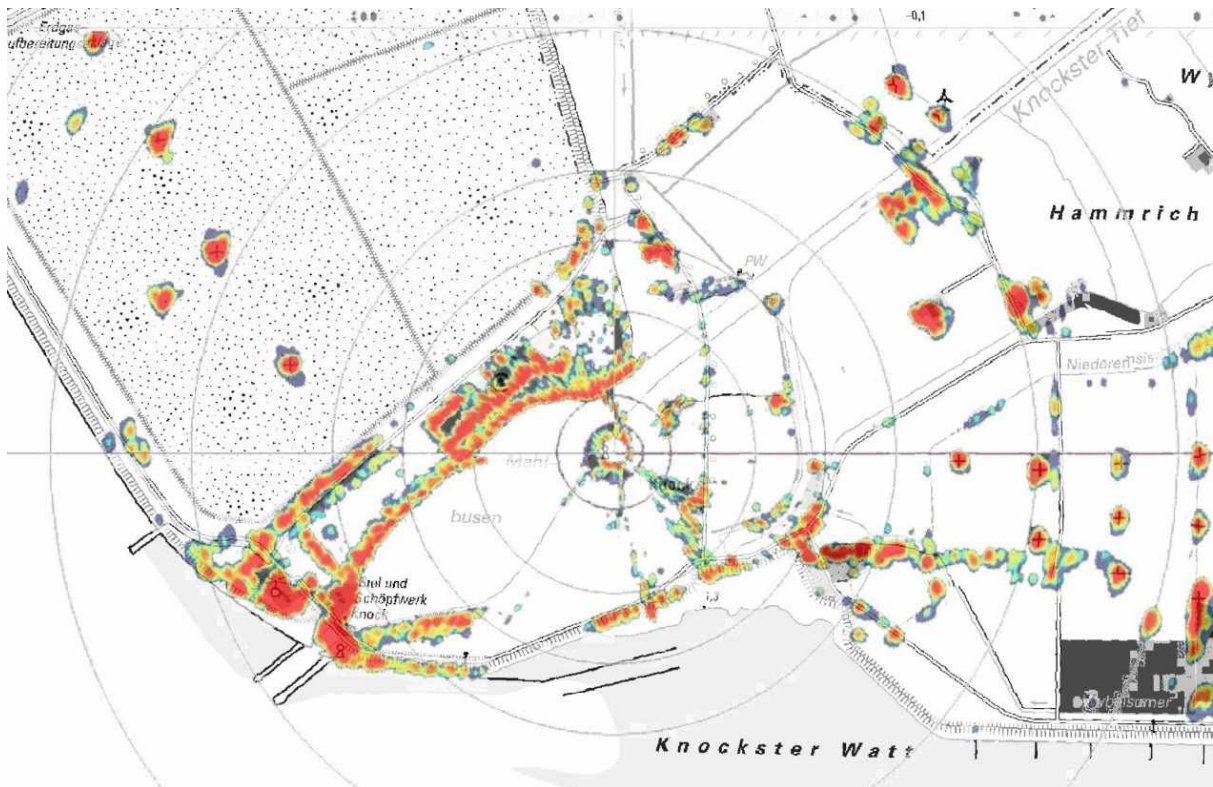


# Kurzfassung über die Radaranalyse von Flugbewegungen

## Einführung

Die Nutzung der Windkraft zur Energiegewinnung hat in Norddeutschland früh begonnen. Bereits Anfang der 1990er Jahre wurden westlich von Emden die ersten Windenergieanlagen (WEA) aufgestellt. Zwischen 1999 und 2002 errichtete das Unternehmen ENERCON auf dem Wybelsumer Polder westlich des Emdener Hafens im Mündungsbereich der Ems in die Nordsee 42 WEA des Typs E-66. Auf dem westlich davon gelegenen Rysumer Nacken wurden 2008 zwei Anlagen des Typs E-126 sowie zwei Anlagen (Typ BARD 5.0) des Unternehmens BARD in Betrieb genommen. In den Zeiträumen von November 2008 bis März 2009 und von Dezember 2009 bis April 2010 wurde von einem Standort am Mahlbusen, etwa mittig zwischen den Windparks “Wybelsumer Polder” und “Rysumer Nacken”, über ein vertikal und horizontal betriebenes Radargerät der Vogelflug erfasst und aufgezeichnet (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Übersicht über den Radarstandort und die ständig aufgezeichneten Bodenechos

Darüber hinaus dokumentierten die Projektbetreuer die Wetterverhältnisse und andere Rahmenbedingungen. Horizontüberragende Objekte wie Bäume, Hecken, Wälle und Deiche, Geländekanten, Gebäude, Masten, WEA und ein Radarturm einerseits, Bodensignale und hohe Luftfeuchtigkeit oder Regen andererseits verursachen Fehlechos, welche die Radarechos von Vögeln hinter diesen Objekten verschatten bzw. Radarechos über den Objekten überlagern. Ebenfalls kann die Art und die Anzahl von Vögeln eines Trupps nicht aus dem Radarecho bestimmt werden. Die zusammenhängenden Flugbewegungen von einzelnen Trupps werden als Tracks bezeichnet, von denen insgesamt 17.929 in beiden Erfassungsperioden aufgezeichnet wurden.

Bei der Analyse der gesammelten Daten wurden zwei grundlegende Ansätze verfolgt. Im ersten Teil wird das Verhalten der Vogeltrupps in definierten Radien um die WEA untersucht und im

zweiten Teil werden zwölf Flächen bzw. vier Flächengruppen (FG) analysiert. Die erfassten Flugaktivitäten der jeweiligen Gebiete werden mit dem Gesamtdatensatz aller aufgezeichneten Flugbewegungen verglichen, um mögliche Differenzen erkennen und bestimmen zu können. Die Analyse umfasst die Auswertung der Daten über die Merkmale der Tracks, wie z.B. Anzahl und Länge der Flugbewegungen sowie den Parametern der vollzogenen Kursänderungen. Außerdem wurden die jeweiligen Tracks und Richtungswechsel besonders untersucht, die über nennenswert hohe bzw. aussagekräftige Werte verfügen. Aus den Witterungsverhältnissen wurden Rückschlüsse gezogen, ob bei wechselnden Witterungsbedingungen die Flugaktivitäten variieren. Die Witterungsverhältnisse wurden dafür in folgenden Kategorien eingeteilt: Niederschlag, Nebel, Bewölkung, leichte Bewölkung und wolkenlos.

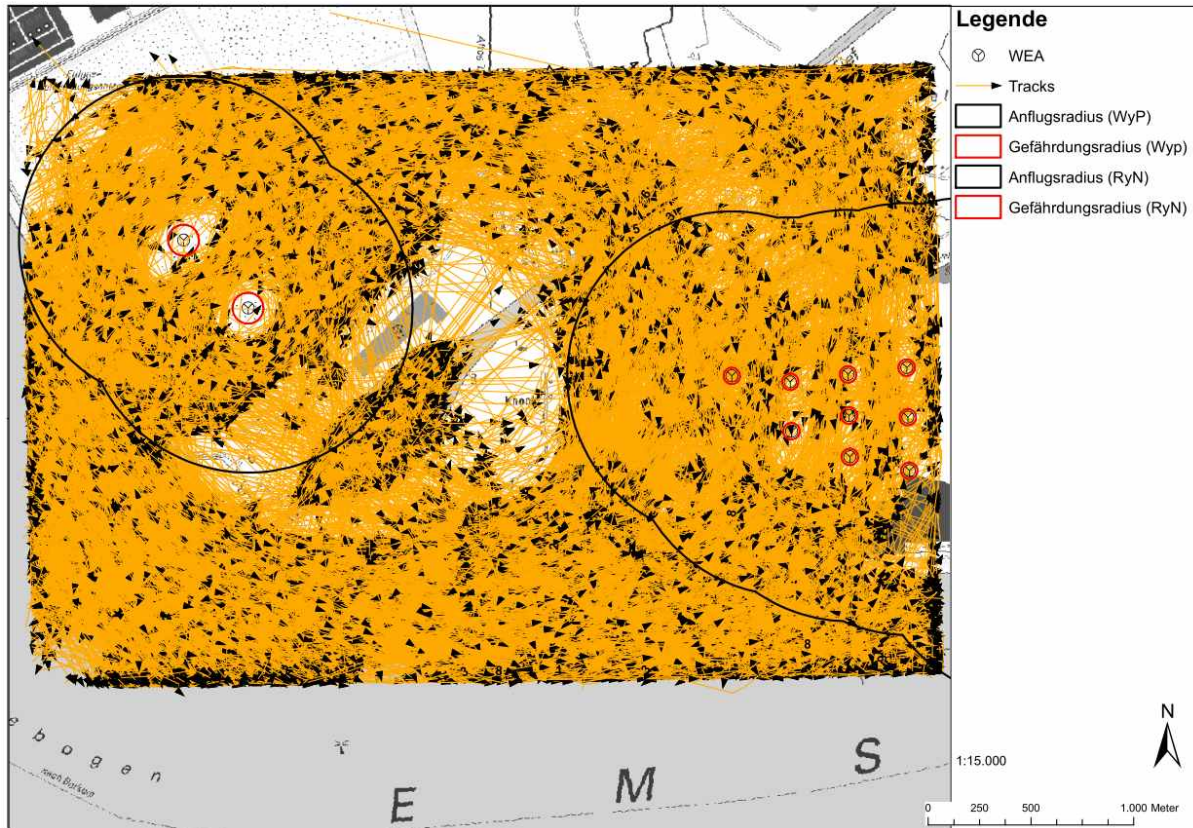


Abbildung 2: Radarcontainer

## 1. Teil: Die Radianalyse

In der Abbildung 3 sind die Radien und die Lage der WEA sowie sämtliche aufgezeichnete Tracks dargestellt. Um die WEA wurde jeweils ein Anflugsradius von 800 m gezogen. Aufgrund der in den beiden Windparks vorherrschenden, voneinander abweichenden Rotorradien der WEA wurden unterschiedliche Gefährdungsradien bestimmt. So soll der 40 m Radius im Wybelsumer Polder (WyP) bzw. 75 m Radius im Rysumer Nacken (RyN) den Wirkungsbereich aufzeigen, indem mögliche Kollisionen auftreten könnten. Die Anzahl der aufgezeichneten Tracks in den Anflugsradien liegt bei ca. 4.000 - 4.500 Tracks. Das sind von allen erfassten Flugbewegungen etwa 24,80 % im Bereich WyP und 22,72 % in dem vom RyN.

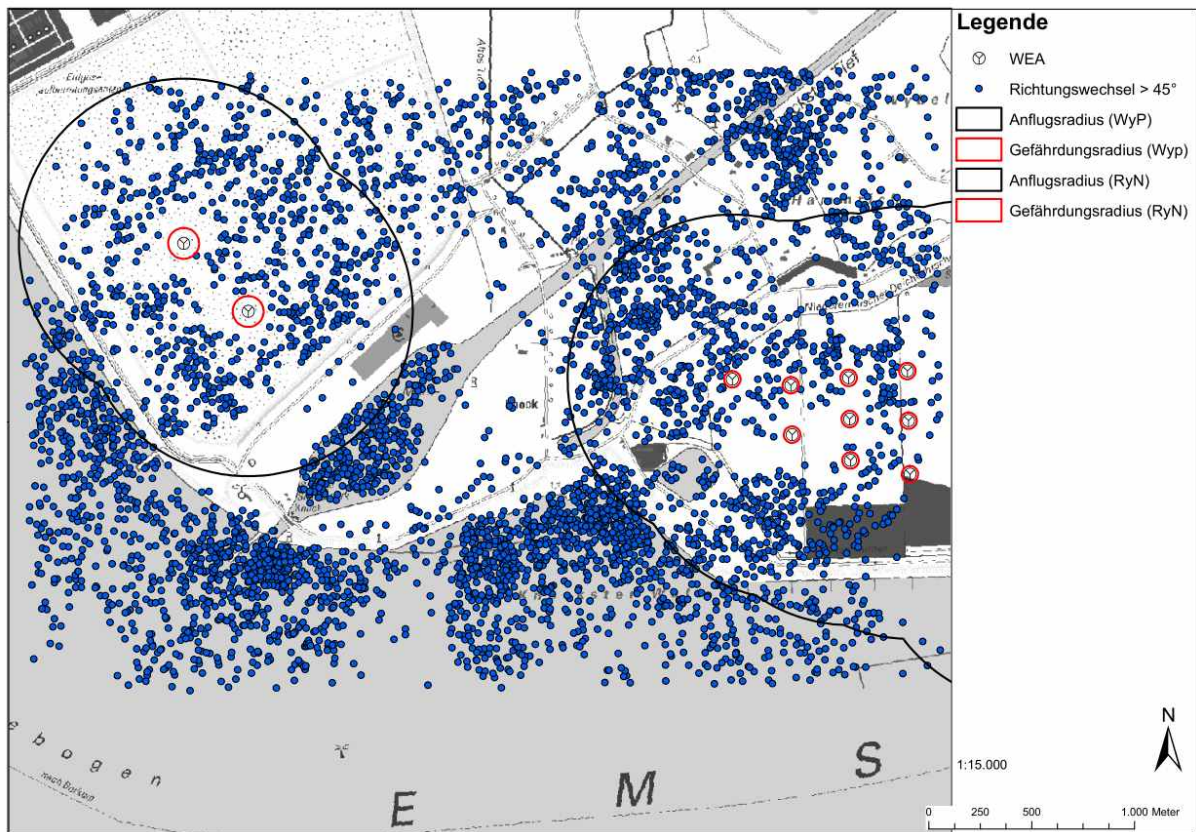
Im Gefährdungsradius wurden insgesamt 1,25 % (WyP) und 0,09 % (RyN) aller Tracks erfasst. Der Gefährdungsradius des WyP wird von 5,08 % der Tracks, die den Anflugradius queren, gekreuzt. Dagegen wird der Gefährdungsradius des RyN von nur 0,39 % der Tracks gekreuzt, die in den Anflugradius eingedrungen sind. Zusammen queren 2,85 % der jeweiligen Tracks die Gefährdungsradien.



**Abbildung 3:** Übersicht über die Windenergieanlagenstandorte sowie den Anflugs- und Gefährdungsradien

Die ermittelten Werte der radienquerenden Tracks weichen zum Teil erheblich von den Gesamtdurchschnittswerten ab (siehe Tabelle 1). Dabei sind deutlichere Differenzen bei den Tracks, welche die Gefährdungsradien kreuzen, zu beobachten. So erhöht sich, ausgehend vom Gesamtdurchschnitt, die durchschnittliche Anzahl der Kursänderungen pro Track über den Anflugradius hin zum Gefährdungsradius. Dies ist auch, bezüglich der Anzahl von Richtungswechseln, bei der prozentualen Verteilung der Tracks zu beobachten. Denn es wurden in den beiden Radien prozentual weniger Tracks erfasst, die bis zu zehn Richtungswechsel während ihres Fluges im Radarbereich vorgenommen haben. Demgegenüber wurden prozentual mehr Tracks aufgezeichnet, die über elf Richtungswechsel besitzen. Ebenfalls erhöht sich, im Gegensatz zum Gesamtdurchschnitt und zum Anflugradius, der durchschnittliche Grad eines Richtungswechsels im Gefährdungsradius um  $1,5^\circ$  je Kursänderung. Werden die Durchschnittsdaten der Anzahl der Richtungswechsel und des Grades des Richtungswechsels miteinander verknüpft, bedeutet dies, dass die ermittelten Werte (der Gesamtgrad) vom Gesamtdurchschnitt deutlicher abweichen.

Bei der Betrachtung der deutlichen Kursänderungen von über  $45^\circ$  ( $n = 5196$ ) oder über  $90^\circ$  ( $n = 429$ ) liegen diese prozentual weniger häufig in den Anflugsradien und fehlen gänzlich in den Gefährdungsradien (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Übersicht über die Verteilung der Richtungswechsel > 45°

Demnach sind insbesondere Teile der Küstenlinie und des Mahlbusens (am SO-Rand vom Anflugsradius Rysumer Nacken) sowie das Knockster Tief (im Nordwesten) Ballungsräume für deutliche Kursänderungen.

Wird von der Annahme ausgegangen, dass vermehrte und verstärkte Richtungswechsel sich negativ auf die Fitness der Vögel eines Trupps auswirken, würde im Umkehrschluss eine erhöhte Distanz zwischen den Richtungswechseln sich positiv auf die Kondition der Tiere auswirken. Insofern ist die erfasste deutliche Abweichung der Tracks der Gefährdungsradien in dieser Hinsicht positiv zu bewerten. Die Differenz zwischen dem Gesamtdurchschnitt und dem der Anflugsradien ist demgegenüber relativ gering. Allerdings verdoppelt sich die Gesamtlänge der Tracks der Gefährdungsradien im Gegensatz zum Gesamtdurchschnitt. Die Länge eines Tracks, der die Anflugsradien quert, erhöht sich dagegen lediglich um etwa 22 %.

**Tabelle 1:** Darstellung der Ergebnisse bei der Radienanalyse

Vergleich	Fläche		
	Gesamt	Anflugsradius	Gefährdungsradius
∅ Anzahl der RW	5,15	6,76	8,25
∅ Grad des RW	16,68	16,69	18,21
∅ Gesamtgrad eines Tracks	85,82	112,77	150,28
∅ Distanz zwischen RW	217,52	521,47	389,07
∅ Länge eines Tracks	918,87	1127,05	1849,33

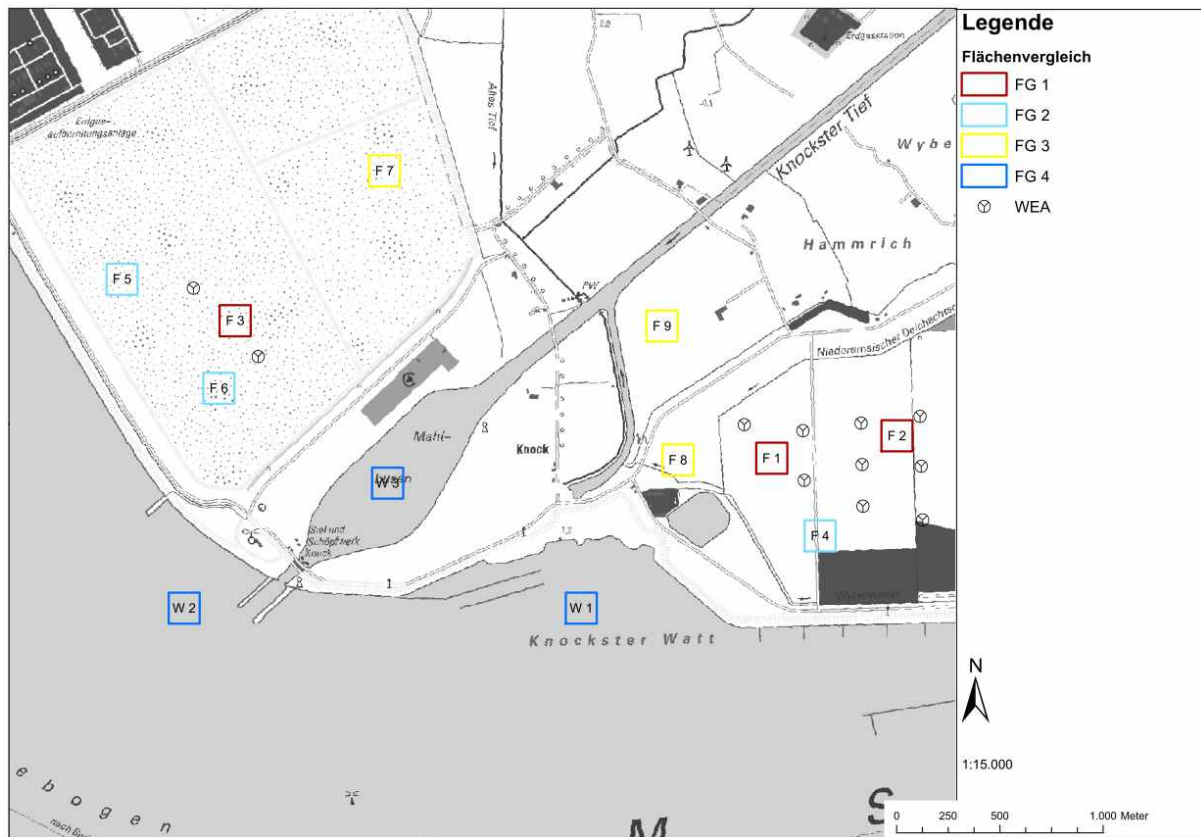
Die Witterungsverhältnisse sind den Aufzeichnungen zufolge bedeutsam für das Flugverhalten.

Ein großer Teil der Flugaktivitäten fand bei besseren Wetterbedingungen statt. Bei schlechten Witterungsverhältnissen wurden bei sämtlichen Parametern der untersuchten Richtungswechsel und Tracks generell negativere Gesamtdurchschnittswerte festgestellt. Neben diesen erfassten witterungsbedingten Flugaktivitätsmustern wurde zwischen den Radian ein weiterführendes inhomogenes Flugverhalten erfasst. So wurden im Gefährdungsradius generell weniger Flugaktivitäten bei eingeschränkten bodennahen Sichtverhältnissen aufgezeichnet. Ebenfalls liegt die Anzahl der Richtungsänderungen je Track bei Nebel am höchsten. Auch der durchschnittliche Gesamtgrad eines Tracks beider Radian ist im wesentlichen witterungsabhängig, wobei der höchste Gesamtdurchschnittsgrad bei Nebel erfasst wurde. Hinzu wurden vermehrt die größeren Richtungswechsel bei schlechten bodennahen Sichtbedingungen erfasst. Außerdem wurde eine geringere Gesamtlänge der Tracks bei besseren Witterungsverhältnissen aufgezeichnet.

Insgesamt ist der Prozentsatz derjenigen Tracks, die den Anflugsradius schneiden und sich im weiteren Flugverhalten den WEA unmittelbar nähern, gering bis sehr gering. Dabei wurde ein abweichendes witterungsabhängiges Flugverhalten in den Radian festgestellt.

## **2. Teil: Flächenvergleich**

Für den Flächenvergleich werden drei Flächen (Flächengruppe 1 = F 1, F 2 & F 3) zwischen den WEA der jeweiligen Windparks sowie drei Flächen (Flächengruppe 2 = F 4, F 5 & F 6) unmittelbar vor (d. h. zwischen WEA und Ems) den Windparks und drei Vergleichsflächen (Flächengruppe 3 = F 7, F 8 & F 9) mit gleichartiger Raumstruktur sowie drei Wasserflächen (Flächengruppe 4 = W 1, W 2 & W 3) im Bereich des Knockster Watt, der Ems und des Mahlbusens analysiert (siehe Abbildung 5). Die quadratischen Flächen haben 150 m lange Seiten und besitzen vom Erfassungsbereich jeweils einen Flächenanteil von 0,17 %, wobei 1,12 % bis 4,13 % aller Tracks die einzelnen Flächen kreuzen. Insgesamt queren 21,19 % aller aufgezeichneter Tracks die zwölf Einzelflächen. Die ermittelten Daten der Einzelflächen bzw. Flächengruppen werden in Verbindung mit dem Gesamtdurchschnitt gesetzt. Die ermittelten Ergebnisse zu den Einzelflächen besitzen eine hohe Fluktuation, die durch die Betrachtung der Flächengruppen meist ausgeglichen wird, so dass statistisch aussagekräftigere und präzisere Annahmen über das Flugverhalten getroffen werden können (siehe Tabelle 2).



**Abbildung 5:** Übersicht über die zur Betrachtung herangezogenen Flächen und ihre Einteilung in Flächengruppen (FG)

Im Bereich der Ems wurde eine höhere Anzahl von Tracks festgestellt, die nachweislich dem Hauptzugkorridor der Vogeltrupps in diesem Sektor entspricht. Darüber hinaus ist zwischen den Flächen innerhalb und vor den Windparks sowie den Vergleichsflächen kein nennenswerter Unterschied bezüglich der Flugaktivitäten zu erkennen.

Die Diskrepanz bei der Anzahl an Kursänderungen zwischen den Flächen im Einflussgebiet der Windparks und den Vergleichsflächen ist relativ gering. Deutlicher ist der Unterschied zwischen den genannten Flächen und den Wasserflächen bzw. zum Gesamtdurchschnitt. Dem entspricht auch der ebenfalls erhöhte prozentuale Anteil der Tracks mit mehr als elf Kursänderungen im Vergleich zu den Wasserflächen und dem Gesamtdurchschnitt. Die ermittelten Werte hinsichtlich des durchschnittlichen Grades eines Richtungswechsels weichen bei den Flächengruppen um etwa  $\pm 5\%$  ( $0,78^\circ$ ) von dem Gesamtdurchschnittswert ab. Im Ergebnis ergibt dies einen durchschnittlichen Gesamtgrad der Tracks, der zwischen  $86^\circ$  (Gesamt) und ca.  $171^\circ$  bei den Vergleichsflächen liegt, wobei die Flächen in und um die Windparks einen Wert von rund  $153^\circ$  sowie die Wasserflächen einen Wert von etwa  $112^\circ$  aufweisen.

Hinsichtlich der Betrachtung der Tracks mit besonders hohen bzw. aussagekräftigen Werten wurde bei Flächen in der Umgebung der WEA seltener eine sehr hohe Anzahl an Richtungswechsel und / oder ein hoher Gesamtgrad festgestellt. Die Betrachtung der Richtungswechsel, die mit einem besonders hohen Grad verbunden sind, ergibt ein differenzierteres Ergebnis. Es wurden zwar ebenfalls bei allen Kursänderungen von über  $45^\circ$  ( $n = 5196$ ) in der Umgebung der WEA ( $0,67\%$  und  $0,65\%$ ) weniger Richtungswechsel als in den Vergleichs- und Wasserflächen ( $0,75\%$  und  $1,15\%$ ) beobachtet. Jedoch bei Kursänderungen über  $90^\circ$  wurden anteilig bei den Flächen in den Windparks und den Wasserflächen prozentual die meisten Richtungswechsel erfasst.

Beim Vergleich der Distanz zwischen den Richtungswechseln liegen alle Werte der Flächengruppen über dem der Gesamtdurchschnittsdistanz. Dabei besitzen die Vergleichsflächen mit ca. 50 % die höchste sowie die Flächen in den Windparks die geringste ermittelte Abweichung. Die durchschnittliche Strecke der Tracks liegt ebenfalls über dem erfassten Gesamtdurchschnittswert, wobei die Wasserflächen über die geringste Abweichung (38 %) verfügen. Die Flächen in und um die Windparks weisen eine Differenz von etwa 55 % sowie die Vergleichsflächen von mehr als 75 % von dem Gesamtdurchschnitt auf.

**Tabelle 2: Darstellung der Ergebnisse beim Flächenanalyse**

Fläche Vergleich	Gesamt	FG 1	FG 2	FG 3	FG 4
∅ Anzahl der RW	5,15	8,90	9,09	9,79	6,88
∅ Grad des RW	16,68	17,28	16,86	17,46	16,24
∅ Gesamtgrad eines Tracks	85,82	153,75	153,29	170,90	111,68
∅ Distanz zwischen RW	217,52	256,82	289,34	324,29	283,75
∅ Länge eines Tracks	918,87	1453,59	1426,43	1630,44	1266,76

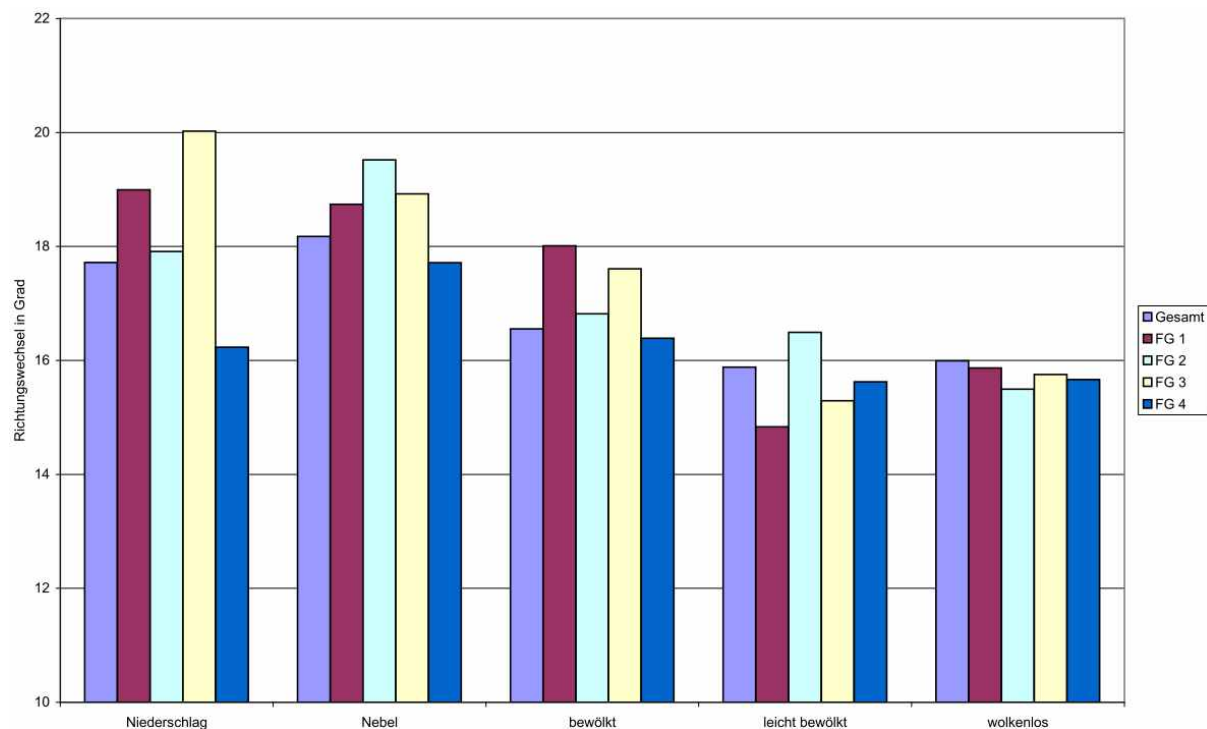
Die Flugaktivitätsmuster ändern sich in den Flächen bei wechselnden Witterungsverhältnissen ähnlich denen des Gesamtdurchschnitts. Der geringere prozentuale Anteil der Flugbewegungen bei schlechten Witterungsbedingungen geht mit einer Zunahme an Kursänderung je Track einher. Dabei ist neben dem generellen Trend zu weniger Grad pro Richtungswechsel bei besseren Wetterbedingungen eine geringer werdende Abweichung der untersuchten Flächengruppen untereinander bzw. zum Gesamtdurchschnittswert zu beobachten. Daraus resultiert, dass der durchschnittliche Gesamtgrad im erheblichen Maße witterungsabhängig ist. Er liegt bei Nebel am höchsten. Die Landflächen weichen dabei über 100 % von dem Gesamtdurchschnitt ab. Besonders auffällig ist des Weiteren die deutlich geringere durchschnittliche Distanz zwischen den Kursänderungen bei Nebel bei den Flächen in und um den Windparks gegenüber denen des Gesamtdurchschnitts bzw. den Vergleichsflächen. Durchgängig am längsten sind bei der durchschnittlichen Gesamtdistanz vor allem die Tracks der Vergleichsflächen. Dabei ist insbesondere bei schlechten Witterungsverhältnissen die Diskrepanz am deutlichsten ausgeprägt. Auffällig ist auch hier insbesondere die Abweichungsspanne bei Nebel zwischen den Land- und Wasserflächen.

Bei der Betrachtung von Tracks, die lange und wechselhafte Flugbewegungen beinhalten und die im Vergleich zu den Durchschnittswerten signifikant abweichen, wurde festgestellt, dass einzelne Tracks auf Grund ihrer eigenen Flugcharakteristik ganz unterschiedliche Werte produzieren, die positive und negative Vergleichswerte umfassen können. Zum Beispiel führt eine hohe Anzahl an Richtungswechseln bei einem Track, auch wenn diese relativ geringfügig ausfallen, zu einem schlechten Wert bei der durchschnittlichen Distanz zwischen den Richtungswechseln. Im Umkehrschluss kann aber auch eine geringe Anzahl an großen Richtungswechseln bei einem Track zu einem guten Vergleichswert führen. Daher kann erst durch die Summe der ermittelten Vergleichswerte ein aussagekräftiges Gesamtbild über bestehende Flugaktivitätsmuster in einer untersuchten Fläche erreicht werden.

Die zum Teil von allen Flächen deutlichen Abweichungen gegenüber dem Gesamtdurchschnitt sind vor allem der Tatsache geschuldet, dass auch solche Flüge mit erfasst wurden, die nur über eine sehr kurze Verweildauer im Radarbereich verfügen. Dies können durch Störungen verursachte kurze Aufflüge oder durch Störungen des Radarsignals verursachte Ecoverluste

sowie Vorbeiflüge sein, die den Erfassungsbereich nur kurz schneiden.

Im Vergleich insgesamt besitzen die Wasserflächen die positivsten und die Vergleichsflächen die negativsten Werte. Bei der direkten Gegenüberstellung der Vergleichsflächen mit den Flächen in und um die Windparks verfügen die Vergleichsflächen nur bei dem prozentualen Anteil an der Gesamtflugaktivität sowie der durchschnittlichen Distanz zwischen den Richtungswechseln über bessere Werte. Im Ergebnis bedeutet dies, dass in und um die Windparks keineswegs schlechtere Bedingungen für den Vogelzug vorherrschen als in den Vergleichsflächen. Die generellen witterungsbedingten Abweichungen sind zum Teil quantitativ bedeutender als die ermittelten Differenzen bezüglich der Flächen untereinander (siehe Abbildung 6). Insbesondere das geänderte Flugverhalten bei Nebel wurde bei allen untersuchten Flächen gleichermaßen beobachtet.



**Abbildung 6:** Durchschnittlicher Grad eines Richtungswechsels der jeweiligen Flächengruppe bei verschiedenen Witterungsverhältnissen

### **Fazit:**

- **Eine höhere Anlage mit größerem Rotordurchmesser führt zu einem erhöhten Meideverhalten in der Umgebung.**
- **Bei schlechter bodennaher Sicht steigt die Anzahl der Richtungswechsel generell sowie im erhöhten Maße im Bereich der bestehenden WEA. Hingegen ist bei Bewölkung kein erhöhtes Meideverhalten feststellbar.**
- **Je schlechter die bodennahen Sichtverhältnisse sind, desto größer sind die durchschnittlichen Kursänderungen und größere Richtungswechsel treten vermehrt auf.**
- **Die Anzahl und Größe der Richtungswechsel wird in erster Linie von den Witterungsverhältnissen und der räumlichen Struktur beeinflusst.**

- **Die Länge der Tracks unterliegt ebenfalls vor allem witterungs- und geographischen Gegebenheiten.**
- **Die Flugmuster in der näheren Umgebung der Windenergieanlagen scheinen einem geplanten, distanzgewinnenden Flugverhalten zu entsprechen.**
- **Die Witterungsbedingungen und Geländeeigenschaften besitzen einen größeren Einfluss auf das Flugverhalten als die bestehenden WEA.**

Die ermittelten Aktivitätsmuster der Flugbewegungen führen zu der Annahme, dass die beobachteten Vogeltrupps kleinräumige Ausweichmanöver fliegen, um den WEA als Hindernissen auszuweichen. Dies scheint sich in Verbindung mit schlechten Witterungsverhältnissen zu verstärken. Dies führt im Ergebnis nicht zu einer weitreichenden Scheuchwirkung, die eine Vergrämung aus stark frequentierten Lebensräumen zur Folge hätte. Ein deutliches Meideverhalten der windparknahen Flächen konnte somit nicht festgestellt werden.