

Schlussbericht



Zuwendungsempfänger:
Forschungs- und Entwicklungszentrum
Fachhochschule Kiel GmbH

Förderkennzeichen:
0327533C

Vorhabensbezeichnung:
Betrieb der FINO3-Forschungsplattform 2012-2017

Laufzeit des Vorhabens:
01.07.2012 – 30.09.2015

Anbieter des Auftrags:
Avitec Research GbR Katrin und Reinhold Hill

Vorhaben des Anbieters:
Weiterführende Messungen zur Vogelzugforschung auf der Forschungsplattform FINO3
zeitgleich mit dem Bau eines großen Offshore-Windparks in der nördlichen Deutschen Bucht -
OFFSHOREBIRDS

„Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums
für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0327533C gefördert. Die
Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren.“

Autoren: Ralf Aumüller, Reinhold Hill (Projektleitung), Dr. Maren Rebke, Katrin Hill,
Christiane Weiner

Weiterführende Messungen zur
Vogelzugforschung auf der
Forschungsplattform FINO3 zeitgleich
mit dem Bau eines großen Offshore-
Windparks in der nördlichen
Deutschen Bucht

OFFSHOREBIRDS

Auftrags-Nr. 11083-K

Abschlussbericht

Dezember 2015



Avitec Research GbR

Ralf Aumüller

Reinhold Hill (Projektleitung)

Dr. Maren Rebke

Katrin Hill

Christiane Weiner

Avitec Research GbR

Katrin & Reinhold Hill

Sachsenring 11

27711 Osterholz-Scharmbeck

Email: mail@avitec-research.de

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	13
1. Einleitung	14
1.1 Spannungsfeld Kollisionen & Barrierewirkung	15
1.2 Stand von Wissenschaft und Technik	24
1.2.1 Phänomen Vogelzug	24
1.2.2 Wetter & Energetik	25
1.2.3 Untersuchungstechniken	34
2. Methoden	36
2.1 Horizontalradar	36
2.1.1 Technische Angaben, Funktionsweise	36
2.1.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren	37
2.1.3 Erfassungszeiträume	41
2.1.4 Möglichkeiten & Grenzen	41
2.2 Automatisierte Ruferfassung	44
2.2.1 Technische Angaben & Funktionsweise	44
2.2.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren	44
2.2.3 Erfassungszeiträume	47
2.2.4 Möglichkeiten & Grenzen	48
2.3 Videoerfassung	50
2.3.1 Technische Angaben & Funktionsweise	50
2.3.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren	50
2.3.3 Erfassungszeiträume	52
2.3.4 Möglichkeiten & Grenzen	53
2.4 Totfundregistrierung	53
2.4.1 Erfassungszeiträume, Datenaufnahme, Auswertungsverfahren	53
2.4.2 Möglichkeiten & Grenzen	54
2.5 Lichtintensitätsmessung	56
2.5.1 Technische Angaben, Funktionsweise	56
2.5.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren	57
2.5.3 Erfassungszeiträume	59
2.5.4 Möglichkeiten & Grenzen	59
2.6 Weiterführende Analysen: Konzeption & Statistik	60
2.6.1 Annäherung an FINO 3 in Abhängigkeit von der Umgebungshelligkeit	60
2.6.2 Modellierung Vorher-/Nachher-Vergleich (BAC)	62
2.6.3 Vorhersage der Vogelzugstärke an einem Offshore-Standort in Abhängigkeit von Wetterbedingungen in den Aufbruchsgebieten und unterwegs (Wettermodellierung)	64
2.6.3.1 Hintergrund	64
2.6.3.2 Datenaufbereitung	67
2.6.3.3 Modellierung	68
2.6.4 Exposition = Gefährdung? Was die Phänologien von Zugvögeln in der Deutschen Bucht verraten	73
2.6.4.1 Kollisionen von Zugvögeln – termingerecht?	73
2.6.4.2 Nächtliche Annäherung von Zugvögeln – termingerecht?	77
2.6.4.3 Nächtliche Flugbewegungen von Zugvögeln – termingerecht?	78

2.6.5	Tagesgang	80
3.	Ergebnisse & Diskussion	81
3.1	Vogelzugmuster am Standort FINO 3 in Raum & Zeit.....	81
3.1.1	Horizontalradar	82
3.1.1.1	Phänologie.....	82
3.1.1.2	Tageszeitliche Muster	90
3.1.1.3	Zugrichtungen.....	93
	(links) sowie die gemessene mittlere Zugintensität als tageweises Stundenmittel (rechts) am Standort FINO 3. Rho ist als statistisches Maß für die Gerichtetheit der Tracks angegeben.	95
3.1.1.4	Zughöhen	95
3.1.2	Automatische Zugruferfassung 2010-2014.....	99
3.1.2.1	Erfasste Arten	100
3.1.2.2	Phänologie.....	109
3.1.2.3	Phänologie & Tageszeit Einzelarten	114
3.1.3	Totfunde.....	132
3.1.3.1	Betroffene Arten.....	132
3.1.3.2	Phänologie.....	133
3.1.4	Lichtmessung.....	134
3.1.5	Video	135
3.1.5.1	Erfasste Arten	135
3.1.5.2	Phänologie	138
3.2	Vogelzugmuster am Standort FINO 3: Änderungen durch den Bau von DanTysk?.....	150
3.2.1	Nächtliche Rufraten vor und nach Bau von Dan Tysk (BAC).....	150
3.2.2	Totfundhäufigkeiten vor und nach Bau von Dan Tysk (BAC).....	156
3.2.3	Vogelbildraten unter Tageslicht vor und nach Bau von Dan Tysk (BAC).....	157
3.2.4	Dan Tysk und Zugvögel – Zugrichtungen im Windparkumfeld.....	160
3.3	Raum-Zeit-Muster von Einzelzugnächten am Standort FINO 3	164
3.3.1	Norwegische und dänisch-schwedische Vogelzugnächte in der Deutschen Bucht?	165
3.3.2	Richtungsänderungen binnen Nachtfrist	169
3.3.3	Richtungsänderungen in Abhängigkeit des Windparks?	171
3.4	Annäherung an FINO 3 & nächtliche Lichtintensitäten.....	176
3.4.1	Allgemeine Ergebnisse	176
3.4.2	Modellierung	186
3.5	Wetter und Vogelzug – Vorhersage der Vogelzugstärke an einem Offshore-Standort in Abhängigkeit von Wetterbedingungen in den Aufbruchsgebieten und unterwegs.....	189
3.6	Methodenspezifisch divergierende Phänologien – ein Vergleich	201
3.6.1	Kollisionen – jahreszeitlich spät	201
3.6.2	Nächtliche Annäherung von Zugvögeln an Offshore-Bauwerke – jahreszeitlich spät.....	208
3.6.3	Nächtliche Flugbewegungen von Zugvögeln – termingerecht	211
4.	Schlussfolgerungen, Bewertung, Ausblick.....	213
4.1	Zu den Ursachen von Kollisionen an Bauwerken im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht.....	213
4.1.1	Der Einfluss der Jahreszeit	213
4.1.2	Der Einfluss der Umgebungshelligkeit	215
4.1.3	Der Einfluss der Tageszeit.....	216
4.1.4	Der Einfluss eines Windparks	216
4.2	Wetter und Vogelzug – Wo und unter welchen Bedingungen starten die nachts im Herbst über die Deutsche Bucht ziehenden Vögel?.....	217

4.3	Minimierung der Kollisionsgefährdung von Zugvögeln im Offshore-Bereich	219
4.4	Vogelpräsenz unter Tageslichtbedingungen	221
5.	Literatur	226
	Anhang	241

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Horizontalradar auf FINO 3 (links) scannt mit einer horizontal rotierenden Parabolantenne mit 3,3° Öffnungswinkel den Luftraum.	36
Abbildung 2: Modell des Aufbaus der Datenauswertung mit radR (aus TAYLOR et al. 2010).	38
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Datenanalyse mit radR – Teil1 (http://www.radr-project.org).	38
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Datenanalyse mit radR – Teil2	39
Abbildung 5: Mit dem Horizontalradar abgedeckte Erfassungstage	41
Abbildung 6: Rückstreuquerschnitte von Vögeln und Insekten	42
Abbildung 7: Darstellung der Detektionsreichweite bei unterschiedlichem Erfassungswinkel (aspect).	43
Abbildung 8: Mikrofone mit Windschutzfell auf FINO 1 (links) FINO 3 (rechts).	44
Abbildung 9: Screenshot der eingesetzten Software AROMA zur automatischen Erkennung von Vogelrufen.	45
Abbildung 10: Soundstream chronologisch erfolgter Dateiaufzeichnungen, dargestellt als Spektrogramm	46
Abbildung 11: Soundstream aufgezeichneter Limikolenrufe im Spektrogramm während eines Starkregenereignisses	46
Abbildung 12: Übersicht zum Beprobungsaufwand mittels automatisierter Zugriferfassung	48
Abbildung 13: Videokameras auf FINO 3 (links) bzw. FINO 1 (rechts).	50
Abbildung 14: Beispiele für die oft problematische quantitative Auszählung von Flugbewegungen in Videosequenzen.	52
Abbildung 15: Erfassungsaufwand mittels Videoerfassung	52
Abbildung 16: Kontrolltermine als Pentadensummen auf FINO 1 (oben, n = 548) zwischen 01.10.2003-31.12.2014 und auf FINO 3 (unten, n = 406) zwischen 28.07.2009-31.12.2014.	54
Abbildung 17: Markierte Vogelkadaver auf FINO 1.	56
Abbildung 18: Der auf FINO 3 eingesetzte Beleuchtungsmesser im Größenvergleich	57
Abbildung 19: Je Zugtag bzw. -nacht gemittelter Lichtwert im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser am Standort FINO 3.	58
Abbildung 20: Tage mit Belichtungsmessung auf der FINO 3	59
Abbildung 21: Lage der Forschungsplattform FINO 1 sowie von sieben potentiellen Aufbruchsgebieten	70
Abbildung 22: Anteile von verschiedenen Arten bzw. Artengruppen zwischen Oktober 2003 bis Dezember 2013 auf FINO 1 (links) bzw. zwischen Juli 2009 bis Dezember 2013 auf FINO 3 tödlich kollidierten Vögeln (rechts).	74
Abbildung 23: Jahreszeitliche Verteilung auf FINO 1 zwischen Oktober 2003 bis Dezember 2013 (links) bzw. auf FINO 3 zwischen Juli 2009 und Dezember 2013 (rechts) tödlich kollidierter Vögel	75
Abbildung 24: Anteile von verschiedenen Arten bzw. Artengruppen aller 751 im zweiten Halbjahr von Oktober 2003 bis Dezember 2014 auf FINO 1 bzw. von Juli 2009 bis Dezember 2014 auf FINO 3 im Offshore-Bereich tödlich kollidierter Singvögel.	75
Abbildung 25: Summen zugrufpositiver Stunden (n = 5.204) während des Heimzugs (März bis Mai) und des Wegzugs (Juli bis November) zwischen 2004 und 2012 am Standort FINO 1	77
Abbildung 26: Stundenmittel über Vertikalradarmessung bis 1.000 m detekтирter Vogelechos an FINO 1	82
Abbildung 27: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Frühjahr 2012 (Datenbasis: http://fino.bsh.de) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	84
Abbildung 28: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Frühjahr 2013 (Datenbasis: http://fino.bsh.de) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	85

Abbildung 29: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Frühjahr 2014 (Datenbasis: http://fino.bsh.de) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	86
Abbildung 30: Je Zugnacht per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	86
Abbildung 31: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Herbst 2012 (Datenbasis: http://fino.bsh.de) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	87
Abbildung 32: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Herbst 2013 (Datenbasis: http://fino.bsh.de) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	88
Abbildung 33: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Herbst 2014 (Datenbasis: http://fino.bsh.de) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks.	89
Abbildung 34: Stundensummen über Parabolradarmessung am Standort FINO 3 während der Zugzeiten detekzierter Vogelechos der Jahre 2012 (oben) bis 2015 (unten)	91
Abbildung 35: Verteilung von Vogelzug während des Heimzugs (links) und Wegzugs (rechts) auf verschiedene Phasen im Tagesgang am Standort FINO 3.	92
Abbildung 36: Je Zugnacht im Frühjahr 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten) über Horizontalradarmessungen ermittelte mittlere Zugrichtung	94
Abbildung 37: Je Zugnacht im Herbst 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten) über Horizontalradarmessungen ermittelte mittlere Zugrichtung	95
Abbildung 38: Übersicht über die 2012-2015 registrierten Echotacks je Heimzugperiode und Entfernungsklasse (EKL).	97
Abbildung 39: Übersicht über die 2012-2014 registrierten Echotacks je Zugperiode und Entfernungsklasse (EKL).	97
Abbildung 40: Per Horizontalradar gemessene Zugintensität in Tracks pro Zugtag bzw. -nacht im Frühjahr 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten)	98
Abbildung 41: Per Horizontalradar gemessene Zugintensität in Tracks pro Zugtag bzw. -nacht im Herbst 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten)	99
Abbildung 42: Relative Häufigkeit verschiedener Arten(gruppen) am Spektrum vogelpositiver Audiodateien während des Heimzugs 2013-2014 (links) und während des Wegzugs 2012-2014 (rechts) am Standort FINO 3.	107
Abbildung 43: Relative Häufigkeit verschiedener Arten(gruppen) am Spektrum vogelpositiver Audiodateien während des Heim- (links) und Wegzugs (rechts) zwischen 2010-2014 am Standort FINO 3.	107
Abbildung 44: Relative Häufigkeit verschiedener Arten(gruppen) am Spektrum vogelpositiver Audiodateien während des Heimzugs 2015 am Standort FINO 3.	109
Abbildung 45: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien ($n = 28.392$) je Pentade während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) zwischen 2010 und 2014 am Standort FINO 3.	110
Abbildung 46: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien während der Wegzugperioden 2012-2014.	111
Abbildung 47: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien während der Heimzugperioden 2013-2014.	112
Abbildung 48: Pentadensummen zugrufpositiver Nachtstunden ($n = 1.072$) während des Heim- (März bis Mai) bzw. Wegzugs	113

Abbildung 49: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien der Heimzugperiode 2015.	114
Abbildung 50: Stundenscharfe Zugintensitäten im Frühjahr 2015 gemäß Ruferfassung am Standort FINO 3.	114
Abbildung 51: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Rotdrossel <i>Turdus iliacus</i>	115
Abbildung 52: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Rotdrossel <i>Turdus iliacus</i>	116
Abbildung 53: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Amsel <i>Turdus merula</i>	117
Abbildung 54: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Amsel <i>Turdus merula</i>	118
Abbildung 55: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Singdrossel <i>Turdus philomelos</i>	119
Abbildung 56: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Singdrossel <i>Turdus philomelos</i>	120
Abbildung 57: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Stars <i>Sturnus vulgaris</i>	121
Abbildung 58: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen des Stars <i>Sturnus vulgaris</i>	122
Abbildung 59: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Rotkehlchens <i>Erythacus rubecula</i>	123
Abbildung 60: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichnete Audiodateien mit Rufen des Rotkehlchens <i>Erythacus rubecula</i>	124
Abbildung 61: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Wacholderdrossel <i>Turdus pilaris</i>	124
Abbildung 62: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Wacholderdrossel <i>Turdus pilaris</i>	125
Abbildung 63: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Bergfinken <i>Fringilla montifringilla</i>	126
Abbildung 64: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen des Bergfinken <i>Fringilla montifringilla</i>	126
Abbildung 65: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Wiesenpiepers <i>Anthus pratensis</i>	127
Abbildung 66: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen des Wiesenpiepers <i>Anthus pratensis</i>	128
Abbildung 67: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Buchfinken <i>Fringilla coelebs</i>	129
Abbildung 68: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichnete Audiodateien mit Rufen des Buchfinken <i>Fringilla coelebs</i>	129
Abbildung 69: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Sturmmöwe <i>Larus canus</i>	130
Abbildung 70: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichnete Audiodateien mit Rufen der Sturmmöwe <i>Larus canus</i>	131
Abbildung 71: Anteile der verschiedenen Arten bzw. Artengruppen aller 86 zwischen 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 tödlich kollidierten Vögel.	133
Abbildung 72: Pentadensummen auf FINO 3 zwischen 28.07.2009-31.12.2014 tödlich kollidierter Vögel.	133

Abbildung 73: Je Zugnacht gemittelter Lichtwert im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser am Standort FINO 3.	134
Abbildung 74: Stundenscharfe Lichtintensität in Lux im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser am Standort FINO 3.	135
Abbildung 75: Anteile art-(gruppen)positiver Videobilder am Gesamtaufkommen von Vogelbildern zwischen 28.07.2009-31.12.2014 am Standort FINO 3.	138
Abbildung 76: Anteile vogelpositiver Videobilder vom 28.07.2009-31.05.2015 auf FINO 3 (oben; n = 18.449) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 64.824)	139
Abbildung 77: Anteile Großmöwen <i>Larus</i> -positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 10.606) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 42.850)	141
Abbildung 78: Anteile Dreizehenmöwen <i>Rissa tridactyla</i> -positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 2.145) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 6.271)	146
Abbildung 79: Anteile Singvogel-positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 193) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 787)	148
Abbildung 80: Anteile Singvogel-positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 193) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 787) im Tages- und Jahresgang.	149
Abbildung 81: Tageszeitliche Verteilung mittels Videotechnik erfasster Singvögel an den Plattformen FINO 3 (n = 193; oben) und FINO 1 (n = 787; unten).	149
Abbildung 82: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Heimzuges	151
Abbildung 83: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Heimzuges	151
Abbildung 84: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Wegzuges	152
Abbildung 85: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Wegzuges	153
Abbildung 86: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Heimzuges	154
Abbildung 87: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Heimzuges	154
Abbildung 88: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Wegzuges	155
Abbildung 89: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Wegzuges	156
Abbildung 90: Jahrweise Häufigkeit tödlich kollidierter Vögel während Heim- (links) und Wegzug (rechts)	157
Abbildung 91: Jahrweise Häufigkeit vogelpositiver Videobilder an der Plattform FINO 3	158
Abbildung 92: Links: Vergleich des Anteils vogelpositiver Bilder am Gesamtaufwand vor (2010-2012, 16.575 vogelpositive Bilder) und nach (2013-2014, 1.762 vogelpositive Bilder) Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> . n-Untersuchungstage jeweils gegeben; rechts: Modellierte Anzahl von per Videokamera erfassten Vögeln pro Untersuchungstag vor bzw. nach Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> .	158
Abbildung 93: Links oben: Vergleich des Anteils großmöwenpositiver Bilder am Gesamtaufwand jeweils während der Brutzeit (Mai-Juli) vor (2010-2012, 6.332 Bilder) und nach (2013-2014, 670 Bilder) Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> . Rechts oben: Vergleich des Anteils großmöwenpositiver Bilder am Gesamtaufwand jeweils während der Zugzeit (Aug-Okt) vor (2010-2012, 2.956 Bilder) und nach (2013-2014, 97 Bilder) Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> . n-Untersuchungstage jeweils gegeben. Unten: Modellierte Anzahl von per Videokamera erfassten Großmöwen je Untersuchungstag je nach Jahreszeit vor bzw. nach Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> .	159
Abbildung 94: Links: Vergleich des Anteils dreizehenmöwenpositiver Bilder am Gesamtaufwand jeweils während der Brutzeit (Mai-Aug) vor (2009-2012, 1.703 Bilder) und nach (2013-2014, 35 Bilder) dem Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> . n-Untersuchungstage jeweils gegeben; rechts: Modellierte Anzahl von per	

Videokamera erfassten Dreizehenmöwen pro Untersuchungstag innerhalb der Brutzeit vor bzw. nach Baubeginn von <i>Dan Tysk</i> .	160
Abbildung 95: Je Zugnacht bzw. -tag per Horizontalradar gemessene Zugintensität als aufwandskorrigierte Summe der Tracks im Herbst 2013 (links) bzw. im Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.	161
Abbildung 96: Richtungsverteilung per Parabolradar untertags und windpark z ugewandt aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.	162
Abbildung 97: Richtungsverteilung per Parabolradar untertags und windpark a bgewandt aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.	162
Abbildung 98: Richtungsverteilung per Parabolradar nachts und windpark z ugewandt aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.	163
Abbildung 99: Richtungsverteilung per Parabolradar nachts und windpark a bgewandt aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.	163
Abbildung 100: Stundenscharfe Zugintensität während dreier gemäß Horizontalradarerfassung am Standort FINO 3 starker Vogelzugnächte mit Westwindkomponente im Herbst 2013.	165
Abbildung 101: Richtungsverteilung per Horizontalradar aufgezeichneter Vogeltracks während dreier starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3.	166
Abbildung 102: Stundenscharfe Zugintensität während starker Zugereignisse der Wegzugperioden 2013 und 2014 nach Horizontalradarerfassung am Standort FINO 3.	167
Abbildung 103: Richtungsverteilung per Horizontalradar aufgezeichneter Vogeltracks während sechs starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 und Herbst 2014 am Standort FINO 3.	168
Abbildung 104: Richtungsverteilung per Horizontalradar aufgezeichneter Vogeltracks während zweier starker Vogelzugnächte im Herbst 2014 am Standort FINO 3.	169
Abbildung 105: Richtungsverteilung per Parabolradar aufgezeichneter Vogeltracks während dreier starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3.	172
Abbildung 106: Richtungsverteilung per Parabolradar aufgezeichneter Vogeltracks während sieben starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3.	173
Abbildung 107: Richtungsverteilung per Parabolradar aufgezeichneter Vogeltracks während sieben starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3.	174
Abbildung 108: Je Zugnacht gemittelte Lichtwerte sowie das Mittel der rufpositiver Dateien pro Stunde im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser und automatischer Ruferfassung am Standort FINO 3.	176
Abbildung 109: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Frühjahr 2014	177
Abbildung 110: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Herbst 2014	178
Abbildung 111: Je Zugnacht gemittelte Lichtwerte sowie das Mittel der rufpositiven Dateien pro Stunde im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser und automatischer Ruferfassung am Standort FINO 3	179
Abbildung 112: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Frühjahr 2014	180
Abbildung 113: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Herbst 2014	180
Abbildung 114: Stundenscharfe Lichtintensität in Lux und Anzahl rufpositiver Dateien gemäß Beleuchtungsmesser bzw. Ruferfassung für die vier annäherungsstärksten Nächte 2014	183
Abbildung 115: Starke Annäherungsnächte unter „natürlicher“ Umgebungsbeleuchtung begleitende Wetterparameter:	184
Abbildung 116: Stundenscharfe Lichtintensität in Lux und Anzahl rufpositiver Dateien gemäß Beleuchtungsmesser bzw. Ruferfassung für die vier annäherungsstärksten Nächte 2014	185

Abbildung 117: Starke Annäherungsnächte bei eingeschalteter zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung begleitende Wetterparameter:	186
Abbildung 118: Anzahl der per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Stunde in Abhängigkeit von der „natürlichen“ Lichtintensität des Nachthimmels (links, n = 823)	187
Abbildung 119: Vergleich zwischen der Anzahl der per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Stunde bei ausgeschalteter bzw. eingeschalteter zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung auf der FINO 3.	188
Abbildung 120: Modellierte Anzahl von per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Nachtstunde und Zugnacht bei unterschiedlicher natürlicher Lichtintensität des Nachthimmels	189
Abbildung 121: Die in dem generalisierten additiven Modell vorhergesagte distanzkorrigierte Anzahl Echos pro Zugnacht über die Jultage.	190
Abbildung 122: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Dieksanderkoog sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	192
Abbildung 123: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Helsingborg sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	193
Abbildung 124: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Hovsor sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	194
Abbildung 125: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Valdemarsvik sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	195
Abbildung 126: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Usedom sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	196
Abbildung 127: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Malbork sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	197
Abbildung 128: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Tinn sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.	197
Abbildung 129: Zusammenhang zwischen den realen Daten zur relativen Abweichung der Anzahl Radarechos von der Norm und den von dem am besten zu den Daten passenden Modell vorhergesagten Daten.	198
Abbildung 130: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Hovsor sowie der CWC an der FINO 1	199
Abbildung 131: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Tinn sowie der CWC an der FINO 1	200
Abbildung 132: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Dieksanderkoog sowie der CWC an der FINO 1	200
Abbildung 133: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht	201
Abbildung 134: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht	202

Abbildung 135: Beziehung zwischen der Kollisionshäufigkeit (Ind.) und dem zeitlichen Abstand von Kollisionen ziehender Singvögel zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen	203
Abbildung 136: Mittlerer Abstand (in Tagen; sd jeweils gegeben) an FINO 1 & FINO 3 kollidierter Singvogelarten zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht.	204
Abbildung 137: Mittlerer Abstand (in Tagen; sd jeweils gegeben) an FINO 1 & FINO 3 kollidierter Singvogelarten zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht.	205
Abbildung 138: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel bestimmten Geschlechts an FINO 1 & FINO 3 zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht.	206
Abbildung 139: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel bestimmten Alters (n = 467) an FINO 1 & FINO 3 zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht.	207
Abbildung 140: Zeitlicher Abstand (gemessen in Tagen) von Annäherungssereignissen (n = 1.205) ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht.	208
Abbildung 141: Zeitlicher Abstand (gemessen in Tagen) von Annäherung ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht anhand aller aufgezeichneten Rufdateien.	209
Abbildung 142: Beziehung zwischen der Dateisummengröße und dem zeitlichen Abstand von Annäherungen an Forschungsplattformen durch ziehende Singvögel zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen	209
Abbildung 143: Jahreszeitliche Differenz (in Tagen, sd jeweils gegeben) von herbstlichen Annäherungssereignissen (der Jahre 2008-2014) nachts ziehender Singvogelarten an Forschungsplattformen.	211
Abbildung 144: Summe je Halbmonat im Herbst kulminierender Vorkommen von Arten auf Helgoland in der südlichen Deutschen Bucht.	212
Abbildung 145: Aufsummierte Tagesmaxima von auf Helgoland durchziehenden Singvogelarten in halbmonatlicher Auflösung.	212
Abbildung 146: Anteile Dreizehenmöwen positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 je Pentade und Untersuchungsjahr. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert je Jahr (rechte Ordinate). Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).	241
Abbildung 147: Anteile Großmöwen positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 je Pentade und Untersuchungsjahr. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert je Jahr (rechte Ordinate). Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).	242

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Details des eingesetzten Radargerätes.	37
Tabelle 2: Übersicht zu Mittelpunkten der berücksichtigten Wetterzellen für den Herbstzug (vgl. Abbildung 21).	72
Tabelle 3: Liste der über die automatisierte Zugruferfassung während der Zugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesenen Vogelarten (n = 71).	102
Tabelle 4: Häufigkeiten (absolut und relativ) über Audiodateien während der Zugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten mit $\geq 1,0\%$ relativer Dateisummenhäufigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl von Nächten mit artspezifischer Präsenz angegeben. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.	105
Tabelle 5: Häufigkeiten (absolut und relativ) über Audiodateien während der Heimzugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten mit $\geq 2,0\%$ relativer Dateisummenhäufigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl von Nächten mit artspezifischer Präsenz angegeben. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.	106
Tabelle 6: Häufigkeiten (absolut und relativ) über Audiodateien während der Wegzugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten mit $\geq 2,0\%$ relativer Dateisummenhäufigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl von Nächten mit artspezifischer Präsenz angegeben. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.	106
Tabelle 7: Häufigkeiten (absolut) über Audiodateien während der Heimzugperiode 2015 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten(-gruppen). Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.	109
Tabelle 8: Arten und Anzahl der zwischen 28.07.2009-31.12.2014 gefundenen Vogelkadaver am Standort FINO 3.	132
Tabelle 9: Liste über die Videoerfassung zwischen 28.07.2009-30.06.2015 nachgewiesener Vogelarten am Standort FINO 3.	136
Tabelle 10: Zeitliche Lage des Schwerpunkt vorkommens von 185 alljährlich auf Helgoland registrierter Arten.	243

1. Einleitung

Laut Koalitionsvertrag vom November 2013 zwischen CDU, CSU und SPD für die 18. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages ist die Energiewende politisch gewollt, und für den geplanten Ausbau der Erneuerbaren Energien sollen Offshore-Windparks auch zukünftig eine entscheidende Rolle spielen. Insbesondere in der ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands in der Nordsee sind dutzende Windparks in Planung oder durchlaufen derzeit das Genehmigungsverfahren beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Laut Bundesregierung soll die Offshore-Windenergie im Jahr 2020 eine Leistung von 6,5 GW erbringen, bis 2030 sind 15 GW geplant. Somit könnten sich in zukünftigen Ausbaustufen mehrere tausend Turbinen in Nord- und Ostsee drehen. Zu den Anlagen selber kämen der Bau von Konverterplattformen und zusätzlicher Schiffsverkehr durch Bau- und Serviceschiffe sowie Hubschrauberverkehr. Die Bauwerke sind aus Sicherheitsgründen mit Warnlampen ausgerüstet, die den Bereich des Windparks nachts hell erleuchten und unter ungünstigen Wetterbedingungen ziehende Vögel anlocken und sie dadurch einem erhöhten Kollisionsrisiko aussetzen können. Es stellt sich die Frage, ob aus diesen massiven Veränderungen in einem an der Meeresoberfläche bisher wenig menschlich beeinflussten Raum Probleme für Zugvögel entstehen können. Die Seeanlagenverordnung als Grundlage des Genehmigungsverfahrens für Offshore-Windparks sieht als einen Versagungsgrund die „Gefährdung des Vogelzuges“ vor. Das Schutzgut Vogelzug wird daher antragsbezogen vor, während und nach der Errichtung von Offshore-Windparks im Rahmen eines Umweltmonitorings gemäß dem BSH-Standard „Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeressumwelt“ (Standarduntersuchungskonzept - StUK) untersucht. Zusätzlich behält sich das BSH in den bestehenden Genehmigungen vor, die Installation von technischen Anlagen während der Betriebsphase zur Vermeidung etwaigen Vogelschlags auch nachträglich anzuordnen. Dies kommt jedoch bisher nicht zur Anwendung, da eine entsprechende geeignete Erfassungstechnik zum sicheren Nachweis von Vogekollisionen an Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) auch bei schlechtem Wetter derzeit noch nicht existiert.

Um eine ausreichende Datengrundlage für die Bewertung möglicher Auswirkungen von OWEA auf den Vogelzug zu erhalten, wurden mehrere Forschungsprojekte auf den Forschungsplattformen FINO 1 und FINO 3 durchgeführt.

Mögliche negative Auswirkungen auf den Vogelzug sind einerseits tödliche Kollisionen und andererseits Ausweichbewegungen bzw. Lebensraumverlust einhergehend mit Stress, einem erhöhten Energiebedarf mit möglichen Auswirkungen auf den Bruterfolg oder die

Überlebensrate. Für Vogelarten, die Windparks generell eigentlich meiden, erhöht sich das Kollisionsrisiko, falls ein Windpark bedingt durch das Wetter oder die Lage des Windparks doch durch- oder überflogen werden muss.

Erstmals konnten an einem großen Offshore-Windpark mit 80 Anlagen über 80 km von der Küste entfernt Erkenntnisse über die längerfristigen Auswirkungen auf den Vogelzug gesammelt werden. Seit der Errichtung von FINO 3 im Jahr 2009 und der Inbetriebnahme der Forschungsgeräte zum Vogelzug spätestens ab 2010 liegen Daten an diesem Standort vor. Der Bau des benachbarten Windparks „DanTysk“ begann 2013 mit Errichtung der Fundamente (März bis Dezember) und einer Umspannplattform (August). Die Montage aller 80 Turbinen erfolgte erst im Lauf des Jahres 2014. Der Regelbetrieb begann erst ab November 2014. Entsprechend liegen Daten aus 3 Jahren vor Beginn der Bauarbeiten, aus annähernd 2 Jahren während der Bauphase sowie bis zum Ende dieses Forschungsprojektes auf FINO 3 im Herbst 2015 erst aus rund einem Dreivierteljahr während der Betriebsphase vor. Für Vergleichszwecke ist die Betriebsphase angesichts der Variabilität des Vogelzuges in diesem Seegebiet viel zu kurz, für den wichtigeren Herbstzug mit mehr ziehenden Vögeln liegen gar keine Daten vor. Aus diesem Grund sollten die Messungen fortgesetzt und für die präzisere Erforschung von Wettereffekten methodisch ergänzt werden.

Die Untersuchungsergebnisse dieses Forschungsvorhabens werden für die Erweiterung des Wissens über den Vogelzug offshore sowie für die behördliche Prüfung von naturschutzfachlich relevanten Aspekten im Zuge von Genehmigungs- und Vollzugsverfahren benötigt.

1.1 Spannungsfeld Kollisionen & Barrierewirkung

Die geografische Lage der Deutschen Bucht im Zentrum des ostatlantischen Flyways führt hier während der Zugzeiten regelmäßig zu hohen Dichten ziehender Vögel (z. B. DIERSCHKE et al. 2011). Auch die offene See wird dabei stark von terrestrischen Vögeln frequentiert, vor allem nachts (z. B. LACK 1963, HÜPPPOP et al. 2006, HILL et al. 2014c). Selbst für Teilareale wie das Seegebiet rund um die Insel Helgoland ist mit mehreren Millionen querenden Individuen jährlich zu rechnen (DIERSCHKE 2003). Daher ist für diesen Raum a priori eine vergleichsweise starke Exposition von Zugvögeln gegenüber neu hinzutretenden, gefährdungsrelevanten Nutzungen anzunehmen. Neben der geografischen Lage handelt es sich beim betrachteten, kaum strukturierten Meeresareal um eine Umgebung mit stark reduzierten Möglichkeiten zu antizipatorisch-visueller Wahrnehmung. Für solche Bereiche ist für optisch orientierte Lebewesen von einem erhöhten Risiko zur Kollision mit

Vertikalstrukturen wie Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) auszugehen (MARTIN 2011). DREWITT & LANGSTON (2006) haben dieses Szenario als Gefahrenpotenzial für Zugvögel benannt. Kollisionen mit anthropogenen Strukturen aller Art stehen angesichts von absoluten Zahlen zu getöteten Individuen im Verdacht, zu den Hauptgefahren für Vögel zu zählen (LOSS et al. 2012). Vor diesem Hintergrund werden auf Populationsebene wirksame Effekte von mit OWEA verbundener Mortalität diskutiert (z. B. GARTHE & HÜPPPOP 2004, FOX et al. 2006, STEWART et al. 2007, ARNOLD & ZINK 2011, LOSS et al. 2012).

FIJN et al. (2015) gehen für einen Windpark vor der niederländischen Küste von jährlich 750.000 Vogeldurchflügen innerhalb des von Rotoren überstrichenen Höhenbereichs aus. Möglichkeiten zur Quantifizierung von Mortalität durch Vogelschlag an WEA sind im Offshore-Bereich aber derzeit nicht gegeben – im Gegensatz zu Onshore-Bedingungen mit der Möglichkeit zu speziellen Nachsuchen und einer entsprechenden Vielzahl an Belegen für letale Anflüge an WEA (z. B. DE LUCAS et al. 2004, HÖTKER et al. 2004). Mit den Rotorblättern kollidierte Individuen werden angesichts kaum vorhandener Auffangflächen weit überwiegend in die See stürzen. Suchen nach verunglückten Vögeln auf den Podesten der Gründungsstrukturen, die einen kleinen Teil verunglückter Vögel auffangen könnten, sind aufgrund der exponierten Lage kaum möglich.

Kollisionen an anthropogenen Strukturen sind im Offshore-Bereich aber allgemein häufig und betreffen beispielsweise Schiffe, Ölbohrinseln und Leuchttürme gleichermaßen (z. B. HANSEN 1954, JONES & FRANCIS 2003, BALLASUS 2007, SAGE 1979, HOPE JONES 1980; siehe auch Übersichten z. B. in NEWTON 2008, BALLASUS et al. 2009, VAUGHAN 2009). An statischen Bauwerken wie den „Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee“ (FINOs), die gewissermaßen OWEA ohne Rotoren ähneln, werden ebenfalls regelmäßig Kollisionen verzeichnet, wobei im Gefolge einzelner Ereignisse hohe Opfersummen (bis hin zu dreistelligen Fundzahlen) verzeichnet wurden (HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c). Solche „Massenkollisionsereignisse“ sind aber selten und für einen mehrjährigen Zeitraum zwischen 2003-2007 geben HÜPPPOP et al. (in press) für FINO 1 eine Kollisionsrate von zirka 150 verunglückten Vögeln pro Jahr an. Dabei wird herausgestellt, dass es sich um eine grobe Mindestangabe handelt, denn auch für die FINOs ist von einem unbekannten Anteil an Opfern auszugehen, der direkt in das Meer stürzt und somit unentdeckt bleibt.

Zu tödlichen **Kollisionen** kommt es an Forschungsplattformen in der Nordsee fast ausschließlich nachts, wie die Zusammensetzung des betroffenen Gesamtspektrums und Studien zu einzelnen Massenkollisionsereignissen zeigen (MÜLLER 1981, HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c, HÜPPPOP et al. in press). Es fehlen Nachweise von unter Tageslicht mit den FINOs kollidierten Vögeln. Das Gros der Totfunde betrifft solche Arten, die ganz überwiegend in der Dunkelheit ziehen wie vor allem Drosseln *Turdus spec* (sog. obligate Nachtzieher, DORKA 1966). Sicherheitsbefeuerte Offshore-Bauwerke tragen zu

nächtlicher „Lichtverschmutzung“ im Bereich der Nordsee bei (GASTON et al. 2013). Die vielen nächtlichen Durchzügler werden von Lichtquellen angezogen, sobald sie in **vogelzugabträgliches Wetter** geraten sind (z. B. GAUTHREAUX & BELSER 2006, EVANS et al. 2007, DREWITT & LANGSTON 2008, BALLASUS et al. 2009). Dies setzt die Vögel dann einer **erhöhten Gefahr zu kollidieren** aus (Übersichten z. B. in NEWTON 2008, BALLASUS et al. 2009, VAUGHAN 2009). Ansonsten landlebende und nachts ziehende Singvögel können die Orientierung verlieren, wenn sie auf starke Bewölkung oder sogar Nebel treffen. Desorientierte terrestrische Vögel haben über See nicht die Möglichkeit zur Landung (HÜPPPOP et al. 2006, FARNSWORTH & RUSSELL 2007, HÜPPPOP & HILGERLOH 2012).

Radargestützte Beobachtungen ergaben, dass solche Vögel zunächst in alle Richtungen zerstreuen (z. B. LACK 1960, RICHARDSON 1978, NEWTON 2010) und scheinbar generell phototaktisch auf unterschiedliche Lichtquellen reagieren (MUHEIM & JENNI 1999, RICHARDSON 2000), wofür es eine große Anzahl weiterer Belege gibt (Übersicht z. B. in BALLASUS et al. 2009). Eine Situation mit sich bei einsetzendem, starkem Gegenwind, Regen und Nebel über die Nacht verschlechternden Zugbedingungen aggregierter und zahlreich mit Strukturelementen der FINO 1 kollidierender Singvögel schildern AUMÜLLER et al. (2011) und HILL et al. (2014b). Zu Beginn noch gerichteter Vogelzug löste sich im Gefolge der verschlechterten Zugbedingungen, die in einem Nebelereignis gipfelten, auf und ergab ein Bild zufälliger Richtungswahl.

Die **Bindung von Kollisionen an spezifische Situationen** während der Nacht lässt ein von Art(-engruppe) zu Art(-engruppe) unterschiedliches Kollisionsrisiko annehmen, denn von verschiedenen Arten werden unterschiedliche Tageszeiten zum Überflug der Deutschen Bucht genutzt. Beispielsweise stehen den nachts ziehenden Drosseln überwiegend tagsüber ziehende Singvögel wie Schwalben oder Stelzen gegenüber, die, wenn überhaupt, nur in Ausnahmefällen als Kollisionsopfer registriert werden (HILL et al. 2014c). Dies lässt auf **artspezifisch divergierende Gefahr zu kollidieren** schließen, auch wenn mengenmäßige Relationen zwischen den Arten(-gruppen) zumeist nur ebenso grob bekannt sind, wie das Verhältnis innerartlichen Tag- vs. Nachzugs.

Zwischen den Arten abweichende tageszeitliche Präferenzen zum Zug können als Resultat **aus unterschiedlichem Verhalten** aufgefasst werden. Dabei werden oft die Tagzieher den Nachtziehern gegenübergestellt, was allerdings zu einem falschen Bild verleiten kann. Es ist nämlich fraglich, ob es – abgesehen von einigen Thermikseglern wie z. B. einigen Greifvögeln oder Störchen – den obligaten Tag- bzw. Nachtzieher gibt. Und über die klassischen Nachtzieher hinaus, wozu neben den Drosseln auch viele weitere Singvogelarten wie langstreckenziehende Transsaharazieher gezählt werden (z. B. DIERSCHKE 2011), scheint Nachzug bei allen Arten zu einem gewissen, aber in vielen Fällen nicht zu quantifizierenden oder oft sogar gänzlich unbekannten Anteil vorzukommen. So werden in der Region der

Deutschen Bucht tags wie nachts ziehende Gänse, Enten, Möwen und Seeschwalben, aber auch Singvögel wie Feldlerchen *Alauda arvensis* oder Stare *Sturnus vulgaris*, notiert (z. B. DIERSCHKE et al. 2011, HILL et al. 2014c). Selbst für Greifvögel wurde kürzlich die bis dato unbekannte Möglichkeit zu Nachtzug belegt (MEYBURG et al. 2011) und jüngst im Herbst 2015 für weitere Arten in der nächtlichen Ostsee fotografisch dokumentiert (www.club300.de). Erreichen über die offene See ziehende Landvögel nicht rechtzeitig eine Rastmöglichkeit, können umgekehrt auch als typische Nachtzieher geltende Arten wie Drosseln oder Langstreckenzieher wie z. B. Steinschmätzer *Oenanthe oenanthe* den Betrachtungsraum oft erst Stunden nach Sonnenaufgang im Hellen erreichen (DIERSCHKE et al. 2011).

Bilanzierend werden in der Deutschen Bucht rund 60 % ziehender Vogelindividuen bzw. Vogeltrupps nachts zwischen Sonnenunter- und -aufgang registriert (HÜPPOP et al. 2009, HILL et al. 2014b, c), wie Untersuchungen mit Radargeräten ohne die Möglichkeit zur Differenzierung auf Artniveau zeigen. Das Gros der Echos dürfte dabei Singvögeln zuzuordnen sein (z. B. HÜPPOP et al. 2009, DIERSCHKE et al. 2011). Über die grobe Zuordnung von Arten zu den Kategorien Tag- bzw. Nachtzieher und der Annahme zwischenartlich unterschiedlicher Relationen tag- bzw. nachtziehender Individuen hinaus, kann Überwiegen in der ein oder anderen Form aber nur in wenigen Fällen genauer beziffert werden. Untersuchungen unter Tageslicht belegen beispielsweise im Falle der Kurzschnabelgans *Anser brachyrhynchus* besonders starken Tagzug. Demnach berühren jährweise bis zu 95 % aller Gänse der Spitzbergen-Population während ihres Zuges von dänischen Zwischenrastgebieten in die niederländisch-belgischen Wintergebiete das Helgoländer Seegebiet (DIERSCHKE 2003). Untersuchungen an tags- wie nachts ziehenden Arten machen dabei die nachts erhöhte Gefahr des Kollidierens auch abseits ungenügend bekannter mengenmäßiger Relationen deutlich: Vertreter ein und derselben Art näherten sich nachts den Anlagen stärker an als tagsüber (CHRISTENSEN 2004).

Die eingangs skizzierten spezifischen Vogelschlag-Situationen sind von typischen Wettersituationen gekennzeichnet. Vögel reagieren auf externe Faktoren, diese bewirken somit **Verhaltensänderungen des Individuums**. Ein Beispiel betrifft die Reaktionen ziehender Vögel auf aktuell herrschende Windbedingungen. Generell selektieren Vögel Luftsichten, in denen für sie die energetisch besten Zugbedingungen herrschen. Die Tiere ziehen bevorzugt dort, wo sie die optimale Windunterstützung erhalten (SCHMALJOHANN et al. 2008a, SCHMALJOHANN et al. 2009, GAUTHREAUX 1991). Über See sind die mittleren Windgeschwindigkeiten höher und durch das Fehlen von landschaftlichen Strukturelementen sind die Luftströmungen weniger turbulent als über Land. Daher werden bei Rückenwind optimale Windbedingungen über See im Allgemeinen bereits in niedrigeren Höhen erreicht als über Land. Vögel, die in eine Gegenwindsituation geraten sind,

reduzieren die Flughöhe, um auf diese Weise die energetischen Kosten mittels der oberflächennah durch Reibung an der Wasseroberfläche reduzierten Windgeschwindigkeiten klein halten zu können (z. B. LACK 1960, GAUTHREAUX 1991, DIERSCHKE & DANIELS 2003, KAHLERT et al. 2012). Dieser verhaltensadaptive Mechanismus durch die Vögel selbst führt unter entsprechenden Bedingungen zu einer verstärkten Konzentration in niedrigen Luftschichten und mithin einer steigenden Zahl gegenüber OWEA exponierter Tiere. Diese Anpassung kann binnen weniger Stunden zu einer Umkehrung einer zunächst gezeigten Höhenschichtung der Vögel führen: Während der von AUMÜLLER et al. (2011) und HILL et al. (2014c) geschilderten spezifischen Situation mit vielen Kollisionen (s. o.) konzentrierte sich Vogelzug im Laufe der Nacht und bei starkem Gegenwind zunehmend auf die untersten Luftschichten, nachdem vor Mitternacht Vogelzug weit überwiegend in Höhen von über 500 m bei zunächst noch profitablem Rückenwind stattgefunden hatte. Generelle Muster zur Höhenschichtung von Vogelzug belegen, dass das Gros des Zuges komprimiert in Luftschichten bis ungefähr 1.000 m (z. B. HÜPPPOP et al. 2009, HILL et al. 2014c) und im Gesamtspektrum niedriger als über Festland verläuft. Nachweise von Vogelzug über der Nordsee erstrecken sich bis in annähernd 4.000 m Höhe (HÜPPPOP et al. 2005b; HILL et al. 2014d mit teils modifizierten Schiffsradargeräten gemessen), mit einem Höhensuchradar gelangen Feststellungen sogar bis zu 5.500 m (JELLMANN 1979). Jedoch wurden in Höhen bis 200 m, was in weiten Teilen der Höhe der etwa 150 m hohen OWEA entspricht, in verschiedenen Studien aus dem Bereich der Deutschen Bucht übereinstimmend die jeweils höchsten Anteile des stattfindenden Vogelzuges ermittelt (z. B. HÜPPPOP et al. 2009, HILL et al. 2014c). Dabei entfiel nachts aber ein geringerer Anteil von Vogelzug auf Höhen bis 200 m als tagsüber. Die Exposition von Zugvögeln gegenüber Vogelschlag an WEA ist gemäß dem gefundenen generellen Muster mit niedrigerer Orientierung gegenüber Festlandsstandorten erhöht, deren Höhenprofil generell nach oben verschoben ist. Dies darf aber nicht über die situative Flexibilität in der Höhenwahl durch Vögel hinweg täuschen. Die vergleichsweise wenigen Einzelereignisse mit dafür zahlreichen Kollisionen gingen mit starker Annäherung von Vögeln an die Plattform einher (AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c, HÜPPPOP et al. in press), wie die jeweils parallel erfolgten Aufzeichnungen von Vogelrufen und in einigen Fällen auch zeitgleich mittels Radar gemessenen verminderten Flughöhen zeigten. Gesteigerte Rufraten gelten als Indikator für erhöhtes Kollisionsrisiko und sind vor allem während vogelzugabträglichen Witterungseinflüssen wie Gegenwind, vor allem aber auch erhöhter Luftfeuchtigkeit (einem Proxy für Regen, Nebel), erhöht (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). Für die an den Forschungsplattformen aufgetretene Mortalität scheint also das Auftreten von Wetterausprägungen, die „störend“ in das Zuggeschehen eingreifen, besonders

entscheidend zu sein. Sie rufen Verhaltensänderungen der zuvor andernorts gestarteten Vögel hervor und bestimmen so maßgeblich über die Kollisionsgefährdung.

Neben der Neigung zum Zug während spezifischer Tageszeiten modellieren **weitere artspezifische Unterschiede im Verhalten** die Exposition darüberhinaus. Seevogelarten im engeren Sinne treten besonders oft in Interaktion mit dem Medium Wasser, sei es zwecks Deckung ihres Nahrungsbedarfs, zu Ruhe- und Komfortverhalten o. Ä. Wohl auch deshalb bewegen sich einige dieser Arten(-gruppen) wie z. B. Alken (z. B. DIERSCHKE & DANIELS 2003) allgemein nur in solch niedrigen Höhen, dass der von den Rotorblättern überstrichene Höhenbereich fast ausnahmslos unterflogen werden dürfte. Überhaupt muss auch der ökologische Kontext Beachtung finden. So wählten GPS-überwachte Heringsmöwen *Larus fuscus* während Streckenflügen zwischen Nahrungsgebieten verstärkt Höhen, die der kollisionsgefährdeten Rotorzone entsprechen, wohingegen in Nahrungssuche begriffene Vögel niedriger flogen und den Rotorbereich somit häufiger unterfliegen dürften (CORMAN & GARTHE 2014). Maßgeblich gesteuert werden kann zwischenartlich divergierendes Verhalten auch von unterschiedlichen körperlichen Eigenschaften der Arten selbst. Bei großen und schweren Arten wie z. B. Gänsen sind die energetischen Kosten für das Aufsteigen als sehr hoch einzuschätzen (LIECHTI et al. 2000, KLAASSEN et al. 2004, LIECHTI & SCHMALJOHANN 2007). Vermutlich im Spiegel dieser Kosten vollzieht sich z. B. die Nordseequerung durch Kurzschnabelgänse konzentriert in Höhenbereichen von allenfalls wenigen hundert Metern (HÜPPPOP et al. 2010, DIERSCHKE et al. 2011). Aus diesem Blickwinkel wäre eine stärkere Gefährdung größerer Arten wie der Kurzschnabelgans abzuleiten, denn ein besonders großer Anteil von ihnen bewegt sich vorhersagbar im direkten Einwirkungsbereich von OWEA. Allerdings zeigen Gänse eine besonders hohe Selektivität für gut geeignetes Zugwetter (HÜPPPOP et al. 2009b). Zudem passieren zumindest Kurzschnabelgänse den Offshore-Bereich weit überwiegend unter Tageslicht (s. o.). Darüber hinaus zeigen Entenverwandte allgemein (DESHOLM & KAHLERT 2005, HILL et al. 2014b, c), aber auch Kurzschnabelgänse im Speziellen (PLONCKIER & SIMMS 2012), dann Ausweichverhalten gegenüber Offshore-Windparks und umfliegen diese zumeist. Überhaupt stellen OWEA unter Tageslicht offenbar für viele Arten(-gruppen) einen abschreckenden Stimulus dar, wie zusätzlich z. B. für Basstölpel *Sula bassana* (KRIJGSVELD et al. 2011, AUMÜLLER et al. 2013, VANERMEN et al. 2013, HILL et al. 2014b,c), Alken (PETERSEN et al. 2006, LEOPOLD et al. 2011, KRIJGSVELD et al. 2011, VANERMEN et al. 2013, HILL et al. 2014c), Seetaucher (PETERSEN et al. 2006, HILL et al. 2014c) oder Röhrennasen (BRAASCH et al. 2013, HILL et al. 2014c) plausibel gemacht werden konnte. Ausweichverhalten reduziert klar das Kollisionsrisiko, wird aber wiederum von anderen Gruppen wie z. B. den Großmöwen, aber auch tagsüber ziehenden Singvögeln, nicht gezeigt

(PETERSEN et al. 2006, LEOPOLD et al. 2011, KRIJGSVELD et al. 2011, VANERMEN et al. 2013, HILL et al. 2014b,c). Für viele weitere Arten(-gruppen) liegen keine Erkenntnisse vor. Obwohl aufgrund methodischer Restriktionen in der Detektierbarkeit kaum empirisch beobachtete Verhaltensantworten durch Vögel auf OWEA während der Nacht vorliegen, beleuchten diese wenigen Studien wichtige Aspekte. So zeigten z. B. ziehende Eiderenten *Somateria mollissima* einerseits ausweichendes Verhalten gegenüber OWEA, was zu einer Ausrichtung der Zugrichtung entlang der Turbinen führte. Andererseits hielten die Vögel dabei nachts weniger Abstand zu den Anlagen ein, als tagsüber (CHRISTENSEN et al. 2004). Für Entenverwandte ist somit eine unabhängig von der Tageszeit vom Windpark ausgehende, gleichermaßen fluchtauslösende Wirkung abzuleiten, deren „Reichweite“ sichtabhängig ist. Unter 1.034 zwischen Oktober 2003 bis Dezember 2012 auf FINO 1 (ohne bewegliches Rotorelement) gefundenen Kollisionsopfern wurde nur einmalig eine Pfeifente *Anas penelope* aber keine weiteren Entenverwandten, wozu auch Gänse zählen, registriert (HILL et al. 2014c). Auch Belege zu anderen untertags Offshore-Windparks meidenden Arten(-gruppen) (s. o.) fehlen und mindestens 95,4 % aller Opfer betrafen Singvögel.

Zielvorgaben, Informationsbedarf

Angesichts des derzeitigen Stands von mehr als 1.000 installierten OWEA im Bereich der Nordsee und vielen weiteren geplanten Anlagen (z. B. DE OLIVEIRA & FERNANDES 2012), bedarf mit Offshore-Bauwerken in Verbindung stehende Vogelmortalität weiterer Klärung hinsichtlich Umfang und den zu Grunde liegenden Mechanismen. Wachsende Kenntnisse zu den Mechanismen sind auch deshalb besonders wichtig, da sie bereits für sich genommen grundsätzliche Einschätzungen erlauben. Sie können in Teilen die Defizite aufheben, die einerseits mit den eingangs erläuterten Schwierigkeiten bei der Quantifizierung von Mortalität im Offshore-Bereich verbunden sind und andererseits mit dem selbst mit den modernsten Methoden der Vogelzugforschung nachts nicht hinreichend artspezifisch aufzulösenden Vogelzuggeschehen. Neben art(-gruppen)bezogenen Risikoeinschätzungen bieten Kenntnisse zu den Mechanismen Potenzial zur Eindämmung von mit OWEA verbundener Vogelmortalität, denn präzise Bestimmungen zum Vorkommen von spezifischen Situationen erhöhter Gefährdung können die Grundlage für Vermeidungsstrategien sein, wie z. B. zeitweises Abschalten von Anlagen (MAY et al. 2015, HÜPPPOP et al. in press). Untersuchungen zu Effekten von mit Offshore-Bauwerken verbundener Mortalität mit Wirksamkeit auf Populationsebene unterliegen indes großen Unsicherheiten, solange in erster Linie Quantifizierungen zu nächtlichen Vogelzahlen und tödlichen Kollisionen – jeweils auf Artbasis – nicht möglich sind.

Um die art(-gruppen)spezifische Gefährdung des Kollidierens mit OWEA beurteilen zu können, ist das Verhalten von Vögeln im Offshore-Bereich intensiv zu betrachten. Da mit hoher Divergenz zwischen verschiedenen Arten zu rechnen ist (s. o.), ist dabei eine möglichst hohe taxaspezifische Auflösung wichtig. Dazu gehört vor allem die weitreichende Klärung der grundlegenden art(-gruppen)spezifischen Exposition wie tages- und jahreszeitliche Muster im Auftreten und das quantitative Vorkommen (über ein relatives Maß), wie anhand nachts aus dem Nahumfeld der FINOs aufgezeichneter Rufe.

Gemäß 1.1 unterliegen nachts ziehende Singvogelarten einem besonderen Kollisionsrisiko. Zugleich passiert der Großteil aller Vögel den Betrachtungsraum nachts. Aus diesen Gründen erfolgt eine weitgehende Beschränkung auf die Analyse von Vogelzug während der Nachtstunden. Besonders in den Fokus rückte dabei die Frage – auch aufgrund der auf den FINOs registrierten Totfunde –, ob die Kollisionsgefährdung einer jahreszeitlichen Komponente unterliegt. Sobald dies der Fall wäre, ließe sich eine artspezifische Kollisionsgefährdung ableiten, denn jede Art hat ihr typisches Zugzeitfenster zum Durchqueren des Betrachtungsraums, wie sich z. B. anhand des Datenmaterials der Insel Helgoland erkennen lässt (DIERSCHKE et al. 2011).

Neben dem weitgehend genetisch fixierten Rahmen zum zeitlichen Zugverlauf (z. B. BERTHOLD 2011) sind es vor allem Wettereinflüsse, die darüber bestimmen, ob ein Vogel seinen Wanderflug aufnimmt oder nicht (s. u.). Deshalb bestimmt das Wetter in mitunter weit entfernten Regionen darüber, ob es im Bereich der Deutschen Bucht zu Vogelzug kommt oder nicht. Sobald sie den Weg über See gewählt haben, verbietet sich terrestrischen Landvögeln eine wassernde Zwischenrast selbst als Notlösung. Aus diesem Grund wird bisweilen auch auf hoher See und unter regional vogelzugabträglichem Wetter starker Vogelzug registriert (z. B. HÜPPPOP et al. 2009, HILL et al. 2014c). Dabei können schlechtes Wetter und ziehende Vögel aus verschiedenen Richtungen kommen, über See aufeinandertreffen und hier zu den eingangs erläuterten spezifischen Situationen mit vielen an Offshore-Bauwerken verunglückten Vögeln führen (z. B. AUMÜLLER et al. 2011). Untersuchungen dazu, unter welchen Bedingungen es zu starken Vogelzugnächten im Bereich der Deutschen Bucht kommt, müssen also abendliches Wetter weit entfernter potenzieller Aufbruchsregionen berücksichtigen. Solche Untersuchungen versprechen das Erkennen von bestimmten, großräumigen Konstellationen, die zu Vogelzug über der südlichen Nordsee führen. Dies wäre für Schutzmaßnahmen, wie sie Abschaltkonzepte darstellen, eine wichtige Grundvoraussetzung, denn dies würde eine kalkulierbare Vorlaufzeit für eine kurzfristige Abschaltung von OWEA mit sich bringen. Des Weiteren ließe sich ggf. ableiten aus welchen Großregionen die über der offenen See registrierten nächtlichen Durchzügler mehrheitlich stammen dürften, also wo und unter welchen Bedingungen diese am Vorabend aufgebrochen sind. In einer Gesamtbilanz ließe sich also

angeben, ob auch mit unterschiedlicher Kollisionsgefährdung in Abhängigkeit der räumlichen Herkunft zu rechnen ist. Eine herausragende Rolle zur Klärung dieser Fragen spielen zum Einen die langjährigen Daten eines auf FINO 1 installierten, im ganzjährigen Routinebetrieb laufenden und auch hier zur Analyse verwendeten Vertikalradars, welches vor allem zur quantitativen Erfassung (als relatives Maß) von Vogelzug optimiert ist. Zum Anderen wurde ein seit 2009 ebenfalls im Routinebetrieb Daten lieferndes Parabolradar auf FINO 3 herangezogen, welches es zusätzlich zu quantitativen Aspekten ermöglicht, Vogelzug in seinem Richtungsverlauf darzustellen. Wir nutzen die Daten beider Systeme, um über die parallele Berücksichtigung von Wetterinformationen – zum einen in den potenziellen Aufbruchsregionen, zum anderen nachts über See – die Wetterabhängigkeit des nächtlichen Vogelzugs über der südlichen Nordsee präzisieren und Muster erkennen zu können.

Weiterhin wurde untersucht, ob und inwieweit die Errichtung des Windparks DanTysk die Stärke der kollisionsgefährdenden Exposition für ziehende Vögel verändert hat. Wie im Falle der Untersuchungen auf FINO 1 (HILL et al. 2014c) konnte dazu auf langjährige Datenreihen einiger im routinemäßigen Dauerbetrieb angewandter Methoden zur Vogelzugerfassung zurückgegriffen werden. So werden seit dem Herbst 2009 und somit vor Errichtung des Windparks DanTysk ab dem Jahr 2013 Daten zum Vogelzug mittels Radar und Mikrofon erfasst. Beides erlaubte einen intensiven Vorher-Nachher-Vergleich (BAC) zur Darstellung windparkinduzierter Effekte auf den Vogelzug. Auch die Funde auf FINO 3 verunglückter Vögel wurden einem BA-Vergleich unterzogen. Durch die Langzeitdatenreihen konnte auch der Einfluss von Wetterparametern, die maßgeblich über den Vogelzug in Raum und Zeit bestimmen können, durch Mittelung über viele Jahre reduziert und über geeignete Analyseverfahren weiter eingedämmt werden. Einzelnacht-Studien zum Richtungsverlauf liefern darüber hinaus Hinweise auf mit dem Windpark kausal in Verbindung stehende Richtungsänderungen von Vögeln. Quantitative Angaben dieser beiden Methoden sind aber als relatives Maß und nicht als absolute Vogelzahlen beisteuernde Ansätze aufzufassen. Die spezifischen Restriktionen der Methoden erlauben es derzeit nicht, die gemessenen Raten in Beziehung zum allgemeinen Hintergrundgeschehen zu setzen. Während der Dunkelheit erlauben nur die beiden genannten Methoden Messungen zum Vogelzug, so dass eine Quantifizierung des Vogelzugs auf der Basis absoluter artspezifischer Vogelzahlen nachts weiterhin nicht möglich ist.

Windparks können auf Vögel unter Tageslichtbedingungen eine Scheuchwirkung entfalten (z. B. HILL et al. 2014c). Analysen hierzu erfolgten für FINO 3 bereits an anderer Stelle (WELCKER et al. 2015). Ergänzend dazu liefern die Daten des von uns betriebenen Videosystems zu einigen Aspekten des Tagzugs wichtige Zusatzinformationen, die nachstehend in diesen Bericht integriert sind.

Allgemein ist zu bedenken, dass Fragen zu Auswirkungen des Baus und Betriebs von Offshore-Windparks auf den Vogelzug vergleichsweise neu sind, was die fortschreibende Entwicklung neuer und bestehender Methoden zu deren Beantwortung mit sich bringt.

1.2 Stand von Wissenschaft und Technik

1.2.1 Phänomen Vogelzug

Viele Vogelarten in unseren Breiten müssen dem nördlichen Winter ausweichen. Grund dafür sind die dann schlechten Ernährungsbedingungen, wie vor allem im Falle von insektenfressenden Arten. Bei diesen Wanderflügen, die zum Verlassen nördlicher Breiten im Herbst und zum Zurückkehren im darauffolgenden Frühjahr führen, handelt es sich um Vogelzug. Als über lange Zeiträume evolvierte Anpassungsstrategie steht Vogelzug zunächst unter dem Einfluss endogener Steuerungsgrößen, die den Vogel in den physiologischen Zustand der Zugbereitschaft versetzen (vgl. z. B. BERTHOLD 2011). Kern dieser Anpassung ist die Anlagerung von Fett in speziellen Körperzellen, welches während der Wanderflüge zur Versorgung der unter Höchstbelastung arbeitenden Flugmuskulatur über den Blutstrom aufgezehrt wird. Diese Eigenschaft ist einzigartig innerhalb der Vertebraten und ermöglicht Vögeln ganz außerordentliche Leistungen. Deutlich werden die Leistungen allein schon am gewaltigen Einzugsbereich des regelmäßig im südlichen Nordseebereich zu erwartenden Artenspektrums (DIERSCHKE et al. 2003), wie es z. B. am über viele Jahre durchgeföhrten Fang zur Beringung von Zugvögeln auf Helgoland deutlich wird: Vögel erreichen den Bereich von Island im Westen bis zum Ural im Osten sowie von Namibia im Süden bis Spitzbergen im Norden (DIERSCHKE et al. 2011). Über diese Ringfunde mit Helgoland-Bezug hinaus ist bekannt, dass etliche Vögel aus noch weiter entfernten Gebieten stammen: Aus NE-Kanada und Grönland kommen einige Limikolenarten wie z. B. der Knut *Calidris canutus*, und mit dem Steinschmätzer erreicht sogar eine kleine Singvogelart aus der Nearktis ganz regulär die südliche Nordsee. Aus der sibirischen Tundra gelangen Ringelgänse *Branta bernicla* und wiederum einige Limikolenarten in den Betrachtungsraum (BAIRLEIN et al. 2014). Mit dem Dunklen Sturmtaucher *Puffinus griseus* gelangt ab und an sogar eine Art in das Seegebiet der Deutschen Bucht, die auf den Falklandinseln in der südlichen Hemisphäre brütet. Umgekehrt dürften hier durchziehende und bis in hochnordische Küsten brütende Küstenseeschwalben *Sterna paradisaea* ziemlich sicher in der Antarktis „überwintern“. Der gewaltige Einzugsbereich darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass der bei Weitem größte Teil der um FINO 3 durchziehenden Vögel tatsächlich in Skandinavien brütet. Nach der Brutzeit zumeist nach Süd bis West ziehende Singvögel stellen dabei das Gros (DIERSCHKE et al. 2011). Kurz- und Mittelstreckenzieher

wie z. B. Rotdrossel *Turdus iliacus*, Feldlerche oder Wiesenpieper *Anthus pratensis* überwintern in West- und Südeuropa, ohne dabei das Mittelmeer zu queren. Langstreckenzieher wie z. B. Gartenrotschwanz *Phoenicurus phoenicurus* oder Fitis *Phylloscopus trochilus* überqueren demgegenüber zusätzlich noch die Sahara, um als Insektenfresser in W-, Zentral- und S-Afrika dem nördlichen Winter auszuweichen. Auch ein großer Teil der Gänse, Enten oder Limikolen stammt aus Skandinavien, allerdings ist hier der Anteil aus N-Sibirien oder der Arktis stammender Tiere (und Arten) größer. Möwen und Seeschwalben dürften überwiegend aus dem Nord- und Ostseeraum kommen, wenngleich eine regelmäßige Passage auch von arktischen Populationen für die Deutsche Bucht belegt ist (DIERSCHKE et al. 2011).

Mit ca. 30 Arten ist nur ein kleiner Teil der im Bereich auftretenden Vogelarten den Seevögeln im engeren Sinne zuzuordnen, die übrigen Arten überfliegen den Bereich im Allgemeinen nur, ohne dabei zu rasten oder Nahrung zu suchen. Zwar sind solch ziehende Vögel während des gesamten Jahresgangs zu erwarten, es lassen sich aber dennoch zwei Phasen mit besonders verstärktem Vogelzug im Frühjahr (Heimzug) und im Herbst (Wegzug) abgrenzen (z. B. HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004, DIERSCHKE et al. 2011). Im Allgemeinen durchqueren die Vögel den Bereich im Jahresgang zweimal, nämlich auf ihrem Weg in die Brutgebiete (Heimzug) bzw. in ihr Überwinterungsquartier (Wegzug). Es besteht aber auch die Möglichkeit zu mehrfachem Pendeln wie z. B. im Falle von winterlichen Kältefluchten oder zu nur einmaligem Durchqueren der Region, sobald das Zugsystem einem Schleifenzug entspricht (BAIRLEIN et al. 2014).

1.2.2 Wetter & Energetik

Zugvögel verfügen über endogen kontrollierte Strategien zum Erreichen ihrer Zielgebiete. Diese Strategien umfassen u. a. ein räumlich-zeitliches Zugmuster (BERTHOLD 2011), bei dem sowohl die jahreszeitlichen Zeitfenster für Zugbewegungen als auch die Zugrichtungswahl weitgehend genetisch festgelegt sind (z. B. GWINNER & WILTSCHKO 1978, BERTHOLD & HELBIG 1992, CONKLIN et al. 2010). Die Strategien können zwischen den Arten, aber auch zwischen Populationen, Geschlechtern oder Altersklassen derselben Art variieren. Dieser genetisch fixierte Rahmen zur Organisation des zeitlich-räumlichen Ablaufs lässt den Vögeln Spielraum, um flexibel auf äußere Einflüsse reagieren zu können, sowohl während der Rast (z. B. ERNI et al. 2002, JENNI & SCHaub 2003) als auch während der Flugstrecken in der Luft (z. B. LIECHTI 2006, SCHMALJOHANN et al. 2009) und im Hinblick auf die eigene körperliche Konstitution (z. B. BAIRLEIN 1988, DIERSCHKE et al. 2005).

Start- und Zielgebiete liegen oft hunderte oder gar tausende Kilometer auseinander und die dazwischenliegende Strecke muss in einer gewissen Zeitspanne absolviert werden. Um diese Aufgabe erfolgreich lösen zu können, brauchen Zugvögel Orientierungsmöglichkeiten um ihr Ziel zu finden sowie den nötigen 'Treibstoff' zur Bewältigung der Entfernung. Die dazu von Zugvögeln aufzuwendende Energie und Zeit, aber auch Sicherheitsaspekte, wurden als Hauptparameter für Überlebens- und Fitnesskonsequenzen im Rahmen der *Optimal Migration Theory* postuliert (ALERSTAM & LINDSTRÖM 1990). Obwohl die aufaddierten Kosten aller Rastaufenthalte diejenigen Kosten aller dazwischen liegenden Flugstrecken innerhalb einer Zugsaison um das doppelte bis Dreifache übersteigen (HEDENSTRÖM & ALERSTAM 1997, WIKELSKI et al. 2003, SCHMALJOHANN et al. 2012), ist die energetische Effizienz der Wanderflüge ein Schlüsselfaktor. So kann in speziellen Körperzellen angelagertes und als Treibstoff fungierendes Fett nicht unbegrenzt mitgeführt werden (z. B. HEDENSTRÖM & ALERSTAM 1992), was einerseits die maximale Reichweite begrenzt und andererseits die Notwendigkeit des 'Wiederauftankens' in geeigneten aber nicht unbegrenzt verfügbaren Rastgebieten mit sich bringt. Herausragende Bedeutung zur erfolgreichen Bewältigung der Gesamtdistanz kommt also der Flugroute zu (LIECHTI 2006).

Flugroute

Die Flugroute bestimmt neben der Länge der Flugstrecke und über die Möglichkeit zum Auffinden geeigneter Rastplätze auch über die Konfrontation mit Risiken im Luftraum und am Boden. Am gesamten Energie- und Zeitbedarf zwischen originärem Start und finalem Ziel ist sie maßgeblich beteiligt, ebenso an Ausschluss oder Inkaufnahme zeitlich-räumlich variierender Risikofaktoren. Der Flug der Tiere findet dabei in der hochdynamischen Atmosphäre statt, die ihrerseits auf die vom ziehenden Vogel aufzuwendende Energie und Zeit einwirkt und die so die Flugroute modellieren kann. Gegen- bzw. Rückenwinde können leicht die Flugkosten verdoppeln oder halbieren, denn maximale Windgeschwindigkeiten liegen ungefähr in derselben Größenordnung maximaler Reisefluggeschwindigkeiten von Vögeln über Grund (LIECHTI 2006, NEWTON 2010). Dass Vögel auf variable atmosphärische Verhältnisse tatsächlich mit Änderungen der Flugroute reagieren, wird im Falle seitlicher Winde besonders deutlich. Radarstudien haben gezeigt, dass Zugvögel verschiedene häufige Verhaltensmuster gegenüber Seitenwinden zeigen (siehe z. B. Übersicht in NEWTON 2010): Inkaufnahme von Drift unter Beibehaltung der ursprünglichen Ausrichtung der Körperachse (Heading; vollständige Drift), Beibehaltung der Flugroute trotz des Windes (vollständige Kompensation), aber auch Mischformen wie Neuausrichtung des Headings und/oder Anpassung der Reisegeschwindigkeit, ohne dabei vollständig für Lateraldrift zu kompensieren. Die vom genetischen Programm vorgegebene Zugrichtung über Grund kann also während verschiedener Windbedingungen über Variationen in der Ausrichtung der

Körperachse durch den Vogel beibehalten werden. Je größer allerdings die Seitenwindkomponente bei einer bestimmten Fluggeschwindigkeit ist, desto größer muss der Kompensationswinkel zwischen Heading und Flugrichtung über Grund sein. D. h. der Vogel muss sich zunehmend in den Wind ausrichten und gegen diesen anfliegen. Dieser Kompensationswinkel kann wieder verkleinert werden, indem die Reisegeschwindigkeit erhöht wird (KERLINGER 1989), was aber ebenfalls zusätzliche Flugkosten mit sich bringt. Der Punkt an dem ein Vogel nicht mehr in der Lage ist, für Drift durch Seitenwinde zu kompensieren, ist somit eine Funktion aus Windgeschwindigkeit und -richtung sowie der maximalen Reisegeschwindigkeit eines Vogels (EVANS 1966). Letztere kann wiederum zwischen verschiedenen Arten divergieren.

Deutlich wird, dass das unbedingte Festhalten an einer Zugroute sehr leicht kostspielig werden kann und der Vogel unter Umständen Gefahr lief, seine vorhandenen Energiereserven vollständig aufzuzechren. Zugelassene oder erzwungene Drift führt zu einer Verlängerung der Zugroute, was ebenfalls Zeit und Energie kosten, aber auch sparen helfen kann. Winddrifteffekte sind eine häufige Situation für ziehende Vögel (z. B. NEWTON 2010), weshalb vielfältige Modifikationen der Zugroute vorhersagbar sind. Fast immer sollten Anpassungen der Richtungswahl (Ausnahme: erzwungene Drift, s.o.) adäquate Entscheidungen durch den Vogel widerspiegeln, um entweder von den gegebenen Windverhältnissen profitieren oder aber zumindest kostenintensive Windeffekte vermeiden zu können. Über Drift vom Kurs abgewichene Vögel sind in der Lage, während späterer Etappen für die Ablenkung zu korrigieren (THORUP & RABØL 2001).

Solange sich Vögel über Regionen mit hinreichend geeigneten Rastmöglichkeiten bewegen, wäre Zwischenrast eine günstige Alternative, sobald die Flugbedingungen immer kostspieliger werden. Im Allgemeinen nicht möglich ist dies jedoch, sobald sich ein Vogel über einer ökologischen Barriere fortbewegt, wie es z. B. ausgedehnte Meere für terrestrische Vögel sind. Solche Situationen sind keine Ausnahmen und ansonsten landlebende Zugvögel überqueren regelmäßig z. B. das Mittelmeer (z. B. BRUDERER & LIECHTI 1998, FORTIN et al. 1999), den Golf von Mexico (z. B. GAUTHREAUX et al. 2006, STUTCHBURY et al. 2009) oder den Nordatlantik (z. B. STODDARD et al. 1983, WILLIAMS & WILLIAMS 1990, NISBET et al. 1995), um auf diese Weise Wegstrecke und Zeit zu sparen (z. B. SCHMALJOHANN & NAEF-DAENZER 2011). Im Extremfall können solche Nonstop-Überseeflüge Strecken von mehr als 11.000 km umfassen, wie die Arbeiten von GILL et al. (2005), GILL et al. (2009) und BATTLEY et al. (2012) für in Alaska brütende und in Neuseeland bzw. Ostaustralien überwinternde Pfuhlschnepfen *Limosa lapponica* der Unterart *baueri* zeigen. Überseeflüge stellen, egal ob einige hundert oder tausend Kilometer lang, für landlebende Vögel immer ein immenses Risiko dar, insbesondere dann, wenn die Vögel während der Passage auf

ungünstige atmosphärische Bedingungen treffen. In einigen solchen Fällen wurde zwar Umkehrzug in die Richtung zuvor erfolgten Aufbruchs beobachtet (z. B. BRUDERER & LIECHTI 1998, HÜPPPOP et al. 2006), sobald sich die äußereren Bedingungen noch in Küstennähe verschlechterten und das Risiko die offene See zu queren offensichtlich zu groß wurde. Weit draußen auf See besteht diese Möglichkeit mit Sicherheit nicht in gleichem Maße und spontan eingeschobene Zwischenrast zwecks „Auftankens“ ist nur im Falle besonders glücklicher Umstände wie dem Auffinden einer Insel mit geeignetem Nahrungsangebot möglich. In diesem Sinne werden auch die seltenen Zwischenstopps während der transozeanischen Nonstop-Flüge von Pfuhlschnepfen (s. o.) auf pazifischen Inseln interpretiert, die allesamt während der Bewältigung atmosphärisch ungünstiger Situationen oder kurz danach eingelegt wurden (GILL et al. 2009, BATTLEY et al. 2012). Die ansonsten ohne solch glückliche Umstände realisierte Flugroute ist mehr und mehr der bestmögliche Kompromiss aus mitgeführtem Treibstoff, den verschiedenen energiezehrenden Rahmenbedingungen und dem avisierten Ziel – ohne Erfolgsgarantie, aber mit der Möglichkeit, die letzten Energiereserven aufzubrauchen ohne bis dahin rettendes Land erreicht zu haben. Da zugelassene oder erzwungene Drift nicht selten sind (s. o.), sind auch Irrläufer in ansonsten nicht regulär aufgesuchten Gebieten zu erwarten. So zeichnen Ortungen satellitenüberwachter Flugstrecken von den bereits mehrfach erwähnten und über den pazifischen Ozean ziehenden Pfuhlschnepfen in einigen wenigen Fällen enorme Richtungsänderungen nach, die die Vögel von der zunächst eingehaltenen normalen Flugroute „plötzlich“ in weit westlich gelegene Gebiete führten. Über spätere Etappen gelangten die Vögel dann trotzdem in ihr eigentliches Überwinterungsgebiet in Neuseeland (s. GILL et al. 2009, BATTLEY et al. 2012), weshalb die modifizierten Flugrouten als adaptive Verhaltensantwort im Spiegel plötzlicher Konfrontation mit ungünstigen Windverhältnissen über dem offenen Ozean interpretiert wurden (BATTLEY et al. 2012, SHAMOUN-BARANES et al. 2010). Nicht ohne weiteres ersichtlich ist hierbei der Unterschied zwischen zugelassener oder erzwungener Drift im Falle von Windgeschwindigkeiten, die die Eigengeschwindigkeit des Vogels über Grund übersteigt. Letzterer Fall ist jedoch zumindest bei passerinen transozeanischen Irrgästen nordamerikanischer Herkunft wahrscheinlich, deren Auftreten an westeuropäischen Küsten häufig in auffälliger Art und Weise mit besonders starken von West nach Ost über den Atlantik ziehenden Sturmtiefs zusammen fällt (ELKINS 2008).

Zusammengefasst steht ein Vogel, der auf eine ökologische Barriere trifft, vor der Entscheidung des zwar schnellen aber dafür riskanten Direktfluges oder aber der Wahl zum demgegenüber langsameren aber sichereren Umfliegen des Hindernisses, sofern von besiedlungshistorischen Aspekten bei der Zugroutenwahl abgesehen wird (s. hierzu z. B. NEWTON 2010).

Abzugsbedingungen und -richtungen

Ebenso wie Aspekte zur Flugroute wird auch die Entscheidung über **Abzug oder Verbleib** an einem Rastplatz vor dem Hintergrund komplexer Wechselbeziehungen zwischen dem Vogel und seiner Umwelt getroffen. Faktoren die den zeitlichen Ablauf des Rastens oder die Wahl der Zugrichtung beeinflussen und das endogen gesteuerte Zugverhalten modulieren, sind die Körperkondition und die verfolgte Zugstrategie, der Prädationsdruck, innerartliche Konkurrenz, das Wetter sowie übergeordnet das Zugziel, da sich Zugvögel je nach Distanz und zu überquerendem Terrain unterschiedlich auf die Flüge vorbereiten müssen.

Sowohl Fliegen als auch Rasten bedürfen Zeit und verbrauchen Energie. Während der Rast muss so viel Überschuss an Energie aufgenommen werden, dass damit auch die Flugstrecken zu bewältigen sind. Die Nahrungsaufnahme ist ein zeitraubender Prozess, denn geeignete Nahrung muss gesucht, gefunden, gehändelt und dem Körper zugeführt werden. Rastzeiten übersteigen i. A. die insgesamt im Flug verbrachte Zeit bei weitem (z. B. WIKELSKI et al. 2003), denn die Energieanlagerung erfolgt an einem Rastplatz langsamer als der Energieverbrauch während des Fliegens. Auch die energetischen Kosten des Rasten betragen über die gesamte Reisestrecke betrachtet ein Mehrfaches der Flugkosten (s. o.). Ein Zugvogel kann also sowohl viel Zeit als auch Energie sparen, wenn während der Rast der zeitliche und energetische Aufwand gering gehalten werden. Zugvögel unterscheiden sich dabei in ihren Strategien zur Kostensenkung: Vögel, die die aufzuwendende Zeit für die Gesamtstrecke gering halten müssen oder können, sind zur Anlagerung von Energie in Form von Fettreserven innerhalb kurzer Zeit befähigt. Schnelles Auftanken zur Bewältigung einer langen oder sogar mehrerer Flugstrecken kurz hintereinander verringert für solche Vögel die gesamte Zugdauer und führt zu einer hohen Zuggeschwindigkeit über die Gesamtstrecke. Für solche „Zeitminimierer“ ist anzunehmen, dass sie ihren Rastplatz bevorzugt dann verlassen, sobald sie niedrige Energieanlagerungsraten erreichen, denn in diesem Fall sind sie langsam unterwegs. Ist schnell viel Energie an einem Rastplatz erreichbar, ist hingegen längeres Verweilen und die Anlagerung großer Energiereserven durch maximal mögliches Ausbeuten der Nahrungsquelle anzunehmen. Demgegenüber verlassen „Energieminimierer“ ihren Rastplatz unabhängig von der Energieanlagerungsrate mit Erreichen eines bestimmten Zielwerts an Fettreserven für die anstehende Etappe. Bei solchen Vögeln sind i. A. die energetischen Flugkosten die höchsten während des gesamten Zuges. Diese Flugkosten wiederum hängen, günstige Windbedingungen vorausgesetzt, vor allem von der zu transportierenden Masse ab, so dass nur so viel Fett angelagert wird, wie für die nächste Etappe sinnvoll und nötig ist. Eine verstärkte Neigung zum Abzug und unabhängig von der erfahrenen Energieanlagerungsrate ist für solche „zeitminimierenden“ Zugvögel vorher zu sagen, die unter ansonsten günstigen Rastbedingungen einem hohen Prädationsdruck ausgesetzt sind: Stark anwachsende Fettreserven gehen zu Lasten der Beweglichkeit,

weshalb solche Vögel leichter Beute von Prädatoren werden (KULLBERG et al. 1996). Empirische Studien haben diese Überlegungen belegen können (DIERSCHKE et al. 2005, SCHMALJOHANN & DIERSCHKE 2005) und darüber hinaus gezeigt, dass diese Zugstrategien innerhalb einer Art zwischen den Jahreszeiten aber auch den Geschlechtern variieren können.

Bei allen Strategien sind Nahrungsbedarf und -verfügbarkeit aber zunächst die Schlüsselfaktoren: Wird Energie benötigt, muss der Abzug hinausgezögert werden. Erweist sich der Rastplatz als nahrungsarm oder ist die Nahrung z. B. durch eine hohe Zahl an Mitbewerbern oder Fressfeinden kaum zu erreichen, ist schneller Abzug sinnvoll, soweit dies die noch vorhandenen Reserven erlauben. Lange Nonstopflüge zur Überwindung einer Barriere sind besonders energieaufwendig, woraus die Anlagerung zusätzlicher Reserven abgeleitet werden kann. Tatsächlich kann im Vorfeld der Überquerung von Barrieren wie Mittelmeer und Sahara oftmals der Aufbau besonders großer Fettdepots beobachtet werden (BAIRLEIN 1991).

Sobald die Körperfondition für die gemäß dem inneren Programm anstehende Etappe stimmt, sind die Wetterbedingungen eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Frage nach Abzug oder Verbleib. Starker Gegenwind, Regen und/oder geschlossene Wolkendecke sind Faktoren, die Rastvögel zumeist am Aufbruch hindern, denn die energetischen Kosten für Flugbewegungen sind vorhersehbar hoch, wie auch die Orientierungsmöglichkeiten vermindert sein werden – insbesondere Vögel, die sehr weite Strecken vor sich haben sind diesbezüglich sehr wählerisch (DIERSCHKE & DELINGAT 2001). Zugaktivität korrespondiert darüber hinaus aber auch noch mit weiteren Wetterfaktoren, wobei die wichtigste Variable zwischen verschiedenen Studien schwankt: (1) Niederschläge (z. B. ALERSTAM 1978, NILSSON et al. 2006), (2) Wind (z. B. RICHARDSON 1990, MOURITSEN 1998, BOLSHAKOV & CHERNETSOV 2004, GREEN et al. 2004, LIECHTI 2006), (3) Temperatur (z. B. HÜPPPOP & HÜPPPOP 2003, HÜPPPOP & WINKEL 2006, SOKOLOV & GORDIENKO 2008), (4) atmosphärischer Druck/Druckänderungen (z. B. DÄNHARDT & LINDSTRÖM 2001, SHAMOUN-BARANES et al. 2006) und (5) Bewölkungsgrad (z. B. MOURITSEN 1998, MARCHETTI & BALDACCINI 2003, NILSSON et al. 2006). Viele Wetterfaktoren sind autokorrelativ, weshalb es schwierig ist zu entscheiden, ob Vögel z. B. auf Temperatur- oder Luftdruckänderungen an sich reagieren.

Generell spielt sich Vogelzug in Mitteleuropa vor allem entlang einer NE-SW-Achse ab (z. B. VAN BELLE et al. 2007, DIERSCHKE et al. 2011), im herbstlichen Mitteleuropa dominiert nach SW gerichteter Vogelzug. Profitable Rückenwinde bietende NE-Winde werden dann zumeist von Kaltlufteinbrüchen begleitet, wie umgekehrt die im Frühjahr den zu dieser Jahreszeit vor allem nach NE gerichteten Vogelzug unterstützenden SW-Winde sehr oft Warmluft herantransportieren (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2003). In beiden Fällen sind neben der

schwierigen Differenzierung von Wind- und Temperatureinflüssen zusätzlich noch Rückkopplungseffekte auf den Energiehaushalt und mithin die Körperkondition (s. o.) zu unterstellen: Temperaturschwankungen verändern die Aufwendungen für Thermoregulation und die Verfügbarkeit von geeigneter Nahrung (z. B. MENZEL et al. 2006, VAN DER GRAAF et al. 2006). Bei einer Radarstudie zum Vogelzug in Mitteleuropa ließen sich alle genannten Wettervariablen als Einfluss auf die Zugaktivität nehmend identifizieren, zwei Drittel des täglichen Umfangs von Vogelzug konnte aber allein über Wind und Niederschläge erklärt werden. Dabei war die Dauer des Regens entscheidender als die Menge (ERNI et al. 2002).

Der Zwang zu zusätzlicher Anlagerung von Fettdepots zur Überwindung einer ökologischen Barriere und die verstärkte Selektion günstiger Wetterbedingungen (DIERSCHKE & DELINGAT 2001) legen verlängerte Rastaufenthalte im Vorfeld einer Barriere wie z. B. einer Meeresquerung nahe. Im Umfeld von Aufbruchsküsten kommt es bei ungünstigen äußereren Zugbedingungen des Öfteren zu besonderen Aggregationen von Zugvögeln (ERNI et al. 2002, LIECHTI 2006); im Allgemeinen wird dann von einem Zugstau gesprochen (KESTENHOLZ et al. 2009). Verbessern sich nachfolgend die Wetterbedingungen wieder, kann dies massenweisen Abzug initiieren und solche Ansammlungen im Wortsinne über Nacht auflösen (ERNI et al. 2002). Insgesamt führt dies in Offshore-Bereichen zu einem Muster gemessener Vogelzugintensitäten stark unterschiedlicher Ausprägung, deren tageweise aber auch zwischenjährliche Schwankungs-Amplitude durch ungemein starke Ausschläge gekennzeichnet ist (z. B. HÜPPOP et al. 2010, HÜPPOP et al. 2012, HILL et al. 2014c). Je nach Situation kann dabei während ganzer saisonaler Abschnitte in einem Jahr starker Vogelzug herrschen, in einem anderen Jahr derselbe zeitliche Abschnitt jedoch weitgehend vogelzugbefreit sein.

Die Körperkondition ist nicht nur für die Entscheidung über Abzug oder Verbleib wichtig, sondern spielt auch bei der **Richtungswahl** im Falle erfolgten Befehls zum Aufbruch eine wichtige Rolle: Vögel mit hohen Energiereserven wählten häufiger den riskanten Direktflug zur Überwindung der Barriere (SCHMALJOHANN & NAEF-DAENZER 2011), solche mit weniger „Treibstoff“ den insgesamt zwar zugwegverlängernden aber angesichts vieler Möglichkeiten zur Rast und Nahrungsaufnahme sichereren Umweg über Land (SCHMALJOHANN et al. 2011). Steinschmätzer der Unterart *leucorhoa*, die auf Island und in Grönland brüten und in Afrika überwintern, müssen auf dem Zug in ihre teils arktischen Brutgebiete irgendwann zwischen Iberien und Skandinavien ihre Zugrichtung von Nord nach Nordwest oder gar West ändern, um den Nordatlantik zu überqueren. Eine entsprechende Änderung der Zugrichtung scheint nur dann vorteilhaft zu sein, wenn die Vögel ausreichend große Energiereserven angelagert haben, die in Verbindung mit günstigen Winden einen erfolgreichen Flug über die atlantische Barriere ermöglichen. Als Auslöser für diese genetisch vorprogrammierte Richtungsänderung

wird daher eine gute Körperkondition vermutet (SCHMALJOHANN & DIERSCHKE 2010). Dies wäre ein einfacher Mechanismus der nach SCHMALJOHANN & DIERSCHKE (2010) lauten würde: „Fliege erst dann nach Nordwesten, wenn du sehr große Energiereserven hast!“

Eine Konfliktsituation können länger anhaltende Wettersituationen sein, die einerseits ungünstig für den Abzug gemäß dem räumlich-zeitlichen Programm sind, aber andererseits auch die Energiezufuhr während der Rast beeinträchtigen. Ab einem gewissen Ausmaß könnte es sich lohnen, den aktuellen Standort schnell zu verlassen, ohne dass dabei besonderer Wert auf die Justierung der Feinrichtung gelegt wird, sondern viel eher auf Flug über Land bei Fortbewegung in die programmgemäße Grobrichtung unter akzeptablem Energieaufwand, sprich in Anpassung an die aktuellen Windverhältnisse. Dies könnte erklären, warum es einerseits auch zu Abzugsergebnissen unter ungünstigen äußereren Bedingungen kommen kann und sich folglich nicht alle „Zugstaubedingungen“ in einem späteren „Massenereignis“ entladen müssen. Weiterhin könnten solche Situationen auch zum Umfliegen führen, so dass Querungen von z. B. Meeresarealen überproportional seltener stattfinden sollten. Besonders die art- oder populationsspezifische Betrachtungsebene liefert hierfür Hinweise. Halten ungünstige Zugbedingungen längerfristig an und schließt sich währenddessen das genetisch programmierte Zugzeitfenster einer Art oder Population zum Durchqueren dieser Region endgültig, sind jahrweise „Ausfälle“ von nennenswertem und ansonsten üblichem Durchzug für Barriereregionen anzunehmen. Solche jahrweisen „Ausfälle“ art- bzw. populationsspezifischen Zuggeschehens sind z. B. für Helgoland, einem Standort inmitten einer als ökologischen Barriere fungierenden Region, besonders typisch (vgl. hierzu DIERSCHKE et al. 2011). Sie werden immer dann besonders augenfällig, sobald die in diesem Bereich vogelzugabträglichen herbstlichen Westwetterlagen lange anhalten. Nur in Ausnahmefällen erreichen Zugvögel ihre eigentlichen Zielgebiete aber tatsächlich verspätet (z. B. TØTTRUP et al. 2012). Die Vögel müssen also zuvor mit veränderten Zugrouten und mithin anderen Abzugsrichtungen auf die anhaltend schlechten Zugbedingungen reagiert haben. Auch Rückkehr zum vorherigen Rastplatz mit der zuvor gemachten Erfahrung besserer Nahrungsbedingungen kann mit Erreichen einer Barriere und im Falle ungünstiger Bedingungen eine sinnvolle und tatsächlich beobachtete Alternative sein (SCHMALJOHANN & DIERSCHKE 2010), zumindest solange dies das regionale Zeitfenster zum Zug erlaubt.

Die Nordsee – Modell für eine ökologische Barriere

Während des Wanderfluges verunglückte Vögel (z. B. durch Kollisionen mit Funkmasten, Leuchttürmen o. ä.) tendieren im Betrachtungsraum dazu, besonders schwer zu sein (DIERSCHKE & BINDRICH 2001). Dies weist darauf hin, dass die Nordsee als ökologische

Barriere fungiert und zu besonderer Fettanlagerung durch die das Gros des nächtlichen Zuges stellenden passerinen Zugvögel führt. Im Vergleich zu anderen, ausgedehnteren ökologischen Barrieren wie dem Mittelmeer oder der Sahara, fliegen Vögel im Bereich der Nordsee aber mit eher geringen Fettdepots (DIERSCHKE et al. 2000).

Die besondere Selektivität geeigneter Zugbedingungen zur Überwindung einer Barriere durch Zugvögel führt im Betrachtungsraum zu tageweisen aber auch zwischenjährlichen Schwankungs-Amplituden mit ungemein starken Ausschlägen der gemessenen Vogelzugintensitäten (z. B. HÜPPPOP et al. 2010, HÜPPPOP et al. 2012, HILL et al. 2014c). Streuungen der genetisch fixierten mittleren Zugrichtungen zwischen verschiedenen Arten, Populationen derselben Art aber auch solchen zwischen einzelnen Individuen (z. B. HELBIG et al. 1989, HELBIG 1991) führen dazu, dass an einem Messstandort Vögel unterschiedlicher Herkunft auch zeitgleich auftreten können. Vor allem ist die an einem Ort gemessene nächtliche Zugintensität aber das Resultat dessen, was andernorts an Aufbruchsbedingungen herrscht und was entlang der Strecke passiert. So rechtfertigen die vielfältigen Möglichkeiten zur Modifikation der Flugroute in Abhängigkeit der Windbedingungen en Route, gemeinsam mit über See quasi nicht vorhandenen Möglichkeiten zur Zwischenrast, die Vermutung, dass sich an einem Messpunkt in der offenen See registrierter Vogelzug nächteweise auf verschiedene Hauptherkunftsgebiete zurück führen lassen könnte. Bestimmte Konstellationen abendlicher Aufbruchsbedingungen in potenziellen Herkunftsgebieten und nächtlicher Wettersituationen über See könnten zum überproportionalen Auftreten von Vögeln bestimmter Herkunft führen, wofür sich nach Modellansätzen von SHAMOUN-BARANES & VAN GASTEREN (2011) Hinweise ergeben: Für einige wenige untersuchte Massenzugereignisse an der niederländischen Küste wiesen die Charakteristika von registrierten Radartracks bei starken nächtlichen Westnordwest- oder Nordwestwinden über der Nordsee auf die besonders starke Beteiligung von abends zuvor aus norwegischen Ursprungsregionen gestarteten Vögeln hin. Nord- bis Nordostwinde über See konnten hingegen eher zu „dänischen-“ oder „schwedischen Vogelnächten“ führen. Starke NW-Winde bedeuten im Herbst bei hauptsächlich nach SW gerichtetem Vogelzug eine besonders hohe Seitenwindkomponente, die zu großräumigen Verlagerungen führen könnte, welche leicht über Drift zu erklären wären. Umgekehrt führten im südlichen Bereich der Deutschen Bucht auch starke ablandige SE-Winde zu vermehrter (akustisch festgestellter) Zugaktivität, was als mutmaßliche Ablenkung ansonsten eigentlich über dem Festland oder zumindest küstennäher ziehender Vögel interpretiert wurde (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). In beiden Fällen wurden aber die Aufbruchsbedingungen in den verschiedenen denkbaren Herkunftsgebieten nicht näher berücksichtigt.

1.2.3 Untersuchungstechniken

Vogelzug als solcher ist angesichts artspezifisch stark unterschiedlicher Ausprägungen in Raum und Zeit sehr komplex. Die Steuerung durch das aktuelle Wettergeschehen erhöht die Komplexität weiter. Um windparkinduzierte Effekte auf den Vogelzug und die dadurch zustande kommende Gefährdungslage ziehender Vögel insgesamt und zusätzlich von einzelnen Arten erkennen zu können, ist der (kombinatorische) Einsatz verschiedener Methoden notwendig. Keine Methode ist eigenständig in der Lage, alle notwendigen Parameter und damit Vogelzug ganzheitlich zu erfassen.

Radargeräte erlauben von Lichtbedingungen gänzlich unabhängige und auch von der Flughöhe eines Vogels und Wetterbedingungen weitgehend losgelöste Messungen zum Vogelzug. Viele Erkenntnisse zu ansonsten unsichtbarem Vogelzug wurden über den Einsatz von Radargeräten erlangt und auch komplexe Einwirkungen des Wetters auf Vogelbewegungen aufgedeckt. Verlässlich lassen sich saisonale und tageszeitliche Vogelzug-Muster aufzeigen, aber auch Angaben zu Zuggeschwindigkeiten, Richtungs- und Höhenverteilungen werden ermöglicht (s. Übersichten z. B. in BRUDERER 1997a, b, GAUTHREAUX et al. 2003). Dabei sind verschiedene Radarsysteme unterschiedlich gut zum Beleuchten von Einzelaspekten geeignet. Vertikal rotierende Antennen sind primär darauf ausgelegt, das Ausmaß von Vogelzug an einem Standort zu quantifizieren und in seiner Höhenschichtung zu charakterisieren. Richtungsverläufe sind dabei kaum zu erhalten, da die Radarechos nur zweidimensional dargestellt werden. Eine diagonal ausgerichtete Parabolantenne, wie sie auf FINO 3 eingesetzt wurde, vermag dies ungleich besser zu leisten, denn Echos eines beweglichen Vogels können durch die geneigte Drehebene der Radarantenne in kurzer Abfolge „eingefangen“ und auf diese Weise Flugspuren nachgezeichnet werden. Solche Richtungsinformationen bieten zum Verständnis der Gesamtsituation wichtige Zusatzinformationen. Zeitlich hoch aufgelöst, können Einflüsse von Wetteränderungen binnen Nachtfrist auf Zugvögel bis hin zu deren Desorientierung plausibel gemacht und die zeitliche Lage bestimmt werden (HILL et al. 2014c). Vor allem versprechen Richtungsinformationen aber Indizien zur Herkunft von Zugvögeln, besonders in Kombination zum tageszeitlichen Auftreten der Durchzügler und/oder den Windbedingungen im Bereich mutmaßlicher Aufbruchsregionen und über See.

Allen Radarsystemen ist gemein, dass eine Anzahl Echos oder Flugspuren – sogenannte Tracks – nicht mit einer Anzahl Vögel gleichzusetzen ist, da eng beisammen fliegende Vögel – wie z. B. ein Gänsetrupp – als ein einzelnes Echo bzw. Track wiedergegeben werden. Alle quantitativen Angaben sind als relatives Maß aufzufassen. Artbezogene Analysen erlauben Radargeräte in den allermeisten Fällen nicht.

Die **akustische Erfassung von Vogelrufen** ist eine technisch vergleichsweise wenig aufwändige Methode, die sich seit vielen Jahrzehnten bewährt hat und auch standardisiert eingesetzt wird (z. B. GRABER & COCHRAN 1960, DIERSCHKE 1989, FARNSWORTH et al. 2004, FARNSWORTH 2005, FARNSWORTH & RUSSELL 2007, HÜPPPOP et al. 2012a). Derzeit gewinnt die vollautomatisierte akustische Erfassung weiterhin an Bedeutung, denn die Methode erweist sich als besonders hilfreich zum Monitoring von Biodiversität (AIDE et al. 2013, DIGBY et al. 2013). Im Offshore-Einsatz liefert Ihr Einsatz die einzig artbezogenen Informationen während der Dunkelheit. Weiterhin besitzt die Methode Indikatorfunktion für Situationen starker Annäherung von Vögeln an Offshore-Bauwerke unter schlechten Zugbedingungen (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). Zusätzlich zu den artbezogenen Ergebnissen um FINO 3 untersuchten wir Annäherungssereignisse im Offshore-Bereich genauer, wozu wir die Ergebnisse von FINO 3 und FINO 1 einer gemeinsamen Analyse unterzogen, weshalb wir nachstehend auch Angaben zum System auf FINO 1 machen.

Auf den Plattformen eingesetzte **Videosysteme** liefern Informationen zum Vogelzug unter Tageslicht. Ihrer vergleichsweise geringen Reichweite von bestenfalls wenigen hundert Metern entsprechend, liefert die Methode Daten zu Vogelpräsenz im direkten Plattformumfeld und erlaubt so Angaben zu Annäherung an eine anthropogene Struktur im Offshore-Bereich (vgl. HILL et al. 2014c, AUMÜLLER et al. 2012). Annäherungssituationen können jahres- wie tageszeitlich aufgelöst und art(-gruppen)bezogen differenziert werden. Über Jahre hinweg betrieben, lassen sich dabei Zeiten systematisch variierender Annäherung erkennen. Zur Einordnung beobachteter Phänomene als hilfreich erwiesen hat sich eine standortvergleichende Betrachtungsebene, weshalb wir nachstehend Ergebnisse der Videoerfassung beider Forschungsplattformen in der Deutschen Bucht, FINO 3 und FINO 1, gegenüberstellen. Wo dabei methodische Diskrepanzen bestehen, sind diese herausgestellt.

Zwecks **systematischer Registrierung von Totfunden** werden auf den beiden Plattformen FINO 3 und FINO 1 regelmäßig Kontrollen durchgeführt (HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c, AUMÜLLER et al. 2014, HÜPPPOP et al. in press). Die auf beiden Plattformen erfassten Totfunde werden zusammengenommen als Kollisionen im Offshore-Bereich aufgefasst und analysiert.

Die auf FINO 3 seit dem Frühjahr 2014 laufende **Lichtintensitätsmessung** liefert im Dauerbetrieb Informationen zur Lichtintensität. Bei gemeinsamer Auswertung der Lichtdaten mit den Ergebnissen anderer Methoden wie beispielsweise der automatischen Rufaufzeichnung erlaubt die Methode weiterhin Angaben dazu, unter welchen Lichtbedingungen eine besonders starke Annäherung von Vögeln an die Forschungsplattform erfolgt.

2. Methoden

2.1 Horizontalradar

2.1.1 Technische Angaben, Funktionsweise

Als Horizontalradar wurde ein Furuno-Schiffssradargerät, Typ FAR 2127-BB, mit einer Parabolantenne („Parabolradar“) und einer Sendeleistung von 25 kW eingesetzt (Abbildung 1, Tabelle 1). Die Antenne, mit in einem Labor für Hochfrequenztechnik vermessener Charakteristik, wurde zum Schutz vor Witterungseinflüssen in ein Radom eingekapselt. Der kreisförmige Erfassungsbereich sparte ein 85° umfassendes Segment mit dem Mastbereich zwischen 240°-325° aus. Je Minute wurden 24 Antennenenumdrehungen erreicht. Der Winkel des diagonal nach oben verlaufenden Radarstrahls betrug 30° zur Wasseroberfläche, wodurch Reflektionen an Wellen weitgehend vermieden werden konnten. Der Öffnungswinkel (horizontal und vertikal) der eingesetzten Parabolantenne beträgt 3,3°, die Sendefrequenz 9,4 GHz. Der Gain wurde auf 60 gesetzt, als Range 0,75 nm gewählt. Es fanden keine Geräte-Filter Verwendung. Die Reichweite (direkte Entfernung zwischen Radargerät und Echo) wurde für diese Auswertung auf 1.600 m begrenzt, wodurch der Erfassungsbereich unter Berücksichtigung des ausgesparten Bereiches rund 3,5 km² umfasste. Tatsächlich aufgezeichnet wurde jedoch ein Radius von rund 3,7 km um das Radargerät. Allerdings lassen sich in diesem vergrößerten Bereich bestenfalls Großvögel erfassen (siehe unten).

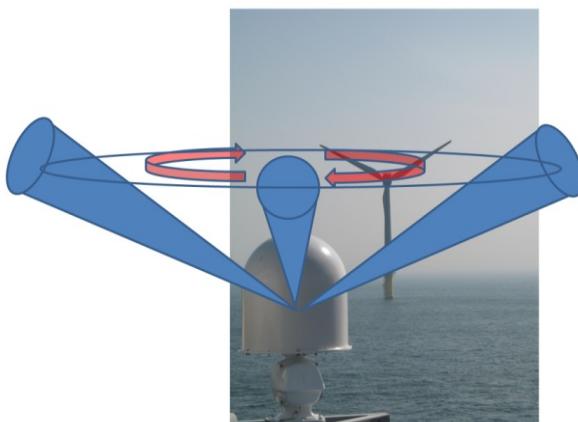


Abbildung 1: Das Horizontalradar auf FINO 3 (links) scannt mit einer horizontal rotierenden Parabolantenne mit 3,3° Öffnungswinkel den Luftraum. Die Parabolantenne im Inneren des Radoms ist um 30° nach oben geneigt, um die räumliche Orientierung von Vögeln in unterschiedlichen Höhenbereichen erkennen zu können (Schema der Erfassung rechts; im Bild das Horizontalradar auf FINO 1). Parallel dazu werden Fehlechos durch Wellengang fast vollständig verhindert.

Tabelle 1: Technische Details des eingesetzten Radargerätes.

Horizontalradar	
Marke	FURUNU
Typ	FAR-2127-BB
Sendeleistung [kW]	25
Frequenz [MHz]	9420
Öffnungswinkel horizontal [°]	3,3
Öffnungswinkel vertikal [°]	3,3
Gain	60
Range [nm]	0,75
Umdrehungen/min	24

2.1.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren

Die Datenaufzeichnung erfolgte digital mittels PC über eine A/D-Wandlerkarte. Alle notwendigen Signale wie Heading (Nordimpuls) und Intensität der reflektierten Radarsignale wurden erfasst und in Binärdateien gespeichert. Alle 15 Minuten wurde eine Aufzeichnung mit einer Dauer von rund 4:25 Minuten durchgeführt. Die erhaltenen Binärdateien wurden zur weiteren Analyse grundsätzlich in ein neues Datenformat überführt, welches von der verwendeten Auswertungssoftware radR (TAYLOR et al. 2010) gelesen werden konnte. Basierend auf der Statistiksoftware R wurden die Radardaten mittels radR auf vorhandene Echos untersucht (Abbildung 2). Zu deren Identifikation musste zunächst getestet werden, wie stark sich ein Punkt erhöhter Dichte vom Grundrauschen unterscheidet. Je nach eingestellten Werten wurden diese Punkte als „hot“, „cold“ oder „blip“ erkannt. Hierzu wurden für die Jahre 2012-2015 Score-Werte von 4.5 für hot und cold gewählt. Die identifizierten „blips“ dienten dann der Erstellung von Flugspuren. Die Rekonstruktion solcher Tracks über zusammengehörige Echos erfolgte über den zeitlichen Ablauf der einzelnen Antennenumdrehungen alle 2,5 Sekunden und im „Multiframe correspondence tracker model“. Die zeitliche Zusammengehörigkeit von Einzelechos wurde vom verwendeten Modell beurteilt (Details hierzu siehe TAYLOR et al. 2010; Schemata siehe Abbildung 3 und Abbildung 4). Eine Echospur musste mindestens drei Signaturen umfassen, um als Track in die Analysen eingehen zu können.

Da Wasser die Radarstrahlen ebenso gut reflektiert wie ein Vogelkörper, führt auch Regen zu Radarechos und über die anschließende Prozessierung zu Tracks. Zum Ausschluss von

Regen wurde der in radR implementierte Rainfilter genutzt, der Antennenenumdrehungen verwarf, sobald eine bestimmte einstellbare Anzahl von „blips“ (hier 95) übertroffen wurde. Zusammen mit flächigem Dauerregen, der ohnehin nicht als Ziel erkannt wird, konnte so das Gros an Niederschlägen herausgefiltert werden.

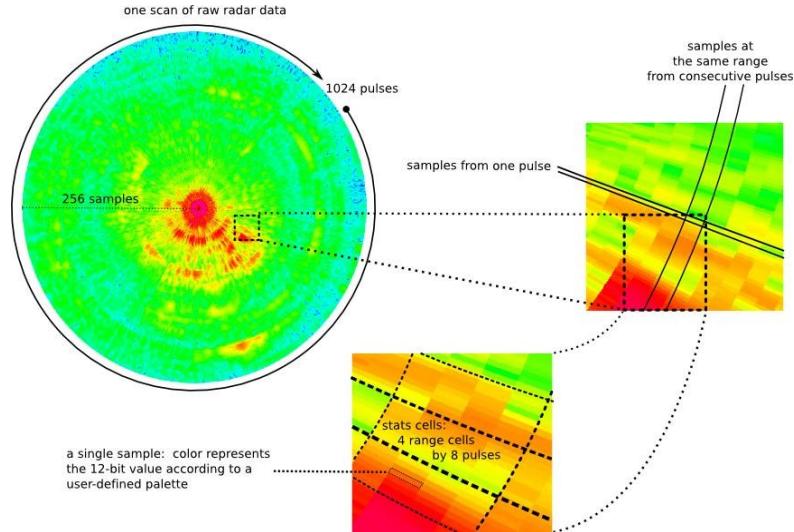


Abbildung 2: Modell des Aufbaus der Datenauswertung mit radR (aus TAYLOR et al. 2010).

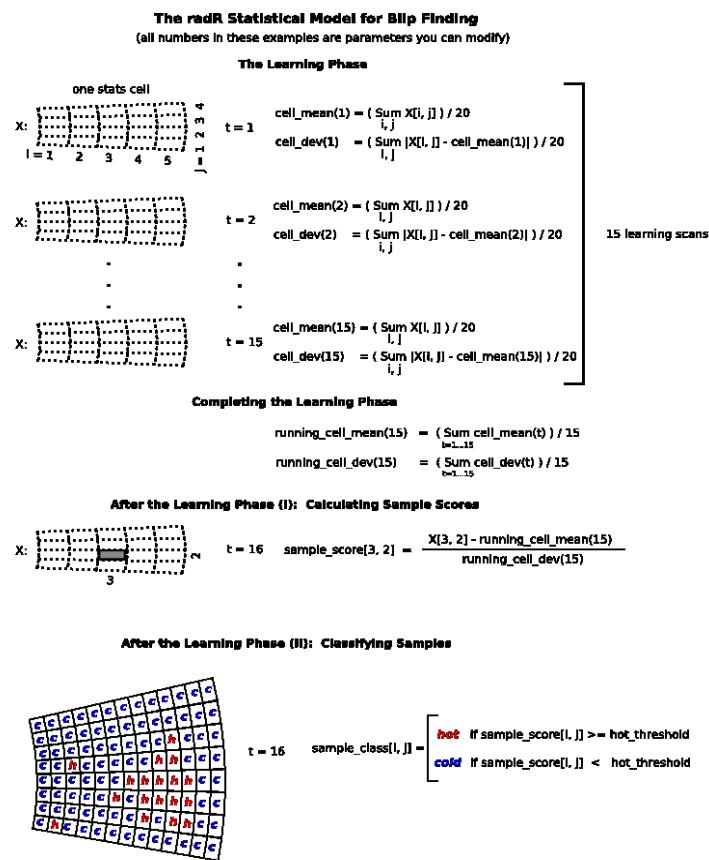


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Datenanalyse mit radR – Teil1 (<http://www.radr-project.org>).

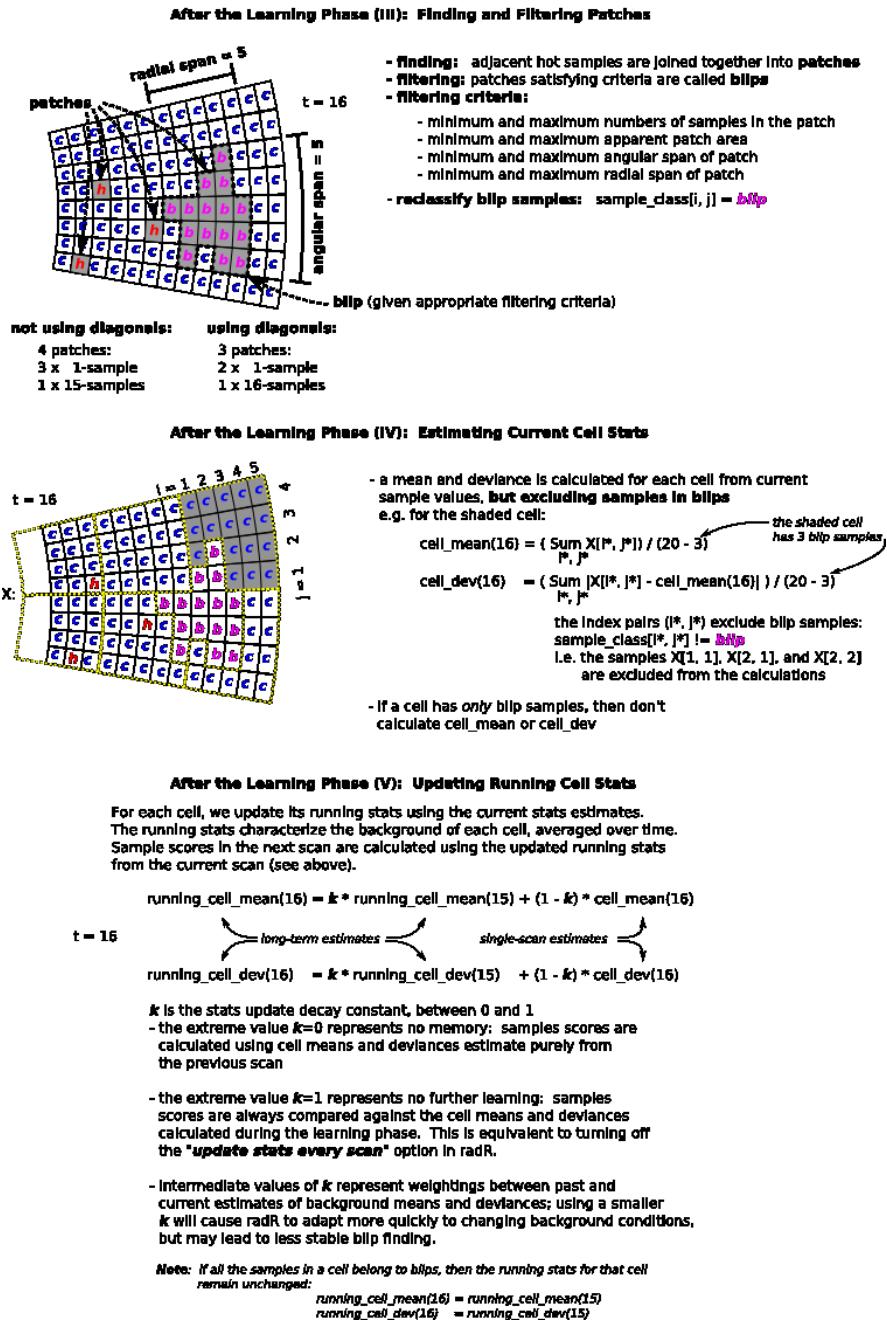


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Datenanalyse mit radR – Teil2 (<http://www.radr-project.org>).

Für alle automatisch prozessierten Echos erfolgte die Berechnung von Entfernung und Höhe zum Radarstandort, für Tracks die Berechnung der Richtung. Daran schloss sich eine Plausibilitätsprüfung nach eigens entwickelten Algorithmen in der Software R an. Es wurden all jene Tracks verworfen, in denen einzelne Segmente zwischen zwei Stützpunkten (Einzelechos) eine Geschwindigkeit von < 9 m/s (32,4 km/h) unter- oder das detektierte Objekt eine Maximalgeschwindigkeit von 150 km/h überschritt. Für ziehende Singvögel sind typischerweise Eigengeschwindigkeiten zwischen 40-60 km anzunehmen (BRUDERER & BOLDT 2001). Auf diese Weise grenzten wir Vögel sowohl gegenüber Regen,

der am Rande durchziehender Schauer von der automatischen Erkennung (s. o.) gelegentlich nicht als solcher identifiziert wird, aber auch anderen echoerzeugenden Phänomenen wie Insekten ab. Weiterhin reduziert diese Form der Filterung fehlerhaft angenommene Zusammenhänge zweier Echos im Raum während der vorgeschalteten automatischen Datenprozessierung. Um rechnerisch falsche Tracks noch weiter zu eliminieren, verworfen wir solche Tracks, deren Teilstrecken hinsichtlich der mittleren Flugrichtung einen Varianzkoeffizienten von > 25 aufwiesen. Trotz der diagonal ausgerichteten Antenne traten in einem geringen Maß und nur bei sehr hohem Wellengang im Zusammenspiel mit Antennenöffnungswinkel, Nebenkeulen und des sehr hohen Radarrückstreuwerts von Störenchos infolge reflektierter Wellenkämme und/oder Gischt auf. Über die Geschwindigkeit und Richtung der Tracks im Abgleich mit Wind- und Seegangsdaten von FINO 3 (s. <http://fino.bsh.de>) konnten solche Daten ausgeschlossen werden. Dabei fiel auf, dass solche Störungen generell mit einer gesteigerten Zahl identifizierter Tracks einhergingen, so dass wir Dateien mit > 8 Tracks standardisiert einer manuellen Überprüfung unterzogen.

Neben diesen „Verhaltensmerkmalen“ registrierter Echos machten wir uns optische Charakteristika der registrierten Echos zu Nutze, um einen maximal bereinigten Vogelecho- bzw. Vogeltrack-Datensatz zu erhalten. Technisch bedingte Störquellen wie Interferenzen durch den Betrieb weiterer Radargeräte im Umfeld oder von Schiffen und Hubschraubern verursachte Echos ließen sich leicht über typische, konzentrisch verlaufende Muster zusammengehöriger Radarsignale erkennen. Zur Aussortierung erfolgte manuelle Durchsicht der Radarbilder. Plattform-eigene Störenchos akkumulieren in einem Umfeld bis zu 360 m zwischen Radargerät und Echos, so dass dieser Entfernungsreich grundsätzlich von den Analysen ausgeschlossen wurde. Der Informationsverlust ist angesichts des kleinen Strahlvolumens beim Öffnungswinkel von $3,3^\circ$ gering.

Vereinzelt können durch den Ausschluss von Dateien auch Vogeltracks ausgeschlossen werden. Den Fehler durch den Ausschluss der Vogeltracks ist in jedem Fall als kleiner einzuschätzen, als weniger restriktive Filterung mit größerer Wahrscheinlichkeit zur Beibehaltung von Echos, die nicht auf Vögel zurück gehen.

Mit Hilfe der Statistiksoftware R wurden die aus den Radardaten gewonnenen Tracks im Hinblick auf tages- und jahreszeitliche Muster sowie Höhen- und Richtungsverteilung untersucht. Je nach Kontext wurden generelle Muster in Pentaden-, Tages- oder Stundenschärfe aufgezeigt aber auch Fallanalysen zu einzelnen Zugnächten erstellt.

2.1.3 Erfassungszeiträume

Ihrer primären Zielsetzung, dem Erhalt von Richtungsinformationen zum Vogelzug, folgend, beschränkten wir uns auf die Kernzeiten von Vogelzug im Bereich der südlichen Deutschen Bucht. Die Heimzugzeit wurde vom 28.02. (Sonnenuntergang, im Folgenden SU) bis 01.06. (Sonnenaufgang, im Folgenden SA) definiert, die Wegzugzeit zwischen 14.07. (SU) und 16.12. (SA). Zu diesen Zeiträumen liegen von FINO 3 Daten zwischen 2012-2015 vor (Abbildung 5). Dabei wurde je 15-Minutenzeitraum ein Messintervall von 4:25 Minuten verwirklicht, woraus sich eine Beprobungsdauer von knapp 18 Minuten je Stunde oder ein Stichprobenumfang von rund 30 % errechnet. Kurze Teilzeiträume, in denen aus technischen Gründen keine Radaraufzeichnung erfolgte, wurden bei einer zeitlichen Aufwandsberechnung berücksichtigt.

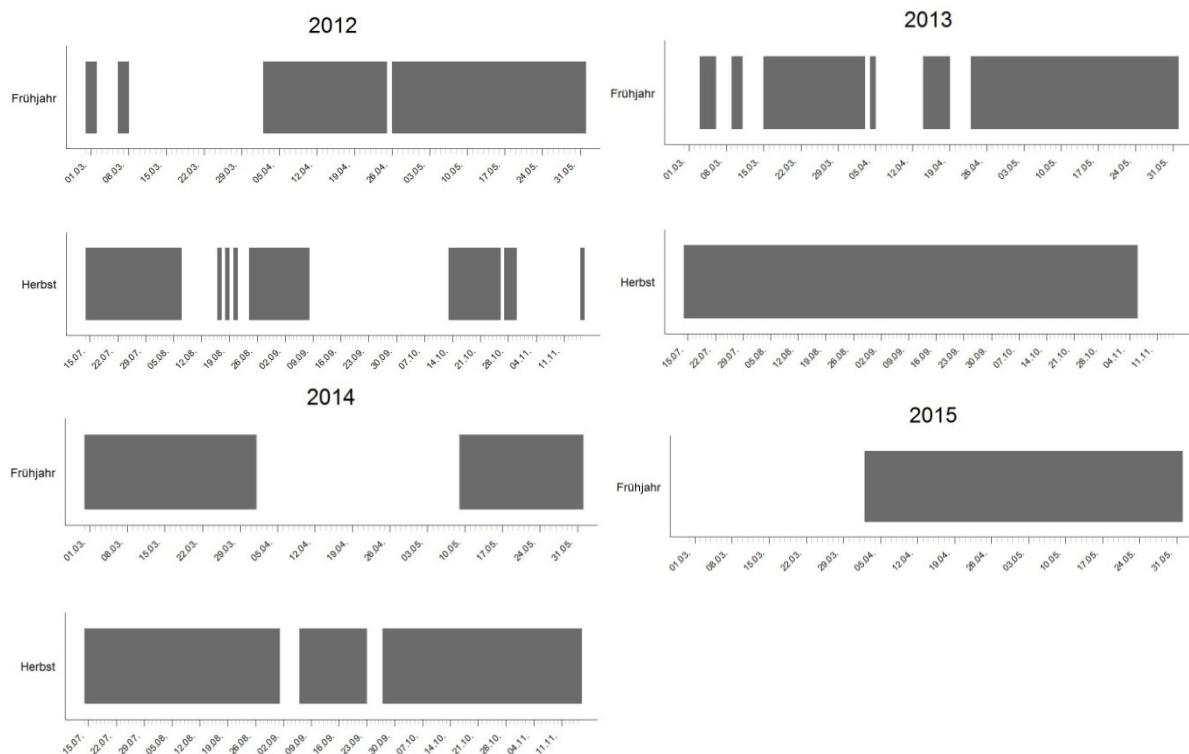


Abbildung 5: Mit dem Horizontalradar abgedeckte Erfassungstage (dunkel eingefärbt) im Frühjahr (jeweils oben) und Herbst (jeweils unten) in den Jahren 2012-2015 auf FINO 3.

2.1.4 Möglichkeiten & Grenzen

Die hauptsächliche Ausrichtung des Radarstrahles verläuft diagonal, so dass ein begrenzter Höhenbereich von 200 m über NN (360 m Entfernung zwischen Radargerät und Echo) bis 800 m über NN (1.600 m Entfernung zwischen Radargerät und Echo) und in jeweils unterschiedlicher Entfernung abdeckt wurde. Höhen bis 200 m wurden angesichts geringen Strahlvolumens einhergehend mit geringer Erfassungswahrscheinlichkeit von Echos und

gleichzeitiger Akkumulation von Störechos (s.o.) nicht auf Vogelvorkommen hin untersucht. Oberhalb von 800 m unterblieb dies ebenfalls, denn dann sinkt die Zahl der Vogelechos durch allmähliches Erreichen der maximalen Reichweite für Vögel so stark ab, dass kaum noch verlässliche Tracks identifiziert werden können. Zusammen mit Dr. Ommo Hüppop vom Institut für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“ wurde die Radargleichung (vgl. EASTWOOD 1967, SKOLNIK 1970) für das vorliegende Radarsystem mit Hilfe von Angaben aus CHAPMAN et al. (2002) angepasst und nach der theoretisch maximalen Detektionsreichweite aufgelöst (Abbildung 6). Für das verwendete Gerät und die getätigten Einstellungen (Kap. 2.1.1) lassen sich größere Singvogelarten wie der Star bis in etwa 1.200 m Entfernung (vom Radar zum Vogel) detektieren, noch größere Vögel wie Straßentauben *Columba livia domestica* bis in 1.600 m Entfernung. Die benötigten Angaben zu gemessenen Rückstreuquerschnitten (radar cross sections RCS) von Insekten und Vögeln wurden RILEY (1985) entnommen.

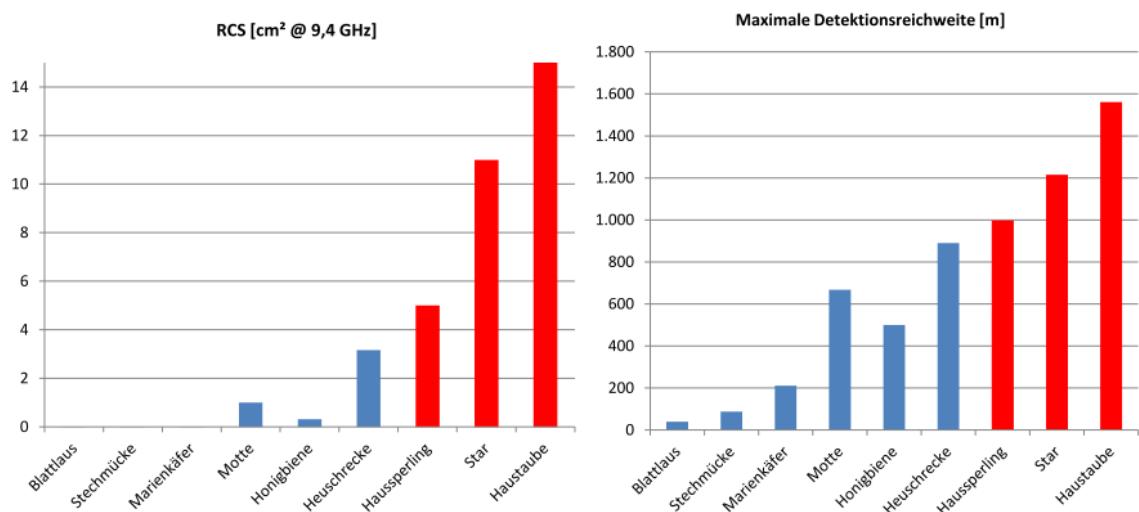


Abbildung 6: Rückstreuquerschnitte von Vögeln und Insekten mit von links nach rechts zunehmenden Körpergrößen bei 9,4 GHz (links) und korrespondierende maximale Detektionsreichweiten beim Horizontalradar mit Parabolantenne (rechts).

Zusätzlich ist die Detektionsweite vom Erfassungswinkel (aspect) – also dem Winkel zwischen der Körperachse eines fliegenden Vogels und dem Radarstrahl – abhängig. Die Reichweite direkt auf das Radargerät zu- oder davon wegfliegender Vögel halbiert sich ungefähr gegenüber einer seitlichen Erfassung (Abbildung 7). Diese Reduktion kann aber zwischen den Arten unterschiedlich stark ausfallen. Ursächlich dafür ist die artspezifisch unterschiedliche Verteilung von Wasser im Vogelkörper (beachte strukturelle Unterschiede zwischen den Arten), welches die Radarstrahlen reflektiert. Für einen Vogel, der den Erfassungsbereich quert, verändert sich der Rückstreuquerschnitt (und somit die Größe des

Echos) permanent, sei es über Veränderungen der Entfernung, der Flugrichtung oder aber durch Flügelschläge. Dazu toleriert es der Algorithmus der radR-Trackerkennung sogar, wenn zusammengehörige Echos nicht in jeder Antennenenumdrehung sichtbar sind. Dennoch kann es dazu kommen, dass durch die vermeintliche Unterbrechung eines Tracks durch Fehlwerte in einzelnen Antennenenumdrehungen mehrere kurze statt eines langen Tracks erkannt werden. Dies ist in besonderem Maße bei Tracks der Fall, die über die Mitte des Erfassungsbereiches mit ausgeblendetem Störbereich gehen.

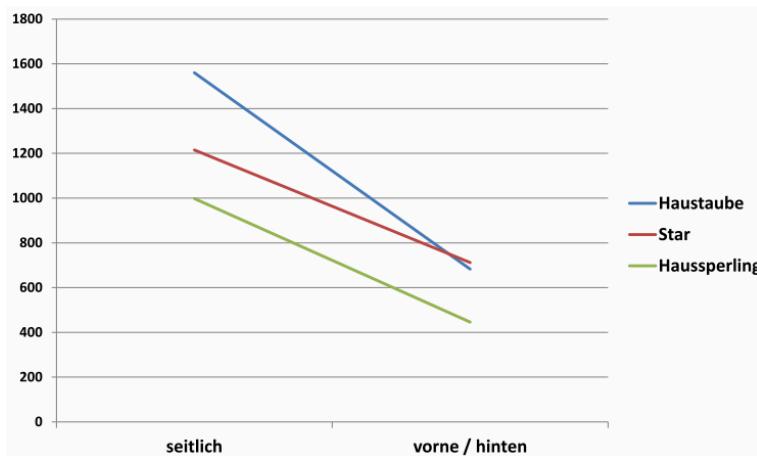


Abbildung 7: Darstellung der Detektionsreichweite bei unterschiedlichem Erfassungswinkel (aspect).

Entfernungs- und Winkelabhängigkeit in der Detektion schnell beweglicher Vögel unterschiedlicher Größe machen deutlich, weshalb Trackzahlen nur ein relatives Vogelzug-Intensitätsmaß darstellen. Im gesamten Jahresgang können verschiedene Zugrichtungen in bedeutenden Anteilen durch fliegende Vögel gewählt werden (AUMÜLLER et al. 2012). Hochrechnungen auf eine Anzahl Vögel pro Zeit und Volumen (MTR) müssen diesen Umstand berücksichtigen, da es sonst als Folge der Winkelabhängigkeit zwischen Vogel und Radargerät zu Über- oder Unterschätzungen kommen kann. Grundlage für eine Korrektur ist die Kenntnis der Zugrichtung jedes einzelnen Vogels, welche nur über eine horizontal rotierende Antenne gemessen werden kann. Der Einsatz des Parabolradars ist zur Erfassung der räumlichen Orientierung von Vögeln optimiert und weniger zur Messung von quantitativen Ausprägungen der Vogelzugstärke. Abgleiche mengenmäßiger Befunde zu Ergebnissen mit vertikal messenden Radarsystemen (primärer Zuschnitt auf quantitative Erfassung), ergeben dennoch oft Übereinstimmungen, wonach in denselben Nächten auf starken Vogelzug geschlossen werden konnte (WELCKER et al. 2015). Die begrenzten Überschneidungsbereiche der Antennen bieten aber Potenzial für vielfache Abweichungen.

2.2 Automatisierte Ruferfassung

2.2.1 Technische Angaben & Funktionsweise

Die Erfassung der Rufe erfolgte mit Richtmikrofonen (FINO 3: Sennheiser MKH110, FINO 1: Sennheiser ME67), die jeweils ca. 25 m über Seekartennull (SKN) auf dem Plattformdeck installiert wurden. Zur Minimierung von Windgeräuschen wurden die Mikrofone mit einem Schutzfell ausgerüstet. Auf FINO 1 erfolgte die zusätzliche Unterbringung in einem Schutzkorb, auf FINO 3 unterblieb diese zusätzliche Maßnahme angesichts des Standorts direkt unterhalb des Helikopterdecks (Abbildung 8). Zur Vermeidung von Störungen der Audioaufzeichnung durch andere elektronische Geräte erfolgten die PC-Anbindungen über ein externes USB-Audiointerface mit Mikrofon-Vorverstärker und Phantom-Speisung für das Mikrofon. Die Systeme waren autonom rund um die Uhr in Betrieb, das Messprogramm lief automatisch. Darüber hinaus wurden Überwachungsroutinen implementiert, die software- oder betriebssystembedingte Fehlfunktionen bzw. Fehlzeiten durch automatische Neustarts der Rechner weitgehend abfingen bzw. vermieden. Zusätzlich konnten die Rechner per Internet kontrolliert und Fehler ggf. behoben werden. Die erhaltenen Audiodateien wurden lokal gespeichert und regelmäßig auf einen Datenserver übertragen.



Abbildung 8: Mikrofone mit Windschutzfell auf FINO 1 (links) FINO 3 (rechts).

2.2.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren

Die verwendete Methode zur Erfassung von Vogelrufen folgte an beiden Standorten HÜPPOP et al. 2012a: Die in der Skriptsprache Tcl/Tk entwickelte Software zur automatischen Erkennung von Vogelrufen AROMA (Automatic Recording of Migrating Aves), untersucht auf der Basis des Audio-Processing-Toolkits „Snack“ das eingehende Audio-Signal kontinuierlich auf Gipfel, also sich im Leistungsspektrum steil vom Grundrauschen abhebende Geräusche

oberhalb einer einstellbaren Frequenzuntergrenze (verwendet wurden 1.500 Hz; Abbildung 9; HILL & HÜPPPOP 2008, HILL et al. 2014c). Nur die anhand der Gipfel erkannten Rufe wurden dann automatisch als Audio-Dateien abgespeichert, direkt durch Wind und Wellenschlag erzeugte Störgeräusche hingegen weitgehend ignoriert. Das System arbeitet sehr stabil und reduziert durch seine Filterwirkung im Vergleich zu einer allein durch den Pegel getriggerten Aufnahmetechnik (vgl. FROMMOLT et al. 2012) das auszuwertende Datenvolumen erheblich (HILL & HÜPPPOP 2008).

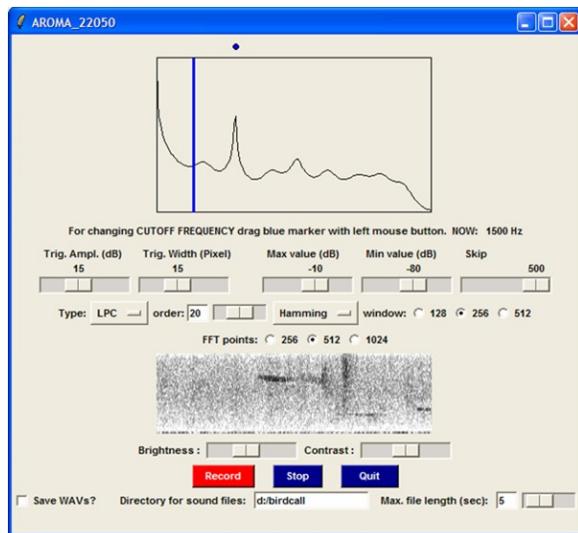


Abbildung 9: Screenshot der eingesetzten Software AROMA zur automatischen Erkennung von Vogelrufen. Deutlich ist der steil ansteigende Gipfel im Frequenzspektrum auszumachen.

Die so generierten Dateien wurden im wav-Format (16 bit, mono) gespeichert. Die möglichst bis auf Artniveau erfolgte Zuordnung der registrierten Vogelrufe führte qualifiziertes Personal unter Nutzung geeigneter Software (RAVEN Pro 1.4 <http://www.birds.cornell.edu/brp/raven/ravenoverview.html>) und eines gut abschirmenden Kopfhörers durch. Die entscheidenden Funktionalitäten einer geeigneten Software bestehen in der Sichtbarmachung der Rufe und anderer Geräusche in Form eines Spektrogramms und gleichzeitig möglicher Generierung von Soundstreams aus chronologisch aufeinander folgenden Audiodateien (Abbildung 10, Abbildung 11; HILL et al. 2014c). So können akustische und visuelle Bearbeitung der Dateien synchron erfolgen. Dadurch wurde eine effiziente Bearbeitung der Dateien in großen Blöcken ermöglicht. Störgeräusche – trotz vorheriger starker Filterung (s.o.) immer noch zahlreich – ließen sich ebenso wie Vogelrufe „auf einen Blick“ und über (lange) Phasen hinweg erkennen und entsprechend zuordnen. Dies ist besonders wichtig, denn das System kann etliche jeweils nur wenige Sekunden lange Dateien pro Minute aufzeichnen, wenn entsprechende Rufaktivität oder Störgeräusche zu verzeichnen sind. Auf diese Weise ließ sich auch das Problem zu bestimmten Jahreszeiten auf der Plattform rastender und dann

häufig rufender Groß- *Larus* spec. und Dreizehenmöwen *Rissa tridactyla* minimieren (vgl. HÜPPPOP et al. 2012a). Dabei war es nicht möglich, die auf der Plattform rastenden von ziehenden Vögeln zu unterscheiden, weshalb Groß- aber auch Dreizehenmöwen bei den Auswertungen unberücksichtigt blieben.

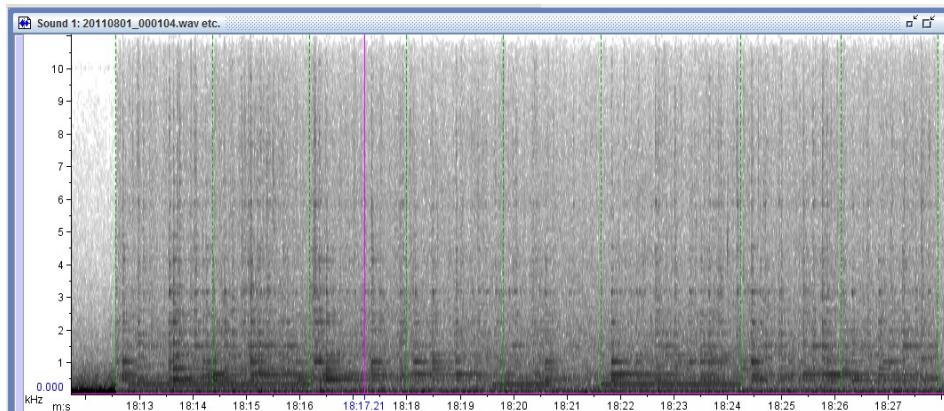


Abbildung 10: Soundstream chronologisch erfolgter Dateiaufzeichnungen, dargestellt als Spektrogramm im Programm Raven Pro 1.4. Grüne Linien grenzen die einzeln aufgezeichneten Dateien gegeneinander ab. Die pinkfarbene Linie markiert den aktuellen Wiedergabezeitpunkt. Im Spektrogramm werden Bereiche des Audiosignals mit höherer Energiedichte dunkler dargestellt, hier als Beispiel für wetterinduzierte Aufzeichnungen eines Starkregenereignisses.

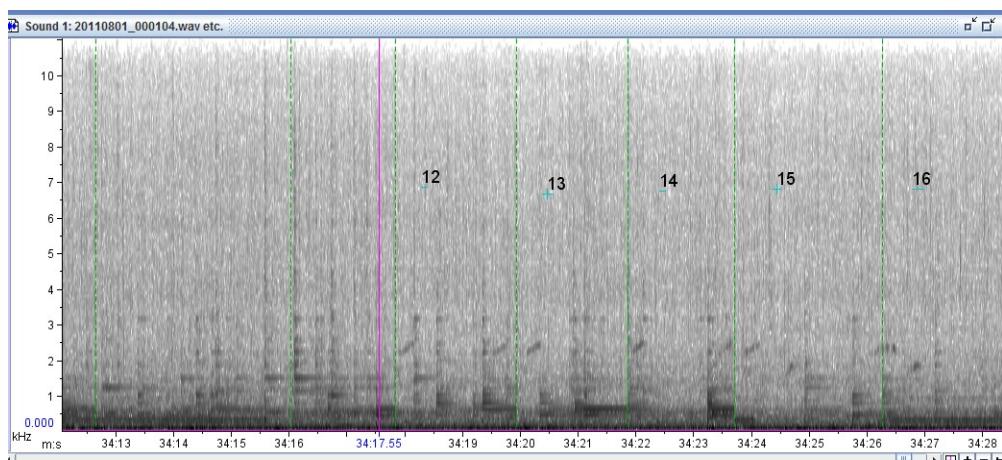


Abbildung 11: Soundstream aufgezeichneter Limikolenrufe im Spektrogramm während eines Starkregenereignisses. Typisch für Rufe von Limikolen (Limikolen = Watvögel) sind vergleichsweise niedrige Frequenzen zwischen 2.000 und 3.000 Hz, die mit der Rufdauer ansteigen und sich über diagonal ansteigende oder fluktuierende Intensitäten (dunkle Einfärbungen) selbst gegenüber starken Hintergrundgeräuschen gut abheben. Solche Dateien werden aus dem gesamten Dateiaufkommen extrahiert und mit einer Ziffer versehen. Spezialisten hören diese Dateien ab und bestimmen die rufenden Arten.

Sobald starke Vogelrufaktivität herrscht, besteht die Möglichkeit, dass einzelne Vögel bzw. Vogeltrupps auf mehreren Dateien in Folge gespeichert wurden. Neue Dateien wurden generiert, sobald Pausen zwischen den detektierten Rufen länger als 1,5 s waren oder die maximale Dateigröße von fünf sec. erreicht wurde (voreingestellt in AROMA). Jede vogelrufpositive Datei wurde als ein Datensatz behandelt und mit Angaben zu Datum,

Tageszeit und Art versehen. Sobald mehrere Arten auf einer Datei identifiziert werden konnten, wurden der enthaltenen Artenzahl entsprechend viele Datensätze angelegt. Erfolgten Auswertungen nur über die Messgröße „vogelpositiv“, mussten Datensätze mit identischen Zeitangaben auf einen Datensatz reduziert werden, was analog dazu auch bei gruppenspezifischen Betrachtungen zu bedenken war (z. B. Drosseln). Dateien mit Rufen (in seltenen Fällen auch Gesängen) von solchen Individuen oder auch Trupps, die die Plattform zu zwischenzeitlicher Rast nutzten – erkennbar z. B. über die zeitliche Akkumulation von Dateien mit Rufen aus gleichen Distanzen – wurden als zusammengehörig und mit der Bemerkung „Rast“ gekennzeichnet.

Dieses Prozedere entspricht dem aktuellen Stand des Standards für Untersuchungen zum Einfluss von Offshore-Windparks auf die Umwelt im marinen Bereich (StUK4, BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE 2013) und wurde auch auf die seit 2008 angefallenen Dateien auf FINO 1 angewendet (vgl. hierzu HILL et al. 2014c).

2.2.3 Erfassungszeiträume

Ihrer primären Zielsetzung, dem Erhalt von artspezifischen nächtlichen Informationen zum Vogelzug, folgend, wurden Dateien zwischen Sonnenuntergang und -aufgang herangezogen. Dabei beschränkten wir uns auf die Kernzeiten von Vogelzug im Bereich der südlichen Deutschen Bucht. Die Heimzugzeit wurde für den Einsatz dieser Methode vom 28.02. (SU) bis 01.06. (SA) definiert, die Wegzugzeit zwischen 30.06. (SU) und 01.12. (SA). Zu diesen Zeiträumen liegen von FINO 3 ganzjährige Daten zwischen 2010-2014 vor, von FINO 1 zwischen 2008-2012. Für Aspekte bei denen in Folgeanalysen lediglich die nächtliche Präsenz von Taxa berücksichtigt wurde, konnte ergänzend auf Daten von FINO 1 aus den Jahren 2004-2006 zurück gegriffen werden (HÜPPPOP et al. 2012a). Systemausfallzeiten an beiden Standorten sind Abbildung 12 zu entnehmen. Die in den Anfangsjahren 2010-2012 lückige Erfassung auf FINO 3 lässt sich vor allem auf plattformspezifische Probleme zurückführen (s. AUMÜLLER et al. 2012). Die eingesetzten Systeme waren an beiden Standorten ähnlich, mit nahezu reibungslosem Betriebsablauf auf FINO 1.



Abbildung 12: Übersicht zum Beprobungsaufwand mittels automatisierter Zugruberfassung in den Jahren 2010-2014 am Standort FINO 3 (links) und in den Jahren 2008-2012 am Standort FINO 1 (rechts). Schwarz eingefärbte Bereiche stellen beprobte Zeiträume dar.

2.2.4 Möglichkeiten & Grenzen

Eine echte Quantifizierung beteiligter Vögel ist bei dieser Methode weder möglich noch nötig. Einerseits lässt sich über aufgezeichnete Rufe nur näherungsweise auf Individuen schließen (Diskussion dazu s. HÜPPPOP et al. 2012a). Andererseits erfolgen Messungen zur Intensität des Vogelzugs an den Standorten jeweils parallel über Radarsysteme. Anstelle einer Quantifizierung beteiligter Vögel liefert die Zugruberfassung über das relative Maß „rufpositive Dateien je Stunde“ Informationen zu zeitlicher Präsenz von Zugvögeln im direkten Plattformbereich. Solche Präsenzzeiten lassen sich artbezogen im Jahres- wie auch im Tagesgang bestimmen, quantifizieren und Akkumulationen erkennen. Kenntnisse hierzu sind für eine Gefahrenabschätzung von OWEA auf das Schutzgut Vogelzug Grundvoraussetzung. Die geringe Reichweite des Mikrofons (mindestens ca. 50 m, maximal bis zu einigen hundert Metern Umkreis [HÜPPPOP & HILGERLOH 2012]; artspezifisch und wetterbedingt variabel [Diskussion dazu s. HÜPPPOP et al. 2012a]) ist insofern von Vorteil, als dass stimmliche Lautäußerungen nur von solchen Individuen erfasst werden, die sich im nahen Umfeld plattformeigener Strukturen befinden.

An der beleuchteten Forschungsplattform FINO 1 wurden in der Vergangenheit während starker Vogelzognächten vor allem dann zahlreiche Vogelrufe registriert, wenn die Flugbedingungen am Standort ungünstig waren (HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). So fliegen Vögel bei Gegenwind in der Regel niedriger (z. B. ALERSTAM 1990, GRUBER & NEHLS 2003, HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011) und gelangen damit eher in die Reichweite des Mikrofons. Außerdem üben nachts beleuchtete Strukturen – insbesondere auf dem offenen Meer – unter schlechten Sichtbedingungen wie bei Nebel oder Regen eine hohe Anziehungskraft auf Zugvögel aus („Phototaxie“; s. MUHEIM & JENNI 1999, RICHARDSON 2000), so dass bei diesen Bedingungen besonders viele Rufe registriert werden (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). Diese lassen sich zwar auf viele beteiligte Individuen (z. B. MÜLLER 1981, DREWITT & LANGSTON 2006, AUMÜLLER et al. 2011;

Übersicht in BALLASUS et al. 2009) und auch verschiedene Arten zurück führen, denn Ereignisse starker festgestellter Rufaktivität waren nie artspezifisch (HÜPPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c). Allerdings können Vögel im Nebel, unter anderen schlechten Sichtbedingungen oder bei Attraktion durch Licht ihre Rufaktivität steigern (ALERSTAM 1990), die Lichtquelle umkreisen (LARKIN & FRASE 1988; Übersicht in BALLASUS et al. 2009) oder fortdauernd anfliegen (z. B. LARKIN & FRASE 1988, DREWITT & LANGSTON 2006; Übersicht in BALLASUS et al. 2009) und sich in ihrer Nähe zu (zwischenzeitlicher) Rast niederlassen (AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c). Dies lässt häufige Fälle mehr- bis vielfacher Aufzeichnung von Rufen eines Individuums annehmen. Umgekehrt besteht die Einschränkung, dass viele Vogelarten während des Zuges keine Rufe äußern (FARNSWORTH 2005), was unter den europäischen Singvögeln vor allem für nachts ziehende Langstreckenzieher gilt (DORKA 1979). Aber auch unter den rufenden Arten ist immer von einer Beteiligung schweigsamer Individuen auszugehen.

Trotz dieser Einschränkungen bietet die Methode den Vorteil, dass sie rufende Arten v. a. unter solchen Wetterbedingungen erfasst, bei denen es zu (Massen-)Kollisionen kommen kann (schlechte Sichtbedingungen, Anlockung durch die Sicherheitsbeleuchtung). Dabei steigende Zahlen vogelrufpositiver Dateien decken zunehmend verlängerte Präsenzzeiten von Vögeln im kollisionsgefährdeten Plattformbereich ab, weshalb ihnen eine Indikatorfunktion für die Kollisionsgefährdung zukommt (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). Hohe Dateisummen sollten fast ausnahmslos auch viele Vögel bedeuten, weshalb wir dem allgemeinen Sprachgebrauch folgend im Falle hoher festgestellter Dateisummen von vielen Vögeln sprechen.

Die Zugruf erfassung ist die einzige Möglichkeit zur Einsichtnahme in das nächtliche Artenspektrum. Sie kann somit in vielen Fällen Vorstellungen davon vermitteln, welche Arten nächteweise parallel gemessene Radarechos, die sich nicht artbezogen zuordnen lassen, verursacht haben. Dies ist angesichts von Radarmesswerten, wonach bis etwa zwei Drittel des Vogelzugs über die Nordsee nachts vonstatten gehen (HÜPPPOP et al. 2009), umso wichtiger. Rund ein Viertel aller am Standort FINO 1 nachgewiesenen Arten konnte nur über diese Methode erfasst werden; zu zwei Dritteln aller festgestellten Arten liegen akustische Belege vor (HILL et al. 2014c).

Die Methode setzt sehr gute Arten- und Stimmenkenntnisse durch den/die Bearbeiter voraus. Im Offshore-Bereich der Nordsee müssen vor allem die speziell während des Zuges durch Vögel geäußerten Laute („Zugrufe“) bekannt sein.

2.3 Videoerfassung

2.3.1 Technische Angaben & Funktionsweise

Die eingesetzten Videokameras (FINO 3: Netzwerk-Digitalkamera AV3130 von Arecont Vision; FINO 1: Panasonic AW-E 600E in PAL-Auflösung) wurden mit einem leichten Teleobjektiv ausgerüstet. Als Brennweite im Falle von FINO 3 wurden 16 mm gewählt, die Auflösung des Chips für Tageslichtbetrieb betrug 3 Megapixel. Die Wahl der Brennweite erfolgte als Kompromiss zwischen Vergrößerung und Erfassungswinkel und in Anpassung an den besonders im Fokus des Interesses stehenden Nahbereich bis ca. 50 m.

Die Kameras wurden in Höhen von jeweils rund 25 m über SKN mit Blickrichtung NW (FINO 1) bzw. NNE (FINO 3) so ausgerichtet (Abbildung 13), dass der Horizont ungefähr dem Grenzverlauf der beiden oberen Drittel im Bildausschnitt entsprach. Zwischen Mitte Januar bis Februar 2010 konnte infolge eines Schadens am fernsteuerbaren Schwenk-/Neigekopf das Gerät auf FINO 3 weder bestimmte Positionen anfahren noch halten. Während dieser Zeit konnten nur Bilder undefinierten Ausschnittes gefertigt werden.



Abbildung 13: Videokameras auf FINO 3 (links) bzw. FINO 1 (rechts).

2.3.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren

Alle fünf (FINO 1) bzw. alle sechs Minuten (FINO 3; ab November 2013 alle zwei Minuten) wurde routinemäßig und vollautomatisiert ein Bild im Peak-Storage-Verfahren (Details dazu z. B. HÜPPPOP et al. 2009) generiert. Bei einem Bild handelt es sich um die Summe eines Videodatenstroms über einen Zeitraum von einer Minute bei einer Folge von maximal 10 Einzelbildern/sec (FINO 3). Dadurch entstehen "Flugspuren" von Vögeln (Abbildung 14). Selbst weiter entfernte oder dicht über Schaumkronen fliegende Vögel ließen sich so registrieren. Die Auswertung musste zwar manuell erfolgen, das jeweils aus einer Minute

aufaddierte Bildmaterial (alle fünf bzw. sechs Minuten) gewährleistete aber genügend Tageslicht vorausgesetzt die Sichtung „auf einen Blick“ und mithin einen vertretbaren Bearbeitungsaufwand. Nebel und Sprühregen reduzieren bei Videokameras die Sichtweite mitunter erheblich. Sobald der uns besonders interessierende Nahbereich (ca. 50 m), auf den das Gros der registrierten Vögel entfiel, betroffen war, wurden die erstellten Dateien als nicht auswertbar verworfen.

Die Berechnung der Peak-Storage-Aufnahmen erfolgte in drei Versionen. In einer wurden nur die hellsten, in einer anderen nur die dunkelsten sich im Bild verändernden Pixel dargestellt. Abschließend wurde durch Subtraktion aus dem hellen („light“) und dem dunklen („dark“) ein gemeinsames Bild („light/dark“ = Id) erstellt. Für die notwendige manuelle Auswertung wurde in der Regel auf die Darstellung in „ Id “ zurück gegriffen, da sich alle bewegenden Punkte gut erkennen ließen. Im Einzelfall musste auf das „light“- oder „dark“-Bild zurückgegriffen werden, um die wahre Färbung eines Vogels beurteilen und Hinweise auf die Artzugehörigkeit ableiten zu können. Die in die Analysen eingehende Messgröße war die Präsenz eines Taxons auf einem Bild, die sich als stunden-, tage- oder pentadenweise Häufigkeit ausdrücken lässt. Die quantitative Auszählung von Individuen ist bei der Methode durch die Überlagerung von Flugspuren oft nicht oder nur mit so großen Unsicherheiten möglich (Abbildung 14), dass davon abgesehen wurde.

Jede „vogelpositive“ Bilddatei wurde als ein Datensatz behandelt und mit Angaben zu Datum, Tageszeit (in Minutenschärfe) und taxonomischer Zugehörigkeit versehen. Sobald Angehörige mehrerer Arten, Gattungen oder Familien auf einer Datei identifiziert werden konnten, wurden der erkannten Taxazahl entsprechend viele Datensätze angelegt. Erfolgten Auswertungen nur über die Messgröße „vogelpositiv“ oder anderen Taxa mit enkaptisch eingegliederten Arten(-gruppen), mussten Datensätze mit identischen Zeitangaben auf einen Datensatz reduziert werden. Geschlechter oder Altersstadien wurden nicht standardisiert unterschieden.



Abbildung 14: Beispiele für die oft problematische quantitative Auszählung von Flugbewegungen in Videosequenzen. Häufig lässt sich die Zahl der Individuen während eines Aufnahmevertrags bestimmen (links, ein Fischadler *Pandion haliaetus* 17.08.2010 FINO 3). Fälle in denen keine Auszählung möglich ist, sind aber ebenfalls häufig (rechts, vorwiegend Dreizehenmöwen, unbekannte Anzahl, 21.07.2010 FINO 3). Um Pseudogenauigkeit zu verhindern, wurden Frequenzen art(gruppen-) positiver Bilder je Zeiteinheit ermittelt.

2.3.3 Erfassungszeiträume

Bilder wurden auf FINO 3 ab dem 28.07.2009 und jahresumspannend bis zum 31.05.2015 angefertigt und ausgewertet. Die Vergleichsdaten von FINO 1 umfassen den Zeitraum 01.03.2008-31.12.2012. Eingang in die Analysen fand Bildmaterial jeweils unter Tageslicht oberhalb eines Sonnenstandes von 9° unter Horizont. Systemausfallzeiten an beiden Standorten sind Abbildung 15 zu entnehmen.

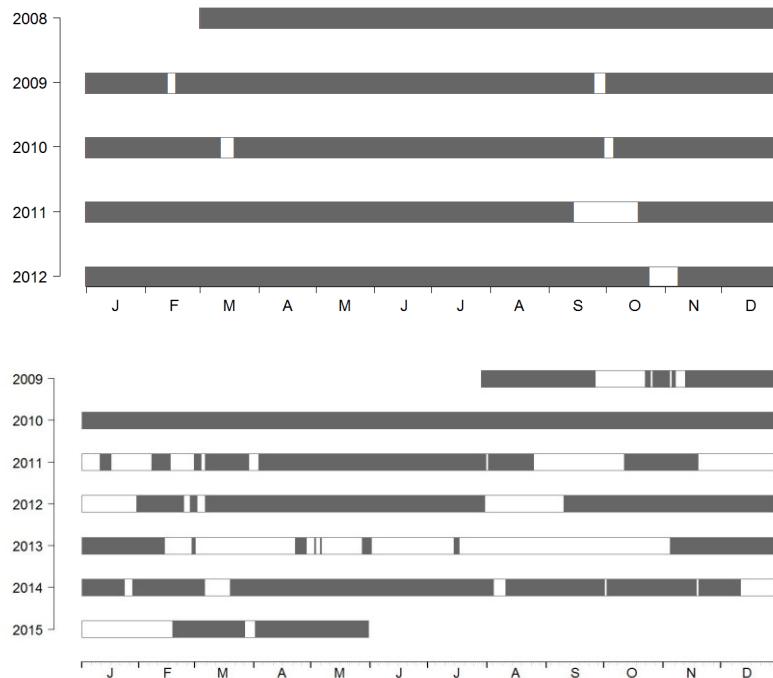


Abbildung 15: Erfassungsaufwand mittels Videoerfassung auf den Plattformen FINO 1 (oben) und FINO 3 (unten) im Zeitstrahl.

2.3.4 Möglichkeiten & Grenzen

Anhand der aufgezeichneten Videodaten können Bestimmungen registrierter Vögel nur vergleichsweise selten bis auf Artniveau durchgeführt werden (HÜPPPOP et al. 2009, HILL et al. 2014c). Abgrenzungen auf einem höheren Level des Taxons – wie z. B. von „Großmöwe spec.“ – sind hingegen weit überwiegend möglich. Die weitere Parametererhebung unterlag infolge des Auflösungsvermögens der verwendeten Videokameras starken Restriktionen und selten mögliche Angaben zu Flugrichtungen, Entfernungen etc. blieben nachfolgend unberücksichtigt. Für einige Taxa wie Großmöwen spec. oder Dreizehenmöwe half der Betrieb der Methode bei der qualitativen Einordnung bestehender Offshore-Vorkommen (HILL et al. 2014c). Informationen zu jahreszeitlich variierender Annäherung an die Plattform ermöglichte es überdies, Vorstellungen zu möglicherweise flexiblen Verhaltens im Jahresgang (und somit ökologischem Kontext) gegenüber OWEA zu entwickeln. Über andere Methoden wie der Zugplanbeobachtung werden bestehende Rastvorkommen und die daraus resultierenden lokalen Flugbewegungen weitgehend und bewusst ignoriert. Festgestelltes Verhalten gegenüber einem Offshore-Windpark betrifft dann vor allem im Wanderflug begriffene Individuen (AUMÜLLER et al. 2013, HILL et al. 2014c, WELCKER et al. 2015). Weiterhin gilt generell, dass Informationen zu niedrig fliegenden Vögeln bereitgestellt werden, die sich teilweise außerhalb des Erfassungsbereiches eingesetzter Radarsysteme bewegen. Auch leistet die Methode über Nachweise sonst nicht festgestellter Arten einen Beitrag zur kumulativen Artensummenkurve des Standorts (HILL et al. 2014c, Kap. 3.1.5.1).

2.4 Totfundregistrierung

2.4.1 Erfassungszeiträume, Datenaufnahme, Auswertungsverfahren

Seit dem 01.10.2003 (FINO 1) bzw. 29.07.2009 (FINO 3) wurden bei den rund um das Kalenderjahr durchgeführten Helikopterflügen alle auf den Plattformen tot aufgefundenen Vögel durch Ornithologen oder Mitarbeiter der Plattform-Betreiber dokumentiert. Dokumentationen der Kadaver umfassten nebst Funddetails wie dem genauen Fundort auf der Plattform und allgemeinen Fundumständen auch Angaben zum Datum des Auffindens und – soweit möglich – zu Art, Alter und Geschlecht. Mitarbeiter der Plattform-Betreiber dokumentierten Funde über Fotos. Alle Daten bis zum 31.12.2014 wurden für diesen Bericht ausgewertet. Die Abstände zwischen den einzelnen Kontrollterminen betragen auf FINO 1 mittlere 7,5 Tage ($sd = 8,1$), auf FINO 3 4,9 Tage ($sd = 6,6$). Die Kontrolldichte war zu Zeiten starken Vogelzugs zwischen März und Mai sowie zwischen August und November erhöht (Abbildung 16). Maximal wurden 60 % ($n = 15$) aller möglichen Kontrolltermine ($n = 25$)

während der 31. Jahrespentade Ende Mai auf FINO 3 durch Plattformbesuche abgedeckt. Kontrollen fehlten Ende Dezember (FINO 1) bzw. während der ersten und achten Jahrespentade auf FINO 3.

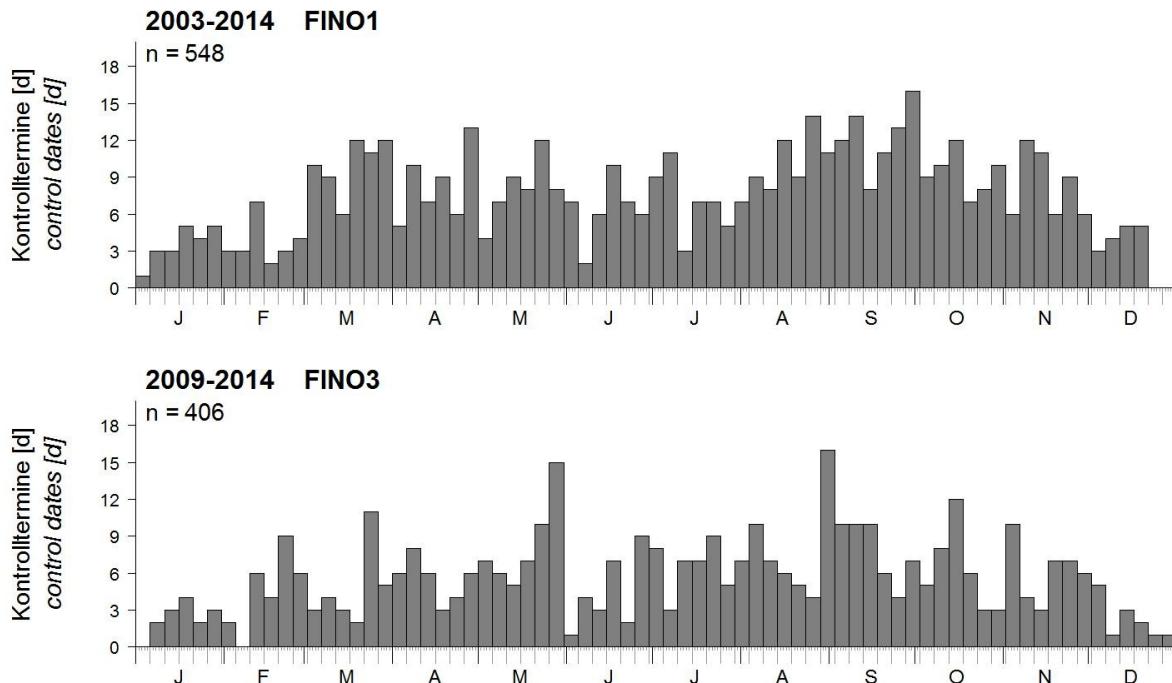


Abbildung 16: Kontrolltermine als Pentadensummen auf FINO 1 (oben, n = 548) zwischen 01.10.2003-31.12.2014 und auf FINO 3 (unten, n = 406) zwischen 28.07.2009-31.12.2014. An allen Terminen wurde nach verunglückten Vögeln gesucht.

2.4.2 Möglichkeiten & Grenzen

Die Quantifizierung von Kollisionen im Jahresgang erlaubt die Bestimmung kollisionsträchtiger jahreszeitlicher Abschnitte. Für jahreszeitliche Darstellungen von Totfunden kann nur das Funddatum zu Grunde gelegt werden. Kontrollen erfolgten nicht täglich, daher müssen die Todeszeitpunkte nicht zwangsläufig dem Funddatum entsprechen. Für gefundene Kadaver ist auch bei hoher Kontrolldichte i. A. von einem verspäteten Fund von wenigen Tagen auszugehen. In vielen Fällen konnten die Kollisionszeitpunkte auf Basis von Nächten genau ermittelt werden. Solche Möglichkeiten waren gegeben, sobald Kontrollen an Folgetagen terminiert waren. Kollisionszeitpunkte ließen sich oft auch unter Hinzuziehung von Informationen aus der Zugriferfassung, Sichtung von Bildern installierter Webcams und/oder über mitgeteilte Fundumstände eingrenzen oder genau bestimmen (vgl. AUMÜLLER et al. 2011). Auf diese Weise konnten wir die Todeszeitpunkte von 348 (46,3 % der in den Analysen in Kap. 3.6 berücksichtigten Vögel) Vögeln auf Datumsebene genau ermitteln.

Anzunehmen ist, dass es sich bei den auf den Plattformen aufgefundenen Vögeln nur um eine Teilmenge kollidierter Tiere handelt. So erreichen die Messmasten – vom Plattformdeck aus gemessen – Höhen von 80 m (FINO 1) bzw. 83 m (FINO 3). Das jeweilige Plattformdeck als Auffangfläche für mit dem Mast kollidierte Vögel hat Ausmaße von 16 x 16 m (FINO 1) bzw. 13 x 13 m (FINO 3). Auf FINO 1 ist der Mast in der S-Ecke positioniert, so dass nur Vögel, die vom Mast aus gesehen im N-Quadranten herabfallen, auf das Plattformdeck stürzen und dort gefunden werden können. Auf FINO 3 betrifft dies den SE-Quadranten, denn hier befindet sich der Mast in der NW-Ecke. Durchgeführte Versuche mit Kadaver-Fallgeschwindigkeiten sowie deren modellierter Aufschlagpunkt unter verschiedenen Windrichtungen und -stärken legen in Abhängigkeit der gemachten Annahmen Unterschätzungen der Kollisionsopferzahlen von bis zu mehreren hundert Prozent durch diese untersuchten Faktoren nahe (HÜPPPOP et al. 2012b). Die Plattformdecks befinden sich jeweils rund 22 m über SKN, so dass es auch zu Kollisionen mit dem Bauwerk unterhalb der Auffangfläche kommen kann.

Für die auf die Plattform gestürzten Vögel ist von einer hohen Fundquote auszugehen, obwohl die Suche nach verendeten Vögeln Tage nach ihrem Tod die Gefahr zwischenzeitlichen Verlusts, sei es durch Aasfresser wie etwa Möwen oder durch das Herabwehen von der Plattform, in sich birgt. Beides konnte in Einzelfällen direkt beobachtet werden. Im Jahr 2013 aufgenommene Pilotstudien mit markierten Kadavern deuten an, dass die dadurch zustande kommenden Unterschätzungen gering sind. Für die 17 bis zum Mai 2015 auf FINO 1 tot gefundenen Kadaver aus zehn verschiedenen Singvogelarten unterschiedlichen Körpergewichts (Max.: Amsel *Turdus merula* 70-148 Gramm, Min.: Wintergoldhähnchen *Regulus regulus* 4,6-8,4 Gramm; jeweils GLUTZ VON BLOTZHEIM & BAUER 1966-1997, CRAMP & PERRINS 1977-1994) notierte Dauer des Verbleibs betrug im Mittel 26,8 Tage ($sd = 6,6$) und übersteigt damit den mittleren Abstand zwischen zwei Kontrollterminen (s. o.). Ab 30 Tage nach dem Funddatum wurde der Versuch abgebrochen und der Vogel entsorgt. Unabhängig davon wann genau die Entsorgung erfolgen konnte, wurde als Wert zum maximalen Verbleib 30 Tage bestimmt. In vier Fällen wurde innerhalb der 30-Tagesfrist der Verlust eines Vogels registriert, einmal wurde dabei das Herabwehen von der Plattform beobachtet. Eine weitere direkt beobachtete Verlustursache war Nekrophagie an einer Singdrossel *Turdus philomelos* durch rastende Stare. Zwei Vögel verschwanden spurlos zwischen 23.10.-06.11.2013. In der Zwischenzeit zog mit Sturm Christian am 28.10.2013 ein Orkan in Rekordstärke über die südliche Nordsee hinweg und führte auf Helgoland zu nie zuvor gemessenen Windgeschwindigkeiten (DIERSCHKE et al. 2014), was auf Starkwind als Verlustursache hindeutet. Über den Zeitraum der Pilotstudie mit markierten Kadavern hinweg gefundene Vogelreste in Möwengewölben auf dem Helikopterdeck stammten demnach vermutlich nicht von zuvor auf FINO 1 kollidierten

Vögeln. Das Totfundmonitoring berücksichtigt seit jeher nur weitgehend vollständig erhaltene Kadaver. Zurückliegende Untersuchungen von FINO 1 konnten zeigen, dass sich grundsätzlich die ganz überwiegende Mehrheit der Totfunde auf Kollisionen zurückführen lässt, und nur in Einzelfällen konnte ein Verhungern nicht ausgeschlossen werden (HÜPPPOP et al. 2009).

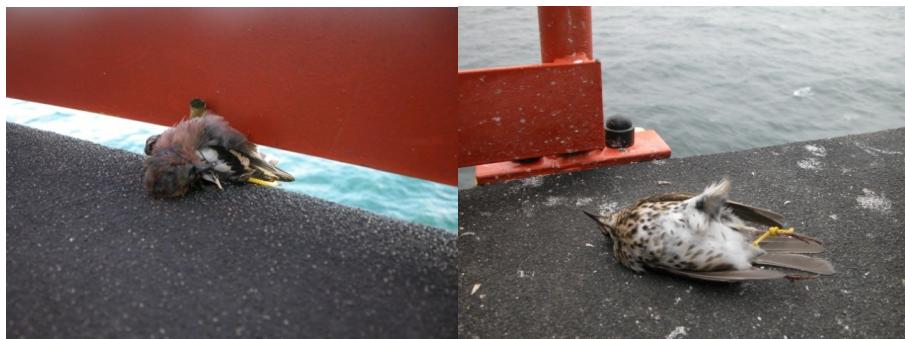


Abbildung 17: Markierte Vogelkadaver auf FINO 1. Leisten rund um die Plattform verhindern ein Hinabfallen der Kadaver (links, Buchfink *Fringilla coelebs*, 13.11.2013). An den wenigen Stellen der Durchlässigkeit konnte einmalig der Verlust eines Kadavers beobachtet werden (rechts, Singdrossel *Turdus philomelos*, 08.10.2013).

2.5 Lichtintensitätsmessung

2.5.1 Technische Angaben, Funktionsweise

Als Beleuchtungsmesser wurde ein Lightmeter, Typ MarkPro 2.4 (<http://www.k2wlights.de/Datenblaetter/Sensor/MarkPro2.4.pdf>), eingesetzt (Abbildung 18). Zur Lichtmessung wird eine Solarzelle genutzt. Der Beleuchtungsmesser kann das gesamte Spektrum natürlicher Himmelhelligkeit messen, das heißt sowohl die Intensität des Sonnenlichts am Tage als auch die Lichtstrahlung des nächtlichen Sternenhimmels. Insgesamt deckt der Beleuchtungsmesser einen Messbereich von einigen 100.000 Lux bis 100 Mikro-Lux ab und damit 11 Größenordnungen, fast so viele wie das menschliche Auge. Als kleinstes messbares Lichtsignal reicht bereits das Leuchten eines einzelnen hellen Sterns wie Sirius. Der Beleuchtungsmesser misst vollautomatisch und bis zu 20mal pro Sekunde rund um die Uhr bei jeder Wetterlage. Die Einstellungen wurden so gewählt, dass über die jeweils komplette Zugperiode (Kap. 2.5.3) je Minute maximal 60 Lichtwerte aufgenommen wurden. Das Gerät kann über ein USB-Kabel direkt an den Computer angeschlossen werden. Die Lichtdaten wurden als Textdatei gespeichert.

Die vom Beleuchtungsmesser ausgegebenen Zahlen bzw. Zählwerte (= Lichtwerte) entsprechen der Anzahl an Elektronen, die von Lichtteilchen erzeugt werden, die auf den Sensor treffen und dabei von der Elektronik gezählt werden. Um von dieser Zahl ausgehend auf eine Standardgröße wie beispielsweise empfangene Energie pro Fläche (Watt/m²) oder

Lichtstärke in Lux schließen zu können, ist eine Kalibrierung notwendig. Für nächtliche Messwerte erfolgt die Kalibrierung durch die Multiplikation der ausgegebenen Lichtwerte mit einem Gerätetyp spezifischen Umrechnungsfaktor. Eine detaillierte Beschreibung der Messtechnik kann unter <http://kuffner-sternwarte.at/hms/wiki/index.php5?title=Lightmeter> abgerufen werden.



Abbildung 18: Der auf FINO 3 eingesetzte Beleuchtungsmesser im Größenvergleich zu einer Ein-Euro-Münze.

2.5.2 Datenaufnahme, -prozessierung & Auswertungsverfahren

Die Datenaufzeichnung erfolgte rein digital mittels PC, je Minute wurden dabei bis zu 60 Lichtwerte aufgezeichnet und tageweise als Datei abgespeichert. Um zu den gewünschten nächtlichen Lichtintensitätswerten zu gelangen, erfolgte anhand der Multiplikation der Lichtwerte mit dem vom Hersteller angegeben Gerätetyp spezifischen Umrechnungsfaktor von 0,0000005 zunächst eine Umrechnung der Rohdaten in Lux. Soweit nicht anders angegeben, wurden zur Analyse und graphischen Darstellung der Daten des Beleuchtungsmessers somit Lichtintensitätswerte in Lux verwendet. Hierbei wurden nur die nächtlichen Lichtintensitäten berücksichtigt. Dabei wurde die Nacht datumsübergreifend definiert als der Zeitraum zwischen dem abendlichen Ende und dem morgendlichen Beginn der „Möwendämmerung“ (Sonne 9° unter Horizont, vgl. HÜPPOP et al. 2009a).

Die Daten des Beleuchtungsmessers wurden in erster Linie im Zusammenhang mit den Daten der automatischen Ruferfassung ausgewertet. Ziel dabei war es, Aussagen über eine eventuelle Abhängigkeit zwischen der Annäherung von Zugvögeln an FINO 3 und somit an eine anthropogene Struktur unter Offshore-Bedingungen und der Umgebungshelligkeit treffen zu können. In Teilanalysen ausgeschlossen wurden dabei solche Nächte, in denen sich nachts Personen auf der FINO 3 aufhielten, was zur zwangsweisen Befeuerung der Plattform mit zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung führte. Diese Plattformbeleuchtung ist um ein Vielfaches heller, als die Hindernisbefeuерung, die der Routinekonfiguration im Regelbetrieb entspricht (Abbildung 19). Je nach Analyseform wurden für die berücksichtigten Nächte entweder die Lichtwerte pro Zugnacht gemittelt oder aber die Lichtintensitäten in Lux berechnet und Mittelwerte pro Stunde und Zugnacht gebildet. Als Maß für die Annäherung

von Vögeln an die FINO 3 wurde die Anzahl rufpositiver Dateien pro Zeitstunde herangezogen.

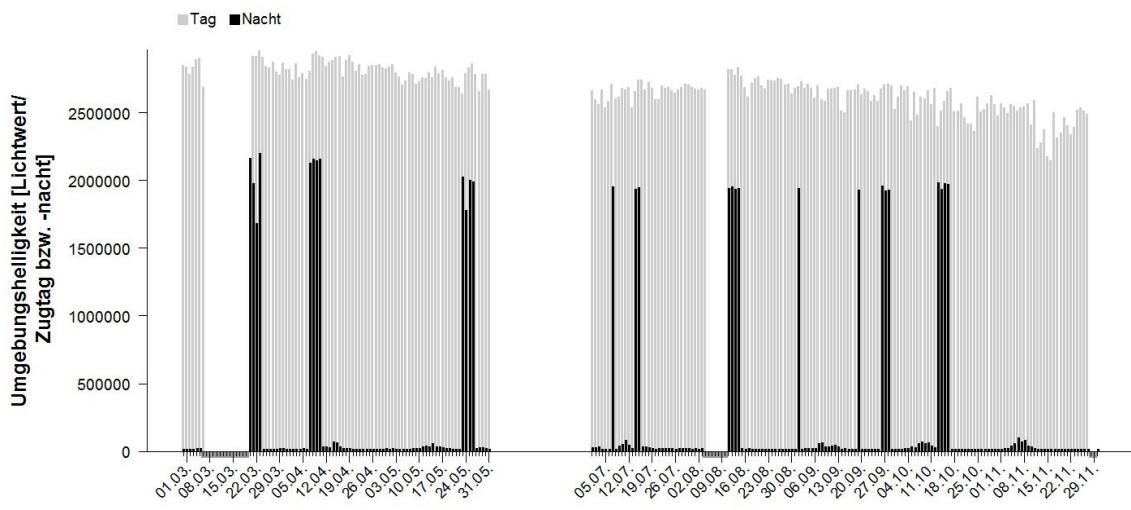


Abbildung 19: Je Zugtag bzw. -nacht gemittelter Lichtwert im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser am Standort FINO 3. Es wurden nur Daten während der Zugzeiten dargestellt. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken. Nächte in denen die Sicherheitsbeleuchtung der Plattform eingeschaltet war, sind anhand der hohen nächtlichen Lichtwerte deutlich zu erkennen. Kleine wellenartige Gipfel lassen Vollmondphasen erkennen, dazwischen sind Lichtwerte unter Hindernisbefeuерung im Routinebetrieb zu erkennen.

Der in Kapitel 3.1.2 vorgestellte Datensatz der automatischen Ruferfassung wurde dahingehend eingeschränkt, dass nur Zeitstunden ausgewertet wurden, zu denen auch gültige Lichtwerte vorhanden waren. Während Lichtdaten nur vom Ende der „Möwendämmerung“ (Sonne 9° unter Horizont) am Abend bis zum Beginn der morgendlichen Möwendämmerung aufgezeichnet wurden, findet die automatische Ruferfassung von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang statt. Somit wurden Rufdateien ausgeschlossen, die nach Sonnenuntergang, aber vor Beginn der abendlichen Möwendämmerung bzw. vor Sonnenaufgang aber nach Ende morgendlichen Möwendämmerung aufgezeichnet wurden. Auch Rufdateien aus Zeiträumen, in denen der Beleuchtungsmesser keine Daten lieferte, gingen nicht in die Datenanalyse ein (vgl. 2.5.3). Wenn nicht anders angegeben wurden auch Rufdateien aus Nächten, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 eingeschaltet war, ausgeschlossen um nur das Rufauftreten innerhalb der Nächte mit trotz Hindernisbeleuchtung relativ „natürlicher“ Umgebungshelligkeit zu analysieren. Sämtliche Analysen und Abbildungen wurden mit dem Statistik-Programm R (Version: 3.1.2; R CORE TEAM 2014) erstellt.

2.5.3 Erfassungszeiträume

Die Daten des Beleuchtungsmessers werden während der Hauptzugzeiten im Frühjahr im Zeitraum vom 28. Februar bis 31. Mai und im Herbst im Zeitraum vom 01. Juli bis 30. November ausgewertet. In 2014, dem ersten Jahr des Einsatzes des Beleuchtungsmessers, ergaben sich in beiden Zugperioden technisch bedingt kurze Lücken der Aufzeichnungen (Abbildung 20).

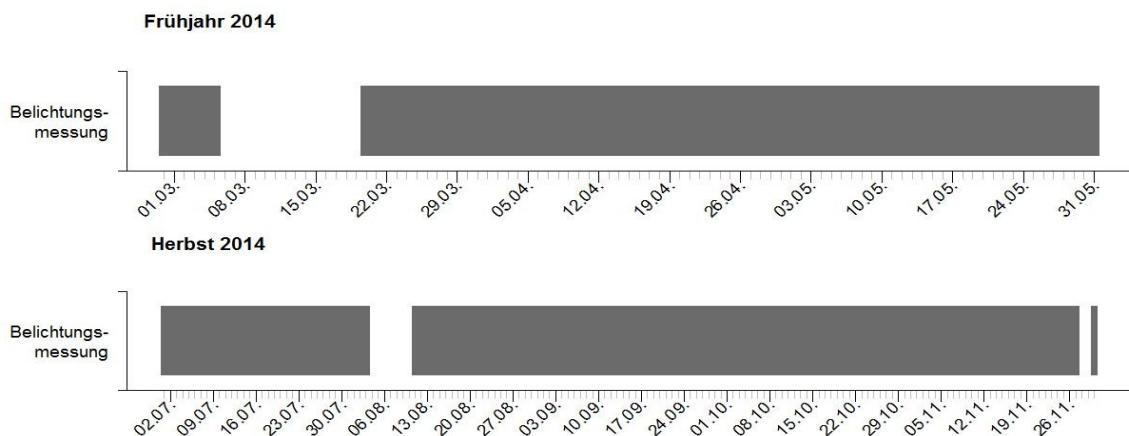


Abbildung 20: Tage mit Belichtungsmessung auf der FINO 3 im Frühjahr (oben) und Herbst (unten) 2014.

2.5.4 Möglichkeiten & Grenzen

Etwa im Bereich der Helligkeit des Vollmondes (ca. 0,3 Lux) bis hinunter auf die typischen 0.002 Lux des dunklen Nachthimmels verlaufen die Lichtwerte des Beleuchtungsmessers linear. Der Messbereich für Lichtwerte, die über der Lichtintensität des Vollmonds liegen, dient dazu, die Schwankungen der Intensität des Tageslichts mit den Schwankungen der nächtlichen Lichtintensität vergleichen zu können. Dieser Teil der Messungen erfolgt nicht-linear. Das bedeutet, dass doppelt so hohe Lichtwerte nicht doppelter Lichtintensität entsprechen und die Daten zunächst weiter verarbeitet werden müssen, bevor sie als Lux-Werte wiedergegeben werden können.

Da die FINO 3 wie alle anthropogenen Offshore-Strukturen aus Gründen der Verkehrssicherung eine Hindernisbeleuchtung aufweist, liegen die dort nächtlich gemessenen Lichtintensitäten im Vergleich zu Lichtintensitäten an Standorten, an denen ausschließlich das natürliche nächtliche Himmelslicht gemessen werden kann, ohne Mondeinfluss höher. Innerhalb der Zugperiode kommt es jedoch im Zusammenhang mit biologischen Untersuchungen oder aus technischen Gründen immer wieder vor, dass für eine oder mehrere Nächte Menschen auf der FINO 3 anwesend sind. In solchen Nächten muss aus Sicherheitsgründen die ganze Nacht hindurch neben der immer eingeschalteten

nächtlichen Hindernisbeleuchtung die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 eingeschaltet sein. Die in diesen Nächten aufgezeichneten Lichtwerte entsprechen in ihrer Höhe etwa zwei Drittel der tagsüber aufgezeichneten Lichtwerte (Abbildung 19). Daher wurden die entsprechenden Nächte bei der Analyse der Lichtdaten zum Teil ausgeschlossen. Dieser Ausschluss betrifft jedoch nur 12 Nächte der Heimzugperiode (20.-23.03., 07.-10.04., 23.-26.05.) und 16 Nächte (07.07., 14-15.07., 11.-14.08., 01.09., 19.09., 26.-28.09., 13.-16.10.) der Wegzugperiode.

2.6 Weiterführende Analysen: Konzeption & Statistik

2.6.1 Annäherung an FINO 3 in Abhängigkeit von der Umgebungshelligkeit

Wir haben uns dem Datensatz zunächst in verschiedenen Modellen genähert um basierend auf den jeweiligen Ergebnissen entscheiden zu können, welcher Modellansatz den geeigneten für die vorliegenden Daten darstellt. In alle Modelle ging die Zugnacht als zufälliger Faktor ein, da sowohl Licht- als auch Rufdaten aus mehreren Minuten innerhalb derselben Zugnacht aufgenommen wurden und so dafür Rechnung getragen wurde, dass sich sowohl die Lichtintensität innerhalb einer Zugnacht als auch das Zugvogelaufkommen innerhalb einer Zugnacht potentiell ähnlicher sind als zwischen verschiedenen Zugnächten.

Zunächst haben wir mit einem eingeschränkten Datensatz gearbeitet, der alle Werte der automatischen Ruferfassung enthält, zu denen es gültige Lichtwerte gibt. Somit wurden auch die Lichtwerte und Rufdaten aus den Nächten, in denen neben der immer eingeschalteten Hindernisbeleuchtung die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 eingeschaltet war, in die Analyse einbezogen. Dieser Datensatz enthält durch die hohe Anzahl an Stunden, in denen keine Rufe aufgezeichnet wurden, im Vergleich zur Poisson-Verteilung einen Überschuss an Nullen, so dass „zero-inflation“ (ZUUR et al. 2012) in die Modelle einbezogen wurde. Hierzu kam die Funktion glmmadmb aus dem Paket glmmADMB zur Anwendung. Es wurde die Version 0.8.0 (SKAUG et al. 2014) genutzt. Für diesen Modellansatz wurden die Lichtwerte nicht in Lux umgerechnet, sondern direkt analysiert, da die nächtlichen Lichtwerte in den Nächten, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 brannte, außerhalb des Bereiches liegen, in dem eine lineare Umrechnung der Lichtwerte in Lux erfolgen kann. Das volle Modell zur Analyse des Datensatzes enthielt als feste Variablen den Lichtwert, die Information, ob die Sicherheitsbeleuchtung ein oder ausgeschaltet war sowie die 2-Wege-Interaktion von Lichtintensität und Sicherheitsbeleuchtung und als zufällige Variable die Zugnacht.

Da die Rufdaten keine unabhängige Einschätzung zur Anzahl Vögel im Plattformumfeld erlauben und somit in rfnegativen Nachtstunden nicht darauf geschlossen werden kann, ob sich im Plattformumfeld keine Vögel aufhielten oder ob diese sich lediglich nicht angenähert oder keine Rufe geäußert haben, wurde ein weiterer Modellansatz gewählt. Hierzu wurde der Datensatz weiter eingeschränkt. Nur rufpositive Stunden, in denen mindestens ein Vogelruf aufgezeichnet wurde und Vogelpräsenz im unmittelbaren Plattformumfeld belegte, gingen in die Analyse ein. Der verwendete Datensatz enthielt also keine Nullwerte mehr, den Daten liegt jedoch auch hier eine Poisson-Verteilung zu Grunde. Für die Analyse des verallgemeinerten linearen gemischten Modells wurde die Funktion „glmer“ aus dem package „lme4“ (Version: 1.1-7; BATES et al. 2014) verwendet. Um eine möglichst flexible Anpassung des Modells an die Daten zu erreichen, wurde die Funktion „bs“ aus dem package „splines“ (Version: 3.1.2; BATES & VENABLES 1999) verwendet.

Die Skala gemessener nächtlicher Lichtwerte reichte insgesamt von Lichtwerten um 11.700 bis zu Lichtwerten von 2.240.000 in Nachtstunden, in denen neben der Hindernisbeleuchtung auch die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der Plattform eingeschaltet war. Rufpositive Dateien wurden dadurch zum einen am unteren Ende des Lichtgradienten vor allem bei sehr niedrigen Lichtwerten bis maximal knapp unter 90.000, zum anderen – in Nächten mit eingeschalteter Sicherheitsbeleuchtung – bei Lichtwerten um zwei Millionen registriert. Aufgrund dieser zu starken Zweiteilung der Daten erwiesen sich die beiden beschriebenen Modelle als nicht indizierbar.

Im Folgenden wurde daher der Datensatz weiter eingeschränkt, indem auch alle Daten aus den Nächten, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 brannte, ausgeschlossen wurden. Alle Lichtwerte wurden vor der weiteren Analyse in Lichtintensitäten [Lux] umgerechnet. Das volle Modell zur Analyse des Datensatzes enthielt als feste Variable den Lichtwert und als zufällige Variable die Zugnacht. Sowohl der zunächst geprüfte Modellansatz mit zero-inflation als auch das Modell in dem alle rfnegativen Nachtstunden ausgeschlossen wurden, lieferten zwar Ergebnisse, waren jedoch in hohem Maße instabil, da Grundvoraussetzungen der Modellierung nicht erfüllt werden konnten. Die Konfidenzintervalle zeigten so hohe Variabilität, dass das Modell insgesamt als nicht aussagekräftig betrachtet werden musste.

Wie z. B. von HILL et al. (2014b) gezeigt und auch für FINO 3 gültig (Kap. 3.1.2.2), kommt es vor allem im vierten Nachtviertel, also gegen Morgen, vermehrt zur Annäherung von Vögeln an die Forschungsplattform und damit zu Rufaufzeichnungen, obschon laut Radardaten die Gesamtzahl der zu dieser Zeit durchziehenden Vögel im Allgemeinen bereits rückläufig ist (Kap. 3.1.1.1). Dies könnte einen Hinweis darauf geben, dass Zugvögel ihre Flughöhe gegen Morgen möglicherweise zunehmend absenken, z. B. um nach Rastplätzen zu suchen, und auch auf diese Weise vermehrt in das nähere Plattformumfeld gelangen. Die kontinuierlich

über die Nacht hinweg zunehmend festgestellte Rufaktivität führt dazu, dass die vier Nachtviertel nicht wie im Modell vorausgesetzt grundsätzlich ähnlich zueinander sind. Zudem sind die beiden randständigen Nachtviertel, obwohl als vollkommen dunkel empfunden, meist durch höhere Lichtintensitäten gekennzeichnet. Deshalb wurde der Datensatz weiter eingeschränkt, so dass nur die Licht- und Rufdaten der rufpositiven Nachtstunden aus den beiden zentralen Nachtviertel ausgewertet wurden. Nur die Ergebnisse dieses letzten Modells werden im Ergebnisteil ausführlicher dargestellt.

2.6.2 Modellierung Vorher-/Nachher-Vergleich (BAC)

Messwerte zu quantitativem Vorkommen von Vögeln wurden auf Veränderungen seit Baubeginn des Windparks *DanTysk* überprüft. Mit Ausnahme der Totfunde handelt es sich jeweils um relative Häufigkeitsmaße (Kap. 1.1). Radardaten erlauben Gegenüberstellungen grundsätzlich nur auf dem Niveau des Taxons „Vogel“. Obwohl Totfunde standardisiert artbestimmt wurden, konnten die Analysen angesichts vergleichsweise geringer Stichprobenumfänge ebenfalls nur das Taxon „Vogel“ berücksichtigen. Ruferfassungsdaten ließen sich im Falle der besonders häufigen Drosseln bis auf Artniveau aufgliedern. Auch Videodaten erlaubten im Fall der Dreizehenmöwe eine artbezogene Betrachtung. Zur Auswertung wurden entweder verallgemeinerte lineare gemischte negativ-binomiale oder Poisson Modelle mit log-link Funktion (GLMM: generalized linear mixed effects model with negative-binomial or poisson error distribution and log-link function) verwendet. Als erklärende Variable ging als kategorialer Faktor mit festen Effekten der Zeitraum vor bzw. nach Baubeginn des Offshore-Windparks ein:

- vor: 2009-2012
- nach: 2013-2014 bzw. im Falle der Ruferfassung 2013-2015

Im Falle der Videoerfassung zeigten frühere Ergebnisse, dass die auf hoher See registrierten Großmöwen, aber auch Dreizehenmöwen, nicht nur Zugvögel umfassen, sondern dass es sich bei den vor allem im Hochsommer auftretenden Vögeln zu großen Teilen um Brutvögel umliegender Koloniestandorte handeln dürfte (HILL et al. 2014c). Deshalb wurde als weiterer kategorialer Faktor der Zeitraum der Brut bzw. des Zugs mit einbezogen. Die beiden Zeiträume wurden unter Berücksichtigung brutbiologischer Phänologiedaten voneinander abgegrenzt. Bei den Großmöwen wurden die bedeutenden Vorkommen zwischen Mai bis Oktober berücksichtigt. Daten bis Ende Juli wurden als Brutzeit gewertet, der Zeitraum August bis Oktober als Zugzeit. Bei der Dreizehenmöwe wurde der Zeitraum von Juni bis August als Brutzeit gewertet, Vorkommen in den Monaten September und Oktober als zur

Zugzeit gehörig bestimmt. Neben den beiden kategorialen Faktoren wurde auch die Interaktion beider Faktoren berücksichtigt.

Als zufälliger Faktor wurde das Datum integriert. Dadurch wird der Tatsache Rechnung getragen, dass sich zeitlich eng beieinander liegende Vogelvorkommen stärker ähneln, als zeitlich weiter auseinander liegende.

Um die gemessenen Daten in Relation zum Aufwand zu setzen, wurde in den Modellen zur Videoerfassung die Gesamtanzahl an aufgenommenen Bildern pro Tag herangezogen, in den Modellen zur Ruferfassung wurde die Anzahl der Stunden pro Zugnacht berücksichtigt. Diese Größen gingen jeweils als ein „offset-Term“ in die Modelle ein. Im Modell zum Totfundmonitoring wurde kein „offset-Term“ benötigt.

Da in den Datensätzen zur Videoerfassung sowie zum Totfundmonitoring durch die hohe Anzahl an vogelnegativen Bildern bzw. Kontrollterminen ohne Totfundregistrierung im Vergleich zur negativ-binomial-Verteilung ein Überschuss an Nullen vorlag, wurde in diese Modelle „zero-inflation“ (ZUUR et al. 2012) einbezogen.

Um zu dem am besten zu den Daten passenden Modell zu gelangen, wurde das volle Modell mittels eines Likelihood-Ratio-Tests gegen das Nullmodell getestet. Im Falle des Modells zur Videoerfassung der Großmöwen wurde das volle Modell schrittweise vereinfacht. Wenn das komplexere Modell bei einem Signifikanzlevel von 0,05 signifikant besser zu den Daten passte, wurde es beibehalten.

Als Maß der Variabilität wurden 95%-Kredibilitätsintervalle (credible interval) für die Parameter auf der Grundlage simulierter Posteriorverteilungen mit Hilfe von Posthoc MCMC-Verfahren (Markov Chain Monte Carlo) berechnet. In der Simulation wurden für die Modelle 3.000 Iterationen verwendet, wobei zur Vermeidung von Autokorrelationseffekten nur jeder 3. Wert in die Berechnung einging und die ersten 899 Simulationen als Burn-in ausgeschlossen wurden. In den Grafiken sind 95%-Kredibilitätsintervalle der Vorhersagen aufgetragen, wodurch sich Unterschiede über fehlende Überlappungen direkt ablesen lassen.

Sämtliche Analysen und Abbildungen wurden mit dem Statistik-Programm R (Versionen: 3.2.1; R CORE TEAM 2015) durchgeführt. Für die Analyse der verallgemeinerten linearen gemischten Modelle wurde in der Regel die Funktion „glmer“ aus dem package „lme4“ (1.1-7; BATES et al. 2014) verwendet. Bei Modellen mit „zero-inflation“ kam die Funktion glmmadmb aus dem Paket glmmADMB zur Anwendung. Es wurde die Version 0.8.0 (SKAUG et al. 2014) mit einigen Anpassungen durch David Fournier zur Behebung eines Speicherlecks genutzt.

2.6.3 Vorhersage der Vogelzugstärke an einem Offshore-Standort in Abhängigkeit von Wetterbedingungen in den Aufbruchsgebieten und unterwegs (Wettermodellierung)

2.6.3.1 Hintergrund

Die abhängige Variable, die durch das Modell erklärt werden soll, ist die nachtviertelweise relative Vogelzugstärke an einem Offshore-Standort inmitten der ökologischen Barriere Nordsee. Die näheren Untersuchungen zum Zusammenspiel abendlicher atmosphärischer Aufbruchsbedingungen im Bereich potenzieller Herkunftsgebiete und nächtlicher Windverhältnisse über See zielen auf die Klärung ab, unter welchen atmosphärischen Rahmenbedingungen es zu Nächten starken Vogelzuges an einem Offshore-Standort kommt. Ausgewertet werden hierbei zunächst Echos aus dem Vertikalradar auf der Forschungsplattform FINO 1 im Herbst für die Jahre 2003-2006 sowie 2008-2013, da hierfür diese detaillierte lange Zeitreihe mit wenigen Ausfällen und aus einem breiten Höhenband zur Verfügung steht. Als Eingangsdaten liegen verschiedene Wetterparameter (NCEP/NPAR-Daten, vgl. KALNAY at al. 1996) an möglichen Aufbruchsgebieten sowie Windverhältnisse über See an der Plattform (<http://fino.bsh.de>) vor. Die Wetterbedingungen in den entsprechenden Aufbruchsgebieten sowie die Windverhältnisse über See werden in dem Modell in Verbindung zu der relativen Zugvogelstärke pro Nachtviertel an der Plattform gesetzt.

Definition starker/schwacher Vogelzug am Standort

Vogelzug ist nicht über die Saison hinweg gleichverteilt, sondern setzt sich zusammen aus art-/populationsspezifischen (teilweise sogar geschlechts- oder altersspezifischen) Zugzeiten. Zu bestimmten Zeiten gipfeln unterschiedlich viele langjährige Phänologiekurven zu einzelnen Arten/Populationen (Geschlechtern, Altersklassen). Zudem sind nicht alle Arten/Populationen gleich kopfstark. In der Gesamtschau macht sich dies dahingehend bemerkbar, dass z.B. während der ersten Oktoberhälfte besonders viele Arten in ihrem Auftreten gipfeln, von denen einige wenige zu den kopfstärksten überhaupt zählen (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004, HÜPPPOP & HÜPPPOP 2007, DIERSCHKE et al. 2011). Würde nun anhand der Messwerte einer gesamten Zugperiode „starker Vogelzug“ definiert, würde der Einfluss der Jahreszeit alles andere überprägen und für den Oktober eigentlich schwacher Zug könnte in der Gesamtschau auf die ganze Zugperiode immer noch leicht als starke Vogelzugnacht definiert werden. Damit würden einige wenige Arten das Muster zum Vogelzug ganz entscheidend beeinflussen.

Daher wurde für die distanzkorrigierten Echozahlen (s. Kap. 2.6.3.2) zunächst die Kurve für das mittlere Zugmuster über Jahres- und Nachtviertelgang bestimmt, wobei alle Daten aus dem gesamten Zeitraum herangezogen wurden (s. Kap. 2.6.3.3). Aufgrund von

Radarausfällen und Regenbildern sind nicht alle Nachtviertel vollständig. Aus diesem Grund wurde für Unvollständigkeit kontrolliert.

Im weiteren Verlauf wurde dann die relative Abweichung von dieser Erwartungskurve weiter ausgewertet. Diese Abweichung beschreibt, ob zu einem Nachtviertel an einem bestimmten Tag das im Radargerät gemessene Zugaufkommen überproportional groß oder klein im Vergleich zum erwarteten Wert ist.

Bedingungen in den Aufbruchsgebieten

Umliegende Küstenregionen und das angrenzende Hinterland sollten im Fokus stehen, obwohl in Einzelfällen noch weiträumigere Herkunft denkbar ist. Bei einer Nachtdauer zwischen 8-12 Stunden, einer angenommenen Eigenzugsgeschwindigkeit über Grund für einen Vogel zwischen 40-60 km/h und vollem Rückenwind bis in Höhe der Eigenzugsgeschwindigkeit (60 km/h) ergäbe sich beispielsweise eine Spanne von 320-1.440 km für einzelne Zugnächte. Für die Herbstzugperiode wurde der kürzeste Abstand zur nächstgelegenen Herkunftsküste gewählt. Von hier aus wurden zwei konzentrische Viertelkreise über den Herkunftssektor gezogen (nordöstlicher Sektor von FINO 1, also Skandinavien und die südl. Ostseeküste). Der Abstand des ersten konzentrischen Viertelkreises beträgt drei Breitengrade und sechs Breitengrade im Falle des zweiten konzentrischen Viertelkreises. Für den nächstgelegenen Küstenpunkt, die beiden jeweils äußeren und einem in der Mitte befindlichen Punkt der konzentrischen Viertelkreise wurden stündliche Wetterdaten (basierend auf gemessenen und modellierten Daten; KALNAY at al. 1996) des NCEP/NPAR-Datenarchives (www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html) für einen räumlichen Bereich von $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ um den Mittelpunkt mit den Koordinaten der „Wetterpunkte“ 1-7 (Tab. 1) herangezogen.

Berücksichtigung fanden allabendliche Daten aus diesen sieben Wetterzellen zu Geschwindigkeit und Richtung von Wind in Bodennähe und relative Luftfeuchte als Sättigung in Prozent. Hierbei wurde jeweils das Mittel aus einer Stunde vor Sonnenuntergang bis drei Stunden nach Sonnenuntergang herangezogen. Abzugsergebnisse konzentrieren sich zwar auf die Zeit um Sonnenuntergang herum, können sich aber auch bis weit in die Nacht hinein erstrecken (ÅKESSON et al. 1996, BOLSHAKOV et al. 2000, SCHMALJOHANN et al. 2011). Die Daten zum Wind wurden zur Größe Windprofit umgerechnet (eqn 1; airspeed = Vogelegengeschwindigkeit über Grund mit 13m/s [ca. 46,8 km/h, Wert umfasst somit auch typische Reisegeschwindigkeiten von Drosseln, unseren mutmaßlich häufigsten Arten]; windspeed = Windgeschwindigkeit, winddirection = Windrichtung), mit einem *migratory goal* (= Zugziel) in Richtung 225° im Herbst (Zug nach Südwest). Dabei lautet die Annahme, dass die Neigung zum Aufbruch mit zunehmendem Windprofit größer wird.

$$\begin{aligned}
 \text{windprofit}_i [\text{ms}^{-1}] &= \text{airspeed} [\text{ms}^{-1}] \\
 &- (\text{airspeed}^2 + \text{windspeed}^2 - 2 * \text{airspeed} * \text{windspeed} \\
 &\quad * \cos(\text{winddirection}_i - \text{migratory goal}))^{0.5} [\text{ms}^{-1}]
 \end{aligned}$$

eqn 1

Daten zur Luftfeuchte dienen als Indikator für sichtbehindernde Phänomene wie Regen, Nieselregen, Nebel, da hierüber direkt keine Angaben verfügbar sind. Wind und Regen erklärten in einer Studie zwei Drittel des nächtlichen Vogelzugs in Mitteleuropa (ERNI et al. 2002).

Rückkopplungseffekte

Im Umfeld von Aufbruchsküsten kommt es bei ungünstigen äußereren Zugbedingungen des Öfteren zu besonderen Aggregationen von Zugvögeln; im Allgemeinen wird dann von einem Zugstau gesprochen. Verbessern sich nachfolgend die Wetterbedingungen wieder, kann dies abrupt massenweisen Abzug initiieren, der u. U. auch über mehrere Nächte hinweg anhalten kann. Über die Auflösung eines Zugstaus hinaus noch länger anhaltende günstige atmosphärische Bedingungen müssen dann nicht mehr zwangsläufig zu erhöhten Vogelzugmesswerten führen. Umgekehrt führt nicht jede Schlechtwetterphase zwangsläufig zu einem späteren Massenereignis. Eine Konfliktsituation können (insbesondere länger anhaltende) Wettersituationen sein, die sowohl ungünstig für den Abzug gemäß dem räumlich-zeitlichen Programm sind, aber auch die Energiezufuhr während der Rast beeinträchtigen. Ab einem gewissen Ausmaß könnte es sich lohnen, den aktuellen Standort schnell zu verlassen, ohne dass dabei besonderer Wert auf die Justierung der Feinrichtung gelegt wird. Dies könnte erklären, warum es auch zu Abzugsereignissen unter ungünstigen äußereren Bedingungen kommen kann und sich folglich nicht alle Zugstaubedingungen in einem späteren Massenereignis entladen müssen.

Aufgrund dieser möglichen Rückkopplungseffekte wurden nicht nur die Bedingungen in den Aufbruchsgebieten in der jeweiligen Nacht, sondern auch in den vorangegangenen Nächten berücksichtigt. Hierzu wurde analysiert, ob der errechnete Windprofit rund um Sonnenuntergang an den unterschiedlichen Aufbruchsgebieten kleiner als -7 war oder die relative Luftfeuchte über 95 % lag. Ein Windprofit unter -7 wurde als Zugstaubedingung angenommen (ERNI et al. 2002). Werte größer als 95 % relative Luftfeuchte lassen im Allgemeinen auf orientierungsmindernde und dadurch ebenso auf den Aufbruch unterbindende Phänomene schließen (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). Liegen in einer jeweiligen Nacht aktuell keine Zugstaubedingungen vor, wurde berücksichtigt, wie viele Tage mit Zugstaubedingungen direkt vorangingen.

Bedingungen während des Zuges

Als Bedingungen während des Zuges wurden Daten aus der Wetterzelle mit einem Mittelpunkt an den Koordinaten von FINO 1 aus dem NCEP/NPAR-Archiv zu Geschwindigkeit und Richtung von Wind in Bodennähe zur Mitternachtsstunde herangezogen. Die Daten zum Wind wurden zur Größe Cross-Wind-Component (CWC; = Seitenwindkomponente) umgerechnet (eqn 2), mit einer *tailwinddirection* (= Rückenwindrichtung) in Richtung 225° im Herbst (Zug nach Südwest). Dabei lautet die Annahme, dass Vögel mindestens teilweise bei herrschenden Seitenwinden Drift zulassen. D. h. zunehmend starker NW-Wind führt möglicherweise ansonsten nördlich des Standortes passierende Vögel in unseren Detektionsbereich, zunehmend starker SE-Wind hingegen ansonsten südlich des Standortes querende Vögel.

$$CWC = \sin(winddirection - tailwinddirection) * windspeed$$

eqn 2

2.6.3.2 Datenaufbereitung

Zur Durchführung der Modellierung mussten die Einzeldatensätze zunächst aufgearbeitet und verschnitten werden, was in folgenden Schritten erfolgte: Die Wetterdaten an den Aufbruchsstandorten für die Einzeljahre wurden geladen und verbunden. Dasselbe wurde mit den Wetterdaten am Seestandort gemacht. Anschließend wurden jeweils die Koordinaten und Identifikationscodes für die Standorte hinzugefügt.

Die Informationen zur Sonnenuntergangszeit wurden ebenfalls für die Einzelstandorte und Einzeljahre geladen und als Gesamtdatei zusammengefügt. Die Sonnenuntergangszeit wurde auf volle Stunden abgerundet. Anschließend wurden die Wetterdaten mit den Sonnenuntergangsinformationen verschnitten. Aus den Wetterdaten wurden nur diejenigen selektiert, die an dem jeweiligen Standort innerhalb 1 Stunde vor bzw. 3 Stunden nach Sonnenuntergang liegen und über den jeweiligen Zeitraum gemittelt. Die Werte für die Zugstaubedingungen wurden generiert (s. Kap. 2.6.3.1, Rückkopplungseffekte).

Die Radardaten wurden ebenfalls aufbereitet. Ausgewertet wurde ein Quadrat in vertikaler und horizontaler Entfernung zu dem Radargerät unterhalb von 1000 m. Aufgrund der hohen Anfälligkeit für Störechos unterhalb einer Distanz von 200 m zum Radargerät wurde dieser Bereich nicht berücksichtigt.

Die registrierten Radarechos wurden wegen der unterschiedlichen Erfassbarkeit mit der Entfernung zum Radargerät korrigiert (HÜPPPOP et al. 2002). Hierzu wurde anhand der

folgenden Entdeckungswahrscheinlichkeit (P_{det}) mithilfe eines Bayesianischen Poissonmodells in der Software OpenBUGS (Version 3.2.3, LUNN et al. 2009) die tatsächliche Anzahl Echos vorhergesagt:

$$P_{det}(x_i) = \frac{e^{\left(\frac{-x_i^2}{2A_1^2}\right)} * (1 + (A_2 * \cos \frac{2\pi x_i}{w}) + (A_3 * \cos \frac{3\pi x_i}{w}))}{1 + A_2 + A_3}$$

eqn 3

mit x_i als Entfernung der Tracks vom Radar (in m), w als maximale Erfassungsweite des Radargerätes (in m) und A_1 , A_2 sowie A_3 als Korrekturparameter. Die Korrekturparameter und Erfassungsreichweite ($A_1 = 603,7$; $A_2 = -0,0656$; $A_3 = 0,3242$; $w = 2.800$ m) wurden von HÜPPPOP et al. (2005a, b) übernommen, wo das gleiche Radargerät verwendet wurde. Der Nenner in Formel 3 (siehe eqn 3) dient zur Skalierung der maximalen Entdeckungswahrscheinlichkeit auf eins (hier direkt am Radargerät). OpenBUGS wurde aus der Software „R“ (Version 3.2.1, R CORE TEAM 2015) unter Verwendung des Paketes „R2OpenBUGS“ (Version 3.2.3.1, STURTZ et al. 2005) geladen. Die Software „R“ wurde ebenfalls für alle sonstigen Schritte verwendet. Es wurden 10.000 Iterationen durchgeführt. Anschließend wurden die korrigierten Echozahlen über Nachtviertel summiert.

Der jeweilige Aufwand (Anzahl auswertbare Bilder pro Nachtviertel) und die maximal mögliche Anzahl Bilder je Nachtviertel wurden ebenfalls aufgenommen, sowie der Anteil auswertbarer Bilder an der maximal möglichen Anzahl berechnet. Der Jultag (julianischer Tag) und das Nachtviertel wurden angefügt. Zum Schluss wurden die Wetterdaten in den Aufbruchsgebieten und über See mit den Radardaten verschnitten, wobei jeweils eine Spalte für jede Wettervariable an jedem Standort generiert wurde.

Zusätzlich wurde eine Datei mit den Radardaten pro Nacht generiert. Hierzu wurden die Angaben jedes Nachtviertels zur korrigierten Anzahl Radarechos, dem Aufwand und der maximal möglichen Anzahl Bilder jeweils nächteweise aufsummiert, der Jultag angefügt und der Anteil auswertbarer Bilder an der maximal möglichen Anzahl neu berechnet.

2.6.3.3 Modellierung

Zunächst wurde für die nächteweise Summe der korrigierten Echozahlen die Kurve für das mittlere Zugmuster im Jahresgang bestimmt, wobei alle Daten von 2003-2006 sowie 2008-2013 herangezogen wurden. Hierzu wurde ein generalisiertes additives Modell (GAM) verwendet, wobei das Paket „mgcv“ (Version 1.8.6, WOOD 2000) zur Anwendung kam. Für eine besser auswertbare Datenverteilung wurden die korrigierten Echodata (korrr.Dat) zur Modellierung logarithmiert. Um für eventuelle Unvollständigkeit zu kontrollieren, wurde

additiv der Wert (*Prop.Bilder*) in das Modell eingefügt, der die Relation aus Anzahl auswertbarer Bilder und maximal möglicher Bilder angibt:

$$\text{Modell: } \text{GAM}(\log(korr.Dat) \sim s(Jultag) + Prop.Bilder)$$

eqn 4

Zur Berechnung der relativen Abweichung von dieser Erwartungskurve wurde die Summe aus den logarithmierten gemessenen Echodataen und einer Korrektur für die Bildvollständigkeit gebildet. Zur Korrektur für die Bildvollständigkeit wurde das Produkt aus dem Modellkoeffizienten für den Bildvollständigkeitswert (GAM.Bildvollständigkeit) sowie der Differenz aus eins minus des tatsächlichen Wertes berechnet. Die Gesamtsumme wurde durch die von dem Modell vorhergesagte Echoanzahl (*Pred*) dividiert.

$$rel = \frac{\log(korr.Dat) + \text{coef}(\text{GAM.Bildvollständigkeit}) * (1 - Prop.Bilder)}{Pred}$$

eqn 5

Diese relative Abweichung von der Erwartungskurve über den Jahresgang gibt an, ob eine Nacht überproportional zugstark ist. Da hier nur Nächte mit Vogelzug von Interesse sind, werden für die spätere Auswertung die radarschwächsten unteren 32 % der Nächte nicht berücksichtigt. Hier wird davon ausgegangen, dass kein Zug stattfindet (die hierzu notwendige Untergliederung in Kategorien erfolgte nach ENGELMANN [1978]), sondern es sich bei den Radarechos um lokale Vögel handelt. Im Weiteren wird bei dieser Auswahl von Zugnächten gesprochen. In die nachtviertelweise Datentabelle wird daher eine Spalte angefügt, die angibt, ob die jeweilige Zugnacht in die spätere Auswertung eingehen soll.

Anschließend wurde parallel zu der beschriebenen Modellierung auf Nachtbasis für die korrigierten Echozahlen die Kurve für das mittlere Zugmuster über Jahres- und Tagesgang (nachtviertelweise) bestimmt

$$\text{Modell: } \text{GAM}(\log(korr.Dat) \sim s(Jultag, Viertel) + Prop.Bilder)$$

eqn 6

Es wurde wiederum die relative Abweichung von der Erwartungskurve berechnet. Diese relative Abweichung wurde anschließend für Zugnächte in einem linearen Modell weiter ausgewertet. Hierbei flossen in das volle Modell das Nachtviertel (*Viertel*) als Faktor, die CWC an der FINO 1 (*CWC.FINO*) sowie die Luftfeuchte (*LF*), der Windprofit (*WP*) und die Zugstaubbedingungen (*Stau*) an den sieben Aufbruchsgebieten Dieksanderkoog (*Di*), Helsingborg (*He*), Hovsor (*Ho*), Malbork (*Ma*), Tinn (*Ti*), Usedom (*Us*) und Valdemarsvik (*Va*) ein (Abbildung 21, Tabelle 2). Ebenso wurden alle Interaktionen der Bedingungen innerhalb eines Aufbruchsgebietes sowie des Nachtviertels und der CWC an der FINO 1 einbezogen:

$Modell: lm(rel \sim Viertel * LF.Di * WP.Di * Stau.Di * CWC.FINO +$
 $Viertel * LF.He * WP.He * Stau.He * CWC.FINO +$
 $Viertel * LF.Ho * WP.Ho * Stau.Ho * CWC.FINO +$
 $Viertel * LF.Ma * WP.Ma * Stau.Ma * CWC.FINO +$
 $Viertel * LF.Ti * WP.Ti * Stau.Ti * CWC.FINO +$
 $Viertel * LF.Us * WP.Us * Stau.Us * CWC.FINO +$
 $Viertel * LF.Va * WP.Va * Stau.Va * CWC.FINO)$

eqn 7

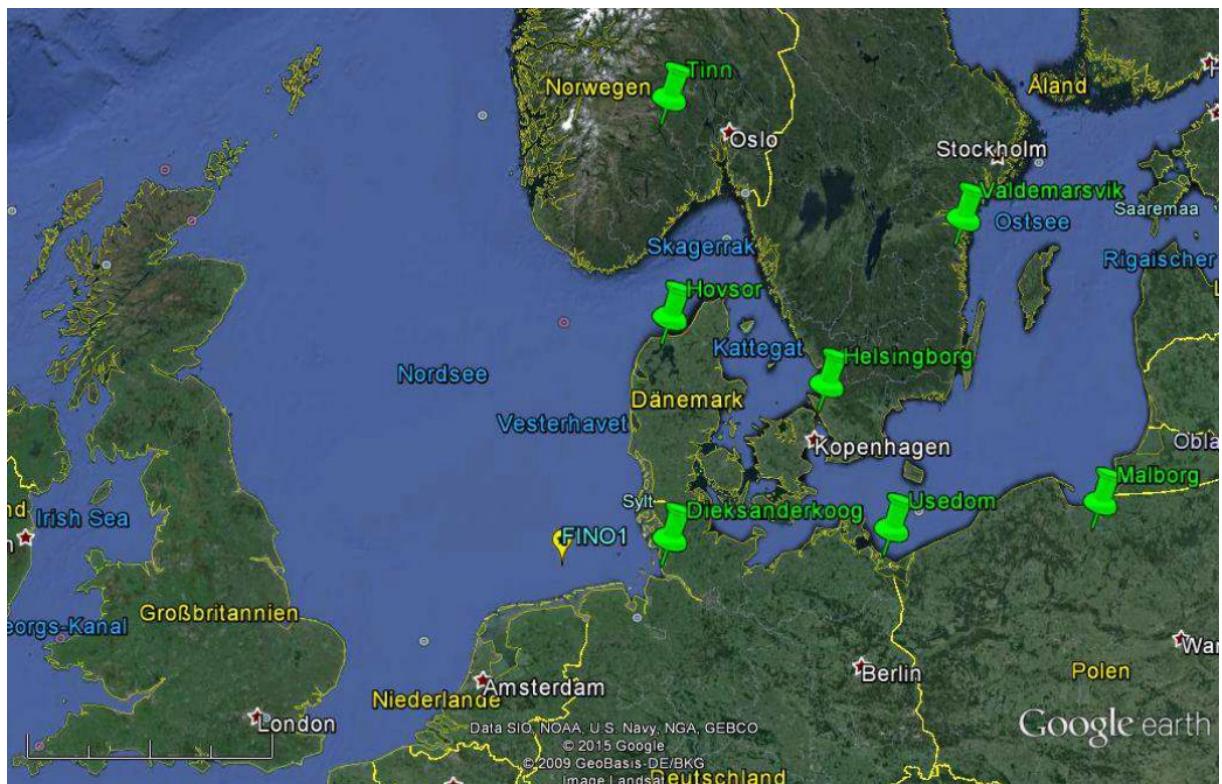


Abbildung 21: Lage der Forschungsplattform FINO 1 sowie von sieben potentiellen Aufbruchsgebieten, von denen für die Modellierung Wetterdaten herangezogen wurden (s. auch Tabelle 2). Quelle: Google Earth.

Zusätzlich wurden separat von Zugnächten nur die ausgewählt, in denen mindestens 55 % der korrigierten Echos in der ersten Nachhälfte bzw. in der zweiten Nachhälfte lagen. Da das Nachtviertel im vorangegangenen Modell keine Relevanz hatte, erfolgte diese Auswertung auf Nachtbasis. Für diese Nächte wurde dann jeweils wieder die relative Abweichung von der Norm weiter ausgewertet:

*Modell: lm(rel ~ LF.Di * WP.Di * Stau.Di * CWC.FINO +*

$$\begin{aligned}
& LF.He * WP.He * Stau.He * CWC.FINO + \\
& LF.Ho * WP.Ho * Stau.Ho * CWC.FINO + \\
& LF.Ma * WP.Ma * Stau.Ma * CWC.FINO + \\
& LF.Ti * WP.Ti * Stau.Ti * CWC.FINO + \\
& LF.Us * WP.Us * Stau.Us * CWC.FINO + \\
& LF.Va * WP.Va * Stau.Va * CWC.FINO)
\end{aligned}$$

eqn 8

Das am besten zu den Daten passende Modell wurde des Weiteren jeweils mit allen Daten abzüglich aller vier Viertel einer Zugnacht gerechnet. Die Werte der relativen Abweichung der Anzahl der Radarechos von der Norm für die fehlende Zugnacht wurden dann auf Grundlage der jeweiligen Modellergebnisse vorhergesagt. Hierzu wurde die Funktion predict() verwendet. Die Vorhersagen und realen Daten wurden grafisch verglichen sowie deren Korrelation bestimmt.

Tabelle 2: Übersicht zu Mittelpunkten der berücksichtigten Wetterzellen für den Herbstzug (vgl. Abbildung 21).

Nr. Wetterpunkt	N Breitengrad	E Längengrad	Breite (WGS84; Kommazahlen)	Länge (WGS84; Kommazahlen)	Konzentrischer Ring	Ort	Region	Entfernung zum Wetterpunkt 1 [km]	Entfernung zu FINO 1 [km]	Richtung zu FINO 1 [°]
1	54°00'53,50"	08°52'35,90"	54,01472	8,87638	0	Dieksanderkoog	Nearest coastal point of take off	0	150	270
2	57°00'53,50"	08°52'35,90"	57,01472	8,87638	1	Hovsør nordöstl. Thisted	DEN - Kimbris North	333	363	204
3	56°02'50,70"	12°41'39,69"	56,04722	12,69416	1	Helsingborg	SWE - Southern Tip	333	450	242
4	54°00'53,50"	14°02'44,07"	54,01472	14,04555	1	Usedom	GER - Pomerania	333	483	270
5	60°00'53,50"	08°52'35,90"	60,01472	8,87638	2	nordöstl. Tinn, Telemark	NOR – Interior south	666	683	193
6	58°09'46,21"	16°33'42,47"	58,16277	16,56166	2	Valdemarsvik	SWE - Baltic coast	666	772	238
7	54°00'53,50"	19°09'02,58"	54,01472	19,15055	2	östl. Malbork	POL - Pomerania	666	816	270

2.6.4 Exposition = Gefährdung? Was die Phänologien von Zugvögeln in der Deutschen Bucht verraten.

Die zuvor vorgestellten Methoden erlauben es u. a., jahreszeitliche Muster zum Vorkommen von Zugvögeln über der Deutschen Bucht sichtbar zu machen. Starke Präsenz bedeutet dabei zunächst eine hohe Exposition gegenüber den Einwirkungen von OWEA. Allerdings können sich Muster zur Phänologie derselben Art je nach Methode unterscheiden (DIERSCHKE et al. 2011, HILL et al. 2014c). Sollten phänologische Muster, wie sie sich z. B. über die Ruferfassung für Situationen starker Annäherung ergeben, vom tatsächlichen Vorkommen abweichen, unterlägen Vögel zu gewissen Zeiten überproportionaler Gefährdung. Starke Annäherung ist nämlich Vorbedingung, um mit Offshore-Bauwerken zu kollidieren und stets wurden Massen-Kollisionsnächte von hoher Rufaktivität begleitet (HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c, HÜPPPOP et al. in press). Da alle Methoden bei der Erfassung von Vogelzug Restriktionen unterliegen und die im Offshore-Bereich nachts eingesetzten zusätzlich nur relative Häufigkeitsmaße liefern, ist die Festlegung des „echten jahreszeitlichen Vorkommens“ zu Vergleichszwecken schwierig. Die notwendigen Anforderungen erfüllen aber die Angaben zum Vorkommen der Arten sehr weitgehend, wie sie für Helgoland publiziert wurden (DIERSCHKE et al. 2011). Die zugrunde liegenden Daten betreffen langjährig auf Basis von Individuen und über viele Methoden hinweg an einem Meeresstandort auf hoher See zusammengetragene Informationen. Aus diesem Grund erfolgten Vergleiche der phänologischen Muster, wie sie sich aus dem Totfundmonitoring, der Ruferfassung und der Radar erfassung ergeben, mit dem eigentlich zu erwartenden Bild des Vorkommens im Bereich der Deutschen Bucht, welches über das Material der Insel Helgoland definiert ist. Im Falle der Totfunde können Vergleiche phänologische Angaben bis hin zu Geschlecht und Altersklasse berücksichtigen, für Vogelrufe sind Aufgliederungen bis auf Artniveau möglich. Radarwerte erlauben die Beschreibung der jahreszeitlichen Zugphänologie des Taxons „Vogel“.

Die Untersuchung jahreszeitlicher Aspekte von Kollisionshäufigkeiten und Situationen verstärkter Annäherung berührt Fragen zu den Mechanismen von mit OWEA verbundener Mortalität (Kap. 1.1). Gemäß absoluten Zahlen ist Vogelschlag vor allem ein herbstliches Phänomen (Kap. 3.1.3.2), weshalb hier zur Untersuchung eine Beschränkung auf die Wegzugperiode erfolgte.

2.6.4.1 Kollisionen von Zugvögeln – termingerecht?

Die Kollisionshäufigkeiten an beiden Standorten unterscheiden sich. Seit Errichtung der FINO 3 im Juli 2009 wurden bis zum 31.12.2014 86 Kollisionsopfer dokumentiert.

Demgegenüber geben HÜPPPOP et al. (in press) für die FINO 1 für den Zeitraum von September 2003 bis Ende 2007 ca. 150 Opfern pro Jahr an. Seither kam es jedoch zu einer Reduktion und bis Ende 2012 geben HILL et al. (2014c) eine Gesamtopferzahl für FINO 1 von gut 1.000 Zugvögeln an. In ihrer Bindung an spezifische Situationen und der Konzentration auf wenige starke Ereignisse, die das Gros der in der Vergangenheit an FINO 1 kollidierten Tiere umfassten (HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c, HÜPPPOP et al. in press), sind solche Unterschiede möglicherweise wenig aussagekräftig. Hinzu treten Konstruktionsunterschiede beider Plattformen, die sich über unterschiedliche Größe und der Lage von Deck zu Mast unterscheiden, was zu Verzerrungen führen kann (vgl. Kap. 2.4.2).

Hinsichtlich der betroffenen Arten wie auch der Jahreszeiten gleichen sich die Standorte hingegen. Die Überprüfung der Totfundspektren der Plattformen ergibt sowohl für FINO 1 wie auch FINO 3 eine hohe Dominanz von Drosseln (Abbildung 22). Weitere besonders häufig von Kollisionen betroffene Arten waren jeweils Star, aber auch z. B. Wiesenpieper und Finkenvögel wie Bergfink *Fringilla montifringilla* und Erlenzeisig *Carduelis spinus*. Keine Rolle spielten Nichtsingvögel, die an beiden Standorten nur ausnahmsweise als Kollisionsopfer nachgewiesen wurden. Nichtsingvögel schlossen wir aufgrund der geringen Werte von allen weiteren Analysen aus, denn mit Offshore-Bauwerken verbundene Mortalität ist zuvorderst ein Phänomen terrestrischer und des nachts ziehender Singvögel, wie die Ergebnisse zeigen. An beiden Standorten dominieren die Zahlen tödlich kollidierter Vögel im Herbst und konzentrieren sich währenddessen in besonderem Maße auf die Monate Oktober/November mit einem prominenten Gipfel direkt zur Monatswende (Abbildung 23).

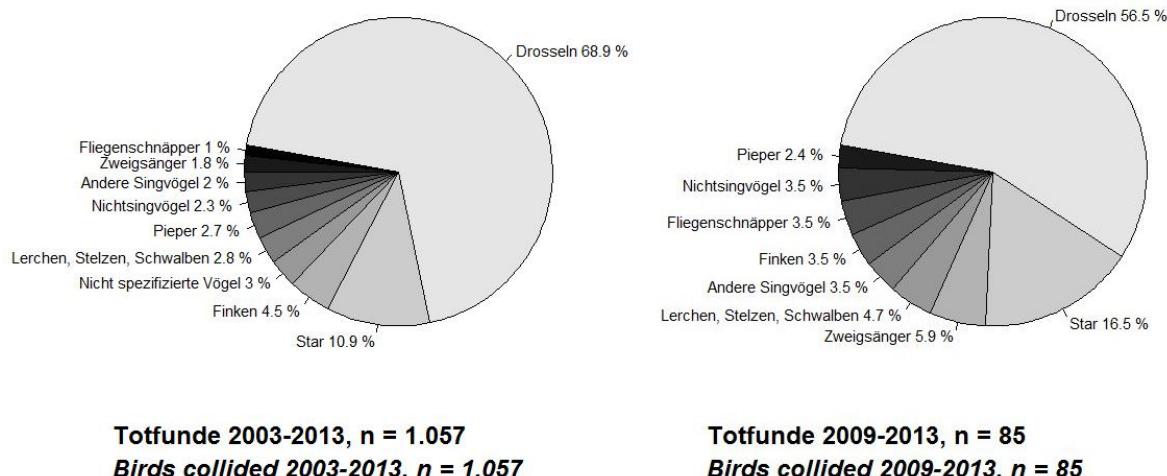


Abbildung 22: Anteile von verschiedenen Arten bzw. Artengruppen zwischen Oktober 2003 bis Dezember 2013 auf FINO 1 (links) bzw. zwischen Juli 2009 bis Dezember 2013 auf FINO 3 tödlich kollidierten Vögeln (rechts).

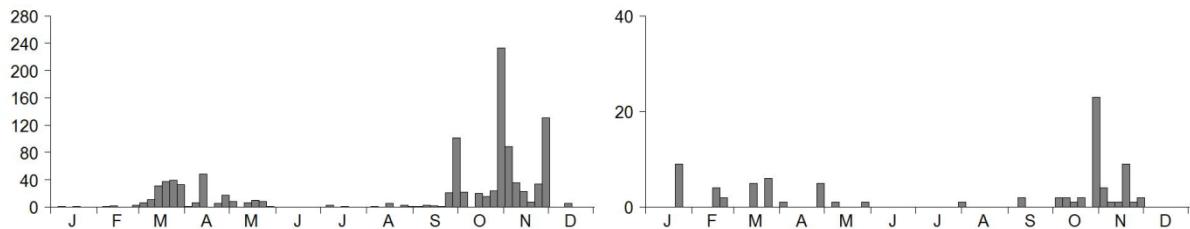
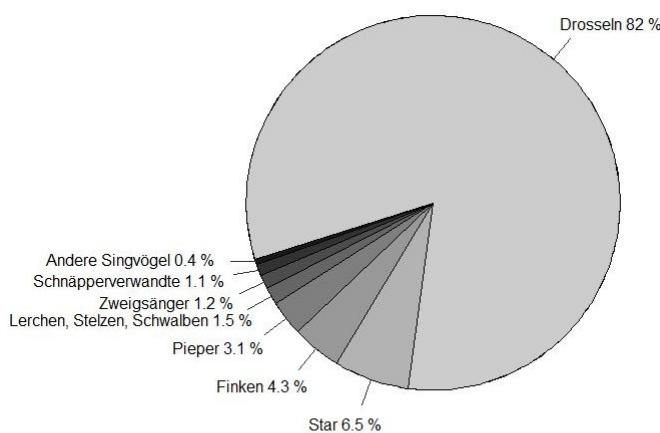


Abbildung 23: Jahreszeitliche Verteilung auf FINO 1 zwischen Oktober 2003 bis Dezember 2013 (links) bzw. auf FINO 3 zwischen Juli 2009 und Dezember 2013 (rechts) tödlich kollidierter Vögel in Pentadenschärfe. n-Totfunde FINO 1 = 1.057 (2003-2013), n-Totfunde FINO 3 = 85 (2009-2013). Beachte unterschiedliches Skalenniveau.

Gleiche jahreszeitliche Abschnitte und die Übereinstimmung der Artenzusammensetzung rechtfertigen die Bildung eines gemeinsamen Datensatzes der an beiden Plattformen während des Wegzugs verunglückten Singvögel zu einer Stichprobe von im Offshore-Bereich an Bauwerken kollidierten Tieren. Auch eine am 10.01.2010 auf dem Umspannwerk von *alpha ventus* gefundene Rotdrossel wurde hierin integriert. Überhaupt wurden alle im Dezember und Januar erfolgten Kollisionen berücksichtigt, denn für alle diese Fälle war über Wintereinbrüche das Vorliegen von Winterflucht anzunehmen. Alle aus der Wegzugperiode berücksichtigten Singvögel summierten sich so auf 751 Individuen (Abbildung 24), was 65,4 % aller an den beiden Plattformen bis Ende 2014 registrierten Totfunden entspricht.



Totfunde Singvögel 2003-2014, n = 751

Passerines collided 2003-2014, n = 751

Abbildung 24: Anteile von verschiedenen Arten bzw. Artengruppen aller 751 im zweiten Halbjahr von Oktober 2003 bis Dezember 2014 auf FINO 1 bzw. von Juli 2009 bis Dezember 2014 auf FINO 3 im Offshore-Bereich tödlich kollidierter Singvögel. Nur artlich bestimmte Individuen wurden berücksichtigt.

Berücksichtigt wurden nur bis auf Artniveau bestimmte Tiere, andernfalls ist eine Beurteilung im Sinne verfrühten oder verspäteten Auftretens nicht möglich. Ausgeschlossen von den Analysen werden musste der Bergfink, denn hinsichtlich der Vergleichswerte von Helgoland

bestehen Unsicherheiten. Demnach hat sich das Wegzug-Vorkommen der Art nach Fänglingen zwischen den 1960er Jahren bis zum Jahr 2008 signifikant um 18 Tage verfrüht (DIERSCHKE et al. 2011). Zugleich ist es aber viel schwächer geworden, was die Terminierung des derzeitigen Hauptvorkommens über einen Zentralwert wie den Median nicht verlässlich möglich macht (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004). Desweiteren schlossen wir zwei verunglückte Schneemämmern *Plectrophenax calcarius* von den Analysen aus. Für die Vögel kommen mindestens zwei distinkte Herkunftsgebiete unterschiedlicher Populationen infrage, ohne dass es hierzu oder zum zeitlichen Muster des Auftretens verlässliche Daten gäbe (vgl. DIERSCHKE et al. 2011). Einzelfunde zweier Rauchschwalben *Hirundo rustica* und je einer Mönchsgrasmücke *Sylvia atricapilla* bzw. Wacholderdrossel *Turdus pilaris* gingen nicht in die Analysen ein, denn in diesen Fällen hatten sich über die mitgeteilten Fundumstände Zweifel an Kollisionen während der Dunkelheit ergeben.

Für jedes Funddatum eines kollidierten Singvogel-Individuums bekannter Artzugehörigkeit wurde der zeitliche Abstand zum mittleren Vorkommen seiner Art im Bereich der Deutschen Bucht (m-VDB, s. u.) in Tagen gemessen. Bei 327 Vögeln (43,4 %) entsprach das Funddatum dem Kollisionsdatum. Die Bestimmung wurde ermöglicht über Flüge an aufeinander folgenden Tagen, mehrtägige Plattformaufenthalte, Sichtung nächtlichen Bildmaterials (vgl. AUMÜLLER et al. 2011) oder über anderweitige Hinweise aus den mitgeteilten Fundumständen. In den Fällen ohne solche Möglichkeiten wurde das Datum des vorangegangenen Fluges als Kollisionsdatum eingesetzt. Dies hat zur Folge, dass die zur Abstandsmessung herangezogenen Daten in vielen Fällen ein zu früh liegendes Datum berücksichtigen und die Kollision tatsächlich später erfolgte. Zur Bestimmung des m-VDB-Werts wurden die von DIERSCHKE et al. (2011) genannten Kenndaten von Helgoland herangezogen. Im Regelfall umfassen die dort genannten Mediane alle festgestellten Individuen, was für 16 von 21 als Kollisionsopfer in den Analysen repräsentierten Arten gilt. Für Amsel, Singdrossel, Rotkehlchen *Erithacus rubecula* und Wacholderdrossel geben DIERSCHKE et al. (2011) nur für Teilausschnitte Zentralwerte an. Diese Teilausschnitte betreffen Daten zum Nachtverhör auf der Basis artlicher Präsenz (J. Dierschke, pers. Mitt.), aber vor allem den Median nach Fang und den Korrekturwert dieser Daten nach dem BKDE-Verfahren (Binned-Kernel-Density-Estimate) zum Ausgleich verschiedener Gipfel, wie sie z. B. durch populations-, geschlechts- und/oder altersgestaffelten Zug zustande kommen (beide nach HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004). Der jeweils mittlere dieser drei Mediane wurde als m-VDB-Wert herangezogen. Beim Star musste in Ermangelung für Helgoland mitgeteilter Mediantermine ein Wert aus dem kombinatorischen Vergleich von Zugmaxima aus mehreren Erfassungsmethoden gebildet werden. So wurde der Wegzugmedian als mittlerer Tag zwischen maximalen Rastbeständen und Maximalzahlen beobachteten Tagzugs (DIERSCHKE et al. 2011) auf den 22.10. terminiert (s. auch Kap. 3.1.2.3).

Weiterhin wurden geschlechts- und altersspezifisch differenzierter Zug berücksichtigt, indem vom m-VDB-Wert entsprechend aufgeschlagen oder abgezogen wurde. So ziehen die Amselweibchen den Männchen im Herbst um rund drei Tage voran (HÜPPOP & HÜPPOP 2004), die Amsel insgesamt erlangt ihren m-VDB-Wert am 02.11. (Median Fang 28.10., BKDE-Korrektur 02.11., Nachtverhör Helgoland 04.11.). Daraus lässt sich der 31.10. für Weibchen bzw. der 04.11. für Männchen als Erwartungswert für das mittlere Individuum ableiten, sobald die 1,5 Tage Abstand zum gemeinsamen Erwartungswert gerundet werden.

Kollisionen finden oft sehr geballt an einzelnen Terminen statt (s. Kap. 1.1.). Solche sogenannten Massenkollisionen können die Ergebnisse u. U. stark beeinflussen, so dass zusätzlich nur die Verteilung von Ereignissen kollidierter Vögel untersucht wurde. Als je ein Ereignis wurden art-, geschlechts- und altersspezifische Unterschiede der kollidierten Vögel gewertet, sowie die ggf. voneinander abweichenden Kollisionsorte (FINO 1, FINO 3).

Nicht berücksichtigt wurde die jahrweise Streuung im Auftreten der Arten, die sich grundsätzlich in vielen Fällen anhand von Fängen im Fanggarten ermitteln ließe. Diese Daten standen uns jedoch nicht zur Verfügung.

2.6.4.2 Nächtliche Annäherung von Zugvögeln – termingerecht?

Wie im Falle der Totfunde ähneln sich sowohl das über die Ruferfassung an beiden Standorten ermittelte Artenspektrum (FINO 1 s. HÜPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c, FINO 3: s. Kap. 3.1.2.1), als auch die Phänologie (FINO 1: Abbildung 25, FINO 3: Abbildung 46, Kap. 3.1.2.2). Aus diesem Grund wurden auch die Daten der Ruferfassung zu einem gemeinsamen Datenpool verschmolzen, der Auskunft zu nächtlichen Annäherungen von Singvögeln an Bauwerke im Offshore-Bereich gibt.

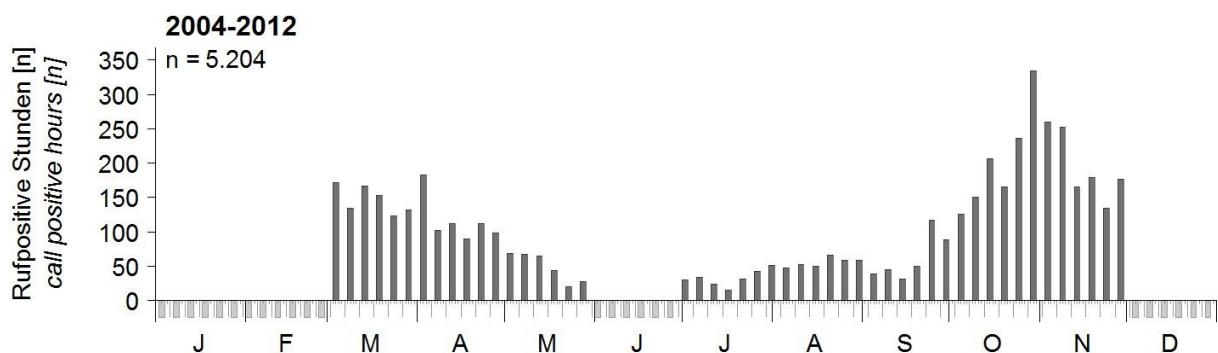


Abbildung 25: Summen zugrufpositiver Stunden ($n = 5.204$) während des Heimzugs (März bis Mai) und des Wegzugs (Juli bis November) zwischen 2004 und 2012 am Standort FINO 1 auf Pentadenbasis. Graue Felder unterhalb der Achse kennzeichnen Zeiträume, in denen keine Daten ausgewertet wurden.

Zu berücksichtigen waren wiederum nur bis auf Artniveau bestimmte Tiere. Nicht integriert wurden wie beim phänologischen Vergleich der tödlich kollidierten Zugvögel die Rufvorkommen von Bergfink und Schneeammer. Die Analysen betreffen ansonsten alle weiteren Singvögel, Nichtsingvögel blieben ausgeschlossen (zu den jeweiligen Gründen s. o.). Winterfluchten konnten nicht integriert werden, denn im Gegensatz zur ganzjährig möglichen Suche nach verunglückten Vögeln unterlag die Auswertung von Rufen einer jahreszeitlichen Begrenzung mit Stopp zum Sonnenaufgang am 01.12. Art für Art wurden die rufpositiven Dateien zusammengefasst und für jedes Datum mit Rufaufzeichnungen der zeitliche Abstand zum m-VDB (s. o.) im Bereich der Deutschen Bucht in Tagen gemessen. Dazu wurde auf das seit 2008 (FINO 1) bzw. 2009 (FINO 3) angefallene Datenmaterial zurückgegriffen.

Ähnlich wie Kollisionen findet starke Annäherung oft geballt an einzelnen Terminen statt. Deshalb wurde auch für Daten der Ruferfassung zusätzlich nur die Verteilung von Ereignissen angenäherter Vögel untersucht. Als je ein Ereignis wurden artspezifische Unterschiede der registrierten Vögel sowie voneinander abweichenden Standorte (FINO 1, FINO 3) gewertet. Geschlechts- oder altersspezifische Unterschiede lassen sich bei der Ruferfassung nicht berücksichtigen, da die Rufe keine diesbezügliche Differenzierung zulassen. Auf Basis von Ereignissen wurde zusätzlich zum Zeitraum ab 2008 noch auf Annäherungsnächte seit 2004 auf FINO 1 zurückgegriffen. Bei der zuvor geschilderten Analyse zu rufpositiven Dateien ist dies nicht möglich, denn vor 2008 wurden Rufmaxima je Minute als Eingangsgröße gebildet. Ein Umcodieren der Daten ist möglich, aber bislang nicht erfolgt.

2.6.4.3 Nächtliche Flugbewegungen von Zugvögeln – termingerecht?

Aufgrund des besonders langjährigen Messbetriebs und des methodischen Primärzuschnitts zur Erfassung der Intensität (z. B. HÜPPPOP et al. 2005), wurden die Daten der Vertikalradarerfassung auf FINO 1 einem näheren Vergleich mit den Daten zum Helgoländer Vogelzug zur Wegzugzeit unterzogen. Um Vorstellungen dazu zu erhalten, wann der aus ungezählt vielen Individuen aus vielen Arten zusammengesetzte Vogelzug über der Deutschen Bucht kulminierte, wurde für Halbmonatszeiträume von Ende Juni bis Ende November die Anzahl von Arten bestimmt, deren Auftreten jeweils gipfelt.

Maßgeblich zur Zuweisung waren die von DIERSCHKE et al. (2011) genannten Termine zum zentralen Vorkommen. Sobald Mediantermine fehlten, wurden die drei Pentaden maximalen Vorkommens der Wegzugphase betrachtet und die jahreszeitlich mittlere Pentade als zentrales Vorkommen gewertet. Der mittlere Tag dieser Pentade wurde zur Einordnung auf Halbmonatsbasis herangezogen. Sofern DIERSCHKE et al. (2011) das jahreszeitliche

Vorkommen für Teilausschnitte des Datenmaterials getrennt darstellen (z. B. Trennung zwischen Rastvorkommen und Tagzugbeobachtungen) und gleichzeitig keinen Mediantermin nennen, wurde diejenige Darstellung des Vorkommens gewählt, die mehr Vögel umfasst.

Es wurden nur solche Arten berücksichtigt, für die seit den 1980er Jahren ein Status fast alljährlicher Feststellung auf Helgoland gilt (DIERSCHKE et al. 2011, s. auch HILL et al. 2014c) und die ein Vorkommen während der Wegzugphase zeigen. Arten, bei denen die Zugzeit und mithin das zentrale Vorkommen nicht zu bestimmen ist, blieben unbeachtet. Hierzu zählen Arten, die auf Helgoland brüten (z. B. Haussperling *Passer domesticus*) oder denen ein ausgeprägtes Wintervorkommen (z. B. Meerstrandläufer *Calidris maritima*) gemein ist, so dass Zugbewegungen bis zur Unkenntlichkeit maskiert werden. Ausnahmen stellen Basstölpel, Dreizehen-, Mantel- *L. marinus* und Heringsmöwe dar. Diese Arten werden auf FINO 1 mutmaßlich besonders häufig vom Vertikalradar erfasst, ihr Durchzug auf Helgoland lässt sich indes – der Brutvögel und/oder der Überwinterer wegen – nur unzureichend darstellen. Ersatzhalber fand ihr maximales Vorkommen auf Halbmonatsbasis gemäß Planzugbeobachtungen von FINO 1 aus Beachtung (HILL et al. 2014c, eig. Daten). Nicht berücksichtigt wurden Alken- und Röhrennasen-Arten, da sich diese Arten angesichts ihres obligat tiefen Fluges fast ohne Ausnahme unterhalb des Radarhorizontes bewegen dürften (Kap. 1.1). Beim Star diente ein Sonderverfahren der Lagebestimmung des zentralen Zugvorkommens (Kap. 2.6.4.1). Insgesamt wurden die zentralen Vorkommen von 184 der 215 seit den 1980er Jahren fast alljährlich auf Helgoland registrierten Arten auf Halbmonatsbasis eingeordnet. Bei zehn Arten mussten Vorkommen gesplittet werden. Dies war bei solchen Arten der Fall, wo Alt- und Jungvögel teils über Monatszeiträume getrennt voneinander den Betrachtungsraum gehäuft durchqueren. Neben Lach- *L. ridibundus* und Sturmmöwe *L. canus* betraf dies ausschließlich Limikolen-Arten (s. Anhang, Tabelle 10). Insgesamt wurden so 194 distinkte Zugvogel-Vorkommen hinsichtlich ihrer zeitlichen Lage innerhalb der Wegzugphase genauer eingeordnet.

In einem Folgeschritt galt es, die zeitlich eingeordneten Vorkommen gemäß den bestehenden Häufigkeitsunterschieden zu gewichten. Dazu wurde die maximale Tagessumme auf dem Wegzug seit den 1980er Jahren berücksichtigt, wie sie von DIERSCHKE et al. (2011) für die verschiedenen Arten angegeben werden. Wo keine Angabe erfolgte, wurde der Mindestwert „1“ eingesetzt, wo die Angaben allgemein gehalten wurden, musste aus den Angaben eine Zugehörigkeit zu Kategorien abgeleitet werden. Als Kategoriengrenze legten wir „> 1-5 Ind.“, > 5-10 Ind., >10-50 Ind. usw. fest. Die Angabe „Tageswerte von bis zu mehreren tausend“ fiel in die Kategorie bis 5.000 Ind.

Für alle je Halbmonatshälfte kulminierenden Vorkommen wurden die maximalen Tagessummen-Werte addiert. Auf diese Weise wurde eine Vogelzugphänologie unter Berücksichtigung von Artenzahl und der jeweiligen Häufigkeit erstellt. Diese bietet

Orientierung dazu, wann im Verlauf der Wegzugphase für den Bereich der Deutschen mit wie viel Vogelzug – auf Basis relativer Häufigkeitsbezüge zueinander – zu rechnen ist. Diesem Muster wurde die mittels Vertikalradar ermittelte Phänologie gegenüber gestellt. Zusätzlich wurde dieses nur unter Einschluss aller Singvogelarten wiederholt. Einerseits bilden des Nacht ziehende Singvögel das Gros der Durchzügler (Kap. 1.1). Andererseits können Unsicherheiten reduziert werden, die mit der unterschiedlichen Neigung zur Truppbildung zwischen Nichtsingvögeln und Singvögeln verbunden sind. Radargeräte sind beispielsweise nicht dazu in der Lage, einen ziehenden Gänsetrupp individuell aufzulösen, sondern stellen diesen als ein einzelnes Echo dar (Kap. 2.1.4).

2.6.5 Tagesgang

Zur Darstellung tageszeitlicher Zugintensitätsverläufe ist es wichtig, die Relation der Messwerte zu Sonnenauf- und -untergang beizubehalten, denn diese stellen überwiegend den Fixpunkt zur Aufnahme von Nacht- bzw. Tagzug dar. Durch im Jahresgang dynamisch wechselnde Sonnenauf- und Sonnenuntergangszeiten variieren feste Zeitstunden in ihrer Relation zu Nacht- bzw. Tagesbeginn jedoch. So fällt beispielsweise die Stunde 06:00-07:00 Uhr zu Beginn der Heimzugperiode im März in die Dunkelphase, während die gleiche Zeitstunde gegen Ende der Heimzugperiode im Mai deutlich in der Hellphase liegt.

Zugrufe und Radarechos wurden sekundengenau, Videobilder minutengenau erfasst. Mithin ist eine Auswertungsform möglich, die für jeden Messwert relative tageszeitliche Bezüge exakt erhält und eine Analyse zum Vogelzug im Sinne bevorzugter oder gemiedener Tages- und Nachtphasen zu Migrationsbewegungen ermöglicht. Dazu wurden Hell- und Dunkelphase zugperiodenumfassend in Viertel aufgeteilt, für jeden Tag die dynamisch wechselnden Grenzen errechnet und schließlich die Messwerte entsprechend ihrer zeitlichen Lage zugewiesen. Auch der genaue zeitliche Erfassungsaufwand je Nacht- bzw. Tagesviertel konnte bestimmt werden. Unter Verwendung des Jacobs'schen Selektivitätsindex (JACOBS 1974) wurde der Tagesgang auf überproportional stark bzw. schwach beflogene Phasen hin untersucht. Dazu wurden Tageszeit und Zugrate im Sinne einer Angebots- (Erfassungsaufwand) und Nachfragesituation (Erfassungserfolg) aufgefasst. Die Formel zur Verschneidung von Beprobungszeit und Erfassungserfolg lautet:

$$D = \frac{r - p}{r + p - 2 * rp} \quad \text{eqn 9}$$

(D = Selektivitätsindex, r = Anteil Messwert zum Vogelzug einer Zeiteinheit, p = anteiliger Erfassungsaufwand in einer Zeiteinheit.

Die relative Differenz D kann dabei Werte zwischen -1 (vollständige Absenz) und +1 (vollständige Präsenz) annehmen. Auf diese Weise kann Vogelpräsenz während einzelner Phasen im Tages- oder Nachtgang und in Relation zum Erfassungsaufwand als über- (Positivwerte) oder unterrepräsentiert (Negativwerte) erkannt werden. Je weiter sich die Werte dabei vom Wert 0 (Erfassungserfolg = Erwartungswert) entfernen, umso stärker ist positive oder negative „Selektion“ ausgeprägt. Oftmals werden willkürliche Grenzen gezogen oberhalb derer von „Präferenz“ (z. B. Werte oberhalb von +0,33) bzw. unterhalb derer (z. B. Werte unterhalb von -0,33) von „Meidung“ gesprochen wird. Werte innerhalb dieser Grenze wären dann als „Nutzung gemäß Angebot“ zu interpretieren. Wir haben bewusst auf formalistische Grenzziehungen dieser Art verzichtet und sprechen auch geringfügig von 0 abweichende Werte als Tendenzen in die eine oder andere Richtung an. Um nicht unnötig Erkenntnisse zu den Mechanismen diurnalen Verhaltens zu suggerieren, werden Begriffe wie „Selektion“, „Präferenz“ oder „Meidung“ im Zusammenhang mit tageszeitlicher Vogelpräsenz vermieden und Vogelpräsenz während einzelner Tagesabschnitte z. B. als „überproportional“, „positiv vom Erwartungswert abweichend“ o. ä. bezeichnet.

3. Ergebnisse & Diskussion

3.1 Vogelzugmuster am Standort FINO 3 in Raum & Zeit

Jahreszeitliches Auftreten von Vögeln lässt sich für mehrjährige Zeiträume besonders gut über Verlaufsdiagramme darstellen. Die für solche Darstellungen vorgenommene Mittelwertbildung erlaubt es mit zunehmender Langfristigkeit der Untersuchungen, besonders stark im Jahresgang beflogene Phasen oder solche mit starker Rufaktivität erkennen zu können und die von Jahr zu Jahr vorhandene Variabilität „auszugleichen“. Auch technisch bedingte Erfassungslücken sind so zu kompensieren. Kennwertermittlungen zu artspezifischen Verteilungen erlauben es überdies, von Art zu Art unterschiedliche genutzte Zeitfenster zur Passage des Standorts zu erkennen. Aus der Klärung räumlicher und zeitlicher Exposition gegenüber OWEA von Vögeln ergeben sich direkt Hinweise auf eine bestehende Kollisionsgefährdung, da Kollisionen an spezifische Situationen gebunden sind (Kap. 1.1).

3.1.1 Horizontalradar

Angaben zur räumlich-zeitlichen Exposition von Vögeln lassen sich über Radarsysteme nicht artbezogen auflösen, sondern betreffen das Taxon „Vogel spec.“. Das auf FINO 3 eingesetzte Parabolradar ist im Gegensatz zur vertikal eingesetzten Antenne auf FINO 1 nicht primär zur quantitativen Erfassung von Vogelechos optimiert, sondern zur Richtungsbestimmung (s. Kap. 2.1). Dennoch sind Angaben zu Jahres- wie Tagesgang möglich und sinnvoll.

3.1.1.1 Phänologie

Die langjährigen Erfassungen zum Vogelzugaufkommen an FINO 1 zeigen, dass über der offenen See der Deutschen Bucht über das gesamte Jahr hinweg mit Vogelzugbewegungen zu rechnen ist (Abbildung 26). Das Datenmaterial lässt dabei während des Heimzugs auf verstärkte Flugbewegungen zwischen März bis Mai schließen. Der Wegzug ist insgesamt stärker ausgeprägt und umfasst mit dem Oktober den vogelzugstärksten Monat des gesamten Jahres.

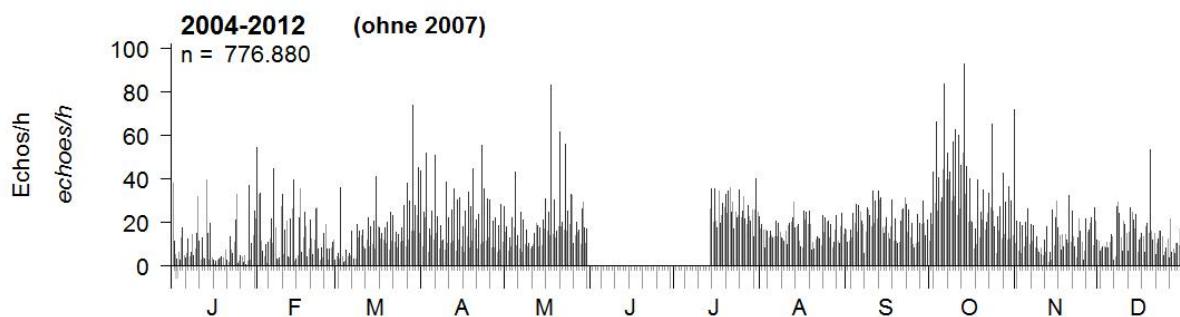


Abbildung 26: Stundenmittel über Vertikalradarmessung bis 1.000 m detekтирter Vogelechos an FINO 1 (2004-2012 ohne 2007; Tagesschärfe). Schwarze Balken geben Messwerte unter Tageslichtbedingungen wieder, hellgraue Balken repräsentieren Nachtwerte.

Solche generalisierten Muster dürfen jedoch nicht über zwischenjährliche Variabilität hinwegtäuschen. Diese ist als hoch einzuschätzen (z. B. HÜPPPOP et al. 2009a, HILL et al. 2014c) und wird für die Jahre 2012-2015 auch anhand der Parabolradardaten von FINO 3 deutlich (Abbildung 27 – Abbildung 33). Besonders kontrastierend treten dabei Unterschiede zwischen den Frühjahrsperioden 2013 und 2014 hervor, die sehr weitgehend Resultat unterschiedlicher Witterung sein sollten (vgl. hierzu Kap. 1.2.1, 1.2.2). Für das Frühjahr 2013 lässt sich erkennen, dass Vogelzug bis mindestens Ende März kaum stattfand (Abbildung 28). Der März 2013 war sowohl in Deutschland als auch in anderen Gegenden Mitteleuropas

durch die niedrigsten Temperaturen seit Aufzeichnungsbeginn gekennzeichnet. Wochenlang anhaltende kalte Ostwinde und vielerorts geschlossene Schneedecken führten zu einem bisher wohl beispiellosen Zugstau vieler nach Norden wandernder Zugvögel (GELPKET al. 2013). Besonders in Mittel- und Südwestdeutschland kam es zu großen Aggregationen „hängen gebliebener“ Zugvögel. Der massive Zugstau löste sich erst im April und als Folge eines tiefgreifenden Wetterumschwungs auf: Die Kaltluftzufuhr durch Ostwinde fand ihr Ende und Warmluft aus Südwesteuropa konnte nach Norden vordringen. Im Gefolge konnte auch im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht erstmals und an den Standorten von FINO 3, FINO 1 und Helgoland übereinstimmend auf nennenswerten Vogelzug geschlossen werden (Abbildung 28, HILL et al. 2014b, DIERSCHKE et al. 2014). Im Gegensatz dazu war das Frühjahr 2014 außerordentlich mild. Erster stärkerer Vogelzug trat schon früh im März auf. Die zwei zugstärksten Nächte des Monats wurden an FINO 3 am 09./10.03. und 19./20.03. verzeichnet (Abbildung 29). Auch hierbei handelte es sich offenkundig um breitangelegte Vogelzugereignisse über der Deutschen Bucht, denn wiederum wiesen auch die Radarechosummen des auf FINO 1 eingesetzten Vertikalradars die beiden Nächte als zugstärkste Nächte des Monats aus (Abbildung 29).

Besonders stark waren auch die von Tag zu Tag auftretenden Unterschiede in der verzeichneten Zugstärke. Grundsätzlich traten starke Zugnächte oder -tage im Zeitraum 2012-2015 über die gesamte Zugperiode hinweg auf, besonders häufig waren sie dabei während der ersten Aprilhälfte (Abbildung 27 – Abbildung 30).

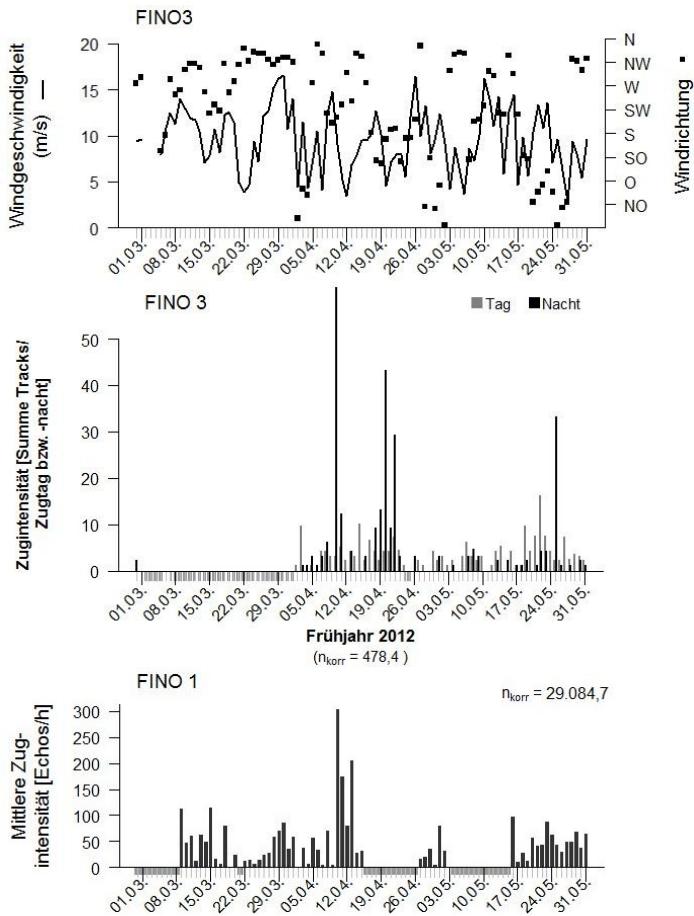


Abbildung 27: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Frühjahr 2012 (Datenbasis: <http://fino.bsh.de>) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Um breit angelegte Zugbewegungen über der Deutschen Bucht erkennen zu können, ist zum Vergleich die mittlere Zugintensität je Messnacht aus der Vertikalradarerfassung am Standort FINO 1 (unten) gegeben. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

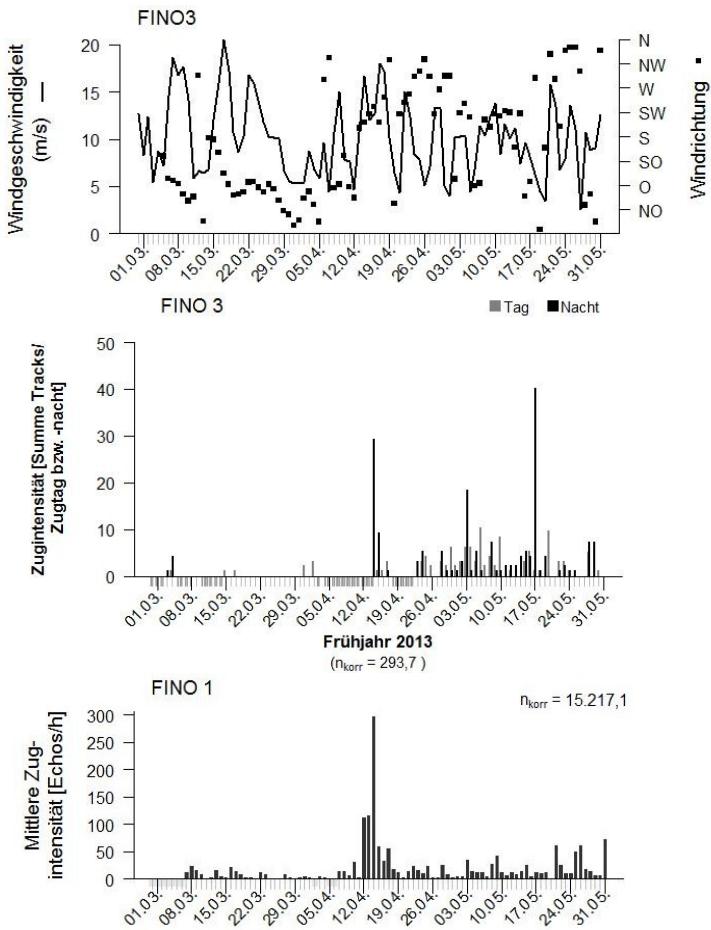


Abbildung 28: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Frühjahr 2013 (Datenbasis: <http://fino.bsh.de>) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Um breit angelegte Zugbewegungen über der Deutschen Bucht erkennen zu können, ist zum Vergleich die mittlere Zugintensität je Messnacht aus der Vertikalradarerfassung am Standort FINO 1 (unten) gegeben. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

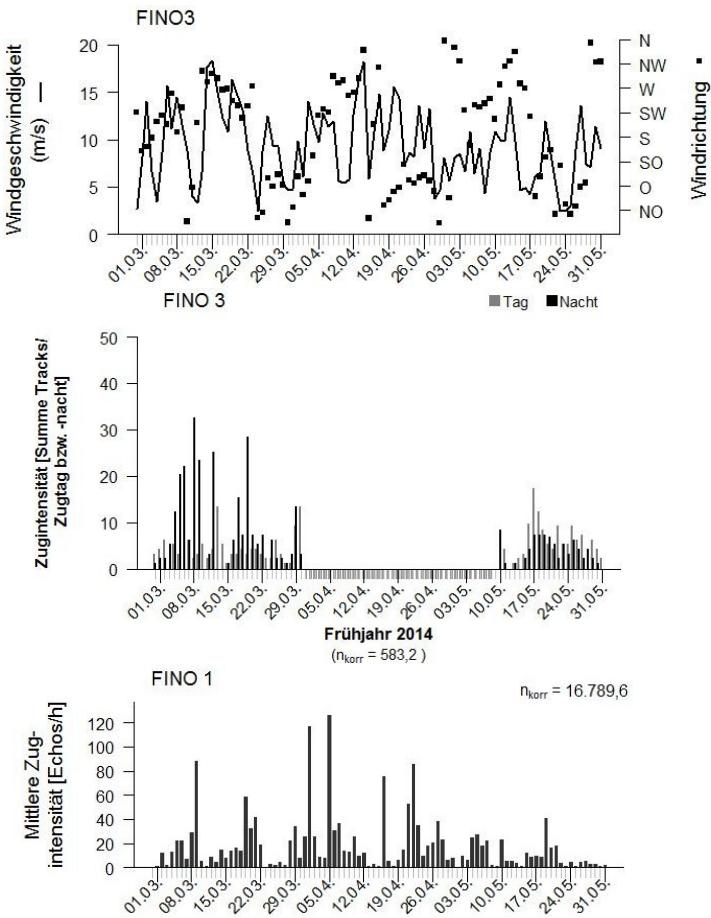


Abbildung 29: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Frühjahr 2014 (Datenbasis: <http://fino.bsh.de>) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Um breit angelegte Zugbewegungen über der Deutschen Bucht erkennen zu können, ist zum Vergleich die mittlere Zugintensität je Messnacht aus der Vertikalradarerfassung am Standort FINO 1 (unten) gegeben. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

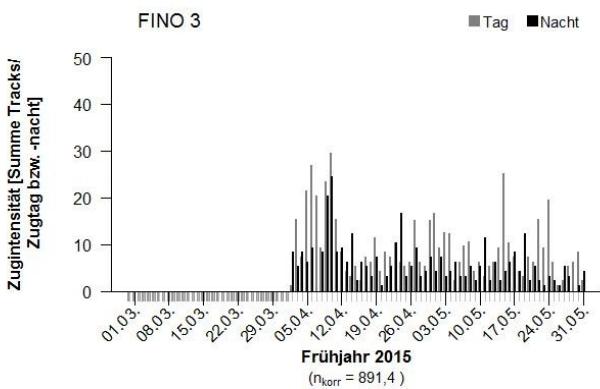


Abbildung 30: Je Zugnacht per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

Auch über alle Wegzugphasen der Jahre 2012-2014 hinweg war kontinuierlich Vogelzugaktivität zu erkennen (Abbildung 31 – Abbildung 33). Allerdings war Vogelzug jeweils ungleich verteilt und starker Vogelzug konzentrierte sich auf kürzere Phasen oder

sogar einzelne Tage bzw. Nächte. Die jahreszeitliche Positionierung solcher Zugaktivitätsgipfel war in allen Jahren unterschiedlich. Während im Jahr 2012 die stärksten Zugnächte Mitte bis Ende Oktober lagen (bei zuvor allerdings langer Datenlücke), wurden sie im Herbst 2013, nach einer ersten Vogelzugwelle um Ende Juli/Anfang August herum, zwischen Ende September bis Mitte Oktober und 2014 zwischen Anfang Oktober und Anfang November verzeichnet (Abbildung 31 – Abbildung 33). In der Gesamtschau entspricht dies dem Muster aus Langzeituntersuchungen im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht, anhand derer der Zeitraum von Ende September bis Anfang November als besonders vogelzugintensive Phase im Jahresgang identifiziert wurde (Abbildung 26, s. auch HÜPPPOP et al. 2010, 2012a, HILL et al. 2014c).

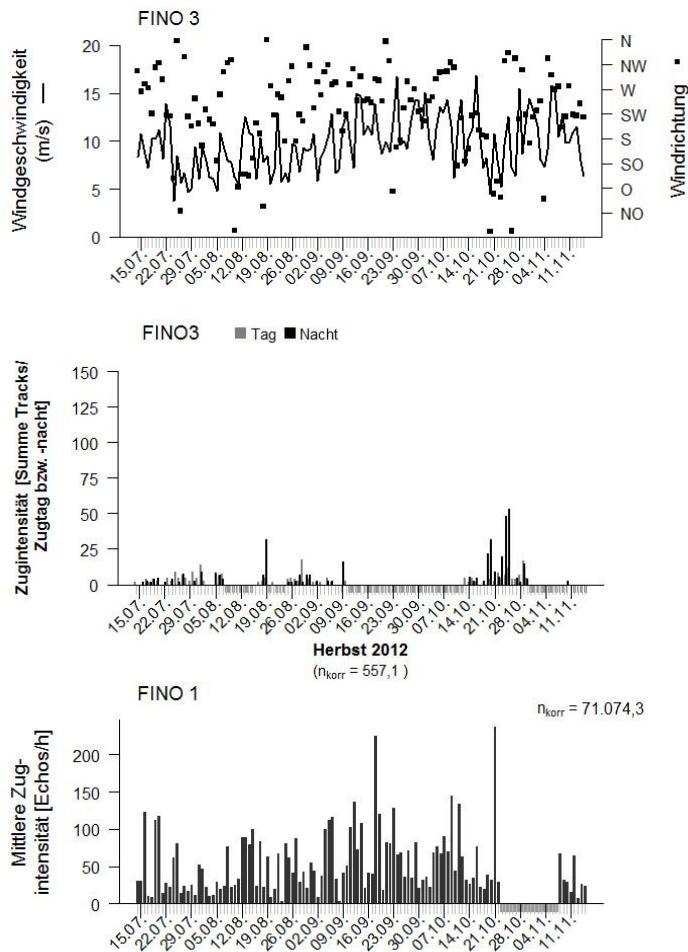


Abbildung 31: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Herbst 2012 (Datenbasis: <http://fino.bsh.de>) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Um breit angelegte Zugbewegungen über der Deutschen Bucht erkennen zu können, ist zum Vergleich die mittlere Zugintensität je Messnacht aus der Vertikalradarerfassung am Standort FINO 1 (unten) gegeben. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

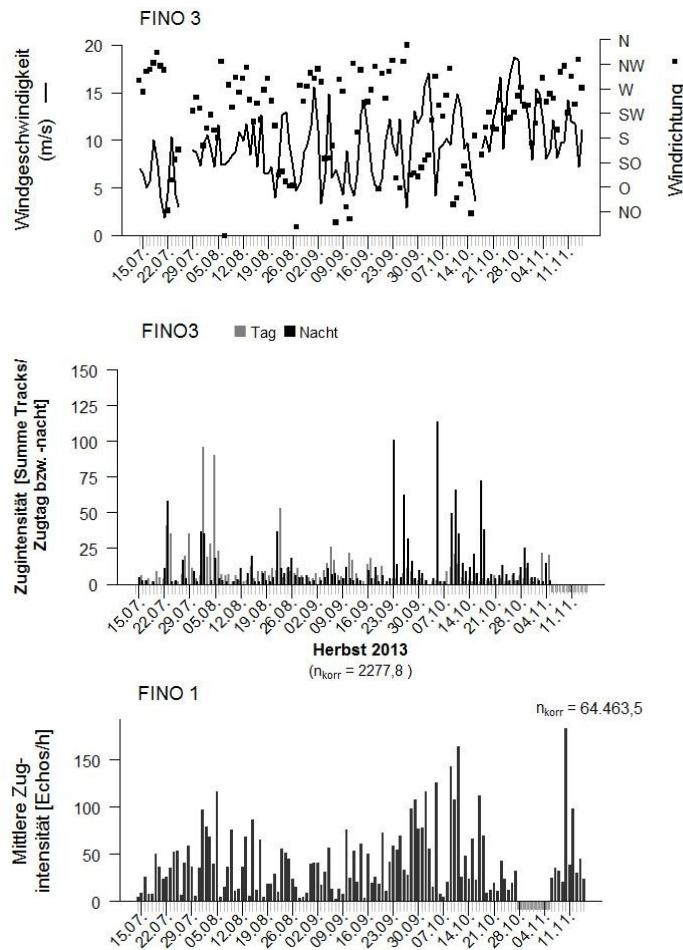


Abbildung 32: Je Zognacht gemittelte Windparameter (oben) im Herbst 2013 (Datenbasis: <http://fino.bsh.de>) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Um breit angelegte Zugbewegungen über der Deutschen Bucht erkennen zu können, ist zum Vergleich die mittlere Zugintensität je Messnacht aus der Vertikalradarerfassung am Standort FINO 1 (unten) gegeben. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

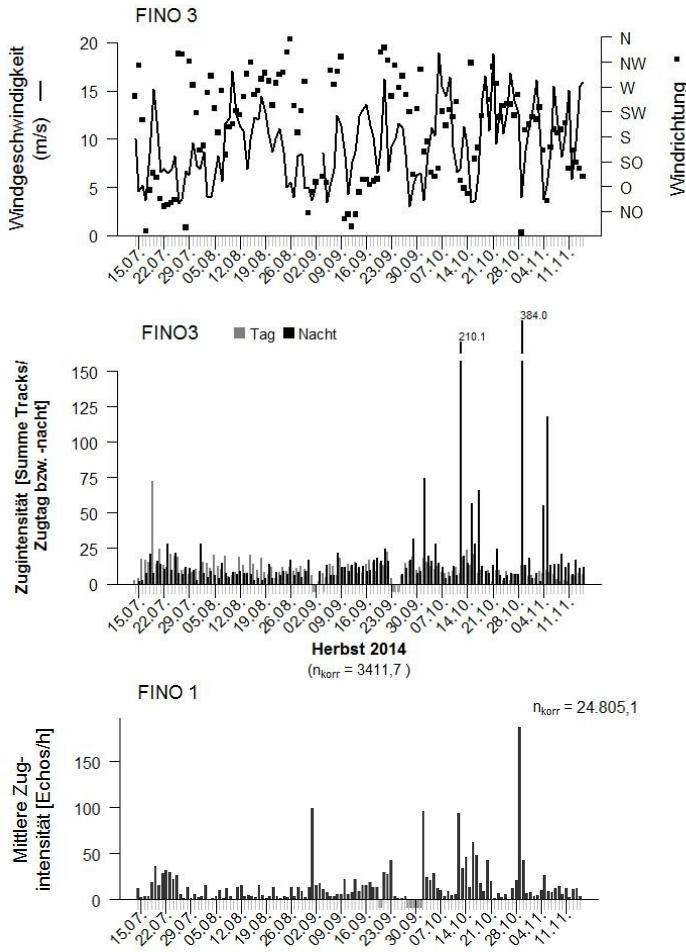


Abbildung 33: Je Zugnacht gemittelte Windparameter (oben) im Herbst 2014 (Datenbasis: <http://fino.bsh.de>) sowie per Horizontalradar an FINO 3 gemessene Zugintensität (mittig) als aufwandskorrigierte Summe der Tracks. Um breit angelegte Zugbewegungen über der Deutschen Bucht erkennen zu können, ist zum Vergleich die mittlere Zugintensität je Messnacht aus der Vertikalradarerfassung am Standort FINO 1 (unten) gegeben. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

Starke Vogelzugereignisse machten sich im Allgemeinen an beiden Standorten und trotz der Anwendung unterschiedlicher Radarsysteme mit divergierender Optimierung (Kap. 2.1) bemerkbar. Im Frühjahr 2012 wurde jeweils die Nacht vom 10.04./11.04. als stärkste Zugnacht identifiziert (Abbildung 27), im Herbst 2014 übereinstimmend die Nacht vom 29.10./30.10. als herausragend erkannt (Abbildung 33). Weiterhin im Herbst 2014 in beiden Gebieten prominent in Erscheinung getretene Zugereignisse waren die Nächte 02./03.10., 12./13.10. und 17./18.10., und im Herbst 2013 kam es während der Nächte 05./06.10., 10./11.10. und 17./18.10. zu breit angelegten Überflugereignissen über die Deutsche Bucht. Einen solchen Zusammenhang als Resultat nächtlichen Breitfrontzuges schildern WEIß et al. (2012) auf der Basis ganzer Zugperioden. Damit ist gesichert, dass an beiden Standorten gegenläufige Ergebnisse, wie sie sich z. B. am 04./05.11.2014 mit hohen Messwerten an der FINO 3 bei gleichzeitig nur unterdurchschnittlichen Vogelechozahlen an FINO 1 ergeben (Abbildung 33), vergleichsweise selten sind.

Tageweise, aber auch wellenartig über die Zugperiode hinweg fluktuierende Vogelzugaktivität ist im herbstlichen Mitteleuropa typisch und als Ausdruck jeweils vorherrschender Bedingungen zum Zug geeigneten oder ungeeigneten Wetters zu interpretieren (z. B. ERNI et al. 2002). Für Offshore-Bereiche gilt dies in verstärktem Maße: Meeresbereiche stellen für das Gros der Durchzügler am Standort eine Barriere dar (Kap. 1.2.2). Die besondere Selektivität geeigneter Zugbedingungen zur Überwindung einer Barriere durch Zugvögel führt im Betrachtungsraum zu tageweisen aber auch zwischenjährlichen Schwankungs-Amplituden mit ungemein starken Ausschlägen der gemessenen Vogelzugintensitäten (z. B. HÜPPOP et al. 2010, HÜPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c).

3.1.1.2 Tageszeitliche Muster

Vogelechos konnten nicht nur über die gesamte Heimzug- bzw. Wegzugperiode hinweg an FINO 3 aufgezeichnet werden, sondern auch zu allen Tageszeiten (Abbildung 34). Folglich ist während der Zugzeiten rund um die Uhr mit Vogelpräsenz zu rechnen. Nächtlicher Vogelzug überwog während jeder einzelnen Zugperiode der Jahre 2012-2014 (Abbildung 34). In diesen Gegebenheiten spiegeln sich die Verhältnisse an anderen Offshore-Standorten wider (vgl. z. B. HILL et al. 2014c).

Desöfteren ist zu erkennen, dass die Vogelzugaktivität starker Vogelzugnächte abends zunächst nur zögerlich und gelegentlich mit mehrstündigem Abstand zum Sonnenuntergang einsetzte. Umgekehrt ebbte Vogelzug in den frühen Morgenstunden schnell ab (Abbildung 34). Betrachtungen auf Basis von einzelnen Nacht- bzw. Tagvierteln verdeutlichen für den Frühjahrszug der Jahre 2012-2014, dass Zugvögel den Bereich um FINO 3 vermehrt während der zweiten Nachhälfte hinweg frequentierten, während die erste Nachhälfte unterdurchschnittlich beflogen wurde (Abbildung 35). Demgegenüber ist für herbstlichen Nachzug erkennbar, dass dieser überproportional die beiden zentralen Nachtviertel traf, wohingegen die beiden randständigen Nachtviertel schwächer beflogen wurden (Abbildung 35). Tagsüber ist während beider Zugperioden kein einheitliches Muster zu erkennen und Vogelzug erstreckte sich in der Gesamtschau weitgehend ausgeglichen über die Hellphase hinweg (Abbildung 35). Allerdings ist hier die vergleichsweise geringe Echosumme zu beachten, die Ergebnisse zum Tagesgang von Vogelzug am Standort derzeit mit Unsicherheiten behaftet erscheinen lässt.

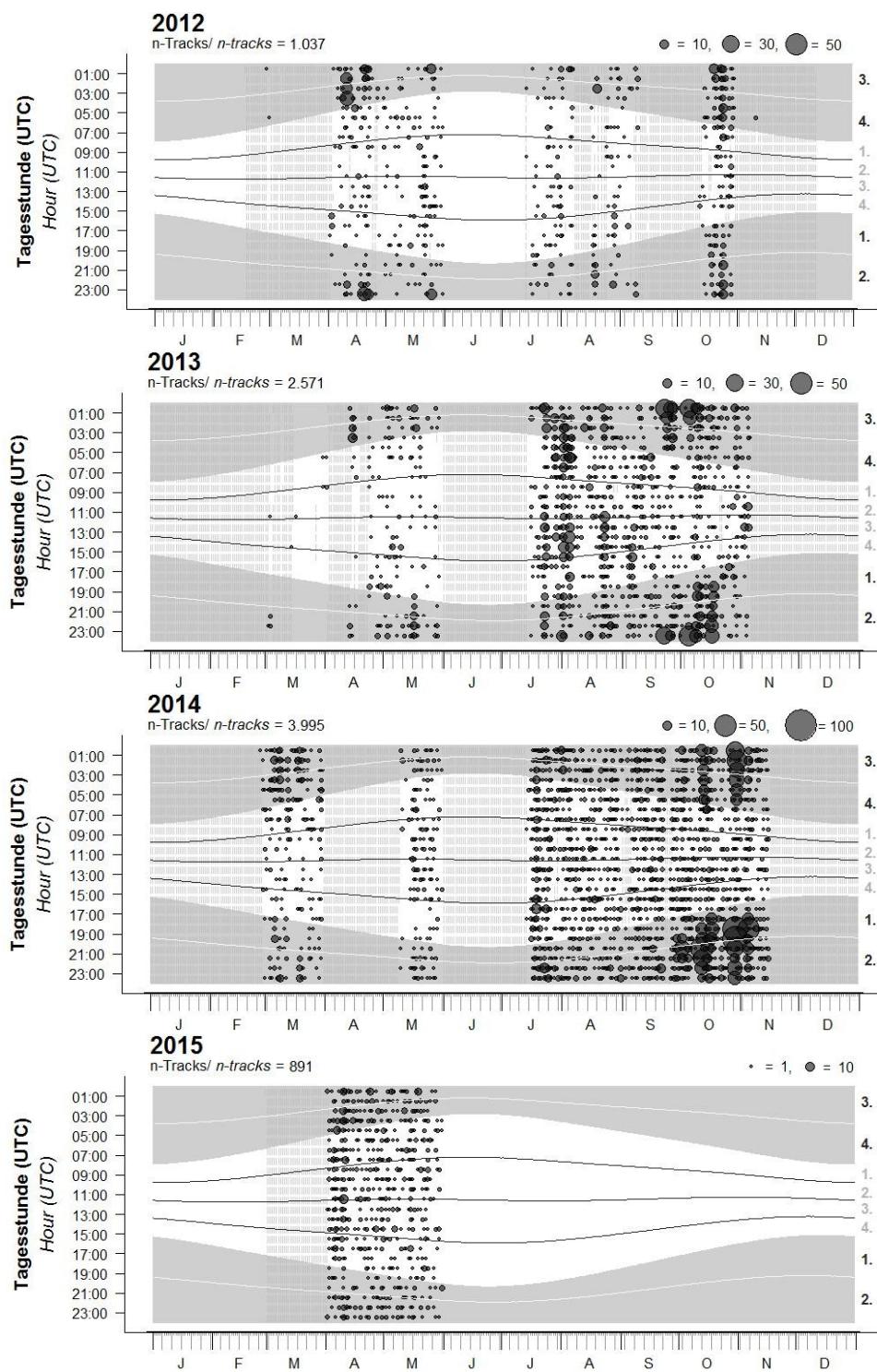


Abbildung 34: Stundensummen über Parabolradarmessung am Standort FINO 3 während der Zugzeiten detektierter Vogelechos der Jahre 2012 (oben) bis 2015 (unten) für jede Stunde koordinierter Weltzeit (UTC). Zusätzlich sind die Grenzen zwischen Tag- bzw. Nachtvierteln integriert.

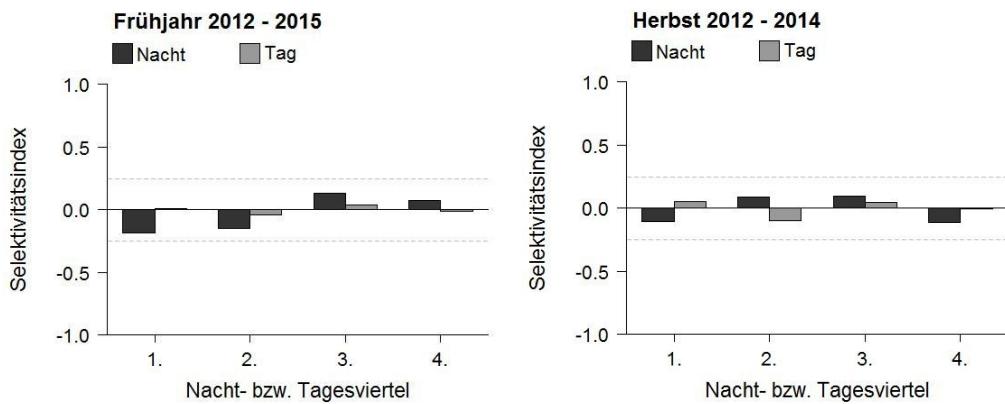


Abbildung 35: Verteilung von Vogelzug während des Heimzugs (links) und Wegzugs (rechts) auf verschiedene Phasen im Tagesgang am Standort FINO 3. Positive Selektivitätswerte (nach JACOBS 1974) machen überproportional stark beflogene Phasen kenntlich (n -Echos Frühjahr = 2.253,7; n -Echos Herbst = 6.316,2).

Das nächtliche Vogelzugmuster stimmt während beider Zugperioden gut mit den Verhältnissen am 136 km weiter südsüdwestlich gelegenen Standort FINO 1 überein (vgl. HILL et al. 2014c). Es existieren aber geringe und im Hinblick auf Kollisionsgefährdungen nicht unwichtige Unterschiede. Im Herbst setzten einige der stärksten Zugereignisse bereits sehr kurz nach Sonnenuntergang am Standort FINO 3 ein (Abbildung 34). Ereignisse bereits im ersten Nachtviertel einsetzenden starken Vogelzuges werden im Herbst auch weiter SSW auf FINO 1 regelmäßig registriert, allerdings ist die Differenz zum Sonnenuntergang größer und beträgt auch im Falle früher Zugereignisse stets mehrere Stunden (vgl. HILL et al. 2014c). Früh einsetzender Vogelzug lässt sich im Herbst auf besonders nah liegende Aufbruchsgebiete wie entlang der kimbrischen Halbinsel zurück führen (siehe Kap. 3.3.1, 3.5). So ist der leichte zeitliche Versatz über unterschiedliche Distanzen der Standorte FINO 1 und FINO 3 zu Herkunftsregionen der Zugvögel und bei grob taxierten Eigengeschwindigkeiten der nächtlich dominierenden Singvögel (Kap. 1.2) von 40-60 km/h über Grund (BRUDERER & BOLDT 2001) gut zu erklären. Ausgangs der Dunkelheit war das nächtliche Viertel vor Sonnenaufgang zumindest während der Wegzugperioden 2013 und 2014 auf FINO 3 in Tendenz von der schwächsten Zugaktivität im Verlauf der Nacht gekennzeichnet. Um FINO 1 sind die Zahlen querender Vögel zu dieser Zeit gegenüber der Nachtmitte zwar ebenfalls reduziert, übersteigen aber in der langjährigen Gesamtschau immer noch die Zugaktivität des ersten Nachtviertels (HILL et al. 2014c). Erste Vögel erreichen im Herbst FINO 3 am Abend eher und letzte Tiere verlassen diesen Bereich im Morgengrauen auch wieder eher. Dass die Welle nächtlichen Vogelzugs über der südöstlichen Nordsee aber nicht noch deutlicher zutage tritt und die Selektivitätswerte der einzelnen Nachtviertel nach JACOBS (1974) insgesamt und an beiden Standorten übereinstimmend nur Tendenzen aufzeigen, liegt wahrscheinlich vor allem am großen Einzugsgebiet der im Offshore-Bereich auftretenden Vögel. So wurden auch in den

Wegzugperioden 2012 bis 2014 mehrere starke Vogelzug-Ereignisse registriert, die überhaupt erst spät in der Nacht einsetzen, wobei für die beteiligten Vögel und unter Berücksichtigung weiterer Rahmenbedingungen eine Herkunft z. B. aus Norwegen angenommen werden darf (siehe Kap. 3.3.1, 3.5). Weiterhin ist zu bedenken, dass sich Abzugsereignisse bis weit in die Nacht hinein erstrecken können (ÅKESSON et al. 1996, BOLSHAKOV et al. 2000, SCHMALJOHANN et al. 2011). Im Frühjahr macht sich der Effekt in gegenläufiger Art und Weise bemerkbar. Hier passieren die Vögel den Standort um FINO 1 vor allem in den beiden zentralen Nachtvierteln, dass letzte Nachtviertel wird in der Gesamtschau bereits unterdurchschnittlich beflogen (HILL et al. 2014c). Das weiter NNE gelegene Seengebiet um FINO 3 wird demgegenüber später erreicht und Vogelzug konzentriert sich hier stärker auf die zweite Nachthälfte (Abbildung 35).

3.1.1.3 Zugrichtungen

Nachfolgend werden die für die Jahre 2012 bis 2014 ermittelten nächtlichen Zugrichtungen getrennt nach Zugperioden dargestellt (Abbildung 36). Zur Orientierung ist zusätzlich die nächteweise über horizontale Parabolradarerfassung ermittelte Zugintensität in die Abbildung integriert. Neben der mittleren Zugrichtung ist rho als Maß für die Gerichtetetheit der Tracks enthalten. Rho kann Werte zwischen 0 (keine Richtungsbevorzugung) und 1 (absolute Richtungsbevorzugung) annehmen. Details zur Kreisstatistik sind JAMMALAMADAKA et al. (2001) zu entnehmen.

Für die untersuchten Frühjahrsperioden 2012-2014 ist trotz teilweise längerer Datenlücken zu erkennen, dass zunächst jeweils mittlere Orientierungen mit östlichen bis nördlichen Richtungen stark dominierten. Dieses Bild wandelte sich während der zweiten Maihälfte, als Tage mit vorherrschender, westlicher Richtungskomponente häufig waren (Abbildung 36). In allen Fällen mit westlicher Richtungskomponente fehlten aber starke Ausschläge der gemessenen Vogelzugintensität, so dass für solche Tage mit primär seewärts führenden Bewegungen möglicherweise andere Phänomene als eigentliche Vogelzugbewegungen ursächlich sind. Infrage kommen hierzu z. B. Nahrungsflüge an der Küste brütender Arten, die bis weit auf die offene See führen können, wie v. a. im Falle der Heringsmöve (Kap. 3.1.5; vgl. auch z. B. AUMÜLLER et al. 2012, HILL et al. 2014c). Über langjährige Planzugbeobachtungen am Offshore-Standort FINO 1 wurden lokale Vorkommensmaxima während der zweiten Maihälfte auch im Falle weiterer See- und Küstenvögel wie Basstölpel, Dreizehenmöve, Brandseeschwalbe *Thalasseus sandvicensis* und Eissturmvogel *Fulmarus glacialis* erkannt (HILL et al. 2014c).

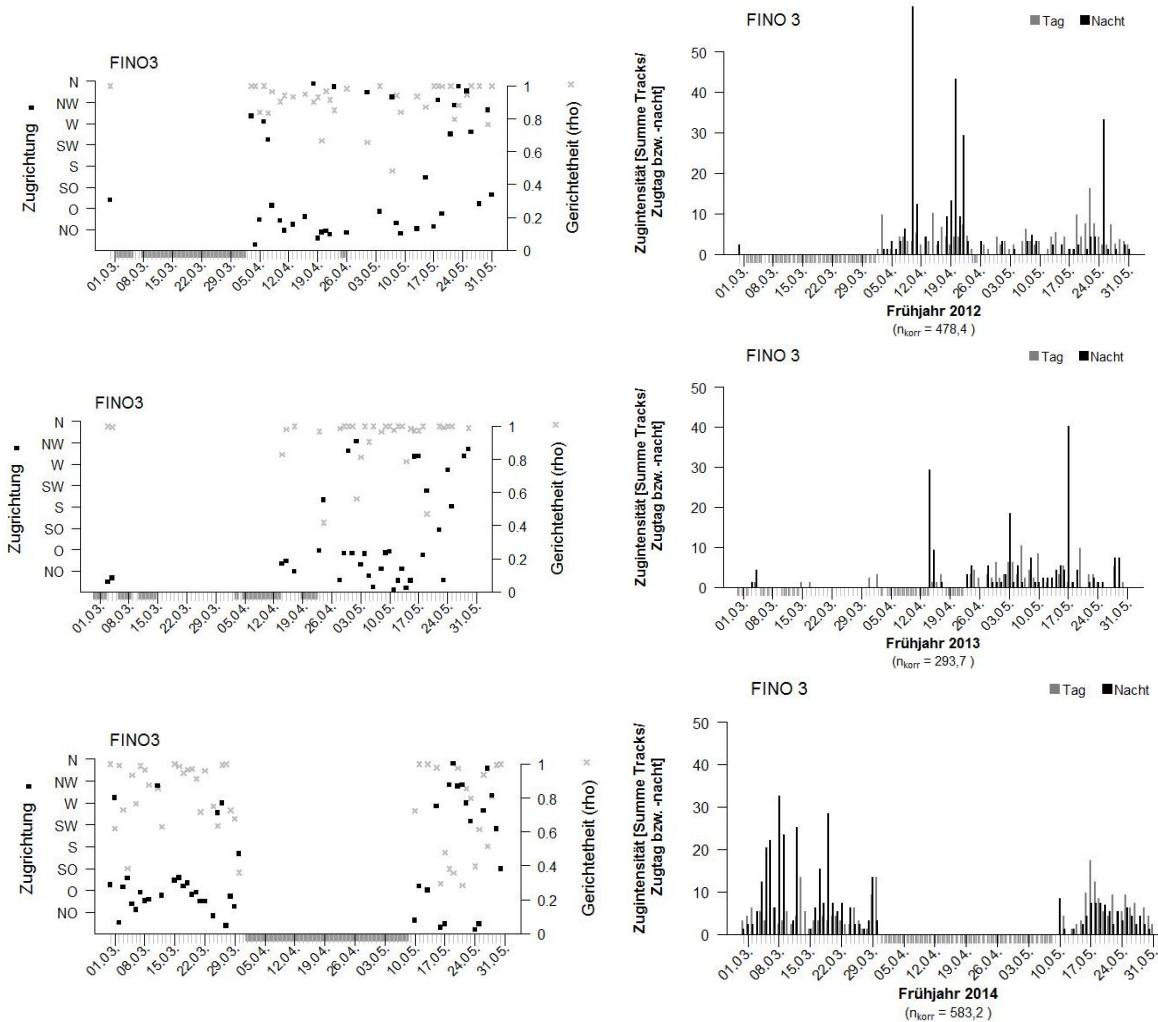


Abbildung 36: Je Zugnacht im Frühjahr 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten) über Horizontalradarmessungen ermittelte mittlere Zugrichtung (links) sowie die gemessene mittlere Zugintensität als tageweises Stundenmittel (rechts) am Standort FINO 3. Rho ist als statistisches Maß für die Gerichtetheit der Tracks angegeben.

Im Herbst war die Variabilität tagweiser Richtungspräferenzen ungleich höher (Abbildung 37) als im Frühjahr, wenngleich Tage mit westlichen bis südlichen Richtungskomponenten – und somit in die jahreszeitlich erwartete Hauptzugrichtung – immer noch überwogen. Zugleich erwies sich die Gerichtetheit deutlich herabgesetzt, so dass auch an einzelnen Tagen registrierte Vögel in teils unterschiedlichen Richtungen das Seegebiet durchquerten.

Grundsätzlich verläuft der Heimzug zeitlich komprimierter als der Wegzug, wofür sowohl die Motivation der Vögel (Brutgeschäft), aber auch das im Bereich der Nordsee vorherrschende Wettersystem mit besonders häufigen Westwindlagen maßgeblich sein sollten. Weiterhin führen Phänomene wie Umkehrzug oder ungerichtete Dismigration zu Variationen in der festzustellenden Richtungswahl (BERTHOLD 2011) und sind entweder im Herbst häufiger zu erwarten (Umkehrzug als Antwort auf Gegenwinde) oder sind ausschließlich Phänomene des Herbstzuges (ungerichtete Dismigration von Jungvögeln). Des Weiteren ist das

Radargerät nicht in der Lage, zwischen Flugbewegungen von Rastvögeln zwischen separaten Austauscharealen und „echtem“ Vogelzug zu unterscheiden. Aus diesen Gründen betrachteten wir zusätzlich zu generalisierten Mustern die Zugrichtungswahl während besonders starker Vogelzugnächte genauer (s. Kap. 3.3).

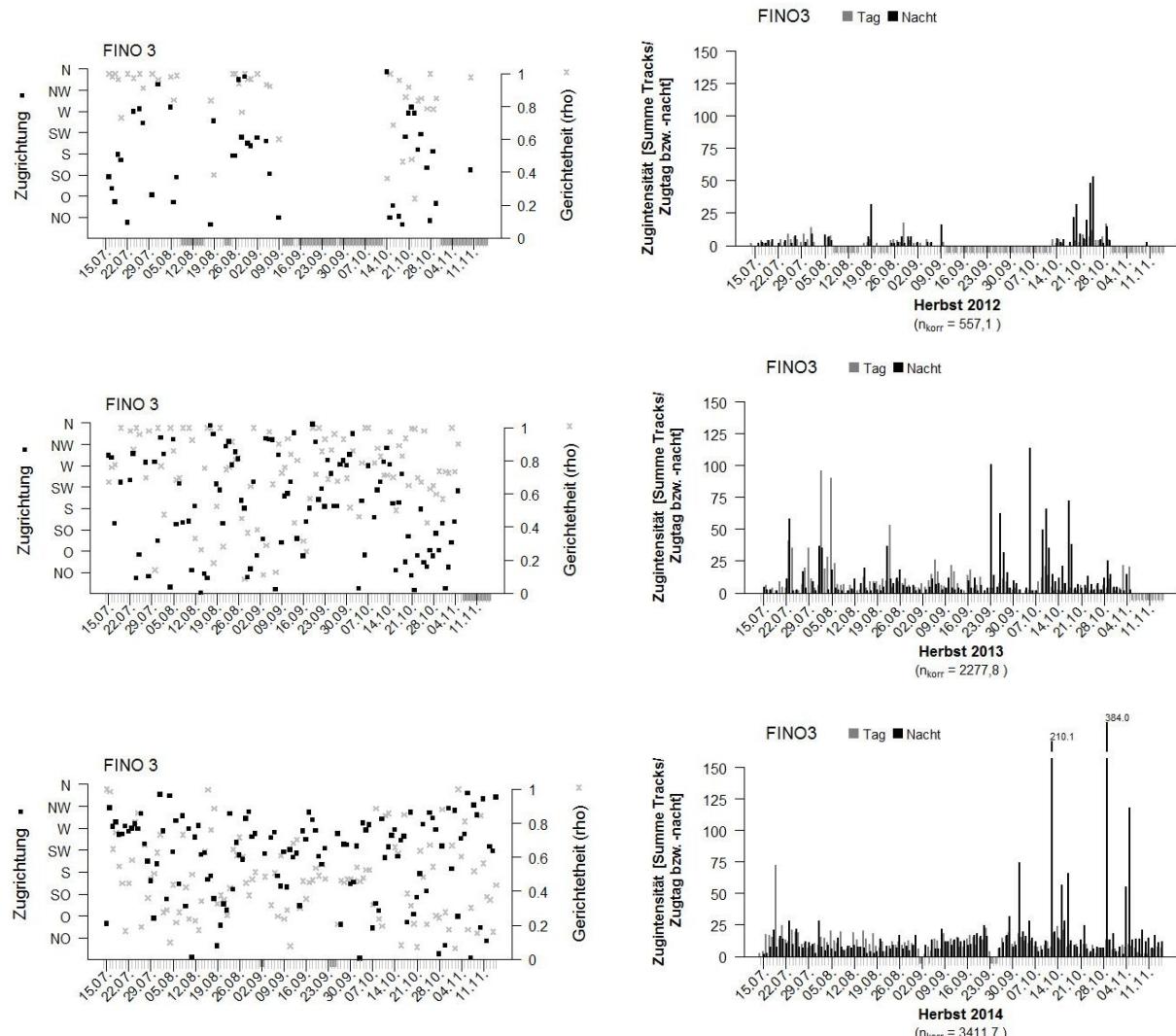


Abbildung 37: Je Zugnacht im Herbst 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten) über Horizontalradarmessungen ermittelte mittlere Zugrichtung (links) sowie die gemessene mittlere Zugintensität als tageweises Stundenmittel (rechts) am Standort FINO 3. Rho ist als statistisches Maß für die Gerichtetheit der Tracks angegeben.

3.1.1.4 Zughöhen

Der vom Parabolradarsystem abgedeckte Bereich verläuft diagonal. Der gewählte Detektionsbereich betrifft Entfernung von 400 bis 1.600 m, so dass sich Auswertungen zu den von Zugvögeln gewählten Flughöhen auf einen Höhenbereich von 200 m über NN bis 800 m NN beschränken (Kap. 2.1.4). Für diesen Höhenbereich wurde ein tags wie nachts

konstantes und sowohl während aller Heimzug- als auch auch während der einzelnen Wegzugperioden erkennbares Überwiegen von Vogelzug in den niedrigen Bereichen (= nahen Entfernungsklassen) deutlich (Abbildung 38 – Abbildung 41). Nie war die höchste Höhenklasse die am stärksten frequentierte und mit sinkender Höhe stieg der relative Anteil erfasster Vögel zumeist kontinuierlich an, so dass die unterste Höhenklasse besonders oft die am stärksten beflogene war. Zugvogelkonzentrationen oberhalb von 800 m Höhe bzw. unterhalb von 200 m mussten aus methodischen Gründen indes unentdeckt bleiben.

Während erstere sowohl selten (HÜPPPOP et al. 2009a, HILL et al. 2014c) als auch kaum häufiger zu erwarten sind (Kap. 1.1, 1.2.2), wird besonders oberflächennah komprimierter Vogelzug, wie er z. B. über Planzugbeobachtungen für Höhenbereiche bis 20 m tageweise immer wieder zu beobachten ist (z. B. HILL et al. 2014b,c), nicht erfasst. Vertikal rotierende Radarantennen, wie auf FINO 1 eingesetzt, erlauben Messungen von Vogelzug bis hinunter auf ca. 25 m über NN (z. B. HÜPPPOP et al. 2005a). Dabei werden die höchsten Dichten ziehender Vögel besonders häufig in den untersten Höhenbereichen bis ca. 100 m gemessen (z. B. HÜPPPOP et al. 2009a, HILL et al. 2014c). Trotz der somit begrenzten Überschneidungsbereiche der Antennen auf FINO 3 und FINO 1 konnte zuvor die i. A. hohe Übereinstimmung einzelner Nächte oder Tage hinsichtlich der Stärke festgestellter Vogelzugaktivität aufgezeigt werden (Kap. 3.1.1.1). WEIß et al. (2012) zeigen überdies den Zusammenhang auf Basis ganzer Zugperioden. Gleichwohl treten an beiden Standorten gegenläufige Ergebnisse auf (s. Kap. 3.1.1.1).

Im Herbst 2014 wurde abweichend vom Muster der beiden Vorjahre Vogelzug vor allem in der Höhe zwischen 400-600 m (800-1.200 m Entfernung) registriert. Möglicherweise machen sich hierbei unterschiedliche Windbedingungen bemerkbar. Generell selektieren Vögel Luftschichten, in denen für sie die energetisch besten Zugbedingungen herrschen. Rückenwinde helfen dabei Energie zu sparen, so dass Vögel unter Rückenwindbedingungen höher ziehen als in Gegenwindsituationen (Kap. 1.2.2). Im Herbst 2013 wurden nur in 28,4 % aller Herbstdnächte mittlere Windrichtungen registriert, die über östliche bis nördliche Windkomponenten – grob taxiert – Rückenwindbedingungen gleichkam. Im Herbst 2014 war dieser Anteil jedoch mit 37,9 % deutlich höher (vgl. Kap. 3.1.1.1, Abbildung 32, Abbildung 33). Profitablere Winde fanden ziehende Vögel im Herbst 2014 also häufiger in größeren Höhen vor, was leicht zur beobachteten Profilverschiebung geführt haben könnte. Im Frühjahr 2015 könnte ein ähnlicher Effekt zur Höhenverschiebung geführt haben.

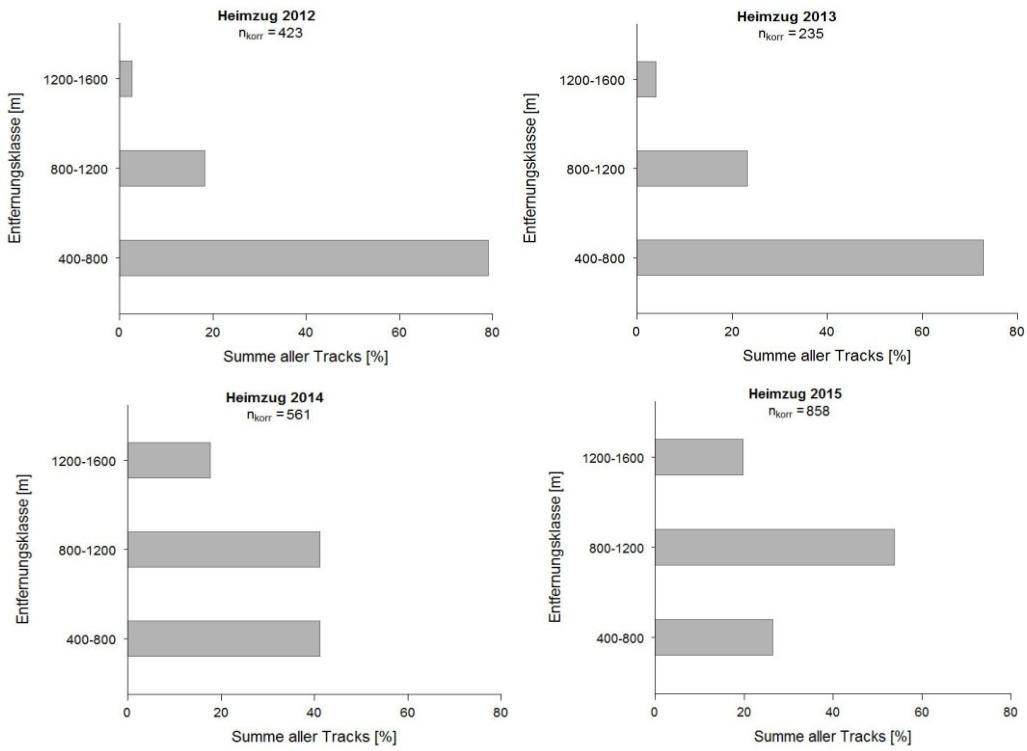


Abbildung 38: Übersicht über die 2012-2015 registrierten Echotracks je Heimzugperiode und Entfernungsklasse (EKL). Gemäß des diagonal ausgerichteten Messbereichs stehen die EKL gleichzeitig für unterschiedliche Höhenbereiche: EKL 400-800 m = 200-400 m Höhe; EKL 800-1.200 m = 400-600 m Höhe; EKL 1.200-1.600 = 600-800 m Höhe.

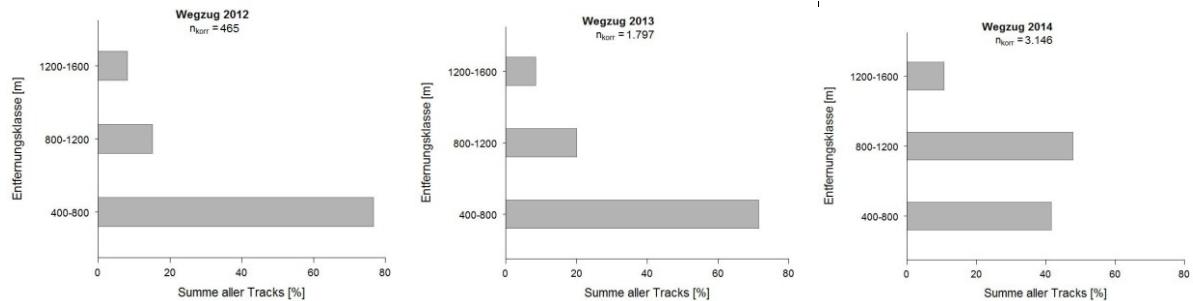


Abbildung 39: Übersicht über die 2012-2014 registrierten Echotracks je Zugperiode und Entfernungsklasse (EKL). Gemäß des diagonal ausgerichteten Messbereichs stehen die EKL gleichzeitig für unterschiedliche Höhenbereiche: EKL 400-800 m = 200-400 m Höhe; EKL 800-1.200 m = 400-600 m Höhe; EKL 1.200-1.600 = 600-800 m Höhe.

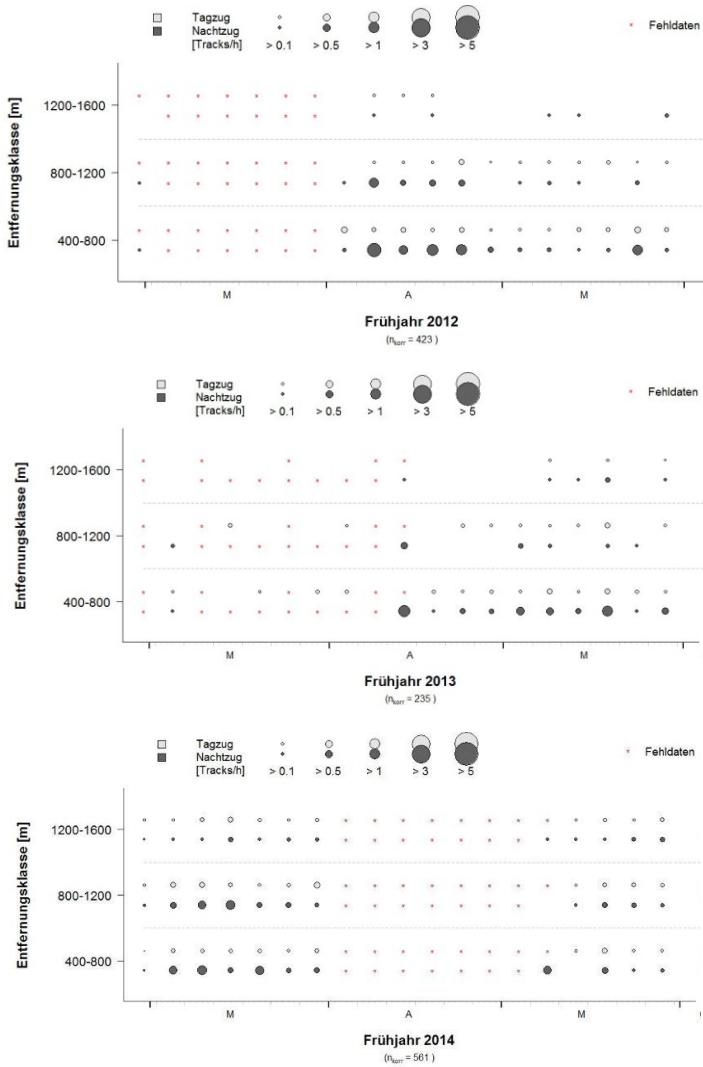


Abbildung 40: Per Horizontalradar gemessene Zugintensität in Tracks pro Zugtag bzw. -nacht im Frühjahr 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten) in den drei Entfernungsklassen 400-800 m [200-400 m Höhe], 800-1.200 m [400-600 m Höhe] und 1.200-1.600 m [600-800 m Höhe].

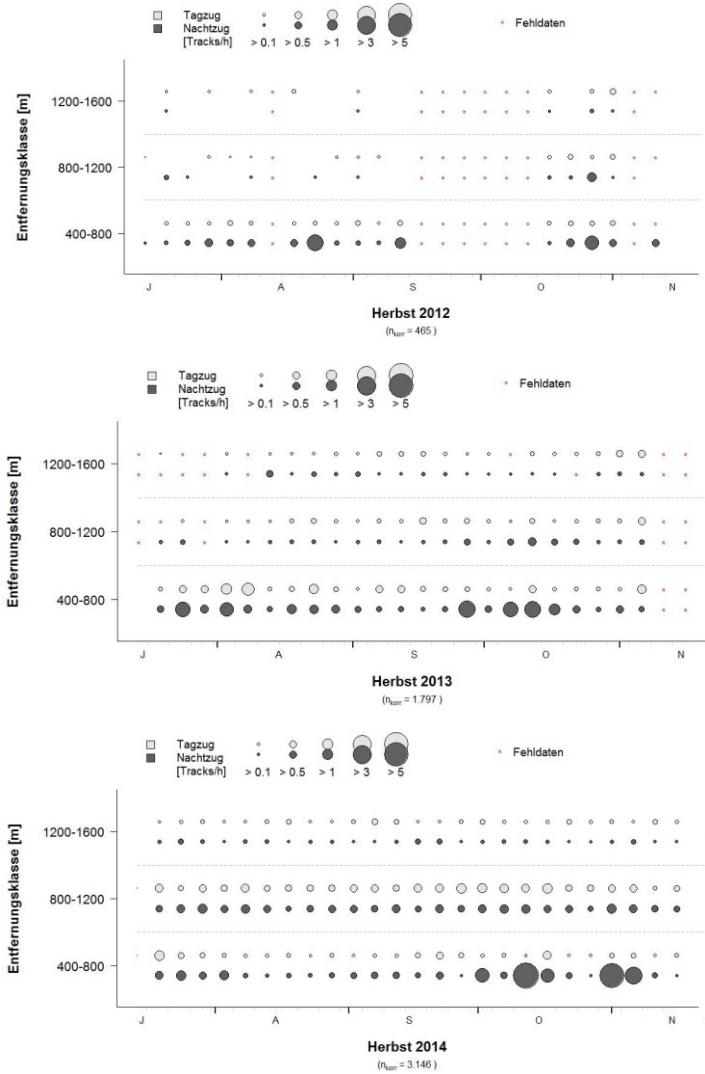


Abbildung 41: Per Horizontalradar gemessene Zugintensität in Tracks pro Zugtag bzw. -nacht im Herbst 2012 (oben), 2013 (Mitte) und 2014 (unten) in den drei Entfernungsklassen 400-800 m [200-400 m Höhe], 800-1.200 m [400-600 m Höhe] und 1.200-1.600 m [600-800 m Höhe].

3.1.2 Automatische Zugruf erfassung 2010-2014

Trotz der Beschränkung auf die Nachtstunden, der nur aus dem näheren Umkreis der Plattform stammenden Stichprobe und in den Anfangsjahren erheblichen Systemausfallzeiten (Kap. 2.2.3), konnten auf FINO 3 insgesamt 28.392 Audiodateien mit Vogelrufen (ohne Groß- und Dreizehenmöwenrufen) aufgezeichnet werden. Diese entstammen den Zugperioden der ganzen Jahre 2010-2014 und betreffen jeweils die Zeiträume vom 28.02. (Sonnenuntergang) bis 01.06. (Sonnenaufgang) sowie vom 30.06. (Sonnenuntergang) bis 01.12.2014 (Sonnenaufgang). Die Rufe konnten 71 verschiedenen Arten zugeordnet werden (Tabelle 3). Das Audiomaterial entstammt 1.072 rufpositiven Stunden bzw. 318 rufpositiven Nächten bei insgesamt 786 beprobten Nächten im Gesamtzeitraum. Gegenüber der von AUMÜLLER et al. (2012) für den Zeitraum bis 30.06.2012 genannten Artensumme bedeutet dies einen Zuwachs um 19 Arten oder eine

mittlere Zuwachsrate um 3,8 Arten je Zugperiode. Während des herbstlichen Wegzugs wurden nunmehr 66 Arten festgestellt, auf dem Heimzug ist das Spektrum mit 45 Arten demgegenüber um rund ein Drittel reduziert (Tabelle 3). In allen Fällen des qualitativen Nachweises enthalten ist die Dreizehenmöwe, deren rufpositive Dateien ansonsten unberücksichtigt blieben (Kap. 2.2.2).

3.1.2.1 Erfasste Arten

Neben der Dreizehenmöwe wurden nur noch Amsel, Rot- und Singdrossel sowie Rotkehlchen während jeder Zugperiode festgestellt. Dass die Anzahl besonders stetiger Vogelarten so gering ist, ist einerseits sicherlich eine Folge der natürlicherweise auftretenden Schwankungen in der periodischen Vogelzugintensität (vgl. z. B. HÜPPPOP et al. 2010, 2012a, HILL et al. 2014c), dürfte aber andererseits auch erheblichen zwischenjährlichen Unterschieden im Beprobungsaufwand aufgrund von Systemausfallzeiten zuzuschreiben sein (Kap. 2.2.3). Somit ist die im Frühjahr wie im Herbst stark zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren differierende Zugperiodensumme registrierter Arten in unbekanntem Maße methodisch beeinflusst. Im Frühjahr wurden zwischen 10 (2012) und 39 Arten (2014) und im Herbst zwischen 23 (2011) und 41 Arten (2010) identifiziert (Tabelle 3).

Zunehmend überrepräsentiert festgestellt werden mit der Methode Singvogelarten, denn nach nunmehr fünf Jahren Beprobung stehen 40 Singvogelarten (Passeres) 31 registrierten Nichtsingvogelarten (Nonpasseres) gegenüber. Unter den 215 seit den 1980er Jahren nahezu alljährlich nachgewiesenen Gastvogelarten Helgolands als Hochseestandort in der Deutschen Bucht (DIERSCHKE et al. 2011) finden sich mehrheitlich Nichtsingvogelarten ($n = 119$; 55,4 %) und auch innerhalb der Artenliste Deutschlands überwiegen Nichtsingvogelarten ($n = 310$; 59,1 %; BARTHEL & HELBIG [2005], ergänzt um Daten der DEUTSCHEN SELTENHEITENKOMMISSION [DSK 2008-2010] bzw. der DEUTSCHEN AVIFAUNISTISCHEN KOMMISSION [DAK 2012-2014] und des CLUB300 [www.club300.de]). Dominieren unter den auf FINO 3 notierten Nonpasseres insbesondere Limikolenarten ($n = 20$), gestaltet sich das Artenspektrum der Singvögel u.a. über neun registrierte Finken-, jeweils sechs Drossel- und Stelzen- bzw. Pieperarten und drei Krähenvogelarten deutlich diverser.

Zu beachten ist, dass es sich um Mindestzahlen nachgewiesener Arten handelt. So konnten die Rufe auf 282 Dateien (0,8 %) nicht bis auf Artniveau determiniert werden, weshalb eine unbekannte Zahl weiterer Arten enthalten sein kann. Im Falle der nicht möglichen akustischen Differenzierung des mehrfach festgestellten Artenpaars Fluss-

/Küstenseeschwalbe *Sterna hirundo/paradisaea* ist das Auftreten mindestens einer weiteren Art belegt.

Noch viel stärker dominieren Singvögel, sobald die Anteile registrierter stimmlicher Lautäußerungen betrachtet werden: Rufe ausschließlich landlebender und zum Zwecke der Zugwegverkürzung über See ziehender Singvögel dominierten angesichts der Präsenz auf 26.907 (94,8 %) vogelrufpositiven Dateien das nächtlich erfasste Vorkommen von Vögeln im direkten Plattformumfeld in herausragender Art und Weise (Tabelle 4). Dies gilt sowohl für den Heim- wie auch den Wegzug und wird auch für Teilausschnitte des gesamten Untersuchungszeitraums deutlich (Abbildung 42, Abbildung 43). Bei keiner Art mit hervorgehobener Häufigkeit von $\geq 1\%$ relativer Dateihäufigkeit über den Gesamtzeitraum handelte es sich um eine Nichtsingvogelart (Tabelle 4). Die beiden laut Ruferfassung häufigsten Arten waren Rotdrossel und Amsel (n -Dateien = 11.705 bzw. 8.909; Tabelle 4), deren Rufe zusammengenommen auf fast Dreiviertel aller Dateien aufgezeichnet wurden. Mit Ausnahme des angesichts besonders hoher Ausfallzeiten nicht repräsentativen Frühjahrs 2012 war stets eine der beiden Arten die häufigste der gesamten Zugperiode. In acht von zehn Zugperioden wurden mehr rotdrosselpositive Dateien aufgezeichnet als amselpositive. Unter denjenigen Arten mit $\geq 1\%$ rufpositiven Dateien am Gesamtaufkommen waren mit Singdrossel ($n = 3.140$; 11,1 %) und Wacholderdrossel ($n = 1.051$; 3,7 %) zwei weitere Drosselarten besonders häufig (Tabelle 4). Letztere trat bislang nur mit relativ wenigen Rufen auf (AUMÜLLER et al. 2012), was sich seither durch einige starke Zognächte mit dreistelligen Dateisummen binnen Nachtfrist änderte. Alleine 494 rufpositive Dateien wurden in der Nacht vom 05./06.11.2013 aufgezeichnet. Drosseln stellten somit konstant das Gros aller aufgezeichneten Rufe, und gleichzeitig erreichten die verschiedenen Drosselarten hohe Stetigkeitswerte auf der Basis nächtlicher Präsenz (Tabelle 4; Rotdrossel $n = 116$ artpositive Nächte, Amsel $n = 106$, Singdrossel $n = 89$, Wacholderdrossel $n = 39$).

Tabelle 3: Liste der über die automatisierte Zugruf erfassung während der Zugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesenen Vogelarten (n = 71).

Art		Heimzug						Wegzug					
		2010	2011	2012	2013	2014	gesamt	2010	2011	2012	2013	2014	gesamt
Graugans	<i>Anser anser</i>								x			x	
Pfeifente	<i>Anas penelope</i>							x				x	
Krickente	<i>Anas crecca</i>									x	x		
Nachtreiher	<i>Nycticorax nycticorax</i>								x			x	
Graureiher	<i>Ardea cinerea</i>				x	x	x	x	x		x	x	x
Wasserralle	<i>Rallus aquaticus</i>							x					x
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Säbelschnäbler	<i>Recurvirostra avosetta</i>				x	x				x			x
Kiebitzregenpfeifer	<i>Pluvialis squatarola</i>							x	x				x
Goldregenpfeifer	<i>Pluvialis apricaria</i>	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>			x		x		x			x	x	x
Sandregenpfeifer	<i>Charadrius hiaticula</i>				x	x			x				x
Regenbrachvogel	<i>Numenius phaeopus</i>		x		x	x		x			x		x
Großer Brachvogel	<i>Numenius arquata</i>	x	x	x		x				x	x	x	x
Pfuhlschnepfe	<i>Limosa lapponica</i>									x			x
Bekassine	<i>Gallinago gallinago</i>			x		x				x			x
Flussuferläufer	<i>Actitis hypoleucos</i>		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dunkler Wasserläufer	<i>Tringa erythropus</i>								x	x	x	x	x
Rotschenkel	<i>Tringa totanus</i>		x			x	x		x		x	x	x
Grünschenkel	<i>Tringa nebularia</i>								x		x	x	x
Waldwasserläufer	<i>Tringa ochropus</i>		x				x		x	x			x
Bruchwasserläufer	<i>Tringa glareola</i>								x				x
Steinwälzer	<i>Arenaria interpres</i>	x					x						
Zwergstrandläufer	<i>Calidris minuta</i>							x					x
Sichelstrandläufer	<i>Calidris ferruginea</i>								x				x
Alpenstrandläufer	<i>Calidris alpina</i>				x	x		x	x	x	x		x
Dreizehenmöwe	<i>Rissa tridactyla</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sturmmöwe	<i>Larus canus</i>	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zwergseeschwalbe	<i>Sterna albifrons</i>									x			x

Fortsetzung Tabelle 2:

	Art	Heimzug						Wegzug					
		2010	2011	2012	2013	2014	gesamt	2010	2011	2012	2013	2014	gesamt
Brandseeschwalbe	<i>Sterna sandvicensis</i>	x	x	x		x	x	x		x	x		x
Dohle	<i>Corvus monedula</i>							x					x
Saatkrähe	<i>Corvus frugilegus</i>							x					x
Rabenkrähe	<i>Corvus corone corone</i>							x					x
Kohlmeise	<i>Parus major</i>									x	x		x
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	x	x				x	x					x
Rauchschwalbe	<i>Hirundo rustica</i>			x	x	x							
Mehlschwalbe	<i>Delichon urbica</i>							x					x
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>			x	x	x		x	x	x	x		x
Gelbbrauen-Laubsänger	<i>Phylloscopus inornatus</i>							x					x
Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>			x	x	x							
Wintergoldhähnchen	<i>Regulus regulus</i>	x			x	x	x	x		x	x	x	x
Seidenschwanz	<i>Bombycilla garrulus</i>	x	x		x	x	x		x				x
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Misteldrossel	<i>Turdus viscivorus</i>				x	x	x	x		x	x	x	x
Ringdrossel	<i>Turdus torquatus</i>				x	x	x	x		x	x	x	x
Amsel	<i>Turdus merula</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rotdrossel	<i>Turdus iliacus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Grauschnäpper	<i>Muscicapa striata</i>				x	x							
Rotkehlchen	<i>Erythacus rubecula</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Heckenbraunelle	<i>Prunella modularis</i>				x	x	x	x		x	x	x	x
Spornpieper	<i>Anthus richardi</i>							x					x
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x
Strandpieper	<i>Anthus spinolella littoralis</i>				x	x		x		x	x	x	x
Gebirgsstelze	<i>Motacilla cinerea</i>	x			x	x		x		x	x	x	x
Wiesenschafstelze	<i>Motacilla flava</i>				x	x				x			x
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>				x	x					x		x
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x

Fortsetzung Tabelle 2:

Art		Heimzug					Wegzug						
		2010	2011	2012	2013	2014	gesamt	2010	2011	2012	2013	gesamt	
Bergfink	<i>Fringilla montifringilla</i>			x	x		x		x	x	x		
Kernbeißer	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>								x		x		
Gimpel	<i>Pyrhula pyrrhula</i>							x			x		
Fichtenkreuzschnabel	<i>Loxia curvirostra</i>								x		x		
Stieglitz	<i>Carduelis carduelis</i>							x			x		
Erlenzeisig	<i>Carduelis spinus</i>			x	x		x		x		x		
Bluthänfling	<i>Carduelis cannabina</i>			x	x		x		x		x		
Birkenzeisig	<i>Carduelis flammea</i>			x	x				x		x		
Schneeammer	<i>Plectrophenax nivalis</i>								x		x		
Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>			x	x								
Rohrammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>			x	x		x		x	x	x		
Anzahl Arten	Gesamt 71	17	17	10	21	39	45	41	23	25	40	30	66

Neben den Drosseln waren noch Star und Rotkehlchen stark vertreten, was gleichermaßen für die Anzahl registrierter Dateisummen ($n = 2.310$ bzw. 1.859) und Summen artpositiver Nächte gilt ($n = 45$ bzw. 96). Damit bestätigt sich für beide Arten der zuvor aufgezeigte Trend besonderer Häufigkeit bei gleichzeitig hoher Stetigkeit (AUMÜLLER et al. 2012).

Hohe rufpositive Dateisummen des Bergfinks ($n = 921$) begründeten AUMÜLLER et al. (2012) mit einem singulären Ereignissen im Herbst 2010. Ähnliches ereignete sich auch in Folgeherbsten, als sich in den Nächten vom 10./11.10.2013 (n rufpositive Dateien = 100), 13./14.10.2014 ($n = 87$) und 14./15.10.2014 ($n = 78$) jeweils starke nächtliche Bergfinkenbewegungen bemerkbar machten. 912 der 917 herbstlich aufgezeichneten Rufdateien entstammen lediglich vier Nächten. Obschon der Bergfink zu denjenigen Arten mit $\geq 1\%$ rufpositiven Dateien am Gesamtaufkommen rufpositiver Dateien zählt, blieben seine Registrierungen auf sehr wenige Nächte beschränkt (n artpositive Nächte = 9). Neben dem Bergfink weist auch der Buchfink *Fringilla coelebs* einen Anteil von $\geq 1\%$ rufpositiver Dateien auf (Tabelle 4). Ganz im Gegensatz zu seiner Zwillingsart wurden Buchfinken jedoch mit 22 artpositiven Nächten wesentlich regelmäßiger festgestellt.

Tabelle 4: Häufigkeiten (absolut und relativ) über Audiodateien während der Zugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten mit $\geq 1,0\%$ relativer Dateisummenhäufigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl von Nächten mit artspezifischer Präsenz angegeben. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.

Art		n-Rufdateien	n-Nächte mit Rufen	Anteil am Gesamtdateiaufkommen (%)
Rotdrossel	<i>Turdus iliacus</i>	11.705	116	41,23
Amsel	<i>Turdus merula</i>	8.909	106	31,38
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	3.140	89	11,06
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	2.310	45	8,14
Rotkehlchen	<i>Erythacus rubecula</i>	1.859	96	6,55
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	1.051	39	3,70
Bergfink	<i>Fringilla montifringilla</i>	921	9	3,24
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	387	31	1,36
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	319	22	1,12
Andere Arten		2.775	198	9,78
Gesamt		28.392	318	

Erstmals konnte im Herbst 2013 auf nennenswertes Vorkommen des Wiesenpiepers geschlossen werden (vgl. AUMÜLLER et al. 2012), als sich die Summe rufpositiver Dateien zugperiodenumfassend auf 189 summerte. Ähnliches wiederholte sich im Herbst 2014, währenddessen 131 rufpositive Dateien erkannt wurden. Nachweise des nunmehr auf 1,4 % aller rufpositiven Dateien vorhandenen Wiesenpiepers entstammen 31 artpositiven Nächten, womit die Art zu den vergleichsweise regelmäßig am Standort festgestellten gehört.

Die geschilderten Muster behalten auch während beider Zugperioden weitgehend Gültigkeit (Tabelle 5, Tabelle 6), wenngleich Buchfinken im Herbst kein Vorkommen mit hervorgehobener Häufigkeit ($\geq 2\%$ relativer Dateihäufigkeit) zeigten. Desweiteren fehlten Bergfinken im Frühjahr angesichts nur einer Präsenznacht und vier aufgezeichneten Dateien nahezu vollständig und Wiesenpieper blieben während beider Zugperioden unterhalb der Marke von 2 % relativer Dateihäufigkeit. Umgekehrt trat als einzige Nichtsingvogelart die Sturmmöwe hinzu, die während des Heimzugs auf 3,0 % (n-Dateien = 152) aller Rufdateien registriert werden konnte.

Tabelle 5: Häufigkeiten (absolut und relativ) über Audiodateien während der Heimzugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten mit $\geq 2,0\%$ relativer Dateisummenhäufigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl von Nächten mit artspezifischer Präsenz angegeben. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.

	Art	n-Rufdateien	n-Nächte mit Rufen	Anteil am Gesamtdateiaufkommen (%)
Rotdrossel	<i>Turdus iliacus</i>	1.907	29	37,8
Amsel	<i>Turdus merula</i>	800	33	15,8
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	786	34	15,6
Rotkehlchen	<i>Erithacus rubecula</i>	677	35	13,4
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	334	19	6,6
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	274	10	5,4
Sturmmöwe	<i>Larus canus</i>	152	9	3,0
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	115	11	3,5
Andere Arten		636	60	12,6
Gesamt		5.049	107	100,0

Tabelle 6: Häufigkeiten (absolut und relativ) über Audiodateien während der Wegzugperioden 2010 bis 2014 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten mit $\geq 2,0\%$ relativer Dateisummenhäufigkeit. Zusätzlich ist die Anzahl von Nächten mit artspezifischer Präsenz angegeben. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.

	Art	n-Rufdateien	n-Nächte mit Rufen	Anteil am Gesamtdateiaufkommen (%)
Rotdrossel	<i>Turdus iliacus</i>	9.798	87	41,97
Amsel	<i>Turdus merula</i>	8.109	73	34,74
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	2.354	55	10,08
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	1.976	26	8,46
Rotkehlchen	<i>Erithacus rubecula</i>	1.380	61	5,91
Bergfink	<i>Fringilla montifringilla</i>	917	8	3,93
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	777	29	3,33
Andere Arten		2.584	142	11,07
Gesamt		23.343	211	100,00

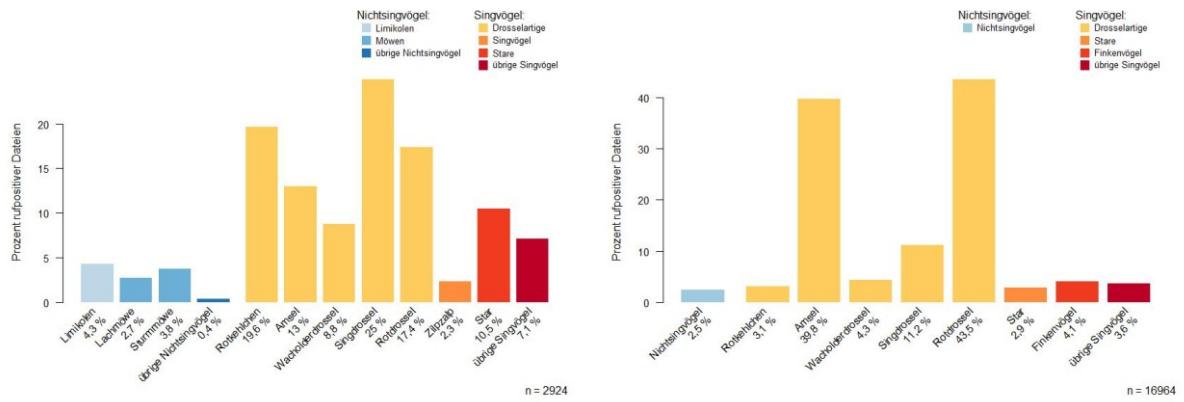


Abbildung 42: Relative Häufigkeit verschiedener Arten(gruppen) am Spektrum vogelpositiver Audiodateien während des Heimzugs 2013-2014 (links) und während des Wegzugs 2012-2014 (rechts) am Standort FINO 3. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten(gruppen) vorhanden sein.

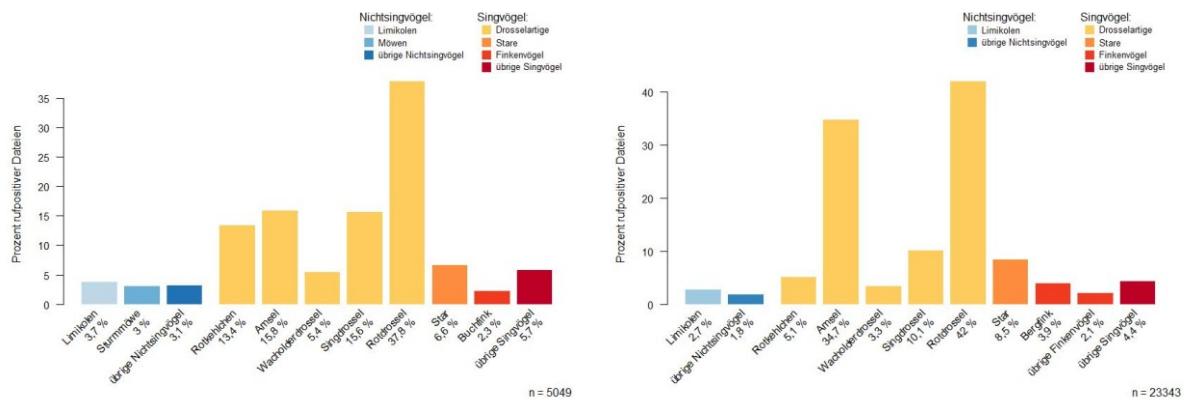


Abbildung 43: Relative Häufigkeit verschiedener Arten(gruppen) am Spektrum vogelpositiver Audiodateien während des Heim- (links) und Wegzugs (rechts) zwischen 2010-2014 am Standort FINO 3. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten(gruppen) vorhanden sein.

Zusammenfassend werden große Parallelen des nächtlichen Vorkommens rufender Durchzügler zwischen FINO 3 und FINO 1 deutlich. HÜPPPOP et al. (2012a) erfassten bei FINO 1 über die gleiche Methode zu 75 % Singvögel, wovon Drosseln die Mehrheit bildeten. Zusätzlich ist diese Dominanz vermutlich noch unterschätzt, denn HÜPPPOP et al. (2012a) nahmen keine Unterteilung nach Tag- und Nachtzug vor und tagsüber waren einige Nichtsingvogelarten (s. u.) besonders häufig, umgekehrt jedoch viele Singvögel – vor allem Drosseln als Nachtzieher – selten. Zusätzliche Übereinstimmungen ergeben sich aus der beobachteten Dominanz von Rotdrossel und Amsel (s.o.), die sowohl nach HÜPPPOP et al. (2012a) aber auch nach HILL et al. (2014b) auf FINO 1 als rufdominante Arten registriert wurden. Unter Berücksichtigung der Daten aus dem Herbst 2012 und der Jahre 2013 und 2014 gehören nunmehr und in Übereinstimmung zu den Verhältnissen auf FINO 1

auch die Wacholderdrossel und der Wiesenpieper zu den häufigsten auf FINO 3 festgestellten Arten ($\geq 1\%$ relativer Anteil am Dateiaufkommen). Zu den Arten mit mehr als 1 % Anteil an den Rufdateien gehören auf FINO 3 jedoch im Gegensatz zu FINO 1 die zwei Finkenvogelarten Buch- und Bergfink. Nichtsdestotrotz lässt das Datenmaterial von FINO 1 auch zu diesen Arten Parallelen erkennen: So setzt sich das zwischen 2008-2012 auf FINO 1 festgestellte Vorkommen des Bergfinken ebenfalls aus ganz wenigen, aber dafür teils sehr starken Zugereignissen zusammen (vgl. HILL et al. 2014c). Dieses Muster entspricht dem hier für FINO 3 skizzierten. Bilanzierend ergeben sich hinsichtlich des registrierten nächtlichen Artenspektrums und der Häufigkeitsverhältnisse von Singvögeln enorme Übereinstimmungen zwischen den beiden Standorten FINO 1 und FINO 3. Diese Beobachtung stützt die These des nächtlichen Breitfrontzuges dieser Arten über die Deutsche Bucht.

Größere Unterschiede ergeben sich für die Nichtsingvögel, denn auf FINO 1 gehörten mit Brandseeschwalbe, Fluss-/Küstenseeschwalbe, Rotschenkel *Tringa totanus*, Lach- und Sturmmöwe eine ganze Reihe Nonpasseres zu den häufigsten Arten mit $\geq 1\%$ rufpositiven Dateien am Gesamtaufkommen (HÜPPPOP et al. 2012a). Auf FINO 3 wurde einzig die Sturmmöwe mit hervorgehobenen Häufigkeitswerten festgestellt, aber nur während der Heimzugperiode im Frühjahr. Schlüsse auf Seegebiete unterschiedlich verdichteten Zuges, wie es teils bei den Arten für Zugbewegungen unter Tageslicht bekannt ist (z. B. HÜPPPOP et al. 2010, HILL et al. 2014c), verbieten sich aber u. a. angesichts bestehender methodischer Unterschiede.

Die Daten des **Frühjahrs 2015** wurden separat ausgewertet und noch nicht in Gesamtschauen integriert. Mit 235 rufpositiven Audiodateien näherten sich ziehende Vögel nachts und im Vergleich zu vorangegangenen Jahren (vgl. Abbildung 42-Abbildung 43, AUMÜLLER et al. 2012) der Plattform nur selten an. 114 Audiodateien betrafen Zugrufe verschiedener Drosselarten, womit die Gruppe wie gewohnt besonders großen Anteil am nächtlichen Rufgeschehen hatte. Insgesamt konnten 26 Arten bestimmt werden. Erstmals am Standort über die Ruferfassung nachgewiesen werden konnte die Kurzschnabelgans. Am 26.03. erfolgte die Aufzeichnung von Rufen einer mutmaßlich kleinen Gruppe. Es handelt sich um die 72. über die automatisierte Zugruferfassung am Standort nachgewiesene Vogelart.

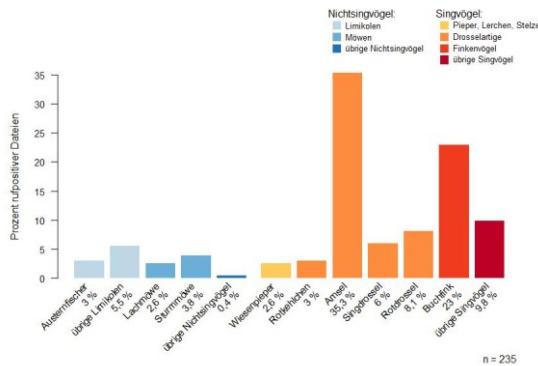


Abbildung 44: Relative Häufigkeit verschiedener Arten(gruppen) am Spektrum vogelpositiver Audiodateien während des Heimzugs 2015 am Standort FINO 3. Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten(gruppen) vorhanden sein.

Tabelle 7: Häufigkeiten (absolut) über Audiodateien während der Heimzugperiode 2015 am Standort FINO 3 nachgewiesener Vogelarten(-gruppen). Beachte: Auf einer Datei können mehrere Arten enthalten sein.

Deutscher Artnname	Wissenschaftlicher Artnname	Rufpositive Dateien je Art
Amsel	<i>Turdus merula</i>	83
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	54
Rotdrossel	<i>Turdus iliacus</i>	19
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	14
Sturmmöve	<i>Larus canus</i>	9
Singvogel sp.	<i>Passeriformes</i>	9
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	7
Rotkehlchen	<i>Erythacus rubecula</i>	7
Lachmöve	<i>Larus ridibundus</i>	6
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	6
Flussuferläufer	<i>Actitis hypoleucos</i>	4
Wintergoldhähnchen	<i>Regulus regulus</i>	4
Limikole sp.	<i>Limicolae</i>	3
Rotschenkel	<i>Tringa totanus</i>	2
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	2
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	2
Kurzschnabelgans	<i>Anser brachyrhynchus</i>	1
Sandregenpfeifer	<i>Charadrius hiaticula</i>	1
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	1
Pfuhlschnepfe	<i>Limosa lapponica</i>	1
Grünschenkel	<i>Tringa nebularia</i>	1
Strandpieper	<i>Anthus spinolletta littoralis</i>	1
Gebirgsstelze	<i>Motacilla cinerea</i>	1
Heckenbraunelle	<i>Prunella modularis</i>	1
Ringdrossel	<i>Turdus torquatus</i>	1
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	1
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	1

3.1.2.2 Phänologie

Unter Berücksichtigung von fünf Wegzugperioden ergibt sich ein Muster, wonach es zu besonders starker nächtlicher Annäherung von Vögeln an die Plattform in der ersten Oktoberhälfte sowie zwischen Ende Oktober und Mitte November kommen kann (Abbildung 45). Auch die noch langfristiger angelegten Zusammenstellungen von FINO 1 lassen dies erkennen, mit einer besonderen Schwerpunktbildung direkt um die Monatswende Oktober/November (HÜPPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c).

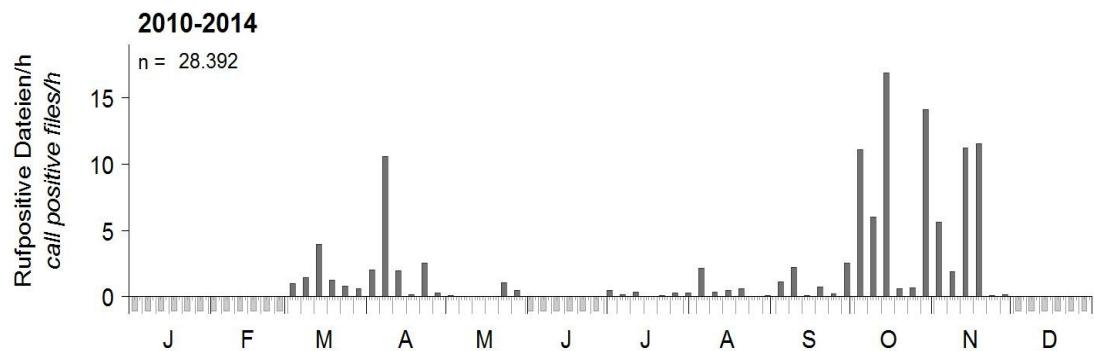


Abbildung 45: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien ($n = 28.392$) je Pentade während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) zwischen 2010 und 2014 am Standort FINO 3.

Die zwischenjährliche Variabilität ist hoch und kommt im Vergleich der herbstlichen Zugperioden 2012 bis 2014 gut zum Ausdruck. Dieser lässt erkennen, dass die Phase herausragend starker Rufaktivität im direkten Plattformumfeld Mitte November 2012 (Abbildung 46, oben) eine Umkehrung der Verhältnisse im gleichen Zeitraum der Jahre 2013 und 2014 darstellt. Währenddessen fehlten aufgezeichnete Vogelrufe fast vollständig. 2013 konnte hingegen auf starke Einelnächte Anfang November und Anfang Oktober geschlossen werden (Abbildung 46, mittig), während solche im Jahr 2014 vor allem Mitte Oktober und einmalig Ende November auftraten (Abbildung 46, unten).

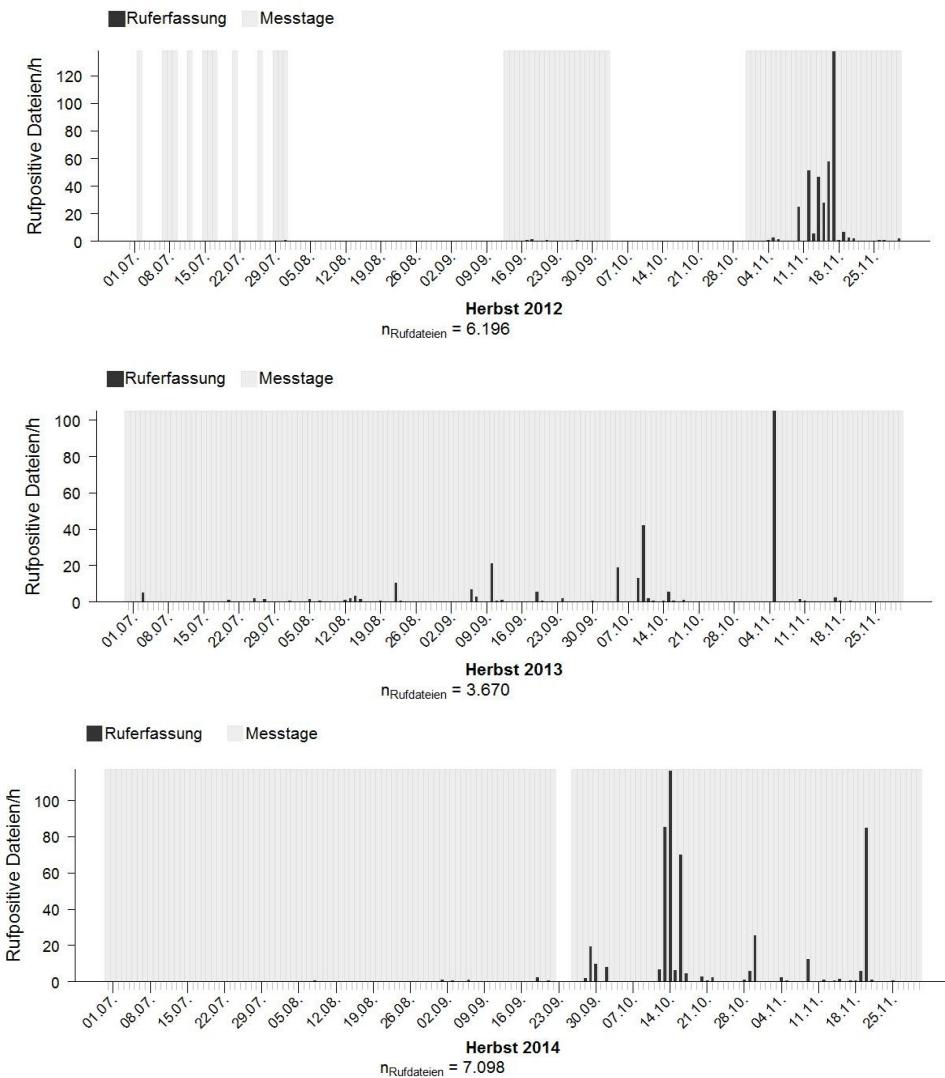


Abbildung 46: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien während der Wegzugperioden 2012-2014. Anzahlen vogelpositiver Dateien je Zugperiode gegeben.

Langjährige Gesamtdarstellungen decken auch die Sonderstellung des Frühjahrs 2013 auf. Die Konzentration der starken Rufaktivität während der ersten Aprilhälfte war ungewöhnlich (vgl. HÜPPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c [FINO 1], AUMÜLLER et al. 2012, AUMÜLLER et al. 2014 [FINO 3]). Im März, ansonsten oft von reger Rufaktivität geprägt (Abbildung 45), wurden 2013 kaum stimmliche Lautäußerungen von Vögeln aufgezeichnet (Abbildung 47). In weiten Teilen Mitteleuropas, insbesondere auch Deutschlands, war der Spätwinter 2013 durch den kältesten März seit Aufzeichnungsbeginn geprägt und auf Vogelvorkommen im Offshore-Bereich konnte erst ab Anfang April geschlossen werden (vgl. Kap. 3.1.1.1). Zu den Radarergebnissen korrespondierend konnten insbesondere in der Nacht 06./07.04 hohe Summen rufpositiver Dateien ab April aufgezeichnet werden. Weiterhin ließ sich noch eine Phase verstärkter Rufaktivität um Mitte April abgrenzen (Abbildung 47). Zwar wurden auch im Jahr 2014 wiederum im April die meisten Zugrufe

aufgezeichnet, aber hier konnte bereits zuvor im März über rege Zugrufaktivität mehrfach auf ziehende Vögel geschlossen werden (Abbildung 47).

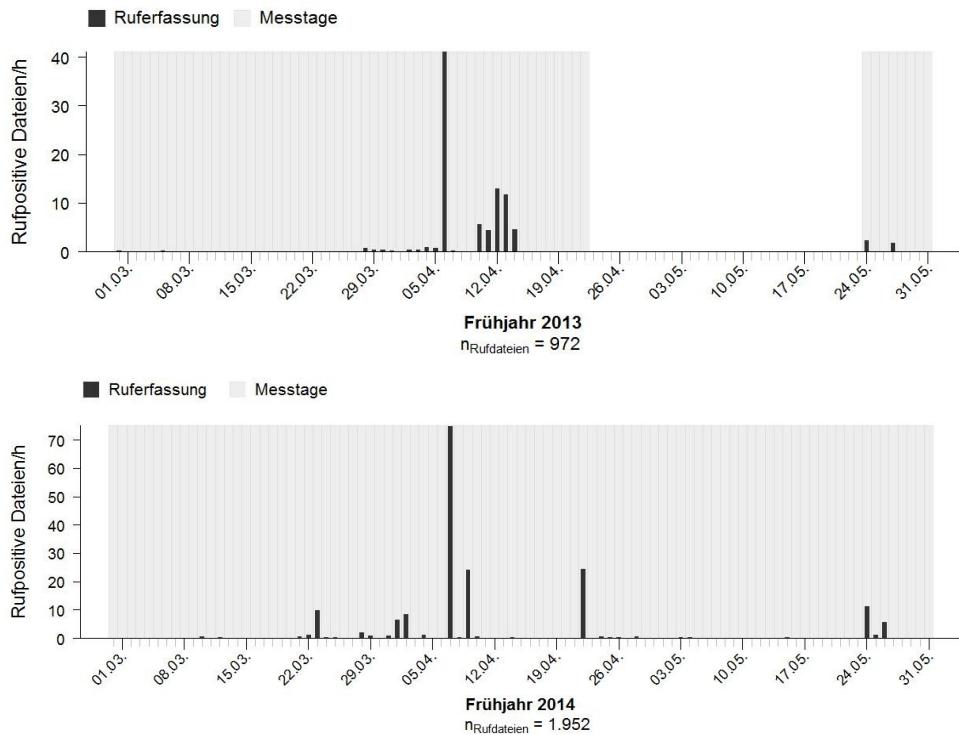


Abbildung 47: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien während der Heimzugperioden 2013-2014. n vogelpositive Dateien je Zugperiode gegeben. Beachte unterschiedliche Skalierung.

In der Gesamtschau der Jahre 2010 bis 2014 schlagen sich insbesondere die Ereignisse des Frühjahrs 2013 dergestalt nieder, dass sich für die erste Aprilhälfte ein deutlich konturiertes Maximum ergibt (Abbildung 45). Dieses sollte sich in Folgejahren und unter der Annahme „typischerer“ Verlaufskurven wieder abschwächen, was gleichzeitig die Notwendigkeit zu langfristig angelegten Untersuchungen unterstreicht.

Hohe Rufaktivität und über andere Methoden gemessene hohe Zugaktivität müssen nicht zwangsläufig Hand in Hand gehen. So wurde in der Nacht vom 14./15.04.2014 per Radar massenhafter Vogelzug um FINO 1 registriert, und im Laufe dieser Nacht konnten vier der 20 höchsten jemals gemessenen Echosummen-Stundenwerte im Frühjahr verzeichnet werden. Die Höhenverteilung zeigte starken Vogelzug besonders in großen Höhen. Entsprechend wurden über die eingesetzten Mikrofone kaum Vogelrufe in der Nähe der FINO-Plattformen registriert: Wurden auf FINO 1 lediglich drei Arten und 16 Rufdateien registriert, waren es im Bereich um FINO 3 sieben Arten und 42 Rufdateien. Umgekehrt wurde in der Nacht 06./07.04.2014 intensive Rufaktivität verzeichnet, während die per Radar detektierten Echozahlen nicht erhöht waren. Die ziehenden Vögel näherten sich in dieser Nacht somit überproportional stark der Plattform an.

Bei der Annäherung von nächtlich ziehenden Vögeln an Offshore-Bauwerke spielen Wetterbedingungen eine entscheidende Rolle und bestimmen maßgeblich über die Rufarten (HÜPPPOP & HILGERLOH 2012; s. auch Kap. 1.1). Zusätzlich dominieren Drosseln das nächtliche Rufgeschehen im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht stark (HÜPPPOP et al. 2009, 2012a, AUMÜLLER et al. 2012, HILL et al. 2014c), wobei allerdings unklar bleiben muss, ob dies besonders kopfstarken Populationsteilen oder einer ausgeprägten Ruffreudigkeit geschuldet ist (oder einer Kombination aus beidem). Um den Einfluss dieser beiden Einflussgrößen zu minimieren, wurde zusätzlich eine Phänologie vogelrufpositiver Stunden erstellt (ebenfalls auf Pentadenbasis). Die Ergebnisse sind den bisher geschilderten auf Rufdateienbasis sehr ähnlich, ergeben aber ein Bild weniger starker Divergenz (Abbildung 48). Die Spannen zwischen den Extremen sind nicht so ausgeprägt und es wird deutlich, dass es über beide Zugperioden hinweg jederzeit zu Annäherungen von Vögeln an FINO 3 und damit zu einer erhöhten Kollisionsgefahr kommen kann. Der dabei, wenn auch schwach, zutage tretende Gipfel im August betrifft vor allem Limikolen.

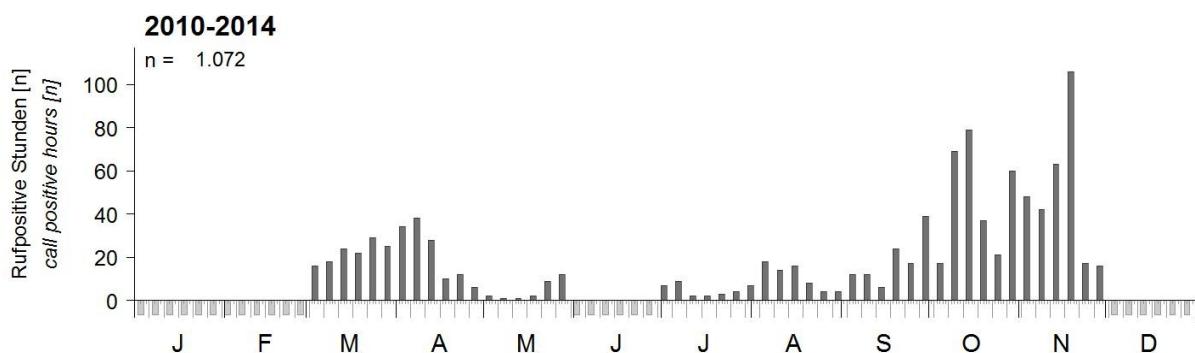


Abbildung 48: Pentadensummen zugrufpositiver Nachtstunden ($n = 1.072$) während des Heim- (März bis Mai) bzw. Wegzugs (Juli bis November) zwischen 2010 und 2014 am Standort FINO 3.

Im **Frühjahr 2015** mit nur wenigen aufgezeichneten Rufen (s. o.) konnte in 31 Nächten auf Vogelpräsenz im Umfeld der Plattform geschlossen werden. Die stärksten Annäherungen an die Plattform wurden dabei am 25./26.03. und 27./28.03. verzeichnet (Abbildung 49). Die registrierten Vogelrufe verteilten sich auf alle Nachtphasen, wobei im ersten Nachtviertel deutlich weniger Vogelrufe registriert wurden als während der Folgeviertel. Besonders viele Rufe wurden in Übereinstimmung mit den Vorjahren (hierzu s. Kap. 3.1.2.3) im vierten Nachtviertel registriert (Abbildung 50).

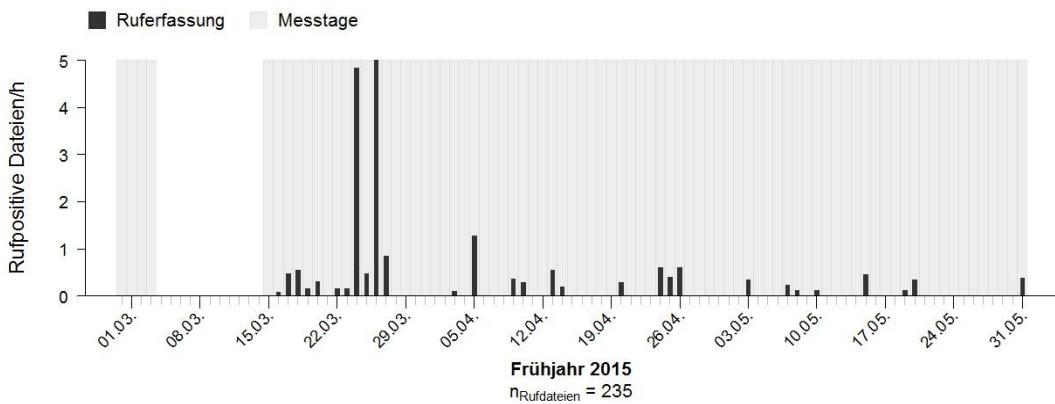


Abbildung 49: Nächtliches Stundenmittel vogelpositiver Audiodateien der Heimzugperiode 2015. n vogelpositive Dateien je Zugperiode gegeben.

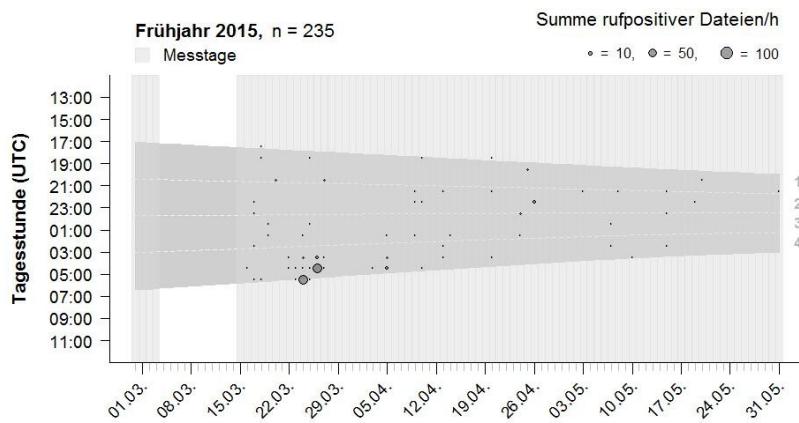


Abbildung 50: Stundenscharfe Zugintensitäten im Frühjahr 2015 gemäß Ruferfassung am Standort FINO 3. Der dunkelgraue Bereich kennzeichnet die Dunkelphase. Die Ruferfassung findet nur während der Nachtstunden Anwendung. Für jeden Stundenwert gemessener Zugintensität ist eine eindeutige Zuweisung zu einer Nachtphase (in Vierteln; gestrichelte Linien) möglich.

3.1.2.3 Phänologie & Tageszeit Einzelarten

Im Folgenden werden all jene Arten in ihrem jahres- wie tageszeitlichen Vorkommen bei FINO 3 näher dargestellt, deren Rufe auf $\geq 1\%$ aller rufpositiven Dateien aus den Jahren 2010-2014 vorhanden waren bzw. solcher Arten, die zumindest während einer Zugperiode einen Anteil von $\geq 2\%$ erreichten. Auf diese Weise kann für jede Art aufgezeigt werden, wann sie den Bereich der südostlichen Nordsee gehäuft durchquert und somit gegenüber den Einwirkungen von Offshore-Windparks verstärkt exponiert ist. Da die nachstehenden, besonders häufig notierten Arten alle nachts erfasst wurden und Kollisionen vor allem nachts auftreten (Kap. 1.1), lassen sich für diese Arten bestimmte Expositionzeiten mit erhöhter Gefahr des Kollidierens gleichsetzen.

Rotdrossel

Von 2010-2014 wurden Rotdrosseln während des Heimzugs zwischen 03.03.-22.04. in 29 Nächten registriert (Abbildung 51). Mit 1.907 aufgezeichneten Rufdateien wurden Rufe der Art dabei so häufig wie von keiner anderen Art erfasst. Dabei teilt sich das Heimzugvorkommen ähnlich wie bei der Amsel (siehe dort) in eine frühe und eine späte Phase, was zum einen an fünf spät liegenden Präsenznächten ab 06.04. im Frühjahr 2013 als Resultat des außergewöhnlichen Spätwinters 2013 (s.o.) liegt, zum anderen daran, dass auch 2014 fünf von acht Präsenznächten in die spätere Heimzugphase fielen, in der im Frühjahr 2014 die höchsten Dateisummen am 07.04. und 09.04. verzeichnet wurden ($n = 193$ bzw. 162 rufpositive Dateien). Die jahreszeitlich mittlere Präsenznacht fällt nun auf den 01.04. Für die Heimzugperioden 2010-2012 fiel die mittlere Präsenznacht zuvor auf den 17.03. (AUMÜLLER et al. 2012) und somit in die Zeit der insgesamt stärksten Einzelereignisse, wie der Median 16.03. auf Rufdateienbasis zwischen 2010-2014 zeigt (Abbildung 51). Knapp zwei Drittel aller Rotdrosselrufe des Heimzuges wurden allein in drei Nächten zwischen dem 11.03. und 20.03. registriert. Es ist somit eine hohe Übereinstimmung zu den Kennwerten von FINO 1 (Median Präsenznächte: 30.03., Median Rufdateien: 09.03.; HILL et al. 2014c) gegeben. Auch zu Helgoland sind die Übereinstimmungen hoch, wie die dortigen Mediantermine zu Rastbeständen (29.03.) und Nächten mit Zugrufwahrnehmung (19. Pentade 01.-05.04.) zeigen (DIERSCHKE et al. 2011). Gefangen werden Rotdrosseln dort jedoch etwas später, denn der Schwerpunkt liegt in der 20. Pentade (Median 09.04., HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004).

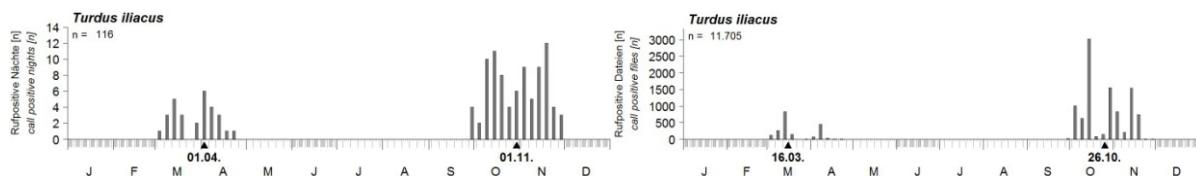


Abbildung 51: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Rotdrossel *Turdus iliacus* während des Heim- (März bis Mai) bzw. Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Mit 9.798 Rufdateien aus 87 Nächten ist die Rotdrossel im Herbst noch viel häufiger. Bereits zu Beginn des Oktobers können viele Individuen registriert werden, wie 907 innerhalb der Nacht 07./08.10.2010 aufgezeichnete Rufdateien belegen. Der Schwerpunkt des sich bis mindestens Ende November erstreckenden Vorkommens liegt aber später zur Monatswende Oktober/November (Median Präsenznächte 01.11., Median auf Rufdateienbasis 26.10.; Abbildung 51). Zu dieser Zeit konnten mehrfach Starkereignisse mit mehr als 500 Dateien je Nacht (05.11.2013) oder sogar mehr als 1.000 Dateien (31.10./01.11.2010) verzeichnet werden. Auch im weiteren Verlauf des Novembers konnten noch mehrfach sehr starke

„Rotdrosselnächte“ mit mehr als 500 aufgezeichneten rufpositiven Dateien binnen Nachtfrist identifiziert werden, so am 12.11.2012 und 17.11.2012. Der Median rufpositiver Dateien hat sich gegenüber dem bisherigen Median 05.11. (Datenmaterial bis 2013, AUMÜLLER et al. 2014) um zehn Tage nach vorne verlagert. Somit ist bei der Rotdrossel die frühere Hälfte der herbstlichen Präsenznächte von überproportional starker Rufaktivität gekennzeichnet. Keine weitere der Arten mit hervorgehobener Häufigkeit zeigt ein solches Muster (s. u.). Mitte Oktober 2014 wurden eine ganze Reihe starker Rotdrossel-Zugnächte registriert. Währenddessen fielen zwischen 13.10.-16.10. knapp 3.000 rotdrosselpositive Dateien an. Dabei markierten die 1.330 Dateien in der Nacht vom 14./15.10. eine neue Rekordmarke. Dennoch ähneln die Ergebnisse denjenigen von FINO 1 (Median Präsenznächte: 29.10., Median Rufdateienbasis: 03.11.; HILL et al. 2014c) weiterhin sehr. Nächte mit Zugrufen werden auf Helgoland zu einem sehr ähnlichen Zeitpunkt vermehrt notiert (Median: 60. Pentade [23.10.-27.10.]; DIERSCHKE et al. 2011), die Zahlen von Fänglingen kulminieren hingegen frühzeitig mit einem Median am 14.10. (nach BKDE-Verfahren 18.10., HÜPPOP & HÜPPOP 2004).

In beiden Zugperioden ist eine Konzentration von Rufen auf die zweite Nachthälfte erkennbar (Abbildung 52). In Einzelnächten konnte über die aufgezeichneten Rufe aber auch schon früher im zweiten oder vereinzelt gar ersten Nachtviertel auf nennenswerte Zahlen im direkten Umfeld der Plattform anwesende Rotdrosseln geschlossen werden. Dies deutet auf tageweise variierende Aufbruchsgebiete der Durchzügler hin (vgl. DIERSCHKE et al. 2011, WELCKER et al. 2015, Kap. 3.3.1).

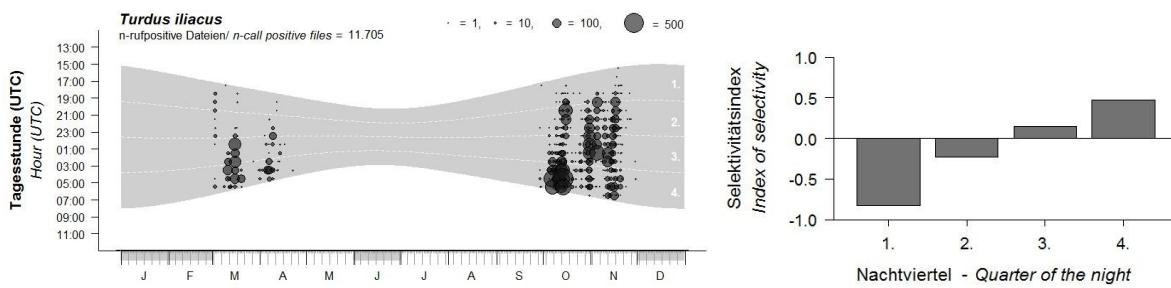


Abbildung 52: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Rotdrossel *Turdus iliacus* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Im **Frühjahr 2015** wurden acht Nächte mit Rotdrosselrufen registriert, das Zeitfenster reichte dabei vom 25.03. bis 20.04. Sieben dieser Nächte waren weniger als eine Woche vom 01.04., der zentralen Präsenznacht der Jahre 2010-2014 auf FINO 3, entfernt.

Amsel

Für die Amsel liegen vom Heimzug zwischen dem 03.03. und dem 22.04. Nachweise von Rufen aus insgesamt 33 Nächten vor, in denen insgesamt 800 rufpositive Dateien anfielen. Trotz identischer Spannbreite zum Rotdrosselvorkommen wurden Zugereignisse von Amseln insgesamt früher beobachtet: Aus der Verteilung von Präsenznächten (Abbildung 53, links) errechnet sich der Median für den 23.03. (17. Pentade). Die Rufaktivität war während der jahreszeitlich früheren und der späteren Hälfte der Präsenznächte ähnlich ausgeprägt, denn der Median rufpositiver Dateien liegt mit dem 22.03. nur einen Tag früher (Abbildung 53, rechts). Beide Kennwerte haben sich gegenüber den von AUMÜLLER et al. (2012) genannten Medianterminen um einige Tage nach hinten verschoben, was vor allem eine Folge des strengen Spätwinters 2013 mit einem außergewöhnlichen Zugstau (s. o.) sein sollte: Amseln wurden erst spät am 27.03. registriert, sechs weitere Amselnächte folgten zwischen 06.04.-14.04. und somit allesamt später als die zuvor von 2010-2012 am spätesten terminierte Nacht. Im Frühjahr 2014 wurden Amseln zwar schon ab dem 05.03. registriert, zweistellige Dateisummen jedoch erst ab dem 07.04. verzeichnet. Die für FINO 1 von HILL et al. (2014b) angegebenen Termine zum mittleren Amselvorkommen 18.03. (Präsenznächte) bzw. 16.03. (Rufdateienbasis) liegen jeweils knapp früher. Mediane zum Heimzugvorkommen auf Helgoland wiederum liegen in der 18. Pentade (Nachtverhör) bzw. am 26.03. (Fang) in der 17. Pentade (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004, DIERSCHKE et al. 2011).

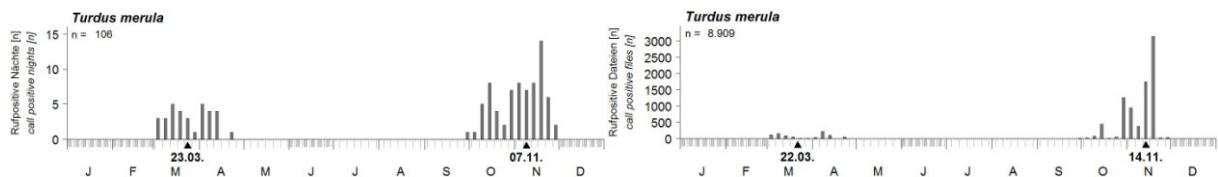


Abbildung 53: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Amsel *Turdus merula* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Im Herbst waren registrierte Zugereignisse zwischen 02.10.-30.11. häufiger (73 Amselnächte) und mit insgesamt 8.109 aufgezeichneten Rufdateien im Mittel (111,1 Rufdateien/Amselnacht) weitaus stärker ausgeprägt als im Frühjahr (24,2 Rufdateien/Amselnacht). Nächte mit Amselrufen sind zwar schon in der ersten Oktoberhälfte nicht selten (Abbildung 53, links), das Schwerpunkt vorkommen liegt jedoch erst Ende Oktober und im November (Median Amselnächte 07.11.), währenddessen auch die mengenmäßig besonders bedeutenden Nächte registriert werden (Median rufpositive Dateien 14.11.; Abbildung 53, rechts). Gegenüber dem jahreszeitlichen Bild von FINO 1 (Mediane 02.11. bzw. 04.11., HILL et al. 2014c) ergibt sich somit eine Verspätung um fünf bzw. zehn Tage. Hier übt einerseits die stärkste jemals auf FINO 3 gemessene und recht

spät liegende „Amselnacht“ vom 17./18.11.2012 mit allein 1.702 Rufdateien großen Einfluss aus, sowie andererseits die lückige Datenerfassung während der zweiten Oktoberhälfte bis Anfang November 2012. Für das Datenmaterial der Herbste 2010 und 2011 wurde zuvor ein Median von Amselnächten am 31.10. ermittelt (AUMÜLLER et al. 2012). Mediane zum Wegzugvorkommen liegen auf Helgoland in der 62. Pentade (Nachtverhör) bzw. am 28.10. (Fang) in der 61. Pentade (HÜPPOP & HÜPPOP 2004, DIERSCHKE et al. 2011).

In beiden Zugperioden ist eine Konzentration von Amselrufen auf die zweite Nachthälfte erkennbar (Abbildung 54). In Einzelnächten konnte über die aufgezeichneten Rufe aber schon früher im zweiten oder vereinzelt gar ersten Nachtviertel auf nennenswerte Zahlen im direkten Umfeld der Plattform anwesender Amseln geschlossen werden. Dies deutet wie im Falle der Rotdrossel auf tageweise variierende Aufbruchsgebiete der Durchzügler hin (vgl. DIERSCHKE et al. 2011, WELCKER et al. 2015). Besonders früh passierende Vögel wären demnach küstennah z. B. in den Niederlanden (Heimzug) bzw. entlang der kimbrischen Halbinsel (Wegzug) aufgebrochen. Das tageszeitliche Auftreten der Amsel auf FINO 3 deckt sich mit Beobachtungen auf FINO 1 (HÜPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c).

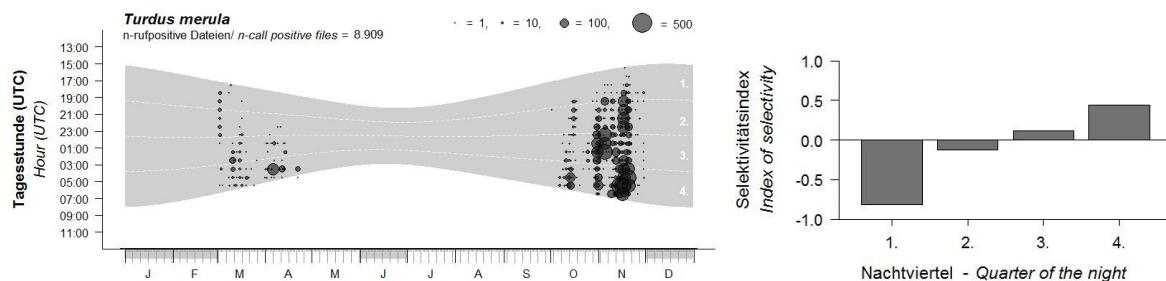


Abbildung 54: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Amsel *Turdus merula* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Zehn Nächte mit Amselfeststellungen erfolgten im **Frühjahr 2015** zwischen 17.03.-20.04. und gruppierten sich ausgeglichen um den bisherigen Zentralwert 23.03. herum.

Singdrossel

Rufe der Singdrossel wurden während des Heimzugs auf 786 Dateien aufgezeichnet. Diese wurden innerhalb von 34 Nächten zwischen 28.02.-24.04. aufgezeichnet (Abbildung 55), woraus sich für Präsenznächte der 05.04. als Median ableiten lässt. Gegenüber dem 28.03., dem von AUMÜLLER et al. (2012) angegebenen Median für die Jahre 2010-2012, bedeutet dies eine Verschiebung um acht Tage nach hinten. Die Rufaktivität war während der jahreszeitlich früheren und der späteren Hälfte der Präsenznächte ähnlich ausgeprägt, denn

der Median der rufpositiven Dateien liegt mit dem 07.04. nur zwei Tage später (Abbildung 55). Allerdings ist er von der stärksten „Singdrosselnacht“ des Betrachtungszeitraums am 07./08.04.2014 vorgegeben, während derer knapp 60 % aller Aufzeichnungen gelangen ($n = 549$). Ansonsten liegen aus keiner Nacht dreistellige Dateisummen vor. Für FINO 1 geben HILL et al. (2014b) mit dem 07.04. (Präsenznächte) bzw. 04.04. (Dateienbasis) sehr ähnlich gelagerte Schwerpunktvorkommen an. Der Median Helgoländer Fägelinge liegt demgegenüber später am 23.04. (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004), Nachtverhör kulminiert in Übereinstimmung zu den Forschungsplattformen während der 19. Pentade Anfang April (DIERSCHKE et al. 2011).

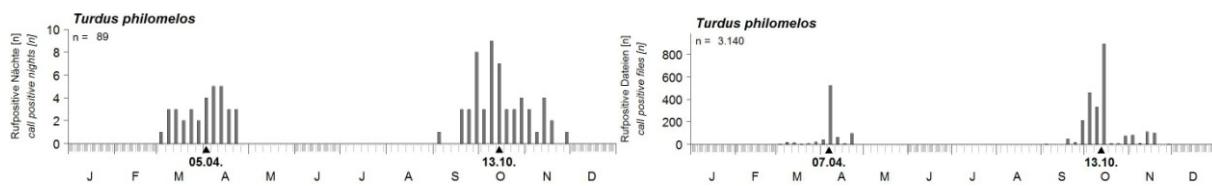


Abbildung 55: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Singdrossel *Turdus philomelos* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Im Herbst erscheinen Singdrosseln ungleich häufiger als im Frühjahr, wie 2.354 Rufdateien aus 55 Präsenznächten belegen. Als jahreszeitlich am frühesten ziehende Drosselart treten Singdrosseln dabei regelmäßig schon ab Mitte September, im Ausnahmefall sogar noch früher, wie am 07.09.2013, auf (Abbildung 55). Mitte Oktober gipfelt das Vorkommen, wie die Mediane aus Präsenznächten und auf Dateienbasis (13.10.) übereinstimmend zeigen und durch mehrere Starkereignisse mit dreistelligen Dateiensummen innerhalb einer Nacht bestätigt werden. Solche besonders hohen Dateisummen treten aber regelmäßig auch schon ab Ende September auf und auch im November kann es noch zu bedeutender Passage kommen, wie die Summen von 96 bzw. 79 Rufdateien in den Nächten 17./18.11.2012 bzw. 05./06.11.2013 verdeutlichen. Für FINO 1 geben HILL et al. (2014b) ein mittleres Vorkommen am 23.10. (Präsenznächte) bzw. 07.10. (Dateienbasis) an, auf Helgoland werden Singdrosseln früher gefangen (Median 03.10.; HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004) und zu einer sehr ähnlichen Zeit wie auf FINO 3 besonders häufig nachts verhört (57. Pentade [08.-12.10.]; DIERSCHKE et al. 2011).

Wie bei anderen nachts ziehenden Singvogelarten konzentrierte sich das Singdrossel-Vorkommen auf die zweite Nachhälfte (Abbildung 56). Abweichend von diesem generalisierten Muster konnte es aber, wie bereits im Falle von Rotdrossel und Amsel beobachtet, zu nächtlichen Verlaufsmustern mit besonders frühzeitiger Passage noch vor

Mitternacht kommen. Beides entspricht den Ergebnissen von FINO 1 (HÜPPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c).

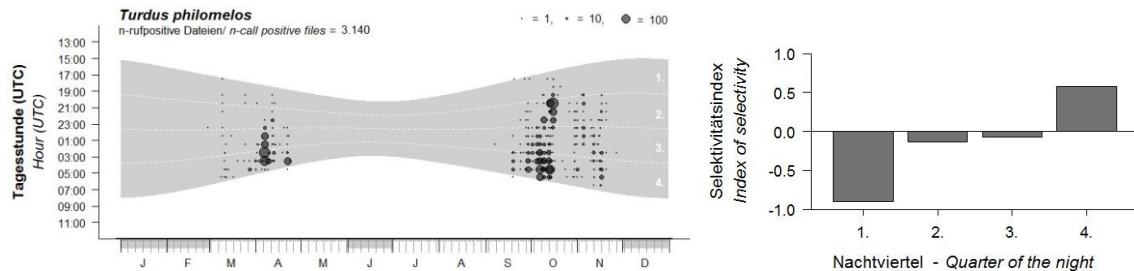


Abbildung 56: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Singdrossel *Turdus philomelos* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Im **Frühjahr 2015** wurden zwischen dem 28.02.-24.04. in sieben Nächten Singdrosseln registriert (Positivdateien = 15), womit die bisher aus den Jahren 2010-2014 gültige Spanne zum Vorkommen exakt abgedeckt wurde.

Star

Stare wurden einerseits auf dem Heimzug zwischen 28.02.-26.05. und andererseits auf dem Wegzug zwischen 26.07.-17.11. und somit über besonders ausgedehnte Zeiträume im nächtlichen Rufspektrum notiert (Abbildung 57). Starentypischer Zwischenzug im Juni und Juli (vgl. DIERSCHKE et al. 2011) wurde dabei angesichts nur eines Nachweises am 26.07.2014 kaum registriert. Möglicherweise sind dem Zwischenzug aber bereits die für heimziehende Stare ungewöhnlich spät liegenden Nächte mit Starenpräsenz Ende Mai zuzuordnen, denn vor allem skandinavische, polnische und baltische Stare (BAIRLEIN et al. 2014), aber auch Teile der schweizerischen Brutpopulation (MAUMARY et al. 2007), ziehen direkt nach dem Ausfliegen bzw. nach der Brut in die Küstenregionen Norddeutschlands.

Unter Vernachlässigung der beiden Mainächte liegen nach dem 07./08.04. keine Nachweise während der ersten Jahreshälfte mehr vor und die 17 Heimzognächte gruppieren sich um die mittlere „Starenacht“ am 23./24.03. Maximal wurden 125 starenpositive Dateien am 23./24.03.2014 aufgezeichnet. Das Kalenderdatum markiert zugleich den Median auf Dateienbasis.

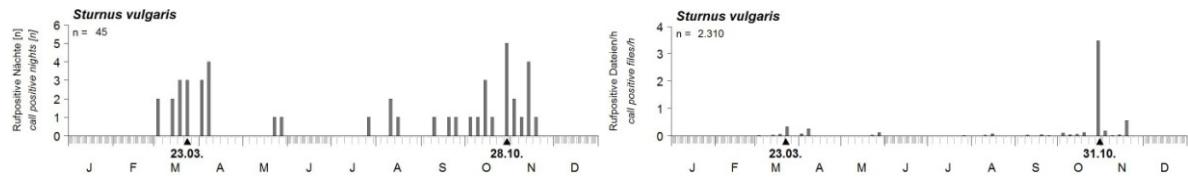


Abbildung 57: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Stars *Sturnus vulgaris* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

„Starennächte“ waren wie bei den Drosseln und ohne Berücksichtigung von Registrierungen zwischen Mai bis Juli (Zwischenzug) während des Wegzugs von deutlich stärkerem Rufaufkommen begleitet: 276 Rufdateien verteilten sich im Frühjahr auf 17 Präsenznächte (Mittel: 16,2 Rufdateien/Starennacht), 1.976 Rufdateien aus der zweiten Jahreshälfte nach Juli auf 25 herbstliche Nächte (Mittel: 79,0 Rufdateien/Starennacht). Die Häufigkeit von Staren war aber auch innerhalb des Herbstes stark ungleichgewichtig. Im Gegensatz z. B. zu den Drosseln gab es beim Star nur eine einzige Pentade mit sehr hohen Rufraten Ende Oktober (Abbildung 57). Hierfür war wiederum nur eine einzige sehr starke Nacht, die des 31.10./01.11.2010, mit 1.393 rufpositiven Dateien verantwortlich. Die einzelne starke Zugnacht bestimmt auch die Lage des Wegzug-Medians auf Dateienbasis am 31.10. in der 61. Jahrespentade, aber auch für die Präsenznächte ergibt sich mit dem 28.10. ein in derselben Jahrespentade liegender Wert zum zentralen Vorkommen (Abbildung 57). Für den Zeitraum 2008-2012 ergibt sich ein entsprechendes Bild von FINO 1, wo sich Starennächte um die mittlere Nacht am 03.11. herum gruppierten, das auf die Lage des Medians auf Dateienbasis besonders Einfluss ausübende Massenereignis aber gegenüber FINO 3 erst eine Nacht später am 01./02.11.2010 registriert wurde, obwohl zuvor bereits am 31.10./01.11.2010 Stare zahlreich auf der Plattform registriert worden waren (HILL et al. 2014c). Im Zeitraum von 2004-2007 wurde ebenfalls eine sehr starke Starennacht zu einem sehr ähnlichen Zeitpunkt am 28./29.10.2005 beschrieben (HÜPPPOP et al. 2012a). Ein Vergleich mit Helgoland ist schwierig, denn dort halten sich Stare ganzjährig auf, weshalb sich die Zugperioden nicht genau definieren und mithin keine Mediane angeben lassen (DIERSCHKE et al. 2011). Zusätzlich zeigt die Art im späten Herbst offenbar einen Wechsel von zunächst fast ausschließlichem Nachzug, wie die in der 58. Pentade kulminierenden Rastbestände auf Helgoland bei gleichzeitig fehlenden Tagzugbeobachtungen zeigen, hin zu starkem Tagzug, der im langjährigen Mittel um die Monatswende Oktober/November während der 61. Jahrespentade gipfelt (DIERSCHKE et al. 2011).

Somit stellt sich die Frage, inwieweit zunächst tagziehende und dann über Nacht zwischenrastende (und rufende) Stare für die registrierten ausgeprägten Einzelereignisse verantwortlich sein könnten. Schon HÜPPPOP et al. (2012a) vermuteten über „die Art der aufgezeichneten Rufe, aber auch direkte bzw. über Video erfolgte Beobachtungen, dass

viele Stare auch auf der Plattform [FINO 1] rasten, so dass Zug und Rast anhand der Rufe oft nicht zu differenzieren sind“. Dass Stare dazu neigen, nachts über viele Stunden auf den Plattformen zu rasten und sich auf diese Weise hohe Nachtsummen rufpositiver Dateien ergeben können, ist unstrittig und durch eigene, indirekte Beobachtungen auf FINO 1 (Video) und direkte, im Rahmen von nächtlichen Plattform-Aufenthalten im Jahr 2013 geglückten Feststellungen von FINO 3 (Felix Weiß, Bioconsult SH, mdl. Mitt.) belegt. Trotzdem dürfte es sich weit überwiegend um zuvor in der Dunkelheit gezogene Individuen handeln und viel weniger um tags zuvor auf den Plattformen „gestrandete“. Hierfür sprechen u. a. die beobachteten Zeitpunkte des nächtlichen Einsetzens von starker Rufaktivität. Bei Nachtbeginn zumeist fehlend, sind Rufnachweise auf die zweite Nachthälfte konzentriert (Abbildung 58), was nach HÜPPPOP et al. (2012a) und HILL et al. (2014b) auch für FINO 1 zutrifft. Auch die enge Bindung an starke Annäherungsereignisse von Drosseln weist auf ein nächtliches Erreichen der Plattformen hin. Schlussendlich belegen aber erst direkte Beobachtungen, dass nächtliche Starenrast im Allgemeinen auf Vögel zurückgeht, die im Laufe der Dunkelheit die Plattform erreichen. Spätestens frühmorgens und zumeist noch vor Sonnenuntergang verlassen solche Vögel die Plattform dann wieder (Felix Weiß, Bioconsult SH, mdl. Mitt.). Somit wird deutlich, dass es auch zu Zeiten starken Tagzugs des Stars weiterhin zu starkem Nachtzug kommen kann. Die Ereignisse starker nächtlicher Rufaktivität dürften dabei weit überwiegend Nachtzug entspringen. Diese Feststellung ist wichtig, um tödliche Starenanflüge an den Plattformen richtig einordnen zu können.

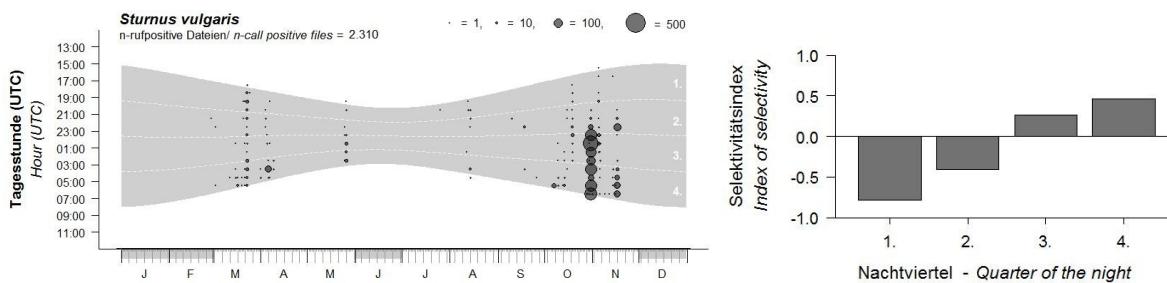


Abbildung 58: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen des Stars *Sturnus vulgaris* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Rotkehlchen

Nachweise aus 34 Frühjahrsnächten zwischen 28.02.-26.04. mit insgesamt 676 Rotkehlchen-Rufdateien und einem zeitlich isolierten Beleg am 26.05.2014 gruppieren sich so um die Mediane von Präsenznächten (03.04.) bzw. Rufdateien (10.04.), dass eine überproportional starke Rufaktivität während der jahreszeitlich späteren Präsenznächte

ersichtlich wird (Abbildung 59). Das Frühjahr 2014 stellte mehr als die Hälfte aller rufpositiven Frühjahrsdateien ($n = 355$) und wies mit den Zugnächten des 07.04. und 22.04. die bisher einzigen Frühjahrsnächte mit dreistelligen Dateisummen auf. Der zusätzlich erkennbare Gipfel während der 21. Pentade (11.04.-15.04.) geht ausnahmslos auf das ausgeprägte Spätwinterjahr 2013 (s. o.) zurück, währenddessen mehr als ein Viertel ($n = 177$) aller Rufdateien aufgezeichnet wurde. In der Gesamtschau reflektiert diese Verteilung aus deutlich gegeneinander abgrenzbaren Einzelereignissen gut die Verhältnisse nächtlichen Zuges auf FINO 1 (Median Präsenznächte: 10.04., Median auf Rufdateienbasis: 07.04.; HILL et al. 2014c). Das Vorkommen an beiden Plattformen liegt somit früher als auf Helgoland, wo der Median von Fänglingen auf den 18.04. terminiert wurde (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004). Das höchste jemals auf der Insel gemessene Frühjahrsmaximum des Rastbestands liegt noch später am 20.04. und wurde 2002 verzeichnet (DIERSCHKE et al. 2011).

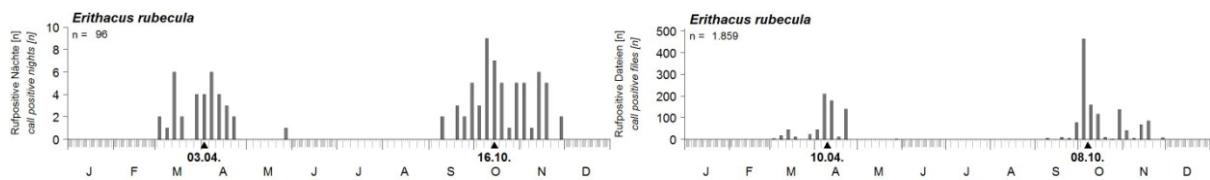


Abbildung 59: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Rotkehlchens *Erythacus rubecula* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Im Herbst wird wie bei den Drosseln der gegenteilige Effekt einer im Vergleich zu einem Rastgebiet wie Helgoland spät liegenden Registrierung offenbar: 1.182 Dateien mit Rufen des Rotkehlchens aus 61 Nächten weisen einen im Vergleich zu Helgoländer Rastvorkommen (Median Fänglinge: 27.09., HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004; maximales Rastvorkommen 24.09.1997, DIERSCHKE et al. 2011) spät liegenden Termin zum mittleren Vorkommen auf (Median Präsenznächte: 16.10., Median Rufdateien: 08.10.). Daten von FINO 1 (HILL et al. 2014c) bestätigen das jahreszeitlich spät detektierte Vorkommen mit Medianen am 22.10. (Präsenznächten) und 28.10. (Rufdateien) im Offshore-Bereich.

Die für die klassischen Nachtzieher typische, sukzessive Steigerung von Rufaktivität über den Nachtverlauf hinweg mit einer Konzentration von akustisch erbrachten Nachweisen auf die zweite Nachthälfte, wird auch für das Rotkehlchen deutlich (Abbildung 60). Dies entspricht den Ergebnissen von FINO 1 (HILL et al. 2014c).

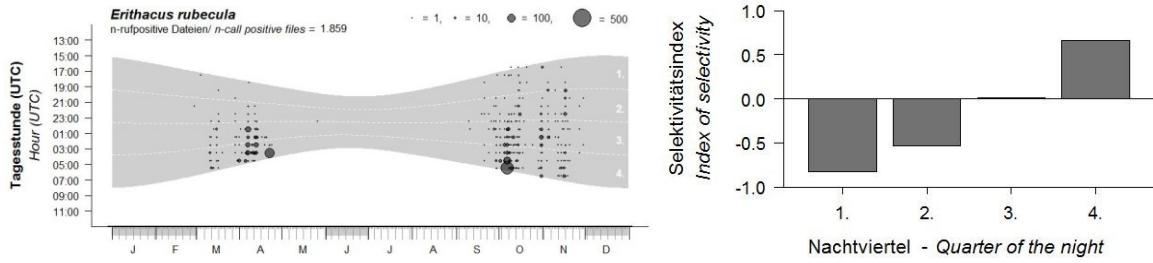


Abbildung 60: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichnete Audiodateien mit Rufen des Rotkehlchens *Erithacus rubecula* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Wacholderdrossel

Die im Vergleich zu anderen Drosselarten relativ seltene Wacholderdrossel tritt weit überwiegend im Herbst auf, wie 777 artpositive Audiodateien aus 29 verschiedenen Nächten zwischen 10.10.-25.11. aus den fünf Untersuchungsjahren verdeutlichen (Abbildung 61). Dem stehen 274 rufpositive Dateien aus zehn Heimzugnächten zwischen 16.03.-22.04. gegenüber. Nur in drei von fünf Jahren (2010, 2013, 2014) konnten überhaupt heimziehende Wacholderdrosseln am Standort nachgewiesen werden, im Herbst wurden alljährlich Vögel registriert. Das mit 494 Rufdateien stärkste Vorkommen innerhalb einer Nacht wurde am 05./06.11.2013 registriert. Ähnlich wie beim Star bestimmt also ein singuläres Starkereignis die Lage des Wegzug-Medians auf Rufdateienbasis, der aber durch die Berücksichtigung der 29 herbstlichen Präsenznächte bestätigt wird (Abbildung 61). Die entsprechenden Kennwerte für die Heimzugperiode fallen jeweils auf den 07.04. Damit treffen die Kennwerte während beider Zugperioden teils exakt diejenigen für FINO 1 ermittelten (Frühjahr: jeweils 03.04., Herbst: 05.11. [Präsenznächte] bzw. 03.11. [Rufdateien]; HILL et al. 2014c). Der Fang von Wacholderdrosseln gipfelt auf Helgoland demgegenüber während des Heimzuges erheblich später (04.05., HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004), im Herbst streuen die Daten je nach gewähltem Analyseverfahren deutlich zwischen 30.10. (herkömmliche Ermittlung) und 14.11. (BKDE-Verfahren, vgl. HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004). Für registrierten Nachzug wurde die mittlere Präsenznacht auf Helgoland im Frühjahr für die 22. Pentade Mitte April, im Herbst für die 61. Pentade zur Monatswende Oktober/November errechnet (DIERSCHKE et al. 2011).

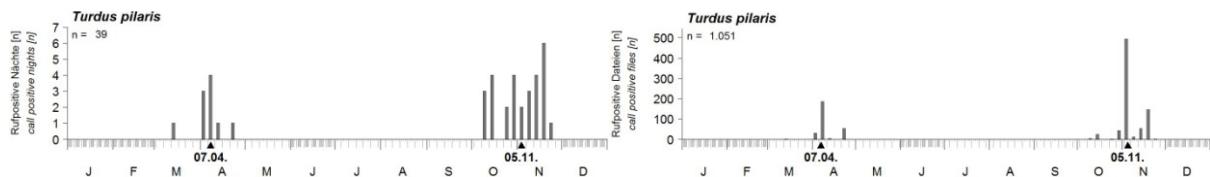


Abbildung 61: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Wacholderdrossel *Turdus pilaris* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Wie bei den bisher analysierten Arten ist auch für Wacholderdrosseln und übereinstimmend während beider Zugperioden eine Konzentration von Rufen auf die zweite Nachthälfte zu erkennen (Abbildung 62). Im Frühjahr wurden die meisten Rufe erst im letzten Nachtviertel registriert. Im Herbst steht das Material unter starker Beeinflussung des einzigen Starkereignisses, welches abrupt mit Beendigung des dritten Nachtviertels endete, so dass das auf FINO 1 erkennbare herbstliche Hauptvorkommen im letzten Nachtviertel, welches für nachziehende Singvögel typisch ist (s. o.; vgl. auch HILL et al. 2014c), nicht zum Tragen kommt.

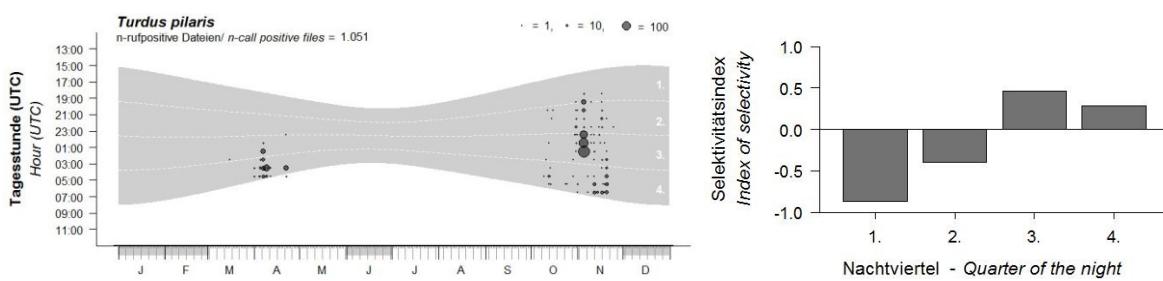


Abbildung 62: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen der Wacholderdrossel *Turdus pilaris* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Bergfink

Die Art wurde mit einer Ausnahme im Frühjahr 2014 ausschließlich im Herbst festgestellt, wobei das Auftreten auf ganz wenige Ereignisse beschränkt blieb. Die neun zwischen 2010-2014 registrierten Präsenznächte dieser ansonsten überwiegend tagziehenden Art stammten im Frühjahr aus der Zugnacht vom 22.04., im Herbst verteilten sie sich über den Zeitraum vom 05.10.-05.11. (Abbildung 63). Dabei konzentrierte sich das Vorkommen auf die erste Oktoberhälfte, wie die Lage der Mediane am 13.10. (Präsenznächte) bzw. 07.10. (Dateienbasis) verdeutlichen (Abbildung 63). Ein Großteil ($n = 647$, 70,6 %) der insgesamt 917 Rufdateien im Herbst wurde während einer einzigen Nacht (07./08.10.2010) aufgezeichnet, was zu einem entsprechenden Median auf Rufdateienbasis führte. 23 Präsenznächte wurden zwischen 2003-2012 um FINO 1 registriert, die sich um den ähnlich gelagerten Zentralwert 15.10. herum gruppierten, aber im Gegensatz zu FINO 3 auch den Zeitraum Ende September mit einschlossen (Daten nach HILL et al. 2014c). Auffallend ist auch die Ähnlichkeit hinsichtlich der geringen mittleren jährlichen Anzahl registrierter Präsenznächte, die im Mittel auf FINO 1 2,3 und auf FINO 3 1,6 Präsenznächte je Herbstperiode betragen. Jahreszeitliche Übereinstimmungen zum Vorkommen lassen sich

auch gegenüber Helgoland veranschaulichen, denn hier wurde für inselweites Rastvorkommen der 13.10. als Median ermittelt (DIERSCHKE et al. 2011), für Fägelinge der 17.10. (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004).

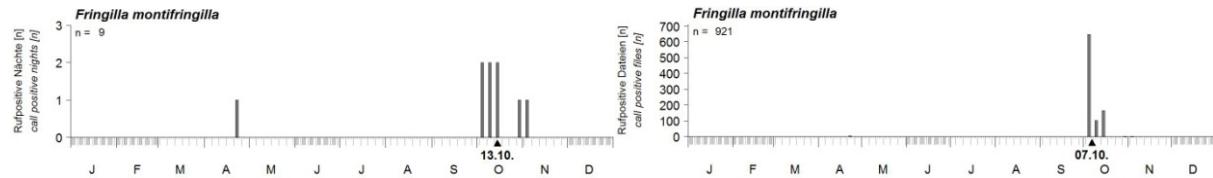


Abbildung 63: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Bergfinken *Fringilla montifringilla* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung $n \geq 5$ ist der Median gegeben.

Das nächtliche Muster des Auftretens reflektiert vorwiegend den Verlauf des distinkten Ereignisses am 07./08.10.2010. Dieses setzte ausgangs des dritten Nachtviertels ein und setzte sich in zunehmend verstärkter Form bis zum Sonnenaufgang fort (Abbildung 64). Auch das zweite mengenmäßig bedeutsame Ereignis am 10./11.10.2013 (n -Rufdateien = 100) folgte diesem Muster, die zwei weiteren „Bergfinkennächte“ mit jeweils knapp hundert Rufdateien im Oktober 2014 führten ausschließlich zu Nachweisen im Morgengrauen. Ansonsten gelangen Einzelnachweise im zweiten und dritten Nachtviertel.

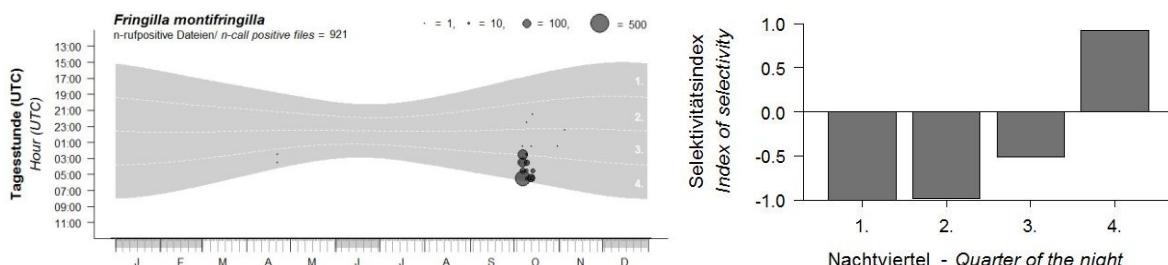


Abbildung 64: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen des Bergfinken *Fringilla montifringilla* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Wiesenpieper

Obwohl eine überwiegend tagziehende Art, gehört der Wiesenpieper mit 387 nächtlich aufgezeichneten Rufdateien zu den häufigsten Arten während der Dunkelheit am Standort (Tabelle 4). Angesichts von 365 Nachweisen zu stimmlichen Äußerungen aus 24 Präsenznächten gilt dies aber nur für den Herbst (Abbildung 65). Die lediglich 22 Rufdateien aus dem Frühjahr entstammen sieben Nächten. Die herbstlichen Nachweise umfassen ein ausgedehntes Zeitfenster zwischen 14.08.-29.11. Starke Zugnächte wurden am 06.09.2013 (n-Rufdateien = 69) und 09.10.2013 (n-Rufdateien = 73) erkannt. Die Mediane von Präsenznächten und auf Rufdateienbasis fallen auf den 09.10. bzw. 05.10., was erneut einen hohen Grad an Übereinstimmung zum Vergleichsstandort FINO 1 (Median Präsenznächte 08.10., Median Rufdateienbasis 01.10., Daten nach HILL et al. 2014c) darstellt. Auch das Auftreten auf Helgoland wird sehr gut widergespiegelt, denn dort beginnt der Wegzug Mitte August, ist von Ende September bis Mitte Oktober bei einem Median rastender Vögel am 04.10. (DIERSCHKE et al. 2011) bzw. von Fänglingen am 01.10. (HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004) sehr stark ausgeprägt und klingt im November aus. Zudem überwiegt der herbstliche Wegzug gegenüber dem Frühjahrszug dort bei weitem (DIERSCHKE et al. 2011).

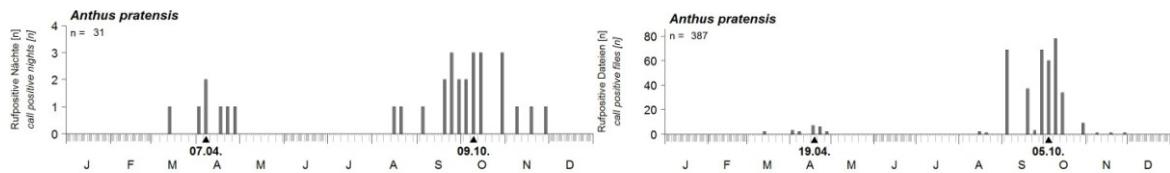


Abbildung 65: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Wiesenpiepers *Anthus pratensis* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Zwar liegen aus allen Nachtvierteln Nachweise rufender Wiesenpieper vor, das Gros der Vögel erschien jedoch erst in den frühen Morgenstunden kurz vor Sonnenaufgang um FINO 3 (Abbildung 66). Zur Nachtmitte rufende Wiesenpieper sind also im Gegensatz zu klassischen Nachtziehern, wie z. B. den Drosseln, selten. Sowohl HÜPPPOP et al. (2012a) als auch HILL et al. (2014b) konnten für FINO 1 ergänzend zum letzten Nachtviertel auf erhöhte Nachweiszahlen um und bis kurz nach Sonnenuntergang während des ersten Nachtviertels schließen. Dieses wurde für FINO 3 bisher nicht ersichtlich (vgl. AUMÜLLER et al. 2014), ist nunmehr aber durch die erheblich weniger stark negativen Indexwerte zum tageszeitlichen Auftreten zumindest angedeutet (Abbildung 66). Vor 2014 fehlten Rufe während des ersten Viertels fast vollständig. 2014 wurden mehrfach abendlich rufende Wiesenpieper festgestellt, darunter ein ausgeprägtes Vorkommen am 29.09. Abendliche Rufaktivität war auch auf FINO 1 selten, konnte aber prominent ausfallen (HILL et al. 2014c).

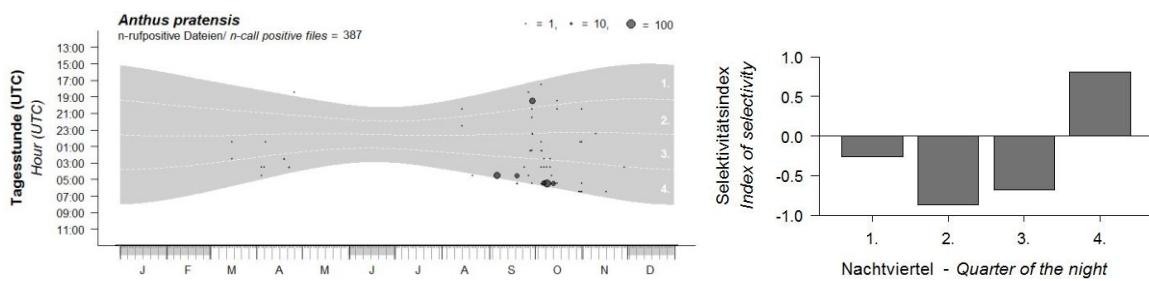


Abbildung 66: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichneten Audiodateien mit Rufen des Wiesenpiepers *Anthus pratensis* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Buchfink

Die Art wurde in allen Frühjahrsperioden festgestellt, fehlte aber während der Wegzugperioden 2011 und 2013. Die 22 zwischen 2010-2014 registrierten Präsenznächte dieser weit überwiegend tagziehenden Art verteilten sich je zur Hälfte auf die Zeiträume zwischen dem 04.03.-10.04. und dem 19.09.-10.11. (Abbildung 67). Obwohl eine ganze Reihe jahreszeitlich sehr früh datierter Wahrnehmungen vorliegt, konzentriert sich das Gros akustischer Nachweise von Buchfinken auf einen kurzen Abschnitt während der zweiten Märzhälfte und Anfang April. 42 % der rufpositiven Dateien wurden während einer einzelnen Zugnacht am 19.03.2011 ($n = 49$) aufgezeichnet. Die Mediane von Präsenznächten (29.03.) und auf Basis von Dateisummen (27.03.) errechneten sich übereinstimmend für den Zeitraum Ende März (Abbildung 67). Damit ähneln sie sehr dem für Helgoland ermittelten Vorkommen nach inselweiten Rastvogelzählungen (Median 27.03., DIERSCHKE et al. 2011), allerdings weniger dem Muster zum Vorkommen auf FINO 1 mit jeweils auf den 07.04. fallenden Zentralwerten (HILL et al. 2014c). Männchen der Art ziehen erheblich früher als Weibchen (Mediane auf Helgoland gefangener Vögel 27.03. vs. 10.04., HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004), was angesichts der früh liegenden Terminierung der Mediane vermuten lässt, dass besonders viele Nachweise auf Männchen zurückgehen. Vor allem der große Anteil aufgezeichneter Dateien aus der jahreszeitlich früh liegenden Nacht am 19.03. spricht für einen vorliegenden Effekt überproportional starker Registrierung von Männchen im Heimzugdatenmaterial von FINO 3.

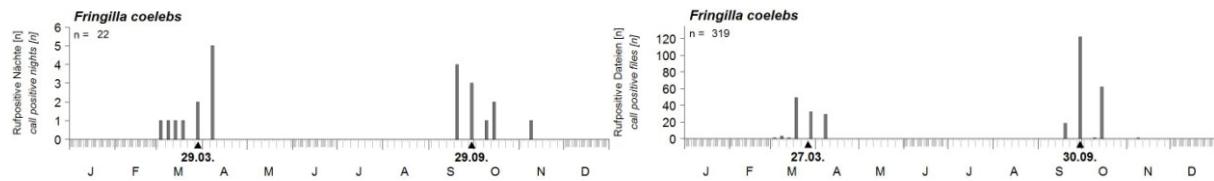


Abbildung 67: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen des Buchfinken *Fringilla coelebs* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Im Herbst sind die Unterschiede in der geschlechterabhängigen Zugterminierung nicht so groß und die Weibchen (Median nach Fang 05.10., HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004) ziehen dann den Männchen voran (Median 08.10.). Zusätzlich findet im Herbst noch altersabhängig gestaffelter Zug statt, wobei die zahlenmäßig stark dominierenden Jungvögel (Median nach Fang 06.10., HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004) früher ziehen als Altvögel (Median 09.10.). Demnach liegen beide Werte zum Vorkommen der Art um FINO 3 mit dem 29.09. (Präsenznächte) bzw. 30.09. (Dateisummen), aber auch diejenigen von FINO 1 (jeweils 01.10., HILL et al. 2014c), jahreszeitlich früh (Abbildung 67). 204 auf FINO 3 aufgezeichnete Rufdateien (97,0 %) wurden während des Wegzugs 2014 verzeichnet, dabei konnte am 30.09. überhaupt erstmals eine dreistellige Dateisumme binnen Nachtfrist ($n = 118$) verzeichnet werden.

Aus den ersten drei Nachtvierteln liegen nur Einzelnachweise des Buchfinks vor, das Gros der Vögel erreichte somit sowohl im Frühjahr als auch im Herbst den Bereich um FINO 3 in den frühen Morgenstunden kurz vor Sonnenaufgang (Abbildung 68).

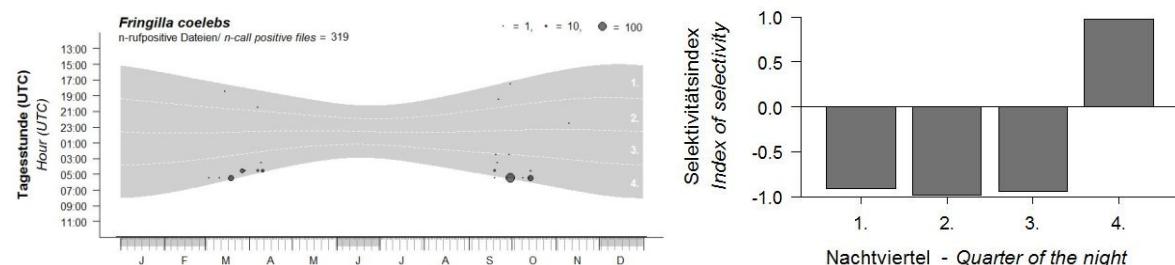


Abbildung 68: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichnete Audiodateien mit Rufen des Buchfinken *Fringilla coelebs* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

Sturmmöwe

Sturmmöwen wurden im Frühjahr zwischen 17.03. und 27.04. festgestellt (Abbildung 69). Die neun Nächte mit Feststellungen (Median der Zugnächte 29.03.) verteilten sich dabei auf die Heimzugperioden 2010, 2011, 2013 und 2014, im Frühjahr 2012 gelangen keine Nachweise. Die Dateisummen erreichten während mehrerer Nächte zweistellige Werte, herausragend waren aber die 94 artpositiven Rufdateien vom 06./07.04.2013. Auf Helgoland fällt der Median des zeitlich komprimierten und zahlenmäßig oft starken Heimzugs der Altvögel auf den 02.04. Der schwächere aber dafür länger anhaltende Zug heimwärts ziehender, vorjähriger Vögel hingegen viel später auf den 05.05. (DIERSCHKE et al. 2011). Das zwischen 2010 bis 2014 erhaltene Datenmaterial zum Sturmmöwenvorkommen um FINO 3 (Median der Rufdateien 06.04.) sollte somit ganz überwiegend Altvögeln zuzurechnen sein und spiegelt das Auftreten der Art um Helgoland hervorragend wider. Auch das phänologische Muster um FINO 1 (HÜPPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c) entspricht denen von FINO 3 und Helgoland, so dass auf ein großräumig angelegtes und über die offene See führendes Phänomen geschlossen werden kann.

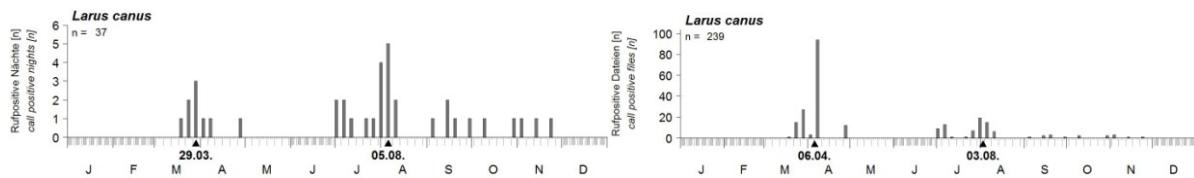


Abbildung 69: Anzahl Nächte (2010-2014; links) bzw. Audiodateien (2010-2014; rechts) mit Rufen der Sturmmöwe *Larus canus* während des Heim- (März bis Mai) bzw. des Wegzugs (Juli bis November) als Pentadensumme. Zu jeder Verteilung ist der Median gegeben.

Auch im Herbst sind hohe Übereinstimmungen an allen drei Standorten festzustellen. Neben dem zahlenmäßig gegenüber dem Heimzug viel schwächer ausgeprägten Wegzug (auf Basis von Rufdateien, auf Basis von Präsenznächten ist der Herbstzug stärker ausgeprägt) ist nur ein leichter Gipfel um die Monatswende Juli/August zu erkennen. Das fast dreißig Jahre umfassende Beobachtungsmaterial von Helgoland zeigt, dass es sich dabei wiederum vorwiegend um Altvögel handelt (DIERSCHKE et al. 2011). Jungvögel dominieren dort Ende August und den September über, und somit zu einer Jahreszeit, in der an allen drei Offshore-Standorten das zahlenmäßige Vorkommen nur sehr schwach ausgeprägt ist. HÜPPPOP et al. (2010) schlussfolgerten aus Beobachtungen an anderen Küstenstandorten wie Sylt und Wangerooge, mit zu dieser Zeit sehr viel höheren Sturmmöwensummen, dass der Wegzug im Spätsommer vornehmlich entlang der Küsten und weniger über die offene See führt. Eine zweite Wegzugswelle setzt auf Helgoland zögerlich ab Ende Oktober ein, ehe spätestens ab November das sehr bedeutsame Offshore-Wintervorkommen während des

Dezembers einsetzt (DIERSCHKE et al. 2011). Diesem Muster entspricht auch das Vorkommen um FINO 1 (HÜPPPOP et al. 2012a, HILL et al. 2014c). Einzelne Winternachweise um FINO 3 deuten selbiges auch für dieses Seegebiet an. Weitere Untersuchungsjahre werden dies zeigen.

Bemerkenswert an diesen hohen Übereinstimmungen ist weiterhin, dass sich das Datenmaterial im Falle von Helgoland auf Planzugbeobachtungen unter Tageslicht gründet, an den beiden Forschungsplattformen jedoch auf akustische Erfassungen während der Dunkelheit. Dies weist auch im Falle nur erfasster Rufe stark auf ziehende Vögel hin und nicht auf solche, die z. B. auf dem Helikopterdeck dauerhaft rasten, wie dies für Großmöwen typisch ist (z. B. HILL et al. 2014c). HÜPPPOP et al. (2012a) werteten Vogelrufe auf FINO 1 durchgehend aus und mussten keine Begrenzung auf die Nachtstunden vornehmen. Unter der Annahme im Tagesgang vergleichbarer Rufaktivität muss dabei von einem Überwiegen von Nacht- gegenüber Tagzug ausgegangen werden, wobei das Verhältnis auf etwa 10:1 zu schätzen ist. DIERSCHKE (2003) schätzte aus langjährigen Planzugbeobachtungen, dass etwa 2,9 % aller nordwesteuropäischen Sturmmöwen Helgoland während des Heimzugs unter Tageslichtbedingungen passieren. HILL et al. (2014b) gehen bei gleicher Methodenwahl von 0,16 % für den Bereich um FINO 1 im Frühjahr aus. Die tatsächliche Passage sollte mithin in beiden Fällen um den Faktor zehn höher liegen.

Innerhalb der Nacht verteilten sich Sturmmöwen nachweise über alle Nachtviertel (Abbildung 70). Dabei ist während der ersten Nachthälfte von ausgeglichener Zugstärke auszugehen, denn die Werte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) liegen im Bereich des Erwartungswertes, sobald tageszeitlich ausgeglichene Rufaktivität angenommen wird (Abbildung 70). Im dritten Nachtviertel waren Sturmmöwen unter-, im letzten Nachtviertel hingegen überrepräsentiert.

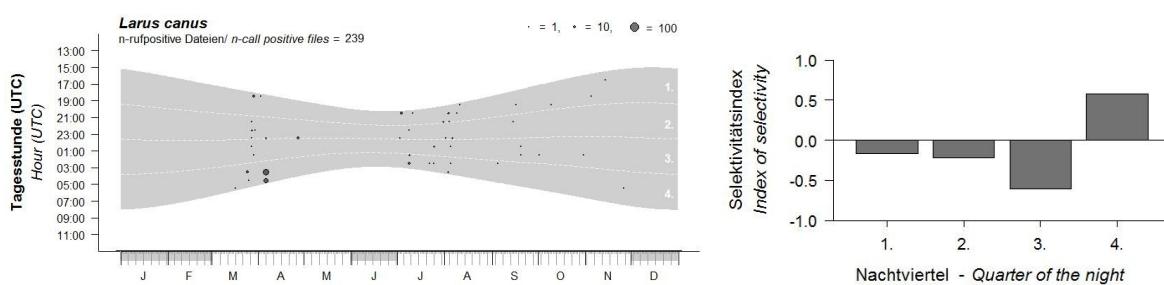


Abbildung 70: Verteilung der nachts in den Zugperioden 2010-2014 aufgezeichnete Audiodateien mit Rufen der Sturmmöwe *Larus canus* (links; Summen aller Jahre je Stunde). Gestrichelte weiße Linien grenzen die Nachtviertel (grauer Bereich) gegeneinander ab. Beachte: Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Die Verteilung innerhalb der Nacht ist über Indexwerte zur Selektivität (nach JACOBS 1974) genauer dargestellt (rechts).

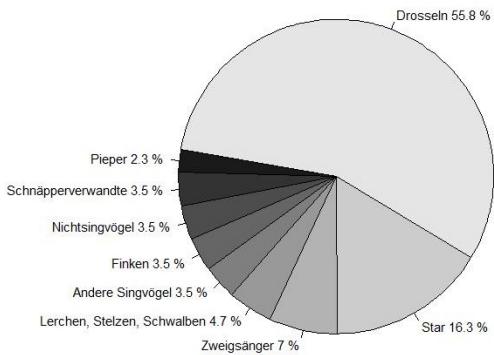
3.1.3 Totfunde

3.1.3.1 Betroffene Arten

Anlässlich der zwischen 28.07.2009 - 31.12.2014 erfolgten 406 Kontrollen wurden 86 tote Vögel aus mindestens 21 Arten auf der Plattform FINO 3 entdeckt (Tabelle 8). Singvögel stellten das Gros kollidierter Vögel und summierten sich zusammen auf 83 Ind. (96,5 %). Mit 48 Fällen handelte es sich bei mehr als der Hälfte der Kadaver um Drosseln (Abbildung 71), wobei Rot- und Wacholderdrosseln mit jeweils 13 Individuen besonders häufig waren. Der Star war die am häufigsten als Kollisionsopfer notierte Art ($n = 14$; 16,3 %). Mit Fitis, Dorngrasmücke *Sylvia communis* und Steinschmätzer waren nur drei Langstreckenzieher im Totfundspektrum vertreten.

Tabelle 8: Arten und Anzahl der zwischen 28.07.2009-31.12.2014 gefundenen Vogelkadaver am Standort FINO 3.

	Art	Anzahl Totfunde	
		[n]	[%]
Mantelmöwe	<i>Larus marinus</i>	1	1,16
Dreizehenmöwe	<i>Rissa tridactyla</i>	1	1,16
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	1	1,16
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	2	2,33
Rauchschwalbe	<i>Hirundo rustica</i>	1	1,16
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	1	1,16
Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>	3	3,49
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	1	1,16
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	14	16,28
Goldhähnchen spec.	<i>Regulus spec.</i>	1	1,16
Wintergoldhähnchen	<i>Regulus regulus</i>	2	2,33
Drossel spec.	<i>Turdus spec.</i>	3	3,49
Amsel	<i>Turdus merula</i>	8	9,30
Ringdrossel	<i>Turdus torquatus</i>	2	2,33
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	13	15,12
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	9	10,47
Rotdrossel	<i>Turdus iliacus</i>	13	15,12
Rotkehlchen	<i>Erithacus rubecula</i>	2	2,33
Steinschmätzer	<i>Oenanthe oenanthe</i>	1	1,16
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	2	2,33
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	1	1,16
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	2	2,33
Erlenzeisig	<i>Carduelis spinus</i>	1	1,16
Gesamt		86	100,00



Totfunde 2009-2014, n = 86
Birds collided 2009-2014, n = 86

Abbildung 71: Anteile der verschiedenen Arten bzw. Artengruppen aller 86 zwischen 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 tödlich kollidierten Vögeln.

3.1.3.2 Phänologie

Zu Kollisionen kam es vor allem zu den Kernzugzeiten der vor allem betroffenen Singvögel (Abbildung 72). Im Juni fehlen Nachweise und noch während des Frühwegzugs im Juli/August waren Funde kollidierter Vögel sehr selten. Das Gros der Kadaverfunde erfolgte später im Herbst binnen zweier Monate von Anfang Oktober bis Ende November mit einer deutlichen Konzentration zur Monatswende. Im Winter wurden Kollisionsereignisse zwar nur selten notiert, umfassten im Januar 2010 während eines Kälteeinbruchs aber gleich neun Wacholderdrosseln. Während des Heimzugs wurden Kadaver zwischen Mitte Februar und Ende Mai über einen ausgedehnten Zeitraum hinweg gefunden, die Mehrzahl entfiel dabei auf die frühe Phase bis Anfang April. In der Gesamtschau wurden auf dem Heimzug weniger Kollisionen verzeichnet als im Herbst.

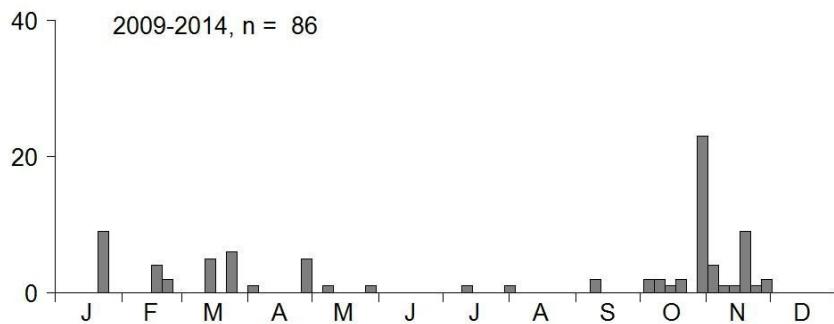


Abbildung 72: Pentadensummen auf FINO 3 zwischen 28.07.2009-31.12.2014 tödlich kollidierter Vögel.

3.1.4 Lichtmessung

Generell konnten in fast allen Nächten beider Zugperioden 2014 Lichtwerte gemessen werden. Einige Nächte wurden auf Grund der in diesen Nächten auf der FINO 3 eingeschalteten zusätzlichen Sicherheitsbeleuchtung (Kap. 2.5) aus weiterführenden Analysen zum Teil ausgeschlossen. Die gemittelten Lichtwerte je Zugnacht im Jahresgang sind Abbildung 19 zu entnehmen, unter Ausschluss von Tageslicht und Sicherheitsbeleuchtung Abbildung 73.

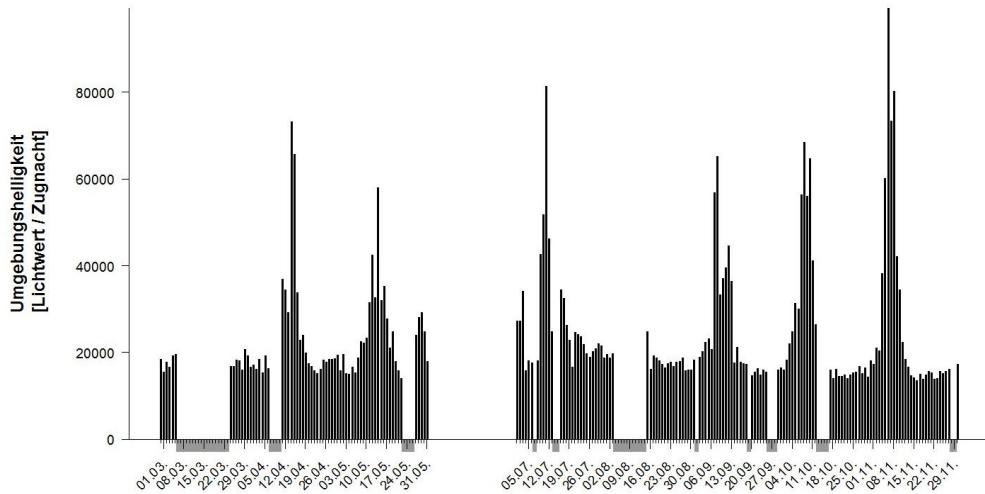


Abbildung 73: Je Zugnacht gemittelter Lichtwert im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser am Standort FINO 3. Es wurden nur Daten aus Vogelzugzeiten dargestellt. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken und Ausschlusstage, an denen die Sicherheitsbeleuchtung der Plattform eingeschaltet war.

Im Allgemeinen gilt, dass die nächtliche Lichtintensität vor allem stark vom Mondlicht und damit von der jeweiligen Mondphase abhängig ist (Abbildung 73). Grafisch gut zu erkennen sind die Vollmondnächte am 15.04., 14.05., 12.07., 09.09., 08.10 und 06.11., die von weiteren relativ hellen Nächten gesäumt werden. Wetterphänomene wie Bewölkung und Regen können die Lichtintensität innerhalb der Nacht deutlich herabsetzen.

Im Jahr 2014 scheinen sich auch jahreszeitliche Aspekte im Vergleich zur Mondphase nur wenig auf die Umgebungshelligkeit auszuwirken. Jedoch lässt sich erkennen, dass die Nächte zum Sommer hin heller werden, während sie im Winter etwas dunkler erscheinen.

Deutlich stärker fallen Unterschiede der Lichtintensität innerhalb der einzelnen Nächte, also tageszeitliche Schwankungen ins Gewicht. So ist erwartungsgemäß die Lichtintensität in den randständigen Nachtvierteln kurz nach Sonnenuntergang bzw. kurz vor Sonnenaufgang jeweils deutlich höher als in den zentralen Nachtvierteln (Abbildung 74). Eine Ausnahme bilden hier jedoch die Nächte rund um Vollmond, in denen die Lichtintensität innerhalb der zentralen Nachtviertel gegenüber den randständigen nur wenig absinkt.

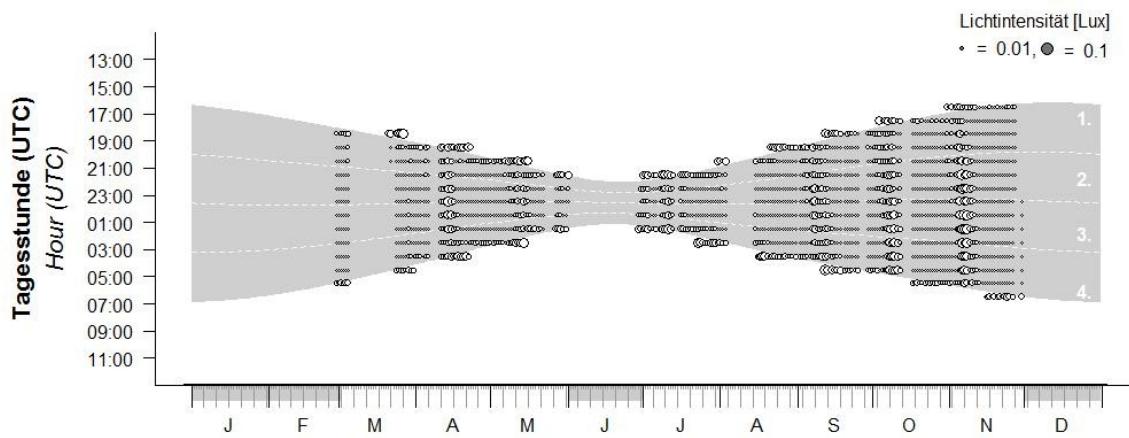


Abbildung 74: Stundenscharfe Lichtintensität in Lux im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser am Standort FINO 3.Nächte, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO brannte, sind nicht enthalten. Das graue Polygon kennzeichnet die Dunkelphase. Für jeden Stundenwert gemessener Lichtintensität ist eine eindeutige Zuweisung zu einer Nachtphase (in Vierteln; gestrichelte Linien) möglich. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Zeiträume außerhalb der Zugperioden, die gemäß StUK 4 nicht ausgewertet wurden. Beachte: Die Messpunktgröße ist wurzeltransformiert dargestellt.

3.1.5 Video

3.1.5.1 Erfasste Arten

Trotz der Beschränkung auf Tageslicht, der nur aus dem nahen Plattformumfeld stammenden Stichprobe und in einigen Jahren erheblichen Systemausfallzeiten (Kap. 2.3.3; AUMÜLLER et al. 2012), konnte auf FINO 3 im ganzjährigen Erfassungszeitraum vom 28.07.2009 bis zum 31.12.2014 Vogelpräsenz auf 18.337 Videobildern verzeichnet werden. Bis zum 31.05.2015 waren es schließlich 18.449 vogelpositive Videobilder. Dabei gelangen Nachweise zu 32 Arten (Tabelle 9). Gegenüber der von AUMÜLLER et al. (2012) für den Zeitraum bis 30.06.2012 genannten Artensumme bedeutet dies einen Zuwachs um fünf Arten oder eine mittlere Zuwachsrate um 0,8 Arten je Zugperiode. Alljährliche Feststellungen gelangen für die Großmöwenarten Herings-, Mantel- und Silbermöwe *L. argentatus* (Tabelle 9).

Tabelle 9: Liste über die Videoerfassung zwischen 28.07.2009-30.06.2015 nachgewiesener Vogelarten am Standort FINO 3.

Art		Jahr						Gesamt -zeit- raum
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Dunkler								
Sturmtaucher	<i>Puffinus griseus</i>			x				x
Basstölpel	<i>Sula bassana</i>	x	x	x		x		x
Kormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	x	x					x
Kornweihe	<i>Circus cyaneus</i>				x			x
Sperber	<i>Accipiter nisus</i>	x						x
Fischadler	<i>Pandion haliaetus</i>	x	x					x
Turmfalke	<i>Falco tinnunculus</i>			x				x
Wanderfalke	<i>Falco peregrinus</i>	x						x
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	x						x
Waldschneepfe	<i>Scolopax rusticola</i>				x			x
Skua	<i>Stercorarius skua</i>		x					x
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>		x	x		x		x
Heringsmöwe	<i>Larus fuscus</i>	x	x	x	x	x	x	x
Silbermöwe	<i>Larus argentatus</i>	x	x	x	x	x	x	x
Mantelmöwe	<i>Larus marinus</i>	x	x	x	x	x	x	x
Dreizehenmöwe	<i>Rissa tridactyla</i>		x	x	x	x	x	x
Brandseeschwalbe	<i>Sterna sandvicensis</i>	x	x					x
Straßentaube	<i>Columba I. domestica</i>	x		x		x		x
Hohltaube	<i>Columba oenas</i>	x						x
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	x						x
Mauersegler	<i>Apus apus</i>	x			x	x		x
Rauchschwalbe	<i>Hirundo rustica</i>	x	x	x				x
Mehlschwalbe	<i>Delichon urbica</i>		x					x
Hausrotschwanz	<i>Phoenicurus ochruros</i>		x					x
Neuntöter	<i>Lanius collurio</i>		x					x
Dohle	<i>Corvus monedula</i>	x	x					x
Rabenkrähe	<i>Corvus corone corone</i>			x				x
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	x	x	x	x		x	x
Bergfink	<i>Fringilla montifringilla</i>	x						x
Bluthänfling	<i>Carduelis cannabina</i>			x				x
Schneeammer	<i>Plectrophenax nivalis</i>		x					x
Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>		x					x
Anzahl		6	20	15	12	8	8	32

Es konnte aber nur ein kleiner Teil der bildlich „eingefangen“ Vögel bis auf Artniveau bestimmt werden (Abbildung 75), was die Zahl an Freiheitsgraden methodenspezifisch einschränkte. Für die geringe Anzahl besonders stetiger Vogelarten dürften weiterhin natürlicherweise auftretende Schwankungen in der periodischen Vogelzugintensität (vgl. z. B. HÜPPPOP et al. 2010, 2012a, HILL et al. 2014c) ebenso ursächlich sein, wie hohe

zwischenjährliche Unterschiede im Beprobungsaufwand aufgrund von Systemausfallzeiten (Kap. 2.3.3). Die zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren differierende Summe registrierter Arten ist somit in unbekanntem Maße methodisch beeinflusst. Es konnten jahrweise zwischen sechs (2009) und 20 (2010) Arten erkannt werden (Tabelle 9).

Im Gegensatz zur nächtlichen Erfassung von Vogelrufen stellten Nichtsingvogelarten mit 21 rund zwei Dritteln der festgestellten Arten und sind somit überrepräsentiert (vgl. Kap. 3.1.2.1). Körperlich kleine Singvogelarten wurden über elf Arten vergleichsweise selten erfasst und innerhalb der notierten Nichtsingvogelarten fällt die Anzahl besonders großwüchsiger Arten wie z. B. Basstölpel, Kormoran *Phalacrocorax carbo* oder Fischadler *Pandion haliaetus* auf. Vor diesem Hintergrund ist das Fehlen von Gänsen oder bemerkenswert. Hoch ist der Anteil nicht erkannter Arten einzuschätzen, denn viele vogelpozitive Bilder konnten nicht bis auf Artniveau bestimmt werden (Abbildung 75). Bei der methodenspezifischen Artenliste in Tabelle 9 handelt es sich um Mindestzahlen nachgewiesener Arten.

Bis zum 31.12.2014 entfiel das Gros vogelpozitiver Bilder auf Möwen (14.824, 80,4 %; Abbildung 75). Zusätzlich dürften auch Bilder mit unbestimmt gebliebenen Vögeln weitgehend Möwen zuzurechnen sein (vgl. HILL et al. 2011). Die Gesamtphänologie zum Auftreten von Vögeln spiegelt somit vor allem Möwenvorkommen wider. Auf FINO 1 wurden für den untersuchten Zeitraum vom 01.03.2008 - 31.12.2012 Ähnliches festgestellt (Anzahl möwenpositiver Bilder = 55.430, 85,5 %; HILL et al. 2014c). Möwen nutzen beide Plattformen regelmäßig zur Rast und fliegen diese gezielt an (z. B. HÜPPPOP et al. 2009, HILL et al. 2014c). Um diese Vorkommen möglichst großräumig in ihrem phänologischen Muster betrachten zu können, werden die Ergebnisse zu verschiedenen Taxa an beiden Plattformen nebeneinander betrachtet. Dabei ist es zulässig auf Möwensummen zu schließen, denn die Positivbildrate korreliert mit dem Rastbestand auf dem Helikopterdeck (AUMÜLLER et al. 2012, HILL et al. 2014c).

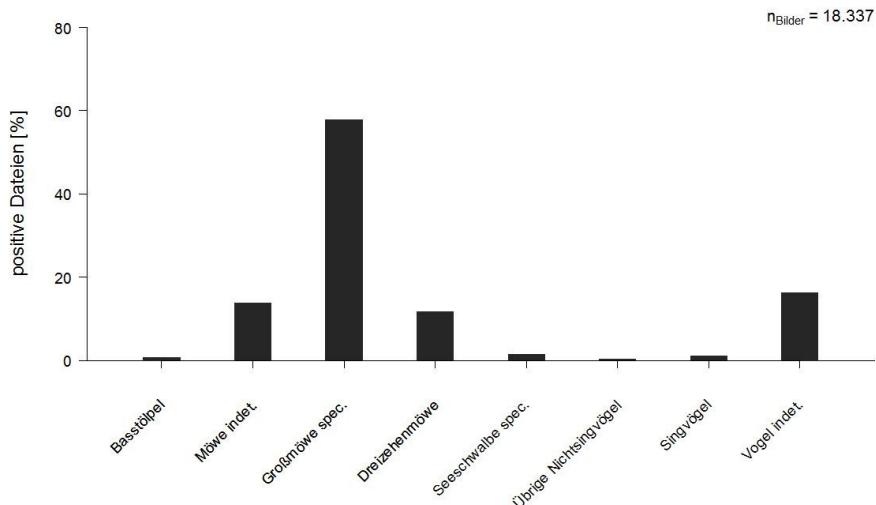


Abbildung 75: Anteile art-(gruppen)positiver Videobilder am Gesamtaufkommen von Vogelbildern zwischen 28.07.2009-31.12.2014 am Standort FINO 3. Beachte: Mehrfachnennungen möglich.

Auf FINO 3 erlaubte das Bildmaterial in 83,0 % der Fälle genauere Angaben zur Gattungs- bzw. Artzugehörigkeit der erfassten Möwen, auf FINO 1 betrug die Quote 83,9 %. An beiden Standorten dominierten Großmöwen. Auf 71,6 % (FINO 3) bzw. 77,3 % (FINO 1) aller Möwenbilder konnten Großmöwen erkannt werden. Auch Dreizehenmöwen waren häufig und wurden auf 14,5 % (FINO 3) bzw. 11,3 % (FINO 1) der möwenpositiven Bilder bestimmt.

3.1.5.2 Phänologie

An beiden Plattformen ist während des gesamten Jahresgangs unter Tageslichtbedingungen mit der Präsenz von Vögeln im direkten Plattformumfeld zu rechnen (Abbildung 76). Der Anteil von Bildern mit Vögeln variierte zwischen den Pentaden auf beiden Plattformen stark und reichte im Falle von FINO 3 von 0,4 % vogelpositiven Bildern (10. Jahrespentade im Februar) bis hin zu 20,5 % (32. Jahrespentade im Juni), auf FINO 1 von 2,9 % (3. Jahrespentade im Januar) bis zu 58,3 % (49. Jahrespentade zur Monatswende August/September).

An beiden Orten nimmt die Vogelzahl ab Ende Mai zu (Abbildung 76). Spätestens ab Anfang Oktober, dem in der Regel zugintensivsten herbstlichen Vogelzugmonat, sinkt die Anzahl von Vogelbildern wiederum drastisch. Dazwischen erstreckt sich in beiden Fällen das Schwerpunkt vorkommen von Vögeln über die Sommermonate hinweg. Die phänologischen Jahresmuster sind somit an beiden Standorten kaum mit den klassischen Vogelzugperioden in Einklang zu bringen.

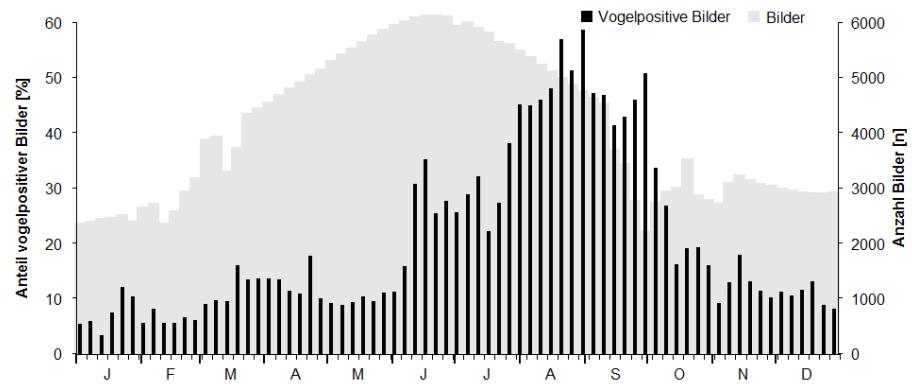
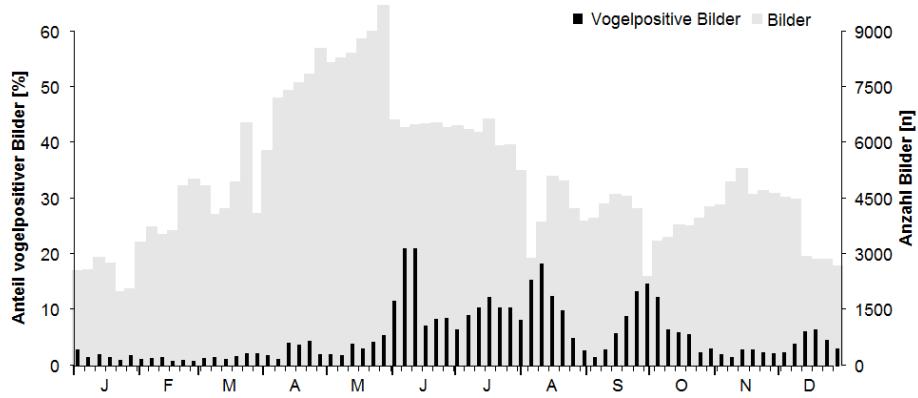


Abbildung 76: Anteile vogelpositiver Videobilder vom 28.07.2009-31.05.2015 auf FINO 3 (oben; n = 18.449) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 64.824) je Pentade. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert aus allen Jahren (rechte Ordinate). Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).

Großmöwen wurden jeweils über das gesamte Jahr hinweg nachgewiesen, waren aber während des Winterhalbjahres zwischen November bis April vergleichsweise selten (Abbildung 77). Während dieses Zeitraums wiesen die Bilder je Pentade mittlere 2,7 % (FINO 1) bzw. 0,4 % (FINO 3) Positivbilder auf.

Ab Mitte Mai änderte sich das Auftreten von Großmöwen an beiden Standorten nachhaltig und erreichte fortan ein viel höheres Niveau. Bereits in der 32. Pentade (Anfang Juni) wurde auf FINO 3 das Jahresmaximum erreicht (18,4 % Positivbilder), auf FINO 1 lässt sich ein erstes Zwischenmaximum für die 34. Pentade ablesen (Mitte Juni, 29,2 % Positivbilder). Ein weiteres, schwach bis mäßig konturiertes Zwischenmaximum fiel an beiden Standorten übereinstimmend in die 39. Pentade um Mitte Juli. Die Frequenzwerte waren dabei um FINO 3 mit 7,7 % Positivbildern wieder wesentlich niedriger als um FINO 1 (26,0 % Positivbilder). Hernach entwickelten sich die Trends gegenläufig. Während im SW der Deutschen Bucht um FINO 1 die Zahlen im weiteren Verlauf des Julis und den August über stark zunahmen und ihren Jahreshöchststand mit 46,7 % Positivbildern (49. Pentade) Ende

August/Anfang September erreichten, verringerten sie sich im NE der Deutschen Bucht um FINO 3 währenddessen trotz zeitweiliger Trendumkehr während der ersten Augusthälfte, ehe hier Anfang September kaum noch Vögel anwesend waren. Ab Anfang September sanken auch die Großmöwensummen um FINO 1.

Zwischen Mitte September und Mitte Oktober ergab sich nochmals ein abgrenzbares Vorkommen um FINO 3. Dieses kulminierte zur Monatswende zwischen der 54.-56. Pentade (Maximal 10,8 % Positivbilder, 54. Pentade), machte sich bei Systemausfallzeiten zur relevanten Zeit in 2009, 2011 und 2013 aber nur in den Jahren 2010, 2012 und 2014 bemerkbar (s. Anhang; Abbildung 147). Um FINO 1, wo zu dieser Zeit das noch immer starke, aber mittlerweile in deutlicher Abnahme begriffene Vorkommen bestand, stiegen die Großmöwensummen kurzzeitig wieder an. Zeitlich korrespondiert dieses Zwischenmaximum (Maximal 33,7 % Positivbilder, 55. Pentade) zur Region um FINO 3 und war in allen Untersuchungsjahren stabil ausgeprägt.

Im Verlauf des weiteren Oktobers sanken die Großmöwenzahlen an beiden Standorten parallel, ehe Ende Oktober das niedrige Winterniveau erreicht wurde.

Für das Kernvorkommen von Großmöwen im Bereich der Deutschen Bucht lassen sich somit zwei distinkte Phasen abgrenzen: Von Mitte Mai (27. Pentade) bis Mitte Juli (39. Pentade) fluktuiert das Vorkommen zeitlich parallel über große Meeresareale, wie die Übereinstimmung an der im NE der Deutschen Bucht gelegenen FINO 3 mit der im SW gelegenen FINO 1 zeigen. Danach entwickeln sich die Vorkommen auseinander und bilden zur Monatswende August/September einen maximalen Kontrast, wonach im SW so viele Vögel wie zu keinem anderen Zeitpunkt im Jahresgang anwesend sind. Demgegenüber ist dann Großmöwenpräsenz im NE stark reduziert und erreicht mit Septemberbeginn über 0,5 % Positivbilder typische Winterwerte. Mit Abflauen des letzten Maximums im Jahresgang zur Monatswende September/Oktober stellt sich wieder ein zeitlich synchrones Muster zum Vorkommen an beiden Standorten ein.

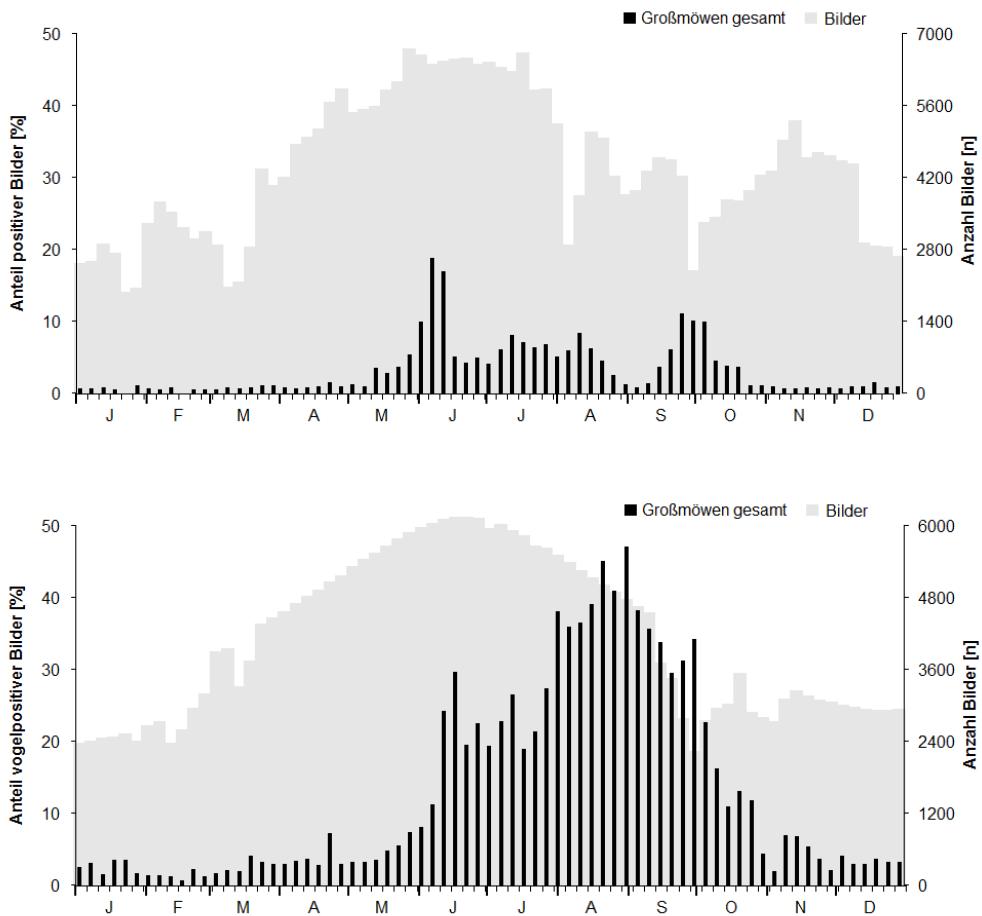


Abbildung 77: Anteile Großmöwen *Larus*-positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 10.606) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 42.850) je Pentade. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert aus allen Jahren (rechte Ordinate). Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).

Während des gesamten Jahresgangs sind Großmöwen um FINO 1 zahlreicher als auf FINO 3, wie anhand vergleichender Gegenüberstellung der Raten von Positivbildern je Pentade zu erkennen und über eine positive lineare Korrelation zwischen Rastbestand auf dem Heliokopterdeck und Positivbildrate videoerfasster Großmöwen gesichert ist (AUMÜLLER et al. 2012). Die nur am Standort FINO 3 neu berücksichtigten Jahre 2013 und 2014 lassen schwache Großmöwenvorkommen erkennen (s. Anhang, Abbildung 147).

Die vorangegangenen Schilderungen werfen Fragen dazu auf, welcher qualitativen Natur das Schwerpunkt vorkommen im Sommerhalbjahr ist und welchen Phänomenen es im Jahreszyklus der beteiligten Arten entspringt.

Bei den Großmöwen handelte es sich um die nicht im Rahmen eines Routineverfahrens zu differenzierenden Arten Herings-, Mantel- und Silbermöwe. Bilder, auf denen trotz der nicht

standardisiert durchführbaren Großmöwenbestimmung eine sichere artliche Zuordnung möglich war, eignen sich für die Interpretation jahreszeitlicher Aspekte. Silbermöwen – deren Altvögel sich ebenso wie ältere Jugendstadien i. A. gut durch die hellgraue Oberseite von ihren dunkelrückigen Verwandten abheben – waren sehr selten. Insbesondere zwischen Mai und Oktober hatten Silbermöwen nachweise auf beiden Plattformen Ausnahmeharakter, was zeigt, dass Angaben zur Kategorie „Großmöwe“ v.a. Herings- und Mantelmöwen betreffen.

Für den sommerlichen Zeitraum ergaben schiffsgestützte Erfassungen von Seevögeln für den gesamten Seebereich der Deutschen Bucht ein Verhältnis von 30:1 Herings- vs. Mantelmöwen (Kalkulierter Möwenbestand: 45.000 Heringsmöwen, 1.500 Mantelmöwen) bzw. sogar 58:1 für den eigentlichen Offshore-Bereich der AWZ (Kalkulierter Möwenbestand: 29.000 Heringsmöwen, 500 Mantelmöwen) mit den Bereichen um FINO 1 und FINO 3 (GARTHE et al. 2007). Gleichmäßig gering ist auch der Bestand an immaturen (noch nicht ausgewachsenen), übersommernden Mantelmöwen von Mai bis Juli auf Helgoland (DIERSCHKE et al. 2011). Auch von den wenigen über den Sommer hinweg über die Videoerfassung eindeutig bestimmbaren Großmöwen entfiel das Gros auf Heringsmöwen.

Werden die Häufigkeitsmuster mit der **Heringsmöwen-Phänologie** anderer Offshore-Standorte verglichen, offenbaren sich Parallelen: Auf Helgoland fiel für den noch wenig durch inseleigene Brutvögel beeinflussten Zeitraum zwischen 1989-2001 „schon ab Ende Mai ein Sommervorkommen [...] für das große abendliche Ansammlungen v.a. an der Stränden der Düne typisch sind“ auf (DIERSCHKE et al. 2011). Die Autoren schlossen darauf, dass „neben durchziehenden Vögeln daher wohl zu einem großen Teil solche Heringsmöwen zu Gast [sind], die tagsüber in der weiteren Umgebung Nahrung gesucht haben“. Zuvor waren solche Ansammlungen während der 1970er Jahre auf Helgoland noch nicht zu erkennen, und die Brutbestände der erst ab 1927 kolonisierten südlichen Nordseeküste waren zu dieser Zeit noch gering (PRÜTER 1983).

Kolonieangehörige der heutzutage stark besiedelten südlichen Nordseeküste unternehmen somit während der Brutzeit offenbar Nahrungsflüge bis weit auf See hinaus. Tatsächlich ist die Verbreitung der Heringsmöwe im Gegensatz zu den anderen brütenden Möwenarten des Wattenmeeres stark von den Kolonien losgelöst, und es existieren während der Sommermonate ausgedehnte Offshore-Vorkommen nahe oder jenseits der 12-Seemeilen-Zone, wo die Tiere vielfach hinter Fischereifahrzeugen Nahrung aufnehmen (z. B. KUBETZKI & GARTHE 2003, SCHWEMMER & GARTHE 2005). Nahrungsflüge und Rastereignisse auf See durch niederländische Kolonievögel wurden kürzlich von SHAMOUN-BARANES et al. (2011) durch mit GPS-Sendern ausgestattete Individuen detailliert analysiert. Obwohl seewärts gerichtete Nahrungsflüge im Mittel nur 7,9 h (\pm 9,0 h SD) betrugen, währten Flüge bis hin zu mehreren Tagen, und es wurden Distanzen von über 80 km vom

Neststandort bewältigt. Damit liegen die Plattformen in Reichweite von Kolonienstandorten: FINO 3 im Einzugsbereich von Brutvögeln der Westküste Schleswig-Holsteins oder Dänemarks, wo besonders große Kolonien z.B. auf Amrum existieren (GARTHE et al. 2000), FINO 1 im Einzugsbereich von Brutvögeln der niedersächsisch/niederländischen Nordseeküste mit besonders kopfstarken Ansiedlungen z. B. auf Spiekeroog und Norderney (KRÜGER et al. 2014). Auf im Offshore-Bereich liegende Hauptnahrungsquellen konnte über die Analyse von Speiballen für Amrumer Brutvögel geschlossen werden. Diese enthielten Überreste solcher Fisch-, Muschel- und Krebsarten, die nicht im eigentlichen Wattenmeer zu finden sind (GARTHE et al. 1999). Auch für die mittlerweile zahlreichen Helgoländer Brutvögel konnten Nahrungsflüge mit erheblichen zurückgelegten Gesamtdistanzen von 200 km nachgewiesen werden, obwohl nach Entfernung und eingeschlagener Richtung der (noch wenigen) untersuchten Vögel weder das Seegebiet um FINO 3 noch dasjenige um FINO 1 eine nennenswerte Bedeutung für diese Vögel haben sollten (MENDEL & GARTHE 2010).

Auf beiden Plattformen konnte keine standardisierte Altersbestimmung der rastenden (Helikopter-Landedeck-Webcam) und/oder im direkten Plattformbereich umherfliegenden Vögel (Videoerfassung) vorgenommen werden. Zahlreiche Bemerkungen wie z. B. „überwiegend adulte Vögel“ oder „nur sehr wenige immature Vögel“ zu den zwischen Mai und Juli aufgenommenen Bildern deuten aber auf die Beteiligung zahlreicher Brutvögel umliegender Küsten an den Sommervorkommen hin. Erheblich weniger beteiligt scheinen jüngere, noch nicht geschlechtsreife Übersommerer.

Die verschiedenen und von Jahr zu Jahr an beiden Standorten wiederkehrend erkennbaren Gipfel im Sommerauftreten lassen sich plausibel erklären, sobald brutbiologische Parameter berücksichtigt werden. In Mitteleuropa ist der Zeitpunkt der Haupteiallage auf Mitte Mai terminiert (BAUER et al. 2005). Mit der Eiablage finden die territorialen Auseinandersetzungen um den Neststandort ihr Ende, und die Anwesenheit eines zukünftigen Elterntieres am Nest sollte vorübergehend entbehrlich sein. Ein Partner der abwechselnd am Brutgeschäft teilhabenden Vögel fände also die Zeit, ein zwar weiter entferntes aber vielleicht besonders profitables Nahrungsgebiet zum Fressen aufzusuchen zu können. Schlagartig setzt zu dieser Zeit das Sommervorkommen im NE der Deutschen Bucht um FINO 3 ein, und auch im SW der Deutschen Bucht steigen die Detektionsraten ab diesem Zeitpunkt auf FINO 1 kontinuierlich an (s.o.). In beiden Bereichen werden kurz nacheinander erste Vorkommensmaxima Anfang/Mitte Juni erreicht.

Bei einer Brutdauer von 26 bis 31 Tagen (BAUER et al. 2005) fällt die Zeit neuerlich starker Bindung der Altvögel an das Nest – der Schlupf der Küken – auf Mitte Juni. Nimmt man als mittleren Eiablagetermin den 15. Mai an, errechnen sich Hauptschlupftermine zwischen dem 10. und 15. Juni während der 33./34. Pentade. An beiden Standorten ließ sich ab dieser Zeit ein schneller Rückgang in der Heringsmöwen-Präsenz beobachten, der in vergleichsweise

geringen Häufigkeitswerten im weiteren Juni mündete. Die Kükenschlupfphase erfordert aus Ernährungs- wie Schutzgründen die häufige Präsenz der Altvögel im Nestbereich. Kürzere Nahrungsflüge im Küstenbereich scheinen hierzu geeigneter als längere Nahrungsflüge bis in den Offshore-Bereich, selbst wenn sich dadurch höherwertige Nahrung erreichen ließe. Es könnte profitabel sein, während der Brutpflege zunächst die Quantität der Nahrung zu maximieren und nicht die Qualität, denn parallel müssen frisch geschlüpfte Küken ständig gehudert (Thermoregulation) und vor Fressfeinden verteidigt werden.

Über die erste Julihälfte hinweg konnte an beiden Offshore-Standorten ein wiederum synchron ansteigendes Großmöwen-Vorkommen beobachtet werden, wofür sich mehrere erklärende Alternativen anbieten: (1) zunehmende Erschöpfung im Nahbereich der Kolonien vorhandener Nahrung bei gleichzeitig steigendem Bedarf (Kükewachstum), was längere Nahrungsflüge bis in den Offshore-Bereich erzwingen würde. (2) verändertes Maximierungsverhalten hin zu qualitativ höherwertiger Nahrung in der Jungvogelernährung. Der Bedarf zur Altvogel-Anwesenheit am Nest sinkt mit der Befähigung der Küken zur eigenständigen Themoregulation. Das Prädationsrisiko verringert sich infolge höherer Kükenmobilität und -wehrhaftigkeit. Längere Nahrungsflüge in den Offshore-Bereich würden den Altvögeln dadurch ermöglicht. (3) Abwanderung erfolgloser Altvögel aus den Kolonien.

Nach 35-40 Tagen erreichen die Jungvögel die Flugfähigkeit (BAUER et al. 2005). Aus den Angaben zur Eiablage und Bruttäler lässt sich für das Flüggewerden ein Schwerpunktbereich in der zweiten Julihälfte (40./41. Pentade) bestimmen. Zur Zeit des Flüggewerdens herrscht wiederum Hochbetrieb mit starker Altvogelpräsenz in den Kolonien (eig. Beob.), was gut zum beobachteten Absinken der Detektionsraten in dieser Zeit an den beiden Offshore-Standorten korrespondiert.

Die sich anschließende Abwanderung aus den Kolonien, das Dispersal, führt von nun an (41. Pentade) zu einer sukzessiven Akkumulation von Heringsmöwen im SW der Deutschen Bucht, wie die bis zur Monatswende August/September stark zunehmende Häufigkeit auf FINO 1 zeigt. Diesjährige Jungvögel werden hier spätestens ab Anfang August regelmäßig beobachtet (Methode Seawatching nach StUK; eig. Beob.). Dass es sich um eine großangelegte Verlagerung nach SW aber auch S handelt, zeigen die zu dieser Zeit kontinuierlich abnehmenden Zahlen im NE auf FINO 3 bzw. das Auftreten der größten Rastbestände in der zweiten Augusthälfte auf Helgoland (DIERSCHKE et al. 2011). Stellvertretend dafür hat ein 2005 gestartetes Farbringprojekt gezeigt, dass nach der Brutzeit im schleswig-holsteinischen Wattenmeer erbrütete Heringsmöwen direkt z. B. nach Helgoland gelangen. Bei dieser Verlagerung dürfte es sich schon um einsetzenden Abzug in die südwestlich gelegenen Überwinterungsgebiete handeln. Besonders lang verweilen niederländischen Heringsmöwen gleich zu Beginn des Wegzugs noch vor der niederländischen Küste (KLAASEN et al. 2011). Die untersuchten Vögel zeigten grundsätzlich

die Tendenz zu langem Verweilen (bei großräumigem Umherfliegen) während häufiger Rast in Meeresgebieten entlang der Zugroute, was als Strategie zur Minimierung für den Zug aufzuwendeter Energie interpretiert wurde (KLAASEN et al. 2011).

Der Abzug hiesiger Heringsmöwen aus dem NE-Teil der Deutschen Bucht sollte mit Anfang September weitgehend abgeschlossen sein. Spätestens im Laufe des Oktobers werden auch die südwestlichen Teile von den Vögeln geräumt. Dass sich der Zeitpunkt nicht genauer bestimmen lässt, liegt an einem neuerlichen Großmöweneinflug in das Gesamtgebiet der südlichen Deutschen Bucht ab Mitte September, wie er sich am Datenmaterial beider Standorte ablesen lässt. Auf Helgoland, wo die beiden Arten Herings- und Mantelmöve durch Sichtbeobachter gut auseinander gehalten werden, lässt sich für die zweite Septemberhälfte ein deutlicher Gipfel im Heringsmöwenvorkommen erkennen (DIERSCHKE et al. 2011), der zeitlich genau mit den Verhältnissen auf FINO 3 und FINO 1 zusammenfällt. Dies belegt, dass Heringsmöwen erneut breit angelegt in die Deutsche Bucht einfliegen. Hierfür sind Vögel nordöstlicher Herkunft aus dem fennoskandischen Raum zu vermuten. Heringsmöwen zeigen eine „leap-frog-migration“-Strategie, d.h. nördliche Populationen überwintern am weitesten südlich, müssen also südländlichere Populationen entlang der Zugstrecke überholen (HALLGRIMSSON et al. 2012). Der Bereich der südlichen Deutschen Bucht scheint ein solches Aufeinandertreffen um FINO 1 und für Helgoland zu zeigen, denn zum Zeitpunkt des neuerlichen Einfluges ist der Abzug der hier zuvor aggregierten Brutvögel der südöstlichen Nordsee zwar in vollem Gange, aber noch nicht abgeschlossen. Bis Ende Oktober wird die Nordsee dann bis auf Einzelindividuen vollständig von Heringsmöwen geräumt.

Aufgrund der erwähnten Bestimmungsschwierigkeiten ist ein nicht zu beziffernder Teil der auf FINO 1 und FINO 3 registrierten Großmöwenpräsenz auf **Mantelmöwen** zurückzuführen. Deren Auftreten ist über Bildmaterial belegt, aber ungleich seltener als das der Heringsmöwen (s. o.). Durchzug zumindest südnorwegischer Vögel findet auf Helgoland etwa von Ende August bis Mitte November statt und ist im Oktober am stärksten (DIERSCHKE & LORENZEN 2006). Im Verlauf der Wegzugperiode ist aus diesem Grund mit einem möglicherweise ansteigenden Mantelmöwenanteil im Datenmaterial zur Großmöwenpräsenz zu rechnen, denn auch andernorts, wie im Seegebiet südöstlich von Helgoland, steigen die Individuendichten zwischen August und Oktober (GARTHE 2003). Der Einzug norwegischer Vögel läuft zu Beginn nur zögerlich an, denn der Median nach Ablesungen farbberingter Mantelmöwen mit südnorwegischer Herkunft fällt auf Helgoland auf den 04.10. für jüngere bzw. den 13.10. für ältere Vögel (DIERSCHKE & LORENZEN 2006). Somit ist ein verstärkender Mantelmöwen-Einfluss, besonders während des neuerlichen Großmöweneinflugs ab Mitte September (s. o.), durch Überlagerung mit den zeitlich neu einfliegenden Heringsmöwen anzunehmen. Dies ändert aber nichts an der Annahme, dass

das über Videoerfassung auf FINO 1 und FINO 3 während des Sommerhalbjahrs registrierte Großmöwenvorkommen ganz überwiegend der Heringsmöwe zuzurechnen ist.

Neben Großmöwen traten an beiden Standorten **Dreizehenmöwen** häufig in unmittelbarer Plattformnähe auf. Ebenso wie bei den Großmöwen wurden Annäherungen bei Dreizehenmöwen ganzjährig registriert (Abbildung 78). Als weitere Übereinstimmung konzentrierte sich das Kernvorkommen dieser Art vor allem im Sommerhalbjahr, setzte aber an beiden Standorten erst Mitte Juni und damit rund einen Monat später als dasjenige der Großmöwen ein. Fortan frequentierten Dreizehenmöwen die Standorte in steigender Häufigkeit, so dass sich im Laufe des Augusts jeweils das Maximum des Vorkommens ergab. Bereits in der zweiten Augusthälfte sanken die Werte zur Häufigkeit um FINO 3 wieder, auf FINO 1 hielt sich das Präsenzniveau des Augusts noch während des Septembers. Auch für die erste Oktoberhälfte wurde verstärkte Annäherung auf FINO 1 deutlich, auf FINO 3 fehlten zu dieser Zeit nennenswerte Vorkommen.

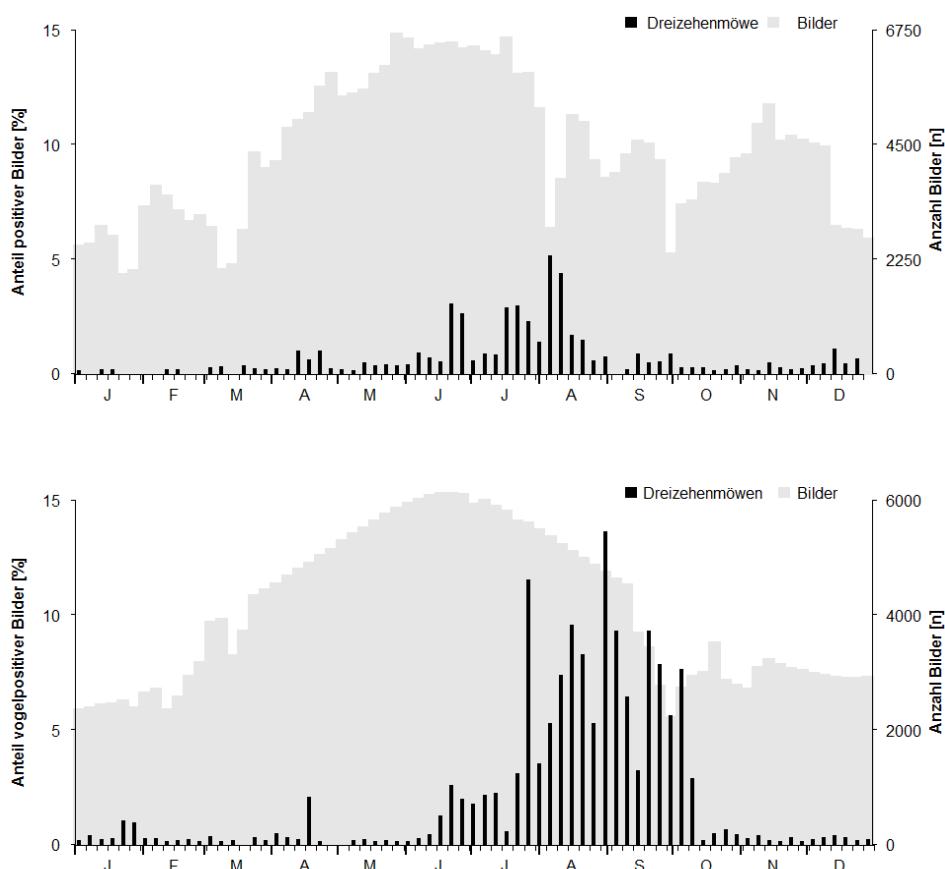


Abbildung 78: Anteile Dreizehenmöwen *Rissa tridactyla*-positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 2.145) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 6.271) je Pentade. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert aus allen Jahren. Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).

Ganz im Gegensatz zu den Verhältnissen bei den Großmöwen variierten die jahreszeitlichen Muster des Auftretens zwischen den Einzeljahren an beiden Standorten immens (s. Anhang, Abbildung 146). Auf FINO 3 waren die Gipfel des Vorkommens jeweils stark von den einzelnen Jahren beeinflusst. Der erkennbare Gipfel in der 35. und 36. Pentade (zweite Junihälfte) betraf v. a. ein massives Vorkommen in 2011, ebenso wie ein ähnlich geartetes Auftreten Mitte/Ende Juli (40. bis 42. Pentade). In etwa gleicher Häufigkeit wurden Dreizehenmöwen während der ersten Augusthälfte (44. und 45. Pentade) in den Jahren 2010 und 2011 registriert. Die in der Gesamtschau leicht erhöhten Dezemberwerte gehen wiederum nur auf Bilder aus dem Jahr 2010 zurück. In den Jahren 2013 und 2014 wurde die Ein-Prozentmarke in keiner einzigen Pentade überschritten. Zweistellige Frequenzwerte von Positivbildern wurden um FINO 3 lediglich im Jahr 2011 erreicht. Auch auf FINO 1 setzt sich die erkennbare Gesamtphänologie des Standortes aus einzelnen, kurzfristig starken Vorkommen aus verschiedenen Pentaden und Jahren zusammen. Dreizehenmöwenpräsenz im Nahbereich der Plattformen ist also temporär und zeitlich wenig vorhersagbar angelegt. Im Jahr 2009 wurden z. B. während keiner Pentade zweistellige Frequenzwerte von Positivbildern erreicht und nur während der 49. Pentade wurde die Ein-Prozentmarke überschritten. Es ist lediglich die Zeitspanne anzugeben, innerhalb derer es zu verstärkter Annäherung von Dreizehenmöwen an die Plattformen kam. Diese umfasst auf FINO 3 Mitte Juni bis Mitte August, um FINO 1 herum erstreckt sie sich darüber hinaus bis Mitte Oktober.

Im Auftreten von **Singvögeln** lassen sich zwei Phasen trennen, die den Heim- und Wegzugzeiten der beteiligten Arten entsprechen. Demnach wurden Singvögel an beiden Standorten einerseits ab Mitte Februar bis Mitte Juni und andererseits ab Ende Juli/Anfang August bis Ende November registriert (Abbildung 79). Dazwischen liegen von beiden Plattformen nur vereinzelt Nachweise während ausgeprägter Kälteeinbrüche im Mittwinter vor, was nahelegt, dass es sich jeweils um typische Kälteflucht gehandelt hat. Registrierungen zwischen Mitte Juni und Mitte Juli sind übereinstimmend selten. Der Heimzug gipfelte jeweils Ende April. Frühwegzug zwischen Ende Juli und Mitte September trat an beiden Plattformen kaum in Erscheinung. Ende September wird jeweils ein Anstieg ersichtlich. Im Oktober war die Nachweisdichte in beiden Fällen erhöht, ab Mitte November gingen die Raten von Positivbildern wieder zurück. Die Positionierung von Schwerpunkten stimmt gut mit Informationen von Helgoland überein, was besonders für die Muster von Kurz- und Mittelstreckenziehern gilt (vgl. HÜPPOP & HÜPPOP 2004, HÜPPOP & HÜPPOP 2011).

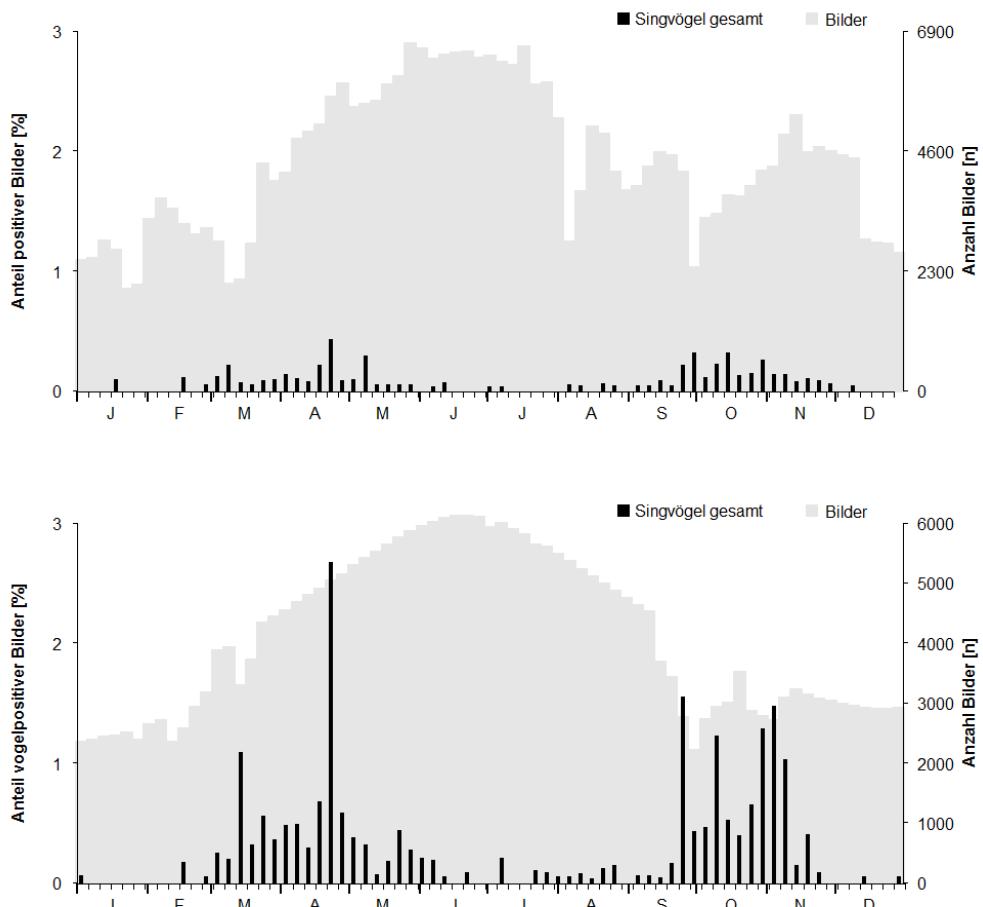


Abbildung 79: Anteile Singvogel-positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 193) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 787) je Pentade. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert aus allen Jahren. Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).

An beiden Standorten erfolgten Nachweise in allen Tageslichtvierteln (Abbildung 80). Die Prüfung der Verteilung der Nachweise im Tagesgang (s. Kap. 2.6.5), ergab während der ersten Jahreshälfte an beiden Plattformen leicht negative Indexwerte zur Selektivität während randständiger Tageslichtviertel (Abbildung 81). Umgekehrt konnte auf leicht überproportionale Registrierungen rund um die Tagesmitte geschlossen werden. Alle Werte weichen aber nur leicht von 0 ab, liegen also nahe am Erwartungswert für Gleichverteilung. Anders ist dies während der zweiten Jahreshälfte, währenddessen Singvogelpräsenz ausgehend vom ersten Tagesviertel mit überproportionaler Nachweishäufigkeit über den Tag hinweg abnahm (Abbildung 81). Für das letzte Tagesviertel ergeben sich besonders stark negative Indexwertwerte.

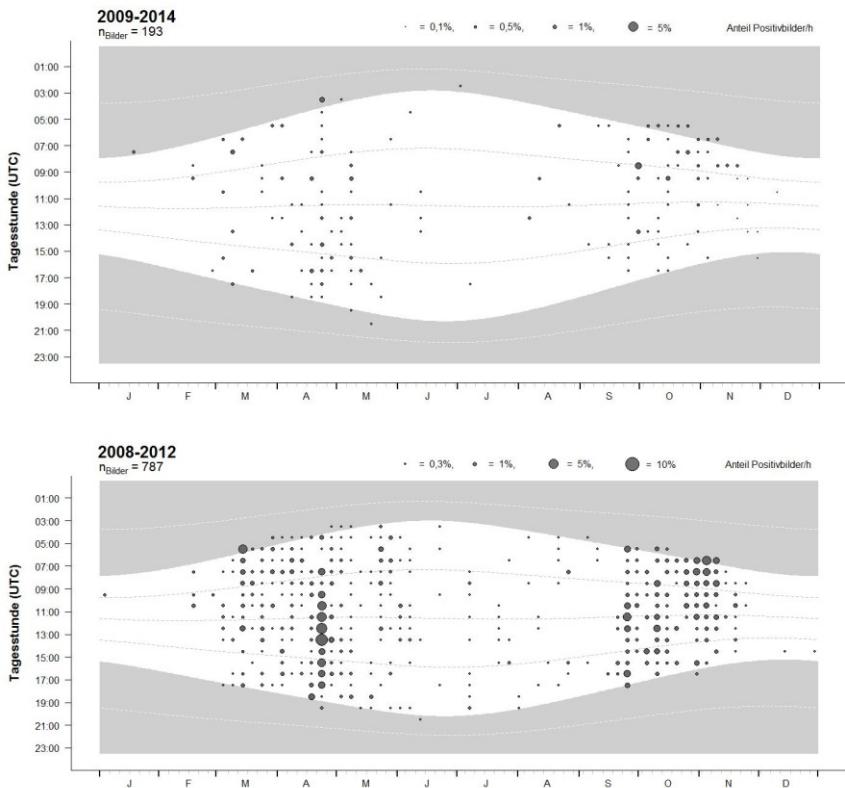


Abbildung 80: Anteile Singvogel-positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 (oben; n = 193) und zwischen 01.03.2008-31.12.2012 auf FINO 1 (unten; n = 787) im Tages- und Jahresgang. Bilder wurden unter Tageslicht oberhalb eines Sonnenstandes von 9° unter Horizont berücksichtigt.

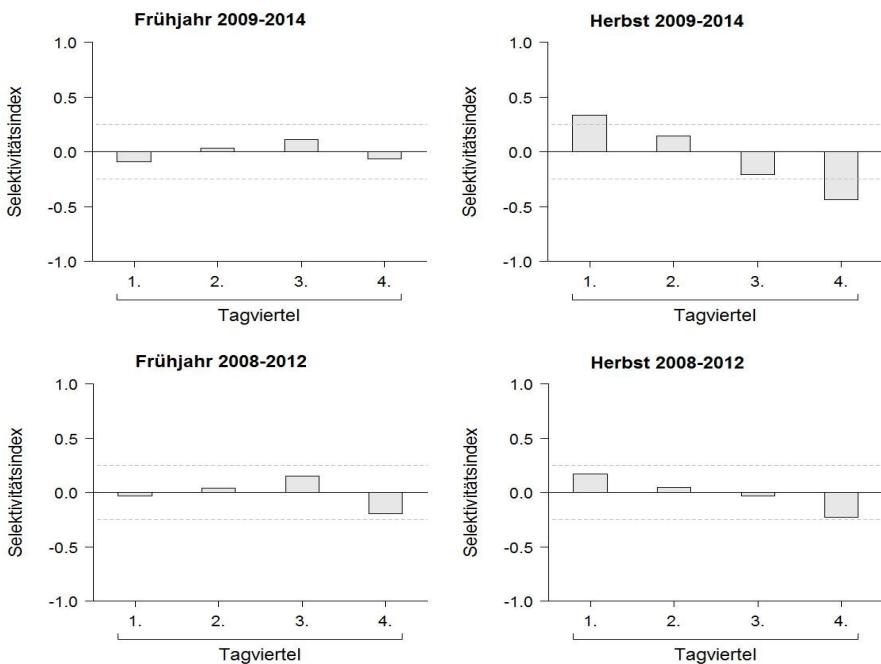


Abbildung 81: Tageszeitliche Verteilung mittels Videotechnik erfasster Singvögel an den Plattformen FINO 3 (n = 193; oben) und FINO 1 (n = 787; unten). Dargestellt sind Indexwerte zur Selektivität nach JACOBS (1974), getrennt nach erster (jeweils links) und zweiter (jeweils rechts) Jahreshälfte. Die Tageslichtphase oberhalb eines Sonnenstandes von 9° unter Horizont wurde in Viertel unterteilt und singvogelpositive Bilder gemäß Aufnahmezeit zugeordnet.

3.2 Vogelzugmuster am Standort FINO 3: Änderungen durch den Bau von DanTysk?

Um der Frage nachzugehen, in wie weit ein Offshore-Windpark zu Änderungen im Auftreten von Zugvögeln führen kann, wurden die an FINO 3 vor Bau des Windparks *Dan Tysk* (2009-2012) erhobenen Daten zum Auftreten von Vögeln in Raum und Zeit (Kap. 3.1) im Rahmen eines Vorher-Nachher-Vergleichs (BAC; Kap. 2.6.2) den Daten aus der Bau- bzw. Betriebsphase (2013-2015) gegenüber gestellt.

3.2.1 Nächtliche Rufraten vor und nach Bau von Dan Tysk (BAC)

Der Vergleich von Rufraten erfolgte nur für die Drosseln, die die überwiegende Mehrheit aufgezeichneter Rufe aus dem unmittelbaren Plattformbereich stellen (Kap. 3.1.2.1). Berücksichtigt wurden nur Annäherungssereignisse einer Mindeststärke von ≥ 10 rufpositiven Dateien je Nacht.

Zwölf Annäherungssereignissen während der drei Heimzugperioden ab 2013 stehen zehn Annäherungssereignisse aus den vier Heimzugperioden zwischen 2010-2012 gegenüber. Zwischenjährliche Variabilität (Kap. 3.1.2.2) und Lücken in der Beprobung (Kap. 2.2.3) machen Rückschlüsse auf eine veränderte Zahl von Annäherungssereignissen unmöglich. Die mittlere Stärke der Annäherungssereignisse ist indes weitgehend robust gegenüber den genannten Einflussgrößen und lässt keine Unterschiede erkennen (Poissonmodell, Likelihood-Ratio-Test [LRT]: $\chi^2 = 0,05$; FG = 1; p = 0,827, Abbildung 82): Im Zeitraum bis 2012 wurden im Mittel 14,2 Drossel-Dateien (Median = 5,4, 1.845 Dateien) je Stunde*Annäherungssituation gegenüber mittleren 14,4 Drossel-Dateien (Median = 4,8, 1.911 Dateien) je Stunde*Annäherungssituation aus dem Zeitraum ab 2013 registriert. Die Streuung war jeweils hoch und reichte bis 63,2 (2010-2012) bzw. 72,0 (2013-2015) Dateien je Stunde*Annäherungssituation.

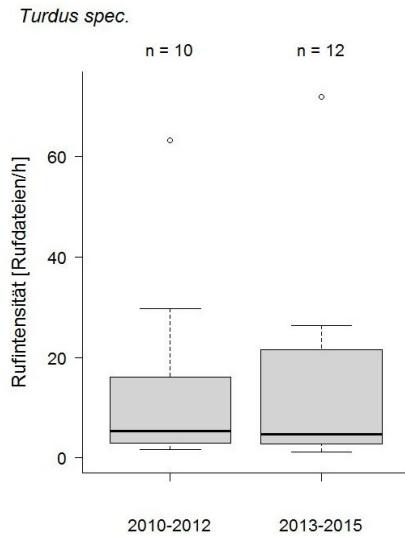


Abbildung 82: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Heimzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien = 1.845) und nach (2013-2015, Anzahl rufpositive Dateien = 1.911) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Die Anzahl von Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

Für die drei besonders häufigen Arten Amsel, Singdrossel und Rotdrossel wird übereinstimmend eine Steigerung der mittleren Stärke für die Heimzugperioden nach 2012 augenfällig (Abbildung 83; Amsel: 3,0 bzw. 5,2 rufpositive Dateien je Stunde*Annäherungsnacht, Median 1,0 bzw. 4,1; Singdrossel: im Mittel 0,8 bzw. 9,0 rufpositive Dateien je Stunde*Annäherungsnacht, Median 0,8 bzw. 2,6; Rotdrossel: 10,7 bzw. 8,7 rufpositive Dateien je Stunde*Annäherungsnacht, Median 3,1 bzw. 7,9). In allen Fällen ist ein fehlender Unterschied aber nicht zu falsifizieren (LRT mit jeweils: $\chi^2 < 2,05$; FG = 1; p > 0,15). Die Stärke von Annäherungssereignissen hat sich im Frühjahr somit nicht erkennbar verändert.

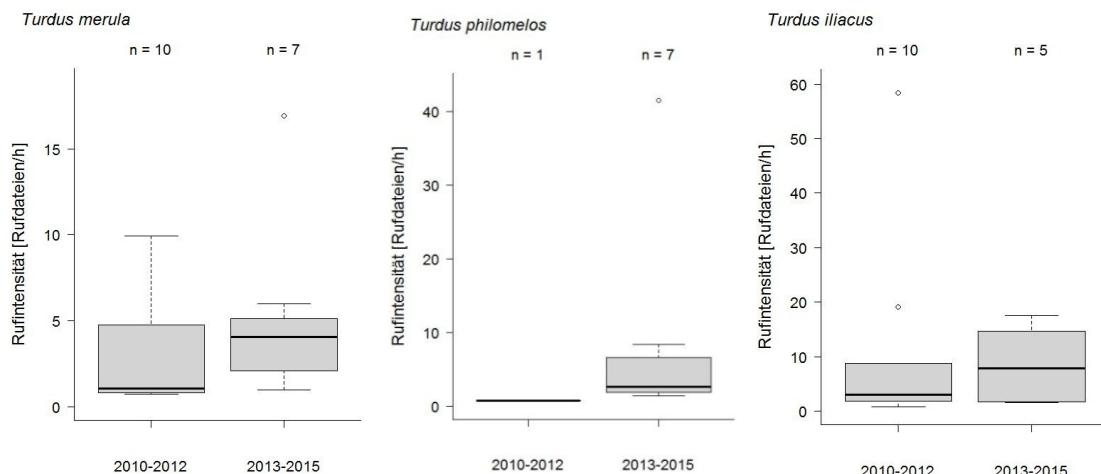


Abbildung 83: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Heimzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien: Amsel = 399, Singdrossel = 10, Rotdrossel = 1.389) und nach (2013-2014, Anzahl rufpositive Dateien: Amsel = 410, Singdrossel = 693, Rotdrossel = 481) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Die Anzahl von Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

32 Nächten mit verstärkter Annäherung von Drosseln aus den Wegzugperioden der Jahre 2013-2014 stehen 25 Annäherungsereignisse des Zeitraums vor Baubeginn zwischen 2010-2012 gegenüber. Hinsichtlich der registrierten mittleren Stärke erwiesen sich die Annäherungsereignisse des Zeitraums ab Baubeginn des Windparks bei hoher Streuung indes als tendenziell niedriger als vor Baubeginn. Es ist nicht verlässlich auf einen Unterschied zu schließen (LRT: $\chi^2 = 0,43$; FG = 1; p = 0,510, Abbildung 84). Nach Baubeginn betrug die Rufrate mittlere 21,4 (Median = 3,8; 10.294 Dateien) gegenüber vormals 26,4 (Median = 6,2) rufpositiven Dateien je Stunde*Annäherungsnacht.

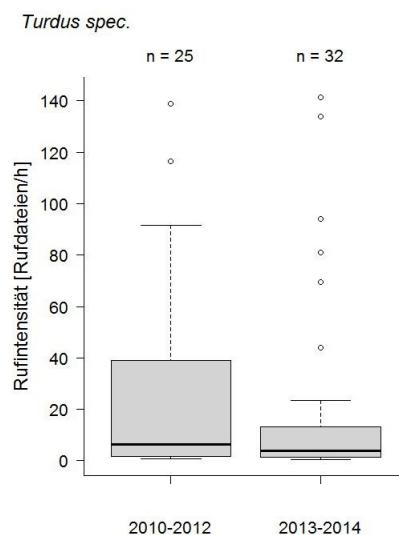


Abbildung 84: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Wegzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien = 10.610) und nach (2013-2014, Anzahl rufpositive Dateien = 10.294) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Die Anzahl von Annäherungsereignissen ist jeweils gegeben.

Bei Untergliederung wird deutlich, dass für verschiedene Drosselarten gegenläufige Tendenzen bestehen. Während Annäherungsereignisse von Amsel- und Rotdrossel 2013/2014 weniger stark ausfielen und im Mittel 17,2 (Median = 4,2) bzw. 18,3 (Median = 9,0) vor und 13,6 (Median = 4,8) bzw. 15,0 (Median = 3,5) rufpositiven Dateien je Stunde*Annäherungsnacht betragen, wurde im Falle der Singdrossel eine Steigerung von zuvor 5,4 (Median = 2,6) auf 8,9 (Median = 4,9) rufpositive Dateien je Stunde*Annäherungsnacht im Zeitraum seit Errichtung von *Dan Tysk* registriert (Abbildung 85). In allen Fällen handelt es sich nur um Tendenzen und keine gesicherten Unterschiede (LRT mit jeweils: $\chi^2 \leq 2,26$; FG = 1; p $\geq 0,133$).

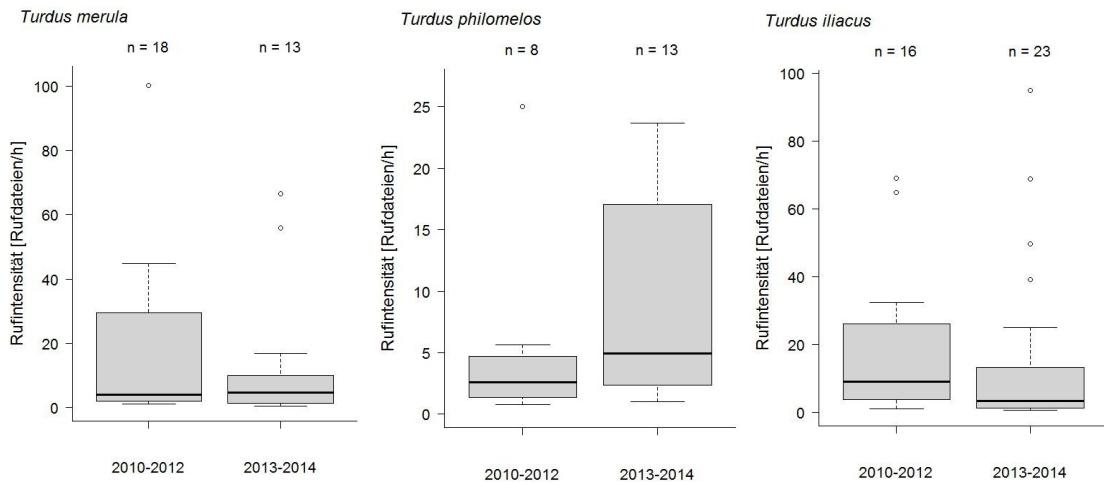


Abbildung 85: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Wegzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien: Amsel = 5.134, Singdrossel = 639, Rotdrossel = 4.613) und nach (2013-2014, Anzahl rufpositive Dateien Amsel = 2.848, Singdrossel = 1.632, Rotdrossel = 5.046) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Die Anzahl von Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

Licht lockt Vögel an (z. B. HILL et al. 2014a, Kap. 1.1), was um FINO 3 vor allem dann zu beobachten war, sobald im Zuge nächtlicher Anwesenheit von Personen die Sicherungsbeleuchtung der Plattform eingeschaltet war (Kap. 3.4).

Eine Wiederholung der vergleichenden Analyse zu registrierten Rufen ziehender Drosseln aus dem Zeitraum vor Windparkbau mit demjenigen nach Windparkbau lässt für den Heimzug weiterhin nicht auf Unterschiede schließen, sobald die Nächte in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte, unberücksichtigt bleiben. Dies gilt sowohl für alle Drosseln gemeinsam ($\chi^2 = 2,18$; FG = 1; p = 0,1397, Abbildung 86), wie auch für die einzelnen Arten (LRT mit jeweils: $\chi^2 < 2,6$; FG = 1; p > 0,11, Abbildung 87). Allerdings kommt es zu einer Trendumkehr, wonach im Frühjahr nur noch mittlere 5,4 Rufdateien/Stunde*Annäherungssereignis (Median 3,8) registriert wurden (Abbildung 86). Die zu berücksichtigende Dateisumme reduzierte sich von zuvor 1.911 um mehr als zwei Drittel auf nur noch 552. Rotdrosseln wurden nunmehr seit Errichtung des Windparks seltener festgestellt, bei Amseln und Singdrosseln überwogen Feststellungen aus dem Zeitraum ab 2013 noch immer (Abbildung 87).

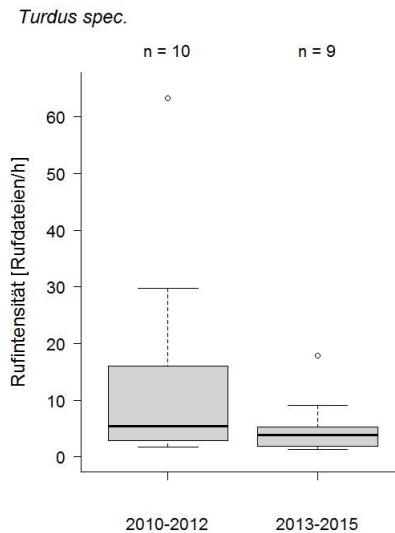


Abbildung 86: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Heimzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien = 1.845) und nach (2013-2015, Anzahl rufpositive Dateien = 552) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Abbildung 82 sind Nächte mit angeschalteter Sicherheitsbeleuchtung von der Gegenüberstellung ausgeschlossen. Die Anzahl von berücksichtigten Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

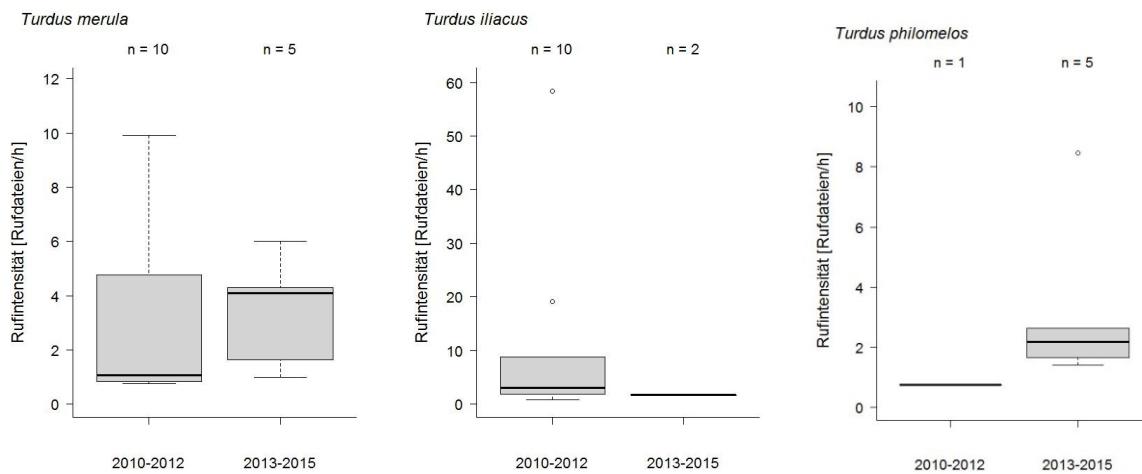


Abbildung 87: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Heimzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien: Amsel = 399, Singdrossel = 10, Rotdrossel = 1.389) und nach (2013-2014, Anzahl rufpositive Dateien: Amsel = 410, Singdrossel = 693, Rotdrossel = 481) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Abbildung 83 sind Nächte mit angeschalteter Sicherheitsbeleuchtung von der Gegenüberstellung ausgeschlossen. Die Anzahl von Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

Bei der Wiederholung der Analyse für die Daten vom Wegzug, erwies sich die zuvor konstatierte Tendenz zu einer Verminderung in der Stärke der Annäherungssereignisse als nunmehr verlässlich erkannte Reduktion: Werden Nächte mit zusätzlich brennender Sicherheitsbeleuchtung nicht berücksichtigt, fielen die Annäherungssituationen von Drosseln

an die FINO 3 seit Errichtung von *Dan Tysk* geringer aus, als im Zeitraum der Wegzugperioden 2010-2012 (Abbildung 88, LRT: $\chi^2 = 4,38$; FG = 1; p = 0,036). Im Mittel umfassten solche Ereignisse nun nur noch 7,5 Dateien/h*Annäherungssereignis (Median 2,3; 2.865 drosselpositive Dateien).

Im Falle von Amsel und Singdrossel lassen sich dabei auch unter Vernachlässigung der Nächte mit eingeschalteter Sicherheitsbeleuchtung keine gesicherten Unterschiede in der Stärke der Annäherungssereignisse offen legen (Abbildung 89, LRT mit jeweils: $\chi^2 < 1,27$; FG = 1; p ≥ 0,25), obwohl sich diese auf 11,2 (Amsel; Median 2,8) bzw. 3,2 (Singdrossel; Median 2,7) Dateien/h*Annäherungssereignis reduzierte. Für Rotdrosseln ist nunmehr von einem Unterschied auszugehen (Abbildung 89, LRT mit: $\chi^2 = 10,28$; FG = 1; p = 0,013): Nur noch 3,8 Dateien/h*Annäherungssereignis (Median 1,8) während der Jahre 2013-2014 bedeuten eine signifikante Verminderung im Auftreten innerhalb des Nahbereichs der Plattform seit Errichtung des Windparks *Dan Tysk*.

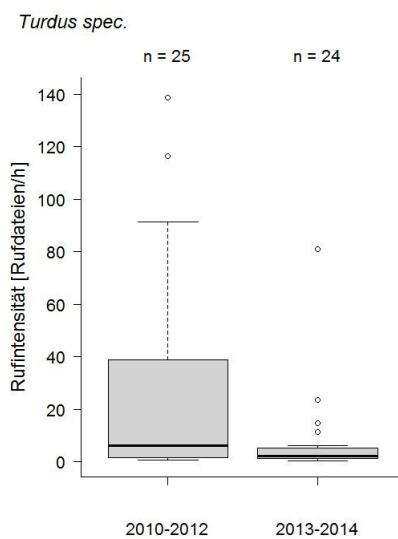


Abbildung 88: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Drosseln während des Wegzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien = 10.610) und nach (2013-2014, Anzahl rufpositive Dateien = 2.865) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Abbildung 84 sind Nächte mit angeschalteter Sicherheitsbeleuchtung von der Gegenüberstellung ausgeschlossen. Die Anzahl von Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

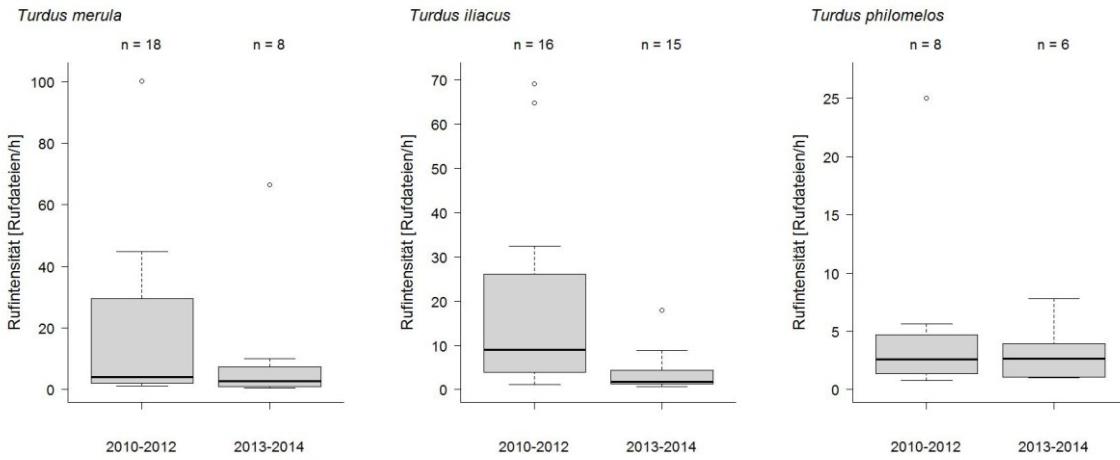


Abbildung 89: Vergleich der nächtlichen Rufintensitäten von Amseln, Singdrosseln und Rotdrosseln während des Wegzuges vor (2010-2012, Anzahl rufpositive Dateien: Amsel = 5.134, Singdrossel = 639, Rotdrossel = 4.613) und nach (2013-2014, Anzahl rufpositive Dateien Amsel = 1.510, Singdrossel = 263, Rotdrossel = 893) dem Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk*. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Abbildung 85 sind Nächte mit angeschalteter Sicherheitsbeleuchtung von der Gegenüberstellung ausgeschlossen. Die Anzahl von Annäherungssereignissen ist jeweils gegeben.

3.2.2 Totfundhäufigkeiten vor und nach Bau von Dan Tysk (BAC)

Mit Beginn der Bauphase des Windparks *Dan Tysk* im Frühjahr 2013 ging eine Reduktion der Totfunde auf der unmittelbar benachbarten Plattform FINO 3 einher. 25 Totfunde während des Heimzugs gelangen ausschließlich während der drei Heimzugperioden 2010-2012 vor Bau des Windparks *Dan Tysk* (Abbildung 90). Während des Wegzugs, zu dem auch neun Januarfunde während einer südwestwärts führenden Kälteflucht gezählt wurden, erfolgten insgesamt 61 Funde tödlich verunglückter Vögel. Von diesen stammen acht aus den Jahren 2013 und 2014 und somit aus dem Zeitraum nach Baubeginn von *Dan Tysk*. Auf der Basis von Zugperioden ist sowohl für den Heim- wie auch den Wegzug auf „echte“ Unterschiede in der Häufigkeit von Kollisionen zwischen dem Zeitraum vor gegenüber nach Baubeginn von *Dan Tysk* zu schließen, denn der Faktor Zeitraum erwies sich als Einfluss nehmend (LRT: deviance = 8,484, FG = 1, p < 0,01). Die Zugperiode hatte keinen erkennbaren Einfluss, so dass der Gegensatz beim Heim- und beim Wegzug besteht (LRT: deviance = 0,88, FG = 1, p > 0,05).

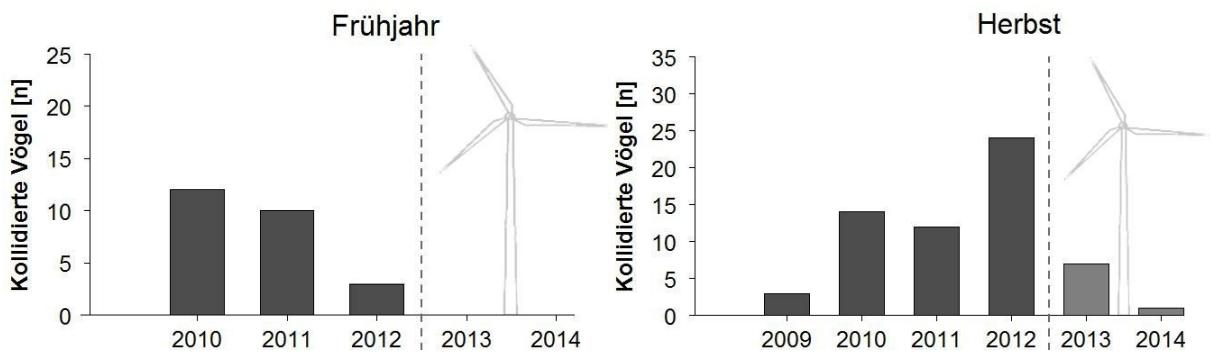


Abbildung 90: Jahrweise Häufigkeit tödlich kollidierter Vögel während Heim- (links) und Wegzug (rechts)an der Plattform FINO 3 von Juli 2009 bis Dezember 2014 ($n = 86$). Beachte unterschiedliche Skalierung.

3.2.3 Vogelbildraten unter Tageslicht vor und nach Bau von Dan Tysk (BAC)

Die überwiegende Mehrheit vogelpositiver Bilder betrifft Möwen (Kap. 3.1.5.1), so dass sich das Vorkommen von Vögeln im Nahbereich der Plattform zusätzlich zum Taxon „Vogel“ weiter bis auf Art(-gruppen)niveau untergliedern und vergleichen lässt.

Den 1.762 vogelpositiven Bildern aus den zwei Untersuchungsjahren ab 2013 stehen 16.575 vogelpositive Bilder aus den vier vorangegangenen Untersuchungsjahren zwischen 2009-2012 gegenüber. Dabei lag der Anteil vogelpositiver Bilder während beider Jahre so niedrig, wie in keinem Jahr zuvor (Abbildung 91). Trotz jahrweise bedeutender Erfassungslücken (s. Kap. 2.3.3) sollten die anzunehmenden Verzerrungen gering sein, denn in beiden miteinander verglichenen Zeiträumen kam es jahrweise zu Minderbeprobung zwischen Mai bis Oktober, wenn üblicherweise besonders viele vogelpositive Bilder aufgenommen werden und auf Hauptvorkommen von besonders häufigen Arten(-gruppen) geschlossen werden kann (Kap. 3.1.5.2). In der mittleren Stärke registrierter Vogelpräsenz unterschieden sich die Zeiträume erkennbar voneinander (Negativ-Binomialmodell, LRT: deviance = 479,46; FG = 1; $p < 0,001$). Es ist somit davon auszugehen, dass sich Vogelpräsenz im Plattformumfeld unter Tageslicht mit Errichtung des Windparks *DanTysk* auf rund ein Zehntel reduziert hat (Abbildung 92), denn zwischen 2009-2012 waren im Mittel 10,0 % (Median = 3,9) der aufgenommenen Bilder vogelpositiv, im Zeitraum ab 2013 nur 1 % (Median = 0,4).

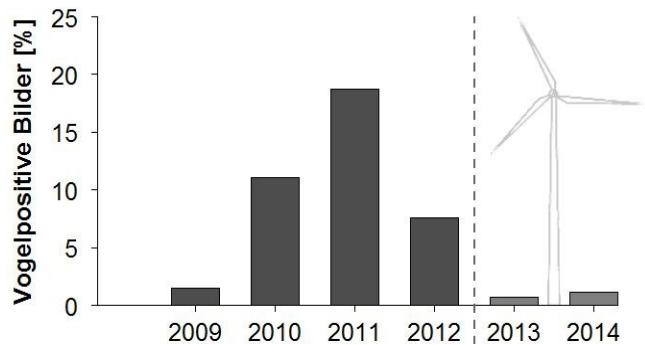


Abbildung 91: Jahrweise Häufigkeit vogelpositiver Videobilder an der Plattform FINO 3 zwischen Juli 2009 bis Dezember 2014 ($n = 18.337$).

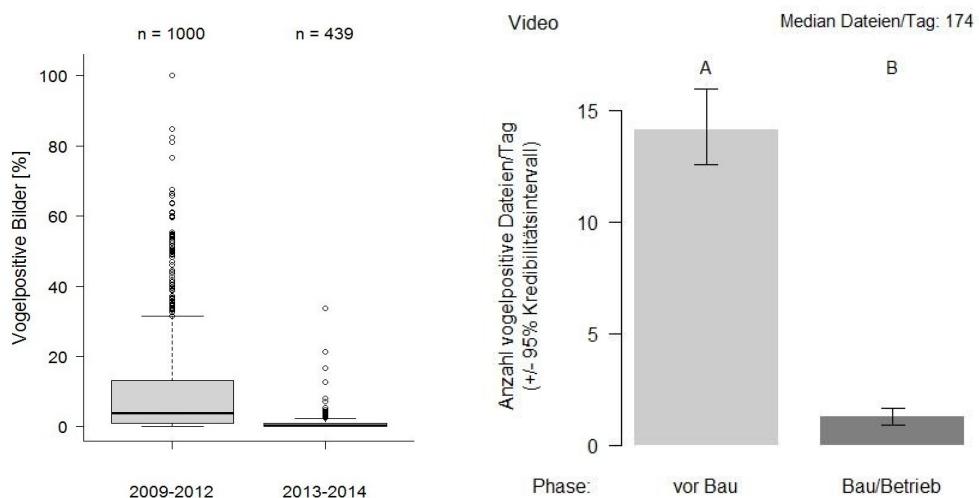


Abbildung 92: Links: Vergleich des Anteils vogelpositiver Bilder am Gesamtaufwand vor (2010-2012, 16.575 vogelpositive Bilder) und nach (2013-2014, 1.762 vogelpositive Bilder) Baubeginn von *Dan Tysk*. n-Untersuchungstage jeweils gegeben; rechts: Modellierte Anzahl von per Videokamera erfassten Vögeln pro Untersuchungstag vor bzw. nach Baubeginn von *Dan Tysk*.

Besonders dominieren **Großmöwen** die über die Videoerfassung detektierten Vogelvorkommen (Kap. 3.1.5.1). Dabei hat die Heringsmöwe, auf die das Vorkommen der Artengruppe im Wesentlichen zurückgehen dürfte (Kap. 3.1.5.2), den größten Anteil am aufzuzeigenden Rückgang (Negativ-Binomialmodell, deviance = 17,28; FG = 1; $p < 0,001$; Abbildung 93) detekterter Vogelvorkommen. Der Anteil großmöwenpositiver Bilder reduzierte sich von im Mittel 6,2 % je Tag (Median = 1,7 %; 9.762 Großmöwen-Bilder) auf 0,4 % nach Baubeginn (Median = 0; 864 Großmöwen-Bilder; s. auch Anhang, Abbildung 147) und somit auf rund ein Sechzehntel. Sowohl das Vorkommen zur Brutzeit (Mai bis Juli) zeigte einen starken Rückgang, als auch besonders das Vorkommen zur Wegzugzeit zwischen August und Oktober. Zur Brutzeit ergab sich während der zwei Untersuchungsjahre ab 2013 ein mittlerer Anteil von 1,1 % großmöwenpositiven Bildern je Tag (Median = 0,3; 670 Großmöwen-Bilder), was gegenüber dem Anteil von zuvor bis 2012

mittleren 11,1 % Positivbildern je Tag (Median = 5,6; 6.332 Großmöwen-Bilder) einer Reduktion um rund 90 % entspricht (Abbildung 93 links). Der mittlere Anteil großmöwenpositiver Bilder während der Wegzugperiode lag vor Windparkbau bei 10,5 % (Median = 6,7; 2.956 Großmöwen-Bilder), nach Baubeginn war das Vorkommen angesichts von mittleren 0,3 % Positivbildern je Tag (Median = 0,2; 97 Großmöwen-Bilder; Abbildung 93 rechts) kaum noch existent.

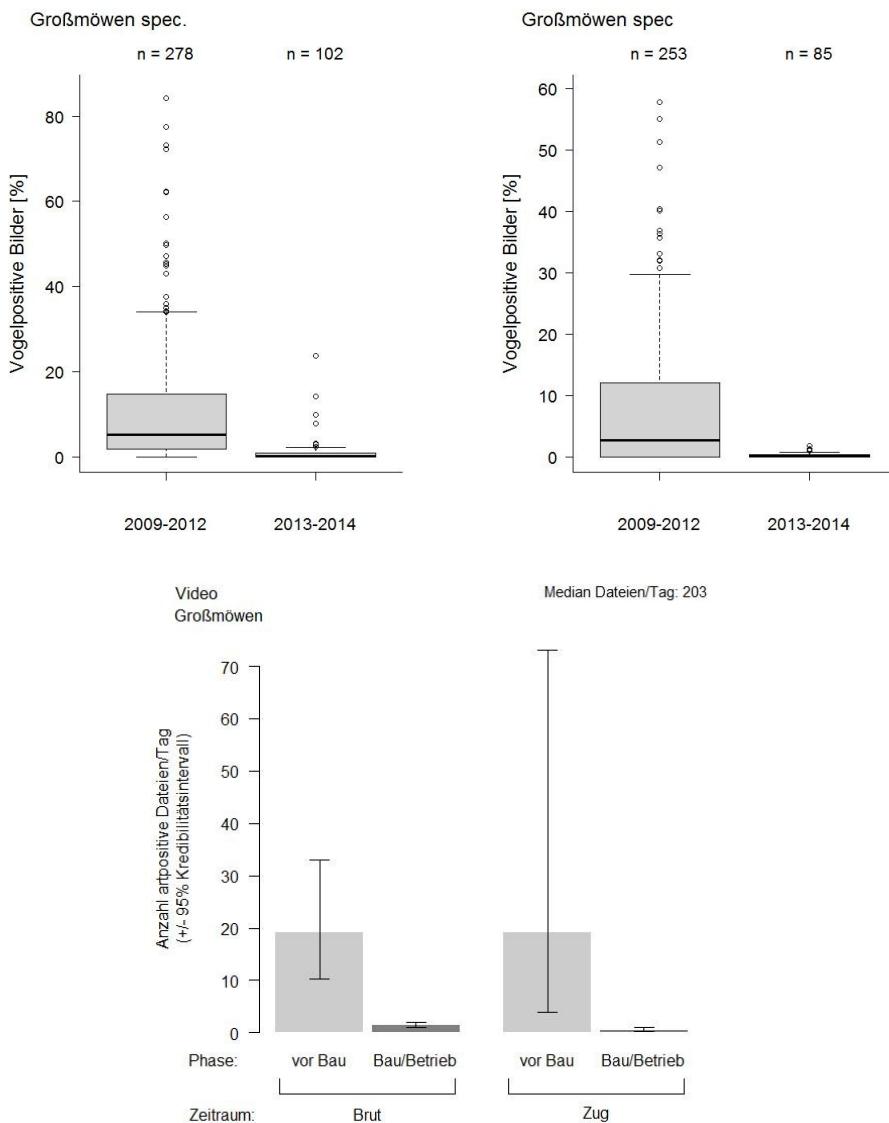


Abbildung 93: Links oben: Vergleich des Anteils großmöwenpositiver Bilder am Gesamtaufwand jeweils während der Brutzeit (Mai-Juli) vor (2010-2012, 6.332 Bilder) und nach (2013-2014, 670 Bilder) Baubeginn von *Dan Tysk*. Rechts oben: Vergleich des Anteils großmöwenpositiver Bilder am Gesamtaufwand jeweils während der Zugzeit (Aug-Okt) vor (2010-2012, 2.956 Bilder) und nach (2013-2014, 97 Bilder) Baubeginn von *Dan Tysk*. n-Untersuchungstage jeweils gegeben. Unten: Modellierte Anzahl von per Videokamera erfassten Großmöwen je Untersuchungstag je nach Jahreszeit vor bzw. nach Baubeginn von *Dan Tysk*.

Auch bei der **Dreizehenmöwe** lag die Zahl der positiven Bilder sowohl insgesamt als auch bei Einschränkung der betrachteten Jahreszeit auf die artspezifische Brutperiode (Mai-Aug) vor Errichtung von *Dan Tysk* höher. Während der zwei Untersuchungsjahre ab 2013 verzeichnete Bildsummen von 60 bzw. 35 gegenüber den 2.092 bzw. 1.703 Dreizehenmöwen-Bildern aus den vier vorangehenden Untersuchungsjahren zwischen 2009-2012 lassen auf kaum noch vorhandene Dreizehenmöwen-Vorkommen im unmittelbaren Plattformbereich schließen (Abbildung 94). Vor Windparkbau konnten im Mittel auf 2,7 % des täglichen Bildmaterials (Median = 0,5 %) Dreizehenmöwen erkannt werden, nach Beginn der Bauphase jedoch nur noch auf 0,06 % (Median = 0 %). In ihrer mittleren Stärke unterschieden sich die Zeiträume vor und nach Baubeginn des Windparks somit erkennbar voneinander (Negativ-Binomialmodell, LRT: deviance = 127,84; FG = 1; $p < 0,001$). Die Art zeichnete sich aber auch in den Jahren 2009-2012 durch sowohl zwischenjährlich als auch tageweise stark schwankendes Vorkommen aus (Kap. 3.1.5.2, s. auch Anhang, Abbildung 146).

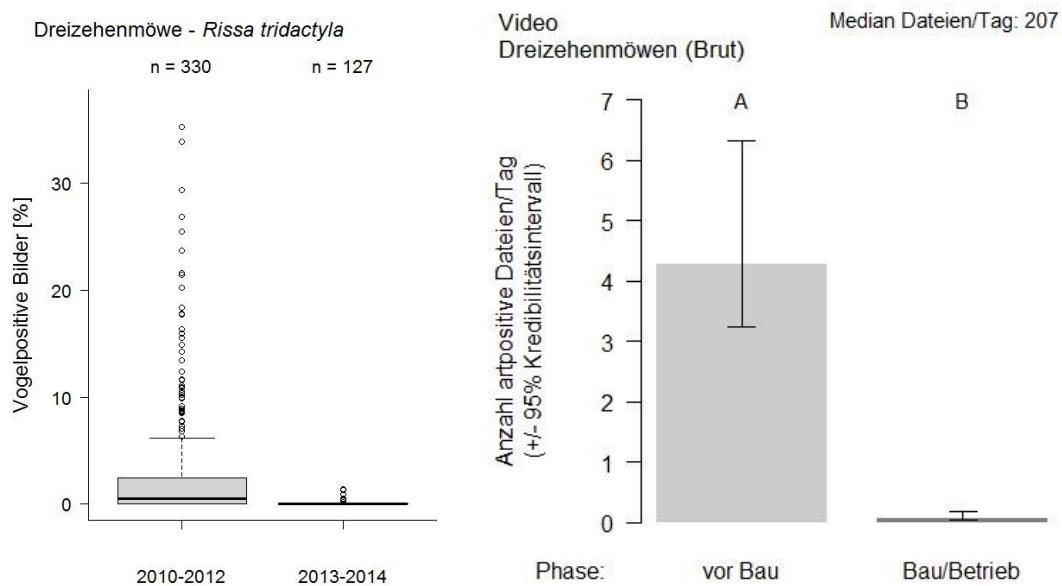


Abbildung 94: Links: Vergleich des Anteils dreizehenmöwenpositiver Bilder am Gesamtaufwand jeweils während der Brutzeit (Mai-Aug) vor (2009-2012, 1.703 Bilder) und nach (2013-2014, 35 Bilder) dem Baubeginn von *Dan Tysk*. n-Untersuchungstage jeweils gegeben; rechts: Modellierte Anzahl von per Videokamera erfassten Dreizehenmöwen pro Untersuchungstag innerhalb der Brutzeit vor bzw. nach Baubeginn von *Dan Tysk*.

3.2.4 Dan Tysk und Zugvögel – Zugrichtungen im Windparkumfeld

Für nähere Betrachtungen von Zugrichtungen der von FINO 3 aus im Umfeld von *Dan Tysk* aus registrierten Vogeltracks mussten die kreisförmig um die Plattform herum registrierten Echos zunächst windparkzu- bzw. -abgewandten Bereichen zugeordnet werden. Im Sektor des plattformeigenen Messmasts sind keine Erfassungen durchführbar. Aus diesem Grund

wurden nur Echos aus dem Bereich zwischen 325° und 125° zur Analyse herangezogen, wobei der Bereich von 325° bis 44° als windparkabgewandt und der Bereich von 45° bis 125° als windparkzugewandt definiert wurde. Die beiden Messbereiche erstrecken sich also jeweils über 80° , ihre Spiegelebene verläuft von NE nach SW und somit parallel zur Hauptzugrichtung während beider Zugrichtungen. Aufgrund der technisch bedingt hohen Ausfallzeiten wurde die Analyse nur für die Herbstperiode 2013 und 2014 durchgeführt.

Aufgrund des Datenzuschnitts erfolgte zunächst eine Prüfung, ob die Zugintensitätspeaks weiterhin und sowohl in windparkzu- als auch in -abgewandten Messbereichen zu erkennen waren. Die besonders vogelzugintensiven Nächte lassen sich trotz des Datenzuschnittes noch immer identifizieren und es wird überdies deutlich, wie stark die stärksten fünf Nächte einer jeden Zugperiode das gesamte Datenmaterial zu nächtlichem Vogelzug einer Zugsaison jeweils beherrschen (Abbildung 95). Auch in ihrem tageszeitlichen Muster differieren windparkzu- bzw. -abgewandte Messbereiche nicht und das unter Kap. 3.1.1.1 entworfene Bild zum Tagesgang hat trotz einschränkenden Datenzuschnitts Bestand (nicht dargestellt).

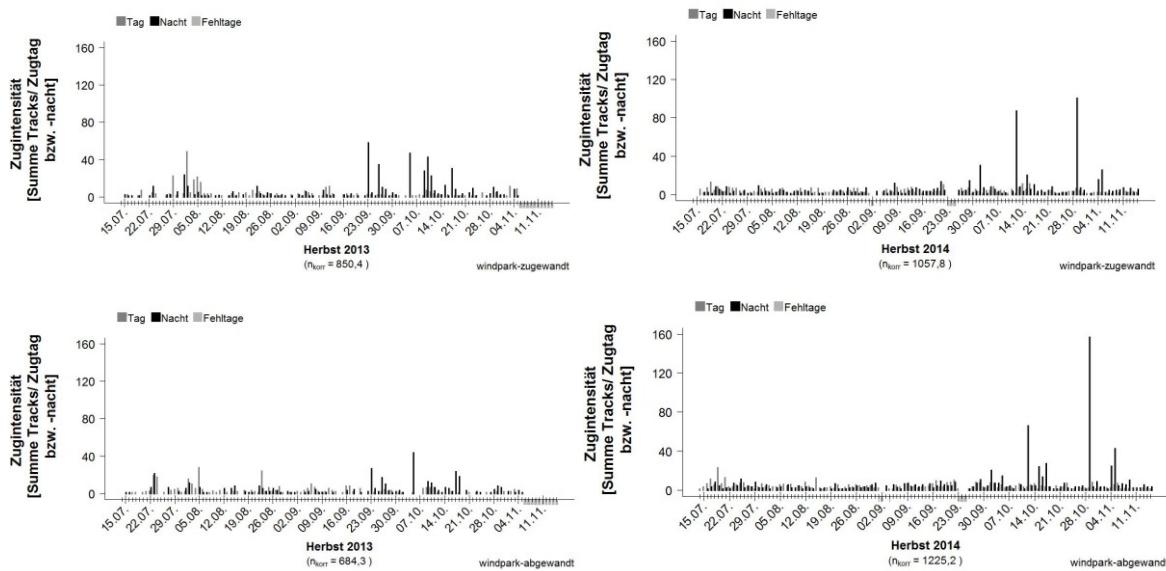


Abbildung 95: Je Zugnacht bzw. -tag per Horizontalradar gemessene Zugintensität als aufwandskorrigierte Summe der Tracks im Herbst 2013 (links) bzw. im Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3. Zusätzlich unterschieden wurden ein windparkabgewandter Sektor (jeweils unten) und ein zum Windpark ausgerichteter Messbereich (jeweils oben).

Unter herbstlichem Tageslicht querten die Vögel den windparkzugewandten Messbereich zwar in beiden Jahren vor allem in nördliche und südliche Richtungen (Abbildung 96), Präferenzen konnten dabei aber nicht erkannt werden ($r = 0,04$; $p = 0,28$; Rayleigh-Test). Für den abgewandten sektoralen Ausschnitt war insgesamt nach W bis NW gerichteter Vogelzug

aufzuzeigen ($r = 0,17$; $p < 0,001$; Rayleigh-Test), wobei sich die beiden integrierten Wegzugperioden aber erheblich unterschieden (Abbildung 97).

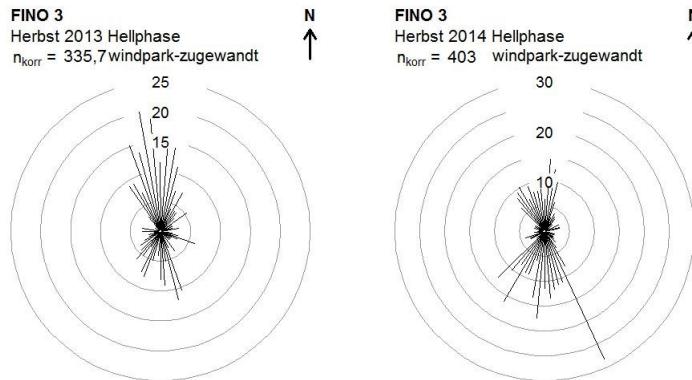


Abbildung 96: Richtungsverteilung per Parabolradar untertags und windpark~~zugewandt~~ aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.

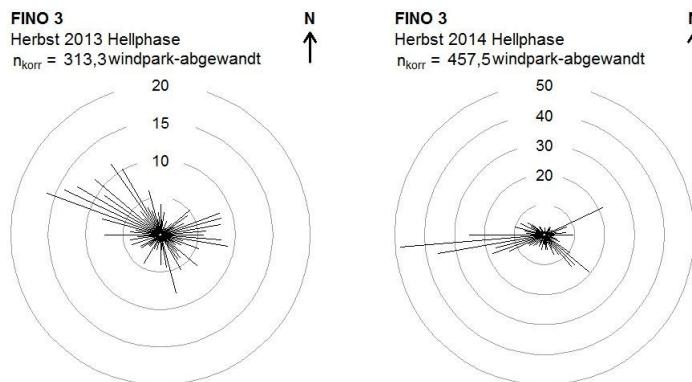


Abbildung 97: Richtungsverteilung per Parabolradar untertags und windpark~~abgewandt~~ aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.

Nachts schien die Streuung geringer zu sein und sowohl zum Windpark hin wie vom Windpark weg war die Orientierung der Tracks nicht zufällig, sondern gerichtet: Dabei wurden von NW bis S (windpark~~abgewandt~~; $r = 0,51$; $p < 0,001$; Rayleigh-Test) bzw. von West bis Südost (windpark~~zugewandt~~; $r = 0,49$; $p < 0,001$; Rayleigh-Test) vorherrschende Zugrichtungen registriert. Dabei war der Anteil südwärts orientierter Vögel im Herbst 2013 und in beiden Teilbereichen übereinstimmend besonders hoch, im Herbst 2014 waren die Vögel demgegenüber stärker südwest- bis westwärts orientiert – was wiederum sowohl für windparkzu- als auch für -abgewandte Bereiche galt (Abbildung 98, Abbildung 99).

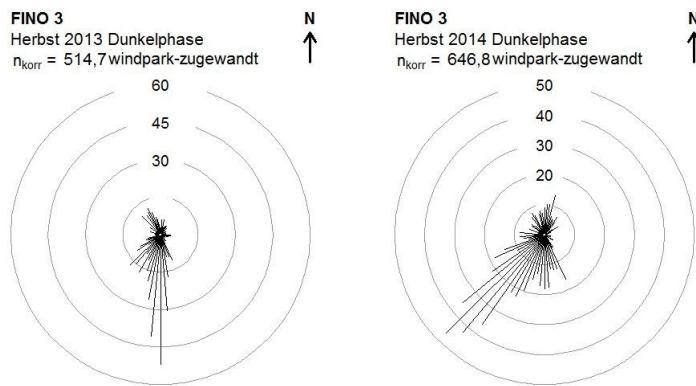


Abbildung 98: Richtungsverteilung per Parabolradar nachts und windparkzugewandt aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.

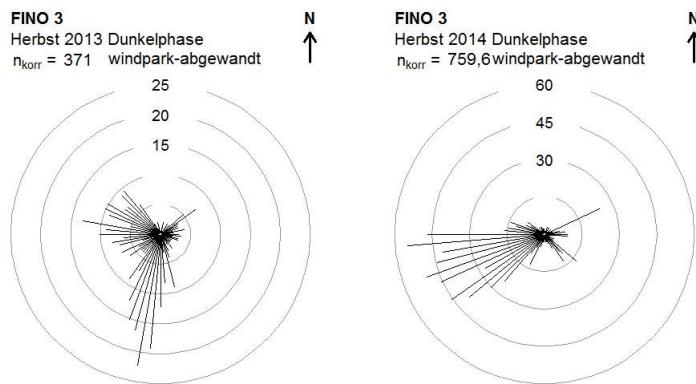


Abbildung 99: Richtungsverteilung per Parabolradar nachts und windparkabgewandt aufgezeichneter Vogeltracks im Herbst 2013 (links) und Herbst 2014 (rechts) am Standort FINO 3.

Die erhaltenen Muster zur eingeschlagenen Richtung von Zugvögeln im Windparkumfeld erlauben keine Interpretation im Hinblick auf Anlockwirkungen oder Meideverhalten durch die registrierten Vögel. Über ganze Zugperioden hinweg generalisierte Daten zur Gerichtetetheit sind in diesem Zusammenhang nicht aussagekräftig. Nächteweise können Vögel sehr unterschiedlich orientiert sein (Kap. 3.3.1). Dies gilt es zu berücksichtigen, sobald die gezeigten Flugrichtungen im Sinne von Anlockung oder Meidung interpretiert werden sollen. Einer Analyse unter Berücksichtigung verschiedener spezifischer Situation widmet sich das nachfolgende Kapitel.

3.3 Raum-Zeit-Muster von Einzelzugnächten am Standort FINO 3

Die bisherigen Betrachtungen ergeben über die Mittelung mehrerer Jahre generalisierte Muster und erlauben so Aussagen zur (artspezifischen) Exposition von Vögeln im Jahres- wie Tagesgang. Das genetisch programmierte Zeitfenster zum Zug durch die Region lässt sich auf diese Weise ebenso ablesen, wie sich Änderungen von Vogel-Vorkommen mit dem Bau eines Windparks ergeben. Diese Kenntnisse sind unentbehrliche Grundlage für viele Aspekte zum Verständnis des Spannungsfeldes „Vogelzug und OWEA“ und zur Erarbeitung von Schutzkonzepten. Angesichts hoher Schwankungen von Messwerten zwischen verschiedenen Jahren, aber vor allem auch Variabilität zwischen einzelnen Tagen bzw. Nächten, wird zudem deutlich, dass generalisierte Muster die Gefahr von Informationsverlust in sich bergen. Da Kollisionen von Vögeln mit Bauwerken im Offshore-Bereich weit überwiegend Resultat sehr spezifischer Situationen sind (Kap. 1.1), ist auch die Betrachtung einzelner Vogelzugnächte – vor allem besonders starker – im Zusammenspiel möglichst vieler Raum-Zeit-Parameter besonders vielversprechend, um vertiefte Einblicke hinsichtlich der Exposition von Zugvögeln gegenüber OWEA und der tatsächlichen Gefährdungslage zu gewinnen.

Die sich überlagernden Phänologiekurven der verschiedenen Zugvogelarten bestimmen über die Zahl zugwilliger Tiere zu einem bestimmten Zeitpunkt. Das Wetter moduliert dann die Zahl tatsächlich aufbrechender Vögel entscheidend (Kap. 1.2). Eine der wichtigsten Fragen betrifft diejenige nach den Konstellationen von Faktoren, die zu starken Zugbewegungen im Offshore-Bereich führen. Voraussetzung dafür ist jedoch, die Herkunft der registrierten Vögel möglichst genau einzuzgrenzen, um begründete Annahmen zur kombinatorischen Analysen von Wetterbedingungen in mutmaßlichen Aufbruchsarealen, Wetterbedingungen entlang der Zugstrecke und gemessenen Vogelzugintensitäten an einem Offshore-Standort treffen zu können.

Aus diesem Grund werden im Folgenden die zehn prominentesten herbstlichen Vogelzugereignisse der Jahre 2013 und 2014 – im Jahr 2012 lagen alle gemessenen Tracksummen verhältnismäßig niedriger – einer genaueren Betrachtung unterzogen. Berücksichtigung fanden vor allem auch Richtungsinformationen, aus denen Indizien zur Herkunft von Zugvögeln abgeleitet wurden, besonders in Kombination zum tageszeitlichen Auftreten der Durchzügler. Werden Richtungsinformationen noch höher aufgelöst, können auch Einflüsse von Wetteränderungen binnen Nachtfrist bis hin zu Desorientierung als deren Resultat aufgezeigt und die zeitliche Lage bestimmt werden (vgl. HILL et al. 2014c).

3.3.1 Norwegische und dänisch-schwedische Vogelzugnächte in der Deutschen Bucht?

In Anbetracht der wichtigen Rolle, die der Wind für ziehende Vögel spielt (Kap. 1.2.2), wurden die zehn stärksten nächtlichen Vogelzugereignisse der Wegzugperioden 2013-2014 nach den über der südlichen Deutschen Bucht vorherrschenden nächtlichen Windbedingungen gegliedert. Die Windparameter wurden am Standort FINO 3 gemessen.

Während dreier besonders starker Vogelzugnächte fehlten östliche Windrichtungskomponenten vollständig und es herrschten während der Nächte 23./24.09.2013, 26./27.09.2013 und 05./06.10.2013 Winde aus dem NW-Sektor vor. Diesen Nächten war allen spät in der Nacht konzentriertes Vogelzuggeschehen gemein (Abbildung 100). Die beteiligten Vögel zeigten Richtungspräferenzen, die von Nacht zu Nacht zwischen S und SSW schwankten (Abbildung 101).

In den übrigen sechs starken Vogelzugnächten (während der starken Vogelzugnacht 17./18.10.2013 fehlen nächtliche Winddaten) wies der Wind jeweils eine östliche Windrichtungskomponente auf und starker Vogelzug setzte bereits früh am Standort ein. Bei einer Ausnahme (17./18.10.2014) hielt Vogelzug dann jeweils bis zur morgendlichen Dämmerung an (Abbildung 102), erstreckte sich also über die gesamte Nacht hinweg. Die nächteweise bevorzugten Flugrichtungen schwankten dabei zwischen SW bis WSW (Abbildung 103).

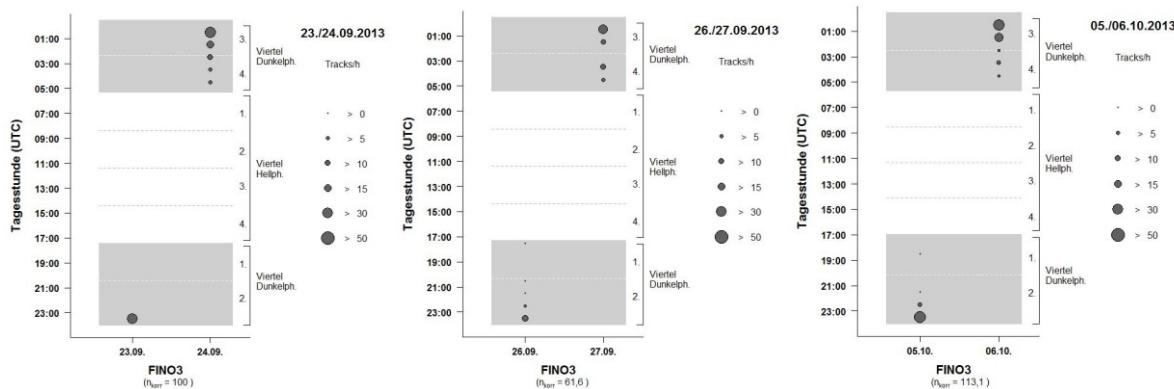


Abbildung 100: Stundenscharfe Zugintensität während dreier gemäß Horizontalradarerfassung am Standort FINO 3 starker Vogelzugnächte mit Westwindkomponente im Herbst 2013. Graue Felder kennzeichnen die Dunkelphase. Beachte: Die Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Zur Darstellung der tageszeitlichen Verteilung wurden Echos ab 360 m Entfernung berücksichtigt.

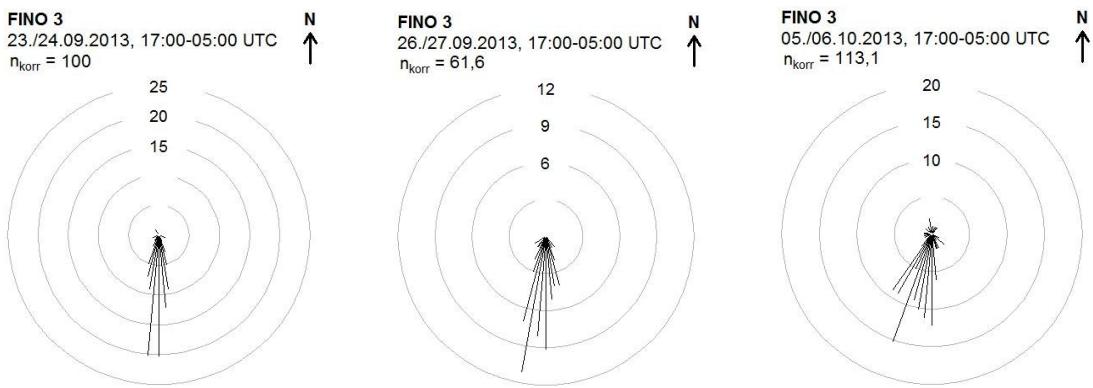


Abbildung 101: Richtungsverteilung per Horizontalradar aufgezeichneter Vogeltracks während dreier starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3. Allen drei Nächten sind Konzentration von Vogelzug auf die zweite Nachthälfte (Abbildung 100) sowie Windrichtungen aus dem NW-Sektor gemein. Zur Darstellung der tageszeitlichen Verteilung wurden Echos ab 360 m Entfernung berücksichtigt.

Unter der Annahme, dass die Richtungswahl fast immer adäquate Entscheidungen durch den Vogel widerspiegeln, um entweder von den gegebenen Windverhältnissen profitieren oder aber zumindest kostenintensive Windeffekte vermeiden zu können (Ausnahme: erzwungene Drift; Kap. 1.2.2), sollten die Herkunftsregionen für die beiden Szenarien unterschiedlich sein. Winde aus dem Nordwestsektor bedeuten profitablen Rückenwind bei südlicher Orientierung, was dann nördlich liegende Regionen wie Norwegen als Herkunftsregion der Vögel wahrscheinlich macht. In enger Übereinstimmung dazu stehen die für solche Nächte festgestellten späten Zugaktivitätsmaxima, denn die Mindeststrecke vom südlichsten Norwegen bis zum Seegebiet um FINO 3 beträgt gut 300 km. Aufbruch ab Sonnenuntergang und eine Eigengeschwindigkeit von 40-60 km/h (BRUDERER & BOLDT 2001) vorausgesetzt, können die ersten Zugvögel mit Start in Norwegen ab rund fünf Stunden nach Sonnenuntergang den Bereich um FINO 3 erreichen. Zusätzliche Windunterstützung auf der einen Seite, aber auch Aufbruchsorte, die sich über weite Regionen erstrecken können und auch noch deutlich nach Sonnenuntergang mögliche Starts auf der anderen Seite, lassen im Falle norwegischer Herkunft von Zugvögeln Zugaktivitätsmaxima über die zweite Nachthälfte hinweg am Standort erwarten. Die starken Vogelzugnächte 23./24.09.2013, 26./27.09.2013 und 05./06.10.2013 sollten in ihrem Zusammenspiel aus Windverhältnissen, tageszeitlichem Zugaktivitätsumuster und der gezeigten Orientierung der Vögel gute Beispiele hierfür sein (Abbildung 100; Abbildung 101). Auch nach Modellansätzen von SHAMOUN-BARANES & VAN GASTEREN (2011) scheinen regelrechte „norwegische Vogelzugnächte“ im Bereich der südöstlichen Nordsee vorkommen zu können: Für einige wenige untersuchte Massenzugereignisse an der niederländischen Küste wiesen die Charakteristika von registrierten Radartracks und die Berücksichtigung großräumiger Windkonstellationen über der

Nordsee bei starken nächtlichen Westnordwest- oder Nordwestwinden auf die besonders starke Beteiligung von abends zuvor aus norwegischen Ursprungsregionen gestarteten Vögeln hin.

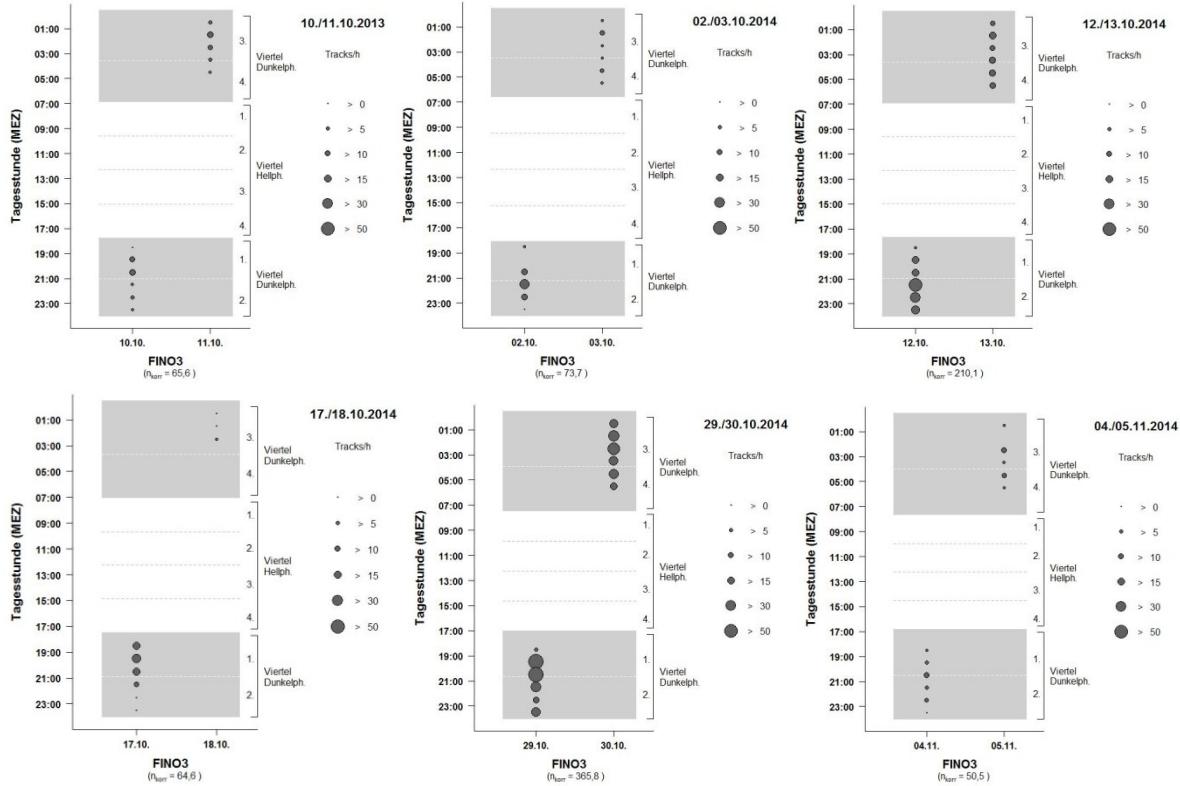


Abbildung 102: Stundenscharfe Zugintensität während starker Zugereignisse der Wegzugperioden 2013 und 2014 nach Horizontalradarerfassung am Standort FINO 3. Allen Nächten sind Ostwindkomponenten gemein. Graue Felder kennzeichnen die Dunkelphase. Beachte: Die Messwerte sind wurzeltransformiert dargestellt. Zur Darstellung der tageszeitlichen Verteilung wurden Echos ab 360 m Entfernung berücksichtigt.

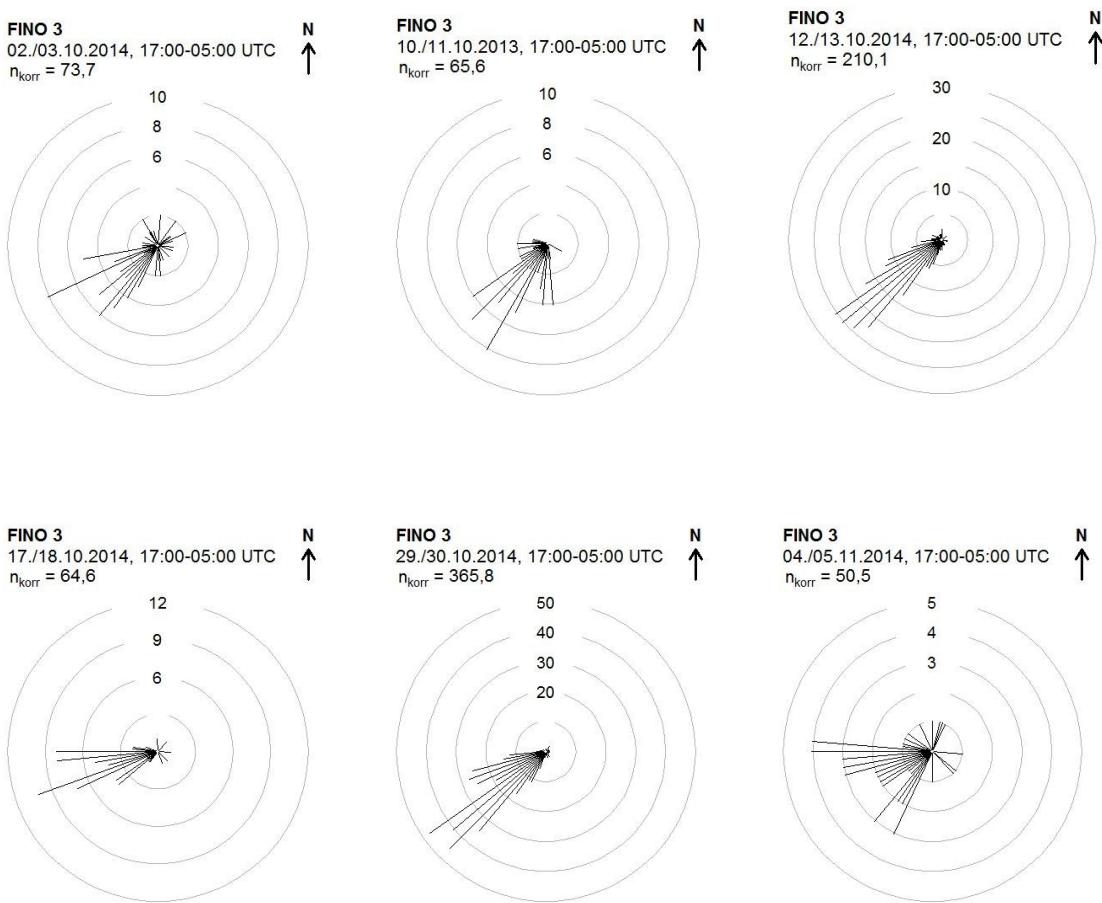


Abbildung 103: Richtungsverteilung per Horizontalradar aufgezeichneter Vogeltracks während sechs starker Vogelzognächte im Herbst 2013 und Herbst 2014 am Standort FINO 3. Starker Vogelzug setzte währenddessen schon früh in der Nacht ein (Abbildung 102). Die Windrichtungen wiesen jeweils eine östliche Komponente auf.

Umgekehrt muss frühes Einsetzen starker Zugbewegungen Vögel aus nähergelegenen abendlichen Aufbruchsregionen betreffen, wie etwa der südlichen kimbrischen Halbinsel mit Teilen Dänemarks und Schleswig-Holsteins. Da die Wintergebiete fennoskandischer Vögel vor allem südwestlich gelegen sind (z. B. DIERSCHKE et al. 2011, HÜPPPOP & HILGERLOH 2012, BAIRLEIN et al. 2014) erfahren solche Tiere bei östlichen Winden besonders profitable Zugbedingungen. Sind die Bedingungen über die Nacht hinweg stabil, könnten ab einem späteren Zeitpunkt auch Vögel mit Startregionen im weiter entfernten Süd- oder gar Mittelschweden beteiligt sein. Sie lassen sich aber nicht von spät auf der kimbrischen Halbinsel gestarteten differenzieren. In Übereinstimmung dazu führen Winde über See mit östlicher Richtungskomponente nach SHAMOUN-BARANES & VAN GASTEREN (2011) eher zu „dänischen“ oder „schwedischen Vogelnächten“ im Bereich der niederländischen Küste.

3.3.2 Richtungsänderungen binnen Nachtfrist

In allen betrachteten starken Vogelzugnächten sind klare Richtungspräferenzen zu erkennen (Abbildung 101, Abbildung 103). Dennoch kommt Streuung vor und in einigen Fällen sind mehrere bevorzugte Richtungen zu erkennen. Binnen Nachtfrist auftretende Variabilität in der Richtungswahl kann das Resultat unterschiedlicher Gerichtetheit der Vögel in verschiedenen Abschnitten der Nacht sein, wie z. B. am 04./05.11.2014 (Abbildung 104). Während der ersten Nachthälfte waren die registrierten Vögel vor allem westwärts orientiert. Nach einer längeren Phase reduzierter Zugaktivität zur Mitte der Nacht querten die neuerlich ab 01:00 Uhr UTC verstärkt einfliegenden Durchzügler den Standort dann vor allem in Richtung SSW bis SW. Die Kombination von früh den Standort passierenden Vögeln mit stark westlicher Orientierung entspricht dem zuvor entworfenen Muster bei einer Herkunft aus nahegelegenen Aufbruchsgebieten auf der südlichen kimbischen Halbinsel. Die spät registrierten Vögel mit südlicher Orientierung lassen sich indes mit weiter nördlich liegenden Aufbruchsregionen wie Norwegen in Verbindung bringen (vgl. Kap. 3.3.1). Die Notwendigkeit zu einer Kurskorrektur als Reaktion auf veränderte Windbedingungen (s. Kap. 1.2.2) ist nicht zu erkennen, denn die Windbedingungen – schwacher SSE-Wind der Stärke 2-3 Bft. – blieben über die Nacht hinweg konstant. Zusätzlich spricht auch die bimodale Verteilung der Zugintensität für das Vorhandensein zweier Zugwellen, die in ihren Charakteristiken zu tageszeitlichem Auftreten und Orientierung unterschiedliche Herkunft der beteiligten Vögel annehmen lassen. Damit ergeben sich Hinweise auf Verschiebungen von Proportionen zur Herkunft innerhalb einer Nacht auch ganz ohne veränderte Windlagen.

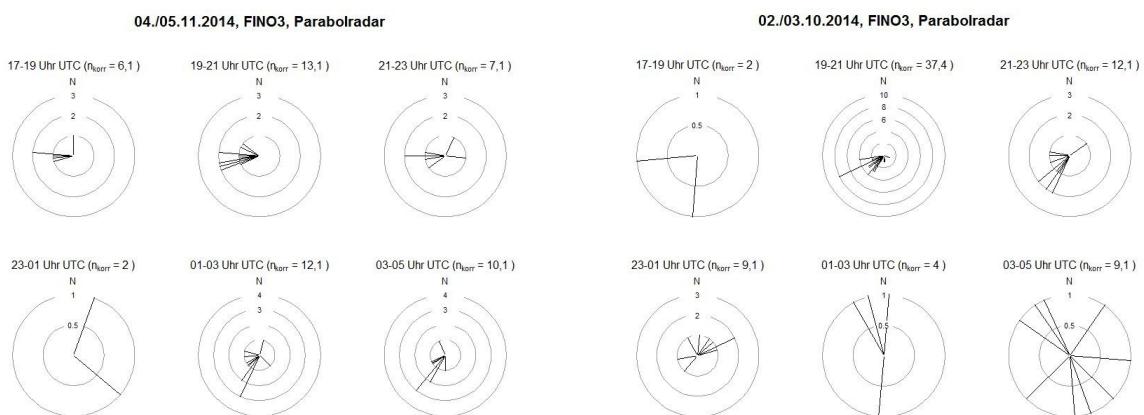


Abbildung 104: Richtungsverteilung per Horizontalradar aufgezeichneter Vogeltracks während zweier starker Vogelzugnächte im Herbst 2014 am Standort FINO 3. Die übergeordnet erkennbare Richtungspräferenz ziehender Vögel (Abbildung 103) kann innerhalb einer Nacht unterschiedlich stark ausfallen. Dabei kann die gezeigte Hauptzugrichtung innerhalb einer Nacht erheblich differieren (04./05.11.2014, links) oder Richtungspräferenzen können sich völlig auflösen (02./03.10.2014, rechts).

Richtungspräferenzen können sich im Laufe einer Nacht auch gänzlich auflösen. Für FINO 1 schildern AUMÜLLER et al. (2011) einen Fall, wobei sich parallel zur sukzessiven Auflösung die Sichtbedingungen rapide verschlechterten und die Vögel somit vermutlich zunehmend stark desorientiert waren (HILL et al. 2014c). Möglicherweise kann sich ein Muster zunehmender Zertreuung aber auch durch veränderte Windbedingungen ergeben. Hinweise hierauf liefert die Nacht vom 02./03.10.2014. Es wird erkennbar, dass sich die während der ersten Nachthälfte strikte südwestliche Kursführung zunehmend auflöste. Während der zweiten Nachthälfte streuten die registrierten Tracks beliebig (Abbildung 104). Während der gesamten Nacht wurden um FINO 3 uneingeschränkte Sichtbedingungen registriert (<http://fino.bsh.de>). Allerdings drehte der abendliche SSE-Wind, ehe ungefähr ab Mitternacht kontinuierlich SW bis WSW-Winde vorherrschten – profitabler Rücken- hatte sich in kostenintensiven Gegenwind gewandelt. Möglicherweise induzierte dieser Wechsel der Windrichtung die zufällige Streuung der in der zweiten Nachthälfte registrierten Tracks. Desorientierung scheint für die nach Mitternacht registrierten Vögel angesichts fehlender Einschränkung der Sicht nicht infrage zu kommen. Die Radarsummen der zweiten Nachthälfte waren stark herabgesetzt, so dass einige wenige den Bereich der Plattform umfliegende Vögel auf der Suche nach einer geeigneten Landemöglichkeit zu dieser Streuung geführt haben könnten. Rufaufzeichnungen bestätigen die Präsenz einiger Individuen von Singdrosseln, Rotkehlchen und Heckenbraunellen *Prunella modularis* im direkten Plattformumfeld (Kap. 3.1.2.2, Abbildung 46).

Phänomene wie die hier geschilderten erschweren Aussagen zur generellen Gerichtetetheit von Vogelzug (vgl. Kap. 3.1.1.3) und machen gleichzeitig die Notwendigkeit zu zusätzlichen Einzelfallbetrachtungen ersichtlich. Sobald eine Gesamtschau zu Zugrichtungen über viele Nächte oder Jahre erfolgt, sind kreuzend überlagernde Zugwege ebenso eine Quelle für divergierende Richtungspräferenzen, wie wetterinduzierte Streuung. Besonderen Wert erhalten die Ergebnisse aber auch dadurch, dass sich über nächteweise Richtungspräferenzen Hinweise auf unterschiedliche Herkunftsregionen im Zusammenspiel mit den herrschenden Windbedingungen ergeben. Eminent wichtig sind diese für Modellansätze zur Klärung des Auftretens von starkem Vogelzug über der Deutschen Bucht. Diese müssen auf langjähriges Datenmaterial zurückgreifen können und überdies die Wetterbedingungen zu relevanten Zeitpunkten entlang der Zugrouten, vor allem aber auch zur Aufbruchszeit in den verschiedenen potenziellen Herkunftsregionen, inkorporieren. So sind in Analogie zu Herkunftsgebieten im Norden auch Situationen denkbarer Verdriftung bei stark ablandigen Winden von eigentlich weiter südlich über Land („Kontinentalvögel“) ziehender Tiere zu bedenken, obwohl sich aus den exemplarisch betrachteten zehn besonders starken Nächten keine unmittelbaren Hinweise hierauf ergeben. Dass Zugvögel

im Luftraum auf Änderungen der Windbedingungen schnell reagieren können, ist allgemein bekannt (z. B. LIECHTI 2006). Diese Flexibilität könnte Vögel über notwendig gemachte Richtungsänderungen aus energetischen Zwängen (Kap. 1.2.2) in den Bereich führen, und zwar zusätzlich zu der ohnehin bestehenden Möglichkeit zur kreuzenden Überlagerung verschiedener Zugwellen: Großräumige Windsituationen könnten sich innerhalb der Nacht dergestalt verändern, dass zur „richtigen Zeit“ von Ost nach Nordwest umgeschlagene Winde das Auftreten von Vögeln aus verschiedenen Großregionen begünstigen und so eine (sukzessive) Verschiebung der Proportionen zur Herkunft während der Nacht erfolgt. Die Modellansätze finden sich unter 3.5.

3.3.3 Richtungsänderungen in Abhängigkeit des Windparks?

Die Auswertung über ganze Zugperioden hinweg erwies sich zuvor auch als wenig hilfreich, um in Abhängigkeit des Windparks *Dan Tysk* etwaig veränderte Zugrichtungen im Sinne einer Anlockung oder Meidung untersuchen zu können (Kap. 3.2.4). Nächteweise unterschiedlich orientierte Vögel (Kap. 3.3.1) treffen in unterschiedlichem Anstellwinkel auf das Windparkareal von *Dan Tysk*. Dieser Anstellwinkel unterscheidet sich je nach mutmaßlicher Herkunft. Alle drei Nächte, für die wir starken Vogelzug zumeist südlicher Orientierung von Vögeln mit norwegischer Herkunft plausibel machen konnten (s. Kap. 3.3.1), fielen in den Herbst 2013. Umgekehrt konnten wir 2014 hauptsächlich südwest- bis westwärtige Kursführung „dänisch/schwedische Vogelzognächte“ unter den starken Zugereignissen messen. Wird zusätzlich berücksichtigt, wie stark sich Vogelzug auf wenige starke Zugereignisse innerhalb einer Zugperiode konzentrieren kann, wird deutlich, unter welch starker Beeinflussung durch einzelne Ereignisse selbst über mehrere Jahre zusammengefasste Betrachtungen stehen können. Die Gefahr, dass potenzielle Unterschiede in der Zugrichtungswahl in zu- bzw. -abgewandten Sektoren bis zur Unkenntlichkeit maskiert werden können, erscheint unter vollständigem Zusammenfassen von Zugperioden und insbesondere von Zugperioden mehrerer Jahre also sehr real. Solche Unterschiede sind aber besonders vielversprechend, um **nächtliche** Meide- oder Attraktionswirkungen eines Windparks durch/auf Vögel (tagsüber sind Planzugbeobachtungen hierzu besser geeignet, weshalb wir die Tagesmuster nicht weiter beleuchten) erkennen, näher charakterisieren und schließlich bewerten zu können.

Im Gegensatz zur gepoolten Betrachtung über das gesamte Datenmaterial hinweg, müssten Starkereignisse einzeln daraufhin analysiert werden, ob Unterschiede in der Richtungswahl ziehender Vögel in Messbereichen mit unterschiedlicher relativer Lage des Windparks (zu- oder abgewendet) bestehen. Dabei lässt sich zwar im Falle der drei Nächte mit südlicher Orientierung und vermuteter norwegischer Herkunft (vgl. Kap. 3.3.1) jeweils erkennen, dass

die Tracks im windparkzugewandten Bereich stets etwas südlicher gerichtet waren, als im windparkabgewandten Sektor mit konstant etwas stärker westwärts führender Orientierung (Abbildung 105). Aber in keinem Fall ließen sich Unterschiede auf Ebene der Himmelsrichtung falsifizieren und die präferierten Zugrichtungen betrafen übereinstimmend SE, S und SW (r jeweils $> 0,8$; p jeweils $< 0,001$; Rayleigh-Test). In der Gesamtschau der drei zusammengefassten Nächte ist jedoch ein Effekt zu beobachten, wonach im abgewandten Sektor zusätzlich zu SE, S und SW auch noch W als bevorzugte Richtung zu erkennen ist ($r = 0,89$; $p < 0,001$; Rayleigh-Test).

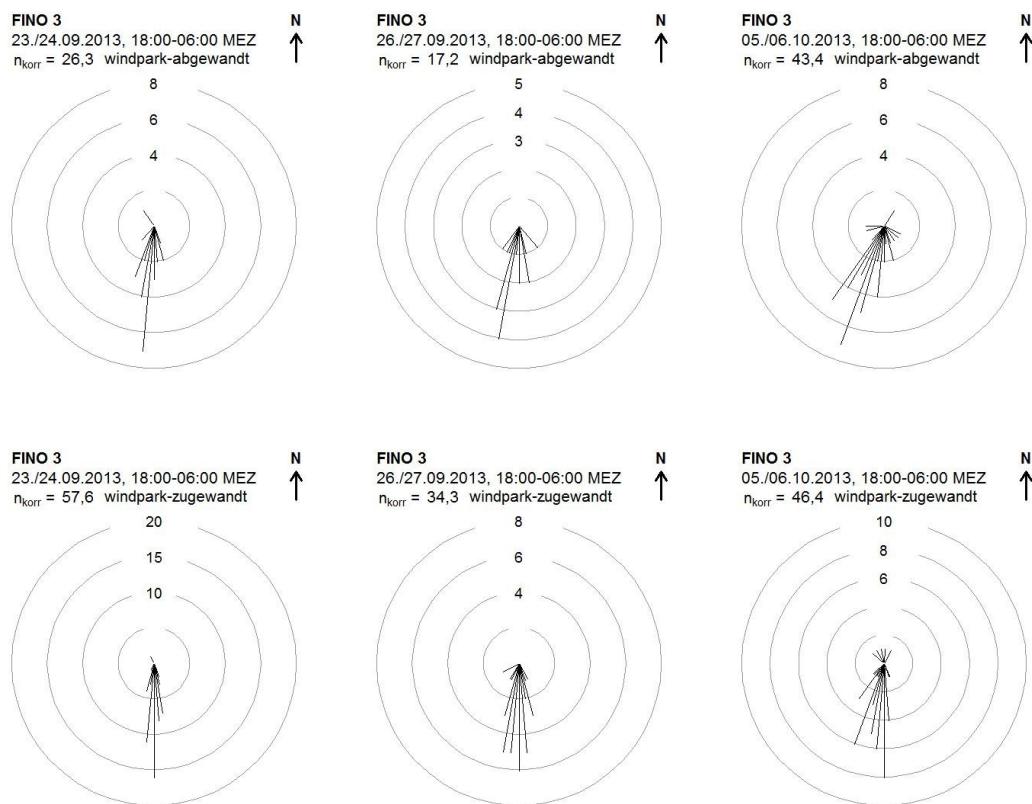


Abbildung 105: Richtungsverteilung per Parabolradar aufgezeichneter Vogeltracks während dreier starker Vogelzunächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3. Allen drei Nächten sind Konzentration von Vogelzug auf die zweite Nachthälfte (Abbildung 100) sowie Windrichtungen aus dem NW-Sektor gemein. Die Richtung von Tracks des windparkabgewandten Sektors (oben) ist jeweils dem windparkzugewandten Sektors (unten) gegenüber gestellt. Zur Darstellung wurden bereits Echos ab 360 m Entfernung berücksichtigt (vgl. Kap. 2.1.2). Anders als in Kap. 3.1.1.3 wurden nur Tracks aus einem Bereich von 325° bis 125° berücksichtigt, weshalb der Stichprobenumfang eingeschränkt ist (vgl. Text).

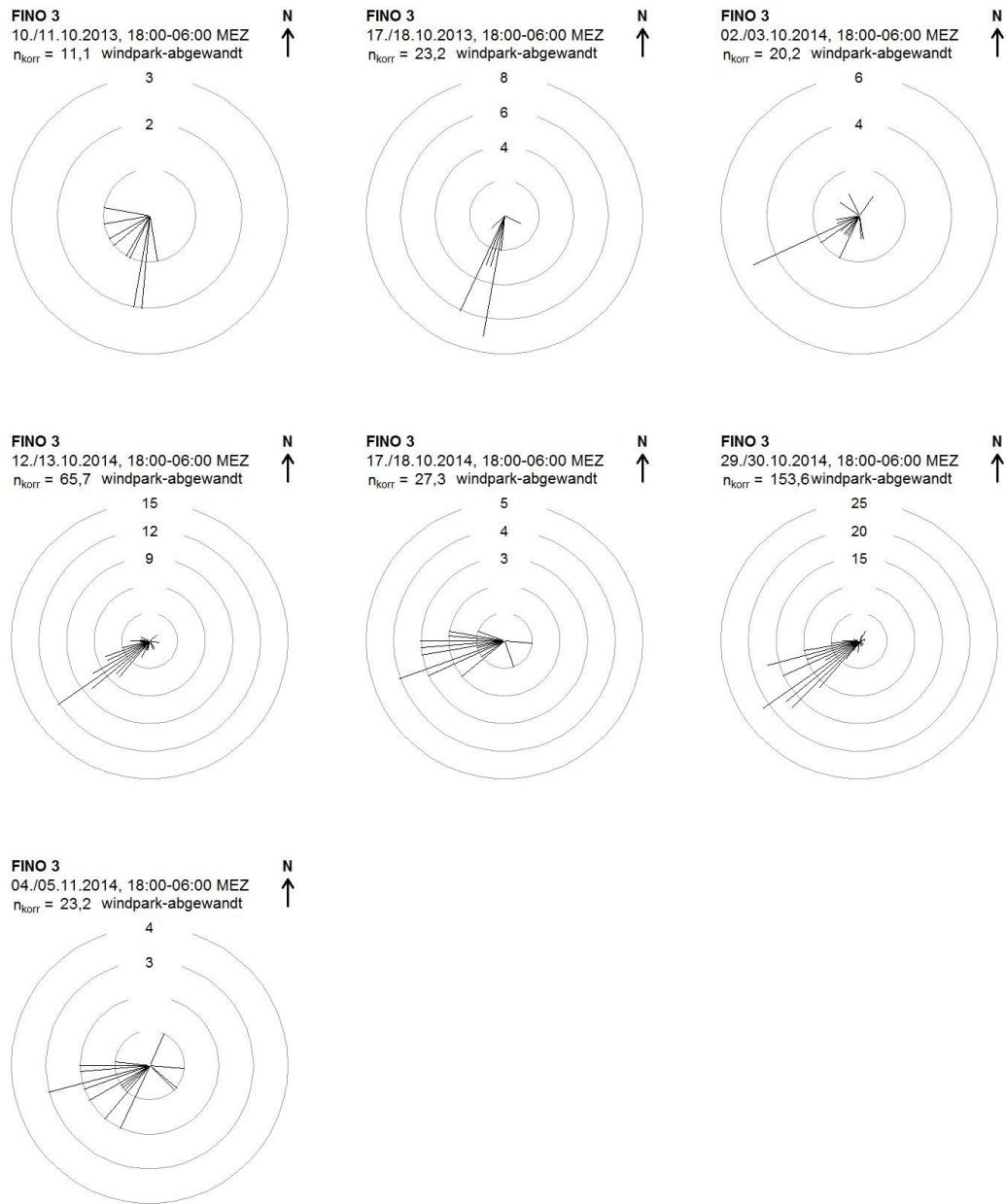


Abbildung 106: Richtungsverteilung per Parabolradar aufgezeichneter Vogeltracks während sieben starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3. Für alle diese Nächte wurden mit dänisch/schwedischen Herkunftsregionen andere Startgebiete als Norwegen vermutet (vgl. Kap. 3.3.1). Die hier dargestellten Richtungen der registrierten Tracks betreffen nur den windparkabgewandten Sektor. Für die Richtungsverteilung im windparkzugewandten Sektor siehe Abbildung 107. Zur Darstellung wurden bereits Echos ab 360 m Entfernung berücksichtigt (vgl. Kap 2.1.2). Anders als in Kap 3.1.1.3 wurden nur Tracks aus einem eingeschränkten Bereich berücksichtigt, weshalb der Stichprobenumfang eingeschränkt ist (vgl. Text).

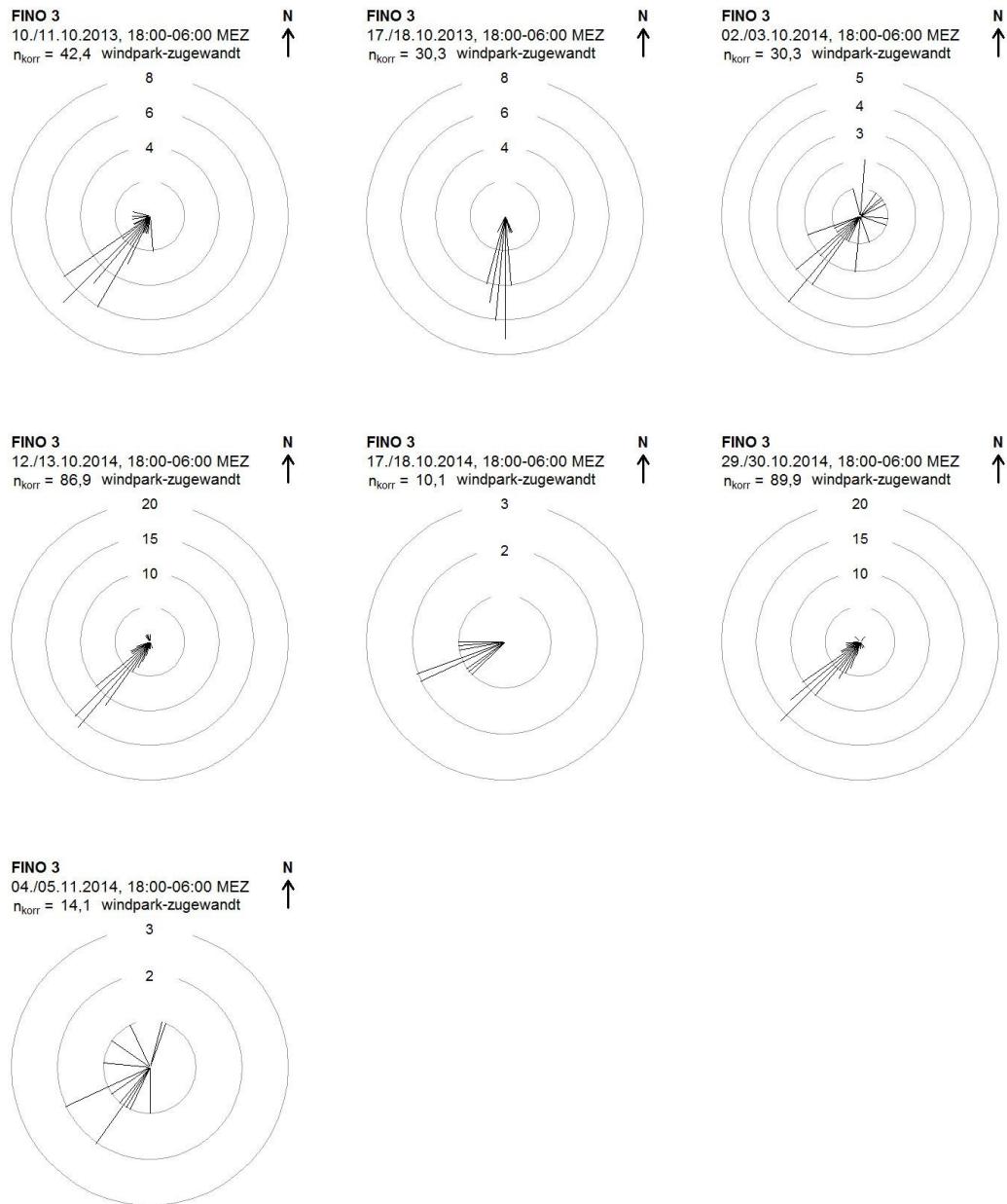


Abbildung 107: Richtungsverteilung per Parabolradar aufgezeichneter Vogeltracks während sieben starker Vogelzugnächte im Herbst 2013 am Standort FINO 3. Für alle diese Nächte wurde mit dänisch/schwedischen Herkunftsregionen andere Startgebiete als Norwegen vermutet (vgl. Kap. 3.3.1). Die hier dargestellten Richtungen der registrierten Tracks betreffen nur den windparkzugewandten Sektor. Für die Richtungsverteilung im windparkabgewandten Sektor siehe Abbildung 106. Zur Darstellung wurden bereits Echos ab 360 m Entfernung berücksichtigt (vgl. Kap. 2.1.2). Anders als in Kap. 3.1.1.3 wurden nur Tracks aus einem eingeschränkten Bereich berücksichtigt, weshalb der Stichprobenumfang eingeschränkt ist (vgl. Text).

Auch für die übrigen sieben Starknächte mit anderen Hauptrichtungen (und weit überwiegend in Dänemark und Schweden vermuteten Herkunftsregionen) ist ein Effekt verschobener Richtungspräferenzen zu erkennen, sobald die Nächte gemeinsam betrachtet werden. Neben der sowohl im windparkzu- ($r = 0,82$; $p < 0,001$; Rayleigh-Test) wie auch -abgewandten ($r = 0,35$; $p < 0,001$; Rayleigh-Test) Sektor festgestellten Gerichtetheit mit

schwerpunktmaßiger Orientierung nach S, SW und W, ist im windparkabgewandten Bereich zusätzlich eine Häufung nach NW orientierter Tracks zu erkennen, in windparkzugewandten Bereichen eine solche nach SE (p jeweils $< 0,01$, Rayleigh-Test). Wie im Falle der „norwegischen Vogelzugnächte“ konnte auch hier in keinem Einzelfall auf unterschiedliche oder ergänzende Richtungspräferenzen geschlossen werden, obwohl auch hier schon in einigen Nächten um etliche Grad verschobene Orientierung von Tracks im windparkzu- vs. windparkabgewandten Bereich auffällt (Abbildung 106, Abbildung 107).

Zusammengefasst ist zu erkennen, dass Vögel während beider Situationen in den windparkzugewandten Bereichen vermehrt in Richtung Windpark fliegen. Unabhängig ob zumeist nach S bis SSW oder von W bis SW orientiert: Ein kleiner Teil der beteiligten Vögel zeigte im zugewandten Sektor eine östliche Flugrichtungs-Komponente in Richtung Windpark. Dieses deutet auf eine nachts bestehende – möglicherweise lichtinduzierte – Anlockwirkung hin. Da ausnahmslos unter guten oder zumindest nicht abträglichen Vogelzugbedingungen beprobt wurde, wäre somit auch unter solchen Bedingungen mit einem kleinen Teil angelockter Vögel der das Seegebiet passierenden Tiere zu rechnen. Für schlechte Zugbedingungen ist dieser Effekt gut bekannt (Kap. 1.1, Übersicht z. B. in HILL et al. 2014c).

Zwingende Voraussetzung um diesen Effekt erkennen zu können, ist offenkundig die Gliederung der Nächte nach dem Kontext der übergeordnet eingeschlagenen Richtung. Zugleich werden so zugökologische Bedingungen (Wind) berücksichtigt. Der Effekt einer Anlockung könnte angesichts des unterschiedlichen Skalenniveaus zwischen Windparkfläche und Radarabdeckung unterschätzt sein. Zu bedenken ist auch, dass systembedingt in vergleichsweise großen Höhen gemessen wird (Kap. 2.1). Weiterhin ist der pilotstudienartige Charakter der hier noch begrenzten Auswahl herangezogener Starknächte zu beachten. Weiterführende Untersuchungen sollten zum Ziel haben, die Richtungsverschiebung hin zum Windpark zusätzlich zeitlich einzugrenzen. Dadurch ließe sich gegebenenfalls erkennen, ob die Anlockwirkung einer tageszeitlichen Komponente unterliegt. So lassen beispielsweise in der zweiten Nachhälfte gesteigerte Rufraten trotz reduzierter Radarechozahlen (Kap. 3.1.2.3, 3.1.1.2) verstärkte Annäherung an Bauwerke im Offshore-Bereich annehmen.

3.4 Annäherung an FINO 3 & nächtliche Lichtintensitäten

3.4.1 Allgemeine Ergebnisse

Um Aussagen darüber treffen zu können, ob es besonders in dunklen Nächten bzw. sehr dunklen Nachtstunden zu einer besonders starken Annäherung von Zugvögeln an anthropogene Offshore-Strukturen kommt, wurden die Ergebnisse der automatischen Ruferfassung in Bezug zur Lichtintensität innerhalb der Zugnacht gesetzt. Dabei wurde die Anzahl rufpositiver Dateien pro Zeitstunde als Maß für die Annäherung von Vögeln an die FINO 3 herangezogen.

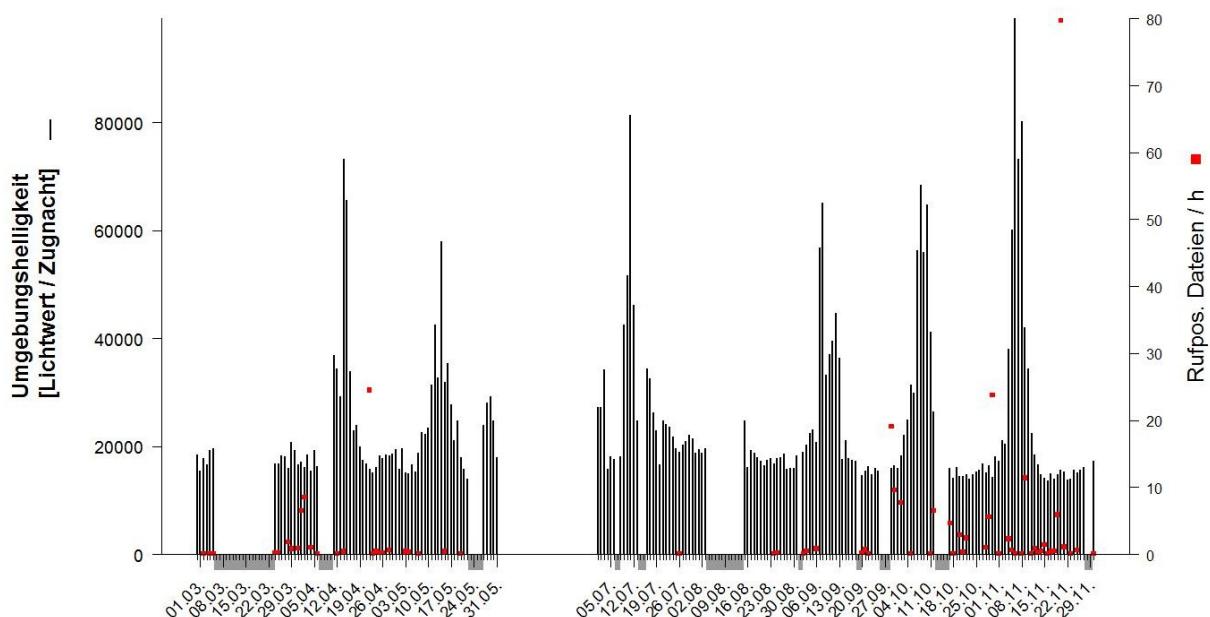


Abbildung 108: Je Zugnacht gemittelte Lichtwerte sowie das Mittel der rufpositiver Dateienpro Stunde im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser und automatischer Ruferfassung am Standort FINO 3. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken und Ausschlussstage.

Grafisch lässt sich erkennen, dass unter Ausschluss der Nächte, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 eingeschaltet war, höhere Ruffrequenzen pro Stunde vor allem in eher dunklen Nächten auftreten, während in den Nächten rund um Vollmond nur wenige Vogelrufe aufgezeichnet wurden (Abbildung 108). In diesen „helleren“ Nächten fand augenscheinlich also kaum eine Annäherung an die FINO 3 stattfand. Auch bei stärkerer Auflösung auf Stundenniveau lässt sich hier sowohl im Frühjahr als auch im Herbst 2014 erkennen, dass es zum einen innerhalb an sich Mondlicht armer Nächte häufig in solchen Stunden zur Aufzeichnung von Rufdateien kam, in denen es recht dunkel war. Zum anderen wurden im vierten Nachtviertel, das gegenüber den zentralen Nachtvierteln deutlich heller

ausfällt, häufig sehr viele Rufdateien registriert (Abbildung 109, Abbildung 110). Zur Annäherung von Zugvögeln an anthropogene Offshore-Strukturen, von denen eine Kollisionsgefahr ausgeht, scheint es somit vor allem zu generell lichtarmen Zeiten sowie im vierten Nachtviertel zu kommen.

Bisherige Erkenntnisse zu Vogekollisionen an anthropogenen Strukturen allgemein lassen darauf schließen, dass deren Beleuchtung, vor allem wenn sie mit attraktions- bzw. kollisionsfördernden Wetterbedingungen (Nebel, Nieselregen, Regen, Schneefall, schlechte Sicht, starke Bewölkung) einhergeht, das Kollisionsrisiko erhöht (z. B. BREWER & ELLIS 1958, CASEMENT 1974, ABLE & GAUTHREAUX 1975, HARRIS 1980). Solche Wetterphänomene führen im Allgemeinen auch zu einer deutlichen Absenkung der nächtlichen Lichtintensität, wobei vor allem Bewölkung dazu beitragen kann, dass sich Zugvögel nicht am Sternenhimmel orientieren können.

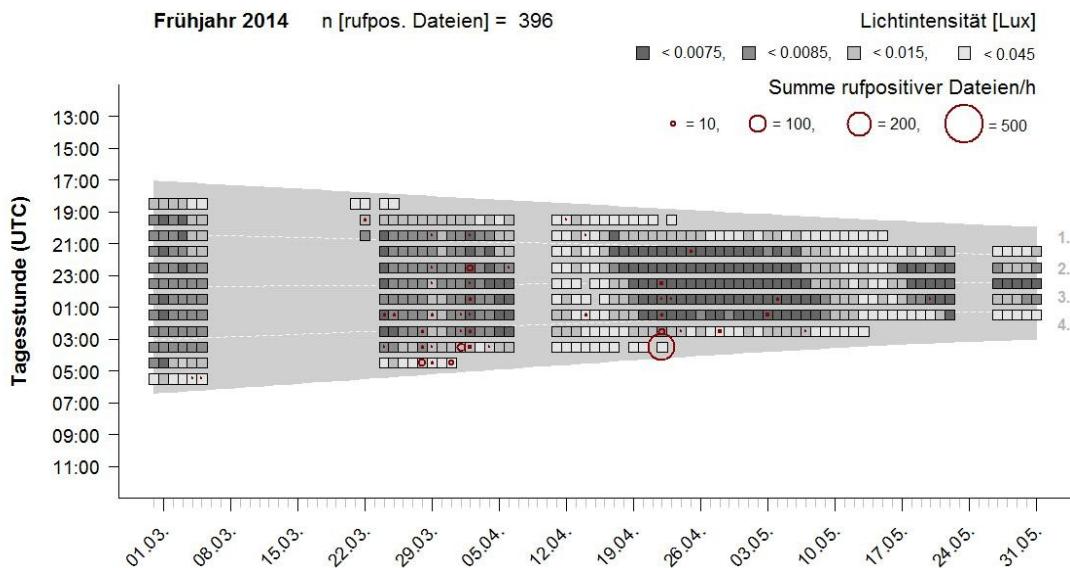


Abbildung 109: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Frühjahr 2014 unter Ausschluss der Nächte, in denen zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte. Für jeden Stundenwert gemessener Lichtintensität ist eine eindeutige Zuweisung zu einer Nachphase (graues Feld in Viertel aufgeteilt; gestrichelte Linien) möglich. Beachte: Die Messpunktgröße der rufpositiven Dateien ist wurzeltransformiert dargestellt.

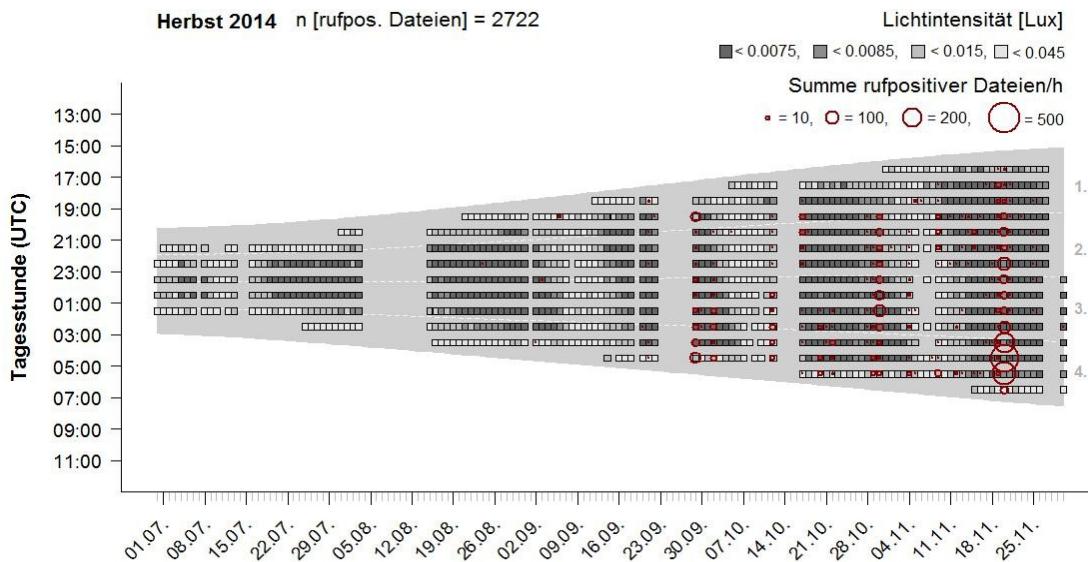


Abbildung 110: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Herbst 2014 unter Ausschluss der Nächte, in denen zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte. Für jeden Stundenwert gemessener Lichtintensität ist eine eindeutige Zuweisung zu einer Nachtphase (graues Feld in Viertel aufgeteilt; gestrichelte Linien) möglich. Beachte: Die Messpunktgröße der rufpositiven Dateien ist wurzeltransformiert dargestellt.

Für Zugvögel ohne Orientierung besteht allgemein die Gefahr, dass sie Lichtquellen, wie sie anthropogene Offshore-Strukturen durch ihre Verkehrssicherungsbeleuchtung darstellen, gezielt anfliegen, bestehende Hindernisse nicht mehr wahrnehmen und dann mit diesen kollidieren (Übersicht in HILL et al. 2014c). Zudem kann auch Gegenwind dazu beitragen, dass Zugvögel ihre Flughöhe absenken und damit vermehrt in den Einzugsbereich von Offshore-Strukturen gelangen, an denen Kollisionsgefahr besteht.

Wertet man die Daten der automatischen Ruferfassung und Belichtungsmessung ohne Ausschluss der Nächte aus, in denen zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte, ergibt sich ein im Vergleich zu den vorangehenden Analysen konträres Bild, dass die Hypothese einer möglichen Lockwirkung starker Beleuchtung auf Zugvögel untermauert.

Hier wurde festgestellt, dass innerhalb der Nächte mit zusätzlich eingeschalteter Sicherheitsbeleuchtung der Plattform besonders viele Vogelrufe aufgezeichnet wurden und es somit zu ausgeprägter Annäherung an die Plattform kam. In sechs der zehn rufstärksten Nächte des Jahres 2014 war die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der Plattform eingeschaltet, so auch in der insgesamt rufstärksten Nacht am 14. Oktober (Abbildung 111).

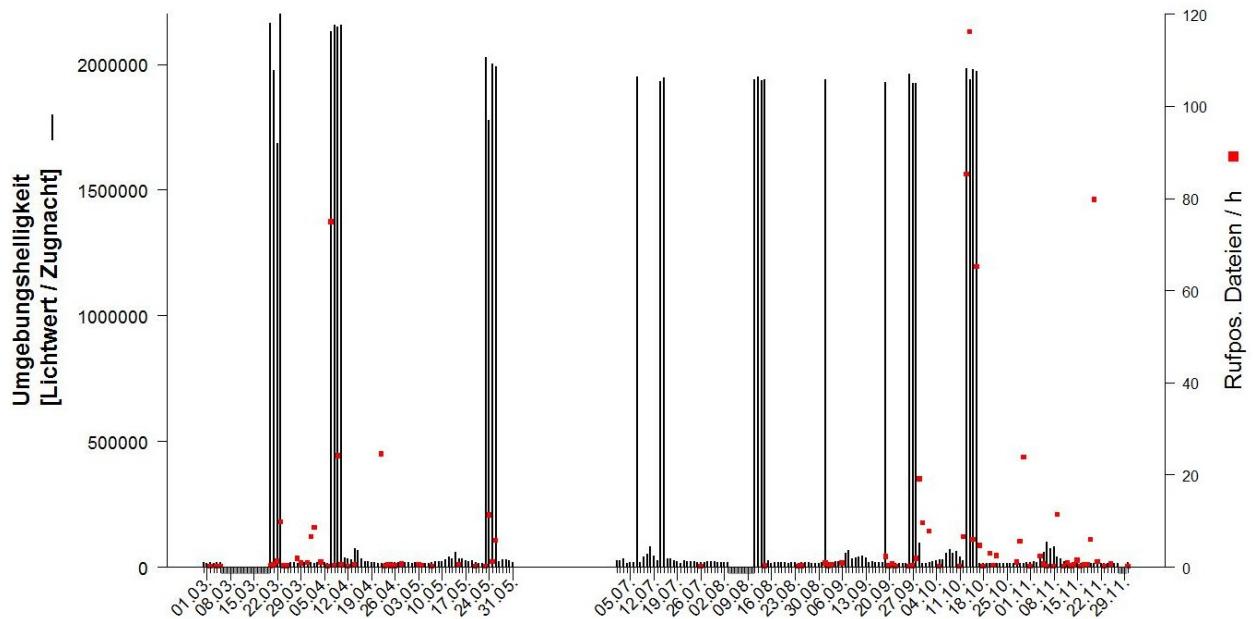


Abbildung 111: Je Zugnacht gemittelte Lichtwerte sowie das Mittel der rufpositiven Dateien pro Stunde im Jahr 2014 gemäß Beleuchtungsmesser und automatischer Ruferfassung am Standort FINO 3 ohne Ausschluss der Nächte, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte. Unterhalb der x-Achse grau unterlegte Bereiche kennzeichnen Erfassungslücken.

Dieses Muster lässt sich nicht nur auf Basis der einzelnen Zugnächte, sondern auch auf Basis der einzelnen Nachtstunden erkennen. Brannte die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3, wurden in diesen Stunden sowohl im Frühjahr als auch im Herbst häufig sehr viele Vogelrufe registriert (Abbildung 112, Abbildung 113). Das Gros der aufgenommenen Rufe stammt dabei von Singvögeln, besonders von Drosseln und Drosselverwandten (Kap. 3.1.2.1). Dies lässt annehmen, dass die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung vor allem auf ziehende Singvögel eine Lockwirkung haben könnte und sich diese dann stärker annähern als in Nächten, in denen diese Beleuchtung nicht eingeschaltet ist. Um genauere Aussagen hierzu treffen zu können, ist jedoch auch eine Analyse der Wetterlage in den entsprechenden Zugnächten notwendig.

Für die jeweils vier stärksten registrierten Annäherungsereignisse bei ein- bzw. ausgeschalteter Sicherheitsbeleuchtung (Abbildung 114, Abbildung 116) wurde daher auch die Wetterlage in der betreffenden Zugnacht analysiert. Allgemein lässt sich anhand der Darstellung der Einzelnächte erkennen, dass Zugnächte mit besonders hohen nächtlichen Rufintensitäten meist mit einer Aufzeichnung hoher Rufzahlen in den eher dunklen Nachtstunden sowie andererseits besonders im vierten Nachtviertel einhergehen.

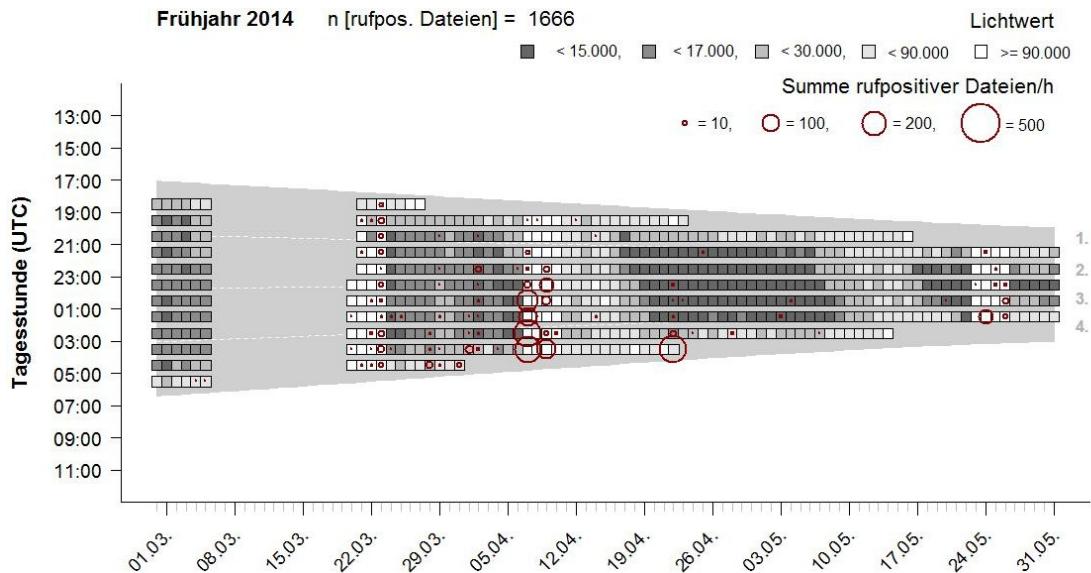


Abbildung 112: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Frühjahr 2014 ohne Ausschluss der Nächte, in denen zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte. Für jeden Stundenwert gemessener Lichtintensität ist eine eindeutige Zuweisung zu einer Nachtphase (graues Feld in Viertel aufgeteilt; gestrichelte Linien) möglich. Beachte: Die Messpunktgröße der rufpositiven Dateien ist wurzeltransformiert dargestellt.

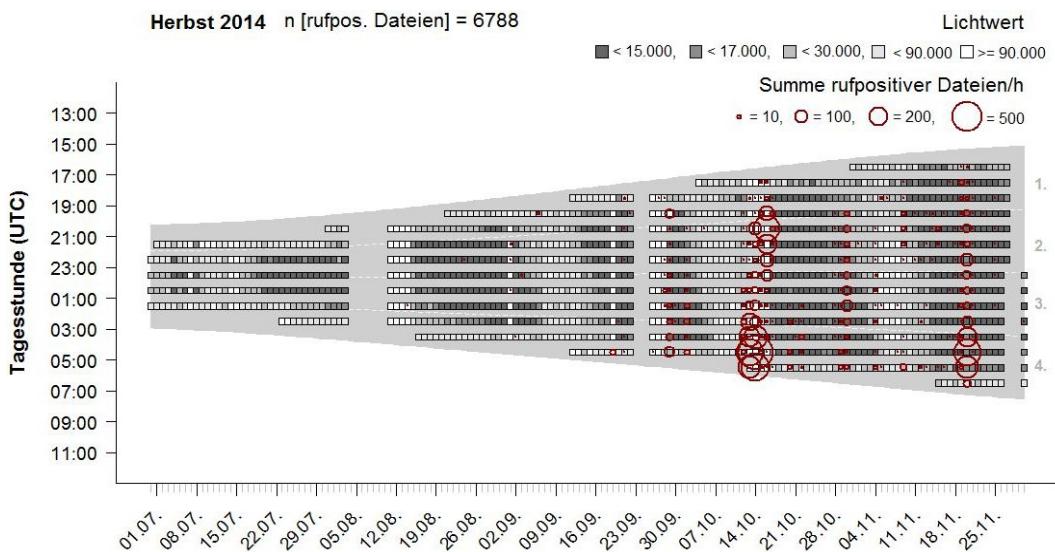


Abbildung 113: Stundenscharfe Lichtintensität gemäß Beleuchtungsmesser sowie Summe rufpositiver Dateien je Zugnacht und Nachtstunde am Standort FINO 3 im Herbst 2014 ohne Ausschluss der Nächte, in denen zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung brannte. Für jeden Stundenwert gemessener Lichtintensität ist eine eindeutige Zuweisung zu einer Nachtphase (graues Feld in Viertel aufgeteilt; gestrichelte Linien) möglich. Beachte: Die Messpunktgröße der rufpositiven Dateien ist wurzeltransformiert dargestellt.

Die Zugnacht vom 29.09.2014 zeichnete sich laut der Wetteraufzeichnung an FINO 3 durch starken Regen am Morgen sowie durch niedrige Sichtweite und hohe Luftfeuchte aus (Abbildung 115). Die höchsten Rufzahlen wurden in dieser Nacht während der frühen Nachtstunden sowie gegen Ende der Nacht während der Regenphase mit deutlich herabgesetzter Sichtweite aufgezeichnet. Die Zugnacht vom 02.10., die gegenüber den drei

weiteren starken Rufnächten deutlich geringere Rufintensitäten aufweist, zeichnete sich durch einen starken Wechsel der Windrichtung von Nordost hin zu Süd-Südwest aus. Dies führte dazu, dass die Zugvögel im Nachtverlauf auf Gegenwind stießen, was ein Absinken der Flughöhe und eine stärkere Annäherung an die FINO 3 zur Folge hatte (Abbildung 115). In dieser Zugnacht wurden die höchsten Rufraten entsprechend zwischen zwei und fünf Uhr morgens verzeichnet (Abbildung 114), also in der Phase des stärksten Gegenwinds. Auch die Zugnacht vom 30.10. zeichnet sich in Folge von Nebel durch einen deutlichen Abfall der Sichtweite ab 19 Uhr bis in die frühen Morgenstunden aus. Zudem herrschte starker Wind aus südlichen Richtungen und somit für auf dem Wegzug befindliche Vögel Gegenwind vor. Konstant hohe Rufraten wurden hier einhergehend mit dem Einsetzen des Nebels bis zum frühen Morgen hin verzeichnet (Abb. Abbildung 114, Abbildung 115). In der Zugnacht vom 20.11.2014 wurde regenbedingt ein jeweils nur kurzzeitiges Absinken der Sichtweite über See verzeichnet, während Windrichtung und Windgeschwindigkeit sich im Nachtverlauf kaum änderten. Die höchsten Rufraten wurden während der letzten morgendlichen Regenphase zwischen drei und fünf Uhr registriert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Wechsel der Wetterbedingungen im Verlauf einer Zugnacht hin zu für Zugvögel ungünstigen Konditionen mit hoher Wahrscheinlichkeit die Stärke der Annäherungsergebnisse beeinflusst. Verlieren nachts ziehende Singvögel aufgrund starker Bewölkung, (Niesel-)Regen oder Nebel die Orientierung, haben sie über See keine Möglichkeit zur Landung (HÜPPPOP et al. 2006, FARNSWORTH & RUSSELL 2007, HÜPPPOP & HILGERLOH 2012) und reagieren phototaktisch auf unterschiedliche Lichtquellen (MUHEIM & JENNI 1999, RICHARDSON 2000, Übersicht z. B. in BALLASUS et al. 2009), was die Stärke von Annäherungsergebnissen zusätzlich erhöhen kann.

Die Zugnacht vom 07.04. weist zum Teil sehr hohe Windstärken sowie Niederschlag auf. Daten zur Sichtweite fehlen in dieser Nacht, jedoch ist anzunehmen, dass die Sichtweite einhergehend mit dem Regen abnahm. Im letzten Nachabschnitt schlug die Windrichtung von Süd nach Nordwest bis West um (Abbildung 117). Die höchsten nächtlichen Rufraten wurden in den frühen Morgenstunden ab ca. ein Uhr nachts registriert und erreichten ihr Maximum mit Wechsel der Windrichtung zwischen drei und fünf Uhr morgens (Abbildung 116).

Auch die Zugnächte vom 13.10 und vom 14.10.2014 zeichnen sich dadurch aus, dass die höchsten Rufraten im letzten Nachtviertel registriert wurden (Abbildung 116). In beiden Nächten herrschte starker Wind aus überwiegend konstant östlicher Richtung, während die Sichtweite einhergehend mit Niederschlägen jeweils starken Schwankungen unterworfen war (Abbildung 117). Während die Zugnacht vom 13.10. vor allem am Abend von Regen begleitet war, setzte Niederschlag in der Zugnacht vom 14.10. erst gegen 23 Uhr ein.

Entsprechend war die Sichtweite in der Zugnacht vom 13.10. während der Phase der stärksten Annäherung von Zugvögeln an die Plattform laut Rufdaten außerordentlich gut (Abbildung 117), während die Sichtweite in der Zugnacht vom 14.10. zwischen 0:00 und 4:00 Uhr morgens deutlich reduziert war. In beiden Nächten scheint die starke Annäherung von Zugvögeln an die FINO 3 jedoch weniger durch das Wetter bedingt zu sein, als durch eine allgemeine Reduktion der Zughöhe von Zugvögeln im letzten Nachtviertel, wenn eine erhöhte Landebereitschaft vorliegen könnte.

Abweichend vom Muster der beiden vorangehenden starken Annäherungsnächte im Oktober, wurden die höchsten Rufraten in der Zugnacht vom 16.10. bereits in der ersten Nachthälfte zwischen 19:00 und 0:00 Uhr registriert (Abbildung 116). Die maximalen Rufraten fallen dabei mit dem frühnächtlichen Regenereignis zwischen 19:30-22:00 Uhr zusammen. In dieser Zeitspanne fiel die Sichtweite deutlich ab, während die Windgeschwindigkeit zunahm und der Wind auf südöstliche Richtungen drehte.

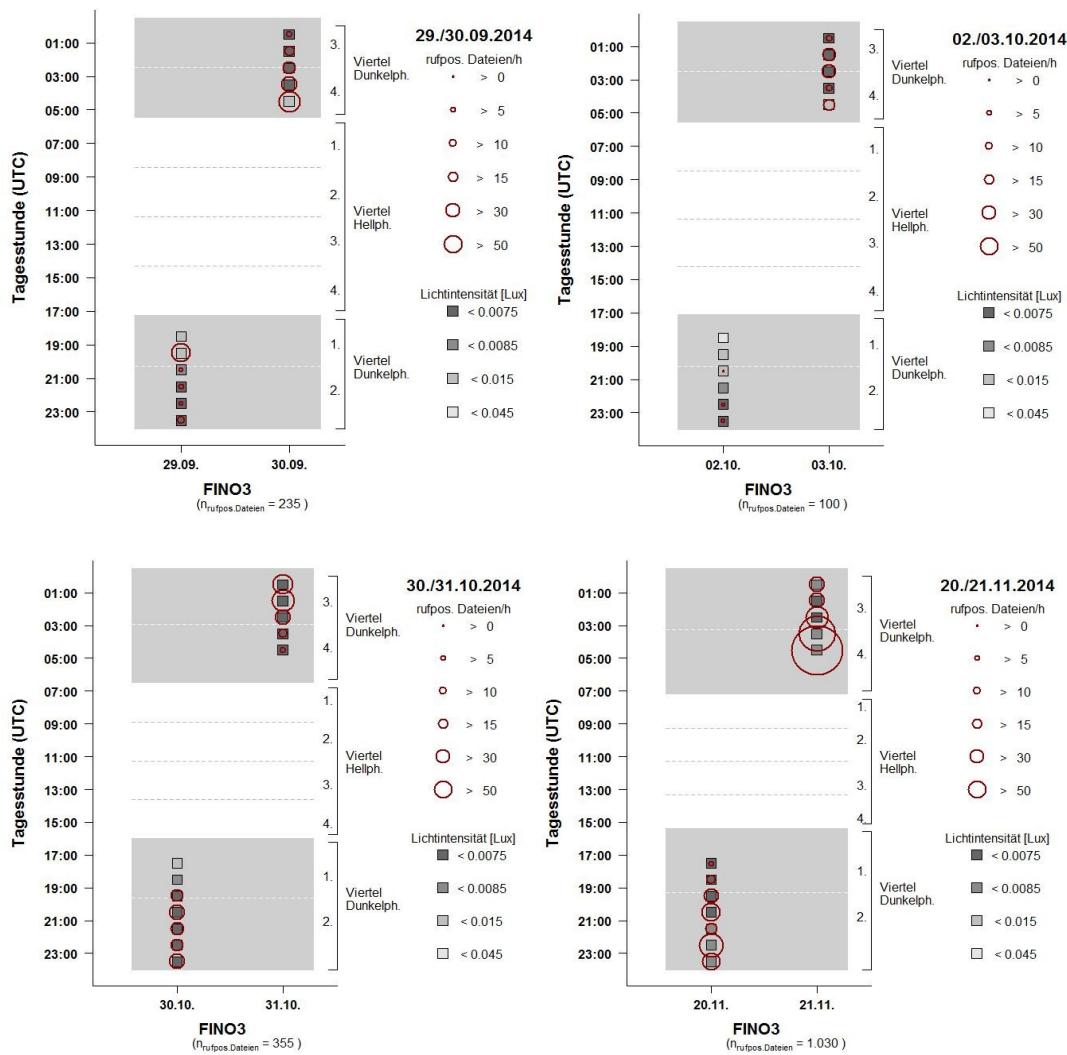


Abbildung 114: Stundenscharfe Lichtintensität in Lux und Anzahl rufpositiver Dateien gemäß Beleuchtungsmesser bzw. Ruferfassung für die vier annäherungsstärksten Nächte 2014 ohne zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung auf FINO 3. Die grauen Felder kennzeichnen die Dunkelphase.

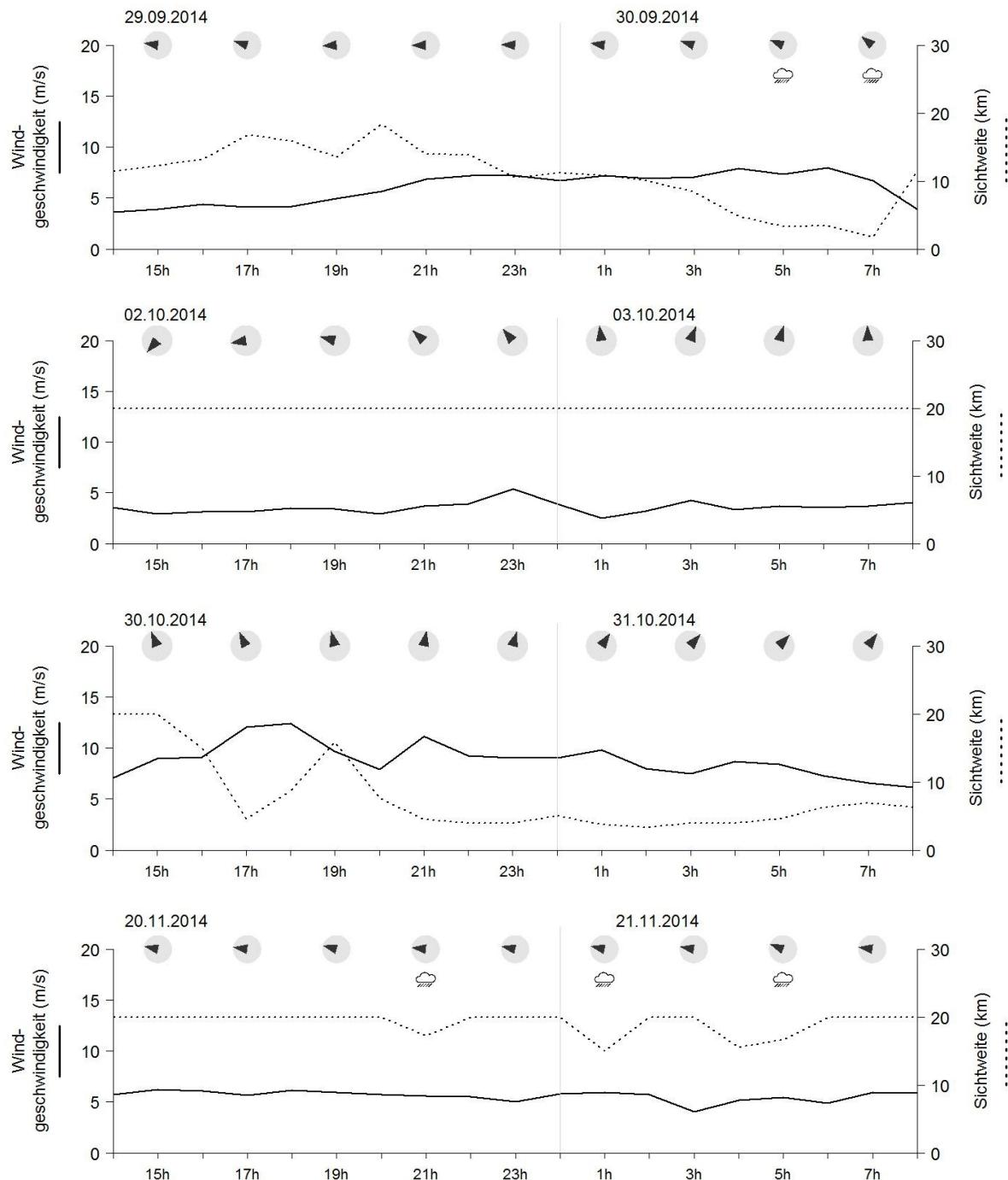


Abbildung 115: Starke Annäherungsnächte unter „natürlicher“ Umgebungsbeleuchtung begleitende Wetterparameter: Windrichtung (Pfeile), Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe (durchgezogene Linie, linke Ordinate), Sichtweite (gepunktete Linie, rechte Ordinate).

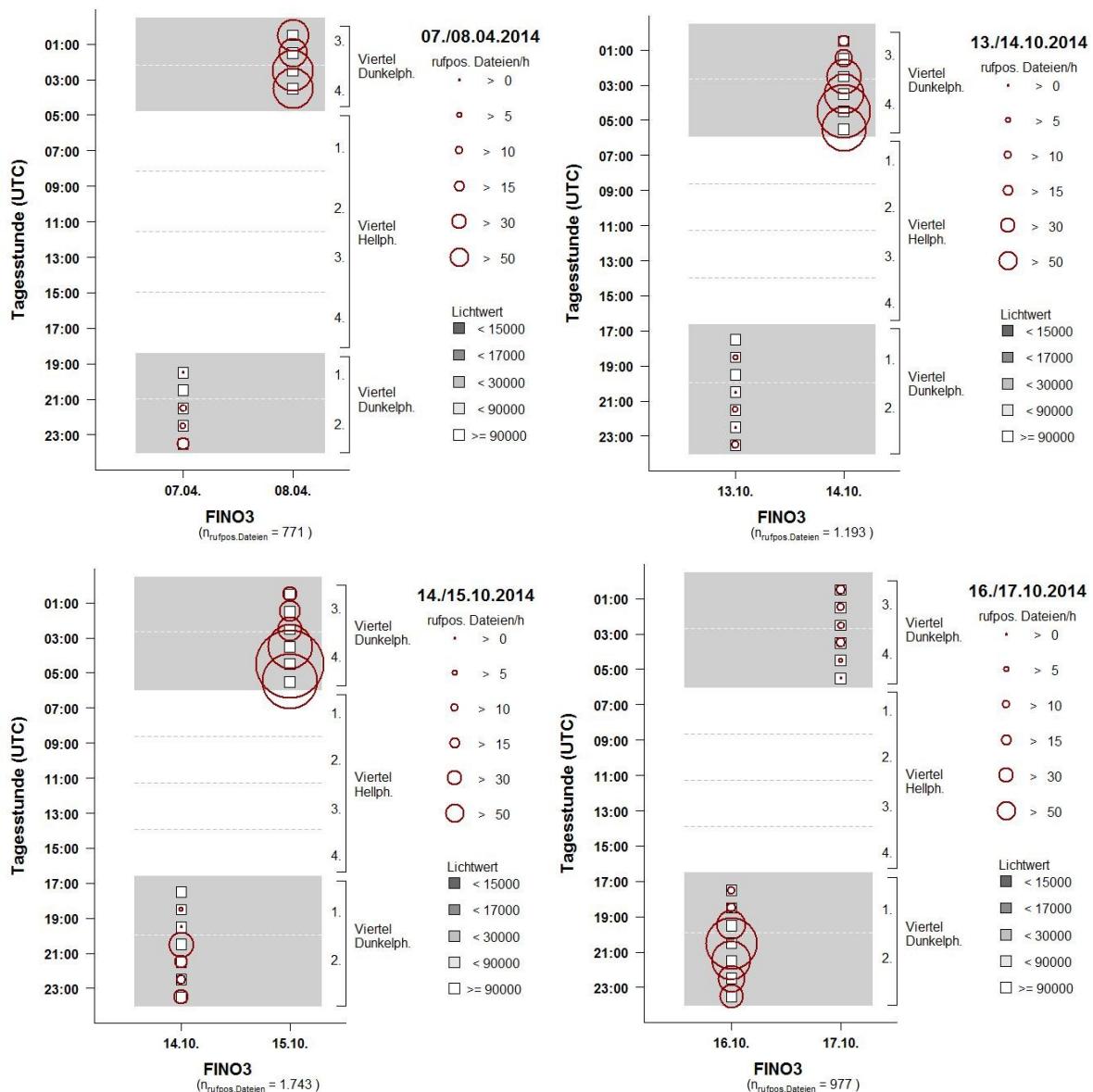


Abbildung 116: Stundenscharfe Lichtintensität in Lux und Anzahl rufpositiver Dateien gemäß Beleuchtungsmesser bzw. Ruferfassung für die vier annäherungsstärksten Nächte 2014 mit zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung auf FINO 3. Die grauen Felder kennzeichnen die Dunkelphase.

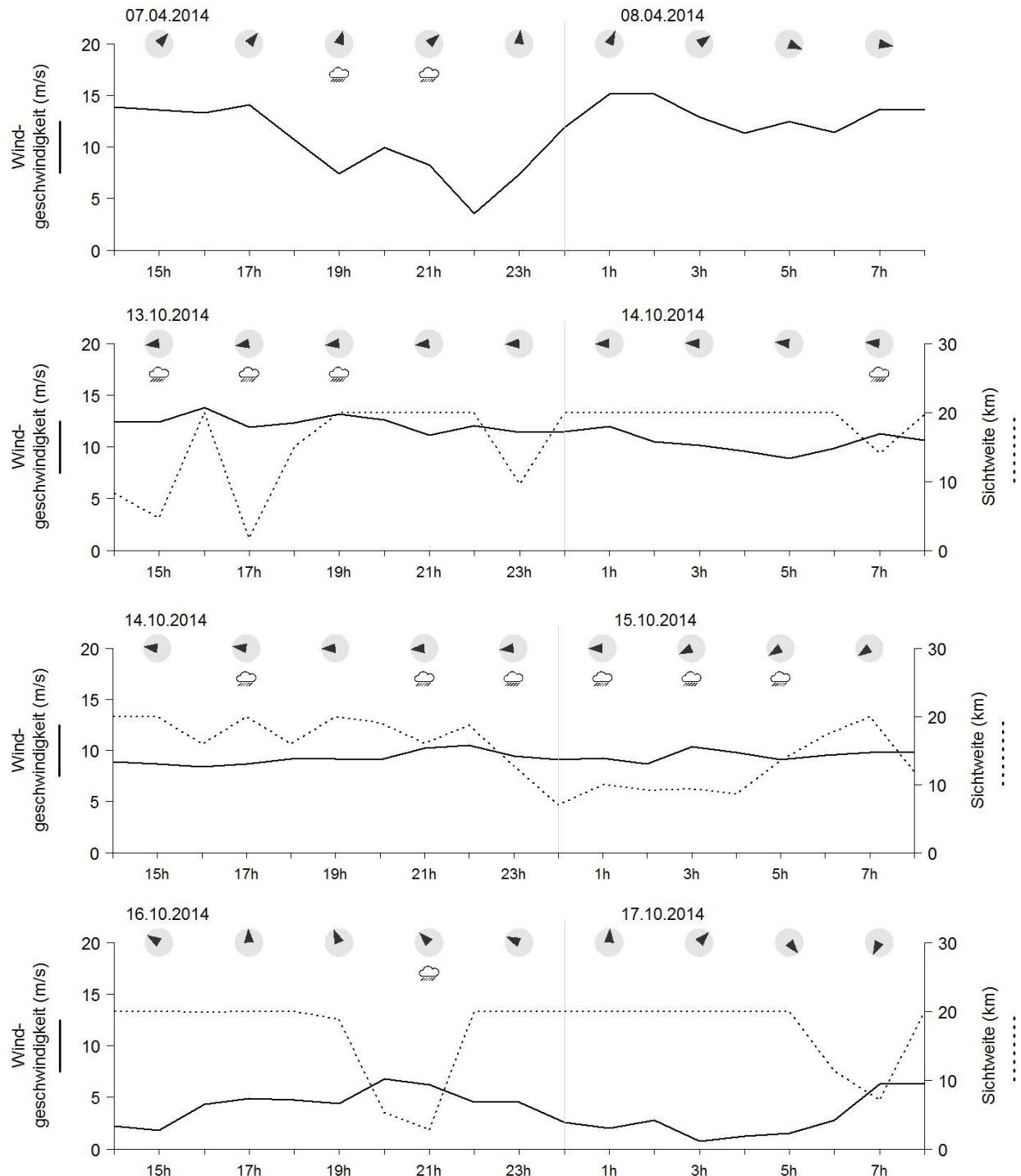


Abbildung 117: Starke Annäherungsnächte bei eingeschalteter zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung begleitende Wetterparameter: Windrichtung (Pfeile), Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe (durchgezogene Linie, linke Ordinate), Sichtweite (gepunktete Linie, rechte Ordinate). Für die Zugnacht vom 07.04.2014 fehlen Daten zur Sichtweite.

3.4.2 Modellierung

Eine Modellierung, die sowohl die aufgezeichneten Licht- und Rufdaten der Nächte unter Umgebungsbeleuchtung mit Hinderniskennzeichnung als auch der Nächte mit zusätzlich eingeschalteter Sicherheitsbeleuchtung der FINO 3 berücksichtigt, lieferte keine plausiblen

Ergebnisse. Diese Modellierung stellte sich aufgrund der Verteilung der Daten als nicht möglich heraus, selbst wenn die Daten ausschließlich auf die zentralen Nachtviertel eingeschränkt wurden. Wie in Abbildung 118 links zu sehen ist, wurden in Nächten ohne Sicherheitsbeleuchtung (0,04 Lux entsprechen einem Lichtwert von 80.000) die meisten rufpositiven Dateien pro Stunde bei geringer Lichtintensität aufgezeichnet. Die Daten aus Nächten mit zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung wurden dagegen entsprechend bei sehr hohen Lichtwerten und damit am oberen Ende des Lichtgradienten aufgezeichnet, wodurch sich eine deutliche Zweiteilung des Datensatzes ergibt (Abbildung 118 rechts). Jedoch liegt die Anzahl rufpositiver Dateien pro Stunde bei voller Beleuchtung der FINO 3, die dann einen außerordentlich hellen Lichtpunkt auf dem ansonsten überwiegend dunklen Meer bildet, zum Teil weit höher als in Nächten ohne Sicherheitsbeleuchtung.

Testet man die Anzahl rufpositiver Dateien pro Stunde aus Nächten ohne Sicherheitsbeleuchtung gegen die Anzahl der Dateien pro Stunde aus Nächten mit zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung, lässt sich eine signifikant höhere Anzahl rufpositiver Dateien und damit stärkere Annäherung an die FINO 3 für Nächte mit voller Beleuchtung der Plattform feststellen (Abbildung 119).

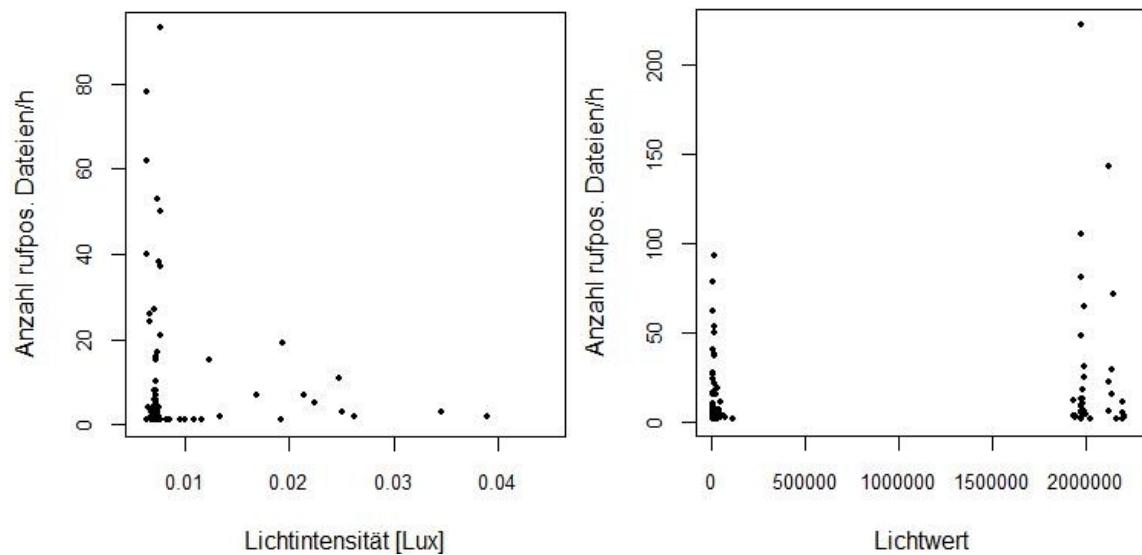


Abbildung 118: Anzahl der per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Stunde in Abhängigkeit von der „natürlichen“ Lichtintensität des Nachthimmels (links, n = 823) bzw. Anzahl der per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Stunde in Abhängigkeit vom Lichtwert in Nächten mit natürlichem Nachtlicht bzw. in Nächten mit eingeschalteter zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung auf der FINO 3 (rechts, n = 1874). Der zugrunde liegende Datensatz enthält keine Nullwerte. Es wurden nur die Daten der beiden zentralen Nachtviertel dargestellt.

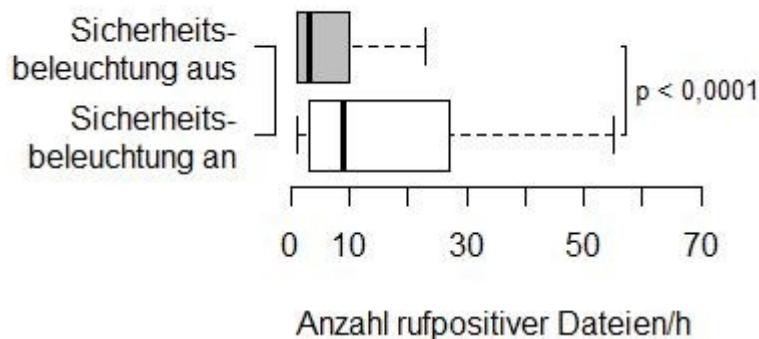


Abbildung 119: Vergleich zwischen der Anzahl der per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Stunde bei ausgeschalteter bzw. eingeschalteter zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung auf der FINO 3. Der zugrunde liegende Datensatz enthält keine Nullwerte. Es sind jeweils Daten aus der kompletten Zugnacht enthalten ($n = 8454$ rufpositive Dateien).

Wie unter 3.2 beschrieben, konnte eine Modellierung der Licht- und Rufdaten nur mit einem stark eingeschränkten Datensatz durchgeführt werden. Dieser Datensatz enthält nur die Daten der rufpositiven Nachtstunden beider zentraler Nachtviertel der Zugnächte der Heim- und Wegzugperiode, wobei die Nächte mit zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung von der Analyse ausgeschlossen wurden.

Das volle Modell entsprach hier auch dem die Verteilung der Daten am besten beschreibenden Modell:

```
Model <- glmer(rufDat ~ Lichtintensität + (1|Zugnacht), data=lichtsound, family=poisson,
control=glmerControl(optimizer="bobyqa"))
```

Als fester Faktor ging die gemessene Lichtintensität ein. Die Zugnacht ging als zufälliger Faktor ein.

Das Modell zeigt den signifikanten Einfluss der nächtlichen Lichtintensität auf die Anzahl registrierter rufpositiver Dateien. Eine Annäherung von Vögeln an die FINO 3 tritt – innerhalb der zentralen Nachtviertel und unter Ausschluss der Nächte, in denen die zusätzliche Sicherheitsbeleuchtung an Deck brannte – demnach vor allem bei niedrigen Lichtintensitäten auf (Abbildung 120).

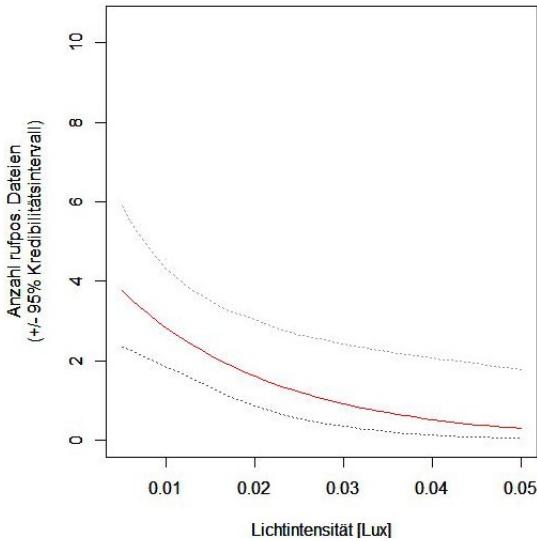


Abbildung 120: Modellierte Anzahl von per Ruferfassung registrierten rufpositiven Dateien pro Nachtstunde und Zugnacht bei unterschiedlicher natürlicher Lichtintensität des Nachthimmels laut Daten des Beleuchtungsmessers. Der zugrunde liegende Datensatz enthält keine Nullwerte. Es wurden nur die beiden zentralen Nachtviertel ausgewertet. Nächte mit eingeschalteter zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtung wurden vollständig aus der Analyse ausgeschlossen.

3.5 Wetter und Vogelzug – Vorhersage der Vogelzugstärke an einem Offshore-Standort in Abhängigkeit von Wetterbedingungen in den Aufbruchsgebieten und unterwegs

Das von dem generalisierten additiven Modell vorhergesagte „distanzkorrigierte Anzahl Echos pro Zugnacht“-Muster über die Wegzugperiode zeigt erwartungsgemäß einen Peak im Herbst mit einem anschließenden Abfall der Intensitäten zum Jahresende hin (Abbildung 121). Ein sich nicht vollständig mit der Radarpähnologie aus Kapitel 3.1.1.1 deckendes Bild mit relativ hohen Intensitäten bereits im Sommer ergibt sich möglicherweise durch Unterschiede in der Datenaufbereitung für die verschiedenen Auswertungsansätze. Hier erfolgte die Distanzkorrektur mit Hilfe der Entdeckungswahrscheinlichkeit durch ein Bayesianisches Poissonmodell und in die Modellierung des mittleren Musters floss eine Korrektur für die Vollständigkeit der Radarbilder mit ein (Details in Kap. 2.6.3).

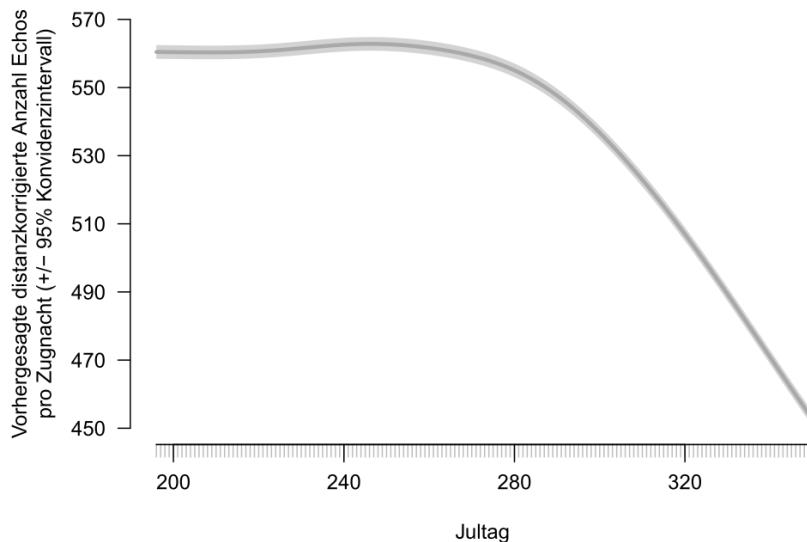


Abbildung 121: Die in dem generalisierten additiven Modell vorhergesagte distanzkorrigierte Anzahl Echos pro Zugnacht über die Jultage. Zur Erstellung der Kurve wurde eine Bildvollständigkeit zu Grunde gelegt. Die hellgraue Schattierung gibt die 95%igen Konfidenzintervalle an.

Werden die als mit Zug definierten Nächte betrachtet, ergibt sich folgendes am besten zu den Daten passendes Modell:

*Modell: $lm(rel \sim LF.Di * CWC.FINO + Stau.Di * CWC.FINO + LF.Di * WP.Di * Stau.Di + LF.Ho * WP.Ho + CWC.FINO * WP.Ho + CWC.FINO * LF.Ho * Stau.Ho + LF.Ti * Stau.Ti + CWC.FINO * WP.Ti + LF.Ti * WP.Ti + LF.He * WP.He * Stau.He + CWC.FINO * LF.He * WP.He + CWC.FINO * LF.He * Stau.He + CWC.FINO * LF.Va * WP.Va + CWC.FINO * LF.Us * WP.Us + LF.Ma * Stau.Ma + CWC.FINO * WP.Ma)$*

eqn 10

Die einzelnen Nachtviertel weisen demnach keine Unterschiede auf. Insgesamt zeigen diese Untersuchungen jedoch, dass ein Zusammenhang zwischen einigen Wetterparametern und vorangehenden Zugstaubedingungen an den ausgewählten Aufbruchsgebieten sowie der CWC über See mit der Anzahl Radarechos am Untersuchungsstandort besteht. Die

hervorstechenden Zusammenhänge werden im Folgenden für die einzelnen Aufbruchsgebiete weiter beschrieben. In den Grafiken zu den einzelnen Aufbruchsgebieten werden jeweils die Modellergebnisse wiedergegeben, wobei sämtliche möglichen Einflussfaktoren im Zusammenspiel aufgetragen werden. Die Werte um eins stellen den Erwartungswert dar. Je dunkler rot, desto höher ist der Wert im Vergleich zur Erwartung und je heller gelb, desto niedriger ist dieser. Die Konturlinien erleichtern das ablesen. Innerhalb der kleinen Einzelgrafiken stellt die y-Achse die Lufttemperatur und die x-Achse den Windprofit am Aufbruchsstandort dar, wobei bei stark negativen Werten, der Wind tendenziell aus Südwest weht und bei stark positiven Werten aus Nordost. Zusätzlich stellen die einzelnen Reihen verschiedene Kategorien für die Anzahl an Tagen mit vorangehenden Zugstaubedingungen dar. Die einzelnen Zeilen geben exemplarisch unterschiedliche Werte der CWC zur Mitternachtsstunde an der FINO1 wieder. Hierbei kommen bei stark negativen Werten die Winde tendenziell aus Südost und bei stark positiven Werten hingegen aus Nordwest.

Dieksanderkoog (Abbildung 122): Dieses Aufbruchsgebiet hat den höchsten relativen Einfluss auf das Zugaufkommen an der Forschungsplattform und ist somit stark schwankungsverursachend. Je länger Zugstaubedingungen zuvor herrschten, umso größer sind die durch die Wetterparameter verursachten Schwankungen. Eine mitternächtliche CWC mit aus Südosten wehenden Winden an der FINO 1 führt insgesamt zu einem erhöhten Zugaufkommen, wohingegen eine CWC mit aus Nordwesten wehenden Winden einhergeht mit einem verminderten Zugaufkommen. Da dieser nächstgelegene Küstenstandort ungefähr auf gleicher Höhe mit der FINO 1 liegt, ist es nachvollziehbar, dass die im Herbst vor allem nach Südwesten orientierten Vögel hauptsächlich an der Forschungsplattform ankommen, wenn sie unterwegs durch einen Wind aus Südosten verdriftet werden. Lang anhaltende Zugstaubedingungen erhöhen die Bereitschaft auch bei eigentlich nicht günstigen Zugbedingungen vermehrt aufzubrechen (s. Kap. 1.2.2). Unter solchen Zugstaubedingungen zeigt sich zusätzlich bei Gegenwind am Aufbruchsstandort, also einem eigentlich negativen Windprofit, gemeinsam mit einer niedrigen Luftfeuchte, ein positiver Zusammenhang zum Zugaufkommen an der FINO 1.

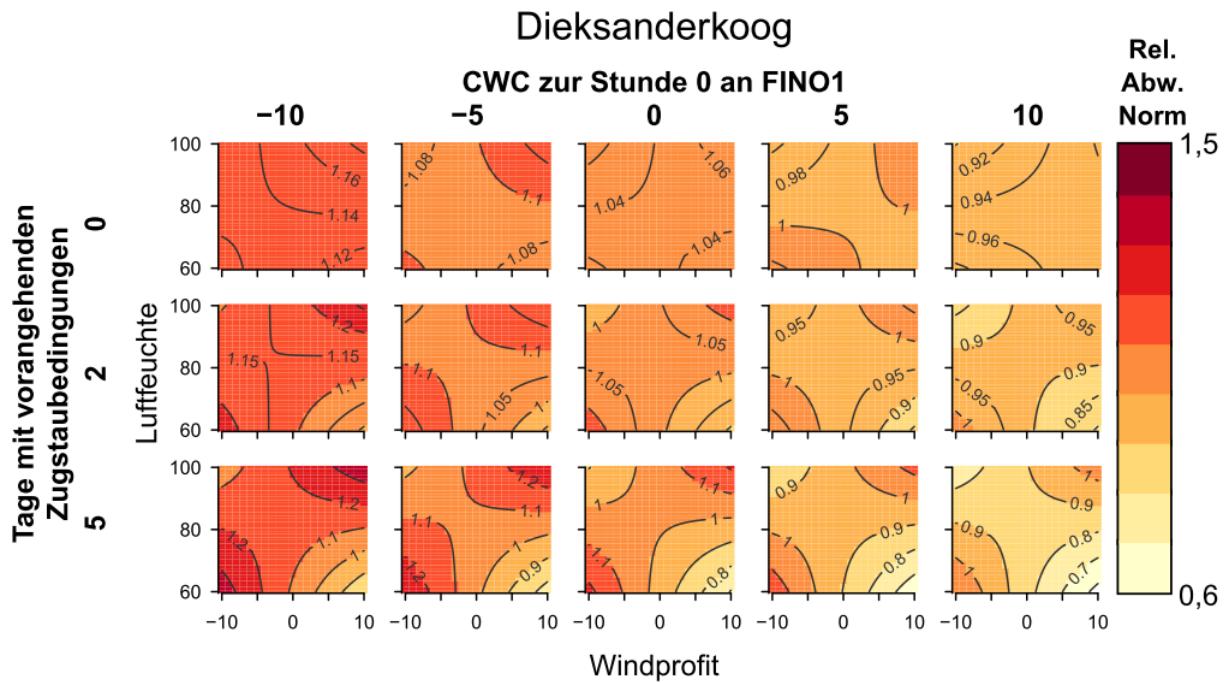


Abbildung 122: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofil und den Zugstaubbedingungen in Dieksanderkoog sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Helsingborg (Abbildung 123): Durch die Aufbruchsbedingungen an diesem Standort lassen sich die höchsten Vogelzugpeaks erklären, denn die relativen Abweichungen von der Norm liegen kontinuierlich über 1 und erreichen mit bis zu >1,4 den Spitzenwert aller Standorte. Vögel aus dieser Region treten unter den erwarteten Bedingungen auf, im Einzelnen somit bei vorangehenden Zugstaubbedingungen, geringer Luftfeuchte und Rückenwinden im Aufbruchsgebiet. Eine mitternächtliche CWC an der FINO 1 aus südöstlicher Richtung verstärkt das Zugvogel-Aufkommen zusätzlich. Dies ist dadurch zu erklären, dass der ideale Zugweg der Vögel nach Südwesten eigentlich knapp östlich an der FINO 1 vorbeiführen würde. Der Seitenwind führt jedoch offenkundig zu einer leichten Verlagerung des Zugwegs.

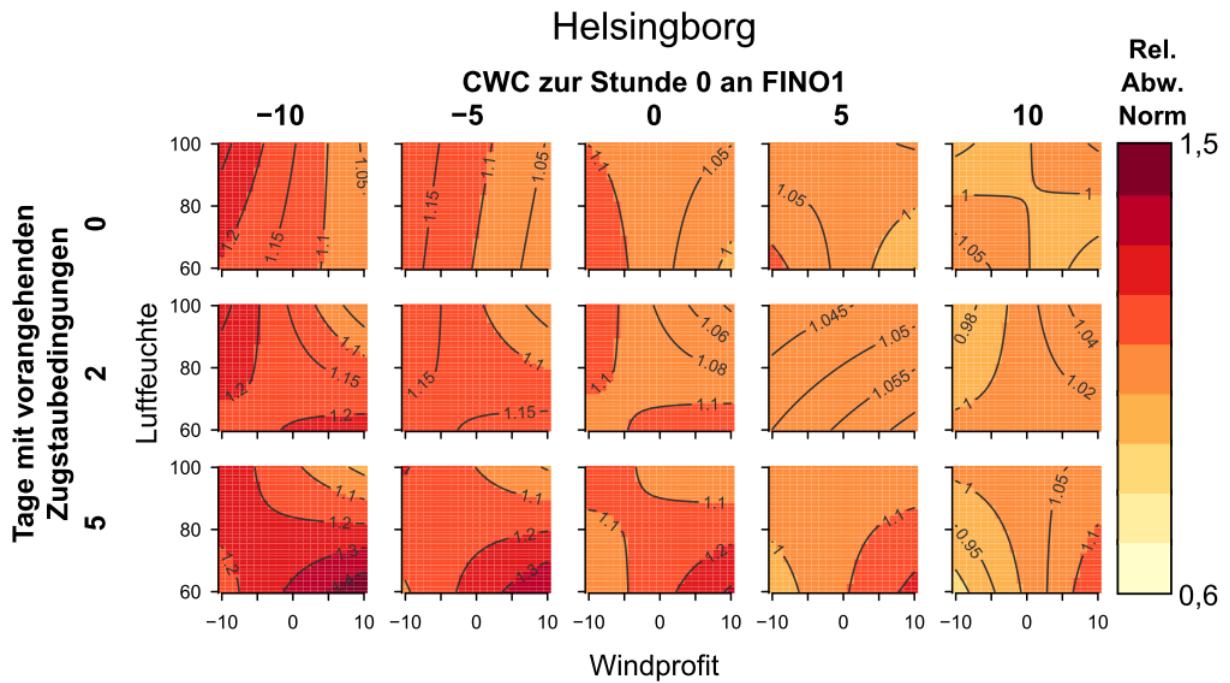


Abbildung 123: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofil und den Zugstaubbedingungen in Helsingborg sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Hovsor (Abbildung 124): Dies scheint das dritt wichtigste Aufbruchsgebiet neben Helsingborg und Dieksanderkoog für das Zugaufkommen an der FINO 1 zu sein. Insgesamt führt eine CWC mit aus Nordwest wehenden Winden zu einem erhöhten Zugaufkommen an der FINO 1, wohingegen Winde aus Südost mit einer Reduzierung einhergehen. Wenn zuvor lange Zugstaubbedingungen vorlagen und eine sich positiv auswirkende CWC über See herrscht, ist ein besonders starkes Zugaufkommen bei niedriger Luftfeuchte im Aufbruchsgebiet zu verzeichnen.

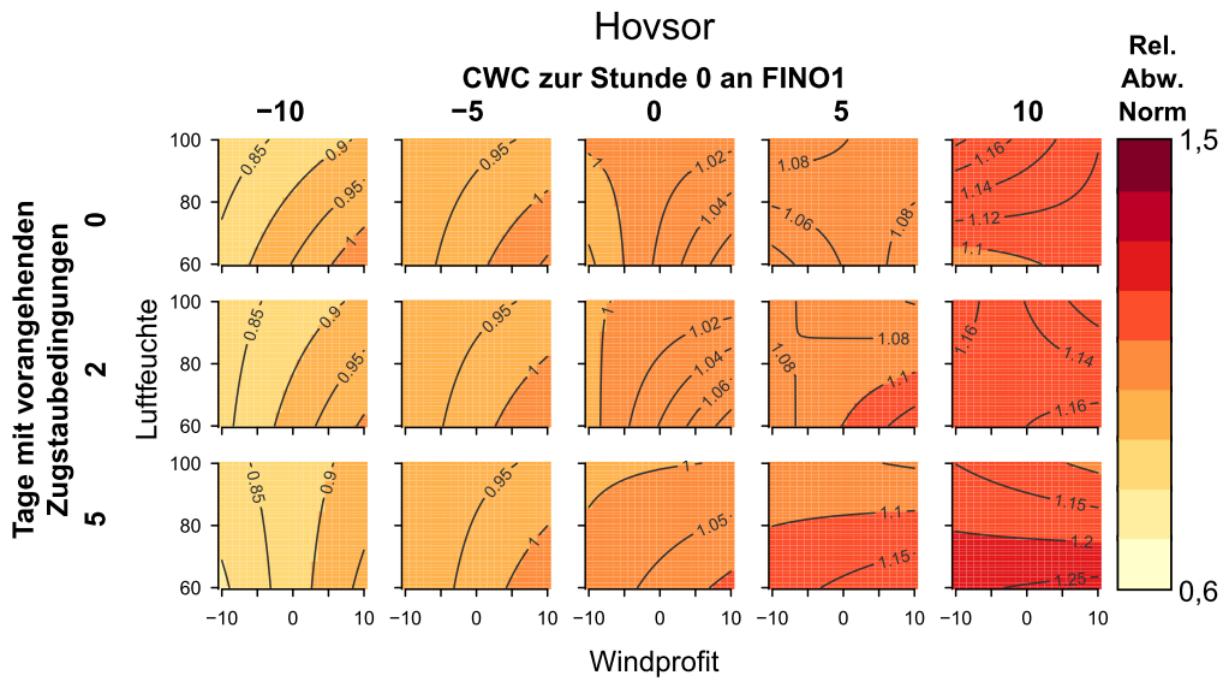


Abbildung 124: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubedingungen in Hovsor sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Valdemarsvik (Abbildung 125): Vorangehende Zugstaubedingungen haben in diesem Aufbruchsgebiet keinen Einfluss auf das Zugaufkommen an der FINO 1. Generell ist eine CWC über See, einem starken Wind aus Südost entsprechend, nötig, damit mehr Echos als erwartet an der Forschungsplattform registriert werden. Dies ist ebenso wie für Helsingborg dadurch zu erklären, dass die Vögel bei Winden aus Südost während des Zuges zur FINO 1 verdriftet werden, ihr bevorzugter Zugweg jedoch östlich davon vorbeiführt. Ansonsten zeigen die Wind- und Aufbruchsbedingungen für diesen Standort nur einen geringen Einfluss.

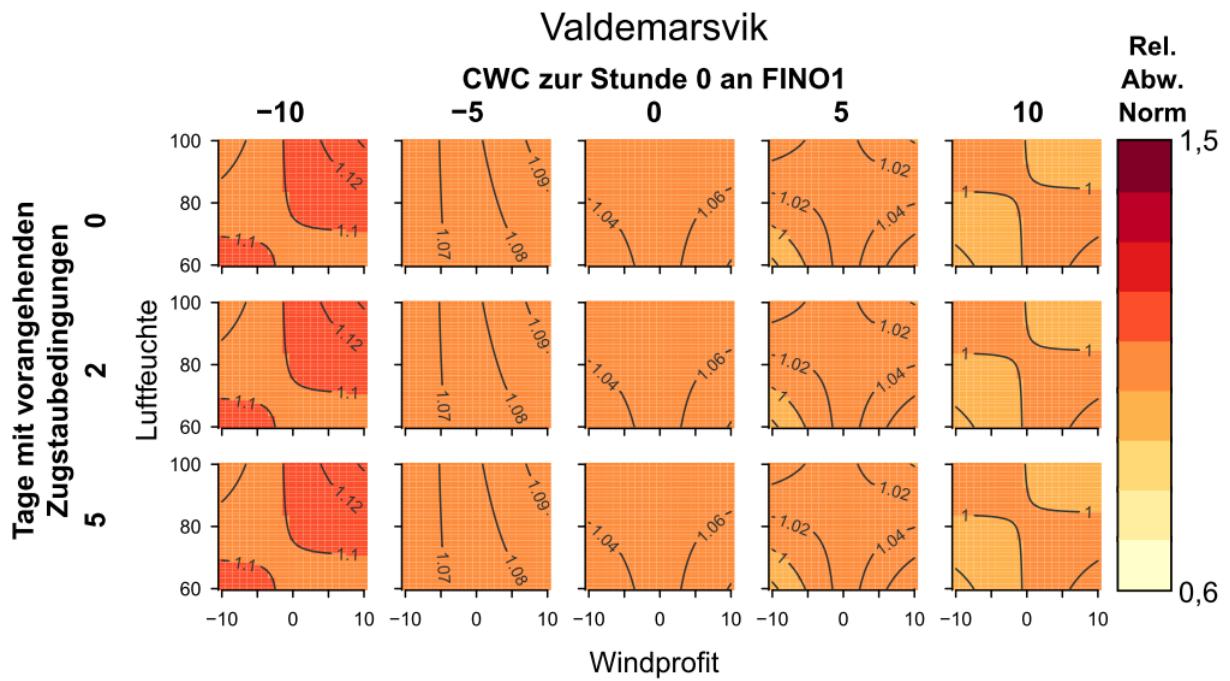


Abbildung 125: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubedingungen in Valdemarsvik sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Usedom (Abbildung 126): Auch in diesem Aufbruchsgebiet haben vorangehende Zugstaubedingungen keinen Einfluss auf das Zugaufkommen an der FINO 1. Die Luftfeuchte auf Usedom hat nur eine geringe Auswirkung auf das Zuggeschehen an der Forschungsplattform. Für ein erhöhtes Zugaufkommen sind starke Gegenwinde im Aufbruchsgebiet nötig sowie eine CWC mit aus Südosten wehenden Winden an der FINO 1. Für dieses Aufbruchsgebiet sind ähnlich wie in Dieksanderkoog somit starke Verdriftung von der bevorzugten Flugrichtung zur Forschungsplattform in Zusammenhang mit durch Gegenwind vermutlich verlangsamtem und kräftezehrendem Flug notwendig, damit ein erhöhtes Zugaufkommen entsteht.

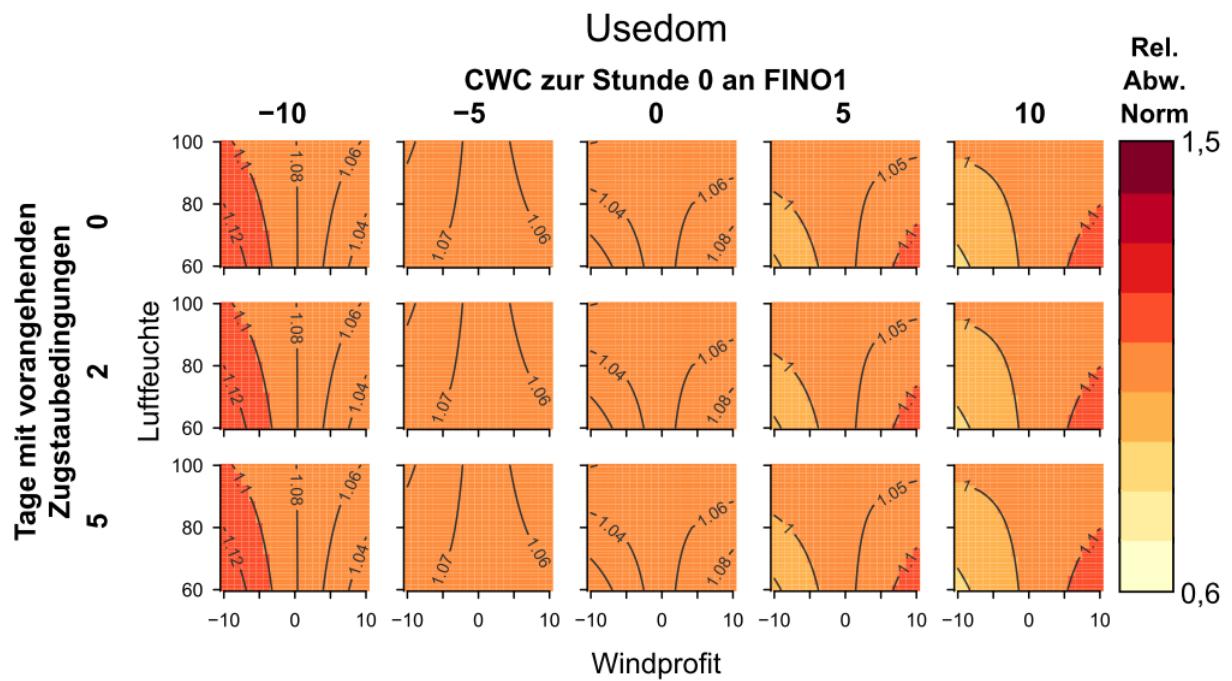


Abbildung 126: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofil und den Zugstaubbedingungen in Usedom sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Malbork (Abbildung 127): Dieses Aufbruchsgebiet scheint kaum Einfluss auf das Zugaufkommen an der Forschungsplattform zu haben, da unter jeglichen Wind- und Wetterkonstellationen die Werte der relativen Abweichung nah an eins und somit am erwarteten Mittel liegen. Da dieser Standort sehr weit östlich von der FINO 1 liegt, ist es unwahrscheinlich, dass die bevorzugt nach Südwesten ziehenden Vögel überhaupt an der Forschungsplattform vorbeikommen.

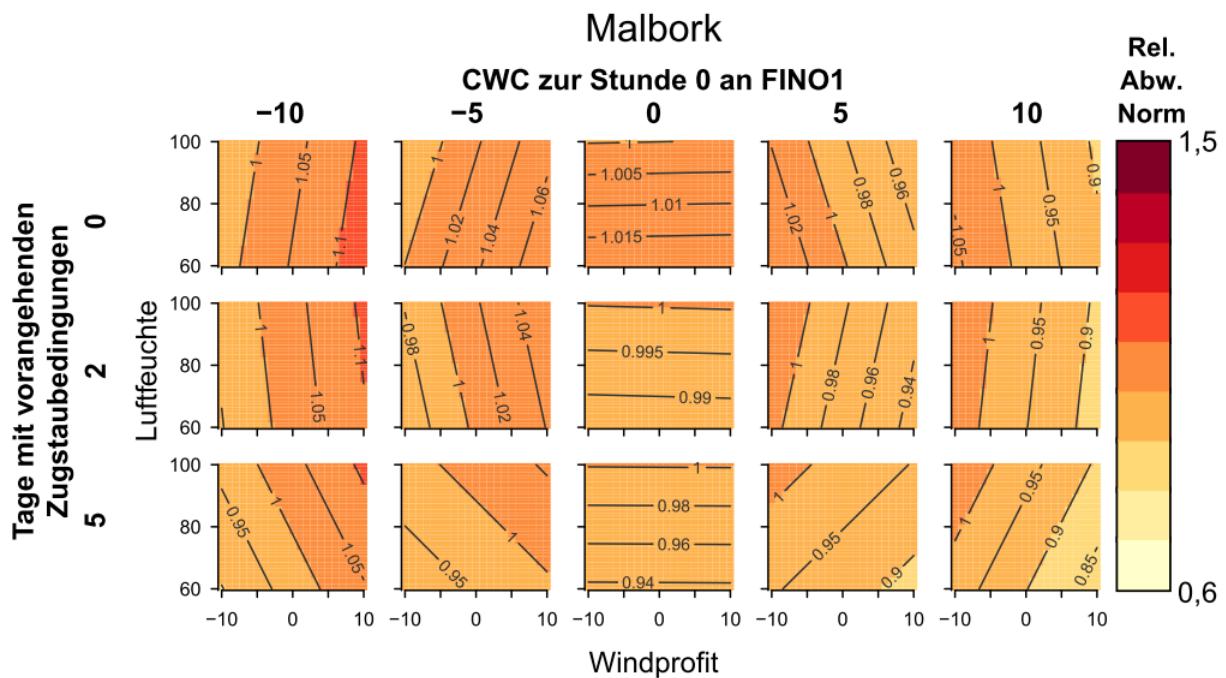


Abbildung 127: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Malbork sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Tinn (Abbildung 128): Zu diesem Aufbruchsgebiet zeigen sich keine eindeutigen Ergebnisse. Bei Betrachtung der Nächte, in denen der Vogelzug überwiegend in der zweiten Nachthälfte stattfindet gewinnt dieser Standort jedoch an Relevanz.

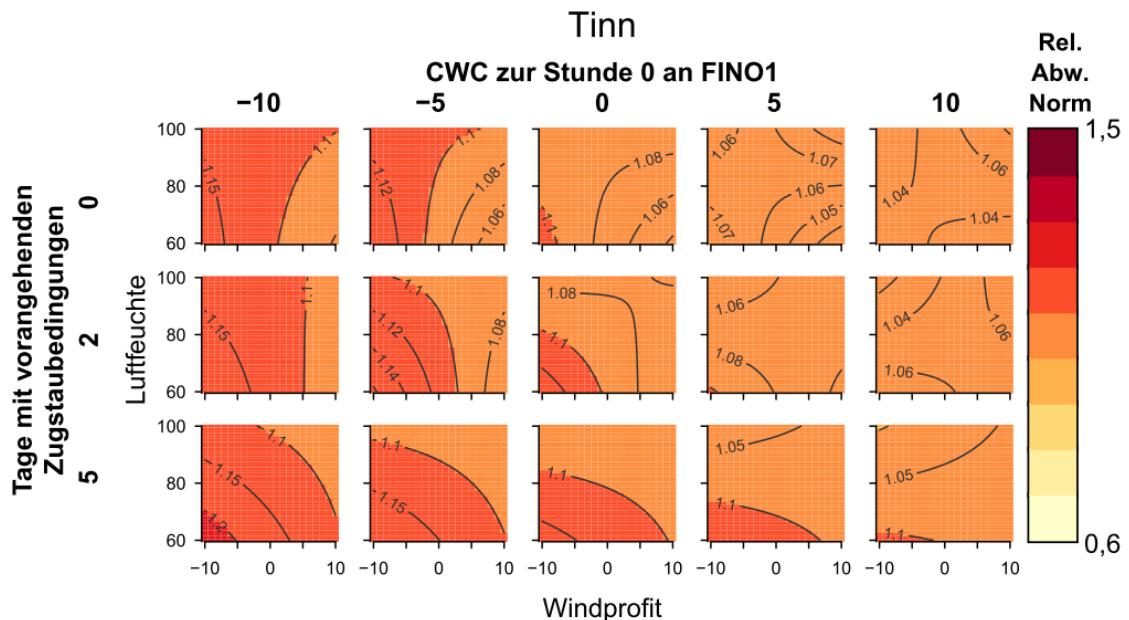


Abbildung 128: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Tinn sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte.

Obwohl Zusammenhänge zwischen dem Zugvogelaufkommen an der FINO 1 und den ausgewählten Wetterdaten bestehen, können jedoch herausgenommene Daten nur schwer durch das am besten zu den Daten passende Modell vorhergesagt werden. Es besteht zwar eine positive Korrelation ($r = 0,1471$, $FG = 3.620$, $p < 0,001$) zwischen den realen Daten zur relativen Abweichung der Anzahl Radarechos von der Norm und den von dem angewendeten Modell vorhergesagten Daten, diese ist jedoch lediglich schwach ausgeprägt (Abbildung 10). Die Vorhersage von Vogelzug scheint somit noch komplexer zu sein, als es das hier angewendete Modell leisten kann.

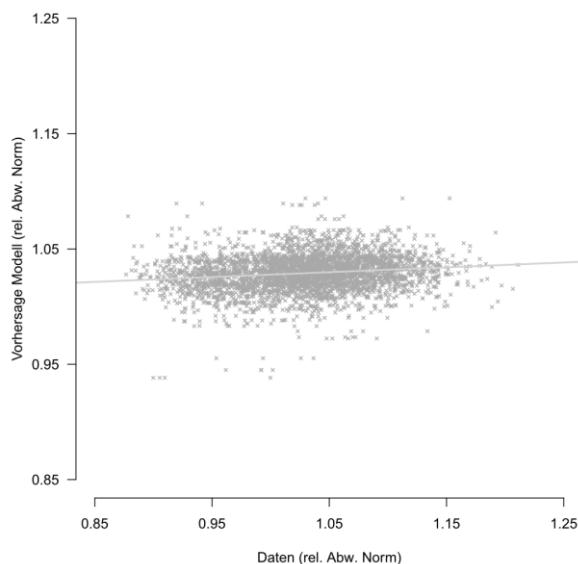


Abbildung 129: Zusammenhang zwischen den realen Daten zur relativen Abweichung der Anzahl Radarechos von der Norm und den von dem am besten zu den Daten passenden Modell vorhergesagten Daten. Die eingezeichnete Linie gibt eine lineare Anpassung an die Datenpunkte wieder.

Wird der Datensatz der Zugnächte auf die eingeschränkt, in denen mindestens 55 % der Echos in der zweiten Nachhälfte liegen, ergibt sich folgendes am besten zu den Daten passendes Modell:

$$\text{Modell: } lm(\text{rel} \sim LF.Ho * Stau.Ho + LF.Di * Stau.Di + LF.Ti)$$

eqn 11

Wetterdaten um Helsingborg, Valdemarsvik, Usedom und Malbork sowie die CWC an der FINO 1 haben keinen Effekt auf das relative Zugaufkommen an der Forschungsplattform. Der Windprofit in den übrigen Aufbruchsgebieten spielt ebenfalls keine Rolle.

Die Luftfeuchte in Hovsor (Abbildung 130), Tinn (Abbildung 131) und Dieksanderkoog (Abbildung 132) hat hingegen einen Einfluss auf das Zugaufkommen an der FINO 1 in den ausgewählten Nächten. Je niedriger die Luftfeuchte in Tinn bzw. nach vorangehenden Nächten mit Zugstaubbedingungen in Hovsor und Dieksanderkoog ist, desto mehr Radarechos werden an der Forschungsplattform registriert. Je länger die vorangehenden Zugstaubbedingungen angehalten haben, umso stärker ist der Effekt der Luftfeuchte in den beiden letztgenannten Aufbruchsgebieten. Ohne vorangehende Zugstaubbedingungen hat die Luftfeuchte hier hingegen kaum einen Einfluss.

Besonders hohes Zugvogelaufkommen wird offenbar vor allem durch die Wetterbedingungen in Hovsor erklärt. Auch die Wetterbedingungen in Tinn haben einen Einfluss, allerdings ist dieser nur schwach. Dass in Nächten in denen sich starker Vogelzug auf die zweite Nachthälfte konzentriert, die Vögel vor allem aus nördlich liegenden Regionen stammen, rechtfertigen auch die zuvor in Kap. 3.3.1 geschilderten Beobachtungen. Die Modellierungsergebnisse bestätigen dies somit, denn nur für die in nördlicher Richtung liegenden Aufbruchsgebiete und den nächstgelegenen Küstenstandort lassen sich Effekte auf das Zugvogelaufkommen an der FINO 1 aufzeigen.

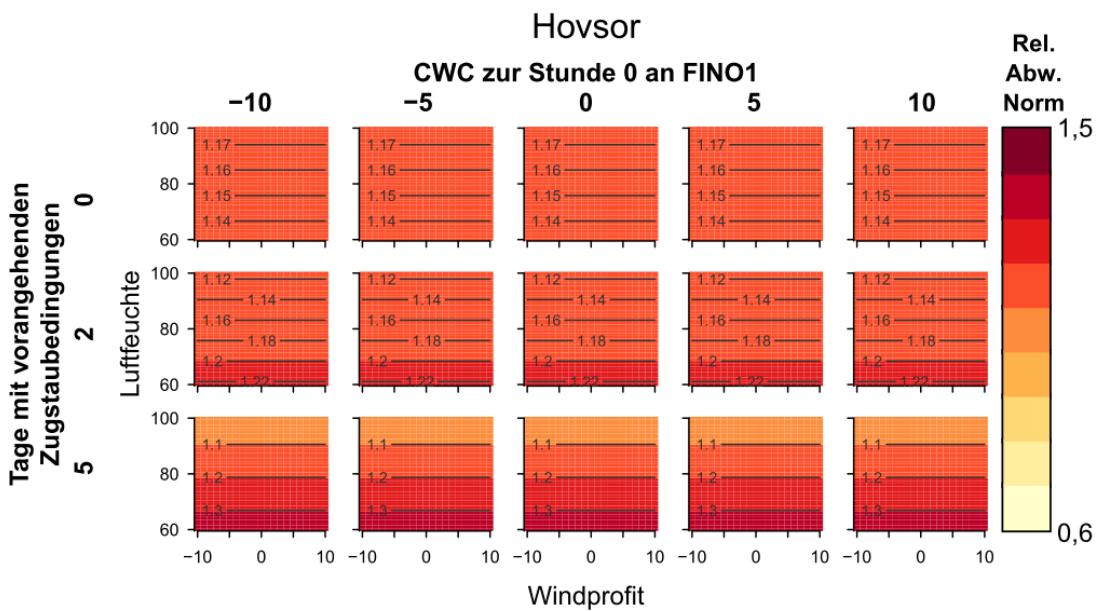


Abbildung 130: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofil und den Zugstaubbedingungen in Hovsor sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte in denen mindesten 55% der Echos in der zweiten Nachthälfte liegen.

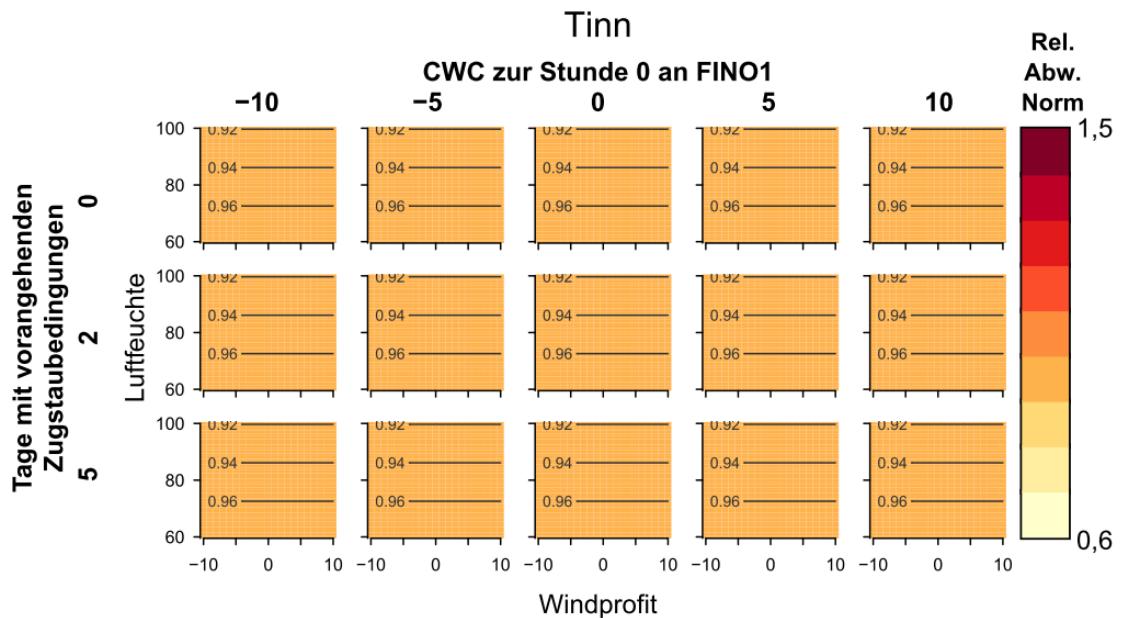


Abbildung 131: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Tinn sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte in denen mindesten 55% der Echos in der zweiten Nachthälfte liegen.

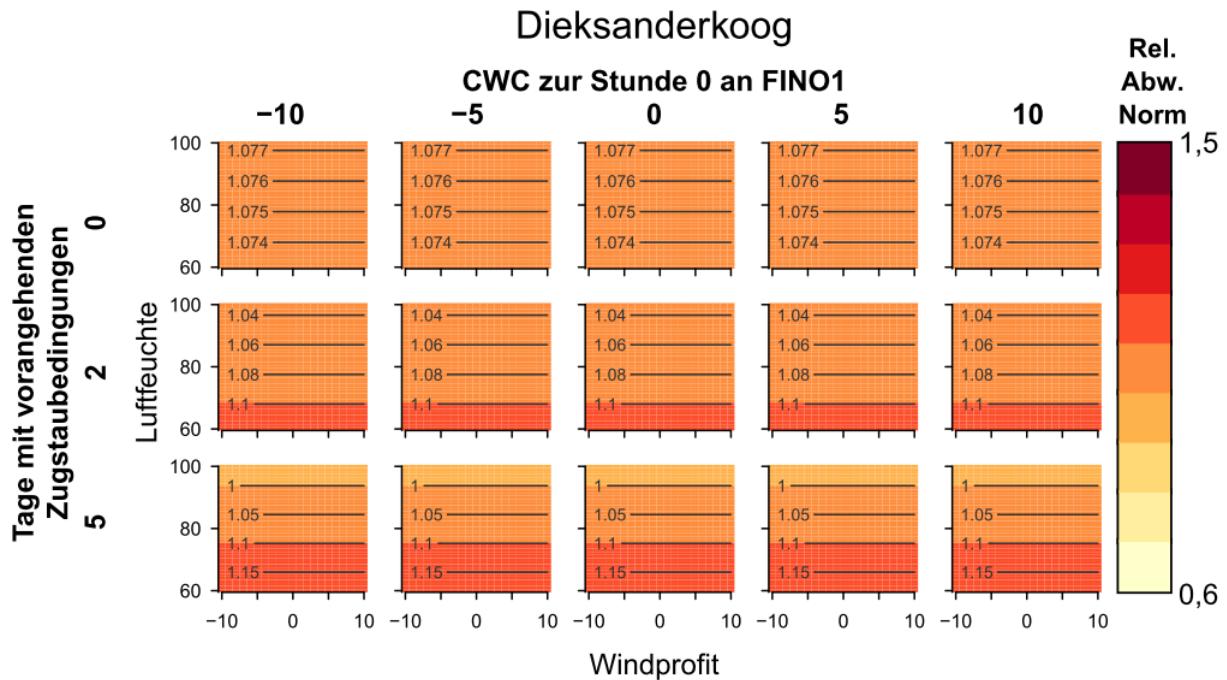


Abbildung 132: Zusammenhang der relativen Abweichung von der erwarteten Radarechozahl mit der Luftfeuchte, dem Windprofit und den Zugstaubbedingungen in Dieksanderkoog sowie der CWC an der FINO 1 für zugstarke Nächte in denen mindesten 55% der Echos in der zweiten Nachthälfte liegen.

Wird der Datensatz der Zugnächte hingegen auf die eingeschränkt, in denen mindestens 55% der Echos in der ersten Nachthälfte liegen, besteht kein Zusammenhang zwischen dem

Zugaufkommen an der FINO 1 und den Wetterdaten an jeglichen Aufbruchsgebieten oder der CWC an der Forschungsplattform.

3.6 Methodenspezifisch divergierende Phänologien – ein Vergleich

3.6.1 Kollisionen – jahreszeitlich spät

Die Gesamtschau der 751 berücksichtigten Totfunde zeigt, dass die Vögel vorwiegend und gemessen an ihrem eigentlichen jahreszeitlichen Zentralvorkommen (= Erwartungswert) im Bereich der Deutschen Bucht auf dem Wegzug verspätet kollidieren. Im Mittel ergab sich für die Wegzugphase eine Verspätung von 13,5 Tagen je Individuum (Abbildung 133; $sd \pm 18,9$ Tage). 543 Individuen kollidierten später als ihr spezifischer Erwartungswert, 205 früher und die restlichen drei exakt zum Zeitpunkt ihres Erwartungswertes. Die früh im Spätsommer in ihr Winterquartier südlich der Sahara ziehenden Langstreckenzieher (LZ) fehlen weitgehend im Totfundspektrum. Kollisionen treten vor allem ab Ende September (Kap. 3.1.3.2) und somit mit dem Einsetzen des Zuges der Kurz- und Mittelstreckenzieher (KMZ) auf (Abbildung 133).

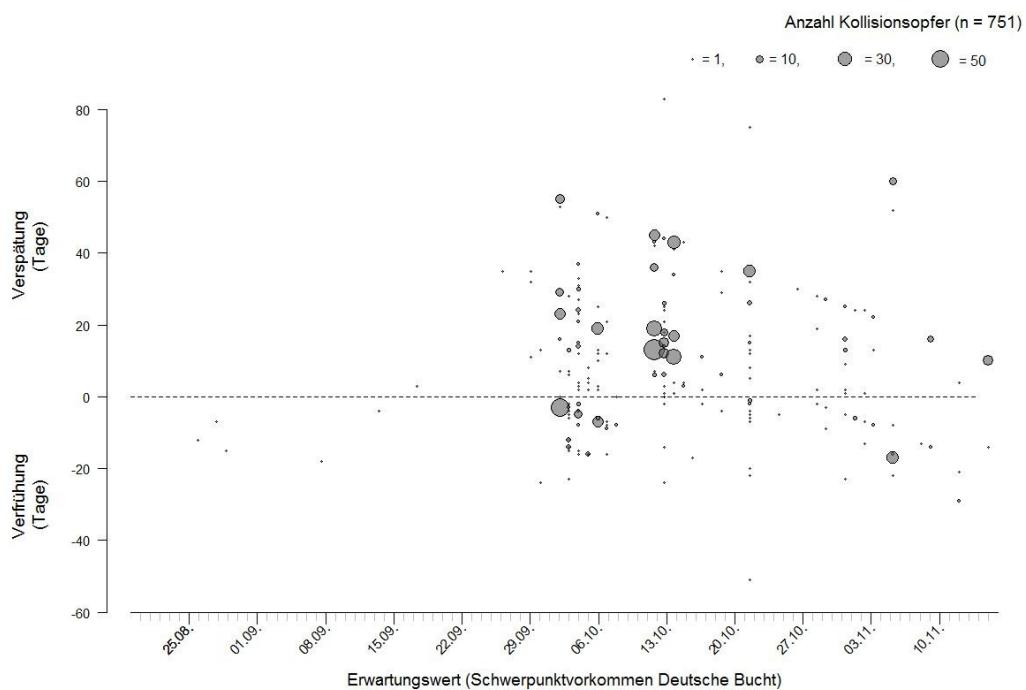


Abbildung 133: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht und unter Berücksichtigung art-, alters- und geschlechtsspezifischer Merkmale.

Kollisionen finden oft sehr geballt an einzelnen Terminen statt (s. Kap. 2.4, 3.1.3). Solche sogenannten Massenkollisionen können die Ergebnisse u. U. stark beeinflussen, so dass zusätzlich nur die Verteilung von Ereignissen kollidierter Vögel untersucht wurde. Als je ein Ereignis werteten wir art-, geschlechts- und altersspezifische Unterschiede der kollidierten Vögel sowie ggf. voneinander abweichende Kollisionsorte (FINO 1, FINO 3). Für die auf diese Weise ermittelten 192 Kollisionsergebnisse ergibt sich eine Verspätung der betroffenen Vögel von mittleren 8,5 Tagen (Abbildung 134, $sd \pm 20,5$). 120 Kollisionsergebnisse fanden im Vergleich zu ihrem spezifischen Erwartungswert zu spät statt, 69 zu früh, dreimal ergab sich keine Differenz.

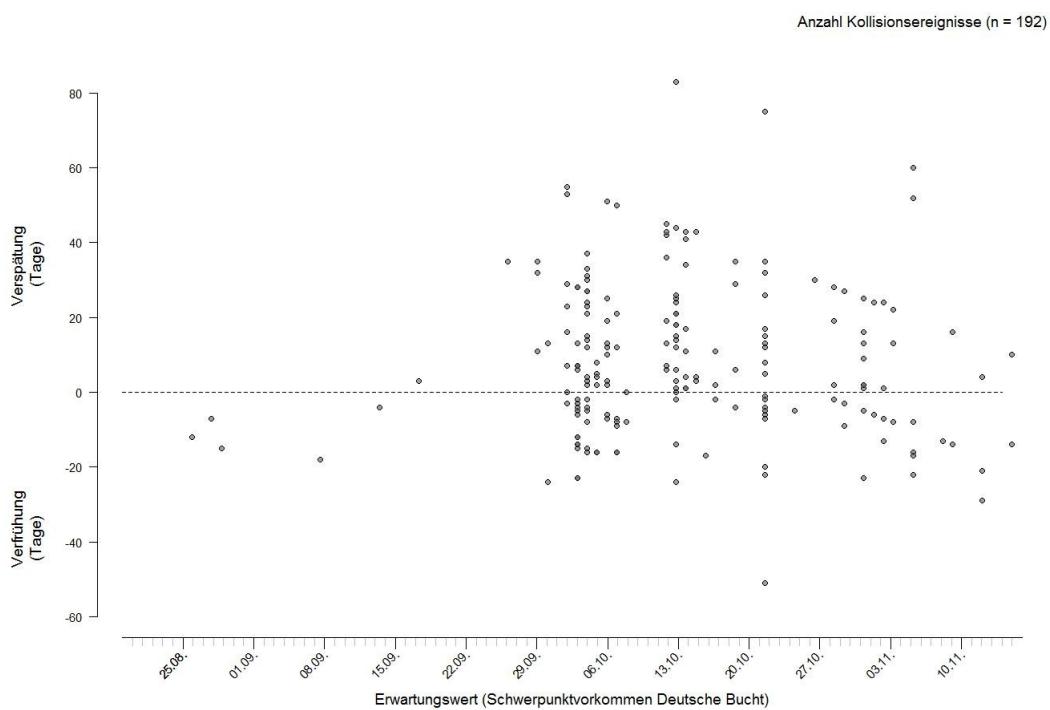


Abbildung 134: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht unter Berücksichtigung art-, alters- und geschlechtsspezifischer Merkmale. Im Gegensatz zu Abbildung 133 wurden nur die art-, geschlechts- und altersspezifischen Ereignisse ($n = 192$) sowie unterschiedliche Fundorte der kollidierten Vögel berücksichtigt, nicht jedoch die Individuensummen.

Gemessen am Erwartungswert zunehmend spät liegende Kollisionsergebnisse waren von steigenden Opferzahlen gekennzeichnet (Abbildung 135; GLM bei poisson-verteilten Daten: DF = 191, dev. = -44.183, $p < 0,001$).

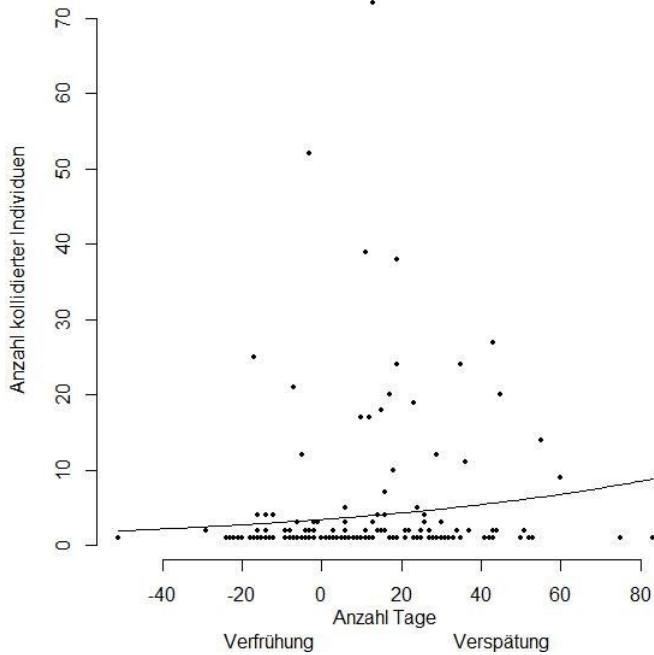


Abbildung 135: Beziehung zwischen der Kollisionshäufigkeit (Ind.) und dem zeitlichen Abstand von Kollisionen ziehender Singvögel zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen unter Berücksichtigung art-, alters- und geschlechtsspezifischer Merkmale an Forschungsplattformen im Bereich der Deutschen Bucht. Berücksichtigt wurden 751 während des Wegzugs kollidierte Singvögel.

Zwischen einzelnen Arten(-gruppen) ergeben sich Unterschiede. Für die wenigen Funde der im Herbst früh ziehenden LZ ergibt sich eine mittlere Verfrühung von 8,8 Tagen je kollidiertes Individuum (Abbildung 136). Wiesenpieper und Erlenzeisig, als früh ziehende KMZ und mit einem auf Anfang Oktober terminierten Zentralvorkommen im Bereich der Deutschen Bucht, kollidierten im Mittel 4,8 bzw. 5,5 Tage früher als ihr jeweiliger Erwartungswert 04. Oktober. Buchfinken mit dem Erwartungswert 06.10. kollidierten im Mittel 4,9 Tage „zu früh“. Alle weiteren der besonders oft als Kollisionsopfer festgestellten Arten erlangen ihr maximales Vorkommen im Bereich der Deutsche Bucht erst um Mitte Oktober bis Anfang November. Daran gemessen kollidierten die als Opfer registrierten Individuen dieser jahreszeitlich vergleichsweise spät ziehenden Arten zusätzlich verspätet. Im Fall von Rotdrossel und Star betrug der mittlere Abstand kollidierter Individuen zum zentralen Vorkommen jeweils rund drei Wochen (20,1 bzw. 20,7 Tage). Ein jahreszeitlicher Trend, wonach zunehmend spät ziehende Arten immer stärker verspätet kollidieren, lässt sich nicht ableiten (Sperman-Rangkorrelation $r_s = 0,58, p = 0,08$): Zu denjenigen Arten die den Herbstzug in Mitteleuropa beschließen, gehören Amsel und Wacholderdrossel. Individuen beider wurden im Mittel 8,2 bzw. 4,2 Tage nach ihrem Erwartungswert als Opfer auf den beiden Plattformen registriert. Umgekehrt wurde für die jahreszeitlich am frühesten ziehende Drosselart, die Singdrossel, mit mittleren 12,0 Tagen Abstand zum Erwartungswert eine vergleichsweise starke Verspätung ermittelt.

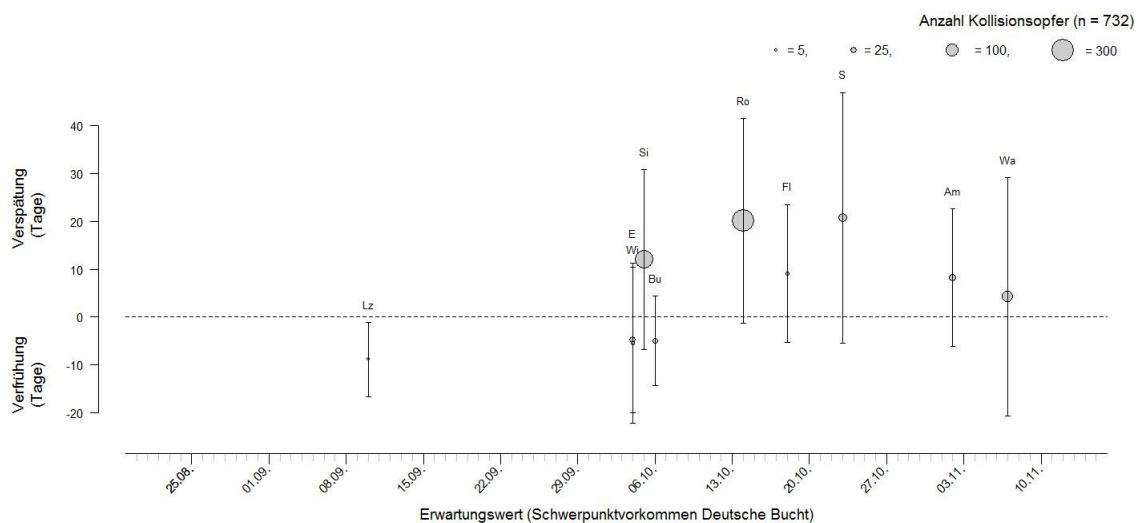


Abbildung 136: Mittlerer Abstand (in Tagen; sd jeweils gegeben) an FINO 1 & FINO 3 kollidierter Singvogelarten zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht. Berücksichtigt wurden Individuen von Arten mit > 5 Kollisionsereignissen sowie geschlechts- und altersspezifische Unterschiede in der Zugterminierung (Lz = Langstreckenzieher; E = Erlenzeisig; Wi = Wiesenpieper; Si = Singdrossel; Bu = Buchfink; Ro = Rotdrossel; Fl = Feldlerche; S = Star; Am = Amsel; Wa = Wacholderdrossel). Der Bergfink blieb trotz > 5 Ereignissen unberücksichtigt (vgl. Kap. 2.6.4.1).

Werden wiederum nur die Ereignisse berücksichtigt, kommt es in keinem Fall zu einer Umkehrung: Kollisionsereignisse früher ziehender Arten(-gruppen) fanden gemessen am Erwartungswert jahreszeitlich „zu früh“ statt, diejenigen der spät ziehenden Arten weiterhin „verspätet“ (Abbildung 137). Bis auf die Gruppe der Langstreckenzieher und beim Erlenzeisig werden dabei in allen Fällen Verschiebungen deutlich, die sich aber bis auf den Star maximal im Bereich nur weniger Tage bewegten. Beim Star kollidierte das mittlere Individuum hingegen fast drei Wochen „zu spät“ (s. o.), Nächte mit registrierten Staren-Kollisionen lagen mit mittleren 6,3 Tagen Abstand zum Erwartungswert indes nur knapp eine Woche „verspätet“ (Abbildung 137).

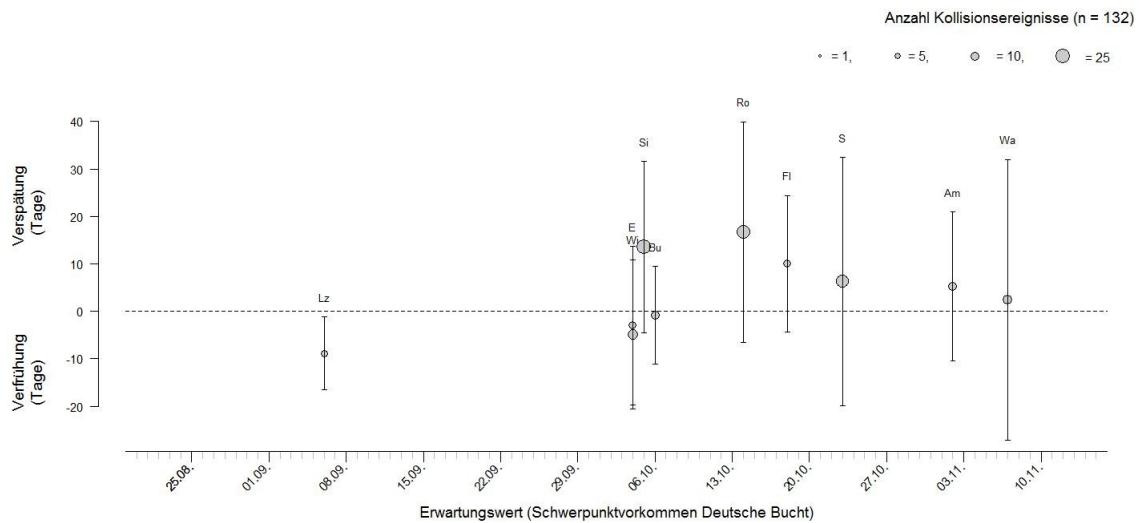


Abbildung 137: Mittlerer Abstand (in Tagen; sd jeweils gegeben) an FINO 1 & FINO 3 kollidierter Singvogelarten zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht. Berücksichtigt wurden Nächte mit festgestellten Kollisionen von Arten mit > 5 solcher Kollisionseignissen sowie geschlechts- und altersspezifische Unterschiede in der Zugterminierung (Lz = Langstreckenzieher; E = Erlenzeisig; Wi = Wiesenpieper; Si = Singdrossel; Bu = Buchfink; Ro = Rotdrossel; Fl = Feldlerche; S = Star; Am = Amsel; Wa = Wacholderdrossel). Der Bergfink blieb trotz > 5 Ereignissen unberücksichtigt (vgl. Kap. 2.6.4.1).

Sowohl Vogelmännchen als auch -weibchen wurden jahreszeitlich überwiegend nach ihrem art- und geschlechtsspezifischen Erwartungswert als Opfer registriert (Abbildung 138). Von 56 Männchen kollidierten 38 nach ihrem Zentralwert zum Vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht und über alle Männchen gemittelt 5,6 Tage verspätet. Die 56 Individuen verteilten sich auf 32 Ereignisse, die im Mittel 4,4 Tage „zu spät“ registriert wurden. Im Falle der Weibchen waren 26 von 32 Individuen verspätet, im Mittel betrug die Verspätung für alle Weibchen 9,7 Tage. Die 20 abgrenzbaren Ereignisse kollidierter Weibchen ereigneten sich im Mittel um 7,7 Tage verspätet.

Mehr als vier Fünftel der 192 als Altvogel angesprochenen Individuen kollidierten verspätet, wobei sich über alle Altvögel hinweg eine mittlere individuelle Verspätung von rund zwei Wochen errechnete (14,5 Tage). Die 31 über verschiedene Arten, Geschlechter und Kollisionsnächte gegeneinander angrenzbaren Ereignisse von Altvogelkollisionen blieben indes nur um gut eine Woche hinter ihrem spezifischen Erwartungswert zurück (8,7 Tage). Von 275 bestimmten Jungvögeln erwiesen sich gut Dreiviertel als jahreszeitlich spät kollidierte Individuen. Die mittlere individuelle Differenz zum spezifischen Zentralvorkommen betrug 17,3 Tage Verspätung. Die 36 Ereignisse mit kollidierten Jungvögeln erfolgten 14,2 Tage und somit rund zwei Wochen „zu spät“.

Die in allen Fällen geschlechts- und altersspezifischer Untersuchungen gegenüber den verspätet registrierten Ereignissen besonders hohe mittlere Verspätung auf Individuenbasis unterstreicht den Befund, dass die später liegenden Ereignisse von höheren Individuumsummen gekennzeichnet sind.

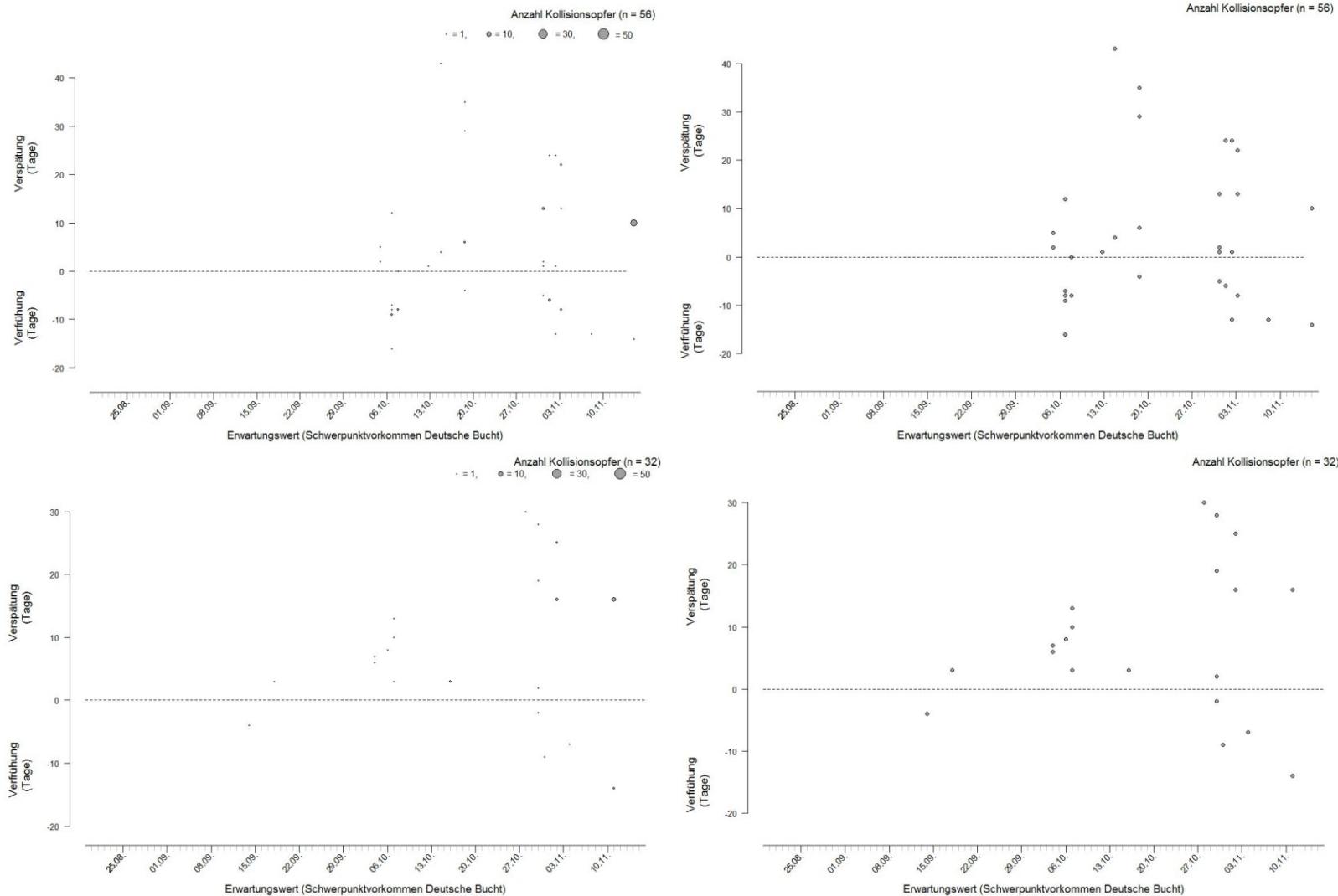


Abbildung 138: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel bestimmten Geschlechts an FINO 1 & FINO 3 zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht. Die oberen Darstellungen betreffen Männchen, die unteren Weibchen. Berücksichtigung fanden kollidierte Individuen (jeweils links) oder nur Kollisionsereignisse ohne Gewichtung (jeweils rechts).

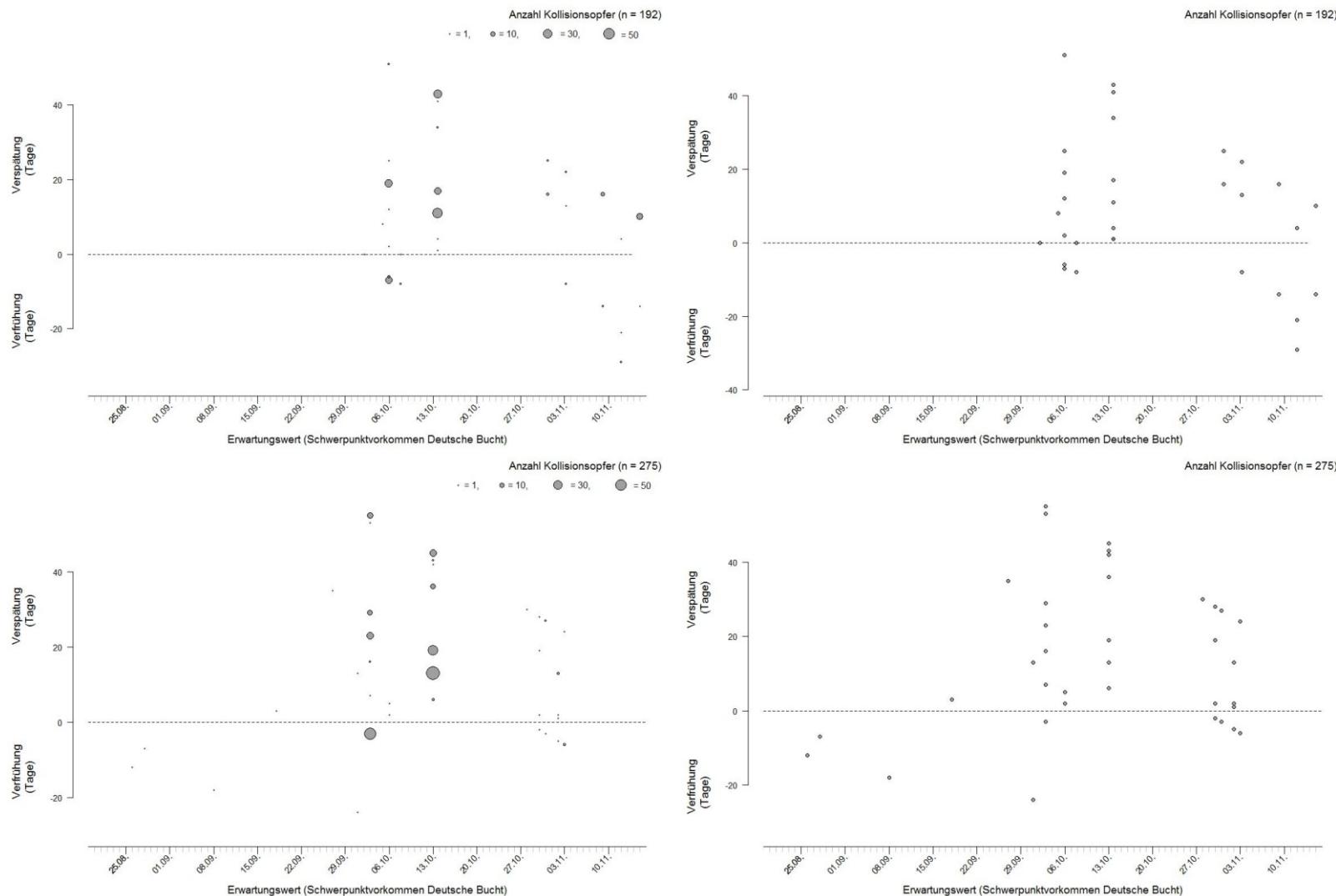


Abbildung 139: Zeitliche Abstände von Kollisionen ziehender Singvögel bestimmten Alters (n = 467) an FINO 1 & FINO 3 zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht. Die oberen Darstellungen betreffen 192 Altvögel, die unteren 275 Jungvögel. Berücksichtigung fanden kollidierte Individuen (jeweils links) oder nur Kollisionsereignisse ohne Gewichtung (jeweils rechts).

3.6.2 Nächtliche Annäherung von Zugvögeln an Offshore-Bauwerke – jahreszeitlich spät

Grundvoraussetzung für Kollisionen ist vorangehende Annäherung. Angesichts des nur aus dem direkten Nahbereich der Plattformen aufzeichnenden Systems zur Zugruf erfassung stehen erfasste Zugrufe für starke Annäherung (Kap. 2.2.4).

Wie vorangehend für Kollisionen beschrieben, erfolgt auch die nächtliche Annäherung von Zugvögeln an Offshore-Bauwerke im Vergleich zum zentralen Vorkommen der Arten zu spät (Abbildung 140). Für 1.205 während der Wegzugperioden zwischen 2008-2014 an den Plattformen registrierte Ereignisse von Singvogelannäherung (beachte, dass nicht alle Arten rufen und somit nicht alle Annäherungereignisse erkannt werden können, s. Kap. 2.2) errechnete sich in rund zwei Dritteln der Fälle (797) eine Verspätung. Über alle Ereignisse gemittelt, lässt sich die mittlere Verspätung auf 9,9 Tage beziffern. Wird zusätzlich die Stärke der einzelnen Ereignisse über die Anzahl aufgezeichneter rufpositiver Dateien berücksichtigt (Abbildung 141), wurde die einzelne Vogelruf-Datei 12,3 Tage später als ihr spezifischer Erwartungswert aufgezeichnet.

Zunehmend später stattfindende Annäherungereignisse waren von steigenden Zahlen rufpositiver Dateien gekennzeichnet (Abbildung 142; GLM bei poisson-verteilten Daten: DF = 1204; dev. = -1133,5; p < 0,001).

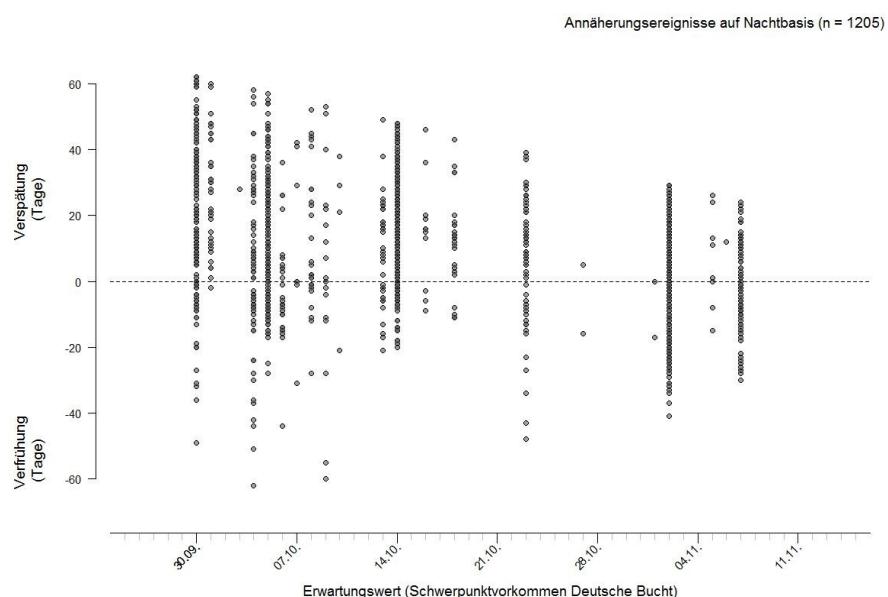


Abbildung 140: Zeitlicher Abstand (gemessen in Tagen) von Annäherungereignissen (n = 1.205) ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht. Stimmliche Äußerungen verschiedener Singvogelarten innerhalb derselben Nacht oder aufgezeichnete Rufe derselben Art an verschiedenen Plattformen wurden als unterschiedliche Annäherungereignisse gewertet.

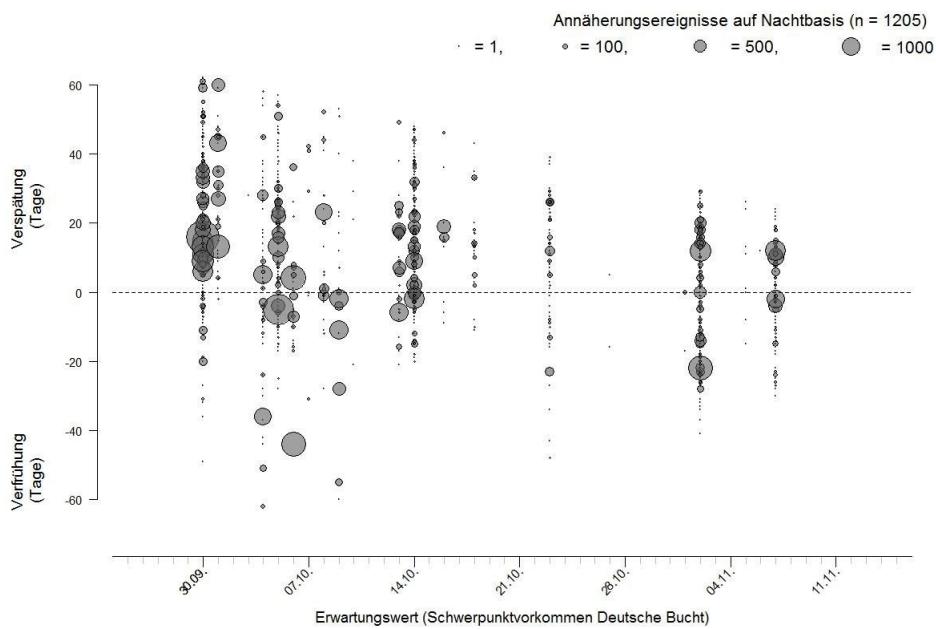


Abbildung 141: Zeitlicher Abstand (gemessen in Tagen) von Annäherung ziehender Singvögel an Forschungsplattformen zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht anhand aller aufgezeichneten Rufdateien. Stimmliche Äußerungen verschiedener Singvogelarten innerhalb derselben Nacht oder aufgezeichnete Rufe derselben Art an verschiedenen Plattformen wurden als unterschiedliche Annäherungssereignisse gewertet.

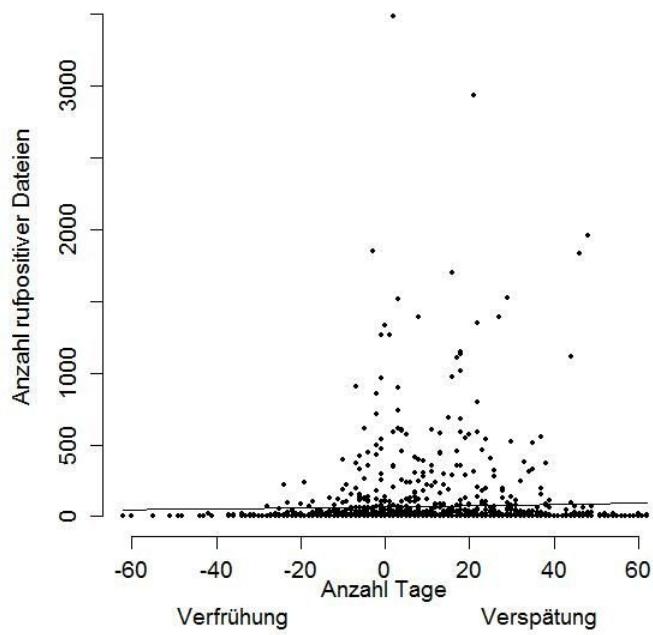


Abbildung 142: Beziehung zwischen der Dateisummengröße und dem zeitlichen Abstand von Annäherungen an Forschungsplattformen durch ziehende Singvögel zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen unter Berücksichtigung artspezifischer Merkmale im Bereich der Deutschen Bucht. Berücksichtigt wurden 85.979 rufpositive Dateien zu 1.205 Annäherungssereignissen während der Wegzugperioden 2008-2014.

Für 14 Arten mit Rufaufzeichnungen aus ≥ 10 Nächten während der Wegzugperioden der Jahre 2008-2014 wurde die Terminierung der registrierten Rufaufkommen genauer untersucht. In drei Fällen wurde eine im Vergleich zum Erwartungswert im Mittel verfrühte Rufaktivität festgestellt, nämlich für Buchfink, Amsel und Wacholderdrossel (Abbildung 143). Diese Verfrühung war aber jeweils gering und in keinem Fall signifikant (jeweils Mann-Whitney-U-Test mit $p > 0,05$). Für diese Überprüfung wurde die empirische Verteilung von Nächten mit Rufaufzeichnungen gegen eine hypothetische Kurve zum zentralen Vorkommen in der Deutschen Bucht getestet. Zur Erstellung dieser Kurve wurde die empirische Verteilung um die Differenz des empirischen Mittels und des mittleren Vorkommens in der Deutschen Bucht verschoben, wodurch die Form der empirischen Verteilung erhalten blieb. Für die anderen elf untersuchten Arten wurde eine im Mittel verspätete Rufaktivität um die Plattformen festgestellt. Die Verteilung von Nächten mit Rufnachweisen lassen aber beim Wiesenpieper, bei der Gebirgsstelze *Motacilla cinerea* und bei der Misteldrossel *T. viscivorus* nicht verlässlich auf eine Verspätung schließen (jeweils MANN-WHITNEY-U-Test mit $p > 0,05$). Bei den übrigen acht Arten führt der Test der empirischen Verteilung von artpositiven Nächten gegenüber der zeitlich versetzten Verteilung identischer Form dazu, dass von einem Unterschied auszugehen ist (jeweils MANN-WHITNEY-U-Test mit $p < 0,05$). Die festgestellte Rufaktivität ist somit gegenüber dem eigentlich zu erwartenden Vorkommen jahreszeitlich verspätet, was trotz der hohen Streuung (Abbildung 143, Abbildung 140) zu erkennen ist.

Für die acht Arten, für die eine Verschiebung aufgezeigt wurde, ergibt sich ein jahreszeitlicher Trend, wonach die jahreszeitlich früh ziehenden KMZ besonders stark verspätet im Nahbereich der Plattform registriert wurden (Spearman-Rang-Korrelation $r_s = 0,81, p = 0,02$).

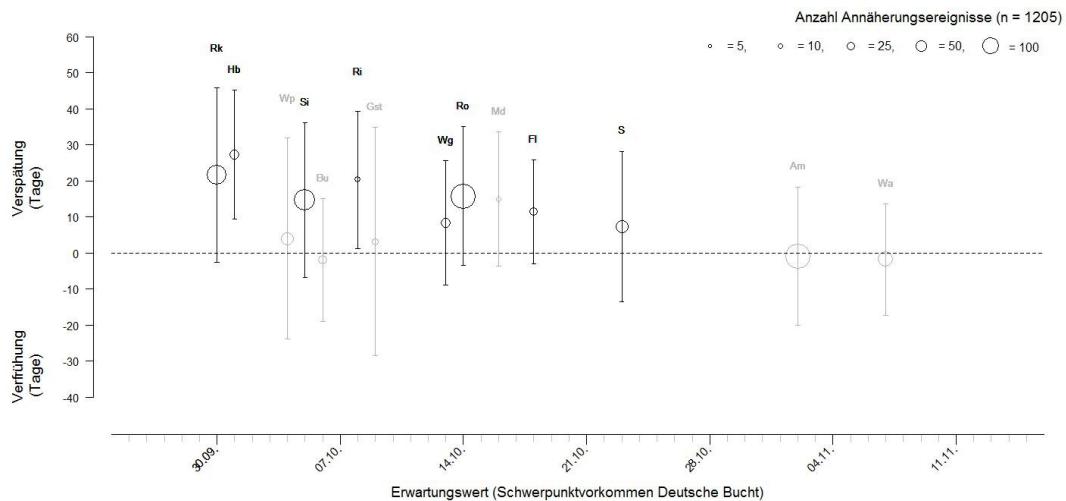


Abbildung 143: Jahreszeitliche Differenz (in Tagen, sd jeweils gegeben) von herbstlichen Annäherungssereignissen (der Jahre 2008-2014) nachts ziehender Singvogelarten an Forschungsplattformen. Die Differenz wurde jeweils gemessen am eigentlichen Schwerpunkt vorkommen im Bereich der Deutschen Bucht. Berücksichtigt wurden nur Arten mit ≥ 10 Annäherungssereignissen sowie artspezifische Unterschiede in der Zugterminierung (Rk = Rotkehlchen; Hb = Heckenbraunelle; Wp = Wiesenpieper; Si = Singdrossel; Bu = Buchfink; Ri = Ringdrossel; Gst = Gebirgsstelze; Wg = Wintergoldhähnchen; Ro = Rotdrossel; Md = Misteldrossel; Fl = Feldlerche; S = Star; Am = Amsel; Wa = Wacholderdrossel). Bei den schwarz dargestellten Arten wurde eine statistisch signifikante Verschiebung des Auftretens zum eigentlichen Schwerpunkt vorkommen festgestellt, bei den grau dargestellten Arten war die Verschiebung nicht signifikant.

3.6.3 Nächtliche Flugbewegungen von Zugvögeln – termingerecht

Die zentralen Vorkommen besonders vieler Arten liegen auf Helgoland einerseits um die Monatswende August/September und zum Anderen über den Oktober hinweg, vor allem während der ersten Hälfte (Abbildung 144). Ohne Einschränkung gilt dies auch bei Beschränkung auf die Singvögel, die das Gros der nächtlichen Durchzügler im Bereich der Deutschen Bucht stellen. Werden die Singvögel mit den zahlenmäßigen Häufigkeiten der einzelnen Arten verschnitten (Kap. 2.6.4.3), dann ist während der ersten Oktoberhälfte in herausragender Art und Weise mit Vogelüberflügen über die Deutsche Bucht zu rechnen (Abbildung 145). Der vorher erkennbare Gipfel zur Zeit der Langstreckenzieher um die Monatswende August/September steht demgegenüber weit zurück. Die Phänologien ähneln stark denjenigen aus dem Fanggarten, wie z. B. von HÜPPPOP & HÜPPPOP (2004) dargestellt.

Besonders starker Vogelzug während der ersten Oktoberhälfte wird auch an den Plattformen im Offshore-Bereich ersichtlich, wie Gesamtschauen aus Mehrjahreszeiträumen zeigen (Kap. 3.1.1.1, Abbildung 26). Vögel werden dann vermehrt von den Radargeräten aufgezeichnet, wenn Vogelzug im Bereich der Deutschen Bucht kumuliert.

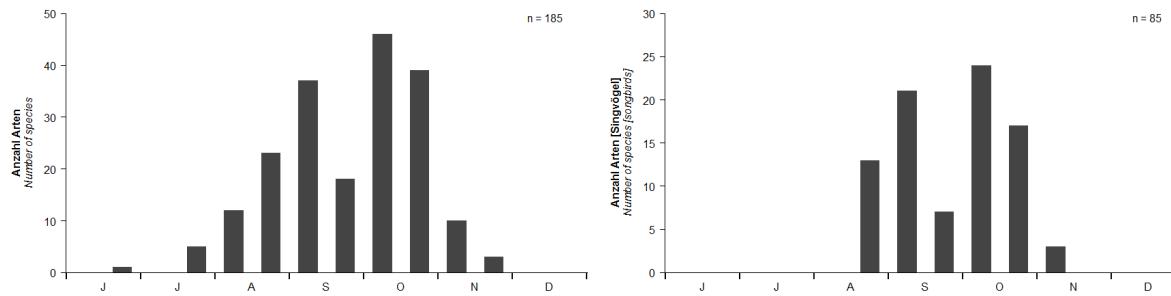


Abbildung 144: Summe je Halbmonat im Herbst kulminierender Vorkommen von Arten auf Helgoland in der südlichen Deutschen Bucht. Die zugrundeliegenden Daten entstammen DIERSCHKE et al. (2011). Berücksichtigt sind alle Arten (links; in zehn Fällen sind unterschiedliche Altersstadien derselben Art enthalten, s. Kap. 2.6.4.3) bzw. nur Singvogelarten (rechts), die das Gros der nächtlichen Durchzügler stellen.

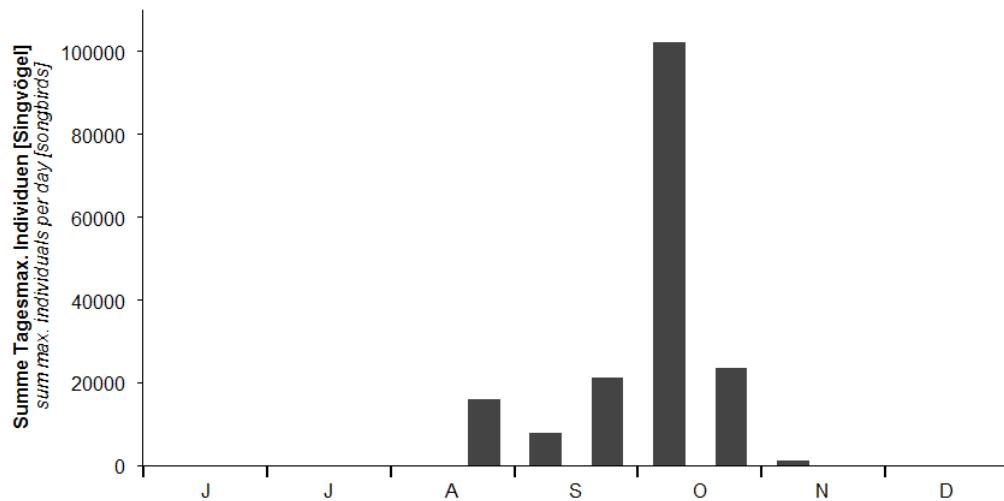


Abbildung 145: Aufsummierte Tagesmaxima von auf Helgoland durchziehenden Singvogelarten in halbmonatlicher Auflösung. Die zugrundeliegenden Daten entstammen DIERSCHKE et al. (2011).

4. Schlussfolgerungen, Bewertung, Ausblick

4.1 Zu den Ursachen von Kollisionen an Bauwerken im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht

Die bislang bekannten Ursachen für nächtliche Kollisionen von Zugvögeln im Offshore-Bereich setzen sich aus Anwesenheit und dem Zusammentreffen der Zugvögel mit spezifischen Wettersituationen sowohl in den Gebieten mutmaßlichen Aufbruchs als auch am lokalen Standort zusammen (s. Kap. 1.1): Verstärkte Annäherung gemäß der über registrierte Zugrufe erfassten Rufaktivität zeigten die von HÜPPPOP & HILGERLOH (2012) untersuchten Drosselarten (1) mittels der zwischen fünf bis zwei Stunden vor bzw. bis sechs Stunden nach Mitternacht generell erhöhten Rufraten (= nachts ziehende Arten). Weiterhin steigerten sich Rufraten (2) unter Rückenwindbedingungen (günstige Zugbedingungen, Kap. 1.2.2), aber auch (3) einem markanten Wechsel der *tail-wind-component* (*TWC*) während der ersten Nachthälfte folgend (verschlechterte Zugbedingungen entlang der Wanderroute), (4) ablandigen Seitenwinden im Offshore-Bereich (SE-Wind; Verdriftung eigentlich über Land ziehender Individuen) und (5) vor allem hoher Luftfeuchtigkeit am Standort von FINO 1 (Indikator für Nebel, Niederschlag). Die Beziehungen (1)-(4) bestimmen über die Zahl der im Seegebiet ziehenden Vögel ebenso wie über die bevorzugt gewählte Flughöhe. Diese Faktoren stehen v. a. mit dem Energiehaushalt der Tiere in Verbindung, betreffen aber nicht die Orientierung. Besonders stark und artübergreifend einheitlich erwies sich jedoch die Beziehung (5) zwischen Luftfeuchte (Indikator für Nebel, Nieselregen, Regen) und Rufrate. Hohe registrierte Rufraten dienen als Indikator für hohes Kollisionsrisiko, denn die Vögel sind dann den Strukturen stark angenähert. Sind desorientierte Vögel erst einmal durch Licht in das nahe Umfeld der Plattform geraten (Kap. 1.1), muss auch Beachtung finden, inwieweit illuminierte Bauwerke im Offshore-Bereich die (Re-)Orientierung beeinflussen könnten. Die Eigenfelder stählerner Konstruktionen können die Magnetkompass-Orientierung von Vögeln unterbrechen und so für Desorientierung sorgen (ENGELS et al. 2014). Möglicherweise ließe sich so der sogenannte „Trapping effect“ (s. z. B. BALLASUS et al. 2009) erklären.

4.1.1 Der Einfluss der Jahreszeit

Unsere Ergebnisse legen zusätzlich nahe, dass die Kollisionsgefährdung nicht einfach nur über die Zugvogel-Präsenz im Offshore-Bereich mitbestimmt wird, wonach viele im Luftraum anwesende Zugvögel eine entsprechend hohe Gefährdung bedeuten. Mit der Anzahl die Nordsee querender Vögel stimmen weder die Phänologie der besonders stark an die

Plattformen angenäherten Vögel noch die Phänologie der kollidierten Vögel überein. Beides erfolgt jahreszeitlich zu spät. Die Exposition gegenüber den Einwirkungen von OWEA, wie sie z. B. über artspezifische Phänogramme erkennbar ist, ist nicht gleichbedeutend einer tatsächlichen Gefahr des Kollidierens, die linearen Gesetzmäßigkeiten unterliegt. Die zum Tragen kommende Verspätung dürfte überdies in beiden Fällen noch deutlich unterschätzt sein: Einerseits war im Falle rund jeden zweiten Opfers aus Gründen konservativen Herangehens das Datum des vorangegangenen Fluges und somit der frühest mögliche Zeitpunkt als Kollisionsdatum anzunehmen. Die Analysen zu Zugvogelrufen aus dem Plattformumfeld schließen nur Daten bis zum Sonnenaufgang des 01.12. ein. Die maximal mögliche Verspätung unterliegt also Beschränkungen und spätere Kältefluchten, die auch zu Opfern führten, blieben bei den Analysen der Zugrufe unentdeckt. Es wäre wünschenswert, die winterlichen und bislang nicht ausgewerteten Lücken zukünftig über die Analyse der gespeicherten Zugrufdateien zu schließen. Weiterhin sollte die jahrweise Streuung zum Auftreten der Arten auf Helgoland in die Analysen integriert werden, was bislang nicht erfolgen konnte (vgl. Kap. 2.6.4). Dies würde die Ergebnisse schärfen und die Verlässlichkeit erhöhen. Zusammenfassend ergibt sich derzeit:

- 1) Art-, geschlechts- und altersspezifische Kollisionsergebnisse finden im Mittel 8,5 Tage nach dem mittleren Durchzugstermin statt. Die nicht nach Geschlecht oder Alter zu differenzierenden Ereignisse registrierter Zugrufäußerungen liegen im Mittel um 9,9 Tage verspätet.
- 2) Das mittlere Individuum kollidiert sogar 13,5 Tage nach dem mittleren Durchzugstermin. Rufpositive Dateien werden im Mittel 12,3 Tage nach dem mittleren Durchzugstermin aufgezeichnet.
- 3) Gemessen am Erwartungswert zunehmend spät liegende Kollisionsergebnisse sind von steigenden Opferzahlen gekennzeichnet. Spät liegende Annäherungsergebnisse sind durch besonders viele aufgezeichnete Vogelrufe und somit durch besonders hohe Präsenzdichte im Umfeld kollisionsgefährdender Strukturen charakterisiert.

Daraus ergeben sich zum jetzigen Zeitpunkt wichtige Konsequenzen:

- 1) Wer spät im Herbst zieht, geht ein erhöhtes Kollisionsrisiko ein. D. h. spät ziehende Individuen einer Art sind überproportional durch Kollisionsmortalität gefährdet und betroffen. Analog gilt dies für spät den Betrachtungsraum durchquerende Populationen derselben Art.
- 2) In vielen Fällen ziehen Altvögel im Herbst den Jungvögeln jahreszeitlich hinterher (z. B. STOUFFER & DWYER 2003, HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004, COPPACK & PULIDO 2009,

MAGGINI & BAIRLEIN 2012). Somit unterliegen die "stresserprobten" und für die Population besonders wichtigen Altvögel einer erhöhten Gefährdung. Hierfür könnte die Ratio Alt-/ vs. betroffene Jungvögel einen direkten Hinweis bieten, denn von 467 altersbestimmten Kollisionsopfern aus dem Herbst betraf ein ungewöhnlich hoher Anteil von 41,1 % Altvögel. Es ist zu bedenken, dass die verunglückten Vögel ziehende Tiere betreffen. Mit OWEA verbundene Kollisionsmortalität richtet sich demnach überproportional gegen die körperlich besonders fitten Vögel.

- 3) Männchen ziehen im Herbst bei vielen Arten später als Weibchen (z. B. STOUFFER & DWYER 2003, HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004, COPPACK & PULIDO 2009, MAGGINI & BAIRLEIN 2012). Auf diese Weise könnten zusätzlich Probleme durch unterschiedlich betroffene Geschlechter erwachsen, mit entsprechenden Folgen für eine Population. Im Frühjahr ziehen die Männchen den Weibchen zumeist voran (z. B. HÜPPPOP & HÜPPPOP 2004), weshalb die Analysen trotz geringeren Datenvolumens (weniger Vögel, da nach dem verlustreichen Winter, aber noch vor der Brutsaison) für auf dem Heimzug kollidierte bzw. angenäherte Vögel durchgeführt werden sollten. Analog den hiesigen Befunden wäre dann ein Effekt verfrühter Wahrnehmung rufender wie auch kollidierter Tiere zu vermuten.
- 4) Die erhöhte Gefährdung spät ziehender Individuen lässt schlussfolgern, dass später ziehende Arten gegenüber den früher im Herbst ziehenden Arten einem höheren Kollisionsrisiko ausgesetzt sind. Dafür spricht auch, dass die besonders früh ziehenden Langstreckenzieher quasi im Totfundspektrum fehlen. Hohe Radarsummen zu deren Kernzugzeiten sowie tageweise hohe Rastsummen auch während der Jahre 2003 bis 2010 auf Helgoland (DIERSCHKE et al. 2011) belegen aber die Präsenz dieser nichtrufenden Arten im Offshore-Bereich.

4.1.2 Der Einfluss der Umgebungshelligkeit

Bei der Annäherung von nachziehenden Zugvögeln an FINO 3 spielt die Helligkeit eine Rolle. Demnach nähern sich im Offshore-Bereich vorhandene Zugvögel vor allem dann an, wenn niedrige Lichtintensitäten gemessen werden (Kap. 3.4.2). Nächte sind dann besonders dunkel, sobald Neumond herrscht oder aber der Himmel wolkenverhangen ist. Die Hinderniskennzeichnungsleuchten der Plattform waren in allen Nächten eingeschaltet. Wetterdaten wurden jedoch nicht in die Modelle integriert. Somit wurden nur die gemessenen Lichtwerte berücksichtigt. Obwohl anhand der bisher herangezogenen Daten des Jahres 2014 nicht erkennbar, darf unterstellt werden, dass im herbstlichen Mitteleuropa die Frequenz von besonders dunklen Nächten ansteigt, da mit zunehmender Herstdauer

das Auftreten stark sichtbehindernder Phänomene häufiger wird. Zudem steigt die Nachtdauer über den Verlauf des Herbstes an. Dieses würde erklären, weshalb sich später ziehende Zugvögel überproportional stärker an Bauwerke im Offshore-Bereich annähern und von Kollisionsmortalität betroffen sind (Kap. 4.1.1).

4.1.3 Der Einfluss der Tageszeit

Analog zu der jahreszeitlichen Verspätung ist auch das tageszeitliche Zugvogelvorkommen im Umfeld der Plattformen von Unausgewogenheiten geprägt. Durchquerungen der Seegebiete werden von den eingesetzten Radarsystemen vor allem in den beiden zentralen Nachtvierteln gemessen. Die Annäherung an die Plattformen gemäß Ruferfassung steigert sich hingegen sukzessive über die Nachtviertel hinweg und belegt stärkste Präsenzdichte im letzten Nachtviertel vor Sonnenaufgang. Die Zeitpunkte von Kollisionen ließen sich nur in wenigen Ausnahmefällen genauer eingrenzen, so dass nähere Auswertungen hierzu nicht möglich sind. Auf der Basis von Einzelnächten findet verstärkte Annäherung somit zu Zeitpunkten statt, während derer die Umgebungshelligkeit bereits wieder erhöht ist. Zukünftig sollte überprüft werden, ob gegen Ende der Nacht die Vögel bereits systematisch niedrigere Flughöhen wählen, um so z. B. nach geeigneten Rastplätzen zu suchen. Verbesserte Modellansätze ließen sich erreichen, indem innerhalb der einzelnen Nachtviertel auf einen Zusammenhang zwischen Umgebungshelligkeit und Stärke von Annäherungsereignissen gestestet wird. Hierzu ist aber ein vergrößerter Datenpool zwingend, denn bisher konnten Lichtdaten aus nur einem Jahr berücksichtigt werden.

4.1.4 Der Einfluss eines Windparks

HILL et al. (2014c) stellten für den Zeitraum nach dem Bau des Windparks *alpha ventus* fest, dass sich die per Radar registrierte Zugintensität als Echos/h während der Wegzugperiode im Bereich um die direkt neben dem Windpark liegende FINO 1 erhöht hatte. Im Bereich von 1 km Höhe und Entfernung zur Plattform wurden mehr Vogeldurchflüge je Zeiteinheit registriert. Im Gegensatz dazu ging die Anzahl registrierter Kollisionen auf FINO 1 stark zurück. Auch die Stärke der Annäherungsereignisse von Drosseln ging zurück.

Für FINO 3 wurden nun gleiche Effekte festgestellt: Mit Bau von *Dan Tysk* gingen auch hier die Zahlen registrierter Totfunde zurück. Die Stärke der untersuchten Drosselannäherungen ging im Herbst ebenfalls zurück, sobald Nächte mit besonders starker Lichtemission (zusätzliche Sicherheitsbefeuерung) ausgeklammert blieben. Im Frühjahr wurde ein ebensolcher Effekt in Tendenz deutlich, allerdings ist hierzu das Datenmaterial zu

Annäherungssereinissen insgesamt noch sehr begrenzt (Kap. 3.2.2, 3.2.1). HILL et al. (2014c) zogen die als zusätzliche Lichtquellen fungierenden OWEA für ein Erklärungszenario heran: Demnach lockte das Mehr an Licht und Anlagen mehr Vögel in den Bereich, was zu erhöhten Radarmesswerten im Umfeld bis 1 km führte. Um die zahlreicheren Vögel „konkurrieren“ aber auch mehr angeflogene Lichtquellen (= Bauwerke), so dass für die einzelne Lichtquelle weniger Vögel verbleiben, die sich stark annähern. Dies könnte wiederum die verringerten Totfundzahlen an den Plattformen erklären. Die angelockten Tiere würden sich im Windpark zerstreuen und sich nicht mehr im selben Maß um die singuläre Lichtquelle einer Plattform wie FINO 1 oder FINO 3 konzentrieren. Tatsächlich wurden während nächtlicher Annäherungssituationen während Schlechtwetter bei Messungen innerhalb der Windparkfläche höhere Vogeldichten ermittelt, als außerhalb der Windparkfläche (HILL et al. 2014d). Vögel akkumulieren also auch um die OWEA herum. Inwieweit es hierbei zu Kollisionen kommt, muss angesichts fehlender Überprüfungsmöglichkeiten offen bleiben. Kollisionen erscheinen aber angesichts vieler verschiedener Studien zu Vogelschlag an (Offshore-)Bauwerken wahrscheinlich (s. Kap. 1.1). Dass zusätzlich sogar die Möglichkeit zu Anlockwirkung eines Windparks unter nicht erkennbar beeinträchtigten Zugbedingungen besteht, zeigen die Ergebnisse unter Kap. 3.3.3. Da dabei bislang nur wenige starke Vogelzugnächte berücksichtigt werden konnten, haben die Ergebnisse pilotstudienartigen Charakter.

Der Effekt verringriger Annäherungsstärke von Drosseln nach Bau von *Dan Tysk* macht sich nicht bemerkbar, sobald solche Nächte im Datenpool verbleiben, in denen besonders viel Licht von der Plattform emittiert wurde. In diesen Nächten musste zusätzliche Sicherheitsbefeuерung brennen, denn es hielten sich währenddessen Personen auf der Plattform auf. Dies zeigt, dass sich über weniger eingebrachtes Licht die Vogelzahl um ein Bauwerk im Offshore-Bereich herum verringern lässt. Umgekehrt konzentrieren sich Vögel um eine besonders starke und über die umliegenden Lichtquellen dominierende Beleuchtung herum in besonderer Art und Weise. Weiterhin wird deutlich, dass die unter der Sonderbedingung des zusätzlich eingebrachten Lichts erfassten Rufraten nicht repräsentativ sein sollten.

4.2 Wetter und Vogelzug – Wo und unter welchen Bedingungen starten die nachts im Herbst über die Deutsche Bucht ziehenden Vögel?

Die Wetterbedingungen in den jeweiligen Aufbruchsorten sowie die Seitenwindkomponente (CWC) bestimmen über die Menge nachts über die Deutsche Bucht hinweg ziehenden

Vögeln. Nebel- und/oder Regenereignisse sowie plötzlich aufkommende starke Gegenwinde bestimmen in den später erreichten Seegebieten über die Annäherung an die Bauwerke. Beide Bedingungen haben auf diese Weise Einfluss auf das Risiko des Kollidierens: Die Wetterbedingungen in den Aufbruchsgebieten und Windrichtungen unterwegs schaffen die Vorbedingungen, indem sie für Vogelpräsenz sorgen. Wetterphänomene welche die Sicht- und Orientierungsmöglichkeiten über See behindern (Kap. 1.1), können Verhalten der ziehenden Vögel induzieren, welches diese verstärkt in den Nahbereich der Bauwerke führt.

Die hier präsentierten, ersten Ergebnisse der Wettermodellierungen zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen einigen Wetterparametern und vor allem im Zusammenspiel mit vorangehenden Zugstaubedingungen an den ausgewählten Aufbruchsgebieten sowie der mitternächtlichen CWC über See mit der Anzahl Radarechos am Untersuchungsstandort besteht. Gefundene Zusammenhänge sind vor allem mit den Aufbruchsbedingungen im Bereich der südlichen kimbrischen Halbinsel (repräsentiert vom Standort Dieksanderkoog), der schwedischen Südspitze um Helsingborg und der nördlichen kimbrischen Halbinsel (repräsentiert vom Standort Hovsor) stark ausgeprägt. Im Zusammenspiel mit der CWC über See scheint ihnen somit der größte Einfluss auf das relative Zugaufkommen an der FINO 1 und somit am Zuggeschehen über der südlichen Deutschen Bucht zuzukommen. Dabei lässt sich je nach Ausprägung der nächtlichen CWC auf unterschiedliche Areale zur hauptsächlichen Herkunft schließen: Für Aufbruchsgebiete, von denen aus strikt nach Südwesten gerichteter Vogelzug östlich an der Forschungsplattform vorbei laufen würde, führt eine nächtliche CWC mit aus Südosten wehenden Winden zu einem erhöhten Zugaufkommen an der FINO 1. Dies gilt für die Gebiete der südlichen kimbrischen Halbinsel sowie für die Südspitze Schwedens, aber Zusammenhänge lassen sich bis in die Region der südwestlichen Ostseeküste (repräsentiert vom Standort Usedom) finden. Dort gestartete und nach Südwesten ziehende Vögel würden ansonsten eigentlich über das kontinentale Festland ziehen. Für das nördlich gelegene Aufbruchsgebiet um Hovsor geht hingegen eine CWC mit aus Nordwesten kommenden Winden mit einem erhöhten Zugaufkommen am Untersuchungsstandort einher. Werden nur die Nächte mit Konzentration von Vogelzug in der zweiten Nachthälfte betrachtet, lässt sich nicht nur bestätigen, dass die an der Forschungsplattform ankommenden Vögel tendenziell aus nördlicher Richtung stammen, sondern es ist ein Einfluss bis in die Region des südlichen Norwegens hinein zu erkennen. Für die hier relevanten Aufbruchsgebiete zeigt sich ein negativer Zusammenhang zwischen Luftfeuchte und Zugaufkommen, der umso ausgeprägt ist, je länger die vorangehenden Zugstaubedingungen angehalten haben.

Im Hinblick auf die Kollisionsgefährdung ist somit festzuhalten, dass die Windparkareale im Offshore-Bereich der südlichen Deutschen Bucht vor allem von Vögeln überflogen werden, die am Vorabend von der kimbrischen Halbinsel oder dem südlichen Schweden gestartet sind.

Einer überproportional hohen Kollisionsgefährdung könnten gleichwohl eigentlich seltener den Bereich durchquerende Vögel aus besonders nördlichen Regionen bis hin in das südliche Norwegen unterliegen, denn diese Vögel passieren den Bereich erst während der zweiten Nachhälfte. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit über See auf vogelzugabträgliches Wetter zu stoßen, denn zwischen Startzeit und Passage des Betrachtungsraums vergeht besonders viel Zeit. Des Weiteren könnten die für das Auftreten um FINO 1 förderlichen Nordwestwinde mit solchen Schlechtwetterbedingungen korreliert sein, die die Kollisionsgefährdung erhöhen.

Zusammenfassend hat die Wettermodellierung bereits einige neue Informationen geliefert, die weiterführende Ansätze für das Verständnis von Vogelzug über See bieten. Die Vorhersage von Vogelzug bietet besonders großes Potenzial, die Zahl im Offshore-Bereich kollidierender Zugvögel klein zu halten (s. u.). Die Vorhersage von Vogelzug und möglicherweise auch das Erkennen weiterer Zusammenhänge scheinen aber noch komplexer zu sein, als es das hier angewendete Modell leisten kann. Bei einem solch komplexen Modell wären noch umfangreichere Datensätze sinnvoll. Gerade in Hinblick auf die separate Untersuchung der Nächte mit überwiegendem Vogelzug in der ersten Nachhälfte könnte dies zu einem Erkenntnisgewinn führen. Es wäre überaus sinnvoll in Zukunft auch Interaktionen zwischen den Aufbruchsgebieten hinzuzuziehen. Dies wurde bislang aufgrund einer zu großen Komplexität des Modells im Vergleich zum Datenumfang nicht berücksichtigt. Da die Aufbruchsbedingungen um Dieksanderkoog, Helsingborg und Hovsor in Zusammenspiel mit der CWC über See den größten Einfluss auf das relative Zugaufkommen an der FINO 1 zu haben scheinen, könnte man die Modellierung künftig auf diese Standorte eingrenzen. Es wäre in Erwägung zu ziehen, weitere Wetterparameter hinzuzuziehen, wie beispielsweise die Temperatur. Weiterhin wäre zu überlegen, ob die einzelnen Umweltbedingungen als zufällige Faktoren anstelle von festen Faktoren in das Modell einzufügen wären. Hierdurch würde untersucht werden, welchen Einfluss die Variation in den einzelnen Faktoren auf die Variation im Zugaufkommen an der Forschungsplattform hat. Der Vorteil besteht hierbei darin, dass der Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Variation im Zugaufkommen quantifiziert werden kann.

4.3 Minimierung der Kollisionsgefährdung von Zugvögeln im Offshore-Bereich

Basierend auf der Totfundrate auf FINO 1 der ersten Betriebsjahre mit 150 Opfern pro Jahr und unter Annahme eines Teils nicht gefundener Opfer gehen HÜPPPOP et al. (in press) für 1.000 Anlagen der Nordsee von hunderttausenden tödlich kollidierten Zugvögeln aus. Im Vergleich z. B. zu den Jagdstrecken im südlichen Europa sind diese Zahlen dennoch gering

(vgl. DIERSCHKE et al. 2011). Die Industrialisierung des Offshore-Bereichs schreitet jedoch rasant voran. Die Kollisionen von Vögeln mit den Turbinen werden als einer der Hauptkonflikte beim Ausbau der Nutzung von Windenergie betrachtet (MAY et al. 2015). Viele Vogelarten unterliegen zurzeit starken Bestandsrückgängen (BIRDLIFE INTERNATIONAL 2004, HÜPPPOP et al. 2013). Entscheidend ist die Klärung, inwieweit direkte Mortalität durch Vogelschlag an anthropogenen Bauwerken zu diesen Rückgängen beiträgt, um Schutzmaßnahmen z. B. in das Management von Windparks zu implementieren.

Zweifellos sind viele Opfer während einzelner Zugnächte an Onshore-Anlagen selten (KERLINGER et al. 2010). Zu Offshore Bedingungen bestehen aber wichtige Unterschiede, denn über Land ziehende Vögel können jederzeit und beinahe allerorten „notlanden“, sobald sich die Wetterbedingungen zum Zug als ungeeignet erweisen. Onshore-Anlagen sind zur Flugsicherung lediglich mit rotem Blinklicht befeuert, Offshore-Anlagen müssen zur Sicherheit der Seeschifffahrt zusätzlich über gelbes Dauerlicht verfügen. Dauerlicht lockt Nachtzieher stärker an als Blinklicht (GAUTHREAUX & BELSER 2006, EVANS et al. 2007, LONCORE et al. 2008, GEHRING et al. 2009) und Vögel fliegen über See in geringerer Höhe, vor allem unter vogelzugabträglichem Wetter (Kap. 1.1, 1.2.2; FARNSWORTH & RUSSELL 2007, HÜPPPOP & HILGERLOH 2012). Weiterhin muss bedacht werden, dass nur Vögel mit guter körperlicher Konstitution den Zug aufnehmen können, was für die Überwindung einer ökologischen Barriere wie die Nordsee umso wichtiger ist und über höhere Fettanlagerung im Vorfeld der Querung belegt ist (Kap. 1.2.2). Insofern dürfte sich die mit OWEA verbundene Mortalität im Gegensatz zu anderen Verlustursachen wie natürliche Prädation oder anderer anthropogener Faktoren wie Straßenverkehr nicht primär gegen geschwächte und ohnehin mit weniger Aussicht auf Fitnessvorteile versehene Individuen richten. Bei den meisten Arten ziehen Altvögel später, was sie stärker dem Risiko zur Kollision aussetzt als Jungvögel. Parallel dazu haben sie aber eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit als unerfahrene Jungvögel. Gerichtete Variation in der jahreszeitlichen Kollisionsgefährdung deutet auch auf das Vorliegen von weiteren Sekundäreffekten hin, denn die Geschlechter vieler Arten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Zugzeiten. Es spricht somit viel dafür, dass mit OWEA verbundene Mortalität höher zu bewerten ist, als andere Verlustursachen.

Die Bedingungen unter denen es im Offshore-Bereich zu massenhaften Kollisionen kommt, sind gut bekannt (z. B. HÜPPPOP et al. 2009, AUMÜLLER et al. 2011, HILL et al. 2014c). Schwierig ist jedoch deren Vorhersage (Kap. 4.2).

Um Mortalität an Bauwerken im Offshore-Bereich vorbeugend gering zu halten, erscheinen folgende Empfehlungen erfolgversprechend:

- 1) Illuminierte Bauwerke sollten vorzugsweise außerhalb von Arealen mit hoher Vogelflugaktivität errichtet und Gebiete mit lokal verstärkter Neigung zu Nebelbildung gemieden werden. Die Ausrichtung von Windparks sollte parallel zur Hauptachse von Vogelzug erfolgen (HÜPPPOP et al. (in press)).
- 2) Licht sollte hinsichtlich eingebrachter Quellen und verwendeter Intensitäten maximal sparsam Verwendung finden (z.B. HÜPPPOP et al. (in press)). Ideal wäre es, keine zusätzliche Beleuchtung in das zuvor dunkle Meeresareal zu bringen. Wo aus Sicherheitsgründen eine Beleuchtung unerlässlich nötig ist, sollte eine bedarfsgerechte Befeuerung mit nur dann eingeschalteter Beleuchtung entwickelt werden, wenn sich ein Luft- bzw. Wasserfahrzeug annähert. Forschung zur Rolle der Lichtfarbe ergab keine eindeutigen Ergebnisse (z. B. EVANS et al. 2007, POOT et al. 2008), HILL et al. 2014a konnten bei Lichtversuchen im Freiland mit Wärmebildkameras keine besonders vogelfreundliche Lichtvariante ermitteln.
- 3) Elektromagnetische Eigenfelder der Anlagen sind zu minimieren (ENGELS et al. 2014).
- 4) Vor allem die Implementierung eines Abschaltkonzepts, wonach in den wenigen und kurzzeitigen Situationen besonderer Gefährdungslage die OWEA ausgeschaltet werden. Die Messung von Vogelzug und Wetter zur Bestimmung der Gefahrenlage in Echtzeit innerhalb größerer Offshoregebiete würde nicht nur helfen das Kollisionsrisiko deutlich herabzusetzen, sondern könnte über eine gleichzeitige Evaluation über Vogelrufe aus dem Anlagenumfeld auch die Ausfallzeiten verlässlich auf die kurzen Zeiten starker Annäherung begrenzen.

4.4 Vogelpräsenz unter Tageslichtbedingungen

Das festgestellte sommerliche Vorkommen von **Heringsmöwen** um FINO 1 und FINO 3 sollte bis Ende Juli direkt mit dem Brutgeschäft an der Küste in Verbindung stehen. Somit beträfe es mit der Fortpflanzungsphase einen Kernbereich im artspezifischen Jahreszyklus. Heringsmöwen weichen einem Offshore-Windpark nicht aus (HILL et al. 2014c), und Kollisionen mit Windenergieanlagen wurden für Heringsmöwen nachgewiesen (EVERAERT et al. 2002). Generell zeigen sie eine hohe Flugaktivität und wählen besonders häufig Flughöhen im Bereich der Rotoren, was vor allem während Flügen zwischen Nahrungsgebieten gilt (CORMAN & GARTHE 2014). Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Flugeigenschaften kommen FURNESS et al. (2013) zu dem Schluss, dass Großmöwen von allen untersuchten Arten dem größten Kollisionsrisiko unter Tageslichtbedingungen unterliegen. Die Heringsmöwe erreicht nach Mantel-, und Silbermöwe den dritthöchsten Indexwert zur Gefährdung nach FURNESS et al. (2013). Erhöhte Mortalität als Folge des

Ausbaus der Windkraft in der Deutschen Bucht könnte sich also direkt negativ auf den Bestand brütender Heringsmöwen sowie auf die Überlebensrate der Küken entlang der südöstlichen Nordsee auswirken.

Untersuchungen zu benthischen Lebensgemeinschaften im Bereich von Windparks prognostizieren systematische Veränderungen der artlichen Zusammensetzung (OREJAS et al. 2005, WILHELMSSON et al. 2006, SCHUCHARDT et al. 2008, KERCKHOF et al. 2009), was derzeit kaum abschätzbare Auswirkungen auf Heringsmöwen der südlichen Nordsee haben kann. Daneben wird in den Windparkarealen keine Fischerei stattfinden, was zwar die Biomasse aller Wahrscheinlichkeit nach ansteigen lassen wird (KERCKHOF et al. 2009, LINDEBOOM et al. 2011), aber die Nahrungsverfügbarkeit verändern könnte. Derzeit bestimmen insbesondere Fischereiaktivitäten die Verteilungsmuster auf See (SCHWEMMER & GARTHE 2005), obwohl auch „natürlich“ erbeutete Fische und Krebstiere eine große Rolle spielen können (MENDEL et al. 2008). Somit sind unterschiedliche Szenarien denkbar, wonach die Heringsmöwe künftig verstärkt oder vermindert windparkbestandene Areale aufsuchen könnte. Verstärkte Großmöwenvorkommen fanden VANERMAN et al. 2013 aber auch KRIJGSVELD et al. (2011) für Windparks. Die Daten von FINO 3 zeigen mit Bau von *Dan Tysk* eine starke Reduktion der Heringsmöwenzahlen im direkten Plattformumfeld. Dieser Rückgang kann Folge einer Verteilung der anwesenden Vögel auf die rastgeeigneten Strukturen der neu errichteten OWEA sein. Zuvor war FINO 3 die einzige als Rastplatz dienende Struktur. Möglicherweise spiegelt sich aber zusätzlich auch ein echter Rückgang wider, denn in jüngster Zeit nutzen Heringsmöwen vermehrt terrestrische Nahrungsquellen teilweise tief im Binnenland (CORMAN & GARTHE 2013), wie z. B. im Umfeld von Maissilage. Großmöwen sind Nahrungsopportunisten, so dass eine neu hinzu getretene profitable Nahrungssituation dazu führen kann, dass weniger Tiere den Offshorebereich aufsuchen. Mit jahrweisen Fluktuationen in der Nutzung von Nahrungsressourcen im Offshore-Bereich gegenüber denjenigen im Binnenland ist zukünftig zu rechnen. Die Zahl der Heringsmöwen, die den Offshorebereich aufsucht, wird maßgeblich das Ausmaß zukünftiger Mortalität bestimmen. Dies lässt sich derzeit aber nicht vorhersagen.

In jedem Falle wird die internationale Perspektive zu bedenken sein, denn der von GARTHE et al. (2007) taxierte sommerliche Heringsmöwenbestand ($n = 45.000$) im Seengebiet der Deutschen Bucht entsprach in den Jahren 2002-2006 19,9 % der biogeographischen Population, womit das Kriterium für internationale Bedeutung von 1 % weit übertroffen wurde. In Bezug auf ihre biogeographische Population gehört die Heringsmöwe somit zu den bedeutendsten Arten der Deutschen Bucht.

Das plötzliche Einsetzen des Vorkommens der **Dreizehenmöwe** in der zweiten Junihälfte und das bis Anfang August gehaltene Häufigkeitsniveau fällt in auffälliger Weise mit dem Datum der Hauptschlupfzeit (mittleres Schlupfdatum 21.06.; POLUSZYNKI 1979) und der rund 40-tägigen Nestlingsphase auf Helgoland zusammen. Für Helgoländer Vögel wurde der Aktionsradius auf etwa 70 bis 90 km geschätzt (LUGERT 1988, GARTHE & HÜPPPOP 2000, DIERSCHKE et al. 2004), was den Bereich um FINO 1 mit 86 km Entfernung WSW knapp einschließt. FINO 3 liegt mit einer Distanz von 121 km in Richtung NNW deutlich entfernt. Die offensichtlich hohe Beteiligung von brutreifen Altvögeln der auf FINO 3 – nicht standardisiert – altersbestimmten Dreizehenmöwen, die ungleich größeren Distanzen zu nächstgelegenen Brutstätten im Norden Dänemarks oder der britischen Ostküste (bei einer winzigen Ansiedlung in den Niederlanden, SOVON 2002) und das zur Brutzeit sogar noch etwas stärkere Auftreten als um FINO 1 rechtfertigen die Annahme eines bislang unterschätzten Aktionsradius Helgoländer Brutvögel. Das Seegebiet beider Plattformen ist also dem regulären Nahrungsgebiet der Kolonie auf Helgoland zuzurechnen und dürfte für diesen Koloniestandort entsprechend bedeutsam sein. Die an beiden Plattformen notierte erratische Präsenz der Art könnte stark von ihrer pelagischen Ernährungsweise abhängen: In ihrer engen Affinität zu besonders kurzlebigen Auftriebsgebieten an Salinitätsfronten können sich die Vögel von Tag zu Tag in unterschiedlichen Seegebieten konzentrieren (MARKONES et al. 2008). Die Verfügbarkeit ihrer Hauptnahrung, Kleinfische, geht in der Deutschen Bucht, aber auch in der Nordsee insgesamt, im Laufe des Herbstes stark zurück. Die hier häufigste Kleinfischart überhaupt, der Sandaal *Ammodytes tobianus*, bildet dann für Vögel unerreichbare Überwinterungsstadien im Meeresboden, und die Dichte der Fische nimmt beginnend Ende August im freien Pelagial drastisch ab (vgl. VAN DEURS et al. 2011). Sobald Dreizehenmöwen videoerfasst werden, lässt dies eine günstige Nahrungssituation mit Nahrungsfischreichtum im direkten Plattformumfeld annehmen.

Der Wegzug erfolgt nach Daten von Helgoland (Methode Seawatching) vor allem von Oktober bis Dezember, es ist aber auch im August und September schon mit Wegzug zu rechnen, wie Daten von Sylt zeigen (PFEIFER 2003; Methode Seawatching). Auf Helgoland wird solch früher Wegzug vermutlich der Brutvögel wegen in Teilen übersehen (DIERSCHKE et al. 2011). Wie auf Helgoland lassen sich Brut- und Zugzeit auf FINO 1 und FINO 3 in der Gesamtschau nicht voneinander trennen. Der Hauptwegzug in der Deutschen Bucht wird über die Videomethode aber offensichtlich kaum erfasst, denn spätestens ab Anfang Oktober (FINO 1) oder bereits Ende August (FINO 3) werden kaum noch Vögel registriert.

Dreizehenmöwen werden zur Hauptzugzeit im Bereich der südöstlichen Deutschen Bucht von Sichtbeobachtern typischerweise während besonders starker Winde mit westlicher

Komponente registriert (DIERSCHKE et al. 2011, eig. Beob.). Insbesondere orkanartige Winde führen dann regelmäßig zu hohen Tagessummen beobachteter Individuen an Beobachtungsplätzen rund um die Deutsche Bucht (eig. Beob.). Auch im Winter werden in Abhängigkeit solcher Wetterlagen besonders hohe Dichten z.B. im Seegebiet südöstlich Helgolands deutlich (GARTHE et al. 2009). Während solcher Einflüsse ist die Körperachse der beobachteten Vögel zumeist direkt gegen oder schräg seitlich zum Wind ausgerichtet. Nahrungsaufnahme, worauf zum Beispiel plötzliches Absinken zur Wasseroberfläche und Picken hinweisen (auch aus großen Entfernung sichtbar), wird währenddessen nur ausnahmsweise beobachtet (eig. Beob.). Die Vögel scheinen vor allem ihre Windverdriftung kompensieren zu wollen und sind nach Abflauen des Windes schnell wieder verschwunden. Umgekehrt fehlen Dreizehenmöwen bei ablandigen Ostwindlagen ab September meist ganz im Bereich der Deutschen Bucht (DIERSCHKE et al. 2011, eig. Beob.). Die Hauptzugrouten bzw. winterlichen Einstandsgebiete liegen somit und aufgrund der für diese Zeiten anzunehmenden schlechten Ernährungssituation in der südöstlichen Deutschen Bucht weiter westlich. Windige Westwetterlagen vorausgesetzt, werden Dreizehenmöwen zur Hauptzugzeit im Oktober und November auch während Zugplanbeobachtungen um FINO 1 in großer Häufigkeit beobachtet (eig. Beob.). Diese Bewegungen werden nicht adäquat von der zeitlich parallel angelegten Videoerfassung erfasst. Die Vögel nähern sich, obwohl im Seegebiet anwesend, der Plattform dann also kaum an. Winddrift führt zu unbeabsichtigter Präsenz im Seegebiet, fehlende Nahrung veranlasst die Vögel schnell wieder zum gerichteten Verlassen. Dreizehenmöwen, die gerichteten Streckenflug zeigen, meiden windparkbestandene Areale (HILL et al. 2014c), womit der scheinbare Widerspruch zwischen den Methoden Seawatching und Videoerfassung im späteren Herbst vollends aufgelöst ist.

Die zuvor geschilderten Verhältnisse deuten stark daraufhin, dass in einem bestimmten ökologischen Kontext gezeigte Meideverhalten in anderen Situationen zu Gunsten einer Annäherung an anthropogene Offshore-Bauwerke aufgegeben wird, sofern eine günstige Nahrungssituationen zwischen Mitte Juni und Anfang Oktober vorliegt. Die Möglichkeit motivationsbedingt variierenden Verhaltens („Trade-off“) gegenüber Offshore-Windparks steht somit im Raum.

Die Dreizehenmöve wird in der aktuellen Roten Liste der Vögel Deutschlands in der Kategorie „R“ geführt (SÜDBECK et al. 2007), also als „extrem seltene bzw. sehr lokal vorkommende Art, deren Bestand in der Summe weder lang- noch kurzfristig abgenommen hat und die auch nicht aktuell bedroht, aber gegenüber unvorhergesehenen Gefährdungen besonders anfällig ist“ eingestuft ist. Die sich im Sommer offenbar komplett im Seegebiet der 12-Seemeilenzone und mit einem Schwerpunkt in der AWZ aufhaltenden Helgoländer Vögel kommen hingegen nur 0,2 % der biogeographischen Population gleich

(GARTHE et al. 2007). Das Mortalitätsrisiko unter Tageslichtbedingungen wird von FURNESS et al. (2013) bei der Art als etwa halb so groß wie dasjenige von Großmöwen eingeschätzt, womit die Dreizehenmöwe aber immer noch zu den Hochrisikoarten gehört. Kollisionen mit Windenergieanlagen sind auch für Dreizehenmöwen nachgewiesen (EVERAERT et al. 2002). Die mögliche Existenz eines Trade-Offs in der Verhaltensantwort auf einen Windpark (s. o.) könnte ein zukünftiges Dilemma für Dreizehenmöwen aufzeigen: Nähern sich Vögel einer Nahrungsquelle im Bereich eines Windparks, besteht die Gefahr, dafür mit erhöhter Mortalität bezahlen zu müssen. Bleiben sie auf Abstand, bezahlen sie mit geringerer Nahrungsaufnahme. Beides könnte eine Absenkung der kumulativen Kapazitätsgrenze für die Helgoländer Kolonie nach sich ziehen. Mit der Verwirklichung weiterer Ausbaustufen im Rahmen der Erschließung weiter Meeresbereiche zur Gewinnung regenerativer Energie würde diese zunehmend reduziert. Während der Hauptzugzeiten könnte die Passierbarkeit zwischen einzelnen Windparks zunehmend reduziert sein.

Am Standort FINO 3 sollen in dem Nachfolgeprojekt „Offshorebirds+“ auch weiter Daten zum Vorkommen von Vögeln im Einflussbereich eines Offshore-Windparks erhoben und analysiert werden. Hier skizzierte noch offene Fragen können dadurch wahrscheinlich besser beantwortet werden.

5. Literatur

- ABLE KP & GAUTHREAUX SA JR 1975: Quantification of nocturnal passerine migration with a portable ceilometer. *Condor* 77: 92-96.
- AIDE TM, CORRADO-BRAVO C, CAMPOS-CERQUEIRA M, MILAN C, VEGA G & ALVAREZ R 2013: Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ* 1:e103; DOI 10.7717/peerj.103
- ÅKESSON S, ALERSTAM T & HEDENSTRÖM A 1996: Flight initiation of nocturnal passerine migrants in relation to celestial orientation conditions at twilight. *J. Avian Biol.* 27: 95-102.
- ALERSTAM T & LINDSTRÖM Å 1990: Optimal bird migration: the relative importance of time, energy, and safety. In: GWINNER E (ed.): *Bird migration: physiology and ecophysiology*, pp. 331-351. Springer, Berlin, Heidelberg.
- ALERSTAM T 1978: Analysis and a theory of visible bird migration. *Oikos* 30: 273-349.
- ALERSTAM T 1979: Optimal use of wind by migrating birds: combined drift and overcompensation. *J. Theor. Biol.* 79: 341–353.
- ALERSTAM T 1990: *Bird migration*. Cambridge University Press.
- ARNOLD TW & ZINK RM 2011: Collision mortality has no discernable effect on population trends of North American birds. *PLoS One* 6: e24708. doi:10.1371/journal.pone.0024708
- AUMÜLLER R, BOOS K, FREIENSTEIN S, HILL K & HILL R 2013: Weichen Zugvögel Windenergieanlagen auf See aus? Eine Methode zur Untersuchung und Analyse von Reaktionen tagsüber ziehender Vogelarten auf Offshore-Windparks. *Vogelwarte* 51: 3-13.
- AUMÜLLER R, BOOS K, FREIENSTEIN S, HILL K, HILL R 2011: Beschreibung eines Vogelschlagereignisses und seiner Ursachen an einer Forschungsplattform in der Deutschen Bucht. *Vogelwarte* 49: 9-16.
- AUMÜLLER R, HILL K, HILL R, REBKE M & WEINER C 2014: Weiterführende Messungen zur Vogelzugforschung auf der Forschungsplattform FINO 3 zeitgleich mit dem Bau eines großen Offshore-Windparks in der nördlichen Deutschen Bucht – OFFSHOREBIRDS. Zwischenbericht zum Vorhaben „Betrieb der FINO 3-Forschungsplattform 2012-2017“, Förderkennzeichen 0327533C beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Auftrag des FuE-Zentrums der FH Kiel GmbH. Avitec Research GbR, Osterholz-Scharmbeck.
- AUMÜLLER R, HILL R, BOOS K, HILL K & FREIENSTEIN S 2012: Messungen zur Vogelzugforschung auf der Forschungsplattform FINO 3 vor dem Hintergrund der geplanten Offshore-Windenergie-Nutzung. Abschlussbericht zum Vorhaben „FINO 3 – Betrieb der Plattform“, Förderkennzeichen 0327533A beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des FuE-Zentrums der FH Kiel GmbH. Avitec Research GbR, Osterholz-Scharmbeck.
- BAIRLEIN F 1988: How do migratory songbirds cross the Sahara? *Trends Ecol. Evol.* 3: 191-194.
- BAIRLEIN F 1991: Body mass of Garden Warblers (*Sylvia borin*) on migration: a review of field data. *Vogelwarte* 36: 48-61.

- BAIRLEIN F, DIERSCHKE J, DIERSCHKE V, SALEWSKI V, GEITER O, HÜPPPOP K, KÖPPEN U & FIEDLER W 2014: Atlas des Vogelzugs – Ringfunde deutscher Brut- und Gastvögel. Aula-Verlag, Wiebelsheim.
- BALLASUS H 2007: Vogeltod an Leuchttürmen: Welche Relevanz haben 100 Jahre alte Daten für die aktuelle Offshore-Forschung? Vogelwarte 45: 307-308
- BALLASUS H, HILL K & HÜPPPOP O 2009: Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. Ber. Vogelschutz 46: 127-157.
- BARTHEL PH & HELBIG AJ 2005: Artenliste der Vögel Deutschlands. Limicola 19: 89-111.
- BATES D & VENABLES WN 1999: splines: Regression spline functions and classes. R package version 2.0-7. <https://cran.r-project.org/web/packages/splines/index.html>
- BATES D, MAECHLER M, BOLKER B & WALKER S 2014: lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. R package version 1.1-7. <http://cran.r-project.org/package=lme4>.
- BATTLEY PF, WARNOCK N, TIBBITTS TL, GILL RE, PIERSMA T, HASSELL CJ, DOUGLAS DC, MULCAHY DM, GARTELL BD, SCHUCKARD R, MELVILLE DS & RIEGEN AC 2012: Contrasting extreme long-distance migration patterns in bar-tailed godwits *Limosa lapponica*. J. Avian Biol. 43: 1-12.
- BAUER H-G, BEZZEL E & FIEDLER W 2005: Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz. Band 1: Nonpasseriformes – Nichtsingvögel. AULA-Verlag, Wiebelsheim.
- BERTHOLD P & HELBIG A 1992: The genetics of bird migration: stimulus, timing, and direction. Ibis 134: 35-40.
- BERTHOLD P 2011: Vogelzug. Eine aktuelle Gesamtübersicht. 7. Aufl. (unverändert. Nachdruck der 6. Aufl. 2008). Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- BIRD LIFE INTERNATIONAL 2004: Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. BirdLife International, Cambridge, UK.
- BOLSHAKOV CV, BULYUK VN & SINELSKHOVA A 2000: Study of nocturnal departures in small passerine migrants: retrapping of ringed birds in high mist-nets. Vogelwarte 40:250-257.
- BOLSHAKOV CV & CHERNETSOV N 2004: Initiation of nocturnal flight in two species of long-distance migrants (*Ficedula hypoleuca* and *Acrocephalus schoenobaenus*) in spring: a telemetry study. Avian Ecol. Behav. 12:63-73.
- BRAASCH A, NEUMANN R, MICHALIK A, & TODESKINO D 2013: Assessing impacts on seabirds during construction. StUKplus Conference. Five years of Ecological Research at alpha ventus – Challenges, Results and Perspectives, 30.-31.10.2013, Berlin.
- BREWER R & ELLIS J A 1958: An analysis of migrating birds killed at a television tower in east-central Illinois, September 1955 - May 1957. Auk 75: 400-414.
- BRUDERER B & BOLDT A 2001: Flight characteristics of birds: Part I: radar measurements of speeds. Ibis 143: 178-204.
- BRUDERER B & LIECHTI F 1998: Flight behaviour of nocturnally migrating birds in coastal areas – crossing or coasting. J. Avian Biol. 29: 499-507.
- BRUDERER B 1997a: The study of bird migration by radar. Part I. The technical bases. Naturwissenschaften 84: 1-8.

- BRUDERER B 1997b: The study of bird migration by radar. Part II. Major achievements. *Naturwissenschaften* 84: 45-54.
- BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (BSH) 2013: Standard – Investigation of the Impacts of Offshore Wind Turbines on the Marine Environment (StUK 4), 86 pages.
- CAMPHUYSEN CJ 2011: Lesser Black-backed Gulls nesting at Texel: Foraging distribution, diet, survival, recruitment and breeding biology of birds carrying advanced GPS loggers. NIOZ Rep. 2011-05, Texel.
- CASEMENT MB 1974: Landbirds recorded at sea. *Sea Swallow* 23: 43-69.
- CHRISTENSEN TK, HOUNISEN JP, CLAUSAGER I & PETERSEN IK 2004: Visual and radar observations of birds in relation to collision risk at the Horns Rev offshore wind farm. Annual status report 2003. National Environmental Research Institute, Denmark.
- CONKLIN RJ, BATTLEY PF, POTTER MA & FOX J 2010: Breeding latitude drives individual schedules in a trans-hemispheric migrant bird. *Nat. Commun.* 1: 67.
- COPPACK T & PULIDO F 2009: Proximate control and adaptive potential of protandrous migration in birds. *Integr. Comp. Biol.* 49 (5): 493-506.
- CORMAN A-M & GARTHE S 2013: Wo suchen die Heringsmöwen der Amrumer Odde ihre Nahrung? *Seevögel* 34: 156-159.
- CORMAN A-M & GARTHE S 2014: What flight heights tell us about foraging and potential conflicts with wind farms: a case study in Lesser Black-backed Gulls (*Larus fuscus*). *Journal of Ornithology*, 155(4), 1037-1043.
- CRAMP S & PERRINS CM (eds.) 1977-1994: *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa*. 9 Bände. University Press, Oxford.
- DÄNHARDT J & LINDSTRÖM Å 2001: Optimal departure decisions of songbirds from an experimental stopover site and the significance of weather. *Anim. Behav.* 62: 235-243.
- DE LUCAS M, JANSS GFE & FERRER M 2004: The effects of a wind farm on birds in a migration point: The Strait of Gibraltar. *Biodiversity and Conservation* 13: 395–407.
- DEUTSCHE AVIFAUNISTISCHE KOMMISSION (DAK) 2012: *Seltene Vogelarten in Deutschland 2010. Seltene Vögel in Deutschland 2010:* 10-49.
- DEUTSCHE AVIFAUNISTISCHE KOMMISSION (DAK) 2013: *Seltene Vogelarten in Deutschland 2011 und 2012. Seltene Vögel in Deutschland 2011/12:* 2-47.
- DEUTSCHE AVIFAUNISTISCHE KOMMISSION (DAK) 2014: *Seltene Vogelarten in Deutschland 2013. Seltene Vögel in Deutschland 2013:* 2-39.
- DEUTSCHE SELTENHEITENKOMMISSION (DSK) 2008: *Seltene Vogelarten in Deutschland von 2001 bis 2005.* Limicola 22: 249-339.
- DEUTSCHE SELTENHEITENKOMMISSION (DSK) 2009: *Seltene Vogelarten in Deutschland von 2006 bis 2008.* Limicola 23: 257-334.
- DEUTSCHE SELTENHEITENKOMMISSION 2010: *Seltene Vogelarten in Deutschland 2009 (mit Nachträgen 2001-2008).* Limicola 24: 233-286.

- DE OLIVEIRA WS & FERNANDES AJ 2012: Global wind energy market, industry and economic Impacts. *Energy Environ. Res.* 2: 79-97.
- DESHOLM M & KAHLERT J 2005: Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biol. Lett.* 1: 296-298.
- DIERSCHKE J, DIERSCHKE V, HÜPPPOP K, JACHMANN F & HÜPPPOP O 2011: Die Vogelwelt der Insel Helgoland. OAG Helgoland, Helgoland.
- DIERSCHKE J, DIERSCHKE V & STÜHMER F 2014: Ornithologischer Jahresbericht 2013 für Helgoland. OAG Helgoland, Bremen.
- DIERSCHKE V 1989: Automatisch-akustische Erfassung des nächtlichen Vogelzuges bei Helgoland im Sommer 1987. *Vogelwarte* 35: 115-131.
- DIERSCHKE V 2003: Quantitative Erfassung des Vogelzugs während der Hellphase bei Helgoland. *Corax* 19, Sonderh. 2: 27-34.
- DIERSCHKE V & BINDRICH F 2001: Body condition of migrant passerines crossing a small ecological barrier. *Vogelwarte* 41: 119-132.
- DIERSCHKE V, BINDRICH F & DELINGAT J 2000: Körperkondition ziehender Singvögel bei der Überquerung der Deutschen Bucht. *Jber. Inst. Vogelforsch.* 4: 9-10.
- DIERSCHKE V & DANIELS J-P 2003: Zur Flughöhe ziehender See-, Küsten und Greifvögel im Seegebiet um Helgoland. *Corax* 19, Sonderheft 2: 35-41.
- DIERSCHKE V & DELINGAT J 2001: Stopover behaviour and departure decision of northern wheatears, *Oenanthe oenanthe*, facing different onward non-stop flight distances. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 50: 535-545.
- DIERSCHKE V, GARTHE S & MARKONES N 2004: Aktionsradien Helgoländer Dreizehenmöwen *Rissa tridactyla* und Trottellummen *Uria aalge* während der Aufzuchtpause. *Vogelwelt* 125: 11-19.
- DIERSCHKE V, HÜPPPOP 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.
- DIERSCHKE V & LORENZEN NH 2006: Phänologie südnorwegischer Mantelmöwen *Larus marinus* auf Helgoland (Deutsche Bucht). *Vogelwelt* 127: 31-36.
- DIERSCHKE V, MENDEL B & SCHMALJOHANN H 2005: Differential timing of spring migration in northern wheatear, *Oenanthe oenanthe*: hurried males or weak females? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 57: 470-480.
- DIGBY A, TOWSEY M, BELL BD & TEAL PD 2013: A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Meth. Ecol. Evol.* doi: 10.1111/2041-210X.12060
- DORKA V 1966: Das jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Kurz- und Langstreckenziehern nach Beobachtungen auf den Alpenpässen Cou/Brettolet (Wallis). *Ornithol. Beob.* 63: 165-223.
- DORKA V 1979: Zugrufe. *Ökol. Vögel* 1: 7-8.
- DREWITT AL & LANGSTON RWH 2006: Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148 (Supplement): 29-42.

- DREWITT AL & LANGSTON RWH 2008: Collision effects 430 of wind-power generators and other obstacles on birds. *Ann. NY Acad. Sci.* 1134: 233-266.
- EASTWOOD E 1967: Radar Ornithology. Methuen & Co., London.
- ELKINS N 2008: Further thoughts on the transatlantic vagrancy of landbirds to Britain & Ireland. *Brit. Birds* 101: 458-477.
- ENGELMANN H-D 1978: Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. *Pedobiologia* 18: 378-380.
- ENGELS S, SCHNEIDER NL, LEFELDT N, HEIN CM, ZAPKA M, MICHALIK A, ELBERS D, KITTEL A, HORE PJ & MOURITSEN H 2014: Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature* 509: 353-359.
- ERNI B, LIECHTI F, UNDERHILL LG & BRUDERER B 2002: Wind and rain govern the intensity of nocturnal bird migration in central Europe – a log-linear regression analysis. *Ardea* 90 (1): 155-166.
- EVANS PR 1966: Migration and orientation of passerine night migrants in northeast England. *J. Zool. (Lond.)* 150: 319-369.
- EVANS WR, AKASHI Y, ALTMAN NS & MANVILLE AM 2007: Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light. *North Am. Birds* 60: 476-488.
- EVERAERT J, DEVOS K & KUIJKEN E 2002: Wind turbines and birds in Flandern: Preliminary study results in a European context. Institute of Nature Conservation, Brussels.
- FARNSWORTH A & RUSSEL RW 2007: Monitoring flight calls of migrating birds from an oil platform in the northern Gulf of Mexico. *J. Field Ornithol.* 78: 279-289.
- FARNSWORTH A 2005: Flight calls and their value for future ornithological studies and conservation research. *Auk* 122: 733-746.
- FARNSWORTH A, GAUTHREAUX SA & VAN BLARICOM D 2004: A comparison of nocturnal call counts of migrating birds and reflectivity measurements on Doppler radar. *J. Avian Biol.* 35: 365-369.
- FIJN RC, KRIJGSVELD KL, POOT MGM & DIRKSEN S 2015: Bird movements at rotor heights measured continuously with vertical radar at a Dutch offshore wind farm. *Ibis*: doi: 10.1111/1474-919X.12259
- FORTIN D, LIECHTI F & BRUDERER B 1999: Variation in the nocturnal flight behaviour of migratory birds along the northwest coast of the Mediterranean Sea. *Ibis* 141: 480-488.
- FOX AD, DESHOLM M, KAHLERT J, CHRISTENSEN TK & PETERSEN IKB 2006: Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds. *Ibis* 148: 129-144.
- FROMMOLT K-H, HÜPPPOP O, BARDELI R, HILL R, KOCH M, TAUCHERT K-H & SPECHT R 2012: Automatisierte Methoden der Erfassung von Rufen und Gesängen in der avifaunistischen Feldforschung. *Vogelwarte* 50: 65-78.
- FURNESS RW, WADE HM & MASDEN EA 2013: Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *J. Environm. Management* 119: 56-66.
- GARTHE S & HÜPPPOP O 2000: Aktuelle Entwicklungen beim Seabirds-at-Sea-Programm in Deutschland. *Vogelwelt* 121: 301-305.

- GARTHE S & HÜPPPOP O 2004: Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *J. Appl. Ecol.* 41: 724-734.
- GARTHE S 2003: Verbreitung, Bestand und Jahresdynamik der Mantelmöwe *Larus marinus* in der Deutschen Bucht, Nordsee. *Corax* 19, Sonderheft 2: 43-50.
- GARTHE S, FLORE B-O, HÄLTERLEIN B, HÜPPPOP O, KUBETZKI U & SÜDBECK P 2000: Brutbestandsentwicklung der Möwen (Laridae) an der deutschen Nordseeküste in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. *Vogelwelt* 121: 1-13.
- GARTHE S, KUBETZKI U, HÜPPPOP O & FREYER T 1999: Zur Ernährungsökologie von Herings-, Silber- und Sturmmöwe (*Larus fuscus*, *L. argentatus* und *L. canus*) auf der Nordseeinsel Amrum während der Brutzeit. *Seevögel* 20: 52-58.
- GARTHE S, MARKONES N, HÜPPPOP O & ADLER S 2009: Effects of hydrographic and meteorological factors on seasonal seabird abundance in the southern North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 391: 243-255.
- GARTHE S, SONNTAG N, SCHWEMMER P & DIERSCHKE V 2007: Estimation of seabird numbers in the German North Sea throughout the annual cycle and their biogeographic importance. *Vogelwelt* 128: 163-178.
- GASTON KJ, BENNIE J, DAVIES TW & HOPKINS J 2013: The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biol. Rev.* 88: 912-927.
- GAUTHREAUX SA JR. 1991: The flight behavior of migrating birds in changing wind fields: radar and visual analyses. *Am. Zool.* 31: 187-204.
- GAUTHREAUX SA, BELSER CG & VAN BLARICOM D 2003: Using a network of WSR-88D weather surveillance radars to define patterns of bird migration at large spatial scales. In: BERTHOLD P, GWINNER E & SONNENSCHEIN E (eds.): *Avian Migration*. Springer-Verlag, Berlin.
- GAUTHREAUX SA & BELSER CG 2006: Effects of artificial night lighting on migrating birds. In RICH C & LONGCORE T (eds): *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press, Washington, Covelo, London: 67-93.
- GAUTHREAUX SA, BELSER CG & WELCH CM 2006: Atmospheric trajectories and spring migration across the Gulf of Mexico. *J. Ornithol.* 147: 317-325.
- GEHRING J, KERLINGER P & MANVILLE AM 2009: Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecol. Appl.* 19.
- GELPKE C, KÖNIG C & STÜBING S 2013: Märzwinter 2013: bemerkenswerter Zugstau und Vögel in Not. *Falke* 60: 180-185.
- GILL RE, PIERSMA T, HUFFORD G, SERVRANCKX R & RIEGEN A 2005: Crossing the ultimate ecological barrier: evidence for an 11,000-km-long nonstop flight from Alaska to New Zealand and eastern Australia by Bar-tailed Godwits. *Condor* 107: 1-20.
- GILL RE, TIBBITTS TL, DOUGLAS DC, HANDEL CM, MULCAHY DM, GOTTSCHALCK JC, WARNOCK N, MCCAFFERY BJ, BATTLEY PF & PIERSMA T 2009: Extreme endurance flights by landbirds crossing the Pacific Ocean: ecological corridor rather than barrier? *Proc. R. Soc. B* 276: 447-457.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM UN & BAUER KM (Hrsg.) 1966-1997: *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. 14 Bände. Aula-Verlag, Wiesbaden.

- GRABER RR & COCHRAN WW 1960: Evaluation of an aural record of nocturnal migration. Wilson Bull. 72: 253-273.
- GREEN M, ALERSTAM T, GUÐMUNDSSON GA, HEDENSTRÖM A & PIERSMA T 2004: Do arctic waders use adaptive wind drift? J. Avian Biol 35: 305-315.
- GRUBER S & NEHLS G 2003: Charakterisierung des offshore Vogelzuges vor Sylt mittels schiffsgestützter Radaruntersuchungen. Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 35: 151-156.
- GWINNER E & WILTSCHKO W 1978: Endogenously controlled changes in migratory direction of the garden warbler, *Sylvia borin*. J. Comp. Phys. 125: 267-273.
- HALLGRIMSSON GT, GUNNARSSON HV, TORFASON O, BUIJS R-J & CAMPHUYSEN KCJ 2012: Migration pattern of Icelandic Lesser Black-backed Gulls *Larus fuscus graellsii*: indications of a leap-frog system. J. Ornithol. 153: 603-609.
- HANSEN L 1954: Birds killed at lights in Denmark 1886-1939. Videnskabelige Medd. 116: 269-368.
- HARRIS KP 1980: Fall of birds in fog. Sea Swallow 29: 47.
- HEDENSTRÖM A & ALERSTAM T 1992: Climbing performance of migrating birds as a basis for estimating limits for fuel-carrying capacity and muscle work. J. Exp. Biol. 164: 19-38
- HEDENSTRÖM A & ALERSTAM T 1997: Optimum fuel loads in migratory birds: distinguishing between time and energy minimization. J. Theoretic. Biol. 189: 227-234.
- HELBIG AJ 1991: SE migrating and SW migrating Blackcap (*Sylvia atricapilla*) populations in Central Europe: orientation of birds in the contact zone. J. Evol. Biol. 4: 657-670.
- HELBIG AJ, BERTHOLD P & WILTSCHKO W 1989: Migratory orientation of Blackcaps (*Sylvia atricapilla*): population-specific shifts in direction during the autumn. Ethology 82: 307-315.
- HILL K, REBKE M, WEINER C, BOOS K, FREIENSTEIN S, AUMÜLLER R & HILL R 2014a: Entwicklung und Erprobung einer Beleuchtung für Offshore-Windparks und andere Bauwerke mit geringer Attraktionswirkung auf ziehende Vögel – AVILUX. Lichtversuche in Maasholm Herbst 2010 - 2013, Abschlussbericht (Förderkennzeichen 0325189A/B beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie). Avitec Research GbR, Osterholz-Scharmbeck.
- HILL R, AUMÜLLER R, FREIENSTEIN S, BOOS K & HILL K 2013: Betriebsphasen Monitoring am Offshore-Testfeld 'Alpha ventus' Arbeitspaket 3 „Zugvögel“. Fachgutachten.
- HILL R, AUMÜLLER R, REBKE M & HILL K 2014b: Offshore-Windpark 'Borkum Riffgrund 1'StUK-Monitoring des Jahres 2013 – Zugvögel. Fachgutachten im Auftrag von DONG-Energy, 176 Seiten
- HILL R, HILL K, AUMÜLLER R, BOOS K & FREIENSTEIN S 2011: Messungen zur Vogelzugforschung auf der Forschungsplattform FINO 3 vor dem Hintergrund der geplanten Offshore-Windenergie-Nutzung. Zwischenbericht zum Vorhaben „FINO 3 – Betrieb der Plattform“, Förderkennzeichen 0327533A beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des FuE-Zentrums der FH Kiel GmbH. Avitec Research GbR, Osterholz-Scharmbeck.
- HILL R, HILL K, AUMÜLLER R, BOOS K & FREIENSTEIN S 2014c: Testfeldforschung zum Vogelzug am Offshore-Pilotpark *alpha ventus* und Auswertung der kontinuierlich auf FINO 1 erhobenen Daten zum Vogelzug der Jahre 2008 bis 2012. Schlussbericht zum

Projekt Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben *alpha ventus* zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH (StUKplus).

HILL R, HILL K, AUMÜLLER R, SCHULZ A, DITTMANN T, KULEMEYER C & COPPACK T 2014d: Of birds, blades and barriers: Detecting and analysing mass migration events at *alpha ventus*. In: BSH & BMU. Ecological Research at the Offshore Windfarm *alpha ventus* - Challenges, Results and Perspectives. Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH), Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Springer Spektrum. 180 pp.

HILL R & HÜPPPOP O 2008: Birds and bats: automatic recording of flight calls and their value for the study of migration. In: FROMMOLT K-H, BARDELI R & CLAUSEN M (eds.): Computational bioacoustics for assessing biodiversity. Proceedings of the international expert meeting on IT-based detection of bioacoustical patterns, December 7th until December 10th, 2007 at the International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm, Germany: 135-141. <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript234>. (letzter Zugriff 30.3.2012).

HÖTKER H, THOMSEN K-M & KÖSTER H 2004: Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. Michael-Otto-Institut im NABU.

HÜPPPOP K, DIERSCHKE J, DIERSCHKE V, HILL R, JACHMANN K F & HÜPPPOP O 2010: Phänologie des „sichtbaren“ Vogelzugs über der Deutschen Bucht. Vogelwarte 48: 181-267.

HÜPPPOP K, DIERSCHKE J, HILL R & HÜPPPOP O 2012a: Jahres- und tageszeitliche Phänologie der Vogelrufaktivität über der Deutschen Bucht. Vogelwarte 50: 87-108.

HÜPPPOP K & HÜPPPOP O 2004: Atlas zur Vogelberingung auf Helgoland Teil 2: Phänologie im Fanggarten von 1961-2000. Vogelwarte 42: 285-343.

HÜPPPOP K & HÜPPPOP O 2007: Atlas zur Vogelberingung auf Helgoland Teil 4: Fangzahlen im Fanggarten von 1960 bis 2004 – An atlas of bird ringing at the island Helgoland. Part 4: Trapping numbers in the trapping garden from 1960 to 2004. Vogelwarte 45: 145-207.

HÜPPPOP O, BAUER H-G, HAUPT H, RYSLAVY T, SÜDBECK P & WAHL J 2013: Rote Liste wandernder Vogelarten Deutschlands, 1. Fassung, 31.12.2012. Ber. Vogelschutz 49/50: 23-83.

HÜPPPOP O, DIERSCHKE J, EXO K-M, FREDRICH E & HILL R 2005a: AP1 Auswirkungen auf den Vogelzug. In: OREJAS C, JOSCHKO T, SCHRÖDER A, DIERSCHKE J, EXO K-M, FREDRICH E, HILL R, HÜPPPOP 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.

HÜPPPOP O, DIERSCHKE J, EXO K-M, FREDRICH E & HILL R 2006: Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. Ibis 148: 90-109.

HÜPPPOP O, DIERSCHKE J & WENDELN H 2005b: Zugvögel und Offshore-Windkraftanlagen: Konflikte und Lösungen. Ber. Vogelschutz 41: 127-218.

HÜPPPOP O, EXO K-M & GARTHE S 2002: Empfehlungen für projektbezogene Untersuchungen möglicher bau- und betriebsbedingter Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf Vögel. Ber. Vogelschutz 39: 77-94.

HÜPPPOP O & HILGERLOH G 2012: Flight call rates of migrating thrushes: effects of wind conditions, humidity and time of day at an illuminated offshore-platform. J Avian Biol 43: 85-90.

HÜPPPOP O, HILL R, HÜPPPOP K & JACHMANN F 2009a: Auswirkungen auf den Vogelzug - Begleitforschung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nordsee. Abschlussbericht zum Vorhaben FINOBIRD, Förderkennzeichen 0329983 beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Institut für Vogelforschung, Inselstation Helgoland.

HÜPPPOP O, HILL R, HÜPPPOP K & JACHMANN F 2009b: Sichtbarer Vogelzug über der südöstlichen Nordsee. II) Vorhersagemodelle für den Gänsezug bei Helgoland. Vogelwarte 45: 334-335.

HÜPPPOP O & HÜPPPOP K 2003: North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci. 270: 233-240.

HÜPPPOP O & HÜPPPOP K 2011: Bird migration on Helgoland: the yield from 100 years of research. J. Ornithol. 152: 25–40.

HÜPPPOP O, HÜPPPOP K, DIERSCHKE J & HILL R 2012b: Vom Winde verweht: Vogelschlag an Offshore-Bauwerken. Vogelwarte 50: 238-239.

HÜPPPOP O, HÜPPPOP K, DIERSCHKE J & HILL R in press: Bird collisions at an offshore platform in the North Sea. Bird Study. DOI: 10.1080/00063657.2015.1134440.

HÜPPPOP O & WINKEL W 2006: Climate change and timing of spring migration in the long-distance migrant *Ficedula hypoleuca* in Central Europe: the role of spatially different temperature changes along migration routes. J. Ornithol. 147: 344-353.

HOPE JONES P 1980: The effects on birds of a North Sea gas flare. Brit. Birds 73: 547-555.

JACOBS J 1974: Quantitative measurement of food selection. Oecologia 14: 413-417.

JAMMALAMADAKA S RAO & SENGUPTA A 2001: Topics in Circular Statistics, Section 1.3, World Scientific Press, Singapore.

JELLMANN J 1979: Flughöhen ziehender Vögel in Nordwestdeutschland nach Radarmessungen. Vogelwarte 30: 118-134.

JENNI L & SCHÄUB M 2003: Behavioral and physiological reactions to environmental variation in bird migration: a review. In: BERTHOLD P, GWINNER E & SONNENSCHEIN E (eds.): Avian migration, pp. 155-171. Springer, Berlin, Germany.

JONES J & FRANCIS CM 2003: The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses. J. Avian Biol. 34: 328- 333.

KAHLERT J, LEITO A, LAUBEK B, LUIGUJÖE L, KURESOO A, AAEN K & LUUD A 2012: Factors affecting the flight altitude of migrating waterbirds in Western Estonia. Ornis Fennica 89: 1-13.

KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R, COLLINS W, DEAVEN D, GANDIN L, IREDELL M, SAHA S, WHITE G, WOOLLEN J, ZHU Y, LEETMAA A, REYNOLDS R, CHELLIAH M, EBISUZAKI W, HIGGINS W, JANOWIAK J, MO K C, ROPELEWSKI C, WANG J, JENNE R & JOSEPH D 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull. Am. Meteor. Soc. 77: 437-471.

KERCKHOF F, NORRO A, JACQUES T & DEGRAER S 2009: Early colonisation of a concrete offshore windmill foundation by marine biofouling on the Thornton Bank (southern North

- Sea), in: DEGRAER S et al. 2009: Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: State of the art after two years of environmental monitoring.
- KERLINGER P 1989: Flight strategies of migrating hawks. University of Chicago Press, Chicago.
- KERLINGER P, GEHRING JL, ERICKSON WP, CURRY R, JAIN A & GUARNACCIA J 2010. Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. Wilson J. Ornithol. 122: 744-754.
- KESTENHOLZ M, KORNER-NIEVERGELT F, BAADER E, FISCHER L, KORNER-NIEVERGELT P & SCHAFFNER W 2009: Phänologie und Wetterabhängigkeit des Herbstzuges der Ringeltaube *Columba palumbus* auf der Ulmethöchi im Jura: Massenzugtage nach Zugstaulagen. Ornithol. Beob. 106: 193-207.
- KLAASSEN M, BEEKMAN JH, KONTIOKORPI J, MULDER RJW & NOLET BA 2004: Migrating swans profit from favourable changes in wind conditions at low altitude. J. Ornithol. 145: 142-151.
- KLAASSEN RHG, BRUNO JE, SHAMOUN-BARANES J, EXO K-M & BAIRLEIN F 2011: Migration strategy of a flight generalist, the Lesser Black-backed Gull *Larus fuscus*. Behav. Ecol. 23: 58-68.
- KRIJGSVELD KL, FIJN RC, HEUNKS C, VAN HORSSEN PW, DE FOUE 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: 10.01.2011).
- KRÜGER T, LUDWIG J, PFÜTZKE S & ZANG H 2014: Atlas der Brutvögel in Niedersachsen und Bremen 2005-2008. Nat.schutz Landschaftspfl. Niedersachs. H. 48, 552 S.
- KUBETZKI U & GARTHE S 2003: Distribution, diet and habitat selection by four sympatrically breeding gull species in the southeastern North Sea. Mar. Biol. 143: 199-207.
- KULLBERG C, FRANSSON T & JAKOBSSON S 1996: Impaired predator invasion in fat blackcaps (*Sylvia atricapilla*). Proc. R. Soc. London B 263: 1671-1675.
- LACK D 1960: The influence of weather on passerine migration. A review. Auk 77: 171-209.
- LACK D 1963: Migration across the southern North Sea studied by radar. Part 4. Autumn. Ibis 105: 1-54.
- LARKIN RO & FRASE BA 1988: Circular paths of birds flying near a broadcasting tower in cloud. J. Comp. Psychol. 102: 90-93.
- LEOPOLD MF, DIJKMAN E & TEAL LR 2011: Local birds in and around the Offshore Wind farm Egmond aan Zee (OWEZ) (T-0 & T-1, 2002-2010). IMARES Wageningen UR.
- LIECHTI F, KLAASSEN M & BRUDERER B 2000: Predicting migratory flight altitudes by physiological migration models. Auk 117: 205-214.
- LIECHTI F 2006: Birds: Blowin' by the wind? J. Ornithol. 147: 202-211.

- LIECHTI F & SCHMALJOHANN H 2007: Wind-governed flight altitudes of nocturnal spring migrants over the Sahara. *Ostrich* 78: 337–341.
- LINDEBOOM HJ, KOUWENHOVEN HJ, BERGMAN MJN, BOUMA S, BRASSEUR S, DAAN R, FIJN RC, DE HAAN D, DIRKSEN S, VAN HAL R, HILLE RIS LAMBERS R, TER HOFSTEDE R, KRIJGSVELD KL, LEOPOLD M & SCHEIDAT M 2011: Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation. *Environ. Res. Lett.* 6, 1-13.
- LONGCORE T, RICH C & GAUTHREAUX SA 2008: Height, guy wires, and steady-burning lights increase hazard of communication towers to nocturnal migrants: a review and meta-analysis. *Auk* 125: 485-492
- LOSS SR, WILL T & MARA PM 2012: Direct human-caused mortality of birds: improving quantification of magnitude and assessment of population impact. *Front. Ecol. Environ.* 10: 357-364.
- LUGERT J 1988: Beobachtungen zur Nahrungsökologie der Dreizehenmöwe (*Rissa tridactyla* L.) auf Helgoland. *Seevögel* 9, Sonderbd.: 73-76.
- LUNN D, SPIEGELHALTER D, THOMAS A & BEST N 2009: The BUGS project: Evolution, critique and future directions. *Stat. Med.* 28: 3049-3067.
- MAGGINI I & BAIRLEIN F 2012: Innate Sex Differences in the Timing of Spring Migration in a Songbird. *PLoS ONE* 7(2): e31271. doi: 10.1371/journal.pone.0031271
- MARCHETTI C & BALDACCHINI NE 2003: Individual variability in experiments with Emlen funnels. In: BERTHOLD P, GWINNER E & SONNENSCHEIN E (eds.): Avian migration. pp. 393-405. Springer, Berlin, Heidelberg.
- MARKONES N, GARTHE S, DIERSCHKE V & ADLER S 2008: Small-scale temporal variability of seabird distribution patterns in the south-eastern North Sea. In: WOLLNY-GOERKE K & ESKILDSEN K (eds.): Marine mammals and seabirds in front of offshorewind energy: 115-140. Teubner Verlag, Wiesbaden.
- MARTIN GR 1990: Birds by night. T & AD Poyser, London.
- MARTIN GR 2011: Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153: 239-254.
- MAUMARY L, VALLOTTON K & KNAUS P 2007: Die Vögel der Schweiz. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- MAY R, REITAN O, BEVANGER K, LORENTSEN S-H & NYGÅRD T 2015: Mitigating wind-turbine induced avian mortality: sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 42: 170-181.
- MENDEL B & GARTHE S 2010: Strategien bei der Nahrungssuche: Mit Hightech auf der Spur der Helgoländer Heringsmöwen. *Falke* 57: 402-408.
- MENDEL B, SONNTAG N, WAHL J, SCHWEMMER P, DRIES H, GUSE N, MÜLLER S & GARTHE S 2008: Artensteckbriefe von See- und Wasservögeln der deutschen Nord- und Ostsee - Verbreitung, Ökologie und Empfindlichkeit gegenüber Eingriffen in ihren marinen Lebensraum. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* Heft 59. Bundesamt für Naturschutz, Bonn, Bad Godesberg.
- MENZEL A, SPARKS TH, ESTRELLA N, KOCH E, AASA A, AHAS R, ALM-KÜBLER K, BISSOLLI P, BRASLAVSKA O, BRIEDE A, CHMIELEWSKI FM, CREPINSEK Z, CURNEL Y, DAHL Å, DEFILA C, DONNELLY A, FILELLA Y, JATCZAK K, MAGE F, MESTRE A, NORDLI O, PEÑUELAS J, PIRINEN

- P, REMIŠOVÁ V, SCHEIFINGER H, STRIZ M, SUSNIK A, VAN FLIET AJH, WIELGOLASKI F-E, ZACH S & ZUST A 2006: European phenological response to climate change matching the warming pattern. *Glob. Chang. Biol.* 12: 1969-1976.
- MEYBURG B-U, HOWEY PW, MEYBURG C, & FIUCZYNKI K-D 2011: Two complete migration cycles of an adult Hobby tracked by satellite. *British Birds* 104: 2-15.
- MOURITSEN H 1998: Redstarts, *Phoenicurus phoenicurus*, can orient in a true-zero magnetic field. *Anim. Behav.* 55: 1311-1324.
- MUHEIM R & JENNI L 1999: Nocturnal orientation in robins, *Erithacus rubecula*: Birds caught during migration flight are disorientated. *Acta ethologica* 2: 43-50.
- MÜLLER HH 1981: Vogelschlag in einer starken Zugnacht auf der Off-shore-Forschungsplattform "Nordsee" im Oktober 1979. *Seevögel* 2: 33-37.
- NEWTON I 2008: The migration ecology of birds. Academic Press, London.
- NEWTON I 2010: Bird migration. Harper Collins Publishers, London.
- NILSSON AK, ALERSTAM T & NILSSON JA 2006: Do partial and regular migrants differ in their responses to weather? *Auk* 123: 537-547.
- NISBET ICT, MCNAIR DB, POST W & WILLIAMS TC 1995: Transoceanic migration of the blackpoll warbler: summary of scientific evidence and response to criticisms by Murray. *J. Field Ornithol.* 66: 612-622.
- OREJAS C, JOSCHKO T, SCHRÖDER A, DIERSCHKE J, EXO M, FREDRICH E, HILL R, HÜPPPOP O, POLLEHNE F, ZETTLER M L & BOCHERT R 2005: Ökologische Begleitforschung zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nord- und Ostsee (BeoFINO) - Endbericht Juni 2005, Bremerhaven: 7-160.
- PFEIFER G 2003: Die Vögel der Insel Sylt. Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum.
- PETERSEN IK, CHRISTENSEN TK, KAHLERT J, DESHOLM M & FOX AD 2006: Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev, Denmark: Report request. Commissioned by DONG Energy and Vattenfall A/S. National Environmental Research Institute.
- PLONCKIER P & SIMMS IC 2012: Radar monitoring of migrating pink-footed geese: behavioural responses to offshore wind farm development. *J. Appl. Ecol.* 49: 1187-1194.
- POLUSCYNKI J 1979: Some observations of breeding Kittiwakes (*Rissa tridactyla*) on Helgoland. *Abh. Geb. Vogelkd.* 6: 113-120.
- POOT H, ENS BJ, DE VRIES H, DONNERS MAH, WERNAND MR & MARQUENIE JM 2008: Green light for nocturnally migrating birds. *Ecol. Soc.* 13: 47.
- PRÜTER J 1983: Bestandsentwicklung und Durchzug der Heringsmöwe (*Larus fuscus*) in der Deutschen Bucht. *Seevögel* 4: 29-35.
- R CORE TEAM 2014: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- R CORE TEAM 2015: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RICHARDSON WJ 1978: Timing and amount of bird migration in relation to weather: a review. *Oikos* 30: 224-270.

- RICHARDSON WJ 1990: Wind and orientation in of migrating birds: a review. *Cell. Mol. Life Sci.* 46: 416-425.
- RICHARDSON WJ 2000: Bird migration and wind turbines: Migration timing, flight behavior and collision risk. Proceedings of the 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.
- RILEY JR 1985: Radar cross section of insects. *Proceedings of the IEEE* 73 (2): 228-232.
- SAGE B 1979: Flare up over North Sea birds. *New Scientist* 82: 464-466.
- SCHMALJOHANN H & DIERSCHKE V 2005: Optimal bird migration and predation risk: a field experiment with northern wheatears *Oenanthe oenanthe*. *J. Anim. Ecol.* 74: 131-138.
- SCHMALJOHANN H, BRUDERER B & LIECHTI F 2008a: Sustained bird flights occur at temperatures far beyond expected limits. *Anim. Behav.* 76: 1133-1138.
- SCHMALJOHANN H, LIECHTI F, BÄCHLER E, STEURI T & BRUDERER B 2008b: Quantification of bird migration by radar – a detection probability problem. *Ibis* 150: 342-355.
- SCHMALJOHANN H & DIERSCHKE V 2010: Wann und in welche Richtung ziehe ich ab? Rastplatzökologische Untersuchungen an Steinschmätzern auf Helgoland. In: BAIRLEIN F & BECKER PH (eds.): 100 Jahre Institut für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“. Pp. 101-109. Aula-Verlag, Wiebelsheim.
- SCHMALJOHANN H & NAEF-DAENZER B 2011: Body condition and wind support initiate the shift of migratory direction and timing of nocturnal departure in a songbird. *J. Anim. Ecol.* 80: 1115-1122.
- SCHMALJOHANN H, BECKER PJJ, KARAARDIC H, LIECHTI F, NAEF-DAENZER B & GRANDE C 2011: Nocturnal exploratory flights, departure time and direction in a migratory songbird. *J. Ornithol.* 152: 439-452.
- SCHMALJOHANN H, FOX JW & BAIRLEIN F 2012: Phenotypic response to environmental cues, orientation and migration costs in songbirds flying halfway around the world. *Anim. Behav.* 84: 623-640.
- SCHMALJOHANN H, LIECHTI F & BRUDERER B 2009: Trans-Saharan migrants select flight altitudes to minimize energy costs rather than water loss. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 63: 1609-1619.
- SCHUCHARDT B, BACHMANN F, BILDSTEIN T, DAU K & GÜNTHER CP 2008: Basisaufnahme Offshore Windpark alpha ventus - Fachgutachten Makrozoobenthos und Fische (Arbeitspaket 1). BIOCONSULT Schuchardt & Scholle GbR im Auftrag der Stiftung Offshore Windenergie, Varel.
- SCHULZ A, DITTMANN T & COPPACK T 2014: Erfassung von Ausweichbewegungen von Zugvögeln mittels Pencil Beam Radar und Erfassung von Vogekollisionen mit Hilfe des Systems VARS Schlussbericht zum Projekt Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben „alpha ventus“ zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH (StUKplus).
- SCHWEMMER P & GARTHE S 2005: At-sea distribution and behaviour of a surface-feeding seabird, the lesser black-backed gull *Larus fuscus*, and its association with different prey. *Mar. Ecol. Pr. Ser.* 285: 245-258.
- SCHWEMMER P & GARTHE S 2011: Evaluierung der Habitatnutzung zweier wertbestimmender Vogelarten im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer als Basis für

Schutzkonzepte. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der Niedersächsischen Wattenmeerstiftung, Kiel.

SHAMOUN-BARANES J & VAN GASTEREN H 2011: Atmospheric conditions facilitate mass migration events across the North Sea. *Anim. Behav.* 81: 691-704.

SHAMOUN-BARANES J, BOUTEN W, CAMPHUYSEN C J & BAAIJ E 2011: Riding the tide: intriguing observations of gulls resting at sea during breeding. *Ibis* 153: 411–415.

SHAMOUN-BARANES J, LEYRER J, VAN LOON E, BOCHER P, ROBIN F, MEUNIER F & PIERSMA T 2010: Stochastic atmospheric assistance and the use of emergency staging sites by migrants. *Proc. R. Soc. B* 277: 1505-1511.

SHAMOUN-BARANES J, VAN LOON E, ALON D, ALPERT P, YOM-TOV Y & LESHEM Y 2006: Is there a connection between weather at departure sites, onset of migration and timing of soaring-bird autumn migration in Israel? *Glob. Ecol. Biogeogr.* 15: 541-552.

SKAUG H, FOURNIER D, BOLKER B, MAGNUSSON A & NIELSEN A 2014: Generalized linear mixed models using AD Model Builder. R package version 0.8.0.

SKOLNIK, MI 1970: Radar Handbook. McGraw-Hill, New York.

SOKOLOV LV & GORDIENKO NS 2008: Has recent climate warming affected the dates of bird arrival to the Il'men Reserve in the Southern Ural? *Russ. J. Ecol.* 39: 56-62.

SOVON 2002: Atlas van de Nederlandse Broedvogels 1998-2000. Nederlandse Fauna 5. Leiden (KNNV Uitgeverij).

STOUFFER PC & DWYER GM 2003: Sex-biased winter distribution and timing of migration of Hermit Thrushes (*Catharus guttatus*) in eastern North America. *Auk* 120: 836-847.

STEWART GB, PULLIN AS & COLES CF 2007: Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environ. Conserv.* 34: 1-11.

STODDARD PK, MARSDEN JE & WILLIAMS TC 1983: Computer simulation of autumnal bird migration over the Western North Atlantic. *Anim. Behav.* 31: 173-180.

STURTZ S, LIGGES U & GELMAN A 2005: R2WinBUGS: A package for running WinBUGS from R. *J. Stat. Softw.* 12: 1-16.

STUTCHBURY BJM, TAROF SA, DONE T, GOW E, KRAMER PM, TAUTIN J, FOX JW & AFANASYEV V 2009: Tracking long-distance songbird migration by using geolocators. *Science* 323: 896.

SÜDBECK P, BAUER H-G, BOSCHERT M, BOYE P & KNIEF W [Nationales Gremium Rote Liste Vögel] 2007: Rote Liste der Brutvögel Deutschlands – 4. Fassung, 30. November 2007. *Ber. Vogelschutz* 44: 23-81.

TAYLOR PD, BRZUSTOWSKI JM, MATKOVICH C, PECKFORD ML & WILSON D 2010: radR: an open-source platform for acquiring and analyzing data on biological targets observed by surveillance radar. *BMC Ecology* 10: 22. <http://www.biomedcentral.com/1472-6785/10/22>.

THORUP K & RABØL J 2001: The orientation system and migration pattern of long-distance migrants: conflict between model predictions and observed patterns. *J. Avian Biol.* 32: 111-119.

TØTTRUP AP, KLAASSEN RHG, KRISTENSEN MW, STRANDBERG R, VARDANIS Y, LINDSTROM A, RAHBEK C, ALERSTAM T & THORUP K 2012: Drought in Africa Caused Delayed Arrival of European Songbirds. *Science* 338: 1307.

- VAN BELLE J, SHAMOUN-BARANES J, VAN LOON E & BOUTEN W 2007: An operational model predicting autumn migration intensities for flight safety. *J. Appl. Ecol.* 44: 864-874.
- VAN DER GRAAF SAJ, STAHL J, KLIMKOVSKA A, BAKKER JP & DRENT RH 2006: Surfing on a green wave: how plant growth drives spring migration in the Barnacle Goose *Branta leucopsis*. *Ardea* 94: 567-577.
- VAN DEURS M, HARTVIG M & STEFFENSEN JF 2011: Critical threshold size for overwintering sandeels (*Ammodytes marinus*). *Mar. Biol.* 158: 2755-2764.
- VANERMEN N, STIENEN EW, COURTENS W, ONKELINX T, VAN DE WALLE M & VESTRAETE H 2013: Bird monitoring at offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Assessing seabird displacement effects.
- VAUGHAN R 2009: Wings and rings. A history of bird migration studies in Europe. Isabelline Books, Penryn, Cornwall.
- WEIß F, KOSAREW V, BLEW J & NEHLS G 2012: Offshore-Windpark „DanTysk“, Fachgutachten Zugvögel, 3. Untersuchungsjahr der Basisaufnahme (März bis November 2011). BioConsult SH im Auftrag von der DanTysk Offshore Wind GmbH.
- WELCKER J, KOSAREV V, DITTMANN T, BLEW J, PIPER W & NEHLS G 2015: Offshore-Windpark DanTysk und Sandbank 24 Fachgutachten Zugvögel Bauphase (Februar 2013 bis Oktober 2014). Gutachten im Auftrag der DanTysk Offshore Wind GmbH.
- WIKELSKI M, TARLOW EM, RAIM A, DIEHL RH, LARKIN RP & VISSER GH 2003: Costs of migration in free-flying songbirds. *Nature* 423: 704.
- WILHELMSSON D, MALM T, ÖHMAN MC 2006: The influence of offshore windpower on demersal fish. *ICES J. Mar. Sci* 63: 775-784.
- WILLIAMS TC & WILLIAMS JM 1990: The orientation of transoceanic migrants. In: GWINNER E (ed.): *Bird migration: Physiology and Ecophysiology*, pp. 7-21. Springer, Berlin, Heidelberg.
- WOOD SN 2000: Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *J. R. Stat. Soc. (B)* 62: 413-428.
- ZUUR AF, SAVALIEV AA & LENO EN 2012: Zero inflated models and generalized linear mixed models with R. Highland Statistics Ltd: UK.

Anhang

Dreizehenmöwen-Phänologie der Einzeljahre (Videoerfassung)

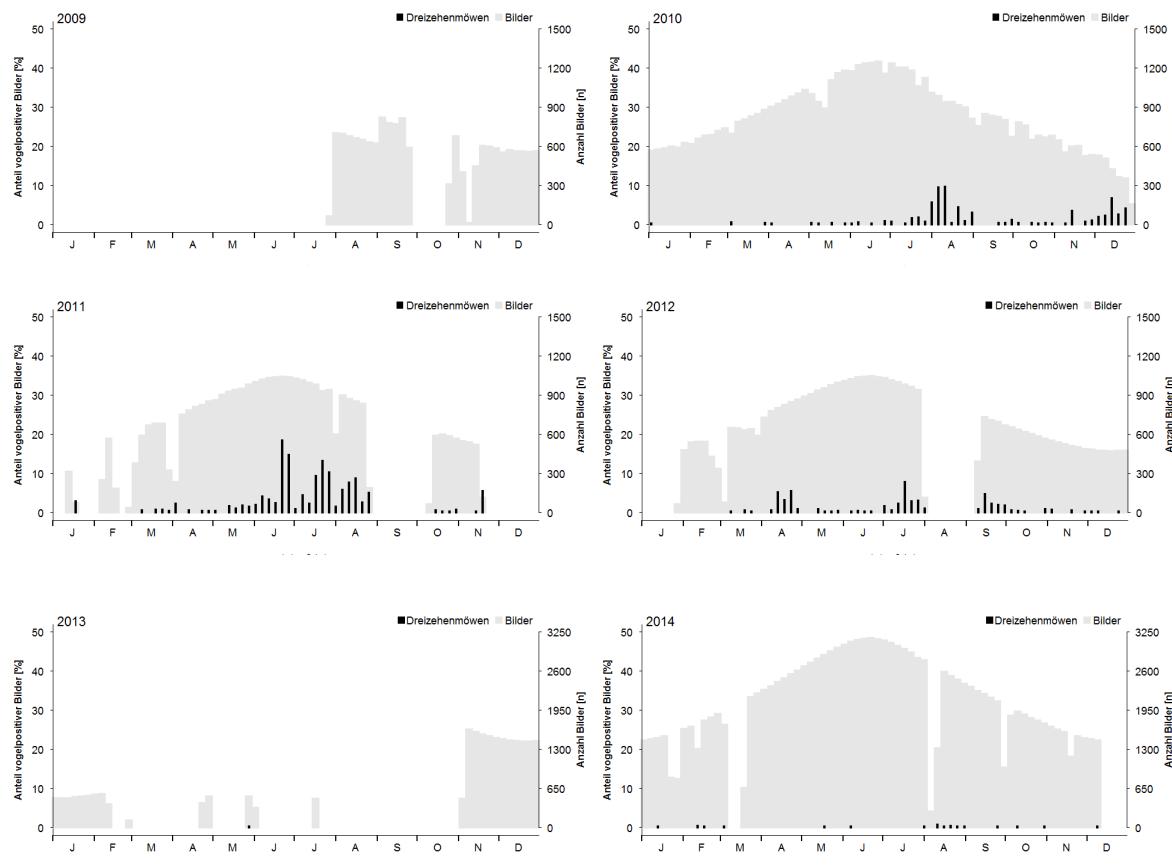


Abbildung 146: Anteile Dreizehenmöwen positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 je Pentade und Untersuchungsjahr. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert je Jahr (rechte Ordinate). Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).

Großmöwen-Phänologie der Einzeljahre (Videoerfassung)

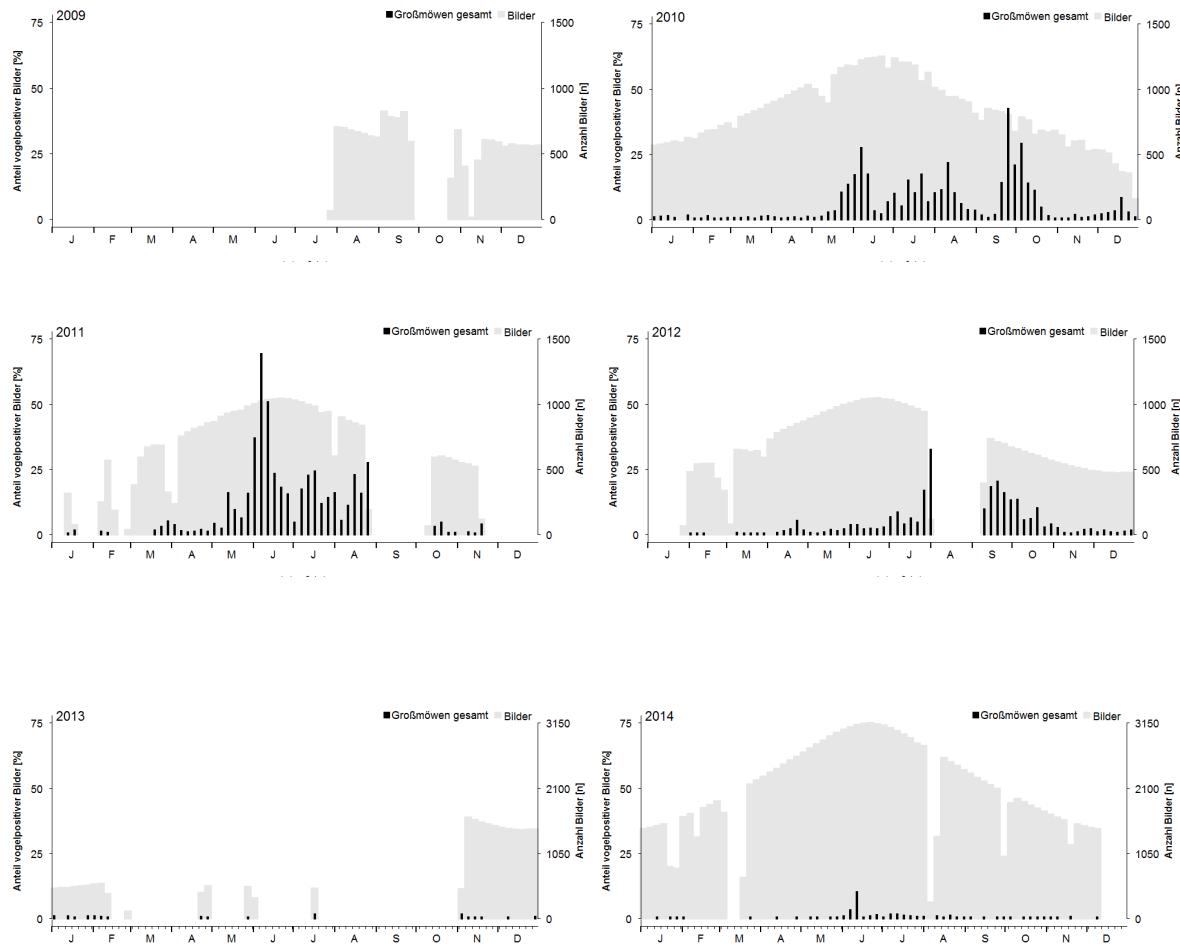


Abbildung 147: Anteile Großmöwen positiver Videobilder vom 28.07.2009-31.12.2014 auf FINO 3 je Pentade und Untersuchungsjahr. Zusätzlich angegeben ist der Erfassungsaufwand (Anzahl Bilder) für alle Pentaden summiert je Jahr (rechte Ordinate). Beachte unterschiedliche Skalierung der rechten Ordinaten, wie er sich aus unterschiedlichen Erfassungszeiträumen und Bildfrequenzen ergibt (s. Kap. 2.3).

Tabelle 10: Zeitliche Lage des Schwerpunkt vorkommens von 185 alljährlich auf Helgoland registrierter Arten.

Art	Alter und Geschlecht	Schwerpunkt vorkommen	Art	Alter und Geschlecht	Schwerpunkt vorkommen	Art	Alter und Geschlecht	Schwerpunkt vorkommen
Alpenstrandläufer	alt	2. Julihälfte	Goldregenpfeifer	alt	1. Augusthälfte	Ortolan		1. Septemberhälfte
Alpenstrandläufer	jung	2. Septemberhälfte	Goldregenpfeifer	jung	2. Septemberhälfte	Pfeifente		2. Oktoberhälfte
Amsel		2. Oktoberhälfte	Graugans		2. Oktoberhälfte	Pfuhlschnepfe	alt	2. Julihälfte
Bachstelze		1. Septemberhälfte	Graureiher		2. Septemberhälfte	Pfuhlschnepfe	jung	2. Augusthälfte
Bartmeise		2. Oktoberhälfte	Grauschnäpper		1. Septemberhälfte	Prachtaucher		2. Oktoberhälfte
Basstölpel		2. Septemberhälfte	Großer Brachvogel	alt	2. Junihälfte	Raubwürger		1. Septemberhälfte
Baumfalke		1. Septemberhälfte	Großer Brachvogel	junge und Männchen	2. Augusthälfte	Rauchschwalbe		2. Septemberhälfte
Baumpieper		1. Septemberhälfte	Grünfink		1. Oktoberhälfte	Raufußbussrad		1. Novemberhälfte
Bekassine		1. Oktoberhälfte	Grünlaubsänger		2. Augusthälfte	Regenbrachvogel		1. Augusthälfte
Bergente		2. Oktoberhälfte	Grünschenkel		1. Augusthälfte	Reiherente		2. Septemberhälfte
Bergfink		1. Septemberhälfte	Habicht		2. Oktoberhälfte	Ringdrossel		1. Oktoberhälfte
Berghänfling		2. Oktoberhälfte	Haubentaucher		1. Oktoberhälfte	Ringeltaube		1. Oktoberhälfte
Beutelmeise		2. Septemberhälfte	Hausrotschwanz		2. Oktoberhälfte	Rohrammer		1. Oktoberhälfte
Birkenzeisig		1. Novemberhälfte	Heckenbraunelle		1. Oktoberhälfte	Rohrweihe		1. Septemberhälfte
Blaukehlchen		1. Septemberhälfte	Heidelerche		2. Oktoberhälfte	Rosenstar		2. Septemberhälfte
Blaumeise		1. Oktoberhälfte	Heringsmöwe		1. Augusthälfte	Rotdrossel		1. Oktoberhälfte
Bleßgans		1. Novemberhälfte	Höckerschwan		1. Oktoberhälfte	Rothalstaucher		2. Oktoberhälfte
Bleßhuhn		2. Septemberhälfte	Hohltaube		1. Oktoberhälfte	Rotkehlchen		2. Septemberhälfte
Brachpieper		1. Septemberhälfte	Kampläufer		1. Septemberhälfte	Rotkehlpieper		2. Septemberhälfte
Brandseeschwalbe		1. Augusthälfte	Kernbeißer		1. Oktoberhälfte	Rotschenkel		2. Augusthälfte
Braunkehlchen		2. Augusthälfte	Kiebitz		1. Oktoberhälfte	Saatgans		1. Novemberhälfte
Bruchwasserläufer		1. Augusthälfte	Kiebitzregenpfeifer	alt	2. Augusthälfte	Saakrähe		2. Oktoberhälfte
Buchfink		1. Oktoberhälfte	Kiebitzregenpfeifer	jung	2. Septemberhälfte	Säbelschnäbler		2. Augusthälfte
Buntspecht		1. Oktoberhälfte	Klappergrasmücke		2. Septemberhälfte	Samtente		2. Novemberhälfte
Dohle		1. Oktoberhälfte	Knutt	alt	1. Augusthälfte	Sanderling	alt	1. Augusthälfte
Dorngrasmücke		1. Septemberhälfte	Knutt	jung	1. Septemberhälfte	Sanderling	jung	1. Septemberhälfte
Dreizehenmöwe		2. Oktoberhälfte	Kormoran		1. Oktoberhälfte	Schellente		1. Novemberhälfte
Dunkler Wasserläufer		2. Augusthälfte	Kornweihe		2. Oktoberhälfte	Schilflohrsänger		2. Augusthälfte
Eisente		2. Oktoberhälfte	Krähenscharbe		1. Oktoberhälfte	Schmarotzerraubmöwe		1. Septemberhälfte
Eistaucher		1. Novemberhälfte	Krickente		1. Septemberhälfte	Schnatterente		1. Oktoberhälfte
Erlenzeisig		1. Oktoberhälfte	Kuckuck		1. Augusthälfte	Schneeammer		1. Novemberhälfte
Falkenraubmöwe		1. Septemberhälfte	Kurzschnabelgans		1. Oktoberhälfte	Schwalbenmöwe		1. Oktoberhälfte
Feldlerche		2. Augusthälfte	Küstenseeschwalbe		1. Augusthälfte	Schwanzenmeise		2. Oktoberhälfte
Feldschwirl		1. Septemberhälfte	Lachmöwe	alt	2. Oktoberhälfte	Schwarzkehlchen		1. Oktoberhälfte
Feldsperling		2. Oktoberhälfte	Lachmöwe	jung	1. Augusthälfte	Schwarzkopfmöwe		1. Septemberhälfte
Fischadler		1. Septemberhälfte	Löffelente		2. Septemberhälfte	Seiden schwanz		1. Novemberhälfte
Fitis		2. Augusthälfte	Mantelmöwe		2. Oktoberhälfte	Sichelsträndläufer	alt	1. Novemberhälfte
Flusseeschwalbe		2. Augusthälfte	Mauersegler		2. Julihälfte	Sichelsträndläufer	jung	2. Julihälfte
Flussumerlauber		2. Augusthälfte	Mäusebussard		2. Oktoberhälfte	Singdrossel		1. Septemberhälfte
Gänsesäger		2. Novemberhälfte	Mehl schwalbe		1. Septemberhälfte	Singschwan		2. Septemberhälfte
Gartengrasmücke		2. Augusthälfte	Merlin		1. Oktoberhälfte	Skua		1. Novemberhälfte
Gartenrotschwanz		1. Septemberhälfte	Misteldrossel		2. Oktoberhälfte	Sommergoldhähnchen		1. Oktoberhälfte
Gebirgsstelze		1. Oktoberhälfte	Mittelmeeermöwe		2. Oktoberhälfte	Spatelraubmöwe		1. Septemberhälfte
Gelbbrauen-Laubsänger		1. Oktoberhälfte	Mittelsäger		2. Oktoberhälfte	Sperber		1. Oktoberhälfte
Gelbspötter		2. Augusthälfte	Mönchsg rasmücke		1. Oktoberhälfte	Sperbergrasmücke		1. Septemberhälfte
Gimpel		2. Oktoberhälfte	Nachtigall		2. Augusthälfte	Spießente		1. Oktoberhälfte
Girlitz		2. Oktoberhälfte	Neuntöter		1. Septemberhälfte	Spornhammer		1. Oktoberhälfte
Goldammer		2. Oktoberhälfte	Ohr enlerche		2. Oktoberhälfte	Spornpieper		1. Oktoberhälfte
Goldhähnchen-Laubsänger		2. Oktoberhälfte	Ohrentaucher		1. Oktoberhälfte			1. Oktoberhälfte

Fortsetzung von **Tabelle 10**

Art	Alter und Geschlecht	Schwerpunktvorkommen
Sprosser		2. Augusthälfte
Star		2. Oktoberhälfte
Steinschmätzer		1. Septemberhälfte
Steppenmöwe		2. Oktoberhälfte
Sterntaucher		2. Novemberhälfte
Stieglitz		2. Oktoberhälfte
Strandpieper		1. Oktoberhälfte
Sturmmöwe	alt	2. Julihälfte
Sturmmöwe	jung	1. Septemberhälfte
Sumpfohreule		1. Oktoberhälfte
Sumpfrohrsänger		2. Augusthälfte
Tafelente		1. Novemberhälfte
Tannenmeise		1. Oktoberhälfte
Teichrohrsänger		2. Augusthälfte
Thorshühnchen		1. Oktoberhälfte
Thunbergstelze		1. Septemberhälfte
Trauerbachstelze		1. Oktoberhälfte
Trauerente		2. Oktoberhälfte
Trauerschnäpper		2. Augusthälfte
Trauerseeschwalbe		2. Augusthälfte
Turmfalke		2. Septemberhälfte
Turteltaube		2. Septemberhälfte
Uferschwalbe		1. Septemberhälfte
Wacholderdrossel		2. Oktoberhälfte
Wachtel		2. Septemberhälfte
Waldbauläufer		1. Oktoberhälfte
Waldlaubsänger		2. Augusthälfte
Waldoahreule		2. Oktoberhälfte
Waldschneepfe		2. Oktoberhälfte
Waldwasserläufer		1. Augusthälfte
Wanderfalke		1. Oktoberhälfte
Weißwangengans		2. Oktoberhälfte
Wendehals		1. Septemberhälfte
Wespenbussard		1. Septemberhälfte
Wiesenpieper		1. Oktoberhälfte
Wiesenschafstelze		1. Septemberhälfte
Wintergoldhähnchen		1. Septemberhälfte
Zaunkönig		1. Septemberhälfte
Zilpzalp		1. Oktoberhälfte
Zwergammer		1. Oktoberhälfte
Zwergmöwe		2. Oktoberhälfte
Zwergschnäpper		1. Oktoberhälfte
Zwergschneepfe		1. Oktoberhälfte
Zwergschwan		2. Oktoberhälfte
Zwergseeschwalbe		2. Augusthälfte
Zwergstrandläufer		1. Septemberhälfte
Zwergtaucher		2. Oktoberhälfte