stellt die Ergebnisse der Literaturstudie vor. Im Abschlussbericht wird die Projektskizze präsentiert.

### **Fragestellung der Literaturstudie**

Um die Wirkungen unterschiedlicher Emissionsarten wie z. B. Lärm und Gerüche auf die Menschen zu erfassen, lassen sich bewährte Konzepte und Methoden der Stresspsychologie heranziehen. Ausgehend von der Stresspsychologie sind folgende Fragestellungen zur Wirkung von Befeuerungssystemen und weiteren Lichtquellen zentral:

#### **A) Spezifische Fragestellung zur Hindernis-Kennzeichnung**

Es ist zunächst abzuklären, ob Untersuchungen zu Stresswirkungen von Befeuerungssystemen vorliegen, welche Rückschlüsse die Ergebnisse auf die Stärke und Breite der Effekte erlauben und ob weiterer Untersuchungsbedarf besteht.

#### **B) Allgemeine Fragestellung zu weiteren Lichtquellen**

Um die Wirkungen der Hindernis-Kennzeichnung besser einordnen und bewerten zu können, ist der Vergleich mit der Wirkungsstärke und -breite anderer Lichtquellen sinnvoll. Deswegen wurde auch nach Untersuchungen gesucht, die sich z. B. mit dem Sonnenlicht, der Beleuchtung von Gebäuden und Sportanlagen, der „Lichtverschmutzung (light pollution)“ und visuellen Reizmustern als Auslöser für Migräneattacken und epileptische Anfälle beschäftigen.

Nicht behandelt werden die Themen Blendung und Strahlenschäden durch große Lichtstärken. Zur Vermeidung dieser schädlichen Wirkungen gibt es Richtlinien insbesondere im Zusammenhang mit dem Einsatz von Lichtquellen am Arbeitsplatz (z. B. LAI, 2000; Strahlenschutzkommission, 2006).

Auf die positiven, gesundheitsfördernden Wirkungen von Licht z. B. bei der Lichttherapie von depressiven Patienten wird ebenfalls nicht eingegangen. Einen Überblick zum Zusammenhang zwischen Licht und Gesundheit gibt z. B. Fisch (2000).

### Vorgehen bei der Literaturstudie

Im Mittelpunkt des hier berichteten ersten Arbeitspakets stand die Suche, Beschaffung und Auswertung von Literatur zu den genannten Fragestellungen. Hierbei wurden neben Fachveröffentlichungen auch Gutachten und Stellungnahmen (sogenannte graue Literatur) berücksichtigt. Die bei der Literatursuche benutzten Stichwörter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Stichwörter bei der Literatursuche zu den Wirkungen von Lichtquellen

- |                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| • Hindernis-Kennzeichnung             | • Lichtimmission          |
| • aerial markings (light) on turbines | • light immission         |
| • aircraft obstruction marking        | • annoyance               |
| • obstruction marking                 | • environmental annoyance |
| • obtrusive light                     | • visual annoyance        |
| • intrusive light                     | • nuisance                |
| • light trespass                      | • visual nuisance         |
| • light pollution                     | • visual impact           |
| • urban stress                        | • visual stress           |
|                                       | • eye strain              |
|                                       | • photosensitivity        |

Durch den Einsatz verschiedener Suchmaschinen des Internets und die Nutzung mehrerer Datenbanken der Universitätsbibliothek sowie öffentlicher Institutionen im Internet konnte der Zugriff auf umfassende Fachliteratur gesichert werden. Tabelle 2 listet die verwendeten Suchmaschinen und Datenbanken auf.

Tabelle 2: Suchmaschinen und Datenbanken zur Literatursuche

<b>Name</b>	<b>Fachgebiet</b>	<b>Berücksichtigte Zeitschriften</b>
Google	Allgemein	
Google Scholar	Wissenschaft	
Science Direct	Wissenschaft	
PsycINFO	Psychologie	2.000
PubMed	Medizin	4.600
OLC-SSG –Physik	Physik	670
ISI Web of Science	Sozialwissenschaften, Medizin, Naturwissenschaften	5.000
Umweltforschungsdatenbank UFORDAT <sup>®</sup> , Bibliothekskatalog OPAC+ULIDAT <sup>®</sup>	Fachbibliothek Umwelt des Umweltbundesamtes (UBA)	
	Bundesamt für Naturschutz	Veröffentlichungslisten

Zur Absicherung und Aufdeckung von Querverweisen wurden die Inhaltsverzeichnisse folgender Fachzeitschriften online durchgesehen:

- Journal of Environmental Psychology
- [Journal of Environmental Planning and Management](#)
- Science of the Total Environment
- Environment and Behavior
- International Archives of Occupational and Environmental Health
- International Journal of Occupational and Medical Environmental Health
- Occupational and Environmental Medicine
- Scandinavian Journal of Work and Environmental Health
- Review of Environmental Health, Archives of Environmental Health
- Aviation, Space, and Environmental Medicine
- Licht
- High Light.

## **Ergebnisse**

### **Stresswirkungen von WEA-Befeuerungssystemen:**

Trotz umfangreicher und zeitlich aufwändiger Suche konnten keine empirischen Untersuchungen zu den Wirkungen von WEA-Befeuerungssystemen auf Erleben und Verhalten im Allgemeinen und zu deren Stresswirkungen auf Anwohner im Besonderen gefunden werden. Das Fehlen von Untersuchungen zu dieser Fragestellung stellte bereits Ratzbor (2005) in einer Grundlagenarbeit für eine Informationskampagne „Umwelt- und naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland (onshore)“ fest, der zusammenfassend schrieb: „Zu den Auswirkungen der Gefahrenbefeuerung der WEA auf den Menschen liegen noch keine Untersuchungen vor.“ (S. 41) Offensichtlich hat sich die Befundlage hierzu in den letzten Jahren nicht verändert.

Vorhanden sind lediglich subjektive Erfahrungsberichte, die darauf hinweisen, dass eine Umrüstung von herkömmlichen Befeuerungssystemen auf solche mit Sichtweitenregulierung positiv aufgenommen wird (Enercon, 2007; Agatz et al., 2006).

### **Stresswirkungen weiterer Lichtquellen:**

Entgegen der Erwartungen fanden sich zur Lästigkeit von Lichtquellen im Bereich nicht gesundheitsschädigender, mittlerer Lichtstärken nur wenige empirische Untersuchungen, die in den folgenden Abschnitten dargestellt werden (Beleuchtung von Gewächshäusern, Tennisplätzen, Schnee). Zur Lästigkeit folgender Objekte liegen nach unseren Erkenntnissen ebenfalls keine empirischen Befunde vor: Hindernisfeuer und Beleuchtung von Flughäfen, Leuchttürmen, Funktürmen, Hochhäusern, Industrieanlagen oder Reklametafeln.

Gut untersucht sind dagegen spezielle visuelle Reizmuster, die Migräneattacken und epileptische Anfälle auslösen können; über sie wird zusammenfassend berichtet.

Die Befunde werden im Folgenden dargestellt, um aufzuzeigen, dass die Lästigkeit nicht allein von der Lichtstärke, sondern auch von der Reizstruktur (Muster, Periodizität, Farbübergänge) und von psychologischen und soziodemographischen Merkmalen abhängt.

### **Allgemeine Umfrage zur Belästigung durch Lichtquellen:**

Das niederländische Umweltministerium (VROM) ließ 1993 eine repräsentative Zufallsstichprobe der Allgemeinbevölkerung (4.000 Personen) zur Belästigung durch verschiedene Umweltbedingungen befragen (Ministerie van VROM, 1995; zit. nach Health Council of the Netherlands, 2000). Es zeigte sich, dass sich 2 % der Personen durch Autoscheinwerfer und 2 % durch Straßenbeleuchtung bzw. verschiedene Außen-

beleuchtungen belästigt fühlten. Im Vergleich hierzu gaben 40 % starke Belästigung durch Lärm an.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Lästigkeit von bestimmten Lichtimmissionen gegenüber der Lästigkeit von Lärmwirkungen ein relativ untergeordnetes Problem für die niederländische Bevölkerung darstellt.

### **Gewächshäuser:**

Vos und van Bergem-Jansen (1995) untersuchten das Ausmaß der Belästigung von etwa 400 Niederländern durch die Beleuchtung von Gewächshäusern, die 20 – 1.500 m entfernt von den Anlagen wohnten. Von den 282 Personen, in deren Wohnräume oder Gärten direktes Licht aus den Gewächshäusern fiel, gaben 3 % eine starke Belästigung an. Das Betrachten der beleuchteten Gewächshäuser schätzten 2 % dieser Personen als stark belästigend ein. Bei den beiden genannten Bedingungen fanden sich keine signifikanten Beziehungen zwischen Beleuchtungsstärke und Lästigkeit (Dosis-Wirkungsbeziehung). Beim kurzen abendlichen Spaziergang fühlten sich 15 % von 132 Anwohnern von der Gewächshausbeleuchtung stark belästigt. Zur Erhellung des Nachthimmels durch die Beleuchtung der Gewächshäuser machten 348 Personen Angaben; 9 % von ihnen bewerteten diese als stark belästigend. Die genannten Effekte hingen nicht vom Alter der Befragten ab. Ein Prozent der Befragten fühlte sich bei Freizeitaktivitäten gestört oder wechselte den Aufenthaltsraum; 3 % schloss die Vorhänge oder hatte Einschlafprobleme; 13 bzw. 7 % gaben an, durch die Gewächshausbeleuchtung gereizt oder wütend geworden zu sein; 3 % berichteten von Nervosität und Verängstigung.

Van Oel und Kollegen. (2007) führten Interviews mit 752 Anwohnern von Gewächshäusern in drei niederländischen Gemeinden durch. Als durch die Beleuchtung von Gewächshäusern „stark belästigt“ wurden Personen bezeichnet, die auf einer elfstufigen Lästigkeitsskala (0-10) einen Wert von 7 bis 10 angegeben hatten. Nach diesem Kriterium waren etwa 10 % der Befragten stark belästigt. Es zeigte sich keine Dosis-Wirkungsbeziehung, d. h., die starke Belästigung hing nicht vom Abstand zum Gewächshaus (0 – 2.5 km) ab. Dagegen erwies sich Vertrautheit mit diesen Anlagen als wichtiger Moderator: Bei vergleichbarer Lichtemission war die Wahrscheinlichkeit „stark belästigt zu sein“ bei Anwohnern, die noch nicht lange vor Ort wohnten, mehr als doppelt so hoch als bei Anwohnern, die schon länger nahe bei Gewächshäusern lebten (OR = 2.26). Unter den stark belästigten Personen fanden sich mehr Männer als Frauen, mehr Personen mit höherer Schulbildung und mehr Personen, die sich mehr mit dem Thema Nachhaltigkeit beschäftigten und sich Sorgen um ihre Gesundheit im Zusammenhang mit Lichtverschmutzung (light pollution) im Allgemeinen machten.

### **Tennisplätze:**

Van Bergem-Jansen und Kollegen (1996; zit. nach Health Council of the Netherlands, 2000) befragten 120 Anwohner von Tennisplätzen in zwölf Wohngebieten. In Abhängigkeit von der vertikalen Lichtstärke gaben bis zu 10 % der Befragten an, von der Beleuchtung der Plätze in ihren Häusern belästigt bzw. stark belästigt zu werden. Bezogen auf ihre Gärten fand sich eine leichte bis starke Belästigung bei bis zu 5 % der Anwohner. Es wird deutlich, dass die Quote der stark belästigten Personen in einer ähnlichen Größenordnung liegt wie bei den Studien zu den Gewächshäusern.

### **Schnee:**

Den Zusammenhang zwischen der Stärke des vom Schnee reflektierten Sonnenlichts und dem subjektiven Empfinden untersuchten Yilmaz und Kollegen (2007). Die Autoren ließen 51 Landschaftsarchitekturstudierende in der türkischen Stadt Erzurum die Angenehmheit des reflektierten Lichts auf einer vierstufigen Skala einschätzen. Als „sehr angenehm“ wurden Beleuchtungsstärken zwischen 5.000 und 8.000 lx, als „angenehm“ Beleuchtungsstärken ab 43.000 lx und als „sehr unangenehm“ Beleuchtungsstärken ab 80.000 lx bewertet. Die Autoren prüften auch den Einfluss einer Abschattung durch Bäume, in deren Nähe deutlich verminderte Beleuchtungsstärken gemessen wurden, und gaben dementsprechend Empfehlungen zur Verminderung der Lästigkeit.

### **Visuelle Reizmuster als Auslöser für Migräneattacken und epileptische Anfälle:**

In der medizinischen und umweltsychologischen Fachliteratur werden Reaktionen auf Reizmuster, die körperliche und psychische Symptome bis hin zu Migräneattacken und epileptische Anfälle auslösen können unter dem Begriff „visueller Stress“ zusammengefasst (Fisher et al., 2005; Hellbrück & Fischer, 1999; Harding et al., 2005).

Beim sogenannten Pokemon-Fall in Japan führte die Darbietung von roten, blauen und weißen Lichtblitzen (12.5 Hz) von 4 s Dauer in einem TV-Comic zur Behandlung von 700 Personen – in der Mehrzahl Kinder –. Diese gaben körperliche Symptome wie Übelkeit und Kopfschmerzen an und mehr als 560 hatten einen Krampfanfall erlitten (Fisher et al., 2005; Hellbrück & Fischer, 1999).

Bei Patienten, die unter Migräne oder photosensitiver Epilepsie leiden, können bestimmte Hell-Dunkel-Wechsel (welches z. B. bei Autofahrten auf Alleen auftreten, die in der Sonne liegen) Anfälle auslösen (Hellbrück & Fischer, 1999).

Zu den Reizmustern, die bei photosensitiven Epilepsiepatienten Anfälle hervorrufen können, gehören Lichtblitze (Leuchtdichte  $> 20 \text{ cd/m}^2$ ,  $> 3 \text{ Hz}$ , 10 % zentrales visuelles Feld), Übergänge zu oder weg von gesättigtem Rot und Muster mit mehr als fünf Paaren von Hell-Dunkel-Streifen beliebiger Richtung insbesondere in Verbindung mit einem

Richtungswechsel, Oszillation, Blitz oder Kontrastwechsel (Fisher et al., 2005; Harding et al., 2005).

Diese Beispiele zeigen, dass bei entsprechend disponierten Personen, dass bei entsprechend disponierten Personen, nicht die Lichtstärke, sondern die Struktur des visuellen Reizes, gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen auslösen kann.

### **Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen**

Die Ergebnisse der Literaturstudie zeigen einen ungenügenden Forschungsstand zur Stresswirkung von WEA-Hinderniss-Kennzeichnungen auf. Entsprechend kann die Lästigkeit von WEA-Hinderniss-Kennzeichnungen derzeit nicht objektiv eingeschätzt werden.

Untersuchungen zur Stresswirkung anderer Lichtquellen machen deutlich, dass es in der Regel keine einfache Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Lichtemission und Belästigung gibt. Vielmehr scheint das Ausmaß der Belästigung z. B. durch die Reizart (konstantes Licht vs. wechselnde Reize), durch soziodemographische Variablen (Wohndauer, Schulbildung) und psychologische Variablen (Vertrautheit mit der Lichtquelle, Gesundheitsorgen) beeinflusst zu sein. Diese die Wirkungsbeziehung beeinflussenden Faktoren können durch stresspsychologische Ansätze gut aufgedeckt werden. Gelingt die Isolierung solcher Faktoren, so lassen sich diese Erkenntnisse bei der Ableitung von Empfehlungen und Maßnahmen zur Minderung von Belästigung praktisch anwenden.

Um die Stresswirkung der WEA-Hinderniss-Kennzeichnungen erfassen zu können, sollten auch die oben beschriebenen Faktoren in empirischen Studien berücksichtigt werden.

Aufgrund der unzureichenden Anzahl von Untersuchungen wird weiterer Forschungsbedarf in systematischen umwelt- und stresspsychologischen Untersuchungen zur Lästigkeit verschiedener Lichtquellen insbesondere von WEA-Hinderniss-Kennzeichnungen gesehen. Hierbei bietet sich ebenfalls eine Anknüpfung an Untersuchungsansätze der Lärm- und Geruchsforschung an.

Im folgenden Arbeitspaket wird eine Projektskizze zur umwelt- und stresspsychologischen Untersuchung der Wirkungen verschiedener Hinderniss-Kennzeichnungen auf Anwohner von Windfarmen erarbeitet. Hierbei wird auf einem Untersuchungsansatz aufgebaut, der bei einer Feldstudie zu den Wirkungen des periodischen Schattenwurfs erfolgreich angewendet wurde (Pohl et al., 1999).

## **Literatur zu Teil A) („Literaturstudie zur Stresswirkung von Befeuerungssystemen“)**

Agatz, M., Gatzen, C., Lindemann, G. & Sahrhage, A. (2006). Informationstexte StUA Herten, Band 3, Windenergieanlagen: Windenergie Handbuch. Herten: Staatliches Umweltamt.

Bundesanzeiger (2007). Allgemeine Verwaltungsvorschrift für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen. AVV, Bundesanzeiger Nr. 81/07.

BImSchG (1998). Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I, S. 880), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Oktober 1998 (BGBl. I, S. 3178).

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (2007). Verkehrsblatt, 61 (10).

Enercon (2007). Signalbefeuerung: Nachtbeleuchtung von WEA passt sich Sichtweite an. Windblatt (3), 6.

Fisch, J. (2000). Licht und Gesundheit – Das Leben mit optischer Strahlung. Ilmenau: Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik.

Fisher, R. S., Harding, G., Erba, G., Barkley, G. L. & Wilkins, A. (2005). Photic- and Pattern-induced Seizures: A Review for the Epilepsy Foundation of America Working Group. *Epilepsia*, 46, 1426-1441.

Harding, G., Wilkins, A., Erba, G., Barkley, G. L. & Fisher, R. S. (2005). Photic- and Pattern-induced Seizures: Expert Consensus of the Epilepsy Foundation of America Working Group. *Epilepsia*, 46, 1423-1425.

Health Council of the Netherlands (2000). Impact of outdoor lighting on man and nature. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2000; publication no. 2000/25E.

Hellbrück, J. & Fischer, M. (1999). Umweltpsychologie – Ein Lehrbuch. Göttingen: Hogrefe.

Kunte, A. (2007). Persönliche Mitteilung im Herbst 2007.

Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) (2000). Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000.

Ministerie van VROM (1995). Hinder door milieuverontreiniging in Nederland. Den Haag: Ministerie van VROM/DGM; (publicatiereeks Verstorning nr 8/1995).

Nowak, S. (2006). Optische Immissionen von Windenergieanlagen und gesundheitliche Beschwerden – ein Praxisbeispiel. *Gesundheitswesen*, 68.

Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (1999). Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Ratzbor (2005). Grundlagenarbeit für eine Informationskampagne „Umwelt- und naturverträgliche Windenergienutzung in Deutschland (onshore)“ - Analyseteil. Berlin: Deutscher Naturschutzring.

Strahlenschutzkommission (2006). Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006. Bonn: Strahlenschutzkommission.

van Bergem-Jansen, P. M., Vos, J. & Alferdinck, J. W. A. M. (1996). Door omwonenden ervaren hinder van tennisbaanverlichting. Soesterberg: TNO Technische Menskunde, (publicatie nr. TM-96-C070).

van Oel, C. J., Janssen, E. G. O. N., Alferdinck, J. W. A. M. & Ruigrok, J. (2007). Increased annoyance from light output of greenhouses in areas not familiar with greenhouses. Paper presented at the ENHR 2007 International Conference “Sustainable Urban Areas”, June 25.-28., Rotterdam, Netherlands.

Vos, J. & van Bergem-Jansen, P. M. (1995). Greenhouse lighting side-effects: community reaction. *Lighting Research and Technology*, 27, 45-51.

Yilmaz, H., Demircioglu Yildiz, N. & Yilmaz, S. (2007). Effects of snow-reflected light levels on human visual comfort. *Environmental Monitoring and Assessment*, DOI 10.1007/s10661-007-9999-1.

## **Teil B: Projektskizze zur Ermittlung der Stresswirkung von Befeuerungssystemen**

### **Ausgangssituation**

Die Ergebnisse der Literaturstudie (Teil A) zeigen einen ungenügenden Forschungsstand zur Stresswirkung von WEA-Hinderniskennzeichnungen auf: bislang liegen keine empirischen Untersuchungen zu den Stresswirkungen von WEA-Hinderniskennzeichnungen vor. Entsprechend ist die Lästigkeit von Befeuerungsanlagen derzeit nicht objektiv beurteilbar.

Die Ergebnisse des Zwischenberichts zu Untersuchungen der Stresswirkung anderer Lichtquellen machen deutlich, dass es in der Regel keine einfache Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Lichtemission und Belästigung gibt. Vielmehr scheint das Ausmaß der Belästigung z. B. durch die Reizart (konstantes Licht vs. wechselnde Reize), durch soziodemographische Variablen (Wohndauer, Schulbildung) und psychologische Variablen (Vertrautheit mit der Lichtquelle, Gesundheits Sorgen) beeinflusst zu sein. Um die Stresswirkung der WEA-Hinderniskennzeichnungen erfassen zu können, sollten auch diese Faktoren in empirischen Studien berücksichtigt werden.

Das Ergebnis der Literaturstudie macht deutlich, dass objektive, vergleichende Untersuchungen notwendig sind, um verlässliche Aussagen über die Wirkung der Kennzeichnungen zu erhalten. Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen können als Basis für Entscheidungen, Richtlinien und Maßnahmen dienen. Es gilt die zentrale Frage zu klären, welche Hinderniskennzeichnung von WEA am umweltverträglichsten bei gegebener Sicherheit des Luft- und Schiffsverkehrs ist und die größte Akzeptanz findet. Dazu werden in diesem Abschlussbericht zwei Projektskizzen für Untersuchungen bei WEA-Anwohnern vorgelegt.

### **Untersuchungsansatz der Umwelt- und Stresspsychologie**

#### **Lichtreize als Stressoren:**

Aus psychologischer Sicht können periodische Lichtsignale, wie z. B. die einer WEA-Hinderniskennzeichnung, unter bestimmten Bedingungen als Stressoren wirken. Periodische Lichtsignale sind Reize, die unter natürlichen Bedingungen äußerst selten vorkommen. Daher ist zu vermuten ist, dass der Mensch evolutionär nicht darauf vorbereitet ist. Treten diese Reize im Gesichtsfeld auf, insbesondere im peripheren, so kommt es zu einer unwillkürlichen oder willkürlichen Ausrichtung der Aufmerksamkeit in Richtung der wahrgenommenen Lichtquelle.

Diese Ablenkung führt dazu, dass für die Ausführung einer Aufgabe zusätzlich Energie aufgewandt werden muss, um die Aufmerksamkeit

weiterhin auf die Aufgabe zu fokussieren. Periodische Lichtsignale bewirken also eine Bindung der Aufmerksamkeit, was zur Ablenkung von der eigentlichen Aufgabe führen kann. Dieser gesamte Vorgang kann je nach seiner Intensität zu einer Funktionsänderung (Auslenkung) verschiedener psychischer Systeme führen und damit Stress auslösen.

Bei der Untersuchung eines Umweltstressors ist die zentrale Frage, bis zu welcher Intensität eine Belästigung zumutbar ist. Vom Begriff der „zumutbaren Belästigung“ ist der Begriff „erhebliche Belästigung“ bzw. „unzumutbare Belästigung“ abzugrenzen. Aus juristischer Sicht liegt eine erhebliche Belästigung vor, wenn körperliches und psychisches Wohlbefinden sowie die Arbeitsfähigkeit beeinträchtigt werden. Dabei wird die Grenze des üblichen oder zumutbaren Maßes nach Art, Ausmaß oder Dauer überschritten bzw. als unzumutbar beurteilt. Als oberste Grenze wird das Auftreten gesundheitlicher Schäden bei einer betroffenen Person betrachtet. Entscheidend ist nicht das Empfinden einer Einzelperson, sondern das Empfinden eines normalen Durchschnittsmenschen, eines repräsentativen verständigen Bürgers in vergleichbarer Lage. Im Interessenausgleich soll ein Maßstab gefunden werden, der der Allgemeinheit und der einzelnen Person billigerweise zugemutet werden kann (BlmSchG, 1998; Feldhaus, 1999).

Um eine fundierte Gesamtbeurteilung der Umweltverträglichkeit zu ermöglichen, sind aus psychologischer Sicht differenzierte Indikatoren zu untersuchen. Es genügt daher nicht, nach dem Grad der subjektiven Belästigung zu fragen. Vielmehr ist zu prüfen, mit welchen Beeinträchtigungen im Erleben und Verhalten ein bestimmtes Ausmaß an Belästigung einhergeht. Die methodischen Ansätze hierzu stammen aus der Wahrnehmungs-, Stress- und Umweltpsychologie und wurden bereits in einer Studie zur Belästigung durch periodischen Schattenwurf von WEA erfolgreich eingesetzt (Pohl, Faul & Mausfeld, 1999; 2000).

Nach diesen Ansätzen geht es um folgendes Geschehen (Hellbrück & Fischer, 1999; Homburg & Matthies, 1998; Janke & Wolffgramm, 1995; Ruff, 1993): Ein physikalischer Reiz mit definierten Merkmalen wirkt auf die Person ein. Diese Einwirkung führt zu einer Gesamtbewertung des Reizes in Hinblick auf seine Unangenehmheit, Bedrohlichkeit und Schädlichkeit. Der Reiz selbst führt zu einer Funktionsänderung (Auslenkung) des momentanen psychischen und somatischen Zustandes. Zum psychischen Zustand gehören ausgelöste Gefühle und Kognitionen, beabsichtigtes und ausgeführtes Verhalten. Stärke und Richtung der Auslenkung sind auch abhängig von weiteren Einflüssen, sog. Moderatorvariablen, wie z. B. Einstellungen, oder Erfahrungen. Die betroffene Person bzw. der betroffene Organismus hat die Tendenz, den ausgelenkten Zustand wieder zur Normallage zurückzubringen. Dies geschieht im Rahmen von Bewältigungsprozessen durch Regulation von Emotionen, Verhalten und physiologischen Prozessen. Gelingt bei wiederholter Stresseinwirkung die Rückkehr zur Normallage nicht (Anpassung), so kann die dauerhafte Auslenkung zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Schäden führen.

Beim Stressgeschehen handelt es sich aufgrund von Bewältigungs- und Adaptationsvorgängen um einen dynamischen Prozess, wobei Rückkoppelungen der einzelnen Teilkomponenten untereinander zu berücksichtigen sind; es handelt sich also nicht um eine einfache Reiz-Reaktionskette.

Zusammengefasst wird die Wirkung eines Umweltstressors daraufhin untersucht, inwieweit er Intensität und Breite von psychischem und körperlichem Wohlbefinden, Handeln, Bewältigung und Adaptationsfähigkeit beeinträchtigt.

## **Prüfindikatoren für die Umweltverträglichkeit von Lichtreizen einer WEA:**

### Stressindikatoren

*Gesamtwirkung:* Aus Vergleichszwecken wird die Gesamtwirkung der Windfarm durch Einschätzungen der Angenehmheit, Bedrohlichkeit und Schädlichkeit ermittelt. Um die Auswirkungen der Windfarm in ihrer Breite zu erheben, wird sowohl nach angenehmen wie auch nach unangenehmen Wirkungen gefragt.

*Belästigung:* Bezogen auf die Belästigung geht es zunächst darum festzustellen, ob die Hindernis-Kennzeichnung bewusst wahrgenommen wird und welche Reizmerkmale besonders beachtet werden (Aufmerksamkeitsbindung). Die differenzierte Beschreibung der Belästigung geschieht mit Variablen zur Intensität, Dauer, Zeitpunkt (z. B. Tages-, Jahreszeit) und Ort. Von Relevanz ist auch die Abhängigkeit der Belästigung von Wetterbedingungen. Die Prüfgröße „Veränderung der Intensität über die Jahre“ wird eingeführt, um zu ermitteln, ob es über die Zeit zu einer Sensibilisierung für oder Gewöhnung an die Wirkungen der Hindernis-Kennzeichnung gekommen ist.

Für eine Gesamtbeurteilung der Belästigung durch WEA ist es wichtig, die Belästigung im Vergleich zu anderen Umweltobjekten wie z. B. „Flughafen“ oder „Mülldeponie mit Geruchsbildung“ zu ermitteln. Damit Aussagen zur Spezifität der Belästigung durch die Hindernis-Kennzeichnung in Relation zu den anderen Stressoren einer WEA gemacht werden können, wird die Belästigung durch die Hindernis-Kennzeichnung auch direkt mit der Belästigung durch Geräusche/Lärm, Schattenwurf und der visuellen Wirkung der WEA in der Landschaft verglichen.

*Befinden:* Zentrale erhobene Variablen des Erlebens sind solche, in denen die Befragten Veränderungen im körperlichen und psychischen Befinden und Veränderungen der allgemeinen Lebenssituation (Lebensqualität) sowie der Gesundheit (Gesundheitsrisiko, Häufigkeit des Krankgewordenseins) auf Einflüsse der WEA zurückführen. Die Fragen zur Befindlichkeit beziehen sich u. a. auf die allgemeine Leistungsfähigkeit, Gefühle, Stimmungen, körperliche Beschwerden z. B. Kopfschmerzen und Schlaf.

*Verhalten:* Dem möglichen Einfluss der Lichtemission auf das Verhalten im Alltag wird durch Fragen zu veränderten Aufenthaltszeiten an bestimmten Orten und zum Ausmaß von Störungen, z. B. durch Ablenkung bei Arbeiten/Tätigkeiten und Arbeiten im Haus und im Freien nachgegangen. Zu diesem Bereich gehören auch Beeinträchtigungen beim Autofahren.

*Bewältigung:* Mit Hilfe von Variablen aus dem Bereich der emotionalen Bewältigung wird untersucht, wie die belästigten Personen ihre Emotionen regulieren, um mit der Situation fertig zu werden. Typische Reaktionen bei der Dauerbelastung sind z. B. Gefühl des Ausgeliefertseins, Resignation oder auch Bagatellisierung. Auch vermutete Einflüsse auf die wirtschaftliche und finanzielle Situation, z. B. befürchteter Wertverlust des Grundstücks, werden geprüft.

Unter problemorientierter Bewältigung sind Maßnahmen zu verstehen, die die belästigte Person durchführt, um die physikalische Reizintensität zu reduzieren oder die Wirkungen des Stressors zu mindern oder zu beseitigen. Hierzu gehören „bauliche Veränderungen“, „Einnahme von Genussmitteln/Medikamenten“, „Beschaffung von Informationen“, „Beschwerden“, „Einleiten juristischer Schritte“ und das Durchführen von Aktionen wie z. B. „Protestbriefe schreiben“. Über die eigenen Handlungsmöglichkeiten zur Veränderung der Stresssituation hinausgehende Absichten werden als Wünsche der Betroffenen registriert.

#### Einflussfaktoren auf Stresseffekte

Als wichtige Moderatorvariablen, also Faktoren, die die Beziehung zwischen physikalischem Umweltreiz und psychischer Wirkung verstärken oder abschwächen, werden eine Reihe von Variablen erhoben.

*Einstellungen:* Aus der Stressforschung ist bekannt, dass die Einstellung zur Emissionsquelle (hier zur WEA) die Effekte des Stressors beeinflussen kann. Pohl und Kollegen (1999) konnten zeigen, dass die „finanzielle Beteiligung an WEA“ ein wirksamer Moderator für die Belästigung durch periodischen Schattenwurf darstellt.

*Soziodemographische Merkmale:* Auch soziodemographische Größen wie Alter, Schulbildung und Wohndauer könnten die Verträglichkeit beeinflussen. So erwies sich die Wohndauer für die Belästigung durch Lichtemissionen von Gewächshäusern als bedeutsamer Moderator (van Oel et al., 2007).

*Psychische und körperliche Belastungen:* Zu den allgemeinen Moderatoren für Stresseffekte, ohne Bezug zur WEA, zählen die akute und chronische Belastung durch Alltagsstressoren bzw. lang anhaltende Stresssituationen sowie die eingeschätzte Gesundheit und die Häufigkeit des Krankgeschriebenseins im letzten Jahr. Auch die allgemeine Sehfähigkeit ist sicher von Bedeutung.

Ein wichtiger Moderator bei Umweltstressoren scheint auch das Persönlichkeitsmerkmal „Neurotizismus/emotionale Labilität“ zu sein (Österberg et al, 2007, Schreckenber & Felscher-Suhr, 2003).

Auch ist an ein Maß für die allgemeine Lichtempfindlichkeit zu denken. In der Lärmforschung konnte die Lärmempfindlichkeit als einer der bedeutendsten Moderatoren identifiziert und durch mehrere Metaanalysen bestätigt werden (Fields, 1993; Job, 1988; Miedema & Vos, 1999).

Im Sinne einer allgemeinen Vorbelastung könnte nach Erfahrungen mit verschiedenen Umweltstressoren gefragt werden. In der Lärmforschung spricht man hier von „Lärmgeschichte“ (Schreckenbergs & Felscher-Suhr, 2003). Weitere Moderatoren sind Einstellung zur WEA im Allgemeinen und Umweltbewusstsein.

### Kontrollgrößen

Um die Ergebnisse zu den verschiedenen Windfarmen vergleichbar zu machen, sind verschiedene Einflussgrößen zu kontrollieren:

- Vergleichbare Akzeptanz für WEA im Allgemeinen und für die örtliche Windfarm bei der Errichtung im Besonderen
- Gleicher Abstrahlwinkel
- Gleiche Betriebsdauer der Windfarmen und der Sichtweitenregulierung
- Vergleichbare Größe der Windfarmen (= gleiche Anzahl der WEA)
- Höhe der WEA
- Abstand des Anwohners zur Windfarm

### **Zielsetzung**

Aufgrund der Literaturrecherche und Vorgesprächen im BMU, mit dem Staatlichen Umweltamt Schleswig und dem BWE wurden bislang folgende Fragestellungen zur Umweltverträglichkeit von Hindernis-Kennzeichnungen eingegrenzt, die zeitnah mit Hilfe des oben dargestellten Untersuchungsansatzes untersucht werden können:

1. Untersuchung der Akzeptanz/Umweltverträglichkeit verschiedener Tageskennzeichnungen
2. Vergleich der Akzeptanz von Kennzeichnungen an Küstenstandorten und mit Standorten im Binnenland
3. Vergleich der Akzeptanz von Tages-/Nachtkennzeichnung mit und ohne Synchronisation
4. Akzeptanz der Blockbefeuerung im Vergleich zur herkömmlichen Befeuerung von Windfarmen

Zur Beantwortung der genannten Fragestellungen sind mehrere Untersuchungen erforderlich. Als erstes Projekt schlagen wir die wissenschaftliche Prüfung der Akzeptanz/Verträglichkeit unterschiedlicher Kennzeichnungen von WEA in Abhängigkeit vom Standort und der Synchronisation vor. Als zweites Projekt empfehlen wir, die Wirkung der Blockbefeuerung im Vergleich zur herkömmlichen Befeuerung zu evaluieren.

## Vorgeschlagene Studien

### Untersuchung zu Hindernis-Kennzeichnungen, Synchronisation und Standort:

#### Untersuchungsplan

Es wird die Akzeptanz/Umweltverträglichkeit von drei verschiedenen Tageskennzeichnungen verglichen: Xenon, LED, farbliche Kennzeichnung der Flügelspitzen. Zur Klärung des Einflusses landschaftlicher Gegebenheiten wird die Akzeptanz von Küsten- und Binnenlandwindfarmen geprüft. Weiterhin wird untersucht, ob Kennzeichnungen mit und ohne Synchronisation in unterschiedlicher Weise akzeptiert werden. Bei der Nachtkennzeichnung wird nur Feuer W, rot mit Sichtweitenregulierung berücksichtigt. Die Kombination der drei Tageskennzeichnungsarten mit den zwei Standortmöglichkeiten und den zwei Synchronisationsformen ergibt  $3 \times 2 \times 2 = 12$  Untersuchungsbedingungen. Der resultierende Versuchsplan ist in Abbildung 1 dargestellt und erfordert die Befragung von Anwohnern von insgesamt 12 Windfarmen. Es werden nur WEA mit mehr als 100 m Höhe berücksichtigt, da Sonderfälle, wie z. B. WEA mit Hindernis-Kennzeichnungen in Einflugschneisen von Flughäfen oder in Tieffluggebieten zunächst ausgeschlossen werden.

Küste	Xenon + Feuer W, rot + Sichtweitenregulierung	LED + Feuer W, rot + Sichtweitenregulierung	Farbliche Kennzeichnung der Flügelspitzen + Feuer W, rot + Sichtweitenregulierung
Mit Synchronisation	1. Windfarm	2. Windfarm	3. Windfarm
Ohne Synchronisation	4. Windfarm	5. Windfarm	6. Windfarm

Binnenland	Xenon + Feuer W, rot + Sichtweiten- regulierung	LED + Feuer W, rot + Sichtweiten- regulierung	Farbliche Kenn- zeichnung der Flü- gelspitzen + Feuer W, rot + Sichtwei- tenregulierung
Mit Synchronisation	7. Windfarm	8. Windfarm	9. Windfarm
Ohne Synchronisation	10. Windfarm	11. Windfarm	12. Windfarm

Abbildung 1: Untersuchungsplan für Küsten- und Binnenlandstandorte. Jede der 12 Windfarmen weist eine bestimmte Kombination von Tageskennzeichnung, Synchronisation und Standort auf.

#### Untersuchungsmethode und Teilnehmer

Die Untersuchung wird als Fragebogenerhebung bei Anwohnern von Windfarmen durchgeführt. Eine Fragebogenerhebung erlaubt im Gegensatz z. B. zu Telefoninterviews eine umfangreichere Erfassung der oben dargestellten Indikatoren und demzufolge eine differenziertere Analyse, die als Basis für die Umweltverträglichkeitsprüfung und spätere Handlungsempfehlungen dienen.

Zur Optimierung des Fragebogens werden drei Beschwerdeführer z. B. aus dem Zuständigkeitsgebiet des StUA Schleswig (Herrn Andreas Kunte) im persönlichen Gespräch bzgl. der Auswirkungen der Kennzeichnungen auf Erleben und Verhalten exploriert.

An jedem der 12 Orte werden 50-100 Anwohner befragt, die in Sichtweite der WEA wohnen. Die Probanden sollten keine Eigentümer/Anteilseigner von/an WEA sein. Sie wohnen in einem maximalen Abstand von der Windfarm entfernt, der in Absprache mit den Auftraggebern festzulegen ist. Verschiedene Entfernungen ermöglichen die Prüfung einer Abstand-Wirkungs-Beziehung.

Da es sich damit um eine sehr spezielle Stichprobe handelt, ist ein besonderer Anreiz erforderlich, um genügend viele Probanden in relativ kurzer Zeit für die Befragung zu gewinnen. Deswegen sollen sie ein Entgelt von 15,- EUR pro Person erhalten. Erfahrungsgemäß wird zudem durch bezahlte Probanden eine höhere Datenqualität erzielt. Das vollständige und sorgfältige Bearbeiten der Fragebögen ist die überprüfbare Voraussetzung für die Zahlung des Honorars.

Die Anwerbung geschieht durch direktes Anschreiben der Haushalte aufgrund von Adressenlisten, die per Amtshilfe Einwohnermeldeämter zur Verfügung stellen. Es wird vorgeschlagen, die Anwohner von sechs Windfarmen im Zuständigkeitsgebiet des StUA Schleswig zu untersuchen, da diese Behörde Unterstützung signalisiert hat.

Für die Planung, Durchführung, Auswertung und Berichtslegung wird eine Bearbeitungszeit von 12 Monaten kalkuliert.

## Untersuchungsplan zu Blockbefeuerung, Windfarmgröße und Standort

In anderen europäischen Ländern wie z. B. Frankreich ist die Blockbefeuerung von Windfarmen zulässig. Im BWE-Arbeitskreis Kennzeichnung wurden mögliche Vor- und Nachteile der Blockbefeuerung diskutiert, wobei auch die Windfarmgröße angesprochen wurde. Da auch zur Blockbefeuerung bislang Akzeptanzstudien fehlen, wird eine weitere Untersuchung vorgeschlagen. Hier soll die Blockbefeuerung mit der herkömmlichen Befeuerung aller Einzelanlagen bei kleinen und großen Windfarmen an der Küste und im Binnenland verglichen werden.

Es ergibt sich der in Abbildung 2 gezeigte Versuchsplan mit acht Windfarmen (2 Befeuerungsarten x 2 Windfarmgrößen x 2 Standorten).

Küste	Blockbefeuerung	Befeuerung aller Einzelanlagen
Kleine Windfarm	1. Windfarm	2. Windfarm
Große Windfarm	3. Windfarm	4. Windfarm
Binnenland	Blockbefeuerung	Befeuerung aller Einzelanlagen
Kleine Windfarm	5. Windfarm	6. Windfarm
Große Windfarm	7. Windfarm	8. Windfarm

Abbildung 2: Untersuchungsplan zur Blockbefeuerung. Jede der acht Windfarmen weist eine bestimmte Kombination von Befeuerungsart, Größe und Standort auf.

## Verwertungsplan

Die vorgestellten Studien liefern belastbare Ergebnisse, die erstmals eine Abschätzung des Belästigungsgrades von WEA-Hinderniskennzeichnungen i. S. des BImSchG (1998) ermöglichen. Diese empirisch fundierten Bewertungen können ggf. Eingang in die Entwicklung von Richtlinien finden. Mit dieser Studie lässt sich objektiver als bisher abschätzen, ob ein Handlungsbedarf zum Schutz der Anwohner vor erheblicher Belästigung besteht. Dazu wird Grundlagenforschung zu den Bereichen Technologieakzeptanz und Stress- bzw. Umweltpsychologie ergänzt um angewandte Forschungsfragen.

Insbesondere zur Art der Tageskennzeichnung sowie der Synchronisation der Befeuerung lassen sich Empfehlungen zur Minimierung von Lichtimmissionen und damit verbundenen Belästigungen ableiten. Die Untersuchungen in verschiedenen Bundesländern mit unterschiedlichen Landschaften (Küste vs. Binnenlandstruktur) ermöglicht, dass die Ergebnisse Länder übergreifend genutzt werden können.

Da technische Neuerungen bei Befeuerungsanlagen auf Umweltverträglichkeit geprüft werden, können die Ergebnisse zur Wirtschaftsförderung beitragen – auf Umweltverträglichkeit geprüfte Anlagen besitzen einen Marktvorteil.

Eine Vielzahl von Akteuren kann die Ergebnisse nutzen:

- Behörden (Richtlinien)
- Windindustrie (Planungssicherheit)
- Verbände (Argumentationshilfen)
- Bevölkerung (Partizipation)
- Politik (Entscheidungsunterstützung)

Die Projektnehmer tragen durch Verbreitung der Ergebnisse auf Vorträgen bei Interessensverbänden (z. B. BWE), einschlägigen Tagungen sowie Veröffentlichungen zudem dazu bei, dass die Ergebnisse Anwendung finden und in weitere Forschung einfließen.

Das Gesamtziel der vorgeschlagenen Studien besteht darin, sowohl einen Grundlagenbeitrag zur umweltpsychologischen Stressforschung als auch einen Beitrag zur Sicherung der Akzeptanz von WEA und damit zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung zu leisten.

Die Fragestellungen der vorgeschlagenen Untersuchungen erscheinen uns vorrangig. Wünschenswert wären weitere Forschungen zu folgenden Themen:

- Akzeptanz vor und nach dem Austausch von Doppelblitzsystemen
- Akzeptanz von WEA-Hindernis-Kennzeichnungen in Einflugschneisen von Flughäfen oder in Tieffluggebieten (Problem der Belastung durch mehrere Umweltstressoren wie Lärm und Lichtsignale)
- Akzeptanz von Hindernis-Kennzeichnungen im Ländervergleich z. B. Deutschland vs. Frankreich (europäische Studie, länderübergreifende Richtlinien)

## **Literatur zu Teil B: (Projektskizze zur Ermittlung der Stresswirkung von Befeuerungssystemen)**

Bundesanzeiger (2007). Allgemeine Verwaltungsvorschrift für die Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen. AVV, Bundesanzeiger Nr. 81/07.

BImSchG (1998). Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I, S. 880), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Oktober 1998 (BGBl. I, S. 3178).

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (2007). Verkehrsblatt, 61 (10).

Feldhaus, G. (1999). Bundesimmissionsschutzrecht. Band 1. Bundesimmissionsschutzgesetz, Kommentar. Heidelberg: Müller.

Fields, J. M. (1993). Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 2753-2763.

Hellbrück, J. & Fischer, M. (1999). *Umweltpsychologie – Ein Lehrbuch*. Göttingen: Hogrefe.

Herrholz, T. (2008). Persönliche Mitteilung im April 2008.

Homburg, A. & Matthies, E. (1998). *Umweltpsychologie: Umweltkrise, Gesellschaft und Individuum*. Weinheim: Juventa.

Janke, W. & Wolffgramm, J. (1995). Biopsychologie von Streß und emotionalen Reaktionen: Ansätze interdisziplinärer Kooperation von Psychologie, Biologie und Medizin. In G. Debus, G. Erdmann & K.W. Kallus (Hrsg.), *Biopsychologie von Streß und emotionalen Reaktionen* (S. 293-347). Göttingen: Hogrefe.

Job, R. F. S. (1988). Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 991-1001.

Miedema, H. M. E. & Vos, H. (1999). Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 3336-3344.

Österberg, K., Persson, R., Karlson, B. Carlsson Eek, F. & Ørbæk, P. (2007). Personality, mental distress, and subjective health complaints among persons with environmental annoyance. *Human & Experimental Toxicology*, 26, 231-241.

Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (1999). Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. [Text zum Herunterladen: [www.umwelt.schleswig-holstein.de/?958](http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/?958)]

Pohl, J., Faul, F. & Mausfeld, R. (2000). Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen: Laborpilotstudie. Kiel: Institut für Psychologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. [Text zum Herunterladen: [www.umwelt.schleswig-holstein.de/?958](http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/?958)]

Ruff, F. M. (1993). Psychische Verarbeitung von Gesundheitsgefahren durch Umweltbelastungen: Ein theoretisches Rahmenmodell. In K. Auwand, B. P. Hazard & F. Tretter (Hrsg.), *Umweltbelastungen und Ängste* (S. 85-112). Opladen: Westdeutscher Verlag.

Schreckenber, D. & Felscher-Suhr, U. (2003). Belästigungswirkung von Straßenverkehrslärm. In R. Schuemer, D. Schreckenber & U. Felscher-Suhr (Hrsg.). *Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm* (S. 49-72). Bochum: Zeus GmbH.

van Oel, C. J., Janssen, E. G. O. N., Alferdinck, J. W. A. M. & Ruigrok, J. (2007). Increased annoyance from light output of greenhouses in areas not familiar with greenhouses. Paper presented at the ENHR 2007 International Conference "Sustainable Urban Areas", June 25.-28., Rotterdam, Netherlands.

### **3 Feststellung von Steuer- und Schaltmöglichkeiten**

#### **3.1 Einsatz des Dämmerungsschalters und der Sichtweitenmessung**

In der Bundesrepublik Deutschland sind weiß blitzende Feuer mittlerer Lichtstärke ( $20\,000\text{ cd} \pm 25\%$ ) für Tageskennzeichnung genehmigungsfähig. Sie sind am Tage außerhalb der Betriebszeit der Nacht-kennzeichnung zu betreiben. Dies ist durch einen Dämmerungsschalter mit einer Schaltschwelle von 50 bis 150 Lux sicherzustellen. Die effektive Lichtstärke ist gemäß den gültigen Normen und Richtlinien nachzuweisen (siehe Anlage 4, Punkt 6.1).

Der Sachverhalt zur Anwendung der Sichtweitenregelung ist in Nr. 14.2 AVV, Nr. 17.4 AVV und Anhang 4 der AVV geregelt. Danach kann die Nennlichtstärke weiß blitzender Feuer am Tag bei Sichtweiten über 5000 m auf 30 % und bei Sichtweiten über 10 km auf 10 % reduziert werden. Gleiches gilt bei Nacht für die Regelung der Nennlichtstärke der Gefahrenfeuer und der Feuer W, rot. Die Sichtweitenmessung erfolgt nach den Vorgaben, die im Anhang 4 der AVV geregelt sind (siehe Anlage 4).

#### **3.2 Befeuerungsaktivierung durch Wahrnehmung von Luftfahrzeugen**

Das Vorhaben HiWUS hat zum Ziel, die maximalen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung der Kennzeichnung unter Berücksichtigung der Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffs- und Luftverkehrs und unter Berücksichtigung der Vogelschlagproblematik darzustellen.

In diesem Zusammenhang soll im Folgenden untersucht werden, ob für die nächtliche Befeuerung von WEA als Einschaltimpuls die Signale von Luftfahrzeugen verwendet werden können, die von deren Transpondern ausgestrahlt werden oder die von Primärradarsystemen erfasst werden. Die Feldversuche sollen die grundsätzliche Eignung nachweisen sowie Erkenntnisse liefern, die bei der Definition eines Prototyps zugrunde gelegt werden können. Hierbei sind besonders die technischen Gegebenheiten auf Seiten der Luftfahrzeuge zu beachten. Darüber hinaus ist die Entwicklung der Transponderinstallationen aufgrund der luftrechtlichen Gegebenheiten von Bedeutung.

Zurzeit wird untersucht, ob eine Schaltung über Transponder in Kombination mit Backup-Systemen (Primärradar, Hindernisfeuer) eingesetzt werden kann. Hierzu wurde unter Führung des BWE eine Fachgruppe "Transponder" eingerichtet.

### 3.3 Feldversuch Transponder

#### 1. Allgemeines

##### Transpondereinschaltpflicht

Geeignet sind für diese Umsetzung ausschließlich Lufträume, in denen eine Transpondereinschaltpflicht besteht. Der Feldversuch konzentriert sich auf den Nachtbetrieb. Bei Dunkelheit besteht Transpondereinschaltpflicht für Flüge nach Sichtflugregeln in folgenden Lufträumen:

1. Flüge in Lufträumen der Klassen C sowie D (nicht Kontrollzone)
2. Flüge in Lufträumen mit vorgeschriebener Transponderschaltung (Transponder Mandatory Zone – TMZ)
3. Flüge bei Nacht im kontrollierten Luftraum.

Keine Transpondereinschaltpflicht besteht aktuell in den unkontrollierten Lufträumen F und G. In diesen Lufträumen befindet sich auch der größte Anteil der Windenergieanlagen.

Als Grundlage für weitere Auseinandersetzungen bezüglich der Transpondereinschaltpflicht entstand im Rahmen der HiWUS-Entwicklungen der Begriff „TMZ-Night“, welcher bereits aus anderen Gründen von der AG Zivil-Militärische Flugsicherheit in einem „Antrag auf Einführung einer Transponder Einschaltpflicht bei Nacht, innerhalb unkontrollierter Lufträume über der Bundesrepublik Deutschland“ vom Mai 2004 an das BMVBS beschrieben wird.

##### Transponder Mode A/C, Transponder Mode S

Der Einsatz des Mode S Transponder ist in Deutschland ab dem 1.4.2008 dort Pflicht, wo eine luftraumbedingte Transpondereinschaltpflicht besteht. Diese Pflicht gilt auch für andere Länder (GB, F, NL, B, L, D, A und CH), aber eben nicht weltweit. Dementsprechend ist der Mode S Transponder derart ausgebildet, dass er auch Mode A/C Anfragen versteht und im Mode A/C antworten kann.

Aktuell wird in Deutschland die Transponderabfrage im Wesentlichen über Mode A/C realisiert.

Dadurch, dass die selektiven Abfragen nicht über Mode S beantwortet werden, erfährt der Transponderempfänger in der WEA auch nicht die Antworten ELS und EHS, welche die Aquisitions-Squitter-Information ergänzen würden.

Die Informationen Mode A und Mode C haben den gleichen Syntax. Der Mode A beinhaltet die Information des Squawk, welcher z.B. den Wert 1000 haben kann. Der Mode C beinhaltet die Information der Flugfläche, welche ebenfalls den Wert 1000 haben kann. Da uns die

Abfrage (Mode A oder Mode C) nicht bekannt ist, wissen wir auch nicht, ob es sich um eine Mode A oder Mode C Antwort handelt.

Das Konzept der Befeuerungsaktivierung durch Transpondersignale gestaltet sich folgendermaßen:

- Sämtliche Luftfahrzeuge im Umfeld des Empfängers werden erfasst.
- Je nach Beurteilung der Erkenntnisse dieses Feldversuchs wird der Erfassungsbereich begrenzt.
- Sämtliche Luftfahrzeuge in dem Erfassungsbereich werden als relevant oder nicht relevant eingeteilt.
- Nicht relevant sind alle Luftfahrzeuge, welche identifiziert und als „zu entfernt“ lokalisiert werden.
- Relevant sind alle Luftfahrzeuge, die zu nah oder nicht identifiziert sind.
- In den Zeiträumen, in denen kein relevantes Luftfahrzeug wahrgenommen wird, wird die Befeuerung ausgeschaltet bzw. reduziert.

### Erfassungsbereich

Transpondersignale von Luftfahrzeugen müssen in dem Bereich erfasst werden, in dem die Hindernisbefeuerung wahrnehmbar sein muss.

Die Berechnungsgrundlagen für die Tragweitenbestimmung der Befeuerung entsprechen denen der Bestimmung der Intensitäten für die sichtweitengeregelte Befeuerung nach Anhang A1 des Besprechungsprotokolls vom 24.05.2005/ BMVBS. Danach gilt die Befeuerung als sicher erkennbar, wenn das Verhältnis von der am Auge eintreffenden Beleuchtungsstärke zu der Schwellenbeleuchtungsstärke gleich oder größer 1 ist.

Als Schwellenbeleuchtungsstärke werden  $2 \cdot 10^{-7}$  lx verwendet. Dies bedeutet größere Tragweiten und dementsprechend mehr Sicherheit.

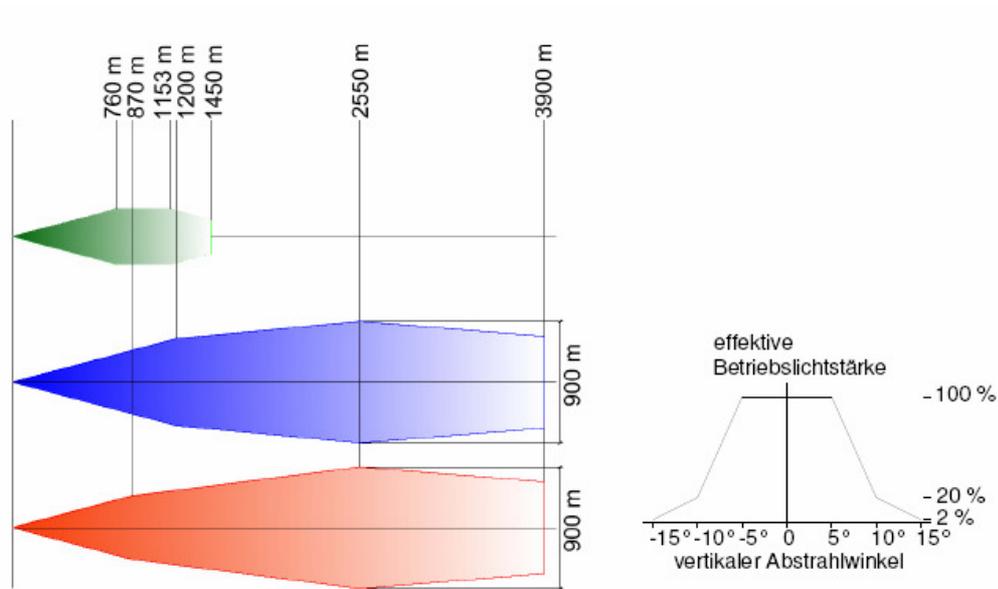
Die vertikal größten Abstrahlbereiche werden bei Hindernissen mit W, rot Befeuerungen erreicht.

Da dieses Feuer sichtweitengeregelt betrieben werden kann, ergeben sich in Abhängigkeit der Sichtweiten unter verschiedenen Abstrahlwinkeln folgende in Tabelle 1 dargestellten effektiven Lichtstärken.

	Abstrahlwinkel $\pm 5^\circ$	Abstrahlwinkel $\pm 10^\circ$	Abstrahlwinkel $\pm 15^\circ$
Sichtweite = 800 m	100 cd	20 cd	2 cd
Sichtweite = 5000 m	30 cd	6 cd	0,6 cd
Sichtweite = 10000 m	10 cd	2 cd	0,2 cd

Tabelle 1

Grafik 1 stellt eine grafische Darstellung der Sichtweiten des Feuers W, rot in Abhängigkeit der meteorologischen Sichtweiten dar. In Grün ist die Sichtweite bei 800m Sicht und 100% (100 cd) der effektiven Betriebslichtstärke, in blau ist die Sichtweite bei 5000m Sicht und 30% (30 cd) der effektiven Betriebslichtstärke und in rot ist die Sichtweite bei 10000m Sicht und 10% (10 cd) der effektiven Betriebslichtstärke dargestellt. Der größte Erfassungsbereich ergibt sich bei 30% Intensität und 5km Sichtweite.



Grafik 1

Grafik 2

Zusammenfassung der Sichtweiten:

Sichtweitengeregelt	Sichtweite	W, rot [m]
nein	>10 km	7400
Ja	>10 km	3900
Ja	>5 km u. <10 km	3900
Ja	<5 km	1450

Tabelle 2

An der höchsten Stelle hat der Erfassungsbereich eine Ausdehnung von 900m in einer Entfernung von 2550m zu dem Feuer. Dieser Höhe ist die Höhenposition des Feuers hinzu zu rechnen.

## 2. Feldversuch

### Ziel des Feldversuches

Das Ziel des Feldversuches ist das Aktivieren der Befeuerung, wenn sich das Luftfahrzeug im Bereich der Lichtkeule W, rot aufhält. Im ersten Schritt wird es keine räumliche Begrenzung des Empfangsbereichs geben.

Die Luftfahrzeuge senden in Intervallen von 0,8 bis 1,2 Sekunden ihre Flugzeug-ID (24bit ICAO-Code). Die Wahrnehmung dieser Sendung führt zur Aktivierung der Befeuerung, wenn nicht innerhalb einer bestimmten Frist das Luftfahrzeug als „regional irrelevant“ eingestuft wird. Diese Feststellung kann über folgende Wege getroffen werden:

Der Extended Squitter (wenn vorhanden) informiert über Position und Höhe des Luftfahrzeuges.

Die durch die Mode S Abfrage einer Bodenstation verursachte Antwort ELS informiert über die Höhe bzw. die Antwort EHS informiert über die Höhe und über die Position.

In dem Feldversuch werden zwei Versuchsreihen durchgeführt:

1. Datenerhebung von Mode S-Signalen und Mode A/C-Signalen
2. Gezielte Beobachtung von Luftfahrzeugen der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf

### Datenerhebung von Mode S-Signalen und Mode A/C-Signalen

Für die Datenerhebung wurden zwei Quellen genutzt.

**Daten aus dem Transpondersignalempfänger RT60 der Filser GmbH.** Dieses Gerät erhielt eine modifizierte Software und nahm die Downlinkformate 11, 17 (Mode S) und 32 (Mode A/C) auf.

Die Aufnahmedauer begann um 13:52:32h am 21.01.2008 und endete um 10:54:44h am 24.01.2008.

In dieser Zeit (69:02:12 Stunden) wurden 2.334.717 Datensätze aufgezeichnet; das entspricht einem Mittelwert von 9,39 Datensätzen pro Sekunde.

122.439 Datensätze beinhalten Höhenwerte (das entspricht 5,244 %). Der Gesamtanteil der Mode S-Datensätze (DF11 und DF17) beträgt 13,45 % (314.008 Datensätze).

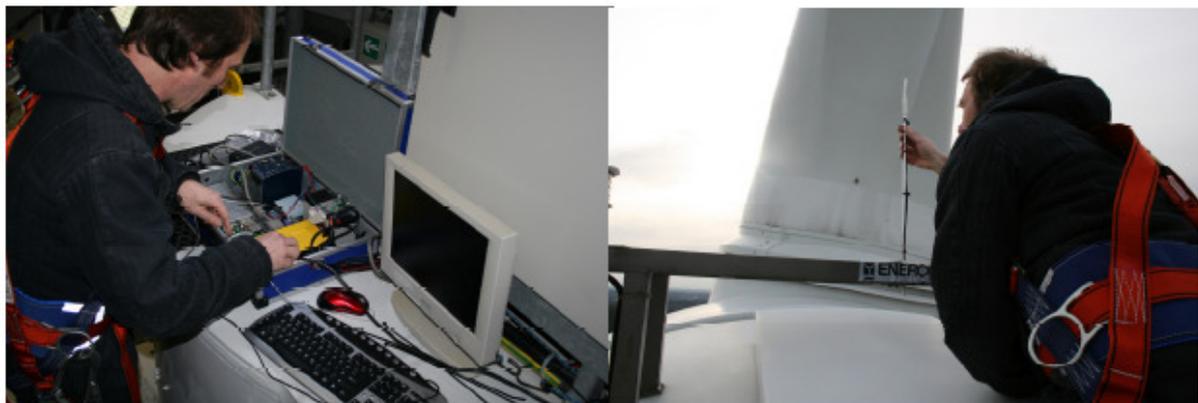
Hieraus lässt sich kein qualitatives Ergebnis ableiten, da die Luftfahrzeuge in unbestimmten Mengen in unterschiedlichen Mode antworten: 1656 Luftfahrzeuge wurden als DF11 und DF17 wahrgenommen, sämtliche Mode S-Transpondersquittern mit Mode S und antworten mit Mode A/C.

Werden die Datensätze zu Luftfahrzeugen zusammengefasst (ein Luftfahrzeug, welches beispielsweise 13 Flüge durchführt, wird auch dreizehnmal gezählt) ergibt sich folgende Übersicht:

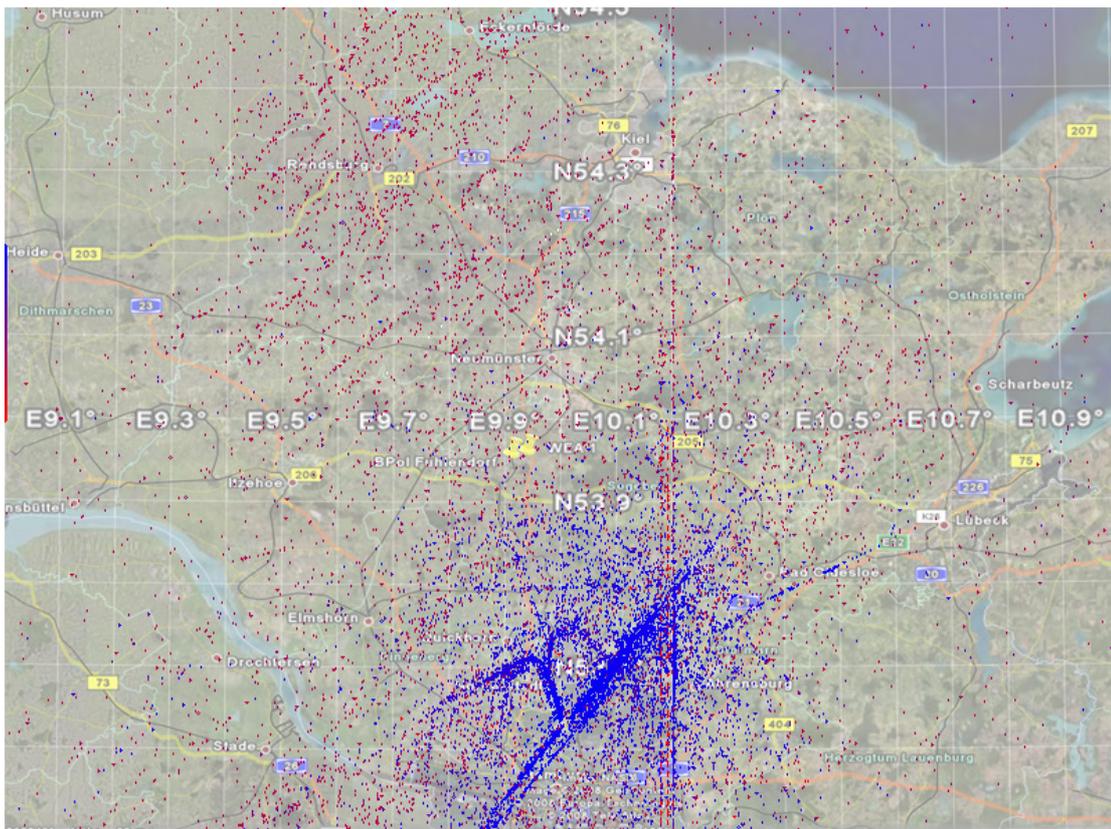
	Luftfahrzeuge	DF11	DF17	DF32
00:00:00 -24:00:00	19.534	x	x	
00:00:00 -24:00:00	3.104		x	
00:00:00 -24:00:00	18.086	x		
00:00:00 -24:00:00	14.622			x
00:00:00 -24:00:00	34.066	x	x	x
17:00:00-08:00:00	8.514	x	x	
17:00:00-08:00:00	1.716		x	
17:00:00-08:00:00	7.690	x		
17:00:00-08:00:00	3.916			x
17:00:00-08:00:00	12.383	x	x	x

*Tabelle 3: Anzahl der erfassten Luftfahrzeuge in Bezug auf Erfassungszeitraum und Downloadformat*

Der Luftraum wurde bei dieser Auswertung nicht begrenzt.



*Fotos von der Installation der Messeinrichtung*



Grafik 3: Plot der DF17 Daten der HiWUS-Messung

Relevant für die Auswertung ist der Luftverkehr bei Dunkelheit. Während des Feldversuches bestanden folgende Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten:

Datum	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang
21.01.08	08:25:00	16:39:00
22.02.08	08:24:00	16:41:00
23.01.08	08:23:00	16:43:00
24.01.08	08:21:00	16:45:00

Tabelle 4: Sonnenauf- und Sonnenuntergangszeiten während der Messphase

Für die Dauer der Dunkelheit wurde in den Datenabfragen der Zeitraum 17:00:00h bis 08:00:00h festgelegt.

### **Mitschrift und Aufbereitung von Radardaten der DFS:**

Der Liefer- und Leistungsumfang besteht in der Aufzeichnung von Transponderdaten vom 21.01.2008 (ab 12:00 Uhr) bis 24.01.08 (bis 13:00 Uhr)

- 9°30'0.0" östliche Länge bis 10°30'0.0" östliche Länge
- 53°40'0.0" nördliche Breite bis 54°20'0.0" nördliche Breite
- von GND bis unlimited

als Sekundenplot der sich in diesem Raum bewegenden Luftfahrzeuge mit Mode A/C und mit Mode S Transpondern (Luftfahrzeuge-Kennung, Flugfläche und Längen/Breiten-Position).

Neben Datum und Zeit wurden folgende Parameter mitgeschrieben:

- Source beinhaltet den Standort der Station: Radaranlage Deister (DEI) oder Radaranlage Nordholz (NHZ)
- Combi steht für die Zielerfassung über Primär- und Sekundärradar und Solo für die Zielerfassung nur SSR (Sekundärradar), Primärradar hat eine Reichweitenbeschränkung von 140NM
- Lon. und Lat.: 542116N= 54° 21' 16" N
- Code beinhaltet den Mode A Code
- HEIGHT bezeichnet die Flugfläche in feet, ergänzt mit den Kurzzeichen A, G und U: A : in der Luft; G: gabelt (vergabelte ineinander verzweigte Signale); U: invalid (undeutlicher bzw. unmöglicher Wert)
- AIRCADDR enthält den 24-bit ICAO-Code
- Callsign beinhaltet die Flight ID

Über den Versuchszeitraum wurden 184.162 Datensätze aufgenommen, die 1301 identifizierten Luftfahrzeugen zugeordnet werden können.

277 Datensätze beinhalteten keine Mode A-Kennung. 44 Datensätze davon konnten 26 Flügen aufgrund von ICAO-Codes zugeordnet werden. Anhand von Flugflächen, Positionen und Zeiten wurden die verbleibenden

6 Datensätze am 21.01.2008 6 Luftfahrzeugen

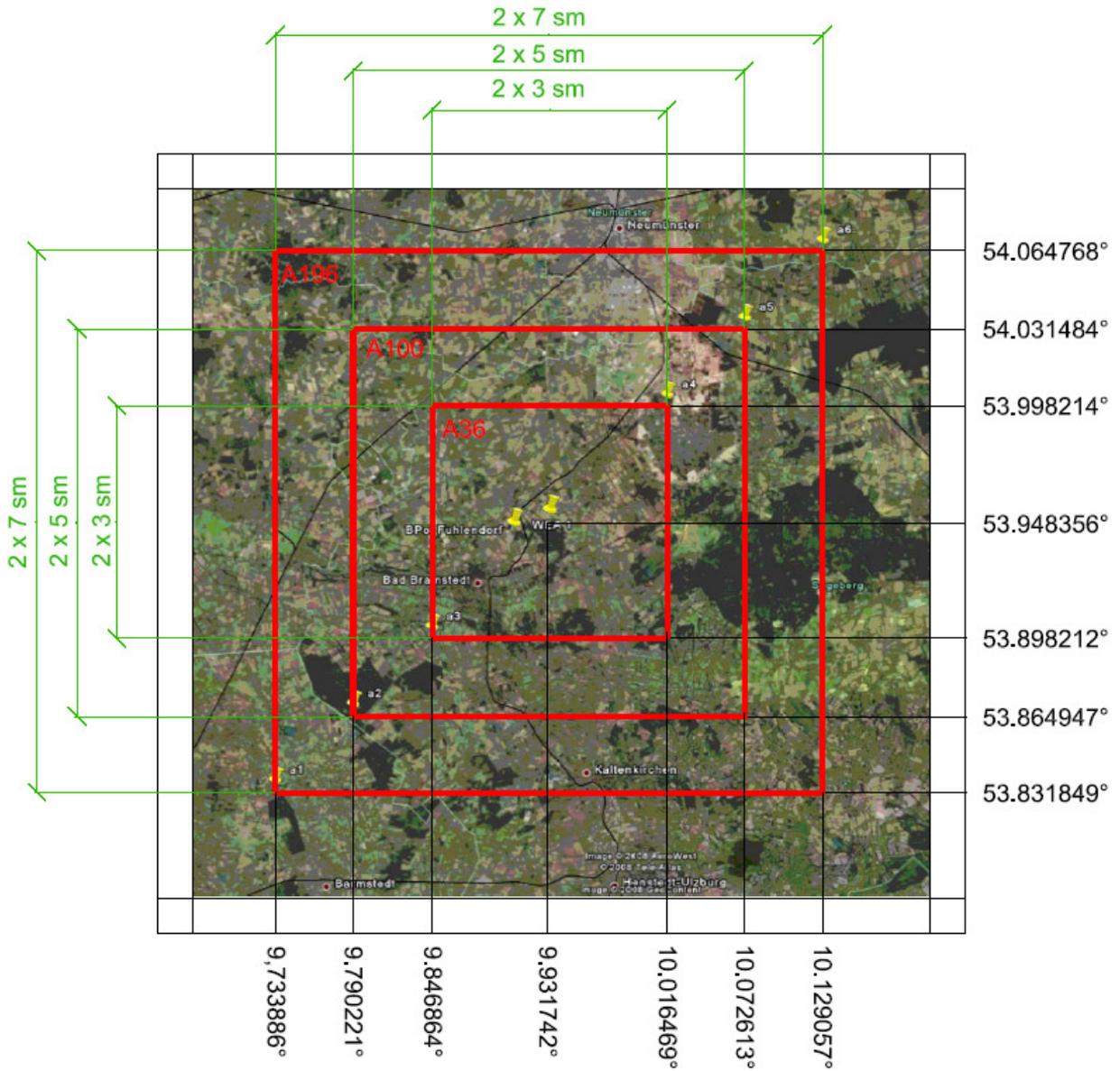
188 Datensätze am 22.01.2008 36 Luftfahrzeugen

35 Datensätze am 23.01.2008 18 Luftfahrzeugen und

4 Datensätze am 24.01.2008 4 Luftfahrzeugen zugeordnet. Insgesamt wurden also 1391 Luftfahrzeuge identifiziert.

Für die Feldversuche wird der Luftraum folgendermaßen aufgeteilt: drei Vierecke mit den Radien (halbe Kantenlängen) 3 SM (Grundfläche A36: 6x6 SM), 5 SM (Grundfläche A100: 10x10 SM) und 7 SM (Grundfläche A196: 14x14 SM) bilden die Grundflächen. Drei Seemeilen als

kleinster Radius liegt mit 5556 m deutlich über der maximalen W, Rot Tragweite von 3900 m. 7 SM als Radius mit umgerechnet 12964 m liegt oberhalb der 10 km-Grenze für maximale Sicht.



Grafik 4: Aufteilung des Luftraumes für die Auswertung

Die Flugflächen sind in feet bzw. in Meter dargestellt.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Datenauswertungen dargestellt. Tabelle 5 zeigt die Daten der Messung auf der Windenergieanlage (auch HiWUS-Messung), bezogen auf die drei Grundflächen A36, A100 und A196 und bezogen auf den gesamten Zeitraum der Messung (24 Std.) bzw. auf die Stunden zwischen 17:00 Uhr und 08:00 Uhr über drei Nächte (Nachts). In den Feldern steht die Anzahl der Luftfahrzeuge zwischen 0l Metern und der aufgelisteten Flugfläche.

Die Zeile >30000 ft betrachtet den Luftraum oberhalb von 30000 ft.

HiWUS		24 Std.	Nachts	24 Std.	Nachts	24 Std.	Nachts
		A36		A100		A196	
		6 sm x 6 sm		10 sm x 10 sm		14 sm x 14 sm	
Flugfläche [ft]	Flugfläche [m]						
500	152,4	11	7	20	12	34	19
1000	304,8	11	7	20	12	34	19
1500	457,2	11	7	20	12	34	19
2000	609,6	11	7	20	12	36	20
3000	914,4	13	7	24	14	40	22
5000	1524	21	11	33	18	58	31
10000	3048	28	15	46	24	79	43
20000	6096	36	22	59	32	98	55
30000	9144	49	30	75	42	116	67
> 30000	> 9144	122	70	190	104	254	140

*Tabelle 5: Luftraumbezogene Anzahl der erfassten LFZ-Daten der HiWUS-Messung*

Interpretation: Die in Zeile FL 5000 ft unter A36 nachts angegebene LFZ-Anzahl 11 bedeutet, dass sich in dem Luftraum zwischen FL 3000 ft und FL5000 ft 4 Luftfahrzeuge befunden haben. Die restlichen 7 Luftfahrzeuge befinden sich bereits in dem Luftraum bis FL3000 ft.

Tabelle 6 zeigt die Daten der Messung der DFS, bezogen auf die drei Grundflächen A36, A100 und A196 und bezogen auf den gesamten Zeitraum der Messung (24 Std.) bzw. auf die Stunden zwischen 17:00 Uhr und 08:00 Uhr über drei Nächte (Nachts). In den Feldern steht die Anzahl der Luftfahrzeuge zwischen 0l Metern und der aufgelisteten Flugfläche.

Die Zeile >30000 ft betrachtet den Luftraum oberhalb von 30000 ft.

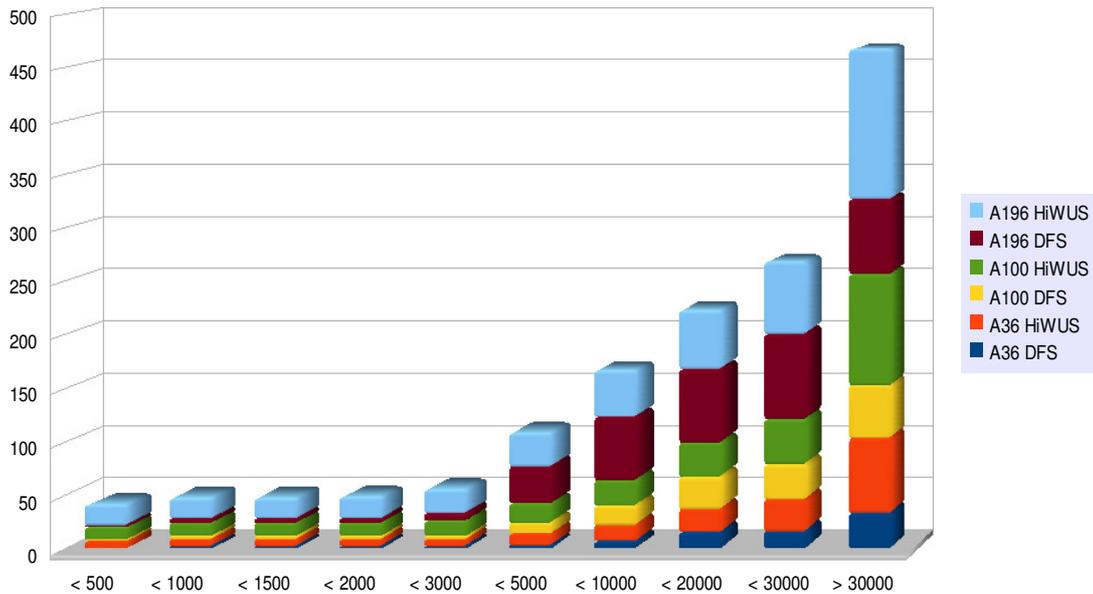
DFS		24 Std.	Nachts	24 Std.	Nachts	24 Std.	Nachts
		A36		A100		A196	
		6 sm x 6 sm		10 sm x 10 sm		14 sm x 14 sm	
Flugfläche [ft]	Flugfläche [m]						
500	152,4	5	0	9	1	13	2
1000	304,8	9	2	16	3	20	4
1500	457,2	10	2	17	3	20	4
2000	609,6	14	2	20	3	26	4
3000	914,4	17	2	22	3	40	7
5000	1524	25	3	48	10	114	35
10000	3048	43	7	90	18	173	59
20000	6096	62	15	117	30	203	69
30000	9144	69	16	133	33	236	80
> 30000	> 9144	79	33	116	50	153	70

*Tabelle 6: Luftraumbezogene Anzahl der erfassten LFZ-Daten der DFS*

		DFS	HiWUS	DFS	HiWUS	DFS	HiWUS
		A36		A100		A196	
Flugfläche [ft]	Flugfläche [m]	6 sm x 6 sm		10 sm x 10 sm		14 sm x 14 sm	
500	52,4	0	7	1	12	2	19
1000	304,8	2	7	3	12	4	19
1500	457,2	2	7	3	12	4	19
2000	609,6	2	7	3	12	4	20
3000	914,4	2	7	3	14	7	22
5000	1524	3	11	10	18	35	31
10000	3048	7	15	18	24	59	43
20000	6096	15	22	30	32	69	55
30000	9144	16	30	33	42	80	67
> 30000	> 9144	33	70	50	104	70	140

*Tabelle 7: Luftraumraumbezogene Anzahl der erfassten LFZ in dem Zeitraum 17:00 Uhr bis 08:00 Uhr - Daten der HiWUS-Messung und der DFS*

Die Tabelle 7 ist die Gegenüberstellung der Nachtwerte aus den Tabellen 5 und 6.



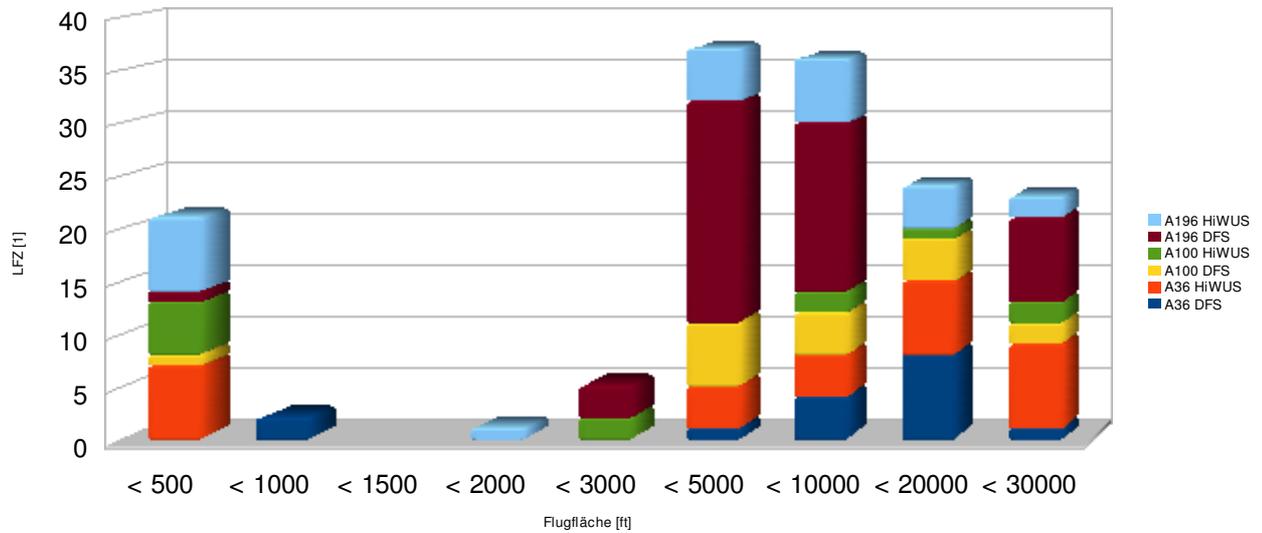
Grafik 5: Luftraumbezogene Anzahl (kumuliert) der erfassten LFZ in dem Zeitraum 17:00 Uhr bis 08:00 Uhr - Daten der HiWUS-Messung und der DFS (Daten aus Tabelle 7)

Zur Interpretation ein Beispiel:

Über der Grundfläche von 10 SM mal 10 SM wurden in dem Luftraum bis 10000 ft Höhe in den Nächten während des gesamten Feldversuchs seitens der DFS 18 Luftfahrzeuge und seitens der HiWUS-Messung 24 Luftfahrzeuge wahrgenommen. Bei den 24 Luftfahrzeugen handelt es sich um Luftfahrzeuge mit Mode S Höhenangaben. Daneben wurden für den gleichen Zeitraum ohne regionale Beschränkungen weitere 10.667 Luftfahrzeuge aufgezeichnet. Die Daten der DFS, welche sämtliche Luftfahrzeuge mit Höhenangabe identifizieren, erlauben den Schluss, dass die Anzahl zusätzlicher Luftfahrzeuge zwischen 2 und 11 begrenzt ist. Der Wert hängt davon ab, welche Güte die Radarabfrage bis in die unteren Bereiche hat.

Die nachfolgende Grafik 6 und Tabelle 8 stellt die Anzahl (DFS/HiWUS) der Luftfahrzeuge in den einzelnen Lufträumen dar. Diese Darstellung unterscheidet sich von der vorhergehenden folgendermaßen:

Die Höhe des Luftraumes wird nicht mehr grundsätzlich ab Ground (GND) gezählt, sondern von der zuvor genannten Flugfläche. Die Grundfläche A100 beinhaltet nicht mehr die Grundfläche A36. Die Grundfläche A196 beinhaltet nicht die Grundfläche A100.



Grafik 6: Aufteilung der Luftfahrzeuge auf konstruierte Lufträume

Flugfläche [ft]	A36 DFS	A36 HiWUS	A100 DFS	A100 HiWUS	A196 DFS	A196 HiWUS
0- 500	0	7	1	5	1	7
500 – 1000	2	0	0	0	0	0
1000 – 1500	0	0	0	0	0	0
1500 - 2000	0	0	0	0	0	1
2000 – 3000	0	0	0	2	3	0
3000 – 5000	1	4	6	0	21	5
5000 – 10000	4	4	4	2	16	6
10000 – 20000	8	7	4	1	0	4
20000 – 30000	1	8	2	2	8	2
> 30000	33	70	50	104	70	140

Tabelle 8: Aufteilung der Luftfahrzeuge auf konstruierte Lufträume

### Gezielte Beobachtung von Luftfahrzeugen der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf:

Für diese Versuchsreihe stehen drei Quellen zur Verfügung: Ein Log-Protokoll, aufgezeichnet im Tower der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf, und die zwei bereits in der ersten Reihe verwendeten Datenquellen. Seitens der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf wurden wir gebeten, die Daten vertraulich zu behandeln. Daher erscheinen in der Folge nicht die ICAO- und Flight-ID-Kennungen, sondern gewählte Bezeichnungen.



*Fotos von dem Feldversuch*

Von der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf wurden 19 verschiedene 24-Bit ICAO-Code als mögliche Verkehrsteilnehmer genannt. Der HiWUS-Feldversuch identifizierte 7 Luftfahrzeuge mit insgesamt 1491 Datensätzen. Über die Flight-ID wurden zusätzlich zwei weitere von der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf nicht aufgelistete Luftfahrzeuge erkannt (weitere 511 Datensätze). Wahrscheinlich handelt es sich bei den zwei Luftfahrzeugen um die lfd. Nr. 4 und 6, denen keine ICAO-Bezeichnung zugewiesen wurde. Von der DFS wurden insgesamt 7 Luftfahrzeuge erkannt. Eines dieser Luftfahrzeuge ist wahrscheinlich ebenfalls der lfd. Nr. 4 zuzuordnen. Sämtliche von der DFS erkannten Luftfahrzeuge wurden im Rahmen der HiWUS-Messung wahrgenommen.

Quelle	Bundespolizei			HiWUS		DFS	
	ICAO-Code	Transpon- dertyp	Ein-/ Zwei- kanal	ICAO-Code	Flight ID	ICAO-Code	Flight ID
1	HexPol_01	MST67A	Ein	HexPol_01		HexPol_01	FIDPol_20
2	HexPol_02	MST67A	Ein	HexPol_02			
3	HexPol_03	MST67A	Ein				
4	Keine Akte	MST67A	Ein				
5	HexPol_05	MST67A	Ein				
6	Keine Akte	GTX330	Ein				
7	HexPol_07	TDR-94	Zwei				
8	HexPol_08	TDR-94	Zwei				
9	HexPol_09	TDR-94	Zwei				
10	HexPol_10	TDR-94	Zwei				
11	HexPol_11	TDR-94	Zwei	HexPol_11		HexPol_11	FIDPol_21
12	HexPol_12	TDR-94	Zwei	HexPol_12		HexPol_12	FIDPol_22
13	HexPol_13	TDR-94	Zwei	HexPol_13		HexPol_13	FIDPol_23
14	HexPol_14	BXP6401-1	Ein				
15	HexPol_15	TDR-94	Zwei				
16	HexPol_16	TDR-94	Zwei				
17	HexPol_17	TDR-94	Zwei	HexPol_17	FIDPol_24	HexPol_17	FIDPol_24
18	HexPol_18	TDR-94	Zwei	HexPol_18	FIDPol_26	HexPol_18	FIDPol_24
19	HexPol_19	TDR-94	Zwei				
20				HexPol_04	FIDPol_25		
21				HexPol_06	FIDPol_25	HexPol_06	FIDPol_24

*Tabelle 9: Abgleich der LFZ-Kennungen durch die drei Datenbestände*

Die Luftfahrzeuge der Bundespolizei wurden überwiegend mit der Transponderkennung DF11 identifiziert. Daraus ergibt sich, dass keine Höhen- und keine Positionsangaben zur Verfügung stehen. Seitens der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf wurden allerdings neben den Zeiten, Abflug- und Anflugrichtungen sowie Flugflächen dokumentiert, so dass diese mit den Radardaten der DFS verglichen werden konnten. Für eine Überwachung der Flugbewegungen stehen im direkten Vergleich die Flugzeiten zur Verfügung.

LFZ-Nr.	Datum/ Uhrzeit	Einschaltzeit des Transponders	Startzeit	Abflug- richtung	Anflug- richtung	Höhe in ft	Landezeit
1	22.1.08/ 15:43				230°	1000	15:45
2	22.1.08/ 16:32				270°	1100	16:35
3	23.1.08/ 08:25	08:34	08:35	210°		300	
4	23.1.08/ 08:26	08:38	08:38	210°		500	
5	23.1.08/ 09:00	09:03	09:08	200°		1000	
6	23.1.08/ 10:00	10:04	10:05	100°		900	
7	23.1.08/ 10:45				90°	1000	10:45
8	23.1.08/ 11:52				260°	1250	11:52
9	23.1.08/	14:42	14:43	90°		900	
10	23.1.08/				260°	100	14:56
11	24.1.08/	09:04	09:05	230°			
12	24.1.08/	14:35	14:38	240°			
13	24.1.2008/				230°	300	15:00
14	24.1.08/				230°	300	15:01

Simulation Anflug Wiemersdorf

	Datum/ Uhrzeit	Landeanflug	Höhe	Start
15	23.1.08/12:38	285° (1km)	1000	
16	23.1.08/12:39			220° dct 899

*Tabelle 10: Mitschrift der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf*

HiWUS -Feststellung von Steuer- und Schaltmöglichkeiten

Daten: HiWUS Feldversuch GMT+1			Daten: DFS GMT			Daten: Bpol				
LFZ	Datum/ Uhrzeit (GMT+1)	Einschaltzeit des Transponders	Startzeit	Landezeit	LFZ	Datum/ Uhrzeit (GMT+1)	Einschaltzeit des Transponders	Startzeit	Landezeit	
15:56:29	21.01.08	HexPol_18	14:59:43.10	21.01.08	HexPol_18					
16:05:53	21.01.08	HexPol_18	15:07:46.00	21.01.08	HexPol_18					
15:04:57	21.01.08	HexPol_12	14:21:25.70	21.01.08	HexPol_12					
15:24:28	21.01.08	HexPol_12	14:24:46.20	21.01.08	HexPol_12					
15:10:40	21.01.08	HexPol_01								
15:25:50	21.01.08	HexPol_01								
09:22:40	22.01.08	HexPol_11	08:27:07.30	22.01.08	HexPol_11	FIDPol_21				
09:35:55	22.01.08	HexPol_11	08:37:32.90	22.01.08	HexPol_11	FIDPol_21				
10:12:26	22.01.08	HexPol_11	09:15:03.60	22.01.08	HexPol_11	FIDPol_21				
		HexPol_11	09:41:58.90	22.01.08	HexPol_11	FIDPol_21				
		HexPol_11	10:18:19.40	22.01.08	HexPol_11					
		HexPol_11	10:26:45.90	22.01.08	HexPol_11					
		HexPol_11	10:30:41.80	22.01.08	HexPol_11					
11:45:52	22.01.08	HexPol_11	10:46:47.50	22.01.08	HexPol_11					
10:17:10	22.01.08	HexPol_12	09:29:11.60	22.01.08	HexPol_12	FIDPol_22				
10:32:51	22.01.08	HexPol_12	09:38:02.00	22.01.08	HexPol_12	FIDPol_22				
15:33:27	22.01.08	HexPol_12	14:36:14.50	22.01.08	HexPol_12		1	22.1.08/ 15:43	15:45	
15:45:56	22.01.08	HexPol_12	14:45:05.20	22.01.08	HexPol_12					
10:42:03	22.01.08	HexPol_06	09:48:14.80	22.01.08	HexPol_06	FIDPol_27				
11:05:54	22.01.08	HexPol_06	09:53:33.10	22.01.08	HexPol_06	FIDPol_27				
16:11:51	22.01.08	HexPol_06	15:27:07.10	22.01.08	HexPol_06		2	22.1.08/ 16:32	16:35	
16:32:45	22.01.08	HexPol_06	15:34:11.50	22.01.08	HexPol_06					
13:12:55	22.01.08	HexPol_01								
13:14:44	22.01.08	HexPol_01								
09:05:03	23.01.08	HexPol_13	08:09:00.60	23.01.08	HexPol_13	FIDPol_23	5	23.1.08/ 09:00	09:03	
09:13:39	23.01.08	HexPol_13	08:33:06.10	23.01.08	HexPol_13					
08:51:32	23.01.08	HexPol_17								
10:41:42	23.01.08	HexPol_17								
14:41:57	23.01.08	HexPol_17	13:44:09.20	23.01.08	HexPol_17	FIDPol_24	9	23.1.08/	14:42	
14:55:59	23.01.08	HexPol_17	13:45:55.40	23.01.08	HexPol_17	FIDPol_24	10	23.1.08/	14:56	
15:10:07	23.01.08	HexPol_17								
15:16:15	23.01.08	HexPol_17								
15:18:59	23.01.08	HexPol_17								
08:27:26	23.01.08	HexPol_18								
08:28:38	23.01.08	HexPol_18								
08:36:00	23.01.08	HexPol_18	07:39:19.10	23.01.08	HexPol_18	FIDPol_24	4	23.1.08/ 08:26	08:38	
08:41:41	23.01.08	HexPol_18	weiter							
08:41:41	23.01.08	HexPol_18	weiter							
08:55:16	23.01.08	HexPol_18	07:49:20.70	23.01.08	HexPol_18	FIDPol_24				
09:02:08	23.01.08	HexPol_18								
09:07:07	23.01.08	HexPol_18								
10:36:28	23.01.08	HexPol_18	09:39:51.60	23.01.08	HexPol_18		7	23.1.08/ 10:45	10:45	
10:45:25	23.01.08	HexPol_18	09:46:21.20	23.01.08	HexPol_18					
09:07:05	23.01.08	HexPol_04								
08:39:42	23.01.08	HexPol_04								
08:28:03	23.01.08	HexPol_06	07:35:58.50	23.01.08	HexPol_06	FIDPol_25	3	23.1.08/ 08:25	08:34	
08:34:46	23.01.08	HexPol_06			HexPol_06	FIDPol_25			08:35	
08:34:46	23.01.08	HexPol_06			HexPol_06	FIDPol_25				
08:34:46	23.01.08	HexPol_06			HexPol_06	FIDPol_25				
08:34:46	23.01.08	HexPol_06			HexPol_06	FIDPol_25				
08:46:19	23.01.08	HexPol_06	07:46:23.70	23.01.08	HexPol_06	FIDPol_25				
08:59:16	23.01.08	HexPol_06								
09:11:58	23.01.08	HexPol_06								
11:28:45	23.01.08	HexPol_06	10:41:25.90	23.01.08	HexPol_06		8	23.1.08/ 11:52	11:52	
11:49:35	23.01.08	HexPol_06	10:50:52.40	23.01.08	HexPol_06					
10:07:08	23.01.08	HexPol_01	09:09:34.60	23.01.08	HexPol_01	FIDPol_20	6	23.1.08/ 10:00	10:04	
10:22:08	23.01.08	HexPol_01	09:15:40.50	23.01.08	HexPol_01	FIDPol_20			10:05	
10:41:27	23.01.08	HexPol_01								
11:00:28	23.01.08	HexPol_01								
11:58:24	23.01.08	HexPol_01								
12:04:02	23.01.08	HexPol_01								
12:21:15	23.01.08	HexPol_01								
12:23:07	23.01.08	HexPol_01								
12:33:14	23.01.08	HexPol_01	11:36:53.40	23.01.08	HexPol_01	FIDPol_20	15	23.1.08/12:38		
12:40:50	23.01.08	HexPol_01	11:40:37.50	23.01.08	HexPol_01	FIDPol_20	16	23.1.08/12:39		
12:00:32	23.01.08	HexPol_02								
08:57:53	24.01.08	HexPol_06	08:05:43.40	24.01.08	HexPol_06	FIDPol_24	11	24.1.08/	09:04	
09:22:56	24.01.08	HexPol_06	08:19:07.10	24.01.08	HexPol_06				09:05	
			10:13:58.80	24.01.08	HexPol_13					
			10:39:08.00	24.01.08	HexPol_13					

Tabelle 11: Übereinstimmung der Daten von Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf, Deutscher Flugsicherung und HiWUS-Feldversuch.

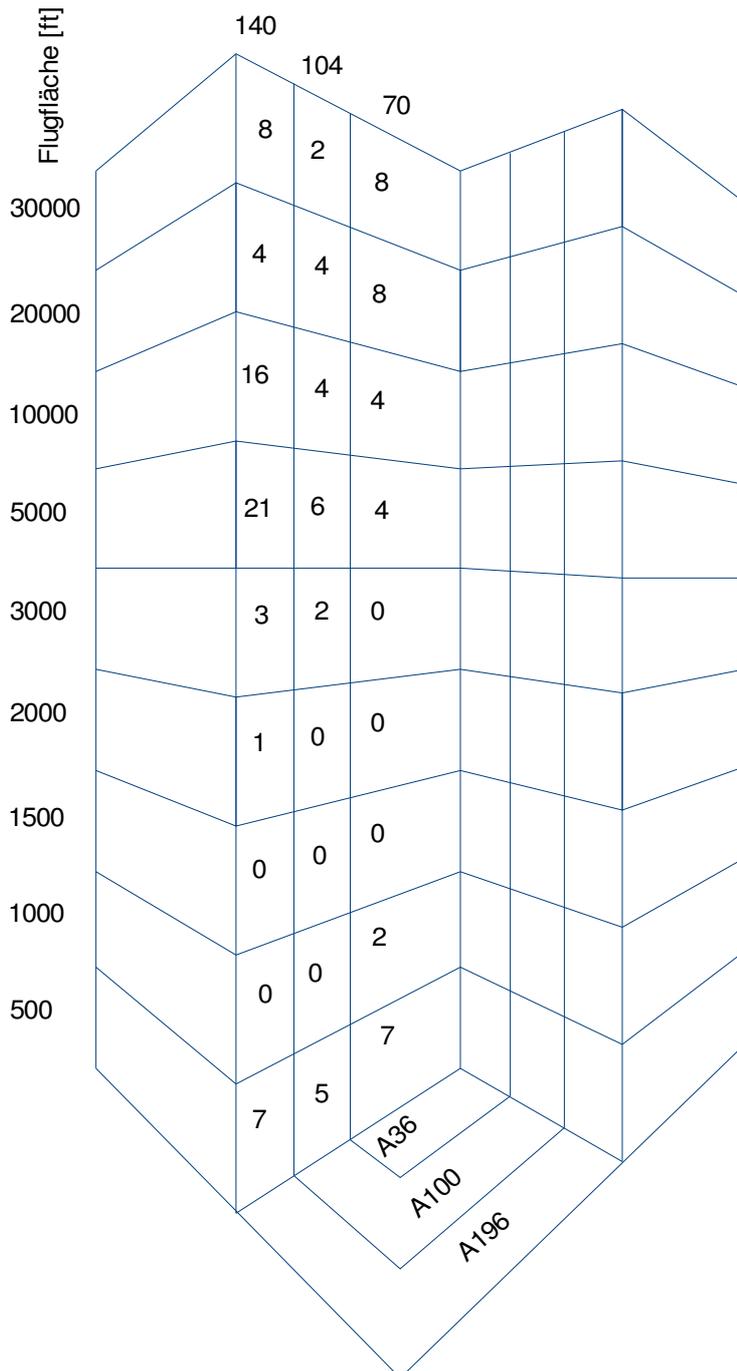
Die Daten der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf, dargestellt in der rechten Spalte, lassen sich vollständig durch die Daten der HiWUS-Messung identifizieren. Die Daten der DFS, dargestellt in der mittleren Spalte, belegen die Identifikation. Die Daten der DFS wurden nach GMT dokumentiert. Die Daten der HiWUS-Messung und der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf wurden nach Ortszeit (GMT+1) dokumentiert.

### 3. Ergebnisse des Feldversuchs

#### Flugbewegungen

Unter dem Punkt Erfassungsbereich wurde die Ausdehnung der Lichtkeule von W, rot beschrieben. Als Mindesthöhe gilt W, rot-Höhe (WEA-Nabenhöhe + 1/2 Maschinenhausdurchmesser) plus 450 Meter (1476 ft). Der Minimalradius liegt bei 3900 m.

Die Grafik 7 zeigt die Anzahl der Flugbewegungen in den dargestellten Segmenten.



Grafik 7:  
Dreidimensionale Darstellung der Lufträume mit dem jeweils höheren Wert DFS/HiWUS aus Tabelle 8

Grundflächen:  
A 36 = 6SMx 6SM  
A100=10SMx10SM  
A196=14SMx14SM

## Rückschlüsse auf die Einschaltzeit der Befeuerung

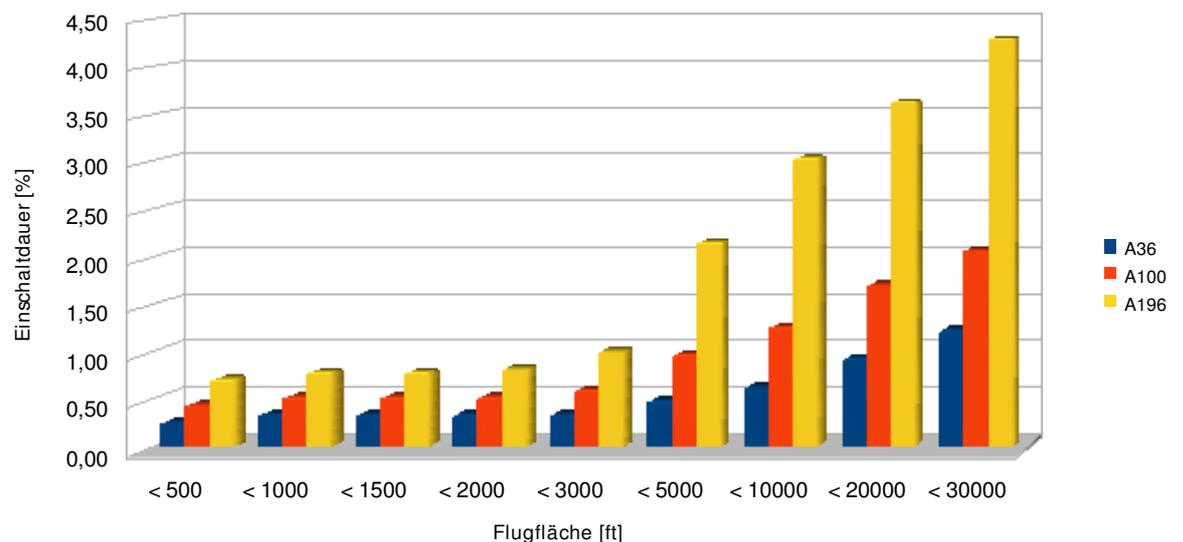
Ein Feldversuch erlaubt keine qualitativen Rückschlüsse über die Dauer der Einschaltzeit von Befeuerungsanlagen, die von Transponder-signalen aktiviert werden.

Ausschließlich um Eindrücke und Tendenzen zu ermitteln, sollen hier Bedingungen formuliert werden, unter denen dann Verhältnisse dargestellt werden.

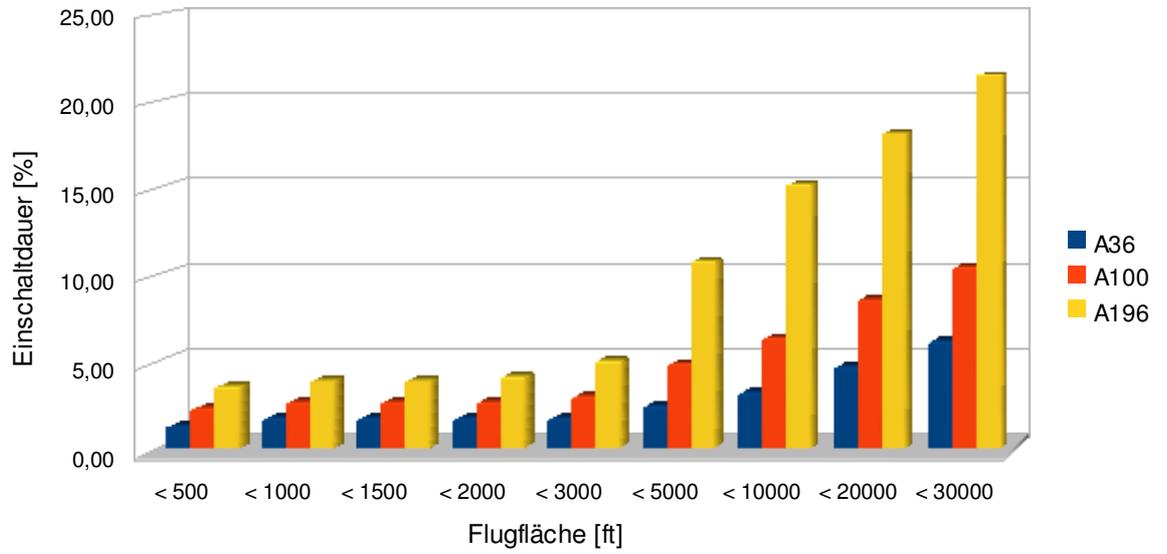
Die erste Bedingung betrifft die Annahme nicht identifizierter Luftfahrzeuge. Aus Tabelle 5 ist zu erkennen, dass bei den unteren Flugflächen im Nahbereich der Anlage mehr Luftfahrzeuge in der HiWUS-Messung wahrgenommen wurden, als bei der Messung der DFS. In den höheren Flugflächen kehrt sich das Verhältnis um: in der DFS-Messung sind eben auch jene Mode A/C-Transponder erfaßt, die zwar auch in der HiWUS-Messung erfasst, jedoch nicht identifizierbar sind. In der nachfolgenden Darstellung wird daher der Wert mit der höheren Anzahl von Luftfahrzeugen verwendet. Die zweite Bedingung beinhaltet, dass die Luftfahrzeuge eine durchschnittliche Verweildauer in dem jeweiligen Luftraum nicht überschreiten. In der nachfolgenden Grafik werden für diese Dauer ein bzw. fünf Minuten angesetzt, wobei eine Minute den Erkenntnissen der Messungen entspricht, und die Fünf-Minuten-Dauer lediglich als vergleichende Darstellung genutzt wird.

Die dritte Bedingung beinhaltet, dass sich die Luftfahrzeuge gleichmäßig über die drei Nächte verteilt haben.

Die Grafiken beschreiben die Einschaltdauer in Prozent über den Flächen A36 (6 SM x 6 SM), A100 (10 SM x 10 SM) und A196 (14 SM x 14 SM) mit den Flugflächen GND (0 m) bis 30.000 ft (9.144 m).



Grafik 8: LFZ mit angenommener Verweildauer von einer Minute



Grafik 9: LFZ mit angenommener Verweildauer von fünf Minuten

## Einflüsse der Rotorblätter auf die Messung

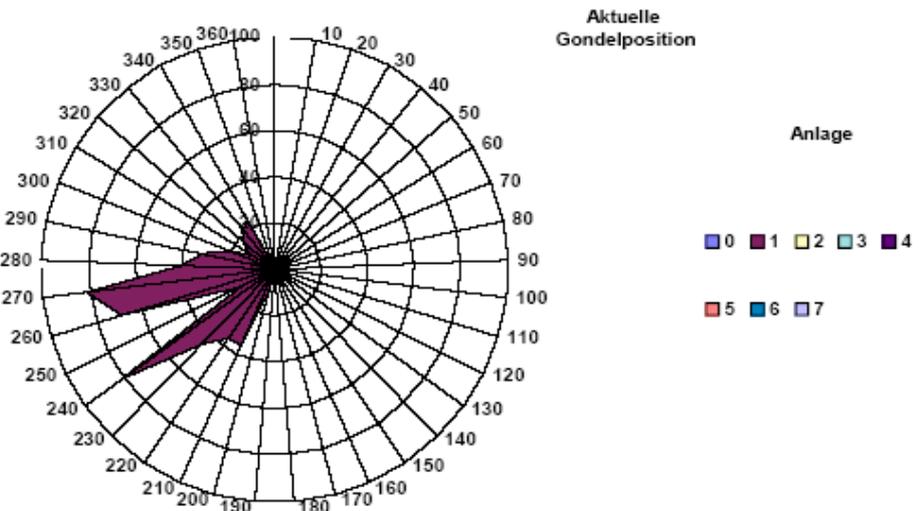
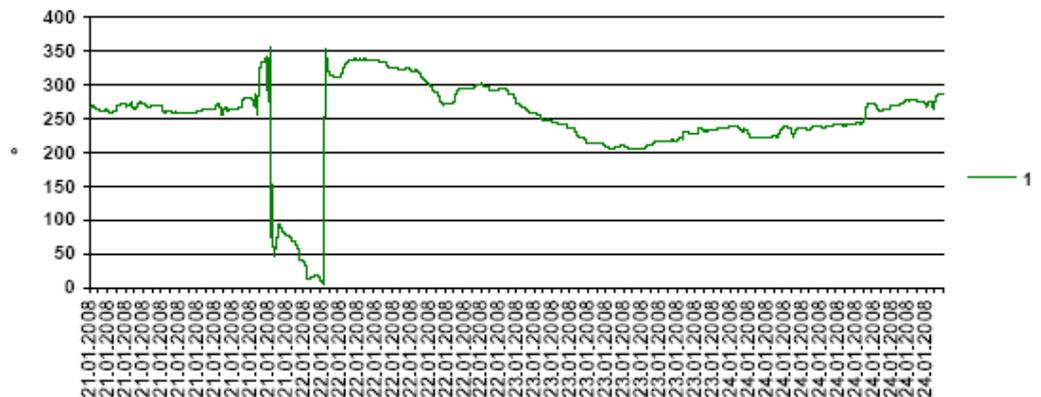
Der Standort der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf befindet sich aus der Position der Windenergieanlage mit der Messeinrichtung in Richtung 270°, also quasi in Hauptwindrichtung. Mögliche Einflüsse auf den Empfang von Transpondersignalen durch Abschattung der Rotorblätter konnten nicht festgestellt werden. Die Grafik 3 zeigt eine gleichmäßig verteilte Aufnahme von Flugspuren.



### 10min-Daten (Grafik)

Standort 1217 Wiemersdorf  
 Von Anlage 1 70259  
 Bis Anlage 1 70259  
 Beginn 21.01.2008  
 Ende 24.01.2008 23:50:00

#### Aktuelle Gondelposition



Grafik 10: Aufzeichnung der Windrichtung / Maschinenhausausrichtung der Windenergieanlage

## **Gezielte Identifikation der Luftfahrzeuge der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf**

Die Tabelle 7 beschreibt die Erfassung sämtlicher Luftfahrzeuge der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf und ordnet diesen entsprechende Flight-IDs zu. Da sowohl der ICAO-Code als auch die Flight-ID der Bundespolizei Luftfahrzeuge vertraulich behandelt werden, wurde diese durch nicht existierende Kennungen ersetzt.

Die Tabelle 9 vergleicht die Daten der Bundespolizeifliegerstaffel Nord in Fuhlendorf, der DFS und den HiWUS-Messungen. Sämtliche Flüge der Bundespolizei wurden sowohl von der DFS als auch durch die HiWUS-Messungen erkannt und zugeordnet.

### **4. Aussicht**

Im Sommer 2008 soll aus der AK-Befehrerung des BWE heraus ein Fachkreis gebildet werden, der sich in enger Absprache mit der DFS folgender Themen annehmen wird:

- Positionierung (redundanter) Antennen auf dem Maschinenhaus (Antenna-Diversity)
- Anzahl des/der Empfänger(s)
- Realisierung von Fail-Save Konzepten bei Transponderempfängern
- Hindernisfeuer als Backupleuchten, beim Erscheinen von Luftfahrzeugen wird das sichtweitengeregelte W, rot aktiviert
- TMZ-Night
- Definition des Erfassungsbereiches

Die Maßgabe dieses Fachkreises ist ein mit dem BMVBS abgestimmter Maßnahmenkatalog zur Umsetzung der sekundärradargesteuerten Befehrerung als Langzeitversuch in einem bestehenden Windenergieanlagenpark in Zusammenarbeit mit dem staatlichen Umweltamt Schleswig.

---

Anhang 13: **Transponder Mode S- Informationen**

Anhang 14: **Darstellung eines Hinderniswarngerätes**

### **Index**

EHS Enhanced Surveillance

ELS Elementary Surveillance

LFZ Luftfahrzeuge

Akquisition Squitter ungefragte Transmission zur Identifikation von LFZ

Squark Luftfahrzeugkennung / Rufzeichen

Flight ID Luftfahrzeugkennung / Rufzeichen

FL Flugfläche / Flughöhe

TCAS Traffic Alert and Collision Avoidance System, Kollisionsschutzsystem

## 3.4 Feldversuch Primärradar

### 1 Grundlagen der Radarerfassung<sup>1</sup>

Der Begriff Radar kommt aus dem Englischen und ist die Abkürzung für Radio Aircraft Detection and Ranging. Die deutsche Übersetzung lautet etwa Funk-Erkennung und –Abstandsmessung. Bis in die 50er Jahre waren im deutschen Sprachraum auch die Begriffe Funkmesstechnik oder Funktastsinn gebräuchlich.

Die Entwicklung des Verfahrens geht auf Versuche von Heinrich Hertz (Deutschland) und Jagadish Chandra Bose (Indien) zurück, die erste Funkortung führte 1904 der deutsche Christian Hülsmeier durch. Mitte der 1930er Jahre wurde nahezu zeitgleich in mehreren Ländern die Radartechnik zunächst für militärische Zwecke eingesetzt.

Das Verfahren nutzt die Reflektion elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich zur Bestimmung von Entfernung und Winkel eines Objektes zur Radarantenne. Typische Anwendungen sind die Erkennung von Luftfahrzeugen und Schiffen aber auch die Beobachtung von Vogelschwärmen und die Wetterbeobachtung.

#### Impulsradarverfahren

Grundlage der Radarortung ist die Anwendung der Radargleichung

$$r = \frac{c \cdot t}{2}$$

auf das Impulsradarverfahren. Dabei wird ein kurzer Impuls ausgesendet und daraufhin auf Echos gewartet. Trifft ein Echo ein, wird die Laufzeit  $t$  ermittelt. Die Entfernung zum Ziel ergibt sich aus der Wegberechnung mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit  $c$ .

Um zusätzlich zur Entfernung auch die Richtung zu bestimmen, ist der Einsatz eines Rundsuchtraders notwendig, welches in schneller Folge einen bestimmten Winkelbereich durch stark gebündelte Impulse versieht. Dies wird meist durch sich um einen Fixpunkt drehende Antennen realisiert.

Aus mehreren Positionsbestimmungen eines bewegenden Zieles kann unter Berücksichtigung des Zeitverlaufs ein Bewegungsvektor und somit Richtung und Geschwindigkeit einer Bewegung relativ zur Antenne ermittelt werden.

Die Genauigkeit und Geschwindigkeit einer Zielverfolgung mit Impulsradarsystemen unterliegt physikalischen Grenzen, die sich aus der maximalen Abfolge von Pulsen und der benötigten Zeit für eine Erfassung eines bestimmten Winkelbereiches ergeben.

### **Dauerstrich-Radarverfahren**

Das Dauerstrich- oder auch Continuous Wave-Radar (CW-Radar) ermöglicht die Messung der Geschwindigkeit eines Ziels. Hierbei wird kein Impuls abgestrahlt, sondern eine Welle mit konstanter Frequenz. Die reflektierte Welle weist in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit des Ziels zur Antenne eine Frequenzverschiebung auf, die durch den Dopplereffekt zustande kommt. Durch Vergleich von ausgesendetem und reflektiertem Signal kann die Geschwindigkeit des Ziels ermittelt werden.

Eine Weiterentwicklung des CW-Radar stellt das frequenzmodulierte CW-Radar (FMCW) dar. Bei diesem Verfahren ist die Frequenz variabel, was neben der Geschwindigkeit des Ziels auch dessen Entfernung bestimmbar macht.

### **Primär- und Sekundärradar**

Impuls- und Dauerstrich-Radarverfahren werden als Primärradarsysteme bezeichnet. Sie werten ausschließlich das passiv reflektierte Echo des Zieles aus.

Als Sekundärradar werden Anlagen bezeichnet, bei denen zwischen Radarantenne und Ziel eine bidirektionale Kommunikation zustande kommt. Üblicherweise geschieht dies mit Hilfe von Transpondern im zu erfassenden Objekt, welche auf von der Antenne ausgesandte Impulse reagieren und ihrerseits Informationen über Position, Höhe, Geschwindigkeit und Art des Objekts aussenden. Modernen Systemen liegen nur noch wenige grundlegende Verfahren der Radartechnik zugrunde, eine Zuordnung zu den Radarsystemen erfolgt in erster Linie aus historischen Gründen. Sekundärradarsysteme werden in einem weiteren Feldversuch im Rahmen des HiWUS-Projektes untersucht (siehe Kapitel 3.3).

### **Anwendung von Primärradarsystemen**

Primärradarsysteme werden heute zu unterschiedlichen Zwecken genutzt. Wichtigste Anwendung ist mit Sicherheit die militärische Luftraumüberwachung, da hier eine Erfassung von Luftfahrzeugen unabhängig von Ihrer Kooperation möglich ist. Dieser Umstand hat zur Entwicklung von verschiedenen Stealth-Technologien geführt, welche eine

Erfassung zum Teil verhindern können, jedoch nur in wenigen spezialisierten militärischen Luftfahrzeugen zum Einsatz kommen.

In der zivilen Luftfahrt werden ebenfalls Primärradarsysteme eingesetzt, hier gewinnen die Sekundärradarsysteme jedoch zunehmend an Bedeutung. Aufgrund des stark zunehmenden Verkehrsaufkommens, insbesondere im Bereich von Flughäfen und entlang von wichtigen Flugrouten, bietet das Sekundärradar wichtige Vorteile hinsichtlich der übertragenen Informationen.

Im maritimen Bereich werden Primärradarsysteme insbesondere in der Berufsschiffahrt, jedoch auch zunehmend im Bereich Yacht- und Sportschiffahrt genutzt. Neben der Erfassung von möglichen Hindernissen im Kurs ist auch die Erkennung von Küstenlinien möglich. Diese Informationen werden für die Navigation genutzt.

Im Bereich der Automobilindustrie werden Primärradarsysteme genutzt, um Abstände zu messen und dem Fahrer diese Informationen zur Verfügung zu stellen bzw. in Assistenzfunktionen zu nutzen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Wetterbeobachtung mit Wetterradars. Hier werden Wolkenformationen in sehr großen Entfernungen erfasst und für Vorhersagen und Unwetterwarnungen genutzt.

Vom Funktionsprinzip sind Sonar- und Echolotanlagen dem Radar verwandt. Hier werden Schallsignale ausgesendet, welche im Vergleich zu elektromagnetischen Wellen eine wesentlich geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit aufweisen. Sonaranlagen werden überwiegend für die Unterwasserortung eingesetzt.

## **2 Primärradar und Windenergieanlagen<sup>2</sup>**

Die Wechselwirkungen zwischen Windenergieanlagen und Radarsystemen wurden insbesondere im Hinblick auf Störungen bestehender Radaranlagen durch die Windenergie bereits in verschiedenen Arbeiten untersucht.

### **Bekannte Wechselwirkungen**

Die bekannten Wechselwirkungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Stördaten (Clutter)
- Reflektion und Beugung (False Tracks and Ghost Tracks)
- Verschattung (Shadowing)

Stördaten gehen von allen reflektierenden Objekten im Erfassungsbereich von Radaranlagen aus. Je nach Art des Radars werden als Clutter alle Daten bezeichnet, deren Erfassung nicht gewünscht ist, so z.B. Wälder und Hügel bei Luftradars oder Luftfahrzeuge bei Wetterradars. Windenergieanlagen stellen aufgrund ihrer Größe und Höhe grundsätzlich Störungen dar. Da alle geringfügig elektrisch leitenden Flächen, also auch die nasse Oberfläche von Rotorblättern als von Radarstrahlung erkannte Fläche, der sogenannten Radar Cross Section (RCS) gewertet werden müssen, sind neben dem statischen Turm auch die stark dynamischen Flächen der Rotorblätter und des Maschinenhauses zu berücksichtigen. Dies führt dazu, dass der gestörte Bereich meist wesentlich größer als die eigentliche Windenergieanlage erscheint.

Besondere Störungen stellen Reflektionen und Beugungen dar. Dabei werden elektromagnetische Signale, die von Objekten reflektiert werden, in Ihrer Ausbreitung behindert und führen dazu, dass bei der Auswertung falsche Daten berücksichtigt werden, da Objekte doppelt oder an falschen Positionen erscheinen.

Die größte Beeinträchtigung geht jedoch von der Verschattung des vom Radars erfassten Bereichs durch Windenergieanlagen aus. Inwiefern der Bereich hinter einer Windenergieanlage durch ein Radar gar nicht oder nur teilweise erfasst werden kann, ist Gegenstand vieler Untersuchungen, oftmals geht es dabei um konkrete Windenergieprojekte im Umkreis von Radaranlagen.

### **Gegenmaßnahmen**

Da mit Radaranlagen oftmals Verteidigungs- und Sicherheitsinteressen verknüpft sind, Windenergieanlagen hinsichtlich der Erreichung von Klimaschutzzielen jedoch auch eine wichtige Bedeutung haben, ist bei der Planung von sich gegenseitig oder einseitig beeinflussenden Anlagen besondere Sorgfalt angeraten. Grundsätzlich gilt dies jedoch für alle Bauwerke und Hindernisse in der Umgebung von Radaranlagen.

Besonders wichtig erscheint eine wissenschaftliche Analyse der tatsächlichen Wechselwirkungen anhand von numerischen Verfahren und Modellen. Oftmals werden in der verfügbaren Literatur einfache analytische oder geometrische Verfahren verwendet, insbesondere gilt dies für die Berechnung von Verschattungsräumen hinter Hindernissen.<sup>3</sup>

Als weitere Maßnahme sind bauliche Veränderungen an der Windenergieanlage geeignet, Wechselwirkungen zu vermeiden. Besonders interessant erscheinen hier die bislang militärisch genutzten Verfahren der Stealth-Technologie, so z.B. radarabsorbierende Anstriche oder besondere Formgebung von Anlagenteilen. Derartige Technologien werden bereits entwickelt und an Windenergieanlagen getestet.<sup>4</sup>

Hinsichtlich der Anwendung von spezialisierten Radaranlagen in Windparks ist jedoch eine Aufrüstung und Verbesserung der Radartechnologie von besonderem Interesse. Bereits heute werden in Großbritannien umfangreiche Forschungen im Bereich der Signalverarbeitung von Radaranlagen betrieben, welche das Ziel verfolgen, Störungen durch Windenergieanlagen zu filtern. Die größte Herausforderung ist hierbei die Beibehaltung der Erfassungsgenauigkeit der Anlagen.<sup>5</sup>

Moderne Radaranlagen sind bauartbedingt bereits in der Lage, Störungen umfangreich auszufiltern, indem an einem Standort verschiedene Radartechnologien angewandt werden oder die Daten von Anlagen an verschiedenen Standorten über ein Netzwerk ausgewertet werden, wodurch sich Abschattungen weitgehend kompensieren lassen.<sup>6</sup>

Systembedingt stellen Radaranlagen große Investitionen dar, deren Nutzung über mehrere Jahrzehnte vorgesehen ist. Daher sind technische Änderungen an solchen Anlagen, die der Verbesserung der Wechselwirkungen mit Windenergieanlagen dienen, nur selten möglich. Bei der Entwicklung von spezialisierten Radaranlagen im kleinen Leistungsbereich können moderne Verfahren jedoch bereits genutzt und Störungen vermieden werden.

### **3 Anwendung zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen**

#### **Grundsätzliche Überlegungen**

Grundlage der Überlegung, Radaranlagen im Kontext der Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen einzusetzen, ist die bedarfsgerechte Schaltung von Kennzeichnungsanlagen.

Grundsätzlich sind Windenergieanlagen wie normale Luftfahrthindernisse zu kennzeichnen, also üblicherweise ab einer Gesamthöhe von mehr als 100m. Dabei werden Farbkennzeichnungen und elektrische Befuerungssysteme eingesetzt. Die Lichtstärken entsprechen dabei grundsätzlich denen, welche auch für Bauwerke und Masten vorgeschrieben sind (siehe Kapitel 1).

Dennoch werden die Feuer im Grunde nur benötigt, wenn sich ein Luftfahrzeug auf einem möglichen Kollisionskurs im Bereich der Windenergieanlage bewegt. Dies ist insbesondere abseits der stark frequentierten Lufträume nur sehr selten der Fall. Es erscheint also plausibel zu prüfen, ob es möglich ist, ein Luftfahrzeug im gefährdeten Bereich zu detektieren, um eine Befuerung bedarfsgerecht zu schalten. Wichtigstes Kriterium muss dabei die 100%-Erkennungsdichte sein, nur so

kann ein identischer Sicherheitsstandard im Vergleich zur dauerhaften Befeuerung gewährleistet werden.

### **Vergleichbare Anwendungen**

Am Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Kühlungsborn werden mittels eines RMR-Lidars Lasermessungen in der Atmosphäre vorgenommen. Der verwendete Laser kann Luftfahrzeuge über der Messung stören, daher muss er bei Anwesenheit von Luftfahrzeugen abgeschaltet werden. Zur Überwachung des Luftraums dient dort ein modifiziertes Schiffsradar, welches beim Eintreten eines Luftfahrzeugs in eine definierte Alarmzone automatisch die Messung deaktiviert.<sup>7</sup>

An der Westküste Norwegens kommt es regelmäßig zu Unfällen mit schnellen tiefliegenden Militärflugzeugen an Hochspannungsleitungen, welche die dort häufigen Fjorde überspannen und nur mit einfachen Seilmarkern versehen sind. Eine dauerhafte elektrische Kennzeichnung der Masten ist dort nicht möglich, da keine geeignete Spannungsquelle zur Verfügung steht. Vom norwegischen Unternehmen OCAS wurde daher ein autarkes, solarversorgtes Kennzeichnungssystem entwickelt, welches mit einer Radarantenne geringer Leistung den Luftraum überwacht und bei Bedarf visuelle Warnungen sowie Audiowarnungen erzeugt. Das entwickelte System ist derzeit auch in Kanada und der USA zugelassen und wird dort eingesetzt.<sup>8</sup>

## **4 Wahl des Testsystems**

Im vorliegenden Projekt sollte die technische Machbarkeit einer bedarfsgerechten Schaltung mit Hilfe eines Primärradarsystems anhand eines Feldversuchs geprüft werden. Die grundsätzlichen Anforderungen an ein solches System wurden wie folgt definiert:

- 100%-Erfassungsrate aller Luftfahrzeuge in einer definierten Warnzone
- Überwachung des Systems mit Fail-Safe Schaltungen
- sofortige Aktivierung aller Befeuerungssysteme im Fehlerfall
- erprobte und zuverlässige Technik mit hoher Verfügbarkeit
- hohe Erfassungsgeschwindigkeit und schnelle Reaktion

### **Variante: Nutzung bestehender Anlagen**

Grundsätzlich erscheint es sinnvoll, bereits bestehende Radarüberwachungsanlagen für eine entsprechende Anwendung zu nutzen. Denkbar wäre z.B., dass zivile oder militärische Luftraumüberwachungen ei-

ne entsprechende Information über das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein von Luftfahrzeugen als Dienstleistung anbieten und eine Übertragung dieser Informationen über Datennetze zur Befeuerungsanlage vorgenommen wird.

Bereits bei ersten Gesprächen zu einer solchen Möglichkeit musste jedoch festgestellt werden, dass Radaranlagen mit entsprechender Reichweite keine ausreichende Abdeckung des bodennahen Luftraums gewährleisten können. Da dieser Luftraum insbesondere für Rettungsflyer von besonderer Bedeutung ist, kann somit keine entsprechende Erfassungsrate sichergestellt werden.

Derartige Lösungen sind unter Umständen in Einzelfällen denkbar und müssten weiter untersucht werden. Für den geplanten Feldversuch wurde diese Variante nicht weiter verfolgt.

### **Variante: Nutzung von handelsüblichen Kleinanlagen**

Wie bereits im Absatz zur Lidar-Messung des IAP Kühlungborn erwähnt, sind auch handelsübliche Kleinanlagen durchaus eine Möglichkeit zur Luftraumüberwachung. Erhältlich sind derartige Anlagen meist für den maritimen Bereich, geeignete Systeme findet man bei den für die Berufsschifffahrt vorgesehenen Produkten.<sup>9</sup>

Wichtigste Modifikation für die beschriebene Nutzung wäre eine Veränderung des Erfassungsbereiches nach oben, was meist eine mechanische Änderung der Antenne notwendig macht. Derartig modifizierte Systeme sind jedoch nicht großflächig erprobt, eine Anwendung im Feldversuch würde also umfangreiche Voruntersuchungen notwendig machen.

Als weiterer Nachteil erwies sich, dass derartige Anlagen meist sehr einfache Radarverfahren, wie z.B. das Impulsradarverfahren mit rotierender Antenne verwenden, welches hinsichtlich Erfassungsgeschwindigkeit und möglicher Reaktionszeiten nicht optimal erscheint. So liegen übliche Plot-Intervalle, also die Zeit zwischen zwei aufgezeichneten Bildern, bei 10-15s.

Aufgrund der Vorteile, welche die im nachfolgenden Punkt beschriebenen Radarsysteme aufweisen, wurden derartige Systeme für den Feldtest nicht berücksichtigt.

### **Variante: Nutzung spezieller Systeme**

Es wurde bereits kurz darauf eingegangen, dass in Norwegen, Kanada und den USA bereits Systeme im Einsatz sind, welche Befeuerungsan-

lagen bedarfsgerecht schalten. Eine ausführliche Prüfung der dort verwendeten Technologie schien also geboten.

Als einziger Anbieter auf diesem Gebiet ist das norwegische Unternehmen OCAS bekannt, welches sein System ursprünglich für die Absicherung von Hochspannungsleitungen über norwegischen Fjorden entwickelt hat. Ein Wettbewerber ist derzeit nicht bekannt. Ähnliche Entwicklungen gibt es unter Nutzung von Sekundärradaranlagen, diese sind jedoch nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

Nach ersten technischen Prüfungen des Systems wurde klar, dass es die grundlegenden Anforderungen aus Punkt 4 erfüllt. OCAS erklärte sich zu einer Zusammenarbeit bereit. Der nachfolgend geplante Feldversuch wurde mit einer entsprechenden Anlage durchgeführt.

OCAS bedeutet Obstacle Collision Avoidance System und ist aus dem im Luftverkehr eingesetzten TCAS, einem Kollisionswarnsystem, abgeleitet. OCAS hat bereits 17 Systeme in Norwegen, 3 Systeme in den USA und 2 Systeme in Kanada installiert. Die Installationen sind durch die lokalen Flugsicherheitsbehörden autorisiert worden. Die Intention zu der Entwicklung entstammt der persönlichen Erfahrung der Firmengründer Morten Mørk und Rolf Bakken, welche beide selbst als Pilot tätig waren oder immer noch sind. OCAS beschäftigt heute 28 Mitarbeiter und hat seinen Sitz in Oslo, Norwegen.



Abbildung 1: OCAS Installation in Norwegen (Quelle: OCAS)

## 5 Feldversuch

### Auswahl des Windparks



Abbildung 2: Windpark Nadrensee (Quelle: Google Earth)

Als Ort für den Feldversuch wurde der von ENERTRAG errichtete Windpark „Nadrensee“ ausgewählt. In diesem Projekt wurden 12 Windenergieanlagen vom Typ Vestas V90 mit 105m Nabenhöhe errichtet. Die Tageskennzeichnung wurde mit Farbmarkierungen an den Rotorblättern vorgenommen, die Nachtkennzeichnung erfolgt durch das Feuer „W, rot“. Die Anlagen sind mit Befeuerungsanlagen vom Typ Wnet-EST100 ausgerüstet, welche durch eine einfache Nachrüstoption in ein Befeuerungsmanagementsystem eingebunden werden können. Ein derartiges System ermöglicht die Fernschaltung aller Anlagen von einem zentralen Punkt.

Ein weiteres Kriterium war die Lage des Windparks und die kompakte Anordnung der Windenergieanlagen. In unmittelbarer Nachbarschaft der Anlagen befinden sich keine weiteren Anlagen, was den Park aus der Luft gut erkennbar macht.

Nadrensee befindet sich im Norden Brandenburgs dicht an der polnischen Grenze und ist gut über die Autobahn A11 zu erreichen.

### Versuchsaufbau

Bei der Planung des Versuchsaufbaus wurde festgestellt, dass es für die Feststellung der technischen Machbarkeit nicht notwendig ist, die Befeuerung tatsächlich ein- und auszuschalten. Der Versuch be-

schränkte sich also darauf, die Erfassung von Luftfahrzeugen grundsätzlich zu prüfen.

Da eine Warnzone, in der ein Luftfahrzeug zum Aktivieren der Befeuerung führt, für diese Anwendung nicht definiert ist, wurde darauf verzichtet, nur innerhalb einer solchen Zone zu erfassen. Anstelle dessen wurde alle erfassbaren Flugbewegungen protokolliert.

Da die Radaranlage nur für einen eintägigen Feldversuch zur Verfügung stand und im überwachten Bereich nur sehr wenige Flugaktivitäten zu erwarten sind, wurde vereinbart, definierte Testanflüge durch ein eigens für diesen Zweck gechartertes Kleinflugzeug durchzuführen.

Da in erster Linie die Wechselwirkungen von Windenergieanlagen und Radaranlage bewertet werden sollten, wurde die Radaranlage an zentraler Stelle im Windpark installiert.

Um den Einfluss verschiedener Installationshöhen zu berücksichtigen, wurde die Radarantenne temporär auf einer Anhänger-Hebebühne installiert, welche sich hydraulisch in verschiedene Höhen verfahren lässt.



Abbildung 3: Testflugzeug über WEA (Quelle: TH)



Abbildung 4: Windfeld Nadrensee (Quelle: OCAS)

## Technische Beschreibung des Testsystems

Die OCAS-Radarantenne besteht aus 8 Panels mit begrenzter Azimut-abdeckung, welche in Kombination eine 360°-Erfassung ohne bewegte Teile ermöglichen.



Abbildung 5: Testaufbau (Quelle: TH)



Abbildung 6: Radarantenne (Quelle: TH)

Die Antenne ist als FMCW-Radar aufgebaut, wobei in schneller Abfolge CW- und FMCW-Messungen nacheinander ausgeführt werden, um zusätzlich zu Position und Entfernung auch die Geschwindigkeit des Ziels zu erfassen. Das Verhältnis von Sende- und Empfangszeit liegt bei 1:1. Das Radar ermöglicht eine vollwertige 3D-Erfassung.

Technische Daten Radar Unit (RU):

Radartyp	Frequenzmoduliertes Dauerstrichradar (FMCW)
Leistung	avg: 1W, peak: 2W
Verstärkung	17 dB
Reichweite	3000 – 5000 m, Genauigkeit 50m
Frequenz	L-Band, ca. 1,3 GHz
Azimutabdeckung	360°, Genauigkeit 7°
Vertikale Abdeckung	+/- 40°, Genauigkeit 1°
Maximale Zielgeschwindigkeit	255 Knoten
Betriebstemperatur	-40 - 65 °C

Der Testaufbau besteht aus einer OCAS-Radarantenne (Radar Unit RU) sowie einem OCAS-Spannungsversorgungsmodule (Power Supply Unit PU). Die Spannungsversorgung erfolgte während des gesamten Tests ausschließlich aus Batterien.

Das OCAS-System sieht neben der visuellen Warnung eine Audiowarnung auf multiplen VHF-Frequenzen vor. Diese Option wurde beim Versuch nicht genutzt und wird auch für einen möglichen Einsatz in Verbindung mit Windenergieanlagen nur als Option behandelt.

Für die Kommunikation der OCAS-Komponenten wird eine Funkverbindung im UHF-Band genutzt. Diese Kommunikation wurde im Feldversuch nicht genutzt.

Die OCAS-Radarantenne weist verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten auf, so z.B. WLAN, serielle Verbindungen oder GSM. Im Feldversuch wurden die Rohdaten der Antennen über eine serielle Verbindung abgefragt und gespeichert.

Die Testflüge wurden von einem Piloten unter Anleitung eines Mitarbeiters von OCAS durchgeführt. Bei der Wahl der Anflugrouten wurden die Verfahren genutzt, welche auch zum Test regulärer OCAS-Installationen Anwendung finden.

Zur Auswertung der insgesamt 23 Testüberflüge wurden die aufgezeichneten Radar-Tracks mit den GPS-Tracks aus dem Flugzeug verglichen und in einem Range-Time Diagramm dargestellt. Zum Vergleich konnten die Tracks in einer Karte visualisiert werden.

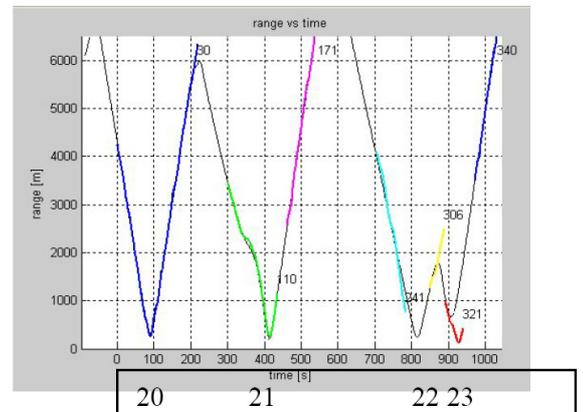
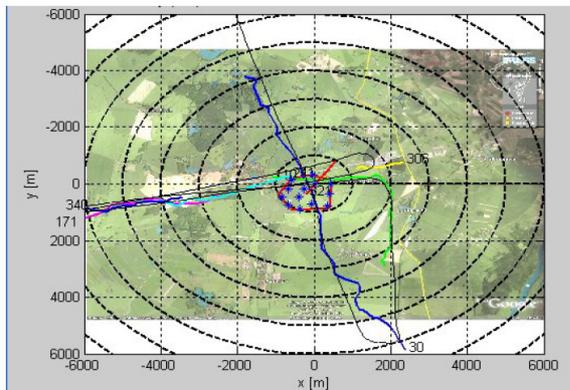


Abbildung 7: Auswertbeispiel (Quelle: OCAS)

## 6 Testergebnisse

Der Test zeigte, dass Anflugrouten, die keine Abschattungen durch Windenergieanlagen erwarten ließen, zuverlässig erfasst werden konnten. Es zeigte sich jedoch auch, dass hinter Windenergieanlagen deutliche Abschattungseffekte zu beobachten waren und Tracks zeitweise nicht erfasst werden konnten. Weiterhin waren auch False Tracks und Stördaten aufgrund von Interferenzen feststellbar. Nachfolgend einige Diagramme:

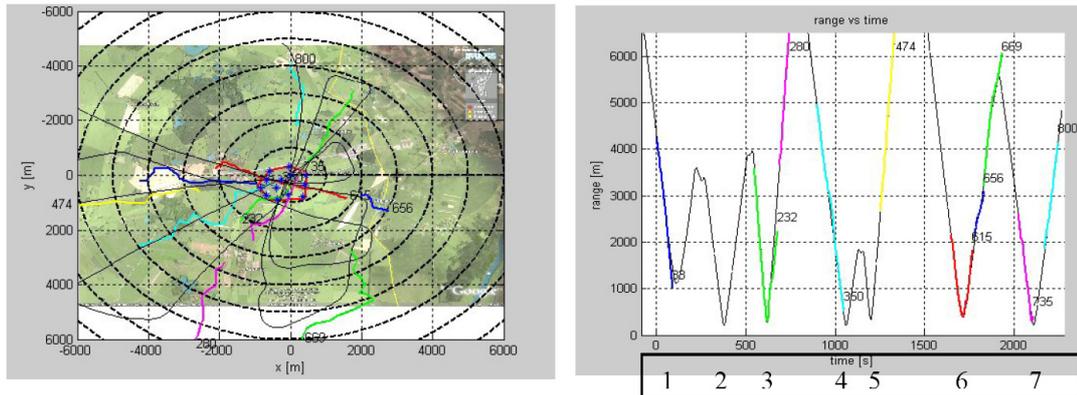


Abbildung 8: Tracks 1-7 (Quelle: OCAS)

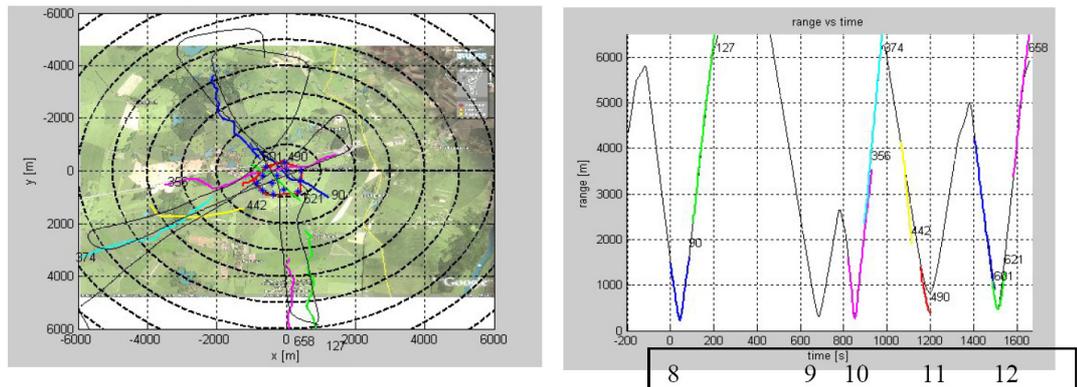


Abbildung 9: Tracks 8-12 (Quelle: OCAS)

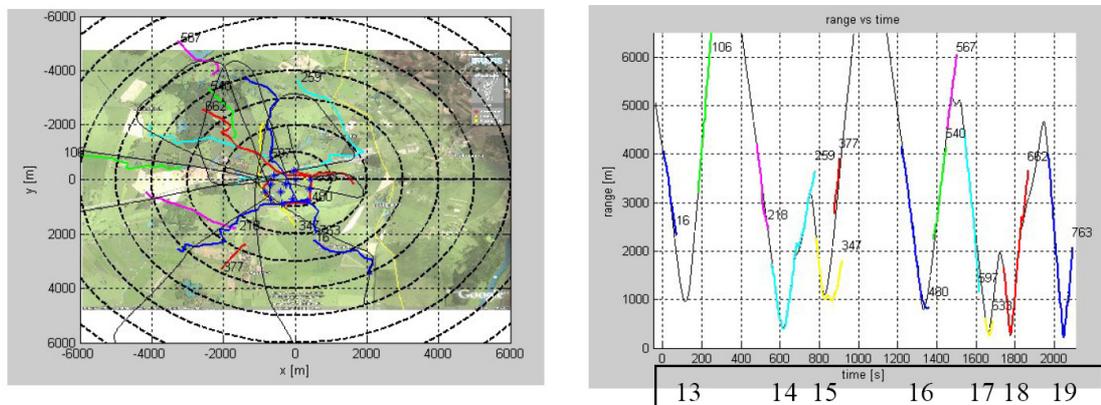


Abbildung 10: Tracks 13-19 (Quelle: OCAS)

Schwarz sind die GPS-Tracks dargestellt, farbig sind die Radar-Tracks überlagert. Alle nicht überlagerten Bereiche wurden nicht erkannt, da sich das Luftfahrzeug im Schatten einer Windenergieanlage befand.

Gleichzeitig ist jedoch festzustellen, dass bei direkter Sicht auf das Luftfahrzeug eine Erfassung bis zu einer Entfernung von 6000m sichergestellt werden kann.

Ein Unterschied zwischen den Installationshöhen von 9m (Tracks 1-19) und 2m (Tracks 20 – 23) konnte nicht festgestellt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Installation einer Radarantenne im Windfeld keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefert. Es ist also notwendig, den Systementwurf anzupassen. In Auswertung des Tests wurden von OCAS zwei weitere alternative Konfigurationen vorgeschlagen:

- Mehrere Radarantennen mit reduzierter Azimutabdeckung, Montage auf separaten Masten an der Peripherie des Windparks
- Mehrere Radarantennen mit reduzierter Azimutabdeckung, Montage am Turm der Windenergieanlagen

Die Entwürfe setzten voraus, dass alle Luftfahrzeuge von außen oder von oben in den Gefahrenbereich einfliegen. Eine mögliche Anordnung der Antennen ist nachfolgend dargestellt:

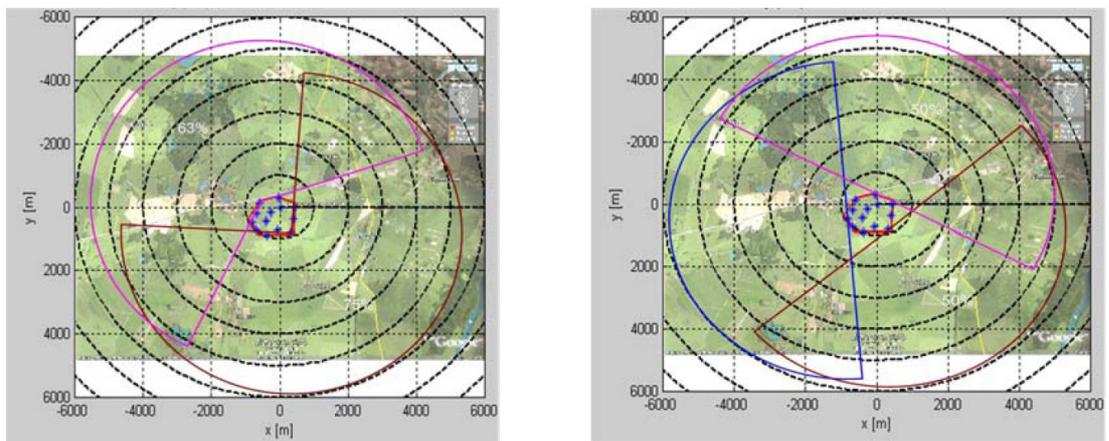


Abbildung 11: Mögliche Anordnungen mehrerer Antennen an der Parkperipherie

Die alternativen Konfigurationen konnten im Rahmen des Feldtests nicht mehr überprüft werden. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig.

## 7 Systementwurf

In Auswertung der Testergebnisse wurde bei einem anschließenden Treffen ein möglicher Systementwurf für die Anwendung der Technologie in Windenergieparks erstellt.

Bei den Treffen wurde herausgearbeitet, dass die Befestigung von mehreren Antennen auf eigenen Masten planungstechnisch eine Herausforderung darstellt, da hier zusätzliche Flächen gesichert werden müssen und Kabelwege zur Spannungsversorgung geschaffen werden müssen. Daher wurde für den Systementwurf die Variante der Befestigung an den Masten der Windenergieanlagen gewählt.

Eine mögliche OCAS-Installation in einem Windpark könnte etwa so aussehen:

- Je nach Windpark mindestens 2 OCAS-Antennen (RU) mit reduzierter Azimutabdeckung
- Antennenmontage am WEA-Turm mit geeigneten Vorrichtungen
- Je Antenne eine Spannungsversorgung mit USV (PU)
- Versorgungsspannung für PU 230 VAC
- An zentraler Stelle Interface zum Befehrsmanagementsystem (SU)
- UHF-Kommunikation zwischen RU, PU und SU
- OCAS-System übergibt Still-Alive-Signal an Befehrsmanagementsystem, wenn dieses ausbleibt, werden alle Befehrsanlagen aktiviert

Die Betriebsparameter, also Größe der Warnzone, Höhe der Warnzone, Reaktionszeit der Befehrsung, Einschaltdauer der Befehrsung etc. müssten im Detail mit Genehmigungsbehörden abgestimmt werden. Eine Festlegung sollte hier auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Feldversuchs Sekundärradar erfolgen.

Die Kosten für eine entsprechende Installation liegen etwa bei 50.000 – 80.000 € je Radarantenne. Hinzu kommen Kosten für

- Befestigungslösung oder Mast
- Vernetzung der Komponenten
- Internetzugang für Fernüberwachung
- Standortprüfung im Vorfeld der Installation

Die Standortprüfung im Vorfeld der Installation wurde vor dem durchgeführten Feldversuch ebenfalls unternommen und besteht hauptsächlich aus der Feststellung, ob im Bereich der Antenne mit Störungen leistungsstarker Radar- oder Funkanlagen zu rechnen ist.

Es ist damit zu rechnen, dass sich die Kosten bei einer seriennahen Fertigung in größeren Stückzahlen deutlich reduzieren lassen.

## **8 Klärungsbedarf**

### **Technische Fragen**

Das Funktionsprinzip mehrerer Radarantennen an der Peripherie eines Windparks ist in einem weiteren Feldversuch zu untersuchen.

Die mögliche Befestigung von Radarantennen an Türmen von Windenergieanlagen ist hinsichtlich der Lasten und Statik in Zusammenarbeit mit der Herstellern von Windenergieanlagen zu prüfen.

### **Funktionelle Fragen**

Aus Sicht der Piloten stellt die Audio-Warnung eine sinnvolle Ergänzung der Visuellen Warnung dar. Bei einer ersten Vorstellung des Systems im Jahr 2004 bei der Deutschen Flugsicherung war insbesondere die VHF-Warnung in multiplen Frequenzbereichen Bestandteil von Vorbehalten. Daher wurde diese Funktion aus dem aktuellen Systementwurf entfernt. Es sollte geprüft werden, ob eine derartige Warnung unter Beschränkung auf wenige Frequenzen nicht sinnvoll ist.

Eine Ausrüstung von Windparks mit Primärradaranlagen könnte die Einschaltzeit von Befeuerungsanlagen deutlich reduzieren und so einen Akzeptanzgewinn erreichen. Für die verbliebene Einschaltzeit in Abhängigkeit von einem tatsächlichen Bedarf ist von einer hohen Akzeptanz bei den betroffenen Anwohnern auszugehen. Im Interesse einer noch besseren Wahrnehmbarkeit der Luftfahrthindernisse ist eine Ausrüstung der Anlagen mit speziell für diese Anwendung ausgelegten Feuern zu überlegen.

### **Genehmigungsrechtliche Fragen**

Neben der Frage, ob derartige Systeme in Deutschland grundsätzlich einsetzbar sind, sollten im Vorfeld alle Aspekte der Nutzung der verschiedenen Frequenzen mit den zuständigen Behörden geklärt werden. Am wichtigsten erscheint die Zuteilung einer Radarfrequenz im L-Band, die für jede Anlage individuell festgelegt werden muss. Alle weiteren Kommunikationsfrequenzen im VHF- und UHF-Band sind optional.

---

### **Fußnoten zu Kapitel 3.4 (“Feldversuch Primärradar”)**

<sup>1</sup>Quelle: Internetrecherche, <http://www.wikipedia.de>

<sup>2</sup>Quelle: 53rd IEA Topical Expert Meeting: Radar, Radio and Wind Turbines, Oxford, UK, March 2007

<sup>3</sup>Siehe: Wind Turbines in the Radiation Field of systems from a Prediction and Siting Point of View, Gerhard Greving, Oxford, March 2007, <http://www.navcom.de>

<sup>4</sup>Siehe: Stealth turbines and impact assessment, Steve Turner, Oxford, March 2007, [www.qinetiq.com](http://www.qinetiq.com)

<sup>5</sup>Siehe: International Energy Association – The Journey, Ian Scragg, Oxford, March 07

<sup>6</sup>Siehe: Wind Turbines in the Radiation Field of systems from a Prediction and Siting Point of View (21), Gerhard Greving, Oxford, March 2007, <http://www.navcom.de>

<sup>7</sup>Link: <http://www.iap-kborn.de/RMR-Lidar-Kuehlungsborn.103.0.html>

<sup>8</sup>Link: <http://www.ocas-as.no/Home.htm>

<sup>9</sup>Produktbeispiele: <http://www.furuno.de>

## 4 Anliegen Naturschutz, Zugvögel, Fledermäuse

### Einleitung

Vertikale, vom Menschen geschaffene Bauwerke wie Windenergieanlagen (WEA) können eine Gefahr für ziehende Vögel und Fledermäuse darstellen. Dies gilt insbesondere für Bauwerke mit Höhen, die in Bereiche gelangen, in denen Vogel- oder Fledermauszug stattfindet.

Vor allem nachts ziehende Vögel und Fledermäuse können mit WEA kollidieren. Im Falle der Vögel ist die Beleuchtung hoher Strukturen für das Kollisionsrisiko bedeutsam. Kollisionen sind sehr wahrscheinlich, wenn ein beleuchtetes Hindernis in einen von Vögeln genutzten Luftraum ragt, wobei allerdings verschiedenste Faktoren das Ausmaß der Verluste erheblich beeinflussen (Weir 1976).

Viele nachts ziehende Vögel, deren mengenmäßig größten Anteil Singvögel stellen, können bei schlechten Wetterbedingungen und geringen Sichtweiten von den Lichtern angelockt werden und im beleuchteten Bereich umherkreisen, was das Kollisionsrisiko stark erhöht. Zusätzlich verhindert ein solches Verhalten oftmals eine Fortsetzung des Fluges und hat daher einen Energieverlust zur Folge. Dies kann dazu führen, dass ein Vogel sein Etappenziel zu spät oder gar nicht erreicht. Zahlreiche Arbeiten beschäftigten sich in der Vergangenheit mit den Auswirkungen hoher beleuchteter Strukturen auf Zugvögel. Deren Effekt auf Fledermäuse ist jedoch bislang kaum erforscht. Entsprechend unsicher ist, welchen Einfluss die Beleuchtung von WEA auf ziehende Fledermäuse haben kann.

Ziel dieses Berichtes ist einerseits, mittels einer Literatur-Recherche den aktuellen Wissensstand über Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf ziehende Vögel und Fledermäuse zusammenzutragen und Möglichkeiten aufzuzeigen, diese zu vermindern oder zu vermeiden. Im Rahmen der HiWUS-Studie wurde außerdem ein Untersuchungskonzept entwickelt, mit dem das Verhalten nachts ziehender Vögel auf Lichtreize und damit das Gefahrenpotential beleuchteter Windenergieanlagen beurteilt werden kann. Im zweiten Teil dieses Berichtes wird daher ein Maßnahmenkatalog vorgestellt, der aufzeigt, wie mit Hilfe eines Zielfolgeradars und eines automatisierten Kamerasystems die Reaktion von nachts ziehenden Vögeln auf die Beleuchtung von WEA unter Freilandbedingungen untersucht werden sollen.

### 4.1 Literaturrecherche

#### 1. Methode

Die Zusammenstellung des aktuellen Wissensstandes umfasste zunächst die Durchsicht früherer Bibliographien und Literaturrecherchen,

die Originalarbeiten zu den Themen Vogelkollisionen und/oder Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Zugvögel kompilieren. Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit der Problematik Vogelschlag an Windenergieanlagen (WEA). Dabei wird jedoch der Einfluss der Beleuchtung höchstens am Rande betrachtet. Zusätzlich ist eine direkte Lichtattraktion im Feld nur schwer nachweisbar. Aus diesen Gründen wurden zusätzlich Publikationen und Berichte recherchiert, die Vogelkollisionen an beleuchteten Strukturen generell betrachten. Berichte, die Rückschlüsse auf Möglichkeiten zur Verminderung der Lichtattraktionswirkung zulassen, waren von besonderem Interesse. Fachliteratur aus den Bibliotheken des Instituts für Vogelforschung Vogelwarte Helgoland in Wilhelmshaven und auf Helgoland wurde nach relevanten Beiträgen durchsucht. Zusätzlich fand eine Online-Recherche statt, bei der die allgemeine Suchmaschine Google und die speziellen Literatursuchmaschinen GoogleScholar und SORA (Searchable Ornithological Literature Research Archive) genutzt wurden. SORA umfasst ornithologische Publikationen bedeutender amerikanischer Fachzeitschriften seit ihrem Erscheinen bis 1999/2000. Originalarbeiten wurden ferner von der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg der Universität Frankfurt/Main, der Universität Bielefeld, der Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg sowie der Bibliothek des Zoologischen Institutes der Universität Hamburg beschafft.

Die Recherche beinhaltete außerdem Arbeiten über Orientierungsmechanismen von Vögeln und Fledermäusen, da diese eng mit der Umgebungsbeleuchtung verknüpft und daher für das Thema Lichtattraktion von großer Bedeutung sein können.

Im Rahmen der Recherche von Literatur zum Fledermausschlag wurden die im Institut für Vogelforschung vorhandenen Berichte und Artikel durchgesehen und deren Literaturverzeichnisse nach weiteren, potenziell relevanten Arbeiten durchsucht. Die zusätzlich durchgeführte Online-Recherche umfasste neben den oben angeführten Suchmaschinen auch Scirus (<http://www.scirus.com>). Einige Berichte aus den USA sind über die Homepages von staatlichen Einrichtungen oder Verbänden online verfügbar, so dass über diese Seiten weitere Literatur recherchiert wurde. Auch hier wurde Literatur einbezogen, die den Einfluss von Licht auf Fledermäuse sowie die Orientierungsmechanismen behandelt.

Alle erfassten Arbeiten wurden durchgesehen und auf ihre Relevanz für die Fragestellung der Studie geprüft. Dies geschah durch eine vierstufige Skala, nach der die Relevanz der Publikationen in gering, mittel, mittel-hoch und hoch eingestuft wurde. In der folgenden Ergebnisbeschreibung beschränken wir uns auf solche Literatur, deren Relevanz als mittel-hoch oder hoch bewertet wurde.

## **2. Ergebnisse**

### **2.1 Zugvögel**

Die Literaturrecherche zu Vogelkollisionen an beleuchteten Strukturen ergab etwa 400 Publikationen, die zum Fledermausschlag rund 40. Die große Differenz in der Zahl gefundener Literatur macht deutlich, dass Kollisionen von Fledermäusen mit beleuchteten Strukturen in der Vergangenheit weniger stark bemerkt wurden. Bei den tot aufgefundenen Fledermäusen handelte es sich oftmals um Zufallsfunde, die bei der Suche nach kollidierten Vögeln entdeckt wurden (z.B. Saunders 1930 a, Crawford & Baker 1981). Tote Fledermäuse sind ungleich schwerer zu finden als die meist viel auffälligeren Vögel. Zusätzlich ist das Wissen über den Zug von Fledermäusen, ihre Zugrouten und Orientierungsmechanismen deutlich geringer als bei Vögeln (z.B. Bach & Rahmel 2004, Cryan & Brown 2007, Dietz et al. 2007). Generell sind Kollisionen von Fledermäusen mit anthropogenen Strukturen ein im Vergleich zum Vogelschlag sehr junges Thema, das vorwiegend im Zusammenhang mit WEA behandelt wird. Vor allem die Zahl der in Fachzeitschriften publizierten Arbeiten ist gering.

### **Kollisionen**

Kollisionen erfolgen zu allen Jahreszeiten, die Opferzahlen sind im Frühjahr allerdings geringer als im Herbst (z.B. Seets & Bohlen 1977, Crawford 1981 b, Crawford & Engstrom 2001, Clark et al. 2005, Hüppop et al. 2005). Crawford (1981 a) fand beispielsweise an einem Fernsehturm in Nord-Florida in 93 % aller 420 Beobachtungsnächte Kollisionsopfer. Massenkollisionen mit > 50 bzw. > 100 Vögeln pro Nacht wurden aber nur in 11 % bzw. 3 % aller Nächte festgestellt. Dass sich die Masse der Kollisionen an einer beleuchteten Vertikalstruktur auf wenige Nächte konzentriert, bestätigen längerfristige systematische Untersuchungen (z.B. Brewer & Ellis 1958, Johnston & Haines 1957, Taylor & Anderson 1973, Hüppop et al. 2006, Ballasus 2007).

Die recherchierten Zusammenhänge zwischen Beleuchtung, weiteren Begleitumständen und der Kollisionsgefahr werden nachfolgend auf der Grundlage einer Zusammenfassung des Orientierungsverhaltens und seiner Abhängigkeit von Lichtwirkungen beschrieben. Anschließend werden Schlussfolgerungen für eine möglichst verträgliche Beleuchtung von WEA gezogen.

### **Orientierungsmechanismen**

Zugvögel können zur nächtlichen Orientierung verschiedenste Sinne nutzen. Als besonders wichtig sind die Magnetfeldorientierung, der Sternenkompas sowie das Polarisationsmuster des Himmelslichtes

bei Dämmerung und Sonnenaufgang bekannt (Able & Able 1996, Wiltschko & Wiltschko 2003). Diese Prozesse sind vom Licht bzw. von der Sichtbarkeit der Sterne abhängig und können von Wetterbedingungen und Wolkendecke oder eventuell der Mondphase beeinflusst werden. Sind Vögel desorientiert, reagieren sie oftmals phototaktisch auf unterschiedliche Lichtquellen (Muheim & Jenni 1999, Richardson 2000). Die Stärke der Lichtattraktion ist positiv mit der Lichtintensität korreliert (Verheijen 1985).

Bei Magnetfeldorientierung handelt es sich um einen an die Photorezeptoren im Auge gekoppelten Mechanismus (Ritz et al. 2000), der bei absoluter Dunkelheit offenbar nicht funktioniert. Zumindest zeigten gekäfigte Vögel dann keine Aktivität, von der auf eine gerichtete oder ungerichtete Orientierung geschlossen werden könnte (Brown & Mehwaldt 1968, Czeschlik 1977). In Laboruntersuchungen wurde ferner herausgefunden, dass Licht unterschiedlicher Wellenlänge den Vogelmagnetkompass bzw. das Orientierungsvermögen beeinflussen kann. Dabei zeigten Rotkehlchen bei weißer sowie blauer (Wellenlänge 424 nm) und grüner (565 nm) Beleuchtung eine Orientierung in die erwartete Zugrichtung, rotes (633 nm), gelbes (590 nm) und sogar grün-gelbes (567,5 nm) Licht führten hingegen zu einer Desorientierung (Wiltschko & Wiltschko 1993, Wiltschko & Wiltschko 1995, Muheim et al. 2002). Auch Intensitätsunterschiede hatten bei gleicher Wellenlänge einen Einfluss auf das Orientierungsvermögen (Wiltschko et al. 2001, Muheim et al. 2002). Wiltschko et al. (2001) vermuten, dass eine Verschiebung der natürlichen Balance der Wellenlängen als Ursache in Frage kommt. Muheim et al. (2002) gehen von einem in zwei Spektralbereichen funktionierenden Magnetkompass aus. Die dargestellten Ergebnisse machen deutlich, dass Kunstlicht bei Nacht in ggf. unterschiedlicher Farbe und Intensität die Orientierung bzw. den Magnetkompass beeinflussen könnte.

Als weitere wichtige Größe ist für Nachtzieher die Sichtbarkeit des Sternenhimmels hervorzuheben (Bellrose 1971). Pyle et al. (1993) zeigen, dass die Zugwahrscheinlichkeit im Herbst in dunklen Mondnächten gegenüber hellen anstieg, soweit der Himmel klar war – Sterne somit einen stärkeren Kontrast gegenüber dem dunklen Himmel bilden. Der Sternenkompas als ein eigenständiger Orientierungsmechanismus ist aber umstritten (z. B. Brown & Mehwaldt 1968, Moore 1985).

Es ist wahrscheinlich, dass die unterschiedlichen Orientierungsmechanismen zusammen wirken. Cochran et al. (2004) setzten während der Abenddämmerung zwei *Catharus*-Arten einem verschobenen Magnetfeld aus und ließen sie anschließend frei. Die Tiere flogen in Richtungen, die von der (erwarteten) Zugrichtung abwichen, relativ zum Sonnenuntergangspunkt. Die Autoren vermuten daher, dass beide Arten ihren Magnetkompass jeden Abend an Schlüsselreizen kalibrieren, die sie während des Sonnenuntergangs und der Dämmerung erhalten. Dazu können der Sonnenuntergangspunkt selbst oder das polarisierte Licht dienen. Eine Orientierung am sternenhellen Himmel konnten sie

nicht beobachten und schließen daraus, dass die Vögel ihn entweder nicht zur Orientierung nutzten oder das Sternenmuster wiederum am Magnetkompass kalibrierten. Auch Wiltschko & Wiltschko (2003) nehmen an, dass Vögel sich in Konfliktsituationen eher nach dem Magnetkompass orientieren und hieran eine Anpassung des lokalen Sternenhimmels vornehmen.

### **Lichtattraktion**

Es gibt eine große Zahl von Belegen für die Attraktion von Vögeln durch Lichtquellen sehr unterschiedlicher Strukturen. Die Beispiele beinhalten Fahrzeugscheinwerfer, Flutlichter, Wolkenhöhscheinwerfer sowie die Beleuchtung von Gewächshäusern, Gebäuden, Schornsteinen, Kommunikationstürmen, Schiffen, Leuchttürmen, Bohrinseln, Förder- und Forschungsplattformen etc. (z.B. Kumlien 1888, Saunders 1930 b, Overing 1936, Mörzer Bruyns 1939, James 1956, Brewer & Ellis 1958, Cochran & Graber 1958, Bagg 1971, Taylor & Anderson 1973, Casement 1974, Dick & Donaldson 1978, Müller 1981, Nikolaus & Pearson 1983, Taylor & Kershner 1986, Larkin & Frase 1988, Roberts & Tamborski 1993, Abt & Schultz 1995, Crawford & Engstrom 2001, Wiese et al. 2001, Clark et al. 2005, Hüppop et al. 2005 und 2006). Die Attraktion äußert sich in erhöhtem Vogelaufkommen und Verhaltensauffälligkeiten im Bereich der Lichtquellen wie in Umherflattern oder Umkreisen der Lichtquellen (z.B. Cochran & Graber 1958, Larkin & Frase 1988, Abt & Schultz 1995). Beim Umkreisen einer Lichtquelle stellen Vögel ihre Körperachse senkrecht zur Lichtquelle ein und umfliegen diese, wobei dieser Vorgang über Stunden andauern kann (z.B. Graber 1968, Casement 1988, Larkin & Frase 1988, Larkin 2000). Die Stärke dieser Reaktion ist offenbar von der Stärke der Lichtquelle abhängig (z.B. Verheijen 1958) und an Wetterbedingungen mit schlechter Sicht, starker Bewölkung und insbesondere Nebel und Nieselregen geknüpft (z.B. Brewer & Ellis 1958). Durch das Umherkreisen und Flattern im beleuchteten Bereich einer Struktur sind die Vögel einem erhöhten Kollisionsrisiko mit der Struktur oder angeschlossenen Elementen ausgesetzt, ebenso können sie durch Erschöpfung zu Grunde gehen. Hintergrund ist der sogenannte „trapping effect“, durch den Vögel offenbar nicht in der Lage sind, einen beleuchteten Bereich wieder zu verlassen (Graber 1968, Evans Ogden 1996).

Für die Lichtattraktion und den „trapping effect“ werden verschiedene Erklärungsansätze, wie z.B. eine Blendung der Vögel, plötzlicher lichtinduzierter Orientierungsverlust oder die Lichtattraktion aufgrund einer bereits bestehenden Desorientierung diskutiert (z.B. Verheijen 1958, Herbert 1970, Herndon 1973, Bureau Waardenburg 1999, Schmiedel 2001), die genauen Ursachen liegen aber im Dunkeln. Bei fehlenden natürlichen Orientierungsstimuli wie dem Sternenhimmel und bei möglicherweise fehlender Magnetfeldperzeption aufgrund unzureichender Grundhelligkeit (Ritz et al. 2000) können die Vögel die Orientierung ver-

lieren (Herbert 1970). Dann stellen Kunstlichtquellen eventuell den einzigen Orientierungspunkt für Vögel dar. Optische Reize bzw. Lichtquellen dominieren in der kognitiven Verarbeitung dann wahrscheinlich gegenüber konkurrierenden sensorischen Reizen wie dem Gravitationsinn. So finden sich für Wolkenhöhen Scheinwerfer an Flughäfen zahlreiche Beispiele für Vögel, die infolge ihrer Desorientierung steil abwärts auf die Lichtquellen und damit auf den Boden zufliegen und durch Aufprall an den Lichtern bzw. in der nahen Umgebung zu Tode kommen (z.B. Leband 1951, Johnston 1955, Terres 1956). Desorientierte gekäfigte Vögel reagieren sogar phototaktisch auf den Mond oder die Sonne (Brown & Mehwaldt 1968, Able 1977, Muheim & Jenni 1999). Letztlich ist unklar, ob Lichtattraktion eine Folge bestehender Desorientierung ist oder letztere durch Lichtwirkungen induziert wird, die dann gleichfalls die Attraktion zur Lichtquelle als einzigem Orientierungspunkt auslöst (Bureau Waardenburg 1999).

Ungewissheit besteht auch über die mögliche Reichweite der Lichtwirkung (Swenk 1922, Bamberg 1935, James 1956, Cochran & Graber 1958, Aldrich et al. 1966, Graber 1968, Marsden et al. 1980, Avery et al. 1976, Buckhorst & Pearson 1977, Telfer et al. 1987). So ist fraglich, ob nur Vögel betroffen sind, die eine Lichtquelle in relativ großer Nähe auf unveränderter Route passieren und im beleuchteten Bereich „gefangen“ werden („trapping effect“), oder ob auch Vögel aus größerer Entfernung von den Lichtquellen angezogen werden. Marsden et al. (1980) konnten nach einer Radarstudie bei günstigem Wetter keine Einflüsse durch die Beleuchtung eines Kraftwerkes feststellen. Bruderer et al. (1999) fanden im Rahmen einer Untersuchung mit einem Zielfolgeradar heraus, dass der Großteil ziehender Vögel nach Einschalten eines starken Suchscheinwerfers die Richtung änderte und einige den Flug verlangsamten oder ihre Flughöhe steigerten. Der Einfluss des Lichtes auf die Vögel reichte bis zu einem Kilometer, danach reagierten die Vögel nicht mehr auf das Licht. Amadon (1966) hält eine Attraktion aus größerer Entfernung durch Stadtlichter von Reno (Nevada) als (Teil-)Ursache des Massenauftretens von Möwen in einer Zugnacht mit Schneefall für denkbar. Analoge Hinweise finden sich bei Swenk (1922) durch das Auftreten und Kollidieren mit diversen Strukturen von Spornammern in drei Städten derselben Region in einer Nacht. James (1956) beschreibt ähnliches für ein mit Flutlichtern beleuchtetes Erholungsgebiet. In einem Nationalpark in Kenia ließen sich bei schlechter Sicht/schlechtem Wetter in mondlosen Nächten bis zu 100.000 Vögel in der Umgebung von Flutlichtern nieder (vornehmlich Zugvögel; Buckhorst & Pearson 1977). Laskey (1964) vermutet, dass Stadtlichter Vögel zu einem niedrigeren Flug veranlassen. Auch Abt & Schultz (1995) beobachteten, dass auffällige Verhaltensweisen wie Kreisen, Landen oder zögernder Überflug im Bereich der Beleuchtung eines Gewächshauskomplexes positiv mit der Gesamtzahl visuell erfasster Vögel korrelierten. Gleichzeitig wiesen sie einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl kreisender Vögel und der Sicht nach. Ihre Resul-

tate sprechen dafür, dass schlechte Sicht bzw. die Beleuchtung bei diesen Bedingungen Vögel einerseits zu niedrigerem Zug veranlasst, wo sie visuell erfasst werden können, und andererseits verstärkt auffälliges Verhalten bewirkt. Avery et al. (1976) sowie Cochran & Graber (1958) zeigten, dass Vögel bei schlechter Sicht in der Nähe beleuchteter Strukturen eher verdichtet, bei klarem Himmel hingegen eher proportional geringer auftreten. Dies spricht für größere Reichweiten der Attraktionswirkung und gleichfalls für eine gewisse Meidung von Lichtquellen bzw. der beleuchteten Strukturen bei klarer Sicht. Resultate zur Phototaxis gegenüber Lichtreizen in Laboruntersuchungen können ggf. auch im Sinne einer weitreichenderen Lichtattraktion verstanden werden (Hill 2005). Grundsätzlich besteht in diesem Punkt aber weiterer Forschungsbedarf.

Eine Reihe von Untersuchungen hat gezeigt, dass neben den Wetterbedingungen auch die Art der Lichtquelle das Kollisionsrisiko von Vögeln mit beleuchteten anthropogenen Strukturen und das Phänomen der Lichtattraktion beeinflussen (z.B. Baldwin 1965 zitiert in Evans Ogden 1996, Gauthreaux 1969, Able & Gauthreaux Jr 1975, Richardson 2000). Diskutiert wird auch die Bedeutung der Mondphase. Die genannten Faktoren sollen im Folgenden näher betrachtet werden.

### **Wetterbedingungen**

Lichtattraktion und Phototaxis sind primär in Nächten mit schlechter Sicht (Nebel, Nieselregen, Regen, Diesigkeit, Bewölkung, Schneefall) zu beobachten (z.B. Brewer & Ellis 1958, Gauthreaux 1969, Casement 1974, Able & Gauthreaux 1975, Chilman 1979, Harris 1980). Durch Reflexion der Wassertropfen bilden dann auch punktuelle bzw. scharf umgrenzte Lichtquellen einen größeren diffus erleuchteten Bereich. Untersuchungen mit Zielfolgeradar an einem Funkturm haben gezeigt, dass das Kreisen im beleuchteten Bereich auftrat, wenn dieser in niedrigen Wolkendecken verborgen war (Larkin & Frase 1988, Larkin 2000). An Schiffen bzw. Forschungsplattformen wurde ein Abflug der Vögel nach Nebelauflösung beschrieben (Harris 1980, Casement 1974). Brewer & Ellis (1958) fassten die Wetterbedingungen, bei denen Vögel mit einem Fernsehturm kollidierten, folgendermaßen zusammen: mindestens 80 % Wolkenbedeckung, geringe Wolkenhöhe unter 500 m, Nebel oder Nieselregen. In den 12 Stunden vor den Kollisionen zog meist eine Kaltfront durch. Die Kollisionszahlen waren im Herbst höher als im Frühjahr.

Viele weitere Studien belegen, dass Massenkollisionen an den Durchzug von Kaltfronten gekoppelt sind (z.B. Laskey 1955, Graber & Cochran 1960, Graber 1968, Crawford 1981 b, James 1956, Kale 1963, Francis 1967, Crawford 1976 a, 1976b, Carter & Parnell 1978, Taylor & Kershner 1986). Crawford (1981 a) beispielsweise zeigte, dass 94 % der 36 Nächte, in denen Kollisionen von mehr als 50 Vögeln an einem

Fernsehturm auftraten, an den Durchzug einer Kaltfront gekoppelt waren. Ein vergleichbares Resultat erzielten Taylor & Kershner (1986) an einem Montagehochhaus sowie Graber & Cochran (1960) für einen weiteren Fernsehturm. Letztere analysierten Massenkollisionen, die zwischen 1957 und 1959 auf der Grundlage täglicher Kontrollen erfasst wurden, in Relation zu Frontsystemen. Die relevanten Massenkollisionen im Herbst waren überwiegend an eine Kaltfront-Passage mit Stratus- oder Kumulusbewölkung gekoppelt, während in starken Zugnächten ohne Bewölkung keine Kollisionen auftraten. Die Autoren stellten lediglich in einer Frühjahrsnacht mit starkem Zug und gleichfalls starker Bewölkung keine Kollisionen fest. Ausnahmen gibt es ebenso im umgekehrten Fall: So können Vögel auch in großer Zahl kollidieren, während sie bei klarer Sicht und relativ günstigen Bedingungen ziehen oder einer Kaltfront folgen (z.B. Spofford 1949, Smiths 1961, Mosman 1975). Darüber hinaus lassen viele weitere Arbeiten vermuten, dass eine Kaltfront involviert war, da die im Zusammenhang damit auftretenden Wetterverhältnisse beschrieben wurden.

Der Zusammenhang zwischen Kaltfrontdurchzug und Massenkollisionen hat zwei wesentliche Ursachen. Zunächst ist der Durchzug einer Kaltfront im Herbst oftmals ein auslösender Stimulus für intensiven Zug (Wiedner 1992, Bureau Waardenburg 1999, Hüppop et al. 2005, 2006), der dann zu wenigen, aber sehr intensive Zugphasen führen kann, in denen die Masse der Vögel einer Art zieht (Adams 1962, Bureau Waardenburg 1999, Sinelshikova et al. 2003). Dabei folgen Vögel den Kaltfronten zunächst bei günstigen Bedingungen und klarer Sicht. An den Grenzschichten der Kalt- und Warmfronten, wo sich kältere Luftschichten unter wärmere „schieben“ und letzteren unter starker Wolkenbildung Wasser entzogen wird, können sich die zuvor günstigen Windbedingungen in das Gegenteil umkehren, und die Wetterverhältnisse verschlechtern sich (Schmiedel 2001).

### **Mondphase**

Die Bedeutung des Mondlichtes bzw. der Mondphase für das Auftreten von „Massenkollisionen“ ist nicht hinreichend geklärt und wird widersprüchlich dargestellt. Nur in einzelnen der ausgewerteten Studien wird schwaches Mondlicht als mögliche Ursache für verstärkte Lichtattraktion bzw. erhöhte Kollisionsraten diskutiert (z.B. Buckhurst & Pearson 1977, Nikolaus & Pearson 1983, Reed et al. 1985). Verheijen (1981 a, 1981 b, 1981 c) analysierte Kollisionsdaten längerfristig kontrollierter Standorte hinsichtlich der Mondphase und fand ein signifikant erhöhtes Auftreten von Massenkollisionen in der Neumondphase. Die jeweiligen Wetterbedingungen wurden aber nicht berücksichtigt. Der Autor vermutet, dass der Mond auch bei bedecktem Himmel die unnatürliche Anisotropie des Lichtfeldes einer künstlichen Lichtquelle verringert und dies den Grad der Desorganisation des Orientierungssystems, - verbunden mit Lichtattraktion – abschwächt. Resultate von Barrington

(1900), wonach nur 16 % der Singdrosselanflüge an Leuchttürmen bei Halb- oder vollern Mond auftraten, bestätigen anscheinend Verheijens Befunde. Crawford (1981 b) hingegen testet den Einfluss der Mondphase auf 683 Kollisionsnächte mit mehr als zehn Opfern (1956 bis 1980) an einem Fernsehturm und findet die Hypothese nicht bestätigt. Erhöhte Opferzahlen fanden sich ebenso bei Vollmond. Als mögliche Ursache von Konzentrationen in der Neumondphase wird u.a. eine stärkere Zugintensität gesehen. Diese Vermutung unterstreichen Ergebnisse von Pyle et al. (1993), die unter Freilandbedingungen ermittelten, dass die Abzugswahrscheinlichkeit im Herbst bei geringem Mondlicht in klaren Nächten erhöht war. Für fehlenden direkten Mondeinfluss auf das Attraktionsrisiko sprechen auch Befunde von Poot (Manuskript): Im Unterschied zur Bewölkung hatte das Mondlicht anscheinend keinen Einfluss auf die Attraktion durch Lichtquellen im Freiland. Für Seevögel zeigte sich dagegen in Vollmondnächten eine geringere Attraktionswirkung von Stadt- und Scheinwerferlicht (Reed et al. 1985, Telfer et al. 1987, Podolsky et al. 1998).

In Bezug auf die Mondphase eventuell relevante Resultate zum Kollisionsrisiko mit unbeleuchteten Windenergieanlagen finden sich bei Winkelmann (1992 a). Danach treten in klaren Nächten mit hellem Mondlicht kaum Opfer auf. Radaruntersuchungen an Tauchenten zeigen, dass diese in mond hellen Nächten signifikant häufiger zwischen WEA durchflogen, während sie entsprechende Reihen bei geringem Mondlicht eher umflogen (van der Winden et al. 1999, Dirksen et al. 2000). Dabei handelte es sich allerdings um ortskundige Rastvögel.

### **Beleuchtungscharakteristika**

Obwohl das Problem lichtassoziierter Massenkollisionen durch Flugsicherheitslichter und weitere Beleuchtungsquellen seit langem bekannt ist (Avery et al. 1980, Evans Ogden 1996, Trapp 1998), fehlen Forschungen zur Etablierung möglichst kollisionsvermeidender Beleuchtungsregime bis in jüngste Vergangenheit (Kerlinger & Curry 2002, Jones & Francis 2003, Kerlinger 2005). Die ausgewerteten Studien schließen diverse, oftmals grobe Angaben zur Beleuchtung ein, z.B. brillantes Licht, weiße Flutlichter, diverse Scheinwerfer, Schifflampen/Scheinwerfer, Werbeleuchten, konstante sowie Blitz- und Blinklichter. Spezifizierende Angaben zum genaueren Leuchtmittel, seiner Leistung, der Frequenz und der Leuchtdauer und –pausen bei unterbrochenen Lichtquellen fehlen aber in der Regel. Falls sie vorhanden sind, beziehen sie sich auf unterschiedliche Strukturen. Die Systematisierung der Informationen zum Beleuchtungseinfluss erlaubt deshalb keine Rückschlüsse auf etwaige Korrelationen zwischen bestimmten Lichtquellen und dem Kollisionsrisiko. Im Falle der besser untersuchten amerikanischen Fernsehtürme variiert die Beleuchtung im Rahmen der Empfehlungen der Federal Aviation Administration (FAA) in der Praxis offenbar kaum. In Abhängigkeit der Höhe schwankt die Anzahl der E-

benen, die jeweils mit konstantem und zusätzlich mit blinkendem oder blitzendem Rotlicht ausgestattet sind (Kerlinger & Kerns 2003, Kerlinger 2005, Clark et al. 2005).

Im Folgenden werden unterschiedliche Lichteigenschaften, die für das Kollisionsrisiko von Bedeutung sein können, anhand relevanter Einzelstudien vorgestellt.

### **Lichtstärke**

Den grundsätzlichen Einfluss der Intensität und Helligkeit einer Lichtquelle auf das Kollisionsrisiko und die Attraktion veranschaulichen einige quasi-experimentelle Freilandbeobachtungen, wobei das Abschalten der Hauptbeleuchtung (weiße Betriebslichter) Attraktion und Kollisionszahl stark minderte. Dick & Donaldson (1978) beschreiben, dass massives und über einen langen Zeitraum anhaltendes Landen von Seevögeln (Schopffalken *Aethia cristatella*) während eines Schneesturms ein Fischerboot von 26 m Länge vor Alaska nahezu in Seenot brachte. Geschätzte 6.000 Vögel (ca. 1,5 Tonnen) befanden sich zeitweilig auf dem Schiff. Die Vögel wurden „kontinuierlich von Bord geschaufelt“, bis das Problem nach Abschalten der Hauptlichter abnahm, obwohl sich weiterhin zahlreiche Vögel in der Umgebung aufhielten und in Schiffshöhe vorbeizogen. Auch von anderen Orten (Azoren, Antarktik) ist bekannt, dass die Decksbeleuchtung von Schiffen Seevögel in großer Zahl anziehen kann (Black 2005 sowie pers. Mitt. von Manuela Nunes, Lissabon, und Richard Veit, New York). Müller (1981) beschreibt das gleiche Phänomen an der Forschungsplattform „Nordsee“, wo der Anflug von Singvögeln in einer starken Zugnacht nach Ausschalten der Hauptscheinwerfer stark zurückging. Cochran & Graber (1958) zeigten an einem Fernsehturm, dass die Vögel sich nach Einschalten der Beleuchtung im Lichtschein sammelten und nach dem Abschalten wieder verschwanden.

Recht gut abgesicherte Belege zum Einfluss der Lichtintensität auf die Kollisionsrate liefert auch die Langzeitstudie von Jones & Francis (2003) am Longpoint Leuchtturm (Lake Erie, Ontario), wo die durchschnittliche Kollisionsrate nach 1989 von 200 Vögeln im Frühjahr und 393 im Herbst auf 9,6 (Frühjahr) bzw. 18,5 (Herbst) abnahm. Hierbei blieb die Blinkfrequenz des rotierenden Scheinwerfers erhalten, er wurde aber gegen ein anderes Lichtsystem mit etwa halbierten Intensität, verminderter Reichweite und engeren Strahlen bzw. engerem Abstrahlkegel ausgetauscht. Im vorausgegangenen System war primär eine Quecksilberdampf Lampe (400 W, Hussel 1969) im Gebrauch, so dass auch die Art des Lichtes eine Rolle gespielt haben könnte.

Reed et al. (1985) konnten ferner zeigen, dass die Abschirmung einer Lichtquelle nach oben zu einer deutlichen Reduktion der Anflüge junger Sturmvögel von durchschnittlich 40 % führte.

### **Blinkfrequenz**

Vergleichbare Folgen wie die vom Longpoint-Leuchtturm beschriebenen hatte der Ersatz des konstanten Scheinwerfers am Dungeness Leuchtturm in Kent durch ein bläuliches Licht, das nur alle 10 Sekunden aufleuchtet (Baldwin 1965 zitiert in Evans Ogden 1996). Unklar ist dabei, welche Bedeutung der veränderten Lichtfarbe und welche dem Blinkrhythmus zufällt. Nach Lewis (1927) verursachten aber nur etwa 30 % der Leuchttürme mit Blitzlicht relevante Kollisionen. Evans et al. (2007) stellten im Rahmen ihrer Experimente fest, dass die Aggregation von Vögeln, die bei konstantem weißem Licht (250 W, 500 W, 1500W) stattfand, nicht auftrat, wenn das Licht blinkte (1500 W; 0,2 s an, 2,3 s aus, Abb. 1 C). Kerlinger & Kerns (2003) konnten kein erhöhtes Kollisionsrisiko für Windenergieanlagen feststellen, die mit unterbrochenen roten Blinklichtern mit kurzer Hellphase ausgestattet sind. Wie auch Kerlinger (2005) führen sie Lichtattraktionen und Massenkollisionen an Fernsehtürmen auf die konstanten Rotlichter, nicht aber auf die unterbrochenen Blink- oder Blitzlichter zurück. Konkrete Befunde zum Einfluss des Blinkrhythmus liefern vergleichende Studien zur Zahl anfliegender Vögel am Leuchtturm auf Sylt bzw. Amrum. Das für beide Leuchttürme vergleichbare weiße Blinklicht erscheint bei *Amrum* mit hoher Frequenz in einer Taktung von 6 s Licht und 14 s Dunkel, bei *Rothe Kliff* (Sylt, mit zusätzlichem Festfeuer einer Lichtintensität von 14 % des hellen Blinklichts) hingegen nur alle 4 min mit einer Dauer von 15 s, wobei die Anflugzahl am letztgenannten Leuchtturm signifikant geringer war (Ballasus 2007). Den Einfluss des Blinkrhythmus belegen auch eigene Laboruntersuchungen zur Stärke der Phototaxis gegenüber einer gelben Lichtquelle (LED mit einer Wellenlänge von 590 nm) jeweils gleicher Lichtstärke. Die Zahl der Vögel, die phototaktisch auf das Licht reagierten, unterschied sich signifikant zwischen konstant scheinendem, blinkendem (1 s hell, 3 s dunkel) und blitzendem (50 ms hell, 3950 ms dunkel) Licht, wobei die Zahl der reagierenden Tiere bei Blitzlicht am geringsten, bei Dauerlicht am höchsten war (Hill 2005).

### **Lichtfarbe**

Hinsichtlich der Lichtfarbe ergab die Auswertung, dass Kollisionen und Massenkollisionen für weißliches und brillantes/helles Licht sowie für rote Lichtquellen beschrieben wurden. Baldwin (1965 zitiert in Evans Ogden 1996) liefert einen Hinweis, wonach kurzweiliges blaues Licht eventuell weniger nachteilig erscheint (s.o.). An 24 Wolkenhöhen-scheinwerfern konnte durch Beschränkung auf UV-Licht die Attraktionswirkung stark verringert werden (z.B. Terres 1956, Laskey 1956). Eaton (1967) spricht auch für blau gefiltertes Licht von entsprechendem Erfolg. Spofford (1949) hingegen beschreibt eine Nacht mit geringer Wolkenhöhe, in der etwa 300 Vögel in der Lichtsäule eines herkömmlichen mit einer Quecksilberdampfampe betriebenen Wolkenhöhen-scheinwerfer hinab flogen und durch den Aufprall auf den Boden zu Tode kamen.

Nach Experimenten von LGL (1972) konnten Rotlichtfilter die Mortalität an Flutlichtern um 80 % senken (zit. in Wiese et al. 2001). Poot (Manuskript) dagegen fand an einer Lichtquelle im Freiland bei Nutzung verschiedener Farbfilter, dass ziehende Vögel auf blaues, gefolgt von grünem Licht am geringsten, auf weißes, gefolgt von rotem Licht am stärksten phototaktisch reagierten. Weder in der Arbeit von Poot noch in allen übrigen bisher genannten Arbeiten wurde auf unterschiedliche Intensitäten kontrolliert (bei einer Glühlampe hat das ungefilterte weiße Licht natürlich die höchste Intensität, bei Farbfilterung sind die roten und gelben Spektralanteile viel intensiver als die grünen und blauen). Auf der Arbeit von Poot (Manuskript) basieren die Untersuchungen, die van de Laar (2007) vorstellt: Teile der bisherigen Beleuchtung einer Gasplattform in der Nordsee (weiße Anzeigeleuchten und Natrium-Hochdrucklampen) wurden durch neue Lampen ersetzt, die nur geringe Anteile von rotem Licht enthalten. Nach Untersuchungen in drei Nächten mit starkem Vogelzug und Lichtattraktion fördernden Wetterbedingungen kommt der Autor zu dem Ergebnis, dass durch die neue grüne Beleuchtung die Zahl angelockter Vögel um bis zu 90 % vermindert werden kann. Diese Vermutung basiert jedoch nicht auf einer systematischen Untersuchung. In der Arbeit fehlen zudem genauere Spezifikationen zu den neuen Lichtquellen und -farben.

Die bisher vorgestellten Befunde mit Ausnahme von LGL (1972) deuten eher darauf hin, dass langwelliges rotes sowie weißes Licht eine stärkere Anziehung und höhere Kollisionsraten verursachen als kurze Wellenlängen. Allerdings ist unseres Wissens nur in einem Fall die unterschiedliche spektrale Lichtintensität berücksichtigt worden. Die einzige Arbeit, in der dies getan wurde, untersuchte die Auswirkungen verschiedener Lichtfarben auf Vögel, die in den Wolken flogen, unter Lichtattraktion begünstigenden Wetterbedingungen (Evans et al. 2007). Die Ergebnisse zeigen, dass die Vögel von weißem (250 W, 500 W und 1500 W), grünem und blauem Licht angelockt wurden, nicht jedoch von rotem, obwohl es doppelt so intensiv war wie das grüne und sogar dreimal so stark wie das blaue (Abb. 1). Die Autoren diskutieren ihre Ergebnisse vor dem Hintergrund der äußeren Umstände. Die hier untersuchten Vögel waren möglicherweise in der Dunkelheit wegen starker Bewölkung nicht in der Lage, sich magnetisch zu orientieren. Weißes, blaues und grünes Licht ermöglichen nach Laboruntersuchungen eine Orientierung anhand des Magnetfeldes (s. Kapitel 3.1.2.), so dass die Vögel möglicherweise auf Lampen mit diesen Farben zuflogen, um dort ihre Orientierung wieder zu erlangen (magnetoreception-seeking theory). Alternativ könnten die an Dunkelheit gewöhnten Vögel visuell durch eine hell erleuchtete Umgebung angelockt worden sein (vision-induced aggregation). Eine ausbleibende Aggregation in rot beleuchteter Umgebung wird in diesem Fall dadurch erklärt, dass die beim nächtlichen Sehen vorherrschenden Stäbchen (Photorezeptoren zur Hell-Dunkel Wahrnehmung) unempfindlich für rotes Licht sind, so dass der visuelle Stimulus nicht stark genug war, um die Vögel anzulocken.

Die konträren Ergebnisse dieser Untersuchung zu den Beobachtungen der meisten anderen Autoren werden mit dem Abstrahlwinkel der Lampe sowie der Umgebungshelligkeit (hellere Umgebung macht das Vogelage rot-empfindlicher) erklärt (Evans et al. 2007).

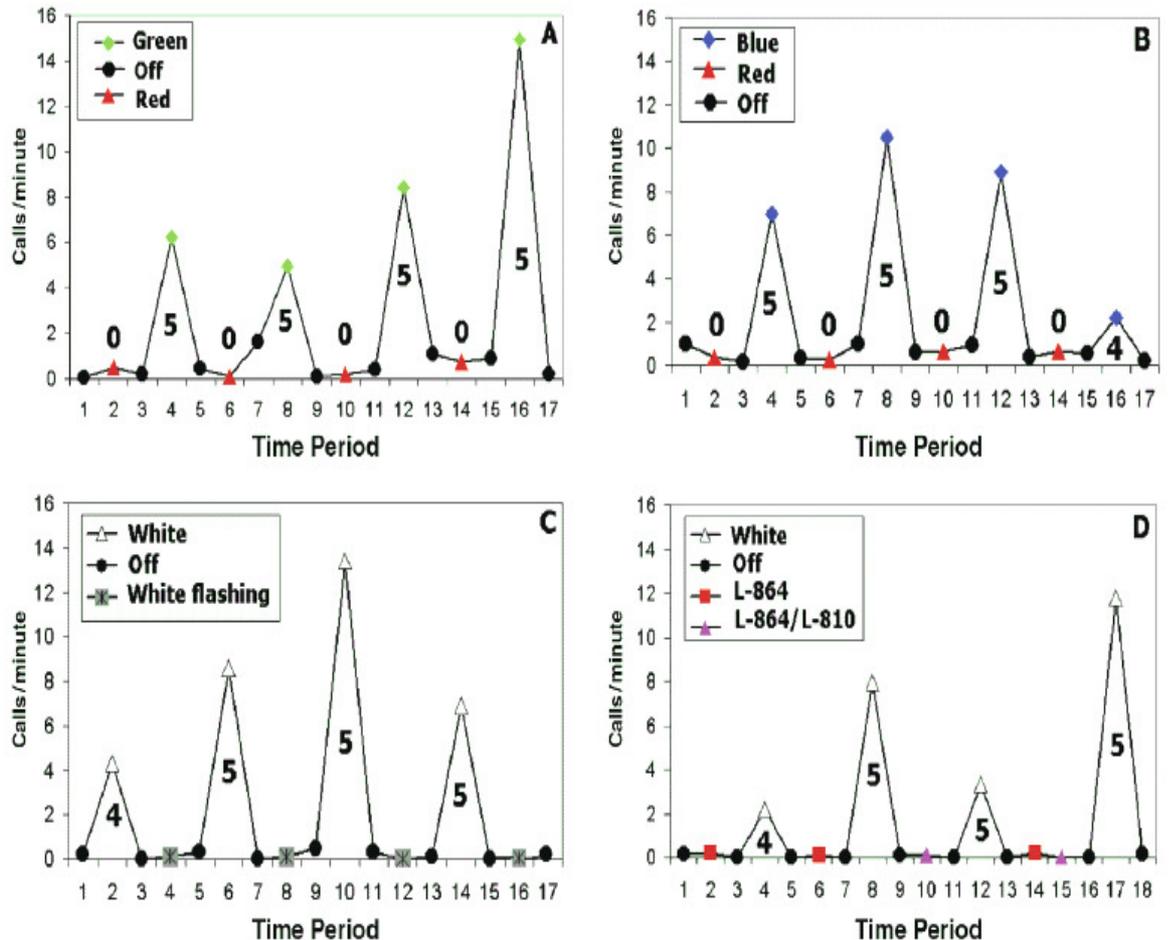


Abbildung 1: Akustisch erfasste Anzahl der Vögel, die sich in verschiedenartig beleuchteten Bereichen ansammeln. A) Vergleich rotes und grünes Licht; B) blaues und rotes Licht; D) weißes und rotes von der FAA empfohlenes rotes Blinklicht L-864 (1 s an; 0,8 s aus) und L-864 plus rotes, von der FAA empfohlenes rotes Dauerlicht L-810; C) weißes / weiß blinkendes Licht (0,2 s an; 2,3 s aus). Die Zahlen geben maximale Zahlen zeitgleich visuell erfasster Vögel wider (aus Evans et al. 2007).

### Lichtart

Unter den verwendeten Leuchtmitteln sind Quecksilberdampflampen offenbar als besonders kritisch einzustufen (Hussel 1969, Hatch 2001, Kerlinger & Hatch 2001, Kerlinger & Curry 2002, Jones & Francis 2003). Diese Lampen emittieren Licht verschiedener Wellenlängen im sichtbaren, aber auch im UV-Bereich ([http://de.wikipedia.org/wiki/](http://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilber) Quecksilber-

dampflampe). Richard Veit (pers. Mitt.) berichtet, dass Quecksilberdampflampen in antarktischen Gewässern vor allem Sturmvögel in großer Zahl anziehen. Ähnliche Beobachtungen zur Wirkung von Quecksilberdampflampen an anderen Orten bzw. an Wolkenhöhencheinwerfern machten Howell & Tanner (1951), Laskey (1951) und Leband (1951).

Auch Natriumdampflampen werden für Kollisionen verantwortlich gemacht. Kerlinger & Kerns (2004) ermittelten in einer Nebelnacht erhöhte Opferzahlen an teilweise mit FAA-Beleuchtung ausgestatteten WEA, die nahe einer mit Natriumdampflampen beleuchteten Umspannungsstation standen, gegenüber ebenfalls mit FAA-Beleuchtung versehenen, aber von Natriumdampflampen unbeeinflussten WEA. Leider geht aus dieser Arbeit nicht hervor, ob es sich um Hoch- oder Niederdrucklampen handelt. Niederdrucklampen emittieren monochromatisch gelbes Licht und gelten als umweltfreundlich, weil sie Energie sparen und keine Insekten anlocken, Hochdrucklampen dagegen emittieren ein breiteres Spektrum (<http://de.wikipedia.org/wiki/Natriumdampflampe>).

Der USFWS (2000) empfiehlt die Verwendung von weißem Stroboskoplicht für die Flugsicherheitsbeleuchtung. Diese Empfehlung wurde in einer großen Anzahl von Studien übernommen (z.B. Winkelman 1995, Kerlinger & Hatch 2001, Kingsley & Whittam 2001, Tingley 2003, Urogetz 2001, American Bird Conservancy 2005, Kahlert et al. 2005). Sie basiert allerdings auf einer einzigen Untersuchung von Gauthreaux & Belser (2006). Gauthreaux & Belser (2006) beobachteten mit einem Restlichtverstärker, dass Vögel an einem mit weißem Stroboskoplicht (40 bis 46 Pulse/Minute) beleuchtetem Turm zwar signifikant häufiger nicht-lineare Flugbewegungen zeigten als Vögel über einem unbebauten Kontrollgebiet, sich ihre Anzahl in den beiden Gebieten aber nicht unterschied. Das Licht beeinflusste also das Flugverhalten der Vögel, zog sie aber offenbar nicht an.

Verschiedene Autoren erwogen den Einsatz von weißem Stroboskoplicht auch zur gezielten Warnung von Vögeln vor WEA oder anderen Strukturen ohne dadurch gleichfalls eine Attraktionswirkung auszulösen (Stenman 1990, Winkelman 1995, PNAWPPM-II 1998). Inwieweit die Möglichkeit zur Erzielung positiver Synergien durch Flugsicherheitsbeleuchtung im Sinne gleichzeitiger Warnung der Vögel besteht, ist weitergehend zu prüfen. So belegt Evans (1998) eine Massenkollision von 5.000 bis 10.000 Spornammern an einem Sendemast von ca. 130 m Höhe im Januar 1998, der mit weißem Stroboskoplicht ausgestattet war. In diesem Zusammenhang erscheint auch der Befund von Maehr et al. (1983a) relevant. Sie stellten für einen 183 m hohen, mit weißem Stroboskoplicht ausgestatteten Industrieschornstein 95 % der Gesamtopfer fest, während ein 152 m hoher mit rotem Blinklicht ausgestatteter Schornstein im selben Gebiet nur 5 % der Opfer verursachte. Neben dem Höhenunterschied wurden etwaige Beleuchtungsunterschiede der Umgebung sowie ein rot-weißer Anstrich (Querbänder) des kleineren Schornsteins diskutiert. Ein additiver Einfluss der Umgebungsbeleuch-

tung zur höheren Kollisionsrate des mit Stroboskoplicht beleuchteten Turms konnte im Nachhinein allerdings wahrscheinlich gemacht werden (Maehr & Smith 1988).

Aus dem bisherigen Kenntnisstand ziehen Avatar Environmental et al. (2004) und Kerlinger (2005) das Fazit, dass die Ableitung einer Verwendungspflicht für weißes Stroboskoplicht als Flugsicherheitsbeleuchtung im Sinne der Empfehlung des USFWS (2000) bzw. nach Gauthreaux & Belser (2006) derzeit nicht hinreichend begründet ist; es besteht weiterer Forschungsbedarf (Erickson et al. 2004).

### **Lichtführung an WEA und Vogelmortalität**

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Einflüsse von Licht und anderen Faktoren auf das Kollisionsrisiko soll der entsprechende Kontext für Windenergieanlagen vergleichend dargestellt werden. Vorauszuschicken ist, dass sich der Kenntnisstand zu nächtlichen Kollisionen auf Untersuchungen an Land beschränkt. Für bestehende Offshore-Windparks liegen zwar nach Radaruntersuchungen abgeleitete Risikoanalysen für Gänse und Enten vor (Desholm & Kahlert 2005), direkte Messungen nächtlicher Kollisionen fehlen wegen methodischer Probleme aber noch. Untersuchungen zu Beleuchtungsrisiken der Anlagen fanden ebenfalls noch nicht statt (Percival 2001). Das Kollisionsrisiko im Offshore-Bereich und die mögliche Lichtattraktion der Anlagen mit Beleuchtungspflicht stellen die wesentlichste Kenntnislücke zur Risikoabschätzung dar (Erickson et al. 2001, Kerlinger & Curry 2002, Hüppop et al. 2006).

Generell liegen über die Begleitumstände von Kollisionen mit WEA hinsichtlich des Beleuchtungs- und Wetteraspektes auch für das Binnenland nur wenige Daten vor. Dies ist im Falle des Wetters methodisch begründet, der Beleuchtungsfaktor wurde hingegen erst wenig untersucht: Studien zu Kollisionen mit WEA bzw. entsprechende Opfersuchen erfolgten zwar in der Regel nach systematischeren Ansätzen als in vielen der zuvor beschriebenen Studien zu Kollisionen an anderen beleuchteten Strukturen, die Frequenz regelmäßiger Kontrollen war aber geringer (z.B. Erickson et al. 2000, 2003, Thelander & Rugge 2000, Young et al. 2003 b). Genaue Todeszeitpunkte und assoziierte Wetterbedingungen lassen sich dann oftmals nicht bestimmen.

Die Kenntnisse aus Untersuchungen mit häufigeren Kontrollen (Winkelman 1989, 1992 a, 1992 b, 1995, Osborn et al. 2000, Kerlinger & Kerns 2003, Young et al. 2003 b) sowie Befunde aus weiteren Untersuchungen (Erickson et al. 2000, Johnson et al. 2002) bestätigen aber die Resultate von anderen Vertikalstrukturen. Die meisten Opfer wurden nach Nächten mit ungünstigen Flug- und Sichtbedingungen, wie starken (Gegen-)Winden, Regen, Nebel/ Diesigkeit und Dunkelheit gefunden, wenige dagegen nach guten Flug- und Sichtbedingungen, d.h. schwache (Rücken-)Winde und klarer Himmel mit Mondlicht. Im küstennahen niederländischen Windpark Urk (25 WEA) wurden beispiels-

weise nach 13 Herbstnächten mit guten Flug- und Sichtbedingungen keine Opfer, nach acht Nächten mit guten Flugbedingungen, aber schlechter Sicht im Mittel 0,63 und nach fünf Nächten mit schlechten Flugbedingungen und schlechter Sicht 1,00 Opfer pro Nacht festgestellt (Winkelman 1989).

„Massenkollisionen“ mit mehr als 50 Individuen oder auch Tausenden von Singvögeln in einer Nacht traten bisher weder an unbeleuchteten, noch an beleuchteten Windenergieanlagen auf (Winkelman 1992a, Kerlinger 2000, NWCC 2004, Witte & van Lieshout 2005). Die durchschnittliche Kollisionsrate modernerer (meist unbeleuchteter) Anlagen beträgt für Nordamerika (Kalifornien nicht mit eingeschlossen) unter Berücksichtigung von Sucheffizienz und Prädatoren-/Aasfressereinfluss ca. 2,3 Vögel/WEA und Jahr bzw. ca. 3,1 Vögel pro MW und Jahr erzeugter Windenergie (NWCC 2004). Die Umrechnung auf MW ist sinnvoll, um bei Kollisionsraten den Einfluss unterschiedlicher Anlagengrößen auszugleichen bzw. sie in Relation zur erzeugten Energie zu betrachten (z.B. Hunt 2002).

Die amerikanischen Durchschnittswerte sind nicht direkt mit europäischen vergleichbar, wo insbesondere an Küsten und Meerengen (z.B. Tarifa und weitere Umgebung) höhere Kollisionsraten auftreten können (Winkelman 1995, Barrios & Rodriguez 2004). Nach den von Witte & van Lieshout (2005) ausgewerteten europäischen Studien, die Sucheffizienz und Aasfressereinfluss berücksichtigen, schwankte die kalkulierte Opferzahl für europäische Küstenstandorte zwischen 1,34 und 58 Vögeln pro Turbine und Jahr, für das Binnenland zwischen  $< 0,45$  und bis zu 64,26 Vögeln pro Jahr. Everaert et al. (2002) kalkulieren für verschiedene Anlagen und Standorte einer Küstenregion in Belgien (Oostdam) Schwankungen zwischen 0 und 125 Vögeln pro WEA und Jahr.

Alle vorausgegangenen Angaben beziehen sich auf relativ kleine zu meist unbeleuchtete Anlagen älteren Typs. Akershoek et al. (2005) bzw. Krijgsfeld et al. (2005) untersuchten drei niederländische Windparks (zwei nahe der Küste, einer weiter im Binnenland) mit modernen 1,65 MW Anlagen mit ca. 110 m Gesamthöhe (66 m Rotordurchmesser). Mit im Mittel ca. 28 Opfern pro Jahr und Turbine, wobei sich zwischen den Windparks keine signifikanten Unterschiede ergaben, war die Kollisionsrate ähnlich der, die sich nach Frühjahrszahlen von Winkelman (1995) für Oosterbierum (0,09 Opfer / Tag und Turbine) hochrechnen lässt. Außerdem waren die hier betrachteten modernen Anlagen mit Flugsicherheitsbeleuchtung ausgestattet. Zu deren isolierter Bedeutung liegen erst wenige Befunde bzw. vergleichende Untersuchungen vor:

Johnson et al. (2002) kalkulieren für drei unterschiedliche Anlagentypen (Anlagengröße und Beleuchtung) Variationen zwischen ca. 1 und 4,5 Vögeln pro Turbine und Jahr, wobei höhere Werte auf den neuesten Windparkteil mit ausschließlich beleuchteten Anlagen entfielen. Die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Die weltweit höchste Opferzahl

nach einem einzelnen Kollisionsereignis wurde mit 43 Vögeln von Karlsson (1983) für eine stillstehende Windenergieanlage in Schweden beobachtet, die aber auf ca. 10 m Höhe mit einer konstant leuchtenden Lampe ausgestattet war. In der Kollisionsnacht herrschte schlechte Sicht mit Nebel. Außerdem wurden von Johnson et al. (2002; „Buffalo Ridge“, Minnesota) 14 Singvogelopfer nach einer Mainacht mit Gewittersturm an zwei benachbarten WEA belegt, von denen eine unbeleuchtet und eine beleuchtet (offenbar rotes Dauerlicht Honeywell L-810) war. Die Studie zeigt darüber hinaus einen (nicht signifikant) erhöhten Anteil von Opfern im Bereich beleuchteter WEA. Eine weitere „Massenkollision“ von 27 nachts ziehenden Singvögeln wurde für eine Frühjahrsnacht, in der wahrscheinlich Nebel herrschte, von Kerlinger & Kerns (2004) beschrieben. Diese wurde an einer Dreiergruppe von WEA - teilweise mit Signalbeleuchtung (rotes Blinklicht: Honeywell L-864) – im „Mountaineer“ Windprojekt, West Virginia, festgestellt, wo sich allerdings auch eine mit einer Natriumdampflampe beleuchtete Umspannstation befand, die als Ursache vermutet wurde. Erickson et al. (2004) finden nach vergleichenden Untersuchungen zwischen 2001 und 2003 im „Stateline“ Windprojekt, Washington und Oregon, wo 140 der 454 Anlagen mit Honeywell L-865 medium intensity red / white dual lighting, (tagsüber weißes Stroboskoplicht (40 Blitze / Min.), nachts und bei Tagesnebel rotes Blinklicht (20-40 Blitze / Min.), beleuchtet sind, keine signifikant, wohl aber eine tendenziell erhöhte Kollisionsrate gegenüber unbeleuchteten Anlagen ( $p > 0,1$ ). Im „Nine Canyon Windenergieproject“, mit höheren Anlagen als in der zuvor genannten Studie (ca. 91 m gegenüber 74 m), zeichnet sich nach Erickson et al. (2003) eine noch deutlichere Tendenz, aber ebenfalls keine signifikant erhöhte Opferzahl ( $p > 0,1$ ) für beleuchtete Anlagen ab. Johnson et al. (2003 b) wiederum fanden an neun beleuchteten von insgesamt 16 Anlagen im „Klondike“ Windpark, Oregon (Sherman County), nur eines von acht Opfern. Allerdings wurden dort nur 13 Kontrollen in ca. einmonatigem Abstand durchgeführt. Bei allen Untersuchungen muss bedacht werden, dass widrige Wetterbedingungen mit gleichfalls intensivem Zug, die zu Massenkollisionen führen, vergleichsweise selten auftreten. Die unter Berücksichtigung von Sucheffizienz und Prädatoren-/Aasfressereinfluss als Jahresdurchschnitt höchste kalkulierte Opferzahl beleuchteter Turbinen (in Nordamerika) wird mit 6 bis 8 ziehenden Singvögeln pro Turbine und Jahr für drei 88 m hohe Anlagen mit Stroboskopblitzlicht festgestellt (Kerlinger 2005; „Buffalo Mountain“, East Tennessee). Zumindest einzelne Kollisionen an mit „starkem“ Stroboskoplicht ausgestatteten WEA beschreibt auch Byrne (1983) für zwei Anlagen bei Cordelia (USA). Es wird allerdings keine Angabe zur Farbe und Frequenz des Blitzlichtes gemacht. Vergleichbare Untersuchungen zum Einfluss beleuchteter Anlagen liegen für den europäischen Raum nicht vor.

Kerlinger & Kerns (2003), ESS Group et al. (2004) sowie Kerlinger (2004) schließen, dass von Flugsicherheitsbeleuchtung an WEA in der beschriebenen Form (rotes Blinklicht) keine Attraktion mit besonderem Kollisionsrisiko, wie es für Funktürme beschrieben wurde, ausgeht. Dafür erscheinen drei Faktoren besonders relevant:

1. Die Gesamthöhe der untersuchten Anlagen betrug weniger als 100 m, die der primär untersuchten Fernsehtürme  $\geq 120$  bis 150 m (Kerlinger & Kerns 2003, Urogetz 2001). Es gibt aber eine Kenntnislücke zum Einfluss kleinerer Fernsehtürme und Sendemasten (Urogetz 2001).

2. Moderne WEA verfügen nicht über Abspannseile, die für einen großen Anteil der Kollisionen an Fernsehtürmen bei Lichtattraktion verantwortlich sind, wobei entsprechende Kollisionen auch unter derart stabilisierten meteorologischen Messtürmen in Windparks festgestellt wurden (z.B. Winkelmann 1995, Kerlinger 2000, Erickson et al. 2003, Johnson et al. 2003 b, Young et al. , 2003 b). Young et al. (2003 b) stellten für solche Messtürme drei- bis vierfach erhöhte Kollisionsraten im Vergleich zu den WEA der Umgebung fest.

3. Nach den Empfehlungen der FAA werden WEA nicht mit konstanten Lichtquellen ausgestattet, sondern mit Blinklicht (20 bis 40 Blitze / Min.). In der konstanten Beleuchtung von Funk- und anderen Türmen wird der Hauptgrund für ihre anziehenden Wirkung auf Vögel und für „Massenkollisionen“ gesehen (Kerlinger & Kerns 2003, Kerlinger 2004). Diese Annahme wird z.B. durch Befunde von Baldwin (1965), Avery et al. (1976) und Evans et al. (2007) sowie durch Ergebnisse eigener Laboruntersuchungen (Hill 2005) gestützt.

Um bei Verwendung unterbrochenen roten LED-Lichtes potenzielle Effekte möglichst zu minimieren, empfehlen Curry & Kerlinger (2004) mit 20 Lichtsignalen pro Minute die nach FAA-Kriterien geringst mögliche Frequenz bzw. die längstmögliche Dunkelphase.

Die bisherigen Befunde beziehen sich ausschließlich auf mögliche Effekte der Flugsicherheitsbeleuchtung von WEA. Offshore-WEA müssen darüber hinaus über Lichter zur Gewährleistung der Schiffssicherheit verfügen. In vorausgegangenen Studien zur Risikoabschätzung zu Offshore-WEA wurde dieser Faktor oft vernachlässigt. Bisher gibt es wenig Vorstellungen darüber, wie sich die zusätzliche Beleuchtung der WEA für den Schiffsverkehr, d.h. konstante Schaftbeleuchtung und unterbrochenes Blink- (Ubr) bzw. „Blitzlicht“ (Blz) im äußeren Bereich von Windparks, zusätzlich zur Flugsicherheitsbeleuchtung auswirken könnte. Die Bedeutung möglichst langer, zwischen den Einzelanlagen synchronisierter Dunkelphasen und möglichst kurzer Lichtphasen ist aber auch hier zu unterstreichen. Konstante Anstrahlleuchten sind wahrscheinlich besonders kritisch. Ein drastisches Beispiel für die Ausmaße einer großen hell erleuchteten Fläche, wie sie Anstrahlleuchten hervorrufen können, sind die hohen Flammen an Bohrinseln, von denen Vögel angelockt werden und sich zu Tausenden im hell erleuchteten Bereich sammeln (Bourne 1979, Hope-Jones 1980, Montevecchi 2006).

Viele von ihnen kommen durch Kollisionen oder die Hitze zu Tode. Eine Maßnahme, die eine Lichtattraktion durch helle Lampen vermindern kann, zeigen Reed et al. (1985). Sie konnten die Zahl der von den Lichtern eines Hotelkomplexes angelockten jungen Seevögel auf Hawaii um bis zu mehr als 50% reduzieren, indem sie die Lampen nach oben abschirmten. Bedenklich ist auch das Zusammenwirken verschiedener Lichtquellen/Lichterführungen, das größere Reichweiten bedeuten könnte.

## 2.2 Fledermäuse

### Kollisionen

Ältere Arbeiten machen deutlich, dass Fledermäuse mit hohen beleuchteten Strukturen wie Leucht- (Saunders 1930 a) und Funktürmen (Van Gelder 1956, Taylor & Anderson 1973, Crawford & Baker 1981) kollidieren können. Die angegebenen Zahlen der Kollisionsopfer sind jedoch deutlich geringer als die der Zugvögel, was vorwiegend daran liegt, dass keine Massenkollisionen festgestellt wurden. Saunders (1930 a) berichtet z.B., dass unter 600 Vögeln, die nach einer Zugnacht tot am Leuchtturm Long Point gefunden wurden, drei Rote Fledermäuse (*Lasiurus borealis*) waren. Die von Van Gelder (1956) in zwei Nächten an einem Fernsehturm bei Topeka, Kansas, gefundenen fünf Tiere stehen mehr als 1000 toten Vögeln gegenüber. Während von 1955 bis 1984 rund 44.000 tote Vögel am WCTV Fernsehturm in Nord-Florida gefunden wurden (Crawford & Engstrom 2001), lag die Zahl der dort gefundenen Fledermäuse von 1955 bis 1980 bei lediglich 54 (Crawford & Baker 1981).

Ergebnisse spezieller Untersuchungen zum Fledermausschlag an WEA zeigen jedoch ein anderes Bild. Fledermäuse kommen vorwiegend an den Rotorblättern selbst und in dahinter entstehenden Unterdruckfeldern zu Tode (Dürr & Bach 2004, Arnett et al. 2005). An einigen Windparks in den USA und in Deutschland liegen die Mortalitätsraten von Fledermäusen deutlich über denen von Vögeln. Kerns & Kerlinger (2004) berichten, dass zwischen April und November 2003 69 Vogel- (nach Sucheffizienz und Aasfresserabtrag geschätzt 4,04/WEA) und 475 Fledermausopfer (47,53/WEA) an den 44 WEA des Mountaineer Wind Energy Centre gefunden wurden. Fiedler (2004) errechnet für die Jahre 2000 bis 2003 eine ebenfalls hohe durchschnittliche Mortalität von 20,8 pro WEA und Jahr für die Buffalo Mountain Windfarm in Tennessee. Im Jahr 2005 lag die ermittelte jährliche Mortalität im selben Windpark sogar bei über 60 Fledermäusen pro WEA, für die Vögel bei 1,8 (Fiedler et al. 2007). Young et al. (2003 b) dagegen berichten von 79 toten Fledermäusen und 122 toten Vögeln in einem Untersuchungszeitraum von drei Jahren am Foote Creek Rim Power Project. Die durchschnittliche jährliche Mortalitätsrate in den USA wird auf 3,4/WEA

und Jahr geschätzt (NWCC 2004). In Deutschland fanden Brinkmann et al. (2006) an 16 (2004) bzw. 8 (2005) repräsentativ ausgewählten WEA im Regierungsbezirk Freiburg innerhalb von zwei Jahren 9 tote Vögel und 50 Fledermäuse. Die große Variabilität der Mortalitätsraten resultiert unter anderem aus den unterschiedlichen Landschaftsformen, in denen sich die WEA befinden. So liegen die oben aufgezeigten Windparks mit den höchsten Mortalitätsraten auf bewaldeten Bergkuppen. In strukturarmen Gebieten ist die Fledermaus-Mortalität dagegen gering (Dürr & Bach 2004). Zwischen dem Abstand einer WEA zu Gehölzstrukturen und der Zahl der an ihr kollidierten Fledermäuse besteht ein signifikanter Zusammenhang, je näher sich eine Anlage an Struktur gebenden Gehölzen befindet, desto mehr Fledermäuse werden dort tot gefunden (Dürr & Bach 2004, Johnson et al. 2004, Brinkmann et al. 2006, Dürr 2007). Dieser Zusammenhang gilt insbesondere für Arten, die entlang von Gehölzstrukturen wie beispielsweise Waldrändern jagen (Dürr & Bach 2004, Dürr 2007).

Kollisionen von Fledermäusen mit hohen Strukturen finden zum ganz überwiegenden Teil im Spätsommer und Herbst statt, wenn die Tiere ihre Wochenstuben verlassen (z.B. Bach & Rahmel 2004, Dürr & Bach 2004, Johnson 2005 zitiert in Kunz et al. 2007b). So fanden Johnson et al. (2003) 97 % der Kollisionsoffer zwischen Mitte Juli und Mitte September. Brinkmann et al. (2006) fanden ebenfalls fast alle kollidierten Tiere zwischen Ende Juli und Anfang September. Allein die generell höhere Aktivität der Fledermäuse ist offensichtlich ein Faktor, der die Kollisionszahlen ansteigen lässt (z.B. Fiedler 2004, Jain 2005). Einige Autoren berichten, dass unter den kollidierten Fledermäusen vorwiegend adulte Tiere gefunden wurden, so dass die hohe Kollisionszahl nicht aus dem Hinzukommen der Jungtiere resultiert (Crawford & Baker 1981, Fiedler 2004, Johnson et al. 2004, Arnett et al. 2005). Die Arten, die in den USA am häufigsten als Kollisionsoffer gefunden werden, nämlich Weißgraue (*Lasiurus cinereus*), Rote (*Lasiurus borealis*) und Silberhaar-Fledermaus (*Lasionycteris noctivagans*), werden als „migratory tree species“ zusammengefasst, ziehende Arten also, die in Bäumen rasten. Die Zeiten der höchsten Mortalitätsraten fallen in die Zugzeiten dieser Arten, und oft ist das Artenspektrum der kollidierten Tiere anders als das der lokalen Bestände. Dem Fledermauszug wird daher eine große Bedeutung für die Kollisionen beigemessen (z.B. Kerns & Kerlinger 2004, Cryan & Brown 2007). Es sind aber auch nicht-ziehende Arten in Kollisionen involviert (Ahlén 2002, 2003, Ahlén et al. 2007, Dürr 2007).

Im Gegensatz zu Zugvögeln und deren Kollisionen an hohen Gebäuden sind ziehende Fledermäuse weitestgehend unerforscht, und die Gründe von Fledermausschlag sind unklar (z.B. Bach & Rahmel 2004, Cryan & Brown 2007, Kunz et al. 2007a und b). Dennoch werden in der Literatur mögliche Ursachen behandelt, die neben den Wetterumständen die Bedeutung der Rotorbewegung und mögliche Attraktionswir-

kungen durch WEA umfassen. Dabei wird auch die Bedeutung der Beleuchtung diskutiert. Am besten untersucht ist der Einfluss von Licht auf im Schein von Straßenlaternen jagende Fledermäuse. In erster Linie schnell fliegende Arten wie Rote, Weißgraue und Große Braune Fledermaus (*Eptesicus fuscus*) in den USA sowie Großer Abendsegler, Zweifarbflodermaus, Nordflodermaus und Zwergflodermaus (*Nyctalus noctula*, *Vespertilio murinus*, *Eptesicus nilssoni* und *Pipistrellus pipistrellus*) in Europa, die sonst in relativ offenen Gebieten nach Nahrung suchen, jagen bevorzugt Insekten, die sich an künstlichen Lichtquellen ansammeln (Rydell 1992, 2006). Die genannten Arten machen auch den größten Anteil der an WEA kollidierten Fledermäuse aus (z.B. Ahlén 2002, 2003, Dürr & Bach 2004, Brinkmann et al. 2006, Kunz et al. 2007b). Im Folgenden werden daher zunächst die Orientierungsmechanismen von Fledermäusen und die Ergebnisse aus Untersuchungen über den Einfluss von Straßenlaternen vorgestellt. Anschließend werden die Gründe für Fledermausschlag generell und an WEA speziell dargelegt.

### **Orientierungsmechanismen**

Es ist lange bekannt, dass Fledermäuse sich mit Hilfe von Echo-Ortung orientieren (Holland et al. 2006). Diese funktioniert jedoch wegen der schnellen Abschwächung hoher Frequenzen durch die Luft wahrscheinlich nur bis zu einer Distanz von etwa 10 m (Fenton 2004 zitiert in Kunz et al. 2007b), bei größeren/lauteren Arten bis 21 m (Holderied et al. 2005) Childs & Buchler (1981) vermuten daher, dass ihr Einsatz über größere Distanzen zu energieaufwändig und daher ungeeignet zur Orientierung über längere Flugwege ist. Speakman & Racey (1991) fanden aber keinen erhöhten Energieverbrauch durch Echo-Ortung. Es ist noch unklar, ob Fledermäuse beim Flug über weite Strecken tatsächlich keine Echo-Ortung betreiben (Kunz et al. 2007b).

Eine große Bedeutung für die Langstrecken-Orientierung wird der visuellen Orientierung beigemessen. So testeten Buchler & Childs (1982) in den USA das Flugverhalten von Großen Braunen Fledermäusen unterschiedlicher Kolonien im Planetarium und fanden heraus, dass die Tiere ihre Startrichtungen in einer kolonie-spezifischen Relation zum Sonnenuntergangspunkt wählten. Childs & Buchler (1981) vermuteten ferner, dass Fledermäuse sich am Sternenhimmel orientieren, nachdem sie beobachtet hatten, dass drei Große Braune Fledermäuse Lichtpunkte erkannten, deren Intensität etwa so stark waren wie die der hellsten Sterne. Bei der gleichen Art entdeckten Holland et al. (2006), dass deren Flugrichtung sich durch ein künstlich gedrehtes Magnetfeld ändern ließ. Einige Tiere bemerkten ihren Irrtum und korrigierten im Laufe der Nacht ihre Richtung, so dass sie in ihr Quartier zurückkehrten. Die Autoren schließen daraus, dass Fledermäuse wie die Vögel einen Magnetkompass, den sie am Sonnenuntergangspunkt kalibrieren, sowie eine „innere Landkarte“ besitzen.

Ob und inwiefern künstliches Licht einen Einfluss auf die Orientierung von Fledermäusen ausüben kann, ist unbekannt.

### **Einfluss von Licht**

Die Arbeiten zum Einfluss von Licht auf Fledermäuse behandeln vorwiegend deren Jagdverhalten im Bereich von Straßenlaternen (z.B. Rydell 2006). Insekten werden von den Lampen angezogen (Eisenbeis & Hassel 2000), aggregieren sich dort und locken insektivore Fledermäuse an (Schmiedel 2001). Der Lichttyp wirkt sich unmittelbar auf die Insektendichte an einer Lampe und infolgedessen auf die Zahl der dort jagenden Fledermäuse aus (z.B. Blake et al. 1994). Generell zieht ultra-violettes Licht verstärkt Insekten an (z.B. Eisenbeis & Hassel 2000), entsprechend ist auch die Fledermaus-Aktivität an UV-Licht emittierenden Quecksilberdampflampen (Wellenlänge 400 bis 700 nm) signifikant höher als an monochromatischen Natriumdampflampen (575 nm) (Rydell 1992, 2006, Blake et al. 1994, Eisenbeis & Hassel 2000). In den USA wurden Rote Fledermäuse verstärkt in Insekten-Lichtfallen gefunden, die „Schwarzlicht“ (schwaches UV-Licht (320 bis 400 nm), <http://de.wikipedia.org/wiki/Ultraviolett-strahlung>) enthielten (Wilson 1965). In diesem Zusammenhang soll die Arbeit von Young et al. (2003a) erwähnt werden, aus der hervorgeht, dass 61 von 74 Fledermauskollisionen (82 %) an WEA stattfanden, die mit 60 % UV-Strahlung reflektierendem Anstrich versehen worden waren. Dieser Effekt war nicht signifikant, mag aber einen Hinweis darauf geben, dass auch Fledermäuse sensitiv im UV-Bereich sind bzw. auf ihren Nahrungsflügen davon angezogen werden.

In Arbeiten zum Fledermausschlag sind kaum Informationen über den Einfluss der Beleuchtung zu finden. Crawford & Baker (1981) vermuten, dass das rote Licht an einem Funkturm durch eine Attraktion von Insekten zur Aggregation und damit zu Kollisionen von Fledermäusen geführt hat. Dies folgern sie aus der Beobachtung von im Bereich des Turmes jagenden Tieren. Saunders (1930 a) beobachtete Fledermäuse, die in den frühen Abendstunden am Leuchtturm Long Point, an dem zu anderer Tageszeit Fledermausschlag stattfindet, umherfliegen, spezifiziert aber weder die Umstände noch diskutiert er einen möglichen Einfluss des Lichtes. Cryan & Brown (2007) dagegen berichten, dass immer wieder bis zu 30 Fledermäuse im Schein eines Leuchtturmstrahles beobachtet wurden und vermuten eine Reaktion auf Lichtreize und eine Lichtattraktion bei schlechter Sicht durch das helle Licht. Diese Studie ist die einzige, die von einer unmittelbaren Lichtattraktion ausgeht, und gleichzeitig diejenige, die ausschließlich von ziehenden Tieren ausgehen kann, da sie auf Daten von Southeast Farallon Island, 32 km vor der kalifornischen Küste gelegen, basiert.

Künstliche Lichtquellen wirken sich also offensichtlich vor allem mittelbar auf Fledermäuse aus. Nur eine Arbeit geht von einer direkten An-

ziehung durch einen starken Leuchtturmstrahl auf einer Insel aus. Der Anteil von kurzwelligem UV-Licht ist wahrscheinlich der wesentliche Faktor, der für die Ansammlung von Insekten und infolgedessen auch von Fledermäusen verantwortlich ist.

## **Gründe für Kollisionen**

### **Wetterbedingungen**

Die Aussagen über den Einfluss der Wetterbedingungen, die zu Fledermausschlag führen, sind zum Teil widersprüchlich. Verstärkte Fledermaus-Aktivität mit daraus resultierenden hohen Kollisionszahlen wird vor allem in warmen, trockenen Nächten und bei geringen Windstärken ( $< 6$  m/s) beobachtet (Fiedler 2004, Kerns & Kerlinger 2004, Arnett et al. 2005, Brinkmann et al. 2006). Auch das Auftreten ziehender Fledermäuse auf Southeast Farallon Island ist an geringe Windgeschwindigkeiten gebunden (Cryan & Brown 2007). Ahlén et al. (2007) beobachteten ebenfalls die höchste Aktivität an Offshore-WEA jagender Fledermäuse bei ruhigem Wetter und geringen Windstärken, wenn die Insektenaktivität besonders hoch war. Brinkmann et al. (2006) stellten hingegen Fledermaus-Flugaktivität bis zu einer Windgeschwindigkeit von 10,9 m/s fest. Die Aktivität in Abhängigkeit der Windstärke richtet sich allerdings nach den vorkommenden Arten, z.B. ist der Große Abendsegler eine robuste Art und daher am „windtolerantesten“ (z.B. Ahlén et al. 2007, Dürr 2007).

Neben Windstärke und Temperatur werden diejenigen kollisionsfördernden Faktoren diskutiert, die auch zu Massenkollisionen von Zugvögeln führen. So vermutet Saunders (1930 a), dass Wetterumstände wie Nebel und Regen auch zu Fledermauskollisionen führen. Crawford & Baker (1981) stellten dagegen nur 12 % der Kollisionen von Fledermäusen an einem Fernsehturm nach Massenkollisionsnächten von Zugvögeln fest. Ferner fanden sie tote Fledermäuse sowohl bei Bewölkung als auch bei klarem Himmel, wobei 58 % der Fledermauskollisionen in Nächten mit einer Wolkenbedeckung von über 40 % und 21 % bei klarem Himmel stattfanden. Johnson et al. (2004) fanden etwa 54 % der kollidierten Fledermäuse nach bewölkten Nächten. Kerns & Kerlinger (2004) berichten zwar, dass 64 % der Fledermaus-Kadaver nach vermutlich nebligem Wetter gefunden wurden, konnten jedoch keinen signifikanten Einfluss von Windstärke, Windrichtung, Temperatur und Niederschlag/Nebel auf die Fledermaus-Mortalität nachweisen. Arnett et al. (2005) berichten von einem tendenziell erhöhten Kollisionsrisiko nach Sturmfronten. Diese können zu einer thermalen Inversion führen, die mit Abkühlung und Nebelbildung in Tälern und warmer Luft auf den Bergkuppen einhergeht. Folgen Insekten und Fledermäuse der warmen Luft, geraten sie in den Einflussbereich der dort stehenden WEA (Dürr & Bach 2004).

Zum Einfluss des Wetters auf das Kollisionsrisiko von Fledermäusen kann nach Auswertung der Literatur keine gesicherte Aussage gemacht werden. Sowohl die Zahl systematischer Untersuchungen als auch die Menge der insgesamt zum Fledermausschlag publizierten Literatur ist klein. Es ist jedoch die Tendenz erkennbar, dass Kollisionen verstärkt bei warmem, windstillem Wetter auftreten, wenn die Aktivität der Tiere besonders hoch ist. Schlechte Sichtbedingungen durch starke Bewölkung, Nieselregen und Nebel können offenbar das Kollisionsrisiko erhöhen.

### **Bewegung der Rotorblätter**

Die Auswertung der Literatur ergibt, dass Fledermäuse offensichtlich ausschließlich mit den WEA selbst, im Gegensatz zu Vögeln aber nicht mit den meteorologischen Messtürmen kollidieren, die zusätzlich in den US-amerikanischen Windparks stehen (z.B. Kerns & Kerlinger 2004, Arnett et al. 2005, Jain 2005). Diese Türme sind ähnlich hoch wie die WEA und werden durch Abspannseile stabilisiert, welche das Kollisionsrisiko sogar erhöhen könnten, wie es bei Zugvögeln seit langem beobachtet wird (s.o.). Zwei Gründe werden daher für die Kollisionen an den WEA diskutiert: Fledermäuse könnten Schwierigkeiten haben, die sich bewegenden Rotorblätter zu erkennen bzw. deren Geschwindigkeit einzuschätzen, oder sie zu spät wahrnehmen, um ihnen ausweichen zu können (Johnson et al. 2004, Arnett et al. 2005, Kunz et al. 2007a und b). Dürr & Bach (2004) halten es ferner für möglich, dass die Tiere ein Rotorblatt wahrnehmen, das nachfolgende jedoch nicht, von dem sie infolgedessen getroffen werden. Für diese Annahme spricht, dass Arnett et al. (2005) Kollisionen ausschließlich an WEA mit drehenden Rotoren beobachteten.

### **Attraktion durch WEA**

Alternativ könnte eine Attraktion von den WEA ausgehen. Bei schwachen Winden fliegen Insekten auch in großer Höhe, bleiben dort an sich langsam drehenden Rotorblättern haften (Dürr & Bach 2004) und könnten Fledermäuse anlocken. Tatsächlich beobachtete Ahlén (2002, 2003) im Spätsommer regelmäßig Nordfledermäuse, die verstärkt im Bereich der Nabe und der Rotoren Insekten jagten, die sich dort angesammelt hatten. Er vermutet die dortige Wärmeabstrahlung in kühlen Nächten als Ursache. Für eine Anlockung von Fledermäusen durch Insekten spricht auch die positive Korrelation zwischen Insekten- und Fledermausaktivität in einem Windpark (Arnett et al. 2005). Sowohl Ahlén (2002, 2003) und Ahlén et al. (2007) als auch Arnett et al. (2005) beobachteten mit Hilfe von Infrarotkameras, dass Fledermäuse die Rotoren inspizierten, im Bereich der Rotoren jagten und sogar auf sich langsam drehenden Rotorblättern landeten. Die „Untersuchung“ von Rotoren durch Fledermäuse könnte auch der Suche nach einer Rastmöglichkeit dienen (z.B. Arnett et al. 2005, Kunz et al. 2007b), was

durch die Beobachtungen von Ahlén et al. (2007) an Offshore-WEA bestätigt wird.

### **Lichterführung von WEA und Fledermaus-Kollisionen**

Generell wird es für möglich gehalten, dass Insekten von der Beleuchtung an WEA angelockt werden und in der Folge Fledermäuse anziehen (z.B. Brinkmann et al. 2006). Bislang konnte jedoch keine unmittelbare Lichtattraktion von Fledermäusen durch WEA nachgewiesen werden, in wenigen Fällen war die Kollisionszahl an beleuchteten WEA sogar geringer (nicht signifikant) als an unbeleuchteten (z.B. Erickson et al. 2003, 2004, Johnson et al. 2003, Kerns & Kerlinger 2004, Arnett et al. 2005, Jain 2005, Fiedler et al. 2007, Jain et al. 2007). Johnson et al. (2004) stellten zwar eine leicht erhöhte Fledermaus-Aktivität an mit rotem Blinklicht befeuerten (3,12 Tiere/WEA und Nacht) gegenüber unbeleuchteten (1,68 Tiere/WEA und Nacht) Anlagen fest, konnten aber keinen Unterschied in der Anzahl kollidierter Fledermäuse nachweisen. Kerns & Kerlinger (2004) fanden im Mittel 12,9 tote Fledermäuse pro mit rotem Blinklicht beleuchteter und 10 pro unbeleuchteter WEA (der Unterschied ist nicht signifikant). Die neblige Mai-Nacht, in der an einer mit einer Natriumdampflampe beleuchteten Umspannstation und den umstehenden WEA 33 Vögel zu Tode kamen, forderte nur ein Fledermausopfer. Arnett et al. (2005) bzw. Horn et al. (2008) wiesen zwar eine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl von Insekten und der Aktivität von Fledermäusen nach (s.o.), konnten aber ebenfalls keinen Unterschied in der Anzahl von Fledermäusen an beleuchteten und unbeleuchteten WEA beobachten, obwohl die Insektenaktivität an beleuchteten Anlagen etwas, aber nicht signifikant größer war als an unbeleuchteten. Die Autoren halten eine Lichtattraktion von Insekten für möglich, die sich aber nicht auf die Fledermäuse auswirkt. Sie weisen ferner auf die geringe Stichprobengröße hin (n=10). Jain (2005) fand weder eine größere Aktivität noch erhöhte Kollisionsraten an rot beleuchteten Anlagen. Er stellte außerdem keinen Unterschied zwischen mit rotem Dauerlicht und rotem Blinklicht befeuerten Anlagen fest. Dürr (2007) erwähnt jedoch eine Studie, in der zwar keine erhöhte Kollisionsgefahr an beleuchteten gegenüber unbeleuchteten WEA beobachtet wurde, sich aber zeigte, dass an mit Stroboskoplicht beleuchteten Anlagen fünfmal mehr Fledermäuse kollidierten als an Anlagen mit gedimmter Befuerung (Bengsch 2006, zitiert in Dürr 2007). Genauere Hinweise auf die Beleuchtung der Anlagen werden nicht gegeben.

Wie dargelegt ist das Wissen um Fledermauskollisionen an WEA und die damit verbundenen Faktoren, einschließlich der Befuerung, gering. Abgesehen von Bengsch (2006, zitiert in Dürr 2007) stammen alle Arbeiten, die den Einfluss der Befuerung von WEA auf Fledermäuse untersuchen, aus den USA. Die Beleuchtung von WEA mit rotem Blink-(L-864) oder Dauerlicht (L-810) gemäß den FAA-Vorschriften hatten danach keinen Einfluss auf das Kollisionsrisiko von Fledermäusen. Mit

einer Lichtattraktion ist daher auch in Deutschland nicht zu rechnen, wenn die WEA mit Feuer W, rot beleuchtet werden. Die Tendenz, dass Stroboskoplicht zu höheren Fledermausverlusten führt, macht jedoch deutlich, dass die Taktung der Befeuerung von Bedeutung sein kann. Möglicherweise verwirren die Blitzlichter Fledermäuse, indem sie deren Orientierung stören.

Hinsichtlich einer möglichst verträglichen Lichtqualität kann hier noch keine Empfehlung gegeben werden. Soweit keine genaueren Erkenntnisse vorliegen ist es sinnvoll, sich an den US-amerikanischen Vorgaben zu orientieren, d.h. das Feuer W, rot im Sinne der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen einzusetzen. Zusätzlich sollte in Zeiten und an Orten mit starkem Fledermauszug bei geringen Windstärken eine Abschaltung der Anlagen in Erwägung gezogen werden. Dabei sollten die Rotoren festgestellt werden, da im Trudelzustand das Kollisionsrisiko für Fledermäuse hoch bleibt.

### **3 Empfehlungen und Forschungsbedarf**

Folgende grundsätzliche Empfehlungen für eine vogel- und fledermausfreundliche Befeuerung von WEA können nach der vorliegenden Auswertung gegeben werden:

- Lichtintensitäten sollten im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben möglichst gering gewählt werden und zwar sowohl bei der Flugsicherheitsbeleuchtung als auch bei der Schiffssicherheitsbeleuchtung im Falle der Offshore-Windparks. Eine Reduktion der Lichtintensität bei guten Sichtbedingungen, wie es im Falle des Feuers W, rot vorgesehen ist, ist sinnvoll. Allerdings tritt das Phänomen der Lichtattraktion von Zugvögeln gerade bei schlechter Sicht auf, so dass unter solchen Bedingungen ebenfalls eine größtmögliche Reduktion wünschenswert ist.
- Auf Schaftbeleuchtung, die für Offshore-WEA durch die Richtlinie für die Gestaltung, Kennzeichnung und Betrieb von Offshore-Windparks zur Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs vorgesehen ist, sollte wenn irgend möglich unbedingt verzichtet werden, da große hell erleuchtete Flächen Vögel besonders anziehen. Wo dies nicht möglich ist, muss die Abstrahlung nach oben minimiert werden
- Unterbrochene Lichterführung ist einer konstanten vorzuziehen. Dabei sollten die Blinkfrequenzen so gewählt werden, dass die Hellphase möglichst kurz, die Dunkelphase möglichst lang ist. Das Feuer W, rot ist daher dem konstant leuchtenden Hindernisfeuer vorzuziehen. Falls möglich, könnten die Lichtsignale des Feuers W, rot noch verkürzt werden. Eine Synchronisierung des Blinkregimes unter allen WEA eines Windparks ist empfehlenswert. Für den Schiffsverkehr erscheint gelbes Blitzlicht (Blz) von höchstens 1 s

Dauer mit mindestens 3 s Pause gegenüber der unterbrochenen Lichtabfolge (Ubr) wegen der längeren Dunkelphase und kürzeren Hellzeit vorteilhaft. Eine Synchronisierung der Blinkfrequenzen von Flug- und Schiffssicherheitsbeleuchtung für Offshore-WEA wäre wünschenswert.

- Die alternativ mögliche Blattspitzenbefeuerng erscheint aufgrund der längeren Lichtphase nachteilig, in Hinblick auf die wesentlich schwächere erforderliche Lichtintensität jedoch vorteilhaft. Somit besteht hierzu weiterer Forschungsbedarf.
- Die für mehr als 150 m hohe Onshore-Anlagen durch die AVV zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen vom 28.4.2007 derzeit zusätzlich vorgeschriebenen roten Flugsicherheitsfeuer am Turm sollten wegen der hohen Attraktionswirkung von Dauerlicht durch rotes Blinklicht mit möglichst kurzer Hellphase ersetzt werden.
- Hinsichtlich der Lichtfarbe kann keine eindeutige Empfehlung gegeben werden, da – wie dargestellt – in der Literatur widersprüchliche Ergebnisse über diesen Parameter erzielt wurden. Generell kann derzeit nicht davon ausgegangen werden, dass von roter Beleuchtung eine besondere Attraktion auf Vögel oder Fledermäuse ausgeht.
- Bei massivem Vogelzug mit kollisionsfördernden Wetter- bzw. Sichtbedingungen sollte die Beleuchtung (Blinkregime, Lichtintensität) unter Berücksichtigung der sicherheitstechnischen Erwägungen soweit wie möglich reduziert werden. Nach Möglichkeit kommt auch eine temporäre Ausschaltung der Beleuchtung und Anlagen in Betracht.
- Bei auftretender starker Fledermaus-Aktivität bei geringen, aber für den Anlagenbetrieb überschwelligem Windstärken sollten die Rotorblätter angehalten und festgestellt werden.
- Von einer Beeinträchtigung der Fledermäuse durch die bestehende Flug- und Schiffssicherheitsbeleuchtung ist derzeit nicht auszugehen. Die Beleuchtung sollte jedoch so gestaltet werden, dass sie keine Insekten anlockt, d.h. sie sollte nach aktuellem Kenntnisstand kein oder zumindest wenig UV-Licht enthalten.
- Eine Beleuchtung, die sich erst bei Annäherung eines Flugzeuges oder Schiffs unter Verwendung eines Transponders automatisch anschaltet, wäre aus Sicht des Vogel- und Fledermausschutzes besonders wünschenswert.

Der Forschungsbedarf zur Beleuchtung von WEA umfasst folgende Fragen:

- Bis zu welcher Entfernung lösen die Lichtquellen eine Attraktionswirkung auf Vögel aus bzw. stören eventuell ihr Orientierungsvermögen?
- Welche Bedeutung hat die Lichtfarbe bei verschiedenen (Wetter-) Umständen?

- Wie unterscheiden sich weißes, rotes oder andersfarbiges Licht bei identischem Lichtintervall und identischer Wiederkehrrate in ihrer Attraktionswirkung?
- Treten durch das Zusammenwirken der Einzellichtreize von WEA und Windparks großräumigere Attraktionswirkungen auf?

## 4.2 Untersuchungskonzept: Erarbeitung Maßnahmenkatalog

### 1. Methoden

#### Zielfolgeradar „Superfledermaus“

Das Zielfolgeradar der Schweizerischen Vogelwarte Sempach besitzt eine Parabolantenne, die eine sehr stark gebündelte Radarkeule erzeugt (2°, s. Abb. 2). Einmal erfasste Echos von Kleinvögel können bis zu 4-5 km verfolgt werden (große Vögel bis zu 20 km). Aus den sekundengenauen Daten wird ein dreidimensionales Flugbild erstellt, aus dem Höhen- und Richtungsänderungen bei der Annäherung an beleuchtete WEA hervorgehen. Über das Flügelschlagmuster (s. Abbildung, Schlagmuster mit Pausen = Singvögel; ohne Pausen durchgehend schlagend = Wasser- und Watvögel) und die Schlagfrequenz (kleiner Vogel = hohe Schlagfrequenz, großer Vogel = geringe Schlagfrequenz) können Artengruppen eingegrenzt werden, so dass auch art-spezifische Unterschiede in den Reaktionen untersucht werden können. Da vor allem auch tief fliegende Vögel verfolgt werden sollen, muss ein sog. MTI (Moving Target Indicator) aktiviert werden, der unbewegliche Objekte herausfiltert.

#### Kamerasystem (VARS – Visual Automatic Recording System)

In unmittelbarer Nähe einer WEA kann das Radar sein Ziel wegen Störechos durch die WEA nicht weiterverfolgen. Deshalb soll ergänzend zum Radar ein vom IfAÖ in Kooperation mit der HaSoTec GmbH Rostock entwickeltes automatisiertes Kamerasystem eingesetzt werden. Durch die Kombination von Kamera, IR-Zusatzbeleuchtung und Bewegungsanalyse-Software ist das System in der Lage, nachts Kleinvögel bis 50 m Entfernung automatisch zu erfassen. Das System wird derzeit erfolgreich auf der Forschungsplattform FINO II in der Ostsee eingesetzt. Die Kamera wird auf der Gondel (oder am Fuß des Turms, je nach Anlage und Befestigungsmöglichkeiten) montiert und deckt somit die Reichweite des Rotors ab (bei Montage auf Gondel; Testbetrieb derzeit auf der ersten Offshore-Testanlage im Breitling, Rostock, s. Abbildung). Auf diese Weise kann das Verhalten der Vögel in unmittelbarer Nähe der Lichtquelle aufgezeichnet werden.

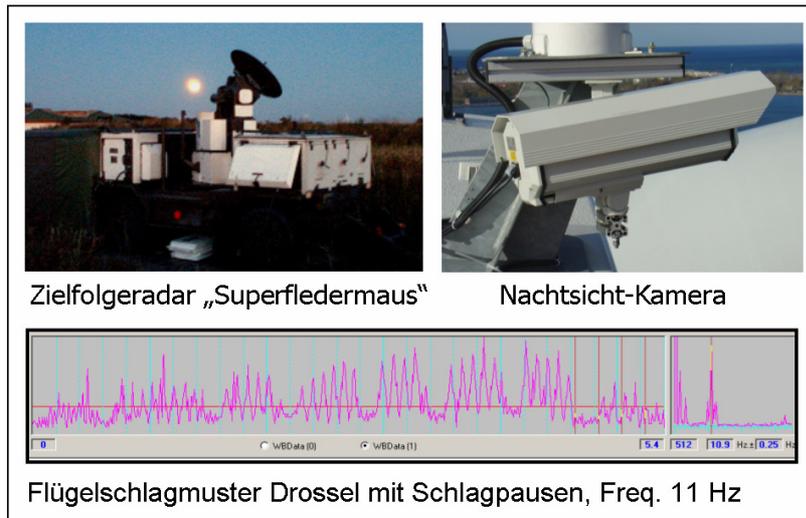


Abbildung 2

### Untersuchungsort

An den Untersuchungsort müssen bestimmte Anforderungen gestellt werden: 1. ein hohes Zugaufkommen und ein großes Artenspektrum wäre am ehesten an einem küstennahen Standort gegeben, 2. die Umgebung sollte wenig Standzeichen und Bodenreflexionen für möglichst störungsfreie Messungen aufweisen, 3. in der Umgebung des Parks sollten keine/wenige weitere Lichtquellen vorhanden sein, da sonst der Einfluss der WEA-Beleuchtung schwer zu beurteilen ist, 4. die logistischen Voraussetzungen für den Radareinsatz müssen gegeben sein (Sicherheitsabstand zu zugänglichen Bereichen; genügend Abstand zu Bebauungen; Stromversorgung), 5. Parkgröße: Idealerweise wären Reaktionen auf Änderungen der Befeuerng zu untersuchen, was vermutlich nur an einem kleinen Park bzw. einer Reihe von WEA (5-10 WEA) zu realisieren wäre. Die Standortsuche wäre somit eine wichtige und anspruchsvolle Aufgabe, von der letztlich das Gelingen des Vorhabens in hohem Maße abhängt.

### Zeitpunkt und Messdauer

Aufgrund des höheren Zugaufkommens wäre generell der Herbstzug geeigneter. Je nach Standort könnten die logistischen Voraussetzungen aber auch eine Messkampagne während des Frühjahrszuges erfordern. Die Messdauer stellt einen Kompromiss dar zwischen Datengewinn und Projektkosten. Da der Vogelzug nicht kontinuierlich verläuft, sondern Phasen mit geringem oder mäßigem Vogelzug mit wenigen Massenzugereignissen wechseln, sollten mindestens vier Wochen gemessen werden (Mitte September bis Mitte Oktober ist der Zuggipfel bei vielen Arten). Dies erhöht auch die Wahrscheinlichkeit, dass bei verschiedenen Wettersituationen gemessen werden kann (z.B. geringe

Sichtweiten, Nebel, Starkwind). Bei Regen sind mit dem Radar allerdings keine Messungen möglich (nur zwischen Regenschauern), während die Kamera auch bei Niederschlag noch Vögel erkennt.

## Mess-Konzept

### Radar

Für die Beurteilung des Verhaltens der Vögel ist es erforderlich, Referenzmessungen ohne Lichteinfluss durchzuführen. Hierfür gäbe es 3 Möglichkeiten: 1. Messungen mit zwei Radargeräten an weit entfernten Orten (hierfür wären jedoch zwei Radargeräte erforderlich, was sich nicht realisieren lässt), 2. zeitweise Abschalten der Befeuerung, 3. Messungen in entgegengesetzte Richtungen (s. Abb. 3).

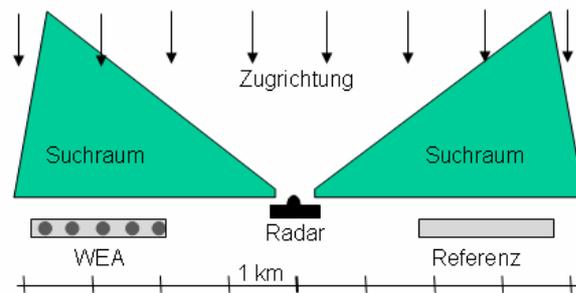


Abbildung 3: Skizze für möglichen Aufbau der Messungen

Der Bereich der WEA und die Referenzfläche wären dabei ca. 4-8 km voneinander entfernt. In den Suchräumen werden Vogeleos systematisch aufgespürt und so lange verfolgt, bis sie den Bereich der WEA erreichen. Sofern es mit dem Betreiber vereinbart werden kann und technisch umsetzbar ist, sind nach einem auszuarbeitenden Schema Blinkfrequenz und Beleuchtungsstärke zu variieren. Die Echosuuche geschieht in zeitlichen Intervallen alternierend in den Suchräumen vor den WEAs bzw. der Referenzfläche.

Hierbei werden gezielt Vögel in verschiedenen Höhenschichten und Entfernungen zum Park aufgesucht und verfolgt. Zwischendurch werden im sog. Fixed-Beam-Mode (fest stehende Radarantenne) Zugraten in verschiedenen Höhenschichten bestimmt.

### Kamera

Das Kamerasystem läuft über einen Zeitraum von vier Wochen wartungsfrei, ein Bewegungserkennungs-Programm startet die Aufzeichnung nur dann, wenn ein Vogel sich durch den überwachten Raum bewegt. Der Vergleich der Aktivität direkt an den Windrädern mit den Zugraten in größeren Höhen lässt neben der direkten Verfolgung von Vögeln ebenfalls einen Rückschluss auf Attraktionswirkungen zu.

## **Kooperationspartner**

Die **Schweizerische Vogelwarte Sempach** sowie das **Softwarebüro Steuri** (Schweiz) gehören zu den weltweit führenden Radarexperten, mit denen das IfAÖ in den letzten Jahren erfolgreich zusammenarbeitete. Das Hard- und Software Unternehmen **HaSoTec GmbH**, Rostock, ist langjähriger Partner des IfAÖ bei der Entwicklung von Kameras zur Erfassung von Vogelbewegungen.

#### **Literatur zu Kapitel 4 (“Naturschutz, Zugvögel, Fledermäuse“)**

ABLE KP, ABLE MA (1996): The flexible migratory orientation system of the Savannah Sparrow (*Passerculus sandwichensis*). *The Journal of Experimental Biology* 199: 3–8.

ABLE KP, GAUTHREAUX SA JR (1975): Quantification of nocturnal passerine migration with a portable ceilometer. *The Condor* 77: 92-96.

ABLE KP (1977): The orientation of passerine nocturnal migrants following offshore drift. *The Auk* 94: 320-330.

ABT KF, SCHULTZ G (1995): Auswirkungen der Lichtemissionen einer Großgewächshausanlage auf den nächtlichen Vogelzug. *Corax* 16: 17-29.

ADAMS DA (1962): Nocturnal migrant mortality in the Carolinas, September 1962. *Chat* 26: 83-88.

AHLÉN I (2002): Fladdermöss och fåglar dödade av vinkraftverk. *Fauna och Flora* 97: 14-21.

AHLÉN I (2003): Wind turbines and bats – a pilot study. Final report 11 December 2003. To Swedish National Energy Administration. Ekilstuna, Sweden. Dnr. 5210P-2002-00473, P-nr. P20272-1.

AHLÉN I, BACH L, BAAGØE HJ, PETERSSON J (2007): Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. *Vindval Report* 5571, July 2007. Swedish Environmental Protection Agency. <http://www.batcon.org/wind/bibpdf/Ahlen%202007,%20Offshore%20Bats%20in%20Scandinavia.pdf>

AKERSHOEK K, DIJK F, SCHENK F (2005): Aanvaringsrisico's van vogels met moderne, grote windturbines. Studentenverslag van slachtofferonderzoek in drie windparken in Nederland. Studentenrapport Van Hall/WUR. Rapport 05-082. Bureau Waardenburg, Culemborg.

ALDRICH JW, GRABER RR, MUNRO DA, WALLACE GJ, WEST GC, CAHALANE VH (1966): Report of committee on bird protection: Report on ceilometers and towers. *The Auk* 83: 565-567.

AMADON D (1966): Confused nocturnal behavior of (? California) Gulls. *The Condor* 68: 397-398.

AMERICAN BIRD CONSERVANCY (2005): American Bird Conservancy Wind Energy Policy. [http://www.abcbirds.org/abcprograms/policy/wind/wind\\_policy.html](http://www.abcbirds.org/abcprograms/policy/wind/wind_policy.html)

ARNETT EB, ERICKSON WP, KERNS J, HORN J (2005): Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of Fatality Search Protocols, Patterns of Fatality, and Behavioral Interactions

with Wind Turbines. A Final Report Prepared for the Bats and Wind Energy Cooperative, June 2005.  
<http://www.batcon.org/wind/BWEC2004finalreport.pdf>

AVATAR ENVIRONMENTAL, LCC, EDM INTERNATIONAL, INC., PANDION SYSTEMS, INC. (2004): Notice of Inquiry Comment Review Avian / Communication Tower Collisions Final. Prepared for Federal Communication Commission. September 30, 2004.

AVERY ML, SPRINGER PF, CASSEL JF (1976): The effects of a tall tower on nocturnal bird migration – a portable ceilometer study. *The Auk* 93: 281-291.

AVERY ML, SPRINGER PF, DAILEY NS (1980): Avian mortality at man-made structures: an annotated bibliography. U.S. Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-80/54.

BACH L, RAHMEL U (2004): Überblick zu Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse – eine Konfliktabschätzung. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 7: 245-252.

BAGG AM (1971): The changing seasons. *American Birds* 25: 16-24.

BALLASUS H (2007): Vogeltod an Leuchttürmen: Welche Relevanz haben 100 Jahre alte Daten für die aktuelle Offshore-Forschung? *Vogelwarte* 45: 307-308.

BAMBERG JB, WARRINER R, TODD HO, MONK HC (1935): Nocturnal migration in stormy weather. *Migrant* 6: 77-80.

BARRINGTON RM (1900): Migration of birds. Fassaroe, Bray. Co. Wicklow, July 1900.

BARRIOS L, RODRIGUEZ A (2004): Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at onshore wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 41: 72-81.

BELLROSE FC (1971): The distribution of nocturnal migrants in the air space. *The Auk* 88: 397-424.

BLACK A (2005): Light induced seabird mortality on vessels operating in the Southern Ocean: incidents and mitigation measures. *Antarctic science* 17: 67-68.

BLAKE D, HUTSON AM, RACEY PA, RYDELL J, SPEAKMAN JR (1994): Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology, London* 234: 453-462.

BOURNE WRP (1979): Birds and gas flares. *Marine Pollution Bulletin* 10: 124-125.

BREWER R, ELLIS JA (1958): An analysis of migrating birds killed at a television tower in east-central Illinois, September 1955 - May 1957. *The Auk* 75: 400-414.

BRINKMANN R, SCHAUER-WEISSHAHN H, BONTADINA F (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Auftraggeber: Regierungspräsidium Freiburg – Referat 56 Naturschutz und Landschaftspflege. [www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf](http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf)

BROWN IL, MEHWALDT LR (1968): Behaviour of sparrows of the genus *Zonotrichia*, in orientation cages during the lunar cycle. *Zeitschrift für Tierpsychologie* 25: 668-700.

BRUDERER B, LIECHTI F, STEURI T (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-Band radar and a bright light beam. *Journal of Experimental Biology* 202: 1015-1022.

BUCHLER ER, CHILDS SB (1982): Use of the post-sunset glow as an orientation cue by Big Brown Bats (*Eptesicus fuscus*). *Journal of Mammology* 63: 243-247.

BUCKHURST GC, PEARSON DJ (1977): Ethiopian region birds attracted to lights of Ngulia Safari Lodge, Kenya. *Scopus* 1: 98-103.

BUREAU WAARDENBURG (1999): Falls of migrant birds - An analysis of current knowledge. Report prepared for the Directoraat-Generaal Rijksluchtvaartdienst, Postbus 90771, 2509 LT Den Haag, Programmadiirectie Ontwikkeling Nationale Luchthaven, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

BYRNE S (1983): Bird movements and collision mortality at a large horizontal axis wind turbine. *Cal-Neva Wildlife Transactions*: 76-83.

CARTER JH, III, PARNELL JF (1978): TV tower kills in eastern North Carolina: 1973 through 1977. *Chat* 42: 67-70.

CASEMENT MB (1974): Landbirds recorded at sea. *The Sea Swallow* 23: 43-69.

CASEMENT MB (1988): Landbirds from ships at sea. *The Sea Swallow* 37: 29-42.

CHILDS SB, BUCHLER ER (1981): Perception of simulated stars by *Eptesicus fuscus* (Vespertilionidae): A potential navigational mechanism. *Animal Behaviour* 29: 1028-1035.

CHILMAN PWG (1979): A voyage in the Caribbean and Gulf of Mexico, April, 1977. *The Sea Swallow* 28: 11-14.

CLARK AC, BELL CE, MORRIS SR (2005): Comparison of daily avian mortality characteristics at two television towers in Western New York, 1970-1999. *The Wilson Bulletin* 117: 35-43.

COCHRAN WW, MOURITSEN H, WIKELSKI M (2004): Migrating songbirds recalibrate their magnetic compass daily from twilight cues. *Science* 304: 405-408.

COCHRAN WW, GRABER RR (1958): Attraction of nocturnal migrants by lights on a television tower. *The Wilson Bulletin* 70: 378-380.

CRAWFORD RL (1976 a): Willow and Alder flycatcher records at a north Florida TV tower. *Florida Field Naturalist* 4: 1-4.

CRAWFORD (1976 b): Some old records of TV tower kills from southwest Georgia. *Oriole* 41: 45-51.

CRAWFORD RL (1981 a): Weather, migration and autumn bird kills at a North Florida TV Tower. *Wilson Bulletin* 93: 189-195.

CRAWFORD RL (1981 b): Bird kills at a lighted man-made structure: often on nights close to a full moon. *American Birds* 35: 913-914.

CRAWFORD RL, BAKER W (1981): Bats killed at a north Florida Television Tower: a 25-year record. *Journal of Mammalogy* 62: 651-652.

CRAWFORD RL, ENGSTROM RT (2001): Characteristics of avian mortality at a North Florida Television tower: a 29-year study. *Journal of Field Ornithology* 72: 380-388.

CRYAN PM, BROWN AC (2007): Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biological Conservation*: 1-11.

CURRY & KERLINGER, LCC, ESS GROUP, INC. (2004): Appendix 5.7-E - Spring/Fall 2002 avian radar studies for the Cape Wind Energy Project. Cape Wind Associates, 75 Arlington Street, Boston, Massachusetts.

CZESCHLIK D (1977): Der Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die Zugunruhe von Garten- und Mönchsgrasmücken (*Sylvia borin* und *S. atricapilla*). *Journal für Ornithologie* 118: 268-281.

DESHOLM M, KAHLERT J (2005): Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters* 1: 296-298.

DICK HM, DONALDSON W (1978): Fishing vessel endangered by Crested Auklet landings. *The Condor* 80: 235-236.

DIETZ C, VON HELVERSEN O, NILL D (2007): *Das Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas*. Franckh-Kosmos Verlags GmbH, Stuttgart

DIRKSEN S, SPAANS AL, VAN DER WINDEN J (2000): Studies on nocturnal flight paths and altitudes of waterbirds in relation to wind turbines: A review of current research in the Netherlands. Proc. of the National Avian-Wind Power planning Meeting III, San Diego, May 1998. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by LGL Ltd., King City, Ont: 97-109.

DÜRR T (2007): Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg. *Nyctalus (N.F.)* 12: 238-252.

DÜRR T, BACH L (2004): Fledermäuse als Schlagopfer an Windenergieanlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 7: 253-264.

EATON SW (1967): Recent tower kills in upstate New York. *Kingbird* 17: 142-147.

EISENBEIS G, HASSEL F (2000): Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen – eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens. *Natur und Landschaft* 75: 145-156.

ERICKSON WP, GRITSKI B, KRONNER K (2003): Nine Canyon Wind Power Project Avian and Bat Monitoring Report, September 2002 – August 2003. Technical report submitted to Energy Northwest and the Nine Canyon Technical Advisory Committee.

ERICKSON WP, JEFFREY J, KRONNER K, BAY K (2004): Stateline Wind Project Wildlife Monitoring Final Report, July 2001 – December 2003. Technical report peer-reviewed by and submitted to FPL Energy, the Oregon Energy Facility Siting Council, and the Stateline Technical Advisory Committee.

ERICKSON WP, JOHNSON GD, STRICKLAND MD, KRONNER K (2000): Avian and bat mortality associated with the Vansycle Wind Project, Umatilla County, Oregon, 1999 study year. Report prepared by Western Ecosystems Technology, Inc. for: Umatilla County Department of Resource Services and Development, Pendleton, Oregon.

ERICKSON WP, JOHNSON GD, STRICKLAND MD, YOUNG DP JR, SERNKA KJ, GOOD RE (2001): Avian Collisions with Wind Turbines: A summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States. National Wind Coordinating Committee (NWCC) Resource Document, c/o RESOLVE, Washington, DC.

ESS GROUP, INC., HATCH JJ, KERLINGER P, CURRY & KERLINGER, LCC (2004): Appendix 5.7-H - Evaluation of the Roseate Tern and Piping Plover for the Cape Wind Project Nantucket Sound. ESS Group, Inc, 90 Route 6A, Unit 4B, Sandwich, Massachusetts; ESS Project No. E159.

EVANS B (1998): Telecommunications towers affect avian community. [http://www.wave-guide.org/archives/waveguide\\_3/birdkill.html](http://www.wave-guide.org/archives/waveguide_3/birdkill.html).

EVANS WR, AKASHI Y, ALTMAN NS, MANVILLE AM II (2007): Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light. *North American Birds* 60: 476-488.

EVANS OGDEN LJ (1996): Collision course: The hazards of lighted structures and windows to migrating birds. A special report for World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program, September 1996. <http://www.flap.org/new/ccourse.pdf>

EVERAERT J, DEVOS K, KUIJKEN E (2002): Wind turbines and birds in Flanders. Rapport van het Instituut voor Natuurbehoud, R.2002.03 Brussels.

FIEDLER JK (2004): Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain Windfarm, Eastern Tennessee. A thesis presented for the Master of Science Degree, The University of Tennessee, Knoxville.

FIEDLER JK, HENRY TH, TANKERSLEY RD, NICHOLSON CP (2007): Results of bat and bird mortality monitoring at the expanded Buffalo Mountain Windfarm, 2005. Tennessee Valley Authority June 28, 2007

FRANCIS WJ (1967): Confused behavior of gulls in relation to weather conditions. *The Condor* 69: 609.

GAUTHREAUX (1969): A portable ceilometer technique for studying low-level nocturnal migration. *Bird-Banding* 40: 309-320.

GAUTHREAUX SA JR, BELSER C (2006): Effects of artificial night lighting on migrating birds. In: RICH C, LONGCORE T (eds): *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, Covelo, London: 67-93.

GRABER RR (1968): Nocturnal migration in Illinois: different points of view. *The Wilson Bulletin* 80: 36-71.

GRABER RR, COCHRAN WW (1960): Evaluation of an aural record of nocturnal migration. *The Wilson Bulletin* 82: 400-419.

HARRIS KP (1980): Fall of birds in fog. *The Sea Swallow* 29: 47.

HATCH DRM (1995): Fall migration: northern Great Plains region. *Audubon Field Notes* 20: 61-64.

HERBERT AD (1970): Spatial disorientation in birds. *The Wilson Bulletin* 72: 353-573.

HERNDON LR (1973): Bird kill on Holston Mountain. *Migrant* 44: 1-4.

HILL K (2005): Preventing nocturnally migrating birds from being attracted to artificial lighting: an experimental approach. Diplomarbeit Universität Lüneburg.

HOLDERIED MW, KORINE C, FENTON MB, PARSONS S, ROBSON S, JONES G (2005): Echolocation call intensity in the aerial hawking bat *Eptesicus bottae* (Vespertilionidae) studied using stereo videogrammetry. *Journal of Experimental Biology* 208:1321–1327.

HOLLAND RA, THORUP K, VONHOF MJ, COCHRAN WW, WIKELSKI M (2006): Bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature* 444: 702.

HOPE-JONES P (1980): The effect on birds of a North Sea gas flare. *British Birds* 73: 547-555.

HOWELL JC, TANNER JT (1951): An accident to migrating birds at the Knoxville airport. *Migrant* 22: 61-62.

HUNT G (2002): Golden Eagles in a perilous landscape: predicting the effects of mitigation for wind turbine blade-strike mortality. California Energy Commission, Consultant Report (P500-02-043F), prepared for PIER - Environmental Area.

HÜPPOP O, DIERSCHKE J, EXO M, FREDRICH E, HILL R (2005): AP1 Auswirkungen auf den Vogelzug. In: OREJAS C, JOSCHKO T, SCHRÖDER A, DIERSCHKE J, EXO M, FREDRICH E, HILL R, HÜPPOP O, POLLEHNE F, ZETTLER ML, BOCHERT R: Ökologische Begleitforschung zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nord- und Ostsee (BeoFINO) - Endbericht Juni 2005, Bremerhaven: 7-160.

HÜPPOP O, DIERSCHKE J, EXO M, FREDRICH E, HILL R (2006): Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis* 148: 90-109.

HUSSEL DJT (1969): Weight loss of birds during nocturnal migration. *The Auk* 86: 75-83.

JAIN AA (2005): Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa wind-farm. A thesis submitted to the graduate faculty in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Iowa State University. Ames, Iowa.

JAIN A, KERLINGER P, CURRY R, SLOBODNIK L (2007): Annual Report for the Maple Ridge Wind Power Project postconstruction bird and bat fatality study – 2006. May 31, 2007. Prepared for PPM Energy and Horizon Energy and Technical Advisory Committee (TAC) for the Maple Ridge Project Study.

JAMES P (1956): Destruction of warblers on Padre Island, Texas, in May, 1951. *The Wilson Bulletin* 68: 24-227.

JOHNSTON DW (1955): Mass bird mortality in Georgia, October 1954. *Oriole* 20: 17-26.

JOHNSON GD, ERICKSON WP, STRICKLAND MD, SHEPERD DA, SARAPPO SA (2002): Collision mortality of local and migrant birds at a large-scale wind-

power development on Buffalo Ridge, Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* 30: 879-887.

JOHNSON GD, ERICKSON WP, STRICKLAND MD, SHEPERD MF, SHEPERD DA, SARAPPO SA (2003): Mortality of bats at a large-scale windpower development at Buffalo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist* 150: 332-342.

JOHNSON G, ERICKSON W, WHITE J, MCKINNEY R (2003b): Avian and bat mortality during the first year of operation at the Klondike Phase I Wind Project, Sherman County, Oregon. Draft prepared for: Northwestern Wind Power, Goldendale, Washington.

JOHNSON GD, PERLIK MK, ERICKSON WP, STRICKLAND MD (2004): Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* 32: 1278-1288.

JOHNSTON DW, HAINES TP (1957): Analysis of mass bird mortality in October, 1954. *The Auk* 74: 447-458.

JONES J, FRANCIS CM (2003): The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses. *Journal of Avian Biology* 34: 328–333.

KAHLERT J, HÜPPOP K, HÜPPOP O (2005): Construction of a fixed link across Fehmarnbelt: preliminary risk assessment on birds. National Environmental Research Institute (NERI), Ministry of the Environment.

KALE H II (1971): The spring migration: Florida region. *American Birds* 25: 723-725, 730-735.

KARLSSON J (1983): Birds and windpower. Technical Report NeperVind-83per17, Projectnumber: 5061 432 Faglestudie Lund Univ., Ecologihuset 223-62, Lund.

KERLINGER P, CURRY R (2002): Desktop avian risk assessment for The Long Island Power Authority Offshore Wind Energy Project. Prepared for: AWS Scientific, Inc. and Long Island Power Authority.

KERLINGER P (2004): Wind turbines and avian risk: Lessons from communications towers. Pp. 72-75. Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts. Washington D.C., May 18-19, 2004. Prepared by RESOLVE, Inc., Washington D.C., Susan Savitt Schwartz (ed.): 74-77.

KERLINGER P (2005): Attraction of night migrating birds to FAA and other types of lights. POWIWD-V: Proceedings of the Onshore Wildlife Interactions with Wind Developments: Research Meeting V. Lansdowne, VA November 3-4, 2004. Prepared for the Wildlife Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE, Inc., Washington, DC, Susan Savitt Schwartz, ed. 120 pp: 62-64.

KERLINGER P, HATCH J (2001): Preliminary avian risk assessment for the Cape Wind Energy Project. Prepared for: Cape Wind Associates, L.L.C. and Environmental Science Services, Inc.

KERLINGER P, KERNS J (2003): FAA Lighting of wind turbines and bird collisions. Paper presented at the NWCC Wildlife Workgroup Meeting, November 17-18, 2003.

KERNS J, KERLINGER P (2004): A study of bird and bat collision fatalities at the Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia: Annual Report for 2003. February 14, 2004. Prepared for FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee. Prepared by Curry & Kerlinger, LCC.

KINGSLEY A, WHITTAM B (2001): Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island. A report for the Prince Edward Island Energy Corporation, 13 December 2001.

KRIJGSVELD KL, AKERSHOEK K, SCHENK F, DIJK F, DIRKSEN S (2005): Collision of birds with modern large wind turbines: reduced risk compared to smaller turbines. draft version July 2005, Bureau Waardenburg, Box 365, 4100 AJ Culemborg, Netherlands. Rapport Nr. 05-082.

KUMLIEN L (1888): Observation of bird migration at Milwaukee. *The Auk* 5: 325-328.

KUNZ TH, ARNETT EB, COOPER BM, ERICKSON WP, LARKIN RP, MABEE T, MORRISON ML, STRICKLAND MD, SZEWCZAK JM (2007a): Assessing impacts of wind-energy development on nocturnally active birds and bats: A guidance document. *Journal of Wildlife Management* 71: 2449–2486.

KUNZ TH, ARNETT EB, ERICKSON WP, HOAR AR, JOHNSON GD, LARKIN RP, STRICKLAND MD, THRESHER RW, TUTTLE MD (2007b): Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 315-324.

LARKIN RO (2000): Investigating the behavioral mechanisms of tower kills. Transcripts of Proceedings of the Workshop on Avian Mortality at Communication Towers, August 11, 1999, Cornell University, Ithaca, NY. Evans WR, Manville AM II (eds.). <<http://migratorybirds.fws.gov/issues/towers/agenda.html>.

LARKIN, RO, FRASE BA (1988): Circular paths of birds flying near a broadcasting tower in cloud. *Journal of Comparative Psychology* 102: 90-93.

LASKEY AR (1964): Data from the Nashville TV tower casualties, autumn 1964. *Migrant* 35: 95-96.

LASKEY AR (1951): Another disaster to migrating birds at the Nashville airport. *Migrant* 22: 57-60.

LEBAND KA (1951): An accident to birds at the ceilometer near Smyrna. *Migrant* 22: 63.

LEWIS HF (1927): Destruction of birds by lighthouses in the provinces of Ontario and Quebec. *Canadian Field Naturalist* 41: 55-58.

LGL (1972): An examination of the bird impact problem at the Nanticoke Plant of the Ontario Hydro Electric System phase II: Autumn 1972. Consultant Report, December.

MARSDEN JE, WILLIAMS TC, KRAUTHAMER V, KRAUTHAMER H (1980): Effect of nuclear power plant lights on migrants. *Journal of Field Ornithology* 51: 315-318.

MAEHR DS, SPRATT AG, VOIGTS DK (1983): Bird casualties at a central Florida power plant. *Florida Field Naturalist* 11: 45-68.

MAEHR DS, SMITH JQ (1988): Bird casualties at a central Florida power plant: 1982-1986. *Florida Field Naturalist* 16: 57-64.

MONTEVECCHI WA (2006): Influences of artificial light on marine birds. In: RICH C, LONGCORE T (eds): *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, Covelo, London: 94-113.

MÖRZER BRUYNS (1939): Waarnemingen op het lichtschip "Terschellingerbank" in October 1937. *Ardea* 28: 27-39.

MOORE FR (1985): Integration of environmental stimuli in the migratory orientation of the Savannah Sparrow (*Passerculus sandwichensis*). *Animal Behavior* 33: 657-663.

MOSMAN D (1975): Bird casualties at Alleman, Ia., TV tower. *Iowa Bird Life* 45: 88-90.

MÜLLER, HH (1981): Vogelschlag in einer starken Zugnacht auf der Offshore-Forschungsplattform "Nordsee" im Oktober 1979. *Seevögel* 2: 33-37.

MUHEIM R, JENNI L (1999): Nocturnal orientation in robins, *Erithacus rubecula*: Birds caught during migration flight are disoriented. *Acta ethologica* 2: 43-50.

MUHEIM R, BÄCKMAN J, ÅKESSON S (2002): Magnetic compass orientation in European robins is dependent on both wavelength and intensity of light. *The Journal of Experimental Biology* 205: 3845–3856.

NATIONAL WIND COORDINATING COMMITTEE (2004): *Wind turbine interactions with birds and bats: a summary of research results and remaining questions*. Washington D.C.

NIKOLAUS G, PEARSON DJ (1983): Attraction of nocturnal migrants to car headlights in Sudan Red Sea Hills. *Scopus* 7: 19-20.

OSBORN RG ET AL. (2000): Bird mortality associated with wind turbines at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota. *American Midland Naturalist* 143:41–52.

OVERING R (1936): The 1935 fall migration at the Washington Monument. *Wilson Bulletin* 48: 222-224.

PERCIVAL SM (2001): Assessment of the effects of offshore wind farms on birds. Report as part of the DTI sustainable Energy Programmes; ETSU W/13/00565/REP - DTI/Pub URN 01/1434.

PNAWPPM-II (1998): Working Group 4: Avian behavior and mortality reduction. Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting II, Palm Springs, Calif., 20-22 Sept. 1995. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE, Inc., Washington, DC, and LGL, Ltd., King City, Ontario: 136-142.

POOT H (Manuskript): Effects of artificial light of different colours on (nocturnally) migrating birds.

PODOLSKY R, AINLEY DG (1998): Mortality of Newell's Shearwaters caused by collisions with urban structures on Kauai. *Colonial Waterbirds* 21: 20-34.

PYLE P, NUR N, HENDERSON RP, DESANTE DF (1993): The effects of weather and lunar cycle on nocturnal migration of landbirds at Southeast Farallon Island, California. *The Condor* 95: 343-361.

REED JR, SINCOCK JL, HAILMAN JP (1985): Light attraction in endangered procellariiform birds: reduction by shielding upward radiation. *The Auk* 102: 377-383.

RICHARDSON WJ (2000): Bird migration and wind turbines: Migration timing, flight behaviour, and collision risk. Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 1998. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by LGL Ltd., King City, Ontario: 132-140.

RITZ T, ADEM S, SCHULTEN K (2000): A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophysical Journal* 78: 707-718.

ROBERTS RE, TAMBORSKI CV (1993): Blackpoll Warbler mortality during fall migration at a tower in southeastern Florida. *Florida Field Naturalist* 21: 118-120.

RYDELL J (1992): Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Functional Ecology* 6: 744-750.

RYDELL J (2006): Bats and their insect prey at streetlights. In: Rich C, Longcore T (eds): *Ecological consequences of artificial night lighting*. Washington, Covelo, London: 43-60..

- SAUNDERS WE (1930a): Bats in migration. *Journal of Mammology* 11: 225.
- SAUNDERS WE (1930b): The destruction of birds at Long Point Lighthouse, Ontario, on four nights in 1929. *The Auk* 47: 507-511.
- SCHMIEDEL J (2001): Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf die Tierwelt – ein Überblick. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 67: 19-51.
- SEETS JW, BOHLEN HD (1977): Comparative mortality of birds at television towers in central Illinois. *Wilson Bulletin* 89: 422-433.
- SINELSHIKOVA A, BOLSHAKOV CV, BULYUK V (2003): Nocturnal migration of thrushes (*Turdus spp.*): numbers aloft and wind. *Die Vogelwarte* 42: 100.
- SMITHS VM (1961): Tower casualties at Columbia, South Carolina. *Chat* 25:18-19.
- SPEAKMAN, JR, RACEY, PA (1991). No cost of echolocation for bats. in flight. *Nature* 350: 421-423.
- SPOFFORD WR (1949): Mortality of birds at the ceilometer of the Nashville airport. *Wilson Bulletin* 61: 86-90.
- STENMAN O (1990): Some measures used in different countries for reduction of bird strike risk around airports. *Aerodrome Working Group, Fourth edition "Green Booklet"*.
- SWENK MH (1922): An unusual mortality among migrating Lapland Longspurs in northwestern Nebraska. *Wilson Bulletin* 34: 118-119.
- TAYLOR WK, ANDERSON BH (1973): Nocturnal migrants killed at a central Florida TV tower. *Wilson Bulletin* 85: 42-51.
- TAYLOR WK, KERSHNER MA (1986): Migrant birds killed at the Vehicle Assembly Building (VAB), John F Kennedy Space Center. *Journal of Field Ornithology* 57: 142-154.
- TERRES JK (1956): Death in the night. *Audubon Magazine* 58: 18-20.
- TELFER TC, SINCOCK JL, BYRD GV, REED JR (1987): Attraction of Hawaiian seabirds to lights: conservation efforts and effect of moon phase. *Wildlife Society Bulletin* 15: 406-413.
- THELANDER CG, RUGGE L (2000): Bird risk behaviors and fatalities at the Altamont Wind Resource Area. *Proc. of the National Avian-Wind Power planning Meeting III, San Diego, May 1998. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by LGL Ltd., King City, Ont.:* 5-15.
- TINGLEY MW (2003): Effects of offshore windfarms on birds “Cuisinarts of the sky” or just tilting at windmills? *Harvard University Cambridge, Massachusetts.*

TRAPP JL (1998): Bird kills at towers and other human-made structures: an annotated partial bibliography (1960-1998). [http://library.fws.gov/Bird\\_Publications/birdkills\\_towers98.htm](http://library.fws.gov/Bird_Publications/birdkills_towers98.htm).

UGORETZ S (2001): Avian mortalities at tall structures. Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, CA, May 16-17, 2000. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, by RESOLVE, Inc., Washington, D.C., Susan Savitt Schwartz (ed.): 165-166.

UNITED STATES FISH AND WILDLIFE SERVICE (USFWS) (2000): Service interim guidelines for recommendations on communications tower siting, construction, operation, and decommissioning. Unpublished memo to Regional Directors. <http://migratorybirds.fws.gov/issues/towers/comtow.html>.

VAN DE LAAR FJT (2007): Green light to birds Investigation into the effect of bird-friendly lighting. NAM LOCATIE L15-FA-1 December 2007

VAN DER WINDEN J, SPAANS AL, DIRKSEN S (1999): Nocturnal collision risks of local wintering birds with wind turbines in wetlands. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 4: 33–38.

VAN GELDER RG (1956): Echo-location failure in migratory bats. *Transactions of the Kansas Academy of Science*: 220-222.

VERHEIJEN FJ (1958): The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. *Archives Néerlandaises de Zoologie* 13: 2-107.

VERHEIJEN FJ (1981 a): Bird kills at tall lighted structures in the USA in the period 1935-1973 and kills at a Dutch lighthouse in the period 1924-1928 show similar lunar periodicity. *Ardea* 69: 199-203.

VERHEIJEN FJ (1981 b): Bird kills at lighted man-made structures: not on nights close to a full moon. *American Birds* 35: 251-254.

VERHEIJEN FJ (1981 c): The moon: a neglected factor in studies on collisions of nocturnal migrant birds with tall lighted structures and with aircraft. *Die Vogelwarte* 30: 305-320.

VERHEIJEN FJ (1985): Photopollution: artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causations, remedies. *Experimental Biology* 44: 1-18.

WEIR RD (1976): Annotated bibliography of bird kills at man-made obstacles: a review of the state of the art and solutions. Department of Fisheries and the Environment, Environmental Management Service, Canadian Wildlife Services, Ontario Region, Ottawa.

WIEDNER DS, KERLINGER P, SIBLEY DA, HOLT P, HOUGH J, CROSSLEY R (1992): Visual morning flight of neotropical landbird migrants at Cape May, New Jersey. *The Auk* 109: 500-510.

WIESE FK, MONTEVECCHI WA, DAVOREN GK, HUETTMANN F, DIAMOND AW, LINKE J (2001): Seabirds at risk around offshore oil platforms in the North-west Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 42: 1285-1290.

WILSON N (1965): Red bats attracted to insect light traps. *Journal of Mammalogy* 46:704-705.

WILTSCHKO W, MUNRO U, FORD H, WILTSCHKO R (1993): Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. *Nature* 364: 525-526.

WILTSCHKO W, WILTSCHKO R (1995): Migratory orientation of European robins is affected by the wavelength of light as well as by a magnetic pulse. *Journal of Comparative Physiology* 177: 363 -369.

WILTSCHKO W, WILTSCHKO R (2003): Mechanism of orientation and navigation in migratory birds. In: Berthold P, Gwinner E, Sonnenschein E (Hrsg.): *Avian migration*, Berlin, Heidelberg, 433-456.

WILTSCHKO W, WILTSCHKO R (2001): Light dependent magnetoreception in birds: the behaviour of European robins, *Erithacus rubecula*, under monochromatic light of various wavelengths and intensities. *The Journal of Experimental Biology* 204: 3295-3302.

WINKELMAN JE (1989): Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese, and swans. RIN Rep. 89/15. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, The Netherlands. Dutch, Engl. summ.

WINKELMAN JE (1992a): The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1: collision victims. RIN Rep. 92/2. DLO-Instituut voor Bosen Natuuronderzoek, Amhem, The Netherlands. 71 p. plus Appendices. niederländisch, engl. Summ.

WINKELMAN JE (1992b): The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 2: nocturnal collision risks. RIN Rep. 92/3. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Arnhem, The Netherlands. 120 p. plus Appendices. Niederländisch, engl. Summ.

WINKELMAN JE (1995): Bird/wind turbine investigations in Europe. Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting, Denver, CO, 20-21 July 1994, Report DE95004090. RESOLVE Inc., Washington, DC, and LGL, Ltd., King City, Ontario: 43-47.

Witte RH, van Lieshout SMJ (2003) Effecten van windturbines op vogels. (Een overzicht van bestaande literatuur). Bureau Waardenburg, Box 365, 4100 AJ Culemborg, Netherlands. Rapport Nr. 03-046.

YOUNG DP, ERICKSON WP, STRICKLAND MD, GOOD RE, SERNKA KJ (2003a): Comparison of Avian Responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines. National Renewable Energy Laboratory, NREL, Contract No. DE-AC36-99-GO10337.

YOUNG DP JR, ERICKSON WP, GOOD RE, STRICKLAND MD, JOHNSON GD (2003b): Avian and bat mortality associated with the initial phase of the Foote Creek Rim Windpower Project, Carbon County, Wyoming November 1998-June 2002. Prepared for Pacificorp, Inc. Portland, Oregon, SeaWest Windpower Inc. San Diego, California, Bureau of Land Management, Rawlins, Wyoming. Prepared by Western EcoSystems Technology, Inc. Cheyenne, Wyoming. January 10, 2003.