

Weichen Zugvögel Windenergieanlagen auf See aus? Eine Methode zur Untersuchung und Analyse von Reaktionen tagsüber ziehender Vogelarten auf Offshore-Windparks

Ralf Aumüller, Karin Boos, Sabine Freienstein, Katrin Hill & Reinhold Hill

Aumüller R, Boos K, Freienstein S, Hill K & Hill R 2013: Do migrating birds avoid offshore wind turbines? A method to investigate and analyze reactions of diurnally migrating birds to offshore wind farms. *Vogelwarte* 51: 3-13.

When addressing potential threats of offshore wind farms on migrating birds, avoidance behavior in response to wind farms is among those commonly mentioned, meaning that wind farms can act as barriers for migrants. Substantial - but otherwise sparsely - proof for this exists from Denmark and The Netherlands. However, monitoring potential threats in the German Bight failed in providing evidence of an avoidance response of migrating birds to offshore wind farms. Minor adaptations of the current method of investigation and analysis provided here, however, have led to substantiated results. In addition, these adaptations can easily be incorporated into current standard protocols of environmental impact assessment studies. Demonstrating this, we here present an example of avoidance behavior of gannets *Sula bassana* in particular to a wind farm and of birds in general.

✉ RA: Avitec Research GbR, Sachsenring 11, D-27711 Osterholz-Scharmbeck. E-Mail: ralf.aumueller@avitec-research.de

1. Einleitung

Planbeobachtungen von Vogelzug über dem Meer („Seawatching“) liefern seit Jahrzehnten hervorragende Ergebnisse u. a. zur Quantifizierung des Vogelzuges in Form von artbezogenen Zugraten unter Tageslichtbedingungen (z. B. Meltofte et al. 1972; Camphuysen & van Dijk 1983; Dierschke 2003). Mittlerweile ist Seawatching auch hierzulande fest etabliert (Dierschke et al. 2005) und wurde u. a. als Untersuchungsmethode im Rahmen von gesetzlich vorgeschriebenen Umweltverträglichkeitsstudien (UVS) gemäß Standarduntersuchungskonzept (StUK) zur Abschätzung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen (WEA) auf den Vogelzug durch die zuständige Genehmigungsbehörde festgeschrieben (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2007).

Die zwischenjährliche Variabilität im Vogelzuggeschehen ist offshore besonders hoch (z. B. Hüppop et al. 2010; Hüppop et al. 2012; eig. Daten). Somit besteht bei Vergleichen grundsätzlich die Gefahr, natürlich auftretende Schwankungen des Vogelzuges fälschlicherweise auf die Errichtung eines Windparks zurückzuführen. Vergleiche von Zugraten vor bzw. nach dem Bau eines Offshore-Windparks, wie durch die UVS angestrebt (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2007), können somit entgegen der ursprünglichen Erwartung kaum verlässlich interpretierbare Erkenntnisse hinsichtlich der Reaktionen von Zugvögeln auf Offshore-Windparks liefern.

Direkte Verhaltensbeobachtungen wie auch immer gearteter Reaktionen (Attraktion, Meidung) ergaben selbst bei mehrjährigen Untersuchungen vergleichsweise seltene Einzelfallschilderungen (eig. Daten). Zudem bleibt die Kausalität von WEA als auslösender Stimulus fraglich.

Überhaupt sind publizierte Ergebnisse zu Fragen nach Verhaltensantworten tagsüber ziehender Vögel gegenüber Offshore-Windparks rar: In Dänemark konnte das Umfliegen von Offshore-Windparks im Sinne einer Meidung durch Eiderenten *Somateria mollissima* per Radarfassung verbunden mit Sichtbeobachtungen nachgewiesen werden (Desholm & Kahlert 2005). In den Niederlanden mieden Basstölpel *Sula bassana* den untersuchten Offshore-Windpark (Krijgsveld et al. 2011).

Nachfolgend schildern wir anhand eines Fallbeispiels, wie die derzeit bestehenden methodischen Schwierigkeiten beseitigt und fundierte Ergebnisse zu etwaigen Einwirkungen von Offshore-Windparks auf Vogelzug unter Tageslicht gewonnen werden können.

2. Datenerhebung

Durchgeführt wurden die Untersuchungen an 15 mehr oder weniger zufällig über den gesamten Zeitraum verteilten Terminen im Sommer und Herbst 2011 (Ende Juli bis Mitte November) auf der Forschungsplattform FINO1 (06° 35',16" E; 54° 00',52" N). Diese liegt ca. 45 km nördlich der Insel Borkum im Bereich der Ausschließlichen Wirtschaftszone der Bun-

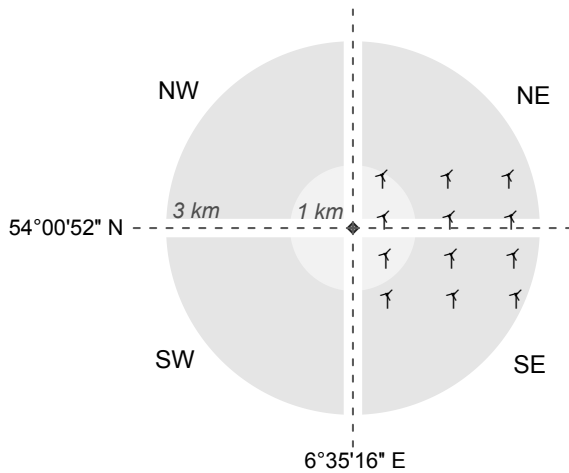


Abb. 1: Links: Übersicht zu räumlicher Lage und Orientierung von FINO1 (zentriert) und dem Windpark „alpha ventus“. Rechts: Ausschnittsweiser Blick in Richtung Windpark vom Plattformdeck der FINO1 aus (Blickrichtung SE). – *Left: Location and orientation of the observation platform FINO1 (centered) and the wind farm 'alpha ventus'. Right: Sight towards wind farm from the platform (viewing direction SE).*

desrepublik Deutschland und befindet sich westlich des Windparks „alpha ventus“ (Abb. 1). Das Plattformdeck erhebt sich 25 m über Seekartennull bei minimalem Abstand von 404 m zur nächstgelegenen WEA. Von der quadratischen Plattform (16 x 16 m) ergeben sich vier Blickrichtungen à 90°: Von N bis W (Sektor NW), von W bis S (Sektor SW), von S bis E (Sektor SE) und E bis N (Sektor NE).

Zwei dieser Sektoren (SE, NE) ermöglichen u. a. den Blick in den Windpark (Abb. 1), die übrigen zwei sind vom Windpark abgewandt. Jeder Sektor wurde im Laufe einer Stunde jeweils 15 Minuten beprobt. Auf einen kompletten Sektorenumlauf folgte eine 15-minütige Pause. Zu ziehenden Vögeln wurden alle von Dierschke et al. (2005) empfohlenen Parameter erhoben. Wo für verschiedene Einsatzbereiche nach Dierschke et al. (2005) für den konkreten Anwendungsfall Festlegungen zu treffen waren, sind diese nachfolgend beschrieben. Innerhalb eines Viertelstundenintervalls wurde der Horizont des Erfassungsbereichs zwei- bis dreimal mit einem Spektiv unter Verwendung eines Weitwinkelokulars und 30-facher Vergrößerung langsam abgeschwenkt. Die maximale Beobachtungsdistanz entsprach der Sichtweite, welche für jeden Sektorenumlauf notiert wurde. Vor, zwischen und nach den Schwenks wurde der Nahbereich mit einem Fernglas mit 8- bis 10-facher Vergrößerung auf ziehende Vögel hin kontrolliert.

Für jedes Zugereignis (ein einzelner Vogel oder ein Vogeltross, welche durch den Beobachter aufgrund ihres gerichteten Streckenfluges als „ziehend“ gewertet wurden) wurde zusätzlich zur Art-, Alters- und Geschlechtsbestimmung und zum beprobten Blickrichtungssektor die Entfernung protokolliert. Dies geschah bis vier km auf 500 m, darüber auf 1.000 m genau. Angesichts bereits errichteter WEA mit bekannter Entfernung zum Standort standen feste Orientierungsmarken zur Entfernungskalibrierung des Beobachters hinreichend zur Verfügung. Alternativ wurden testweise Entfernungen einzelner Vögel mit einem Laser-Entfernungsmesser gemessen. Zusätzlich wurde die Position der Vögel relativ zur Sektorenhälfte-

renden vermerkt (rechts oder links) und im Falle der Sektoren mit Blick in den Windpark notiert, ob ein Zugereignis innerhalb oder außerhalb des Windparks registriert wurde. Maßgeblich war für alle erfassten Lageparameter der Ort initialer Wahrnehmung eines Vogels. Unmittelbar an den äußeren Grenzen zum Windpark wurde im Rahmen der Protokollierung darauf geachtet, ob ein Vogel in den Windpark einflog oder über eine Richtungskorrektur einen Einflug vermied. In solchen Fällen wurde die eingeschlagene korrigierte Richtung vermerkt. Richtungsangaben erfolgten auf 45° genau den acht Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen entsprechend. Der bei visuellen Erfassungen vorhandene Parallaxenfehler bei der Richtungseinschätzung ziehender Vögel ist vernachlässigbar gering (Grönross et al. 2012). Flughöhenangaben wurden im Rahmen einer Klassenzuweisung ergänzt (0 bis 5 m, > 5 bis 10 m, > 10 bis 20 m, > 20 bis 50 m, > 50 bis 100 m, > 100 bis 200 m, > 200 m), wobei gute Möglichkeiten zur Abschätzung durch die vorhandenen WEA gegeben waren. Jedes Zugereignis wurde direkt bei der Protokollierung durch die Vergabe einer Zugereignisnummer als eigenständige Zugbeobachtung markiert, was die spätere Differenzierung einzelner Zugereignisse derselben Art innerhalb eines Viertelstundenintervalls gewährleistete und die Zusammengehörigkeit im Falle artübergreifender Trupps indizierte.

Um systematische Fehler bei der Beprobung zu vermeiden, wurde die Reihenfolge der Sektoren vor jedem Umlauf per Zufallsentscheid festgelegt.

Ließen die Beobachtungsbedingungen (Gegenlicht, Windrichtung und -stärke) die Beprobung eines Blickrichtungssektors während eines Sektorenumlaufs nicht zu, wurde eine Ersatzzählung in dem ihm ähnlichen Sektor durchgeführt. Ähnlichkeit wurde dabei definiert als „Blick in den Windpark“ bzw. „Blick vom Windpark abgewendet“, so dass sich Ersatzsektoren im konkreten Fall innerhalb der Paarungen SW/NW und SE/NE rekrutieren mussten. Sektorenumläufe, die von solchen Ersatzzählungen betroffen waren, wurden von den hier vorgestellten Analysen ausgeschlossen.

Erfasst wurden grundsätzlich alle Arten. War eine Artbestimmung z. B. wegen großer Entfernung nicht möglich, so wurde das Taxon angegeben, welches noch sicher erkannt werden konnte (z. B. Seetaucher *Gavia spec.*). Schon während der Erfassungen wurden weiterhin tage- oder stundenweise solche Arten ausgeschlossen, von denen im Windparkareal oder in dessen unmittelbarer Umgebung nennenswerte Konzentrationen rastender und/oder nahrungssuchender Individuen vorhanden waren (z. B. Großmöwen). Solche Ansammlungen lassen eine Unterscheidung von ziehenden Individuen nicht mehr mit der angestrebten Zuverlässigkeit zu (vgl. Dierschke et al. 2005). In seltenen Fällen zogen einzelne Arten in so großer Häufung durch, dass eine Abgrenzung einzelner Zugereignisse nicht mehr möglich war. Während solcher Situationen wurde für die betroffene Art lediglich eine Summe durchziehender Individuen je Viertelstundenintervall angegeben. Solche Ereignisse blieben für die hier vorgestellten Analysen unberücksichtigt.

3. Datenanalyse

3.1 Diversität

In einem ersten Auswertungsverfahren wurde die Diversität der erfassten Zugvögel in Abhängigkeit der Blickrichtung untersucht. Der Begriff Diversität wird hier ausschließlich im Sinne von Mannigfaltigkeit verwendet. Wertende Aspekte (wie Beurteilungen eines Habitattyps aus Sicht des Artenschutzes, vgl. z. B. Burger et al. 1982) unterblieben hierbei. Art(-gruppen)bezogene Analysen erfolgten zusätzlich und standardmäßig, was die Beurteilung zu einer etwaigen Einflussnahme von WEA auf den Vogelzug im Offshore-Bereich ermöglicht.

Als Maß für Diversität wurde der Shannon-Wiener-Index (z. B. Zar 1996) verwendet. Hierbei werden sowohl die Artenvielfalt als auch die Individuen-Häufigkeiten aller Arten berücksichtigt. Für einen Datensatz registrierter Zugereignisse bestimmten Umfangs lässt sich ein dimensionsloser Wert für die Diversität errechnen und für jeden Blickrichtungssektor der Anteil daran bestimmen. Über alle Zugereignisse einer gesamten Zugperiode angewendet, würde sich jedoch nur ein Replikat für jeden Blickrichtungssektor ergeben. Aus diesem Grund wurde die Reihe chronologisch fortlaufender Zugereignisse aus Sektorenumläufen ohne Ersatzzählungen einer gesamten Zugperiode in Abschnitte definierter Länge unterteilt und das Verfahren für jede dieser Beobachtungsreihen durchgeführt. Für die Längenbestimmung der Beobachtungsreihen wurden 40 Zugereignisse als Mindestlänge gewählt. Diese Festlegung zur Mindestlänge ist als Kompromiss zwischen der Anzahl Zugereignisse einerseits und einer ausreichenden Replikatzahl andererseits zu verstehen. Auf diese Weise wurden für den Herbst 2011 in Abhängigkeit vom Gesamtumfang beobachteter Zugereignisse 16 Replikate zur anteiligen Diversität der registrierten Vogelwelt für alle Blickrichtungssektoren generiert.

Bei der Längenbestimmung der Beobachtungsreihen musste zusätzlich der gleiche Beobachtungsaufwand in allen vier Sektoren berücksichtigt werden, so dass die Abgrenzung einer Beobachtungsreihe nur nach Beendigung einer vollen Beobachtungsstunde (eines kompletten Sektorenumlaufs) möglich war. Die Längen der 16 Beobachtungsreihen unterschieden sich also und bewegten sich in einem Bereich von 41 bis 77 enthaltenen Zugereignissen (Abb. 2; n berücksichtigte Zugereignisse alle Beobachtungsreihen = 857; Median Beob-

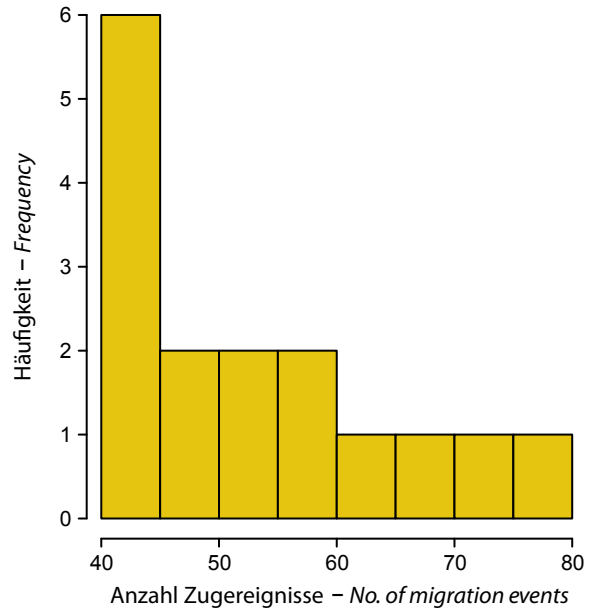


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Anzahl von Vogelzugereignissen je Beobachtungsreihe ($n = 16$) am Standort FINO1, Deutsche Bucht, im Herbst 2011. Bedingungen zur Abgrenzung von Beobachtungsreihen waren mindestens 40 chronologisch aufeinander folgende Zugereignisse und Beendigung einer vollen Beobachtungsstunde. – *Histogram of migration-events per observation series ($n = 16$) at FINO1, German Bight, in autumn 2011. In order to define a single observation series, a minimum of 40 consecutive migration events were needed and equal counting-efforts per sector were performed.*

achtungsserienlänge = 50,5 Zugereignisse; Mittelwert Beobachtungsserienlänge = 53,6 Zugereignisse). Die 16 Beobachtungsreihen umfassten 61 der möglichen 64 Sektorenumläufe, die in den letzten drei Sektorenumläufen verbliebenen 24 Zugereignisse waren somit überhängig und wurden für dieses Auswertungsverfahren nicht weiter berücksichtigt.

3.2 Taxaspezifische Häufigkeitsmuster

Betrachtungen auf Ebene des Taxons ermöglichen eine besonders differenzierte Betrachtung von Verhaltensmustern. Im Falle der Untersuchungen zur Diversität sind Aussagen darüber, welche Taxa und ihre Häufigkeitsverhältnisse wie zu einem Muster beitragen, limitiert. Um Toleranz, Meidung oder Attraktion von windparkbestandenen Meeresbereichen auf Art(-gruppen)niveau aufzeigen zu können, wurden in einem zweiten Auswertungsverfahren taxaspezifische Zugraten in Abhängigkeit der Blickrichtung ermittelt. Hierzu wurden für jedes Taxon diejenigen Sektorenumläufe herangezogen, in denen mindestens eine Sichtung erfolgte. Für jeden Einzelsektor einer solch taxonpositiven Beobachtungsstunde wurde eine Zugrate bestimmt (Zugereignis/Viertelstundenintervall). Als Eingangsgröße wurde die Anzahl der Zugereignisse und nicht die Individuenzahl gewählt. Auch Extrapolationen auf sonst üblicherweise als Stundenwerte ausgedrückte Zugraten unterblieben bewusst. Beides dient dazu, die Streuung der Daten für die statistische Auswertung nicht unnötig zu ver-

größern. Sektorenumläufe mit Ersatzzählungen blieben wie bei der Diversitätsanalyse unberücksichtigt. Hingegen mussten bei diesem Auswertungsverfahren grundsätzlich keine Längen von Beobachtungsreihen definiert werden, weshalb auch solche Sektorenumläufe mit einbezogen werden konnten, die sich im Falle der Diversitätsanalyse als überhängig erwiesen hatten.

In einem weiteren Schritt wurde taxonspezifisch zwischen windparkabgewandter (NW, SW) und windparkzugewandter Blickrichtung (NE, SE) unterschieden und zusätzlich auch für jeden Einzelsektor Zugereignisraten ermittelt.

Das zu wählende Niveau auf Ebene des Taxons hing vor allem vom Stichprobenumfang taxonpositiver Sektorenumläufe ab. Als Untergrenze wählten wir 25 % taxonpositiver Sektorenumläufe bzw. mindestens 15 Sektorenumläufe je Zugperiode. Im Herbst 2011 waren diese Kriterien bereits für zwölf Arten(-gruppen) erfüllt. Am Beispiel des Basstölpels wird die Auswertung exemplarisch vorgestellt.

3.3 Statistik

Für die statistische Auswertung der Diversitätsanteile je Blickrichtungssektor wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) mit vier Faktorstufen (den gewählten Sektoren entsprechend) durchgeführt. Die Grundvoraussetzungen zur Anwendung dieses Verfahrens wurden folgendermaßen überprüft: Auf Normalverteilung der Residuen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test und auf Varianzhomogenität mit Bartlett's Testverfahren (z. B. Underwood 1997) geprüft. Unterschiede zwischen den Faktorstufen wurden mit dem Post-hoc-Test nach Tukey (z. B. Underwood 1997) näher spezifiziert und getestet.

Um den Einfluss der Blickrichtung (Faktor mit festen Effekten) auf die Zugereignisrate von Basstölpeln zu testen (poissonverteilte Zählungen), wurde unter Berücksichtigung des Datums als Faktor mit zufälligen Effekten ein verallgemeinertes lineares gemischtes Modell (GLMM) gerechnet. In zwei getrennten Analysen wurde als Blickrichtung (1) die Ausrichtung zum Windpark (windparkzu- bzw. -abgewandt) und (2) die sektorenscharfe Blickrichtung (SW, NW, NE und SE) untersucht.

Insbesondere auch angesichts vieler vorhandener Nullwerte in beiden Datensätzen wurde hinsichtlich „overdispersion“ kontrolliert. In poissonverteilten Daten entspricht der Mittelwert idealerweise der Varianz. Weicht das Verhältnis dieser beiden Parameter deutlich von 1 ab (> 2), weist dies auf eine Varianz hin, die größer ist als der gegebene Mittelwert, was eine starke Verzerrung („overdispersion“) in der Verteilung der Daten zur Folge hätte. Vorliegend betragen die Verhältniswerte im Rahmen der Auswertungen zum Basstölpel für (1) 0,71 und für (2) 0,87. Somit konnte „overdispersion“ ausgeschlossen werden. Weiterhin wurden die Datensätze jeweils auf das Vorhandensein einzelner besonders Einfluss nehmender Datenpunkte hin durchsucht. Dazu wurde unter einmaliger Vernachlässigung jedes Einzelwertes je ein Modell gerechnet und auf stark abweichende Modellkoeffizienten gegenüber dem vollumfänglichen Anfangsmodell hin überprüft. Dies war in keinem Fall gegeben, weshalb im Falle der Basstölpel-Analysen keine Datenpunkte einer Revision unterzogen werden mussten.

Sämtliche Berechnungen erfolgten mit der Statistiksoftware R (R Development Core Team 2011), wobei für die GLMMs die Funktion `glmer` aus dem package `lme4` (Bates et al. 2011) verwendet wurde.

4. Ergebnisse

4.1 Diversität

In Abb. 3 sind die Artenzusammensetzung und die relativen Häufigkeitsverhältnisse der Herbstperiode 2011 auf Individuenbasis dargestellt. Des Weiteren sind in Tab. 1 die abzugrenzenden Beobachtungsreihen, die Zahl der enthaltenen Zugereignisse, die Anzahl beobachteter Individuen und Arten(-gruppen) sowie die sich daraus ableitenden Shannon-Wiener-Indexwerte zur Diversität je Blickrichtungssektor aufgeführt.

Die Diversität der im Herbst 2011 registrierten Zugvögel unterschied sich in Abhängigkeit der Blickrichtung (ANOVA: $F_{3,60} = 11,84$, $p < 0,001$). Die Ergebnisse zeigen, dass die aviäre Vielfalt in solchen Bereichen reduziert war, die vom Windpark eingenommen werden. Im Mittel wurden in den beiden **windparkzugewandten** Sektoren NE und SE je Beobachtungsreihe Diversitätsanteile von 18,6 % bzw. 16,5 % erreicht, die sich nicht voneinander unterschieden (Tukey's Post-hoc-Test: $p > 0,05$). Die Spanne bewegte sich zwischen 6,7-34,0 % bei Blickrichtung NE bzw. 4,9-34,6 % bei Blickrichtung SE. **Windparkabgewandte** Blickrichtungen ergaben demgegenüber **etwa doppelt so hohe mittlere Diversitätsanteile** (NW: 31,8 %; SW: 33,1 %) bei Spannweiten von 8,7-60,1 % (NW) bzw. 18,5-56,7 % (SW) anteiliger Diversität. Die Blickrichtungen NW und SW unterschieden sich nicht voneinander (Tukey's Post-hoc-Test: $p > 0,05$). **Windparkzugewandte Sicht** erbrachte demnach **geringere Diversitätsanteile** sowohl für den NE-Sektor als auch den SE-Sektor im Vergleich zu den windparkabgewandten Sektoren NW und SW (Tukey's Post-hoc-Test: jeweils $p < 0,05$; Abb. 4).

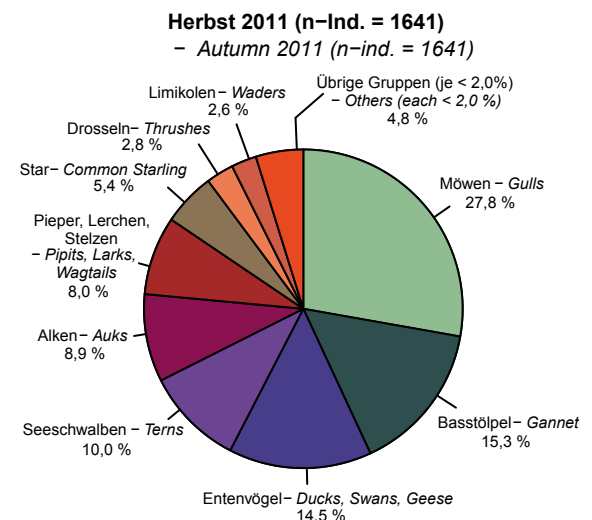


Abb. 3: Relative Häufigkeit registrierter Arten(-gruppen) innerhalb von 16 zur Diversitätsprüfung gebildeter Beobachtungsreihen. - *Relative abundance of migrating bird taxa observed at FINO1 in autumn 2011 within 16 defined series of observations.*

Tab. 1: Übersicht zum Diversitätsindex (Shannon-Wiener-Index). Zusätzlich ist die anteilige Diversität für jede Blickrichtung angegeben. – *Overview of the diversity-index (Shannon-Wiener-index) scored by each defined observation-series. Additionally, the share of diversity observed per sector is given.*

Beobachtungsserie	Beginn	Ende	n-Stundenaufwand	n-Zugereignisse	n-Ind.	n-Arten-(-gruppen)	Diversitätsindex	Sektor	n-Zugereignisse	n-Ind.	n-Arten-(-gruppen)	Diversitätsanteil [%]
1	25.07.	11.08.	8	43	70	13	1,98	NW	6	7	5	13,7
								SW	15	30	6	39,6
								SE	8	12	4	13,9
								NE	14	21	6	32,8
2	11.08.	16.08.	5	41	49	16	2,24	NW	8	8	5	18,3
								SW	19	25	10	46,8
								SE	12	13	7	26,2
								NE	2	3	2	8,6
3	16.08.	24.08.	5	44	58	18	2,51	NW	15	20	12	38,1
								SW	18	23	9	38,5
								SE	5	6	3	9,0
								NE	6	9	5	14,4
4	24.08.	05.09.	10	46	94	15	2,39	NW	15	37	7	36,1
								SW	16	19	7	22,5
								SE	10	32	9	34,6
								NE	5	6	4	6,9
5	05.09.	22.09.	4	51	70	15	1,71	NW	14	21	9	39,3
								SW	24	33	10	49,2
								SE	4	6	2	4,9
								NE	9	10	2	6,7
6	22.09.	23.09.	3	71	93	14	1,71	NW	22	30	7	34,2
								SW	27	31	5	29,9
								SE	11	16	5	15,4
								NE	11	16	5	20,5
7	23.09.	27.09.	2	50	100	16	2,22	NW	7	7	5	8,7
								SW	21	60	11	56,7
								SE	10	20	5	19,9
								NE	12	13	6	14,7
8	27.09.	19.10.	3	59	95	18	2,34	NW	23	33	10	35,1
								SW	14	25	9	27,1
								SE	10	18	7	19,0
								NE	12	19	7	18,9

Tab. 1: Fortsetzung.

Beobachtungsserie	Beginn	Ende	n-Stundenaufwand	n-Zugereignisse	n-Ind.	n-Arten(-gruppen)	Diversitätsindex	Sektor	n-Zugereignisse	n-Ind.	n-Arten(-gruppen)	Diversitätsanteil [%]
9	19.10.	19.10.	2	61	78	8	1,57	NW	21	29	6	37,2
								SW	19	23	4	28,3
								SE	8	11	4	13,8
								NE	13	15	5	20,7
10	19.10.	19.10.	2	60	91	6	1,35	NW	25	39	5	38,9
								SW	14	19	5	23,1
								SE	5	7	3	12,1
								NE	16	26	4	25,9
11	20.10.	20.10.	2	77	108	12	2,04	NW	26	32	7	27,2
								SW	23	33	9	32,5
								SE	11	17	5	16,6
								NE	17	26	6	23,7
12	20.10.	20.10.	2	66	98	11	1,55	NW	21	37	7	36,5
								SW	17	18	6	21,1
								SE	11	21	5	22,4
								NE	17	22	5	19,9
13	20.10.	26.10.	2	45	97	12	2,07	NW	13	26	8	30,9
								SW	11	20	6	18,5
								SE	10	14	5	16,6
								NE	11	37	6	34,0
14	26.10.	26.10.	3	55	206	12	1,85	NW	14	58	8	27,8
								SW	15	67	6	29,8
								SE	12	55	5	25,6
								NE	14	26	8	16,8
15	26.10.	27.10.	3	43	87	15	2,31	NW	13	24	7	26,3
								SW	15	35	9	42,4
								SE	3	5	3	6,7
								NE	12	23	5	24,5
16	27.10.	11.11.	5	45	247	17	1,57	NW	19	153	10	60,1
								SW	14	69	8	23,8
								SE	7	8	6	7,9
								NE	5	17	5	8,2
16	25.07.	11.11.	61	857	1641	64						

Tab. 2: Übersicht zu Häufigkeiten auf Ebene des Taxons und zugökologischer Ähnlichkeit in Abhängigkeit von der Blickrichtung. Kursiv geschriebene Zahlen sind nicht in den Summen enthalten – *Overview of taxa-specific frequencies observed in different sectors. In single cases, groups of similar migratory ecology were defined.*

Artengruppe	Art	Sektorenumlauf						Blickrichtung (Sektor)						Phänologie			
		n-Ind.	Anteil [%]	n-art (-gruppen) positiv	n-Arten	SW		NW		NE		SE		von	bis	Stunden- max.	Datum Stunden- max.
						n-Ind.	Anteil [%]	n-Ind.	Anteil [%]	n-Ind.	Anteil [%]	n-Ind.	Anteil [%]				
Anatidae		251	14,91	17	9	73	13,25	151	26,17	18	5,66	9	3,80	16,08.	16.11.	104	11.11.
Sulidae	Bass- töpel	251	14,91	37	1	91	16,52	75	13,00	53	16,67	32	13,50	25,07.	11.11.	31	23.09.
Laridae, Groß- möwen		69	4,10	26	3	28	5,08	19	3,29	6	1,89	16	6,75	16,08.	16.11.	8	20.10.
Laridae, Klein- möwen (Lach-/ Sturmmöwe)		150	8,91	24	2	28	5,08	31	5,37	33	10,38	58	24,47	16,08.	16.11.	34	26.10.
	Lach- möwe	78	4,63	16	1	10	1,81	15	2,60	17	5,35	36	15,19	16,08.	16.11.	24	26.10.
	Sturm- möwe	72	4,28	16	1	18	3,27	16	2,77	16	5,03	22	9,28	16,08.	16.11.	15	11.11.
Laridae, Klein- möwen (Dreize- hen-/Zwergmö- we)		250	14,85	34	3	67	12,16	101	17,50	57	17,92	25	10,55	25,07.	16.11.	30	20.10.
	Dreize- henmöwe	237	14,08	28	1	66	11,98	97	16,81	49	15,41	25	10,55	11,08.	11.11.	29	20.10.
Sternidae		164	9,74	33	4	58	10,53	48	8,32	29	9,12	29	12,24	25,07.	27.09.	14	22.09.
Alcidae		152	9,03	23	3	55	9,98	51	8,84	33	10,38	13	5,49	22,09.	16.11.	29	20.10.
Passeriformes		294	17,47	17	8	110	19,96	68	11,79	69	21,70	47	19,83	23,09.	16.11.	91	26.10.
Übrige Arten		102	6,06	40	22	41	7,44	33	5,72	20	6,29	8	3,38	25,07.	16.11.	10	25.08.
		1683	100		55	551	100	577	100	318	100	237	100				

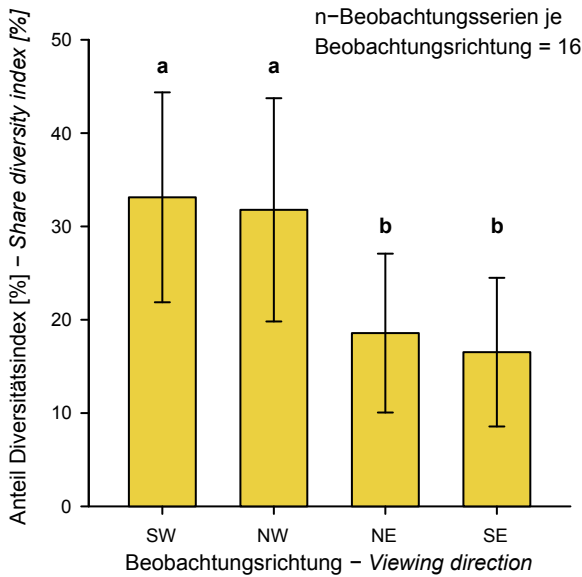


Abb. 4: Diversitätsanteile je Blickrichtung (Shannon-Wiener-Index). Für Beobachtungsserien mit 41 bis 77 Zugereignissen konnten Diversitätsanteile je Blickrichtung ermittelt werden (Standardabweichung jeweils gegeben). Gleiche Buchstaben weisen auf fehlende Unterschiede, unterschiedliche Buchstaben auf bestehende Unterschiede hin. - *Share of diversity (Shannon-Wiener-index) for each sector covering 16 sets of observations of migrating birds. Set length ranges from 41 to 77 migration events (error bars = SD). Different letters indicate significant differences.*

4.2 Taxaspezifische Häufigkeitsmuster

Im Herbst 2011 wurden im Zeitraum zwischen dem 25.07. und dem 11.11.2011 im Rahmen eines 64-stündigen Beobachtungsaufwands insgesamt 1.683 Vögel aus 55 Arten erfasst. Zwölf Taxa konnten in mindestens 16 Stunden (= art[-gruppen]positive Sektorenumläufe) registriert werden (Tab. 2), für die ein Vergleich von Zugereignisraten möglich war.

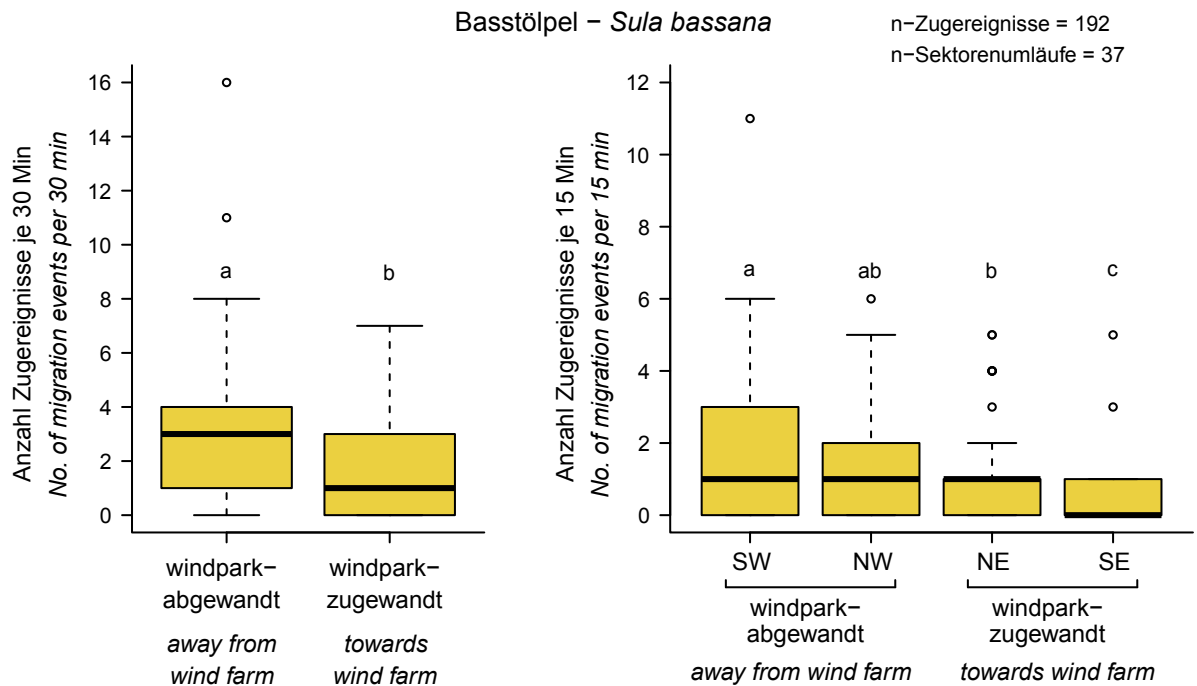


Abb. 5: Zugereignisraten während artpositiver Beobachtungsstunden (n = 37) der registrierten Basstölpel *Sula bassana* (n-Zugereignisse = 192, n-Individuen = 251) in Abhängigkeit von Blickrichtung und Lage des Windparks „alpha ventus“ (links) und unter sektorenscharfer Auflösung (rechts). Gleiche Buchstaben weisen auf fehlende Unterschiede, unterschiedliche Buchstaben auf bestehende Unterschiede hin (jeweils GLMM). Die Boxplots geben den gesamten Wertebereich an. Die graue Box gibt die mittleren 50% aller Werte (untere Linie 25% Quartil, obere Linie 75% Quartil) an sowie den Median (fettgedruckte Linie). Die Antennen („whiskers“) nehmen Werte an, die maximal dem 1,5-fachen Interquartilsabstand entsprechen. Werte außerhalb dieser Bereiche werden als Einzelpunkte dargestellt (Kreise). - *Rates of migration events of Gannets *Sula bassana* (n-migration events = 192, n-individuals = 251) per sector (right) and per windfarm directedness (left). Different letters indicate significant differences (each GLMM). Boxplots depict the entire data range. The grey boxes indicate the mid 50% of all values (lower border 25% quartile, upper border 75% quartile) as well as the median (bold line). Whiskers indicate at maximum a distance of 1.5-times the inter-quartile range. Values exceeding this distance are indicated as individual points (open circles).*

Im Herbst 2011 war der Basstöpel mit 14,9 % relativer Häufigkeit ($n = 251$ Individuen) die am häufigsten festgestellte Art der gesamten Zugperiode (Tab. 2), weshalb wir diese Art als Beispiel einer artbezogenen Analyse vorstellen möchten. Beobachtungen von Basstöpelern erstreckten sich über den gesamten Erfassungszeitraum. Ende September war das Vorkommen besonders stark ausgeprägt, wie das am 23.09. erreichte Stundenmaximum belegt, als innerhalb eines Sektorenumlaufs 31 Individuen beobachtet wurden (Tab.2). Die relative Häufigkeit je Blickrichtung bewegte sich in einem schmalen Wertebereich zwischen 13,0 % (NW-Sektor) und 16,7 % (NE-Sektor). Die absoluten Häufigkeiten waren allerdings stark unterschiedlich, wie die zugperiodenumfassend beobachteten 91 Individuen im SW-Sektor bzw. 32 Individuen im SE-Sektor zeigen (Tab. 2). Beobachtungen erfolgten in 37 Beobachtungsstunden, womit 37 Zugereignisraten je Sektor \times Zeiteinheit in die Analyse eingehen konnten.

Basstöpel erreichten besonders hohe Zugereignisraten in windparkabgewandten Sektoren (Abb. 5 links; Likelihood ratio Test, $\chi^2 = 15,394$, $p < 0,001$) und waren dort auch regelmäßiger anzutreffen (32 h vs. 27 h). Für windparkabgewandte Blickrichtungen ergab sich eine mittlere Zugereignisrate von 3,32 Basstöpelern/halbe Stunde bei einem Zugereignisraten-Median von 3,0, das Maximum betrug 16 Basstöpel-Zugereignisse/halbe Stunde am 23.09.2011. In windparkzugewandten Blickrichtungen wurden im Mittel dagegen nur 1,86 Basstöpel-Zugereignisse/halbe Stunde festgestellt, der Median betrug 1,0. Das ebenfalls am 23.09.2011 aber eine Stunde später erreichte Maximum betrug für die windparkabgewandten Blickrichtungen sieben Basstöpel-Zugereignisse/halbe Stunde.

Auch unter sektorenscharfer Auflösung zeigte die Analyse Unterschiede auf (Likelihood ratio Test: $\chi^2 = 26,813$, $FG = 3$, $p < 0,001$). Den Ergebnissen zufolge wurde die höchste mittlere Zugereignisrate mit Blickrichtung SW (windparkabgewandt) erreicht (1,95 Zugereignisse/Viertelstunde), eine mit 0,62 Zugereignissen/Viertelstunde besonders niedrige hingegen im windparkzugewandten SE-Sektor (t-Test: $p < 0,001$, Abb. 5 rechts). Die mittleren Zugraten im NW- (windparkabgewandt) und NE-Sektor (windparkzugewandt) betrugen 1,38 bzw. 1,24 Zugereignisse/Viertelstunde und nehmen demnach eine Mittelstellung ein, ohne sich voneinander zu unterscheiden (t-Test: $p > 0,05$). Beide unterscheiden sich aber vom SE-Sektor (t-Test: p jeweils $< 0,01$). Gegenüber dem am stärksten frequentierten SW-Sektor befliegen Basstöpel den NE-Sektor in verminderter Häufigkeit (t-Test: $p < 0,01$). Die Häufigkeit von Basstöpel-Zugereignissen im NW-Sektor unterschied sich hingegen nicht von der im ebenfalls windparkabgewandten SW-Sektor (t-Test: $p > 0,05$).

Nicht unerwähnt bleiben sollte, dass im Falle windparkzugewandter Blickrichtung lediglich drei der beobachteten Individuen innerhalb des vom Windpark ein-

genommenen Areal initial entdeckt wurden. Eines der Individuen folgte dabei einem im Windpark fahrenden Schiff. Generell gelten Basstöpel als ausgeprägte Schiffsfolger (z. B. Garthe & Hüppop 1994), und mehrfach wurden sie während der Untersuchungen dabei beobachtet, wie sie Flüge hinter Schiffen kurz vor Querung der Außengrenze des Windparks abbrachen.

5. Diskussion

Planbeobachtungen ziehender Vögel unterliegen im Hinblick auf ihre Vergleichbarkeit stets einer Beeinflussung verschiedener Faktoren (Krüger & Garthe 2002; Dierschke et al. 2005), eine besondere Rolle kommt hierbei den Sichtbedingungen zu. Gemeinhin können vor allem sichtmindernde Beeinträchtigungen durch Luftflimmern, Dunst, Nebel, Gischt und Wellengang sowie Gegenlicht auftreten (Bailey & Bourne 1972; Duffy 1983; Camphuysen & van Dijk 1983). Auch bei Rückseitenwetterlage nach dem Durchzug einer Kaltfront mit zumeist guten Sichtbedingungen kann während des Durchzugs von Regenschauern die Sicht für einige Zeit eingeschränkt sein. Auf unterschiedlichen Sichtweiten beruhende Unterschiede können im hier vorgestellten Verfahren weitgehend ausgeschlossen werden, da in jedem Sektor mit einheitlichem Aufwand zu annähernd gleicher Zeit (auf Stundenbasis) und somit unter vergleichbaren Sichtbedingungen erfasst wurde. Die sektorielle Beprobung ermöglicht also einen gegenüber den Einwirkungen von Sicht beeinflussenden Phänomenen weitgehend resistenten Analyseansatz.

Zusätzlich ist die Methode robust gegenüber interannueller Variation im Zuggeschehen, die sich durch jahresweise Schwankungen zahlreicher Variablen ergibt. Vor allem Wetterphänomene dürften besonders oft die ortsspezifisch stark unterschiedlichen Zugintensitäten in verschiedenen Jahren modifizieren und können innerhalb des für jede Art genetisch vorgegebenen Zugzeitfensters leicht zu abweichenden Zugintensitätsgipfeln führen. Hinzu treten zahlreiche artimmanente Faktoren, welche die jahresweisen Durchzugsmuster insbesondere in der Stärke ihrer Ausschläge beeinflussen können. Unter vielen weiteren zählen hierzu z. B. der vorangegangene Bruterfolg in den Brutgebieten (Wegzug) oder unterschiedlich hohe winterliche Mortalität (Heimzug), die ganz entscheidend zur Anzahl vorhandener Zugvögel beitragen. Im Rahmen der Planbeobachtungen gemäß StUK sind nur wenige Tage pro Monat zu beproben, welche die möglichen Schwankungen in der Amplitude zwischen den Jahren nur unzureichend abbilden können, so dass die Ergebnisse einen äußerst zufälligen Charakter haben. Aussagen zu Reaktionen von Zugvögeln auf Offshore-Windparks allein auf der Basis von Zugraten sind daher aus unserer heutigen Sicht unzulässig. Zugraten helfen aber weiterhin bei der Ermittlung artspezifischer Zugwege und können deren Bedeutung im großräumigen Kontext

offenbaren. Damit liefern sie nach wie vor wichtige Basisinformationen und lassen sich auch in der hier vorgestellten Erhebungsmethode errechnen, indem der Faktor Blickrichtung unberücksichtigt bleibt.

Gegenüber der herkömmlichen Verfahrensweise zur Durchführung und Auswertung von Zugplanbeobachtungen haben die hier vorgestellten kleinen Ergänzungen zur Standardisierung der Blickrichtung den Vorteil, dass die Erfassung von Vogelzug in Windparkarealen und WEA-freien Meeresbereichen zeitlich hinreichend synchron (auf Stundenbasis) angelegt ist. Eine Beurteilung der unterschiedlichen Frequentierung der vom Windpark beeinflussten bzw. unbeeinflussten Bereiche ist möglich, sobald ein gewisser Mindeststichprobenumfang nach statistischen Erwägungen erreicht ist. Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten in den Häufigkeiten von Zugereignisraten der beiden gegenübergestellten Meeresbereiche können nunmehr frei vom Einfluss zwischenjähriger Schwankungen und allein vor dem Hintergrund eines errichteten Windparks betrachtet werden. Über eine Ausweitung dieser Untersuchungsmethode auf mehrere Zugperioden wird überdies eine zunehmende Zahl an überprüfbareren Arten(-gruppen) erreicht und die Aussagekraft je Taxon aufgrund steigender Stichprobenumfänge erhöht. Doch auch die Ergebnisse schon nach nur einer Zugperiode belegen eine Reduktion der aviären Vielfalt, sobald die Blickrichtung dem Windpark zugewandt war. Gleichzeitig wurden für eine Reihe untersuchter Arten(-gruppen) erhöhte Zugereignisraten in vom Windpark abgewandter Blickrichtung festgestellt, was wir hier am Beispiel des besonders häufigen Basstölpels demonstrieren haben.

Von den 426 bis Ende 2010 auf Helgoland nachgewiesenen Vogelarten (Dierschke et al. 2011) durchqueren fast 200 Arten alljährlich den Bereich um Helgoland (Dierschke et al. 2004). Wird der Betrachtungsraum auf die Deutsche Bucht ausgeweitet, erhöht sich die Zahl der alljährlich festgestellten Arten auf ca. 250 für den südlichen Nordseebereich (Dierschke et al. 2003). Über die Formulierung eines Zielwerts, für wie viele der den projektierten Planungsraum für Offshore-Windparks regelmäßig passierenden Zugvögel die hier vorgestellte Analyse durchgeführt werden sollte, erscheint es perspektivisch in relativ kurzer Zeit möglich, die Effekte von Offshore-Windparks auf das Verhalten tagsüber ziehender Vogelarten belastbar darstellen zu können. Zur Erfüllung des Zielwertes könnten Studien aus verschiedenen Bereichen der Deutschen Bucht kumulativ betrachtet werden. Dies würde Auswirkungen im großräumigen Maßstab beurteilungsfähig machen.

Beispielsweise prognostizierten Busch et al. (2013) durch die großräumige Betrachtung der ganzjährigen Basstölpel-Verteilung im gesamten Nordseebereich, dass der kumulative Lebensraumverlust durch die derzeit in der Nordsee geplanten Offshore-Windparks für diese Art zwischen 1,82 % und 6,95 % je nach Ausbau-szenario liegen könnte.

Schon in der Planungsphase sollte die festgestellte artbezogene Reaktion dann großräumig in Form von effektiven Konzepten zur Minderung negativer Einflussnahme berücksichtigt werden. Beispielsweise könnten unter Berücksichtigung von artbezogenem Meideverhalten Mindestabstände zwischen Windparks festgelegt werden, um die Wanderung der Vögel möglichst wenig zu behindern.

Dank

Wir danken Fränzi Korner-Nievergelt und Roger Mundry für wertvolle Hinweise zur statistischen Datenanalyse. Insbesondere danken wir R. Mundry für die freundliche Bereitstellung einer selbstgeschriebenen Funktion zur Berechnung des Dispersionsparameters in Modellen mit poissonverteilten Daten. Für die Durchsicht früherer Manuskriptversionen sind wir Volker Dierschke, Jochen Dierschke und Ommo Hüppop dankbar. Klaas Felix Jachmann nahm für uns Entfernungsmessungen mit einem Laserentfernungsmesser vor.

Der Deutschen Offshore-Testfeld und Infrastruktur-GmbH & Co. KG (DOTI) und der Stiftung Offshore-Windenergie danken wir für die Finanzierung der Sichtbeobachtungen und Helikopterflüge im Rahmen des StUK-Monitorings für den ersten deutschen Offshore-Windpark „alpha ventus“. Die Methodenentwicklung erfolgte teilweise innerhalb des Forschungsvorhabens „Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben „alpha ventus“ zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH – StUK-plus“ (weitere Informationen unter http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Projekte/RAVE/Oekologische_Begleitforschung.jsp, letzter Zugriff 11.12.2012) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, das mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 0327689A gefördert wird. Die ökologische Begleitforschung ist Teil der Forschungsinitiative „Research at alpha ventus“ (RAVE, <http://rave.iwes.fraunhofer.de/rave/pages/welcome>, letzter Zugriff 11.12.2012).

6. Zusammenfassung

Zu den potenziellen Beeinflussungen von Zugvögeln durch Offshore-Windparks zählt die Barrierewirkung für fliegende Vögel infolge Meideverhaltens oder aber die Anlockung durch Attraktion. Obwohl andernorts Meideverhalten für einzelne Arten belegt ist, konnte deren Existenz im Rahmen des durchgeführten Effektmonitorings im Bereich der Deutschen Bucht bisher nicht nachgewiesen werden. Werden methodische Anpassungen vorgenommen, wie in dieser Arbeit beschrieben, lassen sich fundierte Aussagen zu Reaktionen von Zugvögeln gegenüber Offshore-Windparks auch im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien ableiten. Der Vergleich von Zugplanbeobachtungen in verschiedenen Blickrichtungssek-

toren im Nahbereich von „alpha ventus“ zeigt, dass Basstöpel und weitere Vogelarten in den windparkzugewandten Raumsektoren in geringerer Häufigkeit auftreten. Dies lässt auf eine Meidereaktion schließen.

7. Literatur

- Bailey RS & Bourne WRP 1972: Counting birds at sea. *Ardea* 60: 124-127.
- Bates D, Maechler M & Bolker B 2011: lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigen. R package version 0.999375-42. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2007: Standard Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK 3). BSH-Nr. 7003, Hamburg, Rostock.
- Burger J, Shisler J & Lesser FH 1982: Avian utilisation on six salt marshes in New Jersey. *Biol. Conserv.* 23: 187-211.
- Busch M, Kannen A, Garthe S & Jessopp M 2013: Consequences of a cumulative perspective on marine environmental impacts: Offshore wind farming and seabirds at North Sea scale in context of the EU Marine Strategy Framework Directive. *Ocean and Coastal Management* 71: 213-224.
- Camphuysen CJ & van Dijk J 1983: Zee- en kustvogels langs de Nederlandse kust, 1974-79. *Limosa* 56, special issue: 83-211.
- Desholm M & Kahlert J 2005: Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biol. Lett.* 1: 296-298.
- Dierschke J, Dierschke V, Hüppop K, Jachmann F & Hüppop O 2011: Die Vogelwelt der Insel Helgoland. OAG Helgoland, Helgoland.
- Dierschke J, Dierschke V & Krüger T 2005: Anleitung zur Planbeobachtung des Vogelzugs über dem Meer ("Seawatching"). *Seevögel* 26: 2-13.
- Dierschke V 2003: Quantitative Erfassung des Vogelzugs während der Hellphase bei Helgoland. *Corax* 19, Sonderh. 2: 27-34.
- Dierschke V, Dierschke J & Stühmer F 2004: Ein Index zur Beurteilung von Beobachtungsintensität und avifaunistischer Dokumentation auf Helgoland. *Ornithol. Jber. Helgoland* 14: 90-99.
- Dierschke V, Hüppop O & Garthe S 2003: Populationsbiologische Schwellen der Unzulässigkeit für Beeinträchtigungen der Meeresumwelt am Beispiel der in der deutschen Nord- und Ostsee vorkommenden Vogelarten. *Seevögel* 24: 61-72.
- Duffy DC 1983: The effect of wave height on bird counts at sea. *Cormorant* 11:21-23.
- Garthe S & Hüppop O 1994: Distribution of ship-following seabirds and their utilization of discards in the North Sea in summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 106: 1-9.
- Grönross J, Green M & Alerstam T 2012: To fly or not to fly depending on winds: shorebird migration in different seasonal wind regimes. *Anim. Behav.* 83: 1449-1457.
- Hüppop K, Dierschke J, Dierschke V, Jachmann KF & Hüppop O 2010: Phänologie des „sichtbaren“ Vogelzugs über der Deutschen Bucht. *Vogelwarte* 48: 181-267.
- Hüppop K, Dierschke J, Hill R & Hüppop O 2012: Jahres- und tageszeitliche Phänologie der Vogelrufaktivität über der Deutschen Bucht. *Vogelwarte* 50: 87-108.
- Krijgsveld KL, Fijn RC, Heunks C, van Horssen PW, de Fouw J, Collier M, Poot MJM, Beuker D. & Dirksen S 2011: Effect studies Offshore Wind Farm Egmond aan Zee. Final report on fluxes, flight altitude and behaviour of flying birds. Noordzeewind report nr OWEZ_R_231_T1_20111114_flux&flight. http://www.noordzeewind.nl/wp-content/uploads/2012/03/OWEZ_R_231_T1_20111114_2_fluxflight.pdf. (letzter Zugriff: 10.01.2013)
- Krüger T & Garthe S 2002: Vorkommen ausgewählter See- und Küstenvögel vor Wangerooge: Der Einfluss von Windrichtung und -stärke. *J. Ornithol.* 143: 155-170.
- Meltofte H, Pihl S & Møller Sørensen B 1972: Efterårstrækket af vadefugle (*Charadrii*) ved Blåvandshuk 1963-1971. *Dansk Ornithol. Foren. Tidsskr* 66: 63-69.
- R Development Core Team 2011: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>.
- Underwood AJ 1997: *Experiments in Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zar JH 1996: *Biostatistical Analyses*. 3rd edition Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.