

Sensitivität von Seevögeln gegenüber Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee im Hinblick auf Lebensraumverluste durch Meidung¹

Volker Dierschke, Kai Borkenhagen, Leonie Enners, Stefan Garthe, Moritz Mercker, Verena Peschko, Henriette Schwemmer & Nele Markones

Dierschke, V., K. Borkenhagen, L. Enners, S. Garthe, M. Mercker, V. Peschko, H. Schwemmer & N. Markones 2024: Sensitivity of seabirds to offshore wind farms in the German North Sea with respect to functional habitat loss due to avoidance. *Vogelwelt* 142: 59–74.

In addition to fishing and shipping, which have long been practised at sea, the use of wind energy has been added in this century as a further large-scale source of disturbance for seabirds. It has been shown that seabird species react differently to offshore wind farms (OWFs). Based on observations and measurements of avoidance behaviour (reduction in bird density, effect radius) and estimates of the intensity of resulting costs at individual and population level, the sensitivity to OWFs was determined for 20 seabird species regularly living in the German North Sea using an index (Species Sensitivity Index, SSI). An area-specific sensitivity (Area Sensitivity Index, ASI) is derived for each spatial unit in the German North Sea (here 1 km x 1 km grid squares) by linking sensitivity with bird density and aggregating the resulting values across species. Separate aggregations for three functional species groups show different areas of particularly high sensitivity to OWFs, which for surface feeders (e.g. gulls, terns) and water-column feeders (e.g. divers, alcids, gannets) are in the offshore area, whereas those for benthic feeders (seaducks) are in coastal areas of the German North Sea. The sensitivity map for the common seabird community (20 species) emphasises a particularly high sensitivity of the coastal waters of the German North Sea and the sea area around the offshore island Helgoland. In addition, there are two areas in the Exclusive Economic Zone (EEZ) that are particularly sensitive to offshore wind farms: an area west of the island of Sylt, which is important as a spring staging area for divers (protected as a Special Protection Area and nature reserve) and an area in the north of the EEZ where many common guillemots, northern gannets and northern fulmars can be found at certain times of the year. The latter area has no legal protection and is earmarked for large-scale expansion of wind energy utilisation according to the current site development plan. The sensitivity maps presented here are an important basis for updating marine spatial planning. They identify areas in which certain activities (in this case wind energy development) are problematic from a nature conservation perspective and thus provide a prerequisite for nature-friendly utilisation of the seas.

Key words: Seabirds, offshore wind farms, functional habitat loss, sensitivity mapping, North Sea.

1. Einleitung

Der Ausbau erneuerbarer Energien wird weltweit als Maßnahme zur Verlangsamung des menschengemachten Klimawandels gefördert. Die Nutzung der Windenergie auf dem Meer durch Offshore-Windparks (OWP) spielt dabei in verschiedenen Gebieten der Erde eine wichtige Rolle. Bau und Betrieb der OWP stellen jedoch massive Eingriffe in die Meeresumwelt dar, von veränderten hydrographischen Bedingungen (CHRISTIANSEN *et al.* 2022) über Veränderungen der Produktivität der Ökosysteme (DAEWEL *et al.* 2022) bis hin zu Einflüssen auf die Makrofauna (PERROW 2019). Seevögel sind zwar gravierend von negativen Auswirkungen des Klimawandels betroffen (DIAS *et*

al. 2019, HAKKINEN *et al.* 2022, DAVIES *et al.* 2023), aber auch Belastungen durch die den Klimawandel verlangsamen OWP ausgesetzt. Bei Konfrontation mit OWP können sie Verluste von Individuen und Lebensraum erleiden, indem sie mit Windenergieanlagen (WEA) kollidieren oder von diesen gestört werden und dadurch Meeresgebiete mit OWP meiden (DREWITT & LANGSTON 2006, KING 2019, VANERMEN & STIENEN 2019).

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren ist für OWP zu untersuchen, ob das beantragte Projekt die Meeresumwelt (einschließlich der Seevögel) gefährdet. Für die erforderlichen Umweltverträglichkeitsprüfungen

¹ Gewidmet Dr. Ommo Hüppop (18.2.1956–26.3.2024), dem Pionier von Seevögelerfassungen in der deutschen Nordsee

wird u. a. das quantitative Vorkommen von Seevogelarten untersucht und hinsichtlich der zu erwartenden Effekte eingeordnet. Für die übergreifende Planung, welche Teile des deutschen Meeresgebietes für einen naturschonenden Ausbau der Windenergienutzung geeignet sind (z. B. in der marinen Raumordnung), gilt es darüber hinaus empfindliche und weniger empfindliche Gebiete zu identifizieren. In der Anfangsphase der Windenergienutzung auf See war allerdings wenig über die artspezifischen Reaktionen von Seevögeln auf OWP bekannt (ICES 2002). Daher wurden Kenntnisse nicht nur zur Verbreitung der Seevogelarten, sondern auch zu ihrem Meideverhalten, ihrem Kollisionsrisiko sowie der daraus resultierenden Sensitivität gegenüber OWP benötigt. Um diese Wissenslücken zu überwinden, entwickelten GARTHE & HÜPPOP (2004) mit Hilfe vorliegender Daten zum Seevogelvorkommen in der deutschen Nordsee und einer über verschiedene Parameter (u. a. Fluchtverhalten, Flexibilität bei der Habitatwahl, Gefährdung) hergeleiteten Empfindlichkeit der Seevögel einen Index, der sowohl die Meidung von OWP als auch das Kollisionsrisiko an Windenergieanlagen (WEA) für die einzelnen Arten widerspiegelt (Species Sensitivity Index, SSI). Die Summierung der Sensitivitäten der einzelnen Arten (gewichtet nach ihren Häufigkeiten) je Flächeneinheit erlaubte es schließlich, in einer Karte die empfindlichen und weniger empfindlichen Gebiete zu erkennen (GARTHE & HÜPPOP 2004). Der SSI wurde später verschiedentlich modifiziert, in der Regel unter separater Betrachtung von Lebensraumverlust und Kollision (FURNESS *et al.* 2013, BRADBURY *et al.* 2014, HUMPHREYS *et al.* 2015).

Während über das Ausmaß von Kollisionen von Seevögeln an Offshore-WEA wegen der schwierigen und aufwändigen Messungen weiterhin wenig bekannt ist (KING 2019, TJØRNLOV *et al.* 2023), gibt es basierend auf Beobachtungen und Telemetriestudien inzwischen für viele Seevogelarten Erkenntnisse über deren Reaktion auf vorhandene WEA bzw. OWP (DIERSCHKE *et al.* 2016, THAXTER *et al.* 2018, HEINÄNEN *et al.* 2020, PESCHKO *et al.* 2020b, 2021, 2024, GARTHE *et al.* 2023). Vor dem Hintergrund eines geplanten großflächigen Ausbaus der Windenergienutzung in der deutschen Nordsee (70 GW Leistung bis 2045, Windenergie-auf-See-Gesetz, zuletzt geändert am 22.3.2023) erlauben diese Erkenntnisse durch Kombination mit flächendeckend vorhandenen Daten aus dem Seevogelmonitoring (BORKENHAGEN *et al.* 2023) eine räumlich hoch aufgelöste Betrachtung der Sensitivität von Seevögeln. In anderen Ländern sind Sensitivitätskarten mittlerweile ein wichtiges Werkzeug für die Planung von menschlichen Aktivitäten auf See, wie z. B. OWP (BRADBURY *et al.* 2014, KAZAMA & WATNUKI 2021, VANERMEN *et al.* 2022, FAUCHALD *et al.* 2024).

Um Sensitivitätskarten als Grundlage für die aktuellen Windkraftplanungen bereitstellen zu können, wurde die Herleitung der Sensitivitätsindizes auf Basis

neuester Erkenntnisse angepasst und die Parameter mit dem neuesten Stand der Forschung zum Vorkommen von Seevögeln sowie zu den Effekten von OWP aktualisiert. Im Ergebnis wird hier eine überarbeitete Version des Sensitivitätsindex von GARTHE & HÜPPOP (2004) für die regelmäßig in der deutschen Nordsee lebenden Seevogelarten vorgestellt. Abweichend werden hier nur Sensitivitäten betrachtet, die sich aus der Meidung von Meeresgebieten und somit dem Verlust von Teilen des Lebensraumes ergeben, während Sensitivitäten im Hinblick auf Individuenverluste durch Kollisionen hier nicht berücksichtigt und künftig separat betrachtet werden. Die Meidung von OWP ergibt sich nach aktuellem Kenntnisstand überwiegend aus der Wirkkette von visuellen Störungen durch die WEA und den Serviceverkehr von Schiffen im OWP. Der neue Sensitivitätsindex kann sich auf Daten aus allen Teilen der deutschen Nordsee (Küstengewässer und AWZ) und eine darauf basierende Modellierung des Seevogelvorkommens in hoher räumlicher Auflösung stützen. Er liefert eine wichtige Basis für einen Ausbau der Windenergienutzung, welcher der Natur möglichst wenig schadet, und einen Beitrag für die künftige marine Raumordnung in der deutschen Nordsee.

2. Material und Methoden

2.1 Empfindlichkeitsfaktoren

Für die Darstellung der Sensitivität von Seevögeln gegenüber Offshore-Windparks wird das beobachtete Meideverhalten mit Parametern verknüpft, die die Kosten des Lebensraumverlusts auf Individuen- und Populationsebene widerspiegeln. Grundsätzlich wird dabei dem Ansatz von GARTHE & HÜPPOP (2004) gefolgt. Zunächst wird die artspezifische Sensitivität mit dem Species Sensitivity Index (SSI) ermittelt. In unserer neuen Version des SSI gehen sechs Parameter als Faktoren in die Berechnung ein: a) Meidung von OWP, b) Flexibilität bei der Habitatnutzung, c) Überlebensrate der Altvögel, d) Bestandsgröße in Deutschland, e) Gefährdungstatus in Deutschland und f) Verantwortlichkeit Europas. Sie sind jeweils fünfstufig skaliert, meist mit den Werten von 1 (sehr geringe Empfindlichkeit) bis 5 (sehr hohe Empfindlichkeit). Abweichend wird das beobachtete Meideverhalten mit Werten von 0 (keine Meidung) bis 4 (sehr starke Meidung) belegt, damit Arten, die OWP nicht meiden, aufgrund des Faktors 0 nicht in die Betrachtung der gebietspezifischen Sensitivität (s.u.) eingehen. Das Kollisionsrisiko wird als zusätzliche Wirkung von OWP in einer separaten Analyse an anderer Stelle thematisiert.

a) Meidung von OWP

Seit etwas mehr als 20 Jahren werden OWP in Nord- und Ostsee betrieben. Aufgrund des meist stattfindenden Betriebsmonitorings, vor allem aber durch gezielte wissenschaftliche Untersuchungen ist für viele Seevogelarten bekannt, wie sie sich gegenüber OWP verhalten (zusammengefasst von DIERSCHKE *et al.* 2016 und VANERMEN & STIENEN 2019). Für die o.g. Skalierung von 0 (keine Meidung) bis 4 (sehr starke Meidung) wurden soweit vorliegend quantitative Angaben

Tab. 1: Definition der fünf Meideklassen nach beobachtetem Verhalten an OWP. Gemäß dem Vorsorgeprinzip wird bei unterschiedlicher Einstufung von Effektradius und Dichtereduktion im OWP (samt 1 km Umkreis) die strengere Einstufung benutzt. – *Definition of five avoidance classes according to observed behaviour at OWP. In accordance with the precautionary principle, the more stringent categorisation is used if effect radius and density reduction in the OWP (including 1 km buffer zone) are classified differently.*

Meideklasse – <i>avoidance class</i>	Einstufung anhand von Messungen zur Dichtereduktion – <i>Classification based on measurements of density reduction</i>		Einstufung anhand von Literaturangaben – <i>Classification based on literature</i>
	Effektradius – <i>effect radius</i>	Dichtereduktion OWP + 1 km – <i>density reduc- tion OWP + 1 km</i>	Literaturübersicht (DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016, FUR- NESS <i>et al.</i> 2013) – <i>literature review (Dierschke et al. 2016, Furness et al. 2013)</i>
0 (keine Meidung – <i>no avoidance</i>)	–	–	Kein Meideverhalten beobachtet (auch Attraktion) – <i>no avoidance observed (including attraction)</i>
1 (indifferentes Verhalten – <i>indifferent behaviour</i>)	–	–	Uneinheitliches Verhalten, mindestens ein Beleg für schwache Meidung – <i>Indifferent behaviour, at least one reference for weak avoidance</i>
2 (deutliche Meidung – <i>clear avoidance</i>)	< 3 km	> 50 %	Meidung (ohne Daten zu Effektradius und Dichtereduktion) – <i>avoidance (without data on effect radius or density reduction)</i>
3 (starke Meidung – <i>strong avoidance</i>)	3–6 km	> 75 %	–
4 (sehr starke Meidung – <i>very strong avoidance</i>)	> 6 km	> 90 %	–

zur Reduktion der Individuendichte in verschiedenen Distanzen zum Windpark herangezogen. Zum einen wurde der Effektradius verwendet. Dieser entspricht der Entfernung zum Windpark, bis zu der die Individuendichte einschließlich des Konfidenzintervalls nach dem Bau des OWP niedriger ist als vor dem Bau (GARTHE *et al.* 2023). Zum anderen wurde die Reduktion der Individuendichte im OWP (inklusive 1 km Umkreis) im Vorher-Nachher-Vergleich betrachtet (vgl. PESCHKO *et al.* 2024). Lag keine Untersuchungsergebnisse aus der deutschen Nordsee vor, wurden entsprechende Ergebnisse aus Studien in anderen Ländern herangezogen. Fehlten derartige quantitative Angaben ganz, wurde auf eine Einstufung zurückgegriffen, die anhand von Untersuchungen an 20 OWP generiert wurde (Tab. 1; DIERSCHKE *et al.* 2016). In wenigen Fällen wurden Angaben zum Fluchtverhalten von FURNESS *et al.* (2013) verwendet. Bezüglich Effektradius und Dichtereduktion gilt gemäß dem Vorsorgeprinzip stets die strengere Einstufung.

b) Flexibilität bei der Habitatnutzung

Wenn eine Vogelart aus einem Gebiet verdrängt wurde, kann sie leichter Ersatz finden, wenn sie hinsichtlich der Habitatwahl flexibel ist. Dies ist jedoch schwerer, wenn sie auf bestimmte Habitatmerkmale wie z. B. Wassertiefe, Muschelbänke oder hydrografische Fronten angewiesen ist. Für das Individuum entstehen Kosten, wenn das Ausweichen erschwert wird, weil entfernter gelegene Gebiete oder ungünstigere Lebensräume aufgesucht werden müssen. Die Einstufung dieser Empfindlichkeit in Klassen von 1 (sehr hohe Flexibilität) bis 5 (sehr geringe Flexibilität, Tab. 4) folgt bei allen Arten derjenigen von GARTHE & HÜPPOP (2004).

c) Überlebensrate der Altvögel

Arten mit hoher Überlebensrate, niedriger Reproduktionsrate und hohem Alter beim Eintritt in den Brutbestand sind empfindlicher gegenüber Beeinträchtigungen durch zusätzliche Mortalität oder verringerte Reproduktion als Arten,

bei denen aus dem Bestand entfallene Individuen schneller wieder ersetzt werden können. Die mittlere jährliche Überlebensrate von Altvögeln wird hier als Parameter für die Empfindlichkeit auf Populationsebene genutzt. Es werden wie bei GARTHE & HÜPPOP (2004) die Klassen $\leq 0,75$ (Klasse 1), 0,751 bis 0,80 (Klasse 2), 0,801 bis 0,85 (Klasse 3), 0,851 bis 0,90 (Klasse 4) und $> 0,90$ (Klasse 5) unterschieden. Die für die verschiedenen Arten herangezogenen Angaben zur Überlebensrate sind in Tab. 2 aufgeführt. Diese Werte enthalten zwar schon auf unterschiedliche Ursachen zurückgehende anthropogene Mortalität, sind aber für die angestrebte Spreizung der dargestellten Empfindlichkeit ebenso geeignet wie die (in vielen Fällen ohnehin unbekannt) natürliche Mortalität.

d) Bestandsgröße in Deutschland

Kleine Bestände sind grundsätzlich als empfindlicher gegenüber Veränderungen und Störungen anzusehen als große, daher werden sie in diesem Faktor mit höheren Werten belegt. Da sich die vorliegende Betrachtung der Sensitivität auf die deutsche Nordsee bezieht, wird die deutsche Rastbestandsgröße (einschließlich der Ostsee und der Binnengewässer) zugrunde gelegt. Die Einstufung in sehr häufige (Klasse 1, Bestandsgröße > 1 Mio. Individuen), häufige (Klasse 2, 100.001 bis 1 Mio. Ind.), mäßig häufige (Klasse 3, 10.001 bis 100.000 Ind.), seltene (Klasse 4, 1.001 bis 10.000 Ind.) und sehr seltene Arten (Klasse 5, ≤ 1.000 Ind.) erfolgt nach den Häufigkeitsangaben von HÜPPOP *et al.* (2013). Arten mit geografischer Restriktion, d. h. Konzentration von 90 % der Individuen des deutschen Rastbestandes auf fünf oder weniger Gebiete in Deutschland (HÜPPOP *et al.* 2013), werden ebenfalls in Klasse 5 geführt.

e) Gefährdungsstatus in Deutschland

Arten mit einem hohen Gefährdungsstatus gelten als anfälliger für zusätzliche Belastungen. Der Grad der Gefährdung der in der deutschen Nordsee vorkommenden Seevogelarten wird aus der Roten Liste wandernder Vogelarten in Deutsch-

Tab. 2: Altvogel-Überlebensraten von im SSI berücksichtigten Seevogelarten. – *Annual adult survival rates of seabird species and respective classification of vulnerability for the SSI.*

Art – species	Altvogel-Überlebensrate – adult survival rate	Quelle – reference	Empfindlichkeits-klasse – vulnerability class
Eiderente – <i>Common Eider</i>	0,87	BIRD <i>et al.</i> 2020	4
Trauerente – <i>Common Scoter</i>	0,78	BIRD <i>et al.</i> 2020	2
Sterntaucher – <i>Red-throated Diver</i>	0,84	BIRD <i>et al.</i> 2020	3
Prachtttaucher – <i>Black-throated Diver</i>	0,89	BIRD <i>et al.</i> 2020	4
Eissturmvogel – <i>Northern Fulmar</i>	0,97	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Basstölpel – <i>Northern Gannet</i>	0,94	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Skua – <i>Great Skua</i>	0,91	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Papageitauer – <i>Atlantic Puffin</i>	0,91	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Tordalk – <i>Razorbill</i>	0,91	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Trottellumme – <i>Common Guillemot</i>	0,93	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Dreizehenmöwe – <i>Black-legged Kittiwake</i>	0,83	BIRD <i>et al.</i> 2020	3
Zwergmöwe – <i>Little Gull</i>	0,76	CRAMP & SIMMONS 1983	2
Lachmöwe – <i>Black-headed Gull</i>	0,86	BIRD <i>et al.</i> 2020	4
Sturmmöwe – <i>Common Gull</i>	0,90	BIRD <i>et al.</i> 2020	4
Mantelmöwe – <i>Great Black-backed Gull</i>	0,93	GLUTZ VON BLOTZHEIM & BAUER 1982	5
Silbermöwe – <i>Herring Gull</i>	0,89	BIRD <i>et al.</i> 2020	4
Heringsmöwe – <i>Lesser Black-backed Gull</i>	0,91	BIRD <i>et al.</i> 2020	5
Brandseeschwalbe – <i>Sandwich Tern</i>	0,92	COURTENS <i>et al.</i> 2022	5
Flusseeeschwalbe – <i>Common Tern</i>	0,89	BIRD <i>et al.</i> 2020	4
Küstenseeschwalbe – <i>Arctic Tern</i>	0,90	BIRD <i>et al.</i> 2020	4

land (HÜPPOP *et al.* 2013) übernommen. In Klasse 1 werden ungefährdete Arten, in Klasse 2 Arten auf der „Vorwarnliste“ eingeordnet. Arten, die „gefährdet“ sind, werden in Klasse 3 geführt. Die „stark gefährdeten“ oder „extrem seltenen“ Arten (mit geografischer Restriktion, d. h. Konzentration von 90 % der Individuen auf fünf oder weniger Gebiete, s.o.) folgen in Klasse 4 und die „vom Aussterben bedrohten“ Arten in Klasse 5.

f) Verantwortlichkeit Europas und damit auch Deutschlands

Dieses Kriterium setzt die im deutschen Meeresgebiet lebenden Seevögel in den Kontext ihrer internationalen Gefährdung und die Konzentration der Vorkommen auf Europa. Dafür wird die Klassifizierung der „Species of European Concern“ von BIRDLIFE INTERNATIONAL (2017) mit den dabei zugeordneten Einstufungen verwendet, die nicht nur die Gefährdung, sondern auch die globale Verbreitung der Arten und damit eine (auch auf Deutschland übertragbare) Verantwortlichkeit ausdrückt. In Klasse 1 werden Arten eingestuft, deren globale Population nicht auf Europa konzentriert und deren europäischer Bestand nicht gefährdet ist (Non-SPEC). Klasse 2 enthält Arten, deren globale Populationen zwar auf Europa konzentriert, die europäischen Bestände aber nicht gefährdet sind (SPEC^E, nach BIRDLIFE INTERNATIONAL 2004, da diese Kategorie zuletzt nicht mehr benutzt wurde). Bei Klasse 3 ist die globale Population nicht auf Europa konzentriert, aber die europäische Population entweder ausgestorben, vom Aussterben bedroht, stark gefährdet, gefährdet, nahezu gefährdet, abnehmend, dezimiert oder selten (SPEC3). Bei Klasse 4 ist die globale Population auf Europa konzentriert und der europäische

Bestand entweder ausgestorben, vom Aussterben bedroht, stark gefährdet, gefährdet, nahezu gefährdet, abnehmend, dezimiert oder selten (SPEC2). Schließlich wird eine Art, die global vom Aussterben bedroht, stark gefährdet, gefährdet oder nahezu gefährdet ist (SPEC1), in Klasse 5 eingeordnet.

2.2 Berechnung des artspezifischen Sensitivitätsindex

Für die Darstellung der Sensitivität einer Seevogelart werden die vorgenannten Parameter zu drei Faktorenkomplexen zusammengefasst, welche die Stärke der Meidung von OWP (a) sowie die Kosten des Lebensraumverlusts auf Individuenebene (b) und auf Populationsebene (c bis f) widerspiegeln. Dabei werden die Werte der Parameter c bis f gemittelt. Schließlich wird der Species Sensitivity Index folgendermaßen berechnet:

$$SSI = a \cdot b \cdot ((c + d + e + f) / 4)$$

Dieser Index dient nicht der Darstellung absoluter Werte von Sensitivitäten, sondern soll der Spreizung der Arten von relativ empfindlichen bis relativ unempfindlichen Arten dienen. Die eingehenden Parameter sind nicht unmittelbar miteinander vergleichbar, nach unserem Ermessen sind aber die Abstände der Stufen innerhalb der Parameter angemessen und orientieren sich an vorangegangenen Arbeiten (GARTHE & HÜPPOP 2004, FURNESS *et al.* 2013, BRADBURY *et al.* 2014, HUMPHREYS *et al.* 2015).

2.3 Seevogelverbreitung

Die Grundlage für die Analyse der Raumwirkung der Sensitivitäten bilden Verbreitungsmodelle der 20 folgenden,

regelmäßig in der Nordsee vorkommenden Seevogelarten: Eiderente *Somateria mollissima*, Trauerente *Melanitta nigra*, Dreizehenmöwe *Rissa tridactyla*, Lachmöwe *Chroicocephalus ridibundus*, Zwergmöwe *Hydrocoloeus minutus*, Sturm-
möwe *Larus canus*, Mantelmöwe *L. marinus*, Silbermöwe *L. argentatus*, Heringsmöwe *L. fuscus*, Brandseeschwalbe *Thalasseus sandvicensis*, Flusseeeschwalbe *Sterna hirundo*, Küstenseeschwalbe *S. paradisaea*, Skua *Stercorarius skua*,

Trottellumme *Uria aalge*, Tordalk *Alca torda*, Papageitaucher *Fratercula arctica*, Sterntaucher *Gavia stellata*, Prachtaucher *G. arctica*, Eissturmvogel *Fulmarus glacialis* und Basstöpel *Morus bassanus*. Die Modellierung erfolgte mit dem von MERCKER *et al.* (2021) entwickelten Ansatz und basiert auf den Daten schiffs- und flugzeugbasierter Seevogelzählungen (BORKENHAGEN *et al.* 2023) aus den Jahren 1990-2017 (zur räumlichen Verteilung des Erfassungsaufwandes s. Abb. 1).

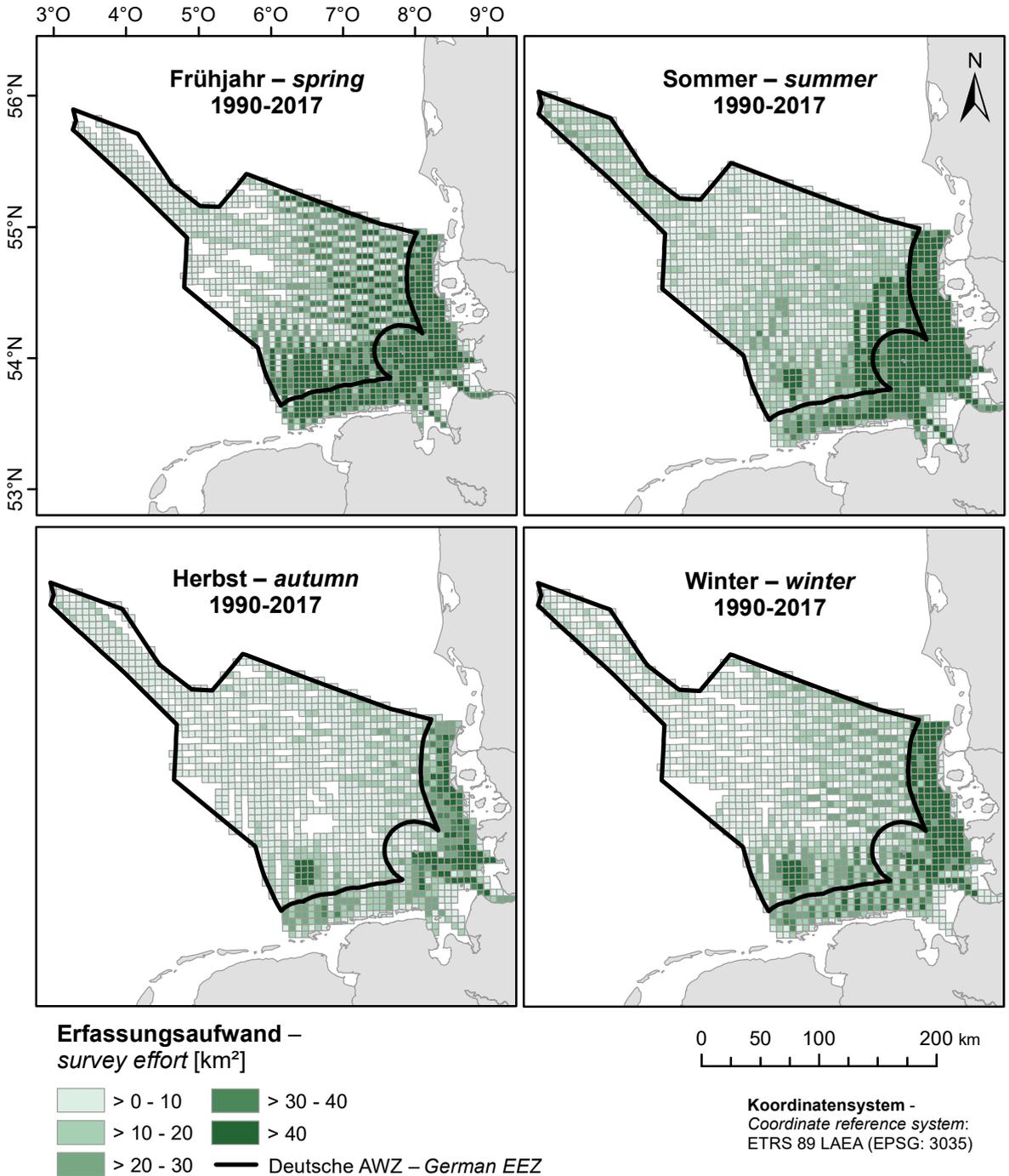


Abb. 1: Aufwand (erfasste Fläche) schiffs- und flugzeuggestützter Seevogelerfassungen in der deutschen Nordsee 1990–2017, unterteilt nach Jahreszeiten. – Effort (area surveyed) in ship-based and aerial seabird surveys in the German North Sea 1990–2017, shown for four seasons separately.

Bezugszeitraum für die Verbreitungsmodelle ist 2011-2016, da dies dem Bewertungszeitraum der letzten nationalen Bewertung nach Artikel 12 der EU-Vogelschutzrichtlinie entspricht (GERLACH *et al.* 2019).

Als erster Schritt der Modellierung (MERCKER *et al.* 2021) erfolgte eine Distanzkorrektur der Daten, um die bei den Erfassungen übersehenen Individuen zu kompensieren. Um die räumliche Autokorrelation der Daten zu berücksichtigen, wurden sie danach in einem Gitter mit variabler Kantenlänge zusammengefasst. Darauf aufbauend wurde die Verbreitung der einzelnen Arten für die artspezifischen Jahreszeiten (MARKONES *et al.* 2015) mit Hilfe generalisierter additiver Modelle (GAMs) ermittelt. Zusätzlich zu den Verbreitungsdaten flossen Daten zu den Beobachtungsbedingungen (Seastate) und weitere Parameter (Entfernung zur Küste, Wassertiefe) in die Modellierungen ein. Als Ergebnis erhält man für jede Art und für jede artspezifische Jahreszeit flächendeckende Verbreitungsmodelle (Individuen pro km²) mit einer Gitterfeldgröße von 1 km x 1 km.

2.4 Erstellung der Sensitivitätskarte

Auf Basis der modellierten Seevogelverbreitung und der artspezifischen SSI-Werte wurde die Sensitivitätskarte erstellt. Für jede Art und jedes Gitterfeld wurde der höchste der vier jahreszeitlichen Werte für die Individuendichte ausgewählt. Um zunächst aussagekräftige Verbreitungskarten für jede Art zu erhalten, wurde der Einfluss von Ausreißern innerhalb des Bereichs der Dichtewerte eingeschränkt. Zum einen wurde die maximale dargestellte Häufigkeitskategorie auf das 0,975-Quantil beschränkt, d. h. Werte größer als dieses Quantil wurden auf das 0,975-fache des Maximalwerts gesetzt. Da die vom Modell vorhergesagte Abundanz aufgrund ihres kontinuierlichen Charakters immer (zumindest geringfügig) über Null liegt, wurden zum anderen sehr geringe Abundanzwerte (kleiner als das 0,01-fache des Maximalwerts jeder Art) auf den Wert 0 zurückgesetzt,

um für jede Art und Jahreszeit Teilgebiete ohne Nutzung deutlich darzustellen.

Für die gemeinsame Darstellung aller Arten wurden alle Dichtewerte logarithmiert (dekadischer Logarithmus), um die Dominanz einiger weniger, besonders häufiger Arten zu verringern. Damit keine nicht definierten Werte auftreten, war es erforderlich, zu jedem Dichtewert den Betrag 1 zu addieren. Je Gitterfeld wurde schließlich der Area Sensitivity Index (ASI), d. h. die gebietsspezifische Sensitivität in Bezug auf Lebensraumverluste von Seevögeln durch OWP, durch Aufsummierung der Produkte aus artspezifischer Sensitivität (SSI) und logarithmierter Individuendichte (D) berechnet:

$$ASI = \sum_{\text{Arten}} (\log(D_{\text{Art}} + 1) \times SSI_{\text{Art}})$$

In einer Karte wurden schließlich die ASI-Werte für alle Gitterfelder der deutschen Nordsee (Ausschließliche Wirtschaftszone, AWZ, und Küstengewässer) dargestellt. Unberücksichtigt blieben lediglich Bereiche des Wattenmeeres, für die keine ausreichende Datenbasis vorlag.

Dieses Verfahren wurde zum einen auf die Gesamtheit der 20 hier behandelten Seevogelarten angewandt. Diese Arten haben unterschiedliche Rollen im Ökosystem. Um auch mögliche Auswirkungen auf die Nahrungsnetze erörtern zu können, wird die Analyse zum anderen separat für drei funktionelle Artengruppen durchgeführt, die aufgrund ihrer Ernährungsweise nach ICES (2016) zusammengestellt wurden:

- Arten, die an der Wasseroberfläche Nahrung suchen und dabei höchstens flach eintauchen (Oberflächenfresser): Dreizehen-, Lach-, Zwerg-, Sturm-, Mantel-, Silber- und Heringsmöwe, Brand-, Fluss- und Küstenseeschwalbe, Skua, Eissturmvogel.
- Arten, die in der Wassersäule Nahrung suchen (Wassersäulenfresser): Trottellumme, Tordalk, Papageitaucher, Stern- und Prachtttaucher, Basstölpel.
- Arten, die am Meeresboden Nahrung suchen (Benthosfresser): Eiderente, Trauerente.



Trottellumme mit Küken auf der offenen Nordsee – *Common Guillemot guarding chick in the open North Sea.*

Foto: K. BORKENHAGEN

3. Ergebnisse

3.1 Verbreitung der Seevögel

Die summierten logarithmierten Individuendichten der 20 hier betrachteten Arten zeigen für den Zeitraum 2011–2016 ein besonders starkes Vorkommen von Seevögeln im unmittelbar dem Wattenmeer vorgelagerten Küstenmeer sowie im Bereich der Insel Helgoland (Abb. 2). Diese aggregierten Werte sind in der AWZ meist deutlich kleiner, doch gibt es auch dort Bereiche mit relativ vielen Seevögeln westlich von Sylt, nördlich von Borkum und im Norden der AWZ. Die dargestellten Individuendichten enthalten noch keine artspezifischen Sensitivitäten gegenüber OWP, gleichwohl ist die hier dargestellte Verbreitung der Seevogelarten von menschlichen Aktivitäten wie Fischerei, Schifffahrt und zuletzt auch OWP beeinflusst.

3.2 Artspezifisches Meideverhalten an OWP

Aufgrund der Kriterien ‚Reduktion der Individuendichte im OWP (samt 1 km Umkreis)‘ und ‚Reichweite

der Dichtereduktion (Effektradius)‘ sind Sterntaucher, Prachtttaucher, Eissturmvogel, Dreizehenmöwe, Heringsmöwe und Trottellumme unter den 20 betrachteten Seevogelarten diejenigen mit der stärksten Meidung von OWP (Tab. 3). Fünf weitere Arten zeigen eine mindestens deutliche Meidung, während bei fünf Arten ein uneinheitliches Verhalten beobachtet wurde, d. h. Meidung wurde nicht an allen Orten festgestellt. Bei drei Möwenarten und der Skua gibt es auf Basis bisheriger Untersuchungen keine Anzeichen für die Meidung von OWP.

3.3 Artspezifische Sensitivität

Durch die Kombination des beobachteten Meideverhaltens mit den Kosten durch Lebensraumverluste auf Individuen- und Populationsebene in SSI ergeben sich sehr unterschiedliche Sensitivitäten der 20 regelmäßig in der deutschen Nordsee vorkommenden Seevogelarten gegenüber OWP (Tab. 4). Die höchste Sensitivität ist bei Stern- und Prachtttaucher festzustellen. Einen hohen Wert hat auch die Trottellumme,

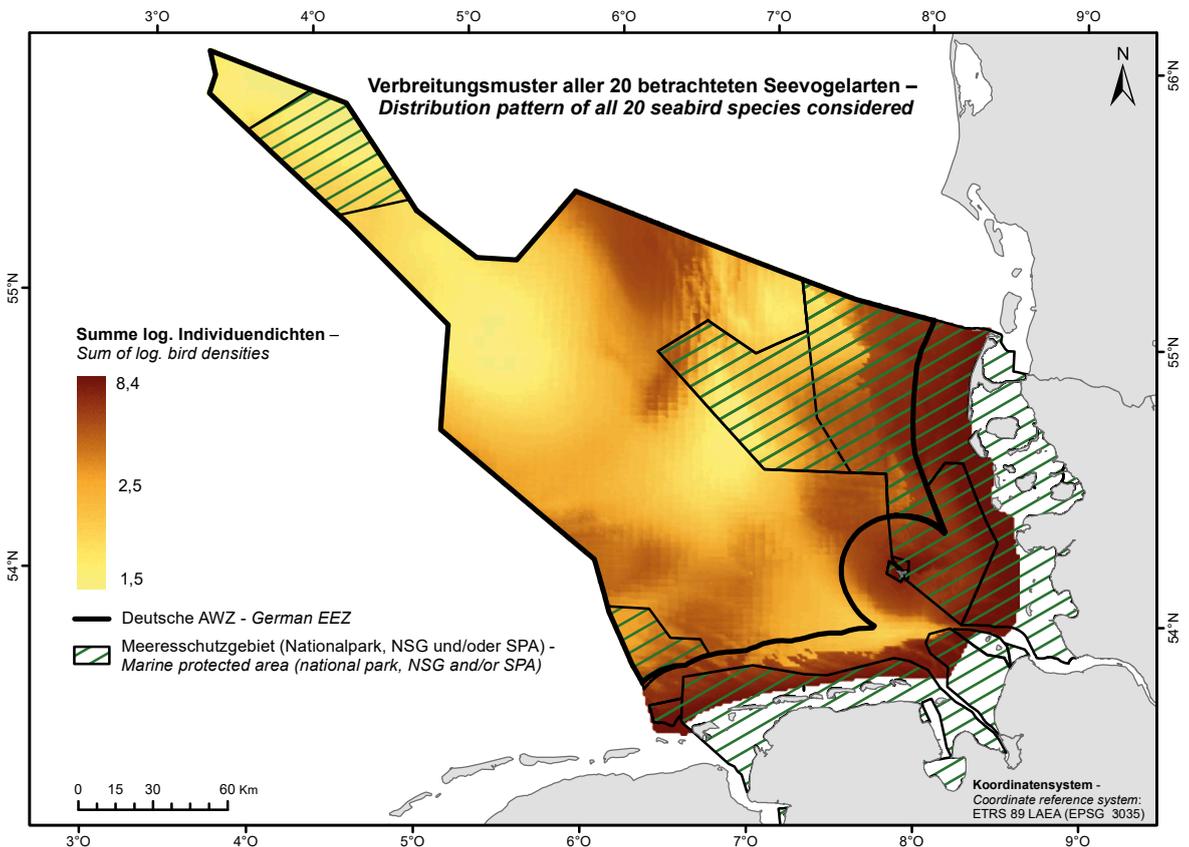


Abb. 2: Für die Jahre 2011–2016 modellierte Seevogelverbreitung in der deutschen Nordsee, dargestellt als aufsummierte logarithmierte Individuendichten von 20 Arten. Je Art und 1 x 1 km Gitterfeld wurde die höchste Individuendichte der vier Jahreszeiten berücksichtigt. Skalierung in Bezug auf die maximal auftretende, aufsummierte logarithmierte Individuendichte in einem Gitterfeld. Quelle: Biodiversitätsmonitoring FTZ/DDA/BfN. – *Modelled seabird distribution in the German North Sea for the years 2011–2016, shown as the summed up logarithmic bird densities of 20 species. The highest bird density of the four seasons was taken for each species and 1 x 1 km grid square. Source: biodiversity monitoring of FTZ/DDA/BfN.*

mit etwas Abstand folgen Tordalk, Zwergmöwe und Dreizehenmöwe. Der niedrigste SSI-Wert (0) steht bei denjenigen Arten zu Buche, die OWP nicht meiden (Lach-, Sturm- und Silbermöwe sowie Skua).

3.4 Gebietsspezifische Sensitivität

Die zum Area Sensitivity Index (ASI) über alle Arten aufsummierten Produkte aus SSI und logarithmierter Individuendichte weisen mehrere Teilbereiche der deutschen Nordsee als besonders sensitiv gegenüber OWP aus (Abb. 3). Neben der unmittelbaren Umgebung Helgolands ist dies ein schmaler Streifen entlang der gesamten Küste, der sich westlich von Nordfriesland jedoch sehr viel weiter seewärts erstreckt. In diesem offshore gelegenen Teilbereich werden hohe ASI-Werte vor allem durch das starke Vorkommen der besonders sensitiven Seetaucher hervorgerufen. Ein großes Gebiet mit hoher Sensitivität befindet sich auch küstenfern im Norden der AWZ, für das u. a. ein großes herbstliches Vorkommen von Trottellummen charakteristisch ist, welches saisonal auch

intensiv durch Eissturmvögel, Dreizehenmöwen und Basstöpel genutzt wird. Relativ geringe Sensitivitäten sind zwischen Helgoland und der niedersächsischen Küste, im zentralen Bereich der AWZ sowie im Bereich des „Entenschnabels“, dem deutschen Anteil an der Doggerbank, zu erkennen. Die hohe Sensitivität nahe der Küste ist darauf zurückzuführen, dass sich dort sehr viele Individuen der Trauerente (mittlere Sensitivität) aufhalten, ergänzt durch viele Vögel weniger empfindlicher Arten wie Lachmöwe, Fluss- und Küstenseeschwalbe. Die räumliche Verteilung der aggregierten Sensitivität (ASI, Abb. 3a) entspricht grob der räumlichen Verteilung der aufsummierten logarithmierten Individuendichten (Abb. 2). Dies verdeutlicht, dass dort, wo viele Seevögel zu finden sind, stets auch empfindliche Arten vorkommen.

In Bezug auf die Sensitivität gegenüber OWP zeigen die drei funktionellen Artengruppen unterschiedliche Verteilungsmuster. Bei Oberflächenfressern ist eine relativ hohe Sensitivität nahe der Küste und in etwa 20 km Umkreis um Helgoland auszumachen. Als recht

Tab. 3: Seevogelarten in der deutschen Nordsee und zugewiesene Meideklasse gegenüber OWP sowie dazugehörige Begründung. – *Seabird species in the German North Sea and assigned avoidance class to offshore wind farms including justification.*

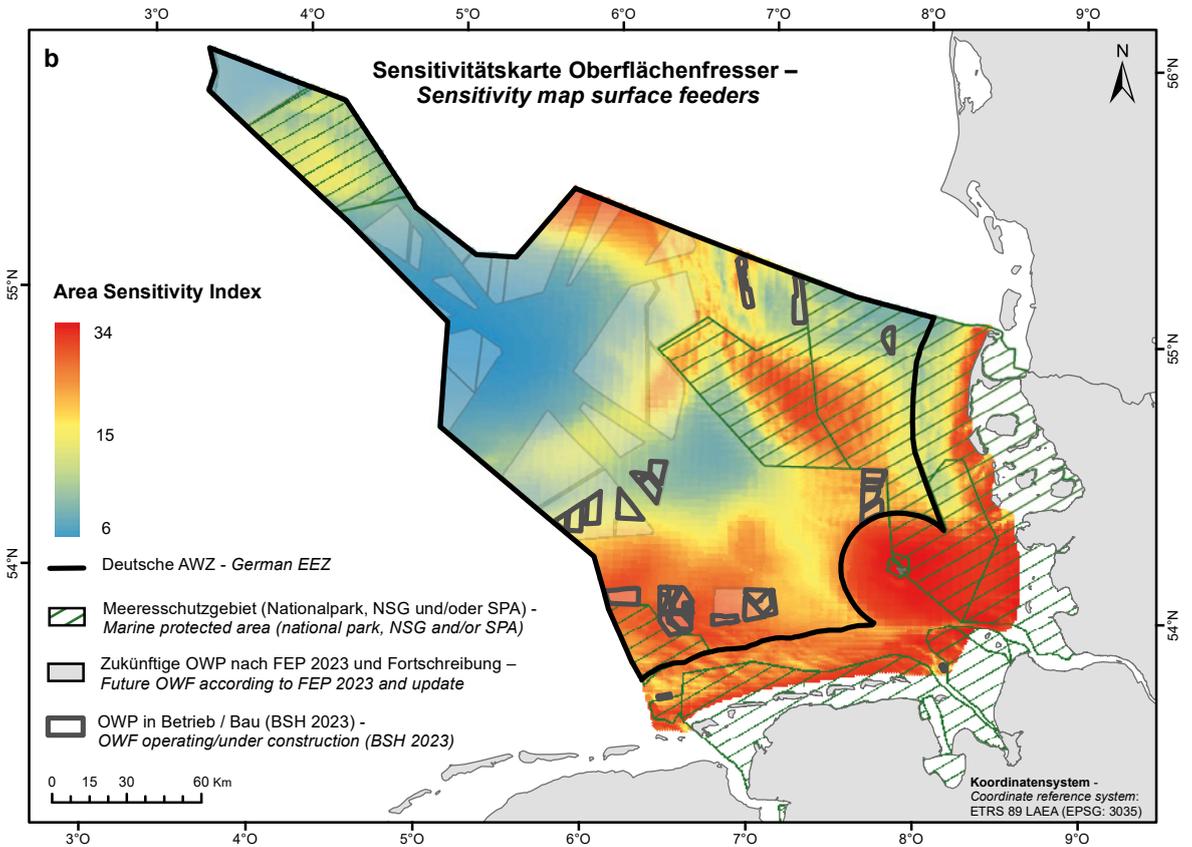
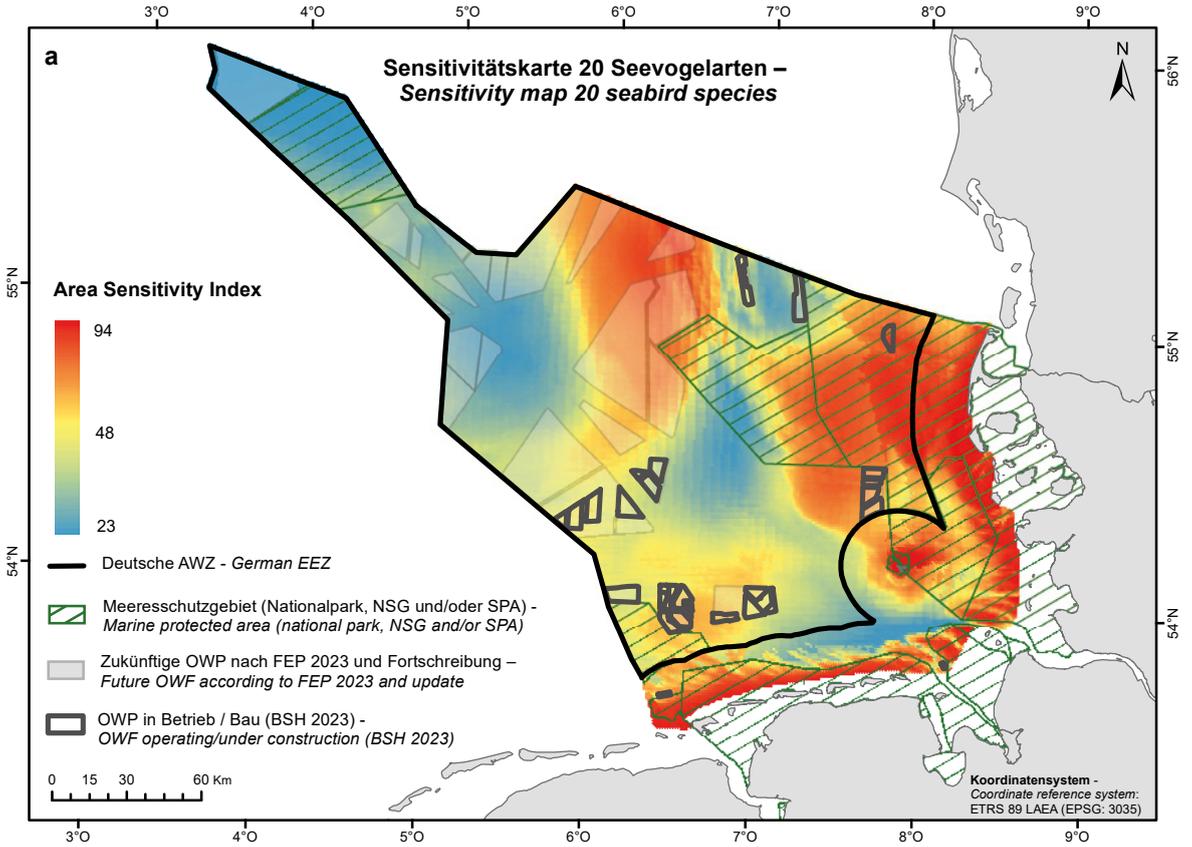
Art – species	Meideklasse – avoidance class	Begründung – justification	Quelle – reference
Sterntaucher – <i>Red-throated Diver</i>	4	Effektradius – <i>effect radius</i> : 9–12 km	GARTHE <i>et al.</i> 2023
Prachtaucher – <i>Black-throated Diver</i>	4	Effektradius – <i>effect radius</i> : 9–12 km	GARTHE <i>et al.</i> 2023
Eissturmvogel – <i>Northern Fulmar</i>	4	Dichtereduktion OWP + 1 km – <i>density reduction OWF + 1 km</i> : 91 %	GARTHE <i>et al.</i> 2022
Trottellumme – <i>Common Guillemot</i>	4	Effektradius – <i>effect radius</i> : 18–21 km	PESCHKO <i>et al.</i> 2024
Dreizehenmöwe – <i>Black-legged Kittiwake</i>	4	Effektradius – <i>effect radius</i> : 20 km	PESCHKO <i>et al.</i> 2020a
Heringsmöwe – <i>Lesser Black-backed Gull</i>	4	Effektradius – <i>effect radius</i> : 12–15 km	GARTHE <i>et al.</i> 2022
Basstöpel – <i>Northern Gannet</i>	3	Dichtereduktion OWP + 1 km – <i>density reduction OWF + 1 km</i> : 81 %	GARTHE <i>et al.</i> 2022
Zwergmöwe – <i>Little Gull</i>	3	Dichtereduktion OWP + 500 m – <i>density reduction OWF + 500 m</i> : 89 %	VANERMEN <i>et al.</i> 2017
Trauerente – <i>Common Scoter</i>	2	Schwache Meidung – <i>weak avoidance</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Tordalk – <i>Razorbill</i>	2	Effektradius – <i>effect radius</i> : 0–3 km	GARTHE <i>et al.</i> 2022
Brandseeschwalbe – <i>Sandwich Tern</i>	2	Schwache Meidung – <i>weak avoidance</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Eiderente – <i>Common Eider</i>	1	Uneinheitliches Verhalten – <i>indifferent behaviour</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Papageitaucher – <i>Atlantic Puffin</i>	1	Geringe Störung durch Schiffe u. Helikopter – <i>low disturbance by ships and helicopters</i>	FURNESS <i>et al.</i> 2013
Mantelmöwe – <i>Great Black-backed Gull</i>	1	Schwache Attraktion oder Meidung – <i>weak attraction or avoidance</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Flusseeeschwalbe – <i>Common Tern</i>	1	Uneinheitliches Verhalten – <i>indifferent behaviour</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Küstenseeschwalbe – <i>Arctic Tern</i>	1	Uneinheitliches Verhalten – <i>indifferent behaviour</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Skua – <i>Great Skua</i>	0	Keine Störung durch Schiffe u. Helikopter – <i>no disturbance by ships and helicopters</i>	FURNESS <i>et al.</i> 2013
Lachmöwe – <i>Black-headed Gull</i>	0	Schwache Attraktion – <i>weak attraction</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Sturmmöwe – <i>Common Gull</i>	0	Schwache Attraktion – <i>weak attraction</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016
Silbermöwe – <i>Herring Gull</i>	0	Schwache Attraktion – <i>weak attraction</i>	DIERSCHKE <i>et al.</i> 2016

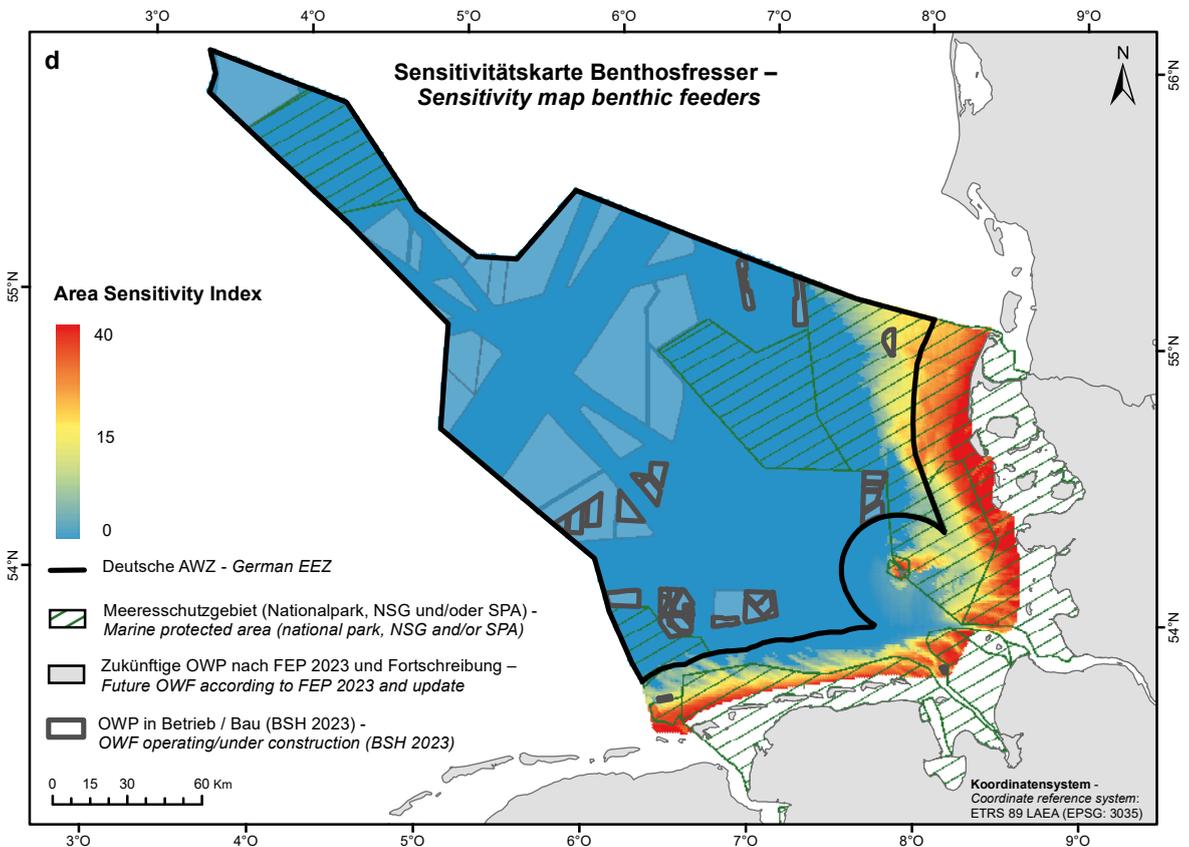
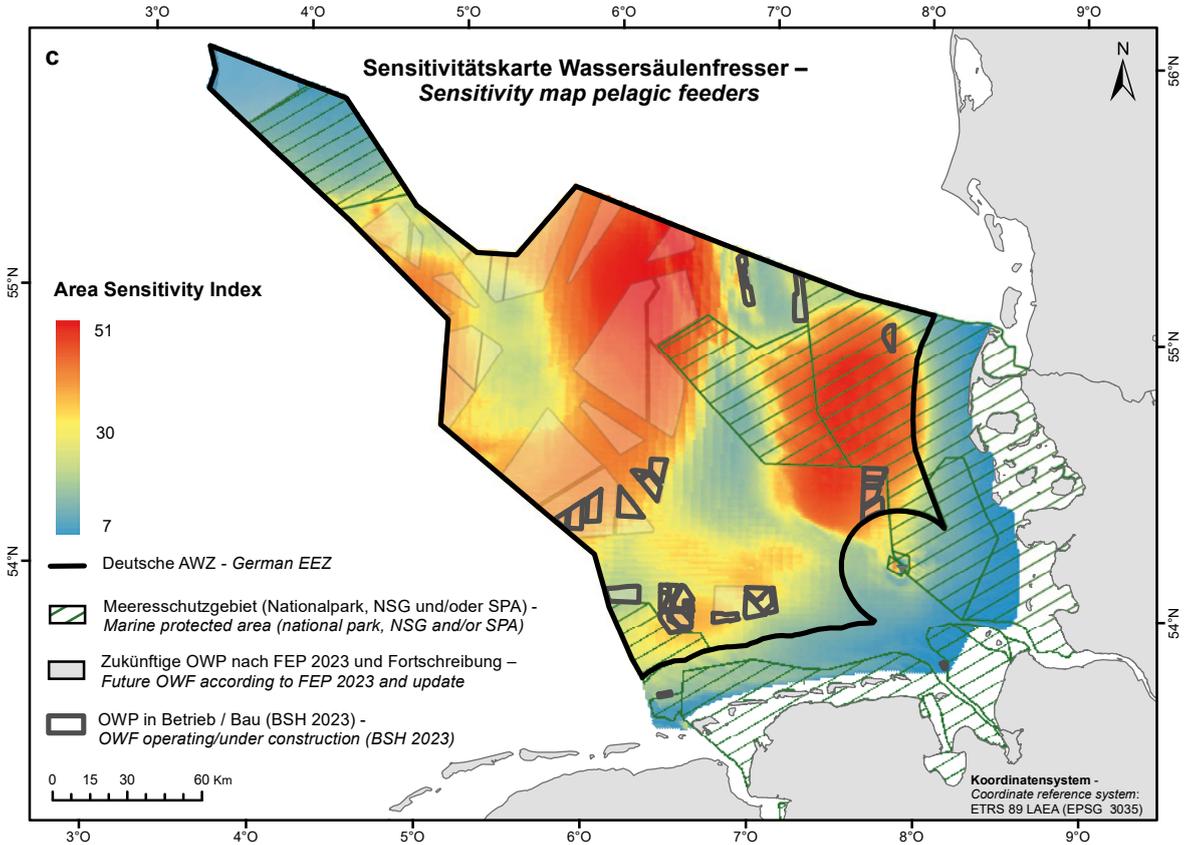
Tab. 4: Faktorwerte und daraus resultierende Sensitivitätswerte (SSI) für 20 in der deutschen Nordsee lebende Seevogelarten. – *Factor scores and resulting Species Sensitivity Index (SSI) values for 20 seabird species in the German North Sea.*

Art – species	a) Meidung von OWP – avoidance of OWF	b) Habitat- flexibilität – habitat flexibility	c) Über- lebensrate Altvögel – adult survival	d) Bestands- größe Deutschland – population size Germany	e) Gefährdung Deutschland – threat sta- tus Germany	f) Verantwor- lichkeit Europa – responsibility Europe	SSI
Sternaucher – <i>Red-throated Diver</i>	4	4	3	3	4	3	52,0
Prachtttaucher – <i>Black- throated Diver</i>	4	4	4	4	1	3	48,0
Trottellumme – <i>Common Guillemot</i>	4	3	5	3	1	3	36,0
Tordalk – <i>Razorbill</i>	2	3	5	3	1	5	21,0
Zwergmöwe – <i>Little Gull</i>	3	3	2	3	1	3	20,3
Dreizehenmöwe – <i>Black-legged Kittiwake</i>	4	2	3	3	1	3	20,0
Brandseeschwalbe – <i>Sandwich Tern</i>	2	3	5	3	1	2	16,5
Eiderente – <i>Common Eider</i>	1	4	4	2	1	5	12,0
Trauerente – <i>Common Scoter</i>	2	4	2	2	1	1	12,0
Eissturmvogel – <i>Northern Fulmar</i>	4	1	5	3	1	3	12,0
Papageitaucher – <i>Atlantic Puffin</i>	1	3	5	5	4	1	11,3
Heringsmöwe – <i>Lesser Black-backed Gull</i>	4	1	5	2	1	2	10,0
Basstölpel – <i>Northern Gannet</i>	3	1	5	4	1	2	9,0
Flusseeeschwalbe – <i>Common Tern</i>	1	3	4	3	3	1	8,3
Küstenseeschwalbe – <i>Arctic Tern</i>	1	3	4	3	2	1	7,5
Mantelmöwe – <i>Great Black-backed Gull</i>	1	2	5	3	1	2	5,5
Skua – <i>Great Skua</i>	0	2	5	5	1	2	0,0
Lachmöwe – <i>Black-headed Gull</i>	0	2	4	2	1	2	0,0
Sturmmöwe – <i>Common Gull</i>	0	2	4	2	1	2	0,0
Silbermöwe – <i>Herring Gull</i>	0	1	4	3	1	4	0,0

Folgende Doppelseite 

Abb. 3: Räumliche Verteilung der Sensitivität von Seevögeln gegenüber OWP (ASI: über alle Arten aufsummierte Produkte logarithmierter Individuendichten und artspezifischer Sensitivität SSI) in der deutschen Nordsee auf Basis der modellierten Verbreitung für die Jahre 2011–2016: a) alle 20 Arten, b) Oberflächenfresser (12 Arten), c) Wassersäulenfresser (6 Arten), d) Benthosfresser (2 Arten). Dargestellt sind alle Meeresschutzgebiete, bis 2023 in Betrieb genommene oder im Bau befindliche OWP sowie laut Flächenentwicklungsplan 2023 und Fortschreibung anvisierte OWP-Flächen. Skalierung in Bezug auf den jeweils maximal auftretenden ASI. Quellen wie Abb. 2. – *Spatial distribution of the sensitivity of seabirds to offshore windfarms (Area Sensitivity Index ASI: summed products of log-scaled bird densities and species-specific sensitivity SSI) in the German North Sea: a) all 20 species, b) surface feeders (12 species), c) pelagic feeders (6 species), d) benthic feeders (2 species). All Marine Protected Areas are shown as well as offshore wind farms commissioned by 2023 and offshore wind farm areas envisaged by the site development plan of 2023 (FEP 2023) and update. Scaling in relation to the maximum ASI occurring in each case. Sources as in Fig. 2.*





empfindlich erweisen sich auch Gebiete in der AWZ nördlich von Borkum, nordwestlich von Helgoland und im Norden der AWZ; noch weiter entfernt von der Küste weist das Naturschutzgebiet (NSG) Doggerbank eine mittlere Sensitivität auf (Abb. 3b). Wassersäulenfresser zeigen die höchste Sensitivität im Norden der AWZ (u. a. Mauseggebiet von Trottellummen) und nördlich von Helgoland im NSG Sylter Außenriff – Östliche Deutsche Bucht (Frühjahrs-Rastgebiet von Stern- und Prachtauchern), während in den Küstengewässern nur eine geringe Sensitivität festzustellen ist (Abb. 3c). Bei Benthosfressern spiegelt die hohe Sensitivität in den Küstengewässern in erster Linie das Auftreten der Trauerente wider, im größten Teil der AWZ kommen weder Trauer- noch Eiderente vor (Abb. 3d).

4. Diskussion

In der gesamten Nordsee sind Seevögel mit vielen verschiedenen negativen Einflüssen konfrontiert. Zum einen führt der Klimawandel über veränderte Umweltbedingungen zu niedrigerer Reproduktion und erhöhter Mortalität (SEARLE *et al.* 2022, BURTON *et al.* 2023), zum anderen wirken verschiedene Aktivitäten des Menschen stark auf die Arten ein. Dazu gehören in der deutschen Nordsee seit langem die Fischerei und die Schifffahrt (einschließlich Ölverschmutzung), in anderen Teilen der Nordsee u. a. die Förderung von Erdöl und Erdgas (BILDSTEIN *et al.* 2017, DIERSCHKE *et al.* 2023). Seit Beginn des 21. Jahrhunderts (in der deutschen Nordsee seit 2009) sind Offshore-Windparks als weitere, viele Seevogelarten negativ beeinflussende Aktivität hinzugekommen und in enormem Zuwachs begriffen. Ohne dass die Anteile dieser einzelnen Aktivitäten und des Klimawandels quantifizierbar sind, ist festzustellen, dass sich Seevögel in der gesamten Nordsee in schlechtem Zustand befinden (DIERSCHKE *et al.* 2023). Die große Mehrheit der Arten nimmt im Bestand ab und zeigt so niedrige Reproduktionsraten, dass ihr langfristiges Überleben gefährdet ist (DIERSCHKE *et al.* 2022, FREDERIKSEN *et al.* 2022). Diese vielfältigen negativen Entwicklungen erfordern auch in Deutschland eine Berücksichtigung der Belange der Seevögel, um u. a. internationalen Verpflichtungen im Bereich des Naturschutzes gerecht zu werden, beispielhaft genannt seien die Vogelschutzrichtlinie und die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. Zu berücksichtigen sind Seevögel insbesondere in der Planung des Ausbaus der Windenergienutzung, der in den kommenden Jahren große Dimensionen annimmt: Allein in der deutschen Nord- und Ostsee soll die installierte Leistung von derzeit 8,4 GW (<https://bwo-offshorewind.de/>, 31.5.2024) auf mindestens 30 GW bis zum Jahr 2030, 40 GW bis zum Jahr 2035

und 70 GW bis zum Jahr 2045 gesteigert werden (Windenergie-auf-See-Gesetz, Stand März 2023). Eine Berücksichtigung des Naturschutzes, wie sie in §1 dieses Gesetzes geschrieben steht, kann aufgrund des starken Zuwachses an Kenntnissen zu Seevögeln und anderen Schutzgütern, die mit Hilfe verschiedener Erfassungsprogramme und moderne Erfassungsmethoden ermöglicht wurden, umgesetzt werden.

Konnte man vor 20 Jahren die Empfindlichkeit von Seevögeln gegenüber Störungen durch OWP, die zur Meidung solcher Gebiete führen, nur mit Hilfe verschiedener Parameter ableiten, ist inzwischen für viele Seevogelarten aus verschiedenen Untersuchungen bekannt, wie sie sich tatsächlich gegenüber OWP verhalten (DIERSCHKE *et al.* 2016, VANERMEN & STIENEN 2019). Trotz des sehr unterschiedlichen Wissenstandes kommen die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse denen von GARTHE & HÜPPOP (2004) recht nah, obwohl in der früheren Studie Kollisionen und Lebensraumverluste, in dieser neueren dagegen nur letztere betrachtet wurden.

Beide Studien machen deutlich, dass in der deutschen Nordsee das Küstenmeer besonders empfindlich gegenüber OWP ist. Dies liegt nicht nur am Vorkommen sensibler Arten wie Sterntaucher, Prachtaucher und Brandseeschwalbe, sondern auch an den sehr großen Beständen der Trauerente, die hinsichtlich des SSI im mittleren Bereich rangiert. Insbesondere eine bessere Datenlage aus allen Jahreszeiten dürfte dafür verantwortlich sein, dass nun auch einige weiter von der Küste entfernte Gebiete als sehr sensitiv identifiziert wurden. Im Fall des Bereichs westlich von Nordfriesland hat das quantitativ bedeutsame Vorkommen verschiedener Seevogelarten, darunter sehr vieler Seetaucher im Frühjahr, zu einer Ausweisung als SPA (Special Protection Area) nach Vogelschutzrichtlinie und als NSG nach deutschem Naturschutzrecht geführt (SPA Östliche Deutsche Bucht bzw. NSG Sylter Außenriff – Östliche Deutsche Bucht; GARTHE *et al.* 2012, BILDSTEIN *et al.* 2017).

Ein noch weiter westlich gelegener Bereich zwischen dem genannten NSG und der Doggerbank hat sich mit dem neuen Ansatz ebenfalls als sehr sensitiv erwiesen, denn dort kommen zeitweise hohe Dichten von Trottellumme, Eissturmvogel und Basstölpel vor. Dieses Gebiet ist nicht nur ohne gesetzlichen Schutz, sondern auch durch den geplanten Ausbau der Windenergienutzung in diesem Bereich akut bedroht. Basierend auf dem Wind-auf-See-Gesetz (Stand März 2023) und der deutschen Umsetzung der Richtlinie (EU) 2023/2413 (Renewable Energy Directive III) ist für einige der Flächen, die für den zukünftigen OWP-Ausbau beplant werden, mit einem beschleunigtem Genehmigungsverfahren zu rechnen, bei dem die Umweltverträglichkeit nicht

untersucht wird. Wenn auch Flächen beschleunigt werden, die im aktuellen Flächenentwicklungsplan 2023 (BSH 2023) und im Fortschreibungsverfahren (BSH 2024) festgelegt werden, dann beträfe dies auch einige für Seevögel in unserer Analyse als sehr empfindlich identifizierte Gebiete, insbesondere im Norden der AWZ (Abb. 3). PESCHKO *et al.* (2024) zeigen, dass in diesem Bereich mit Lebensraumverlust für einen Großteil des deutschen Trottellummen-Bestandes in seinem herbstlichen Dichtezentrum zu rechnen ist und dass Ausweichflächen aufgrund weiterer Vorbehaltsgebiete für die Windenergienutzung fehlen werden. Dies beträfe vor allem die Jahreszeit, in der Trottellummen mauserbedingt flugunfähig sind, gleichzeitig den letzten Abschnitt der Jungvogelauzucht durchführen und somit im Hinblick auf Ausweichbewegungen besonders eingeschränkt sind.

Maßnahmen zu Minderung negativer Einflüsse von OWP auf Seevögel wurden bisher in erster Linie in Bezug auf die Vermeidung von Kollisionen formuliert (HARWOOD & PERROW 2019). Kollisionen wurden in dieser Arbeit nicht thematisiert, können aber in zusätzlichen Sensitivitätskarten adressiert und als zusätzliche Wirkung von OWP in Planungsprozesse einbezogen werden. Für die Minderung von Meideffekten und Lebensraumverlusten gibt es keine erprobten technischen Methoden, aber die Zurückstellung besonders empfindlicher Gebiete ist grundsätzlich der beste Weg zur Vermeidung von Konflikten zwischen Windenergienutzung und Seevogelschutz (siehe auch HARWOOD & PERROW 2019). Auch eine Kompensation durch ein Habitatmanagement in Form von Nutzungsbeschränkungen in nicht für OWP vorgesehenen Meeresgebieten wäre ein denkbarer Weg, stößt jedoch angesichts der bereits sehr starken Beanspruchung durch verschiedene Nutzungsformen in der deutschen Nordsee auf enge Grenzen. Selbst die drei Naturschutzgebiete in der deutschen AWZ unterliegen starker Nutzung (BILDSTEIN *et al.* 2017).

Sensitivitätskarten für Seevögel in der deutschen Nordsee ermöglichen es, gegenüber verschiedenen Nutzungen empfindliche Bereiche zu identifizieren und zu visualisieren. Die in dieser Arbeit entwickelten Sensitivitätskarten in Bezug auf Lebensraumverluste infolge der Meidung von OWP basieren auf einer Modellierung des Vorkommens für die Jahre 2011–2016, also einem Zeitraum mit noch sehr wenigen OWP. Die Erfassung auf dem Meer lebender Vögel durch Beobachtung und Telemetry haben nicht nur das Meideverhalten an OWP an sich gezeigt (HEINÄNEN *et al.* 2020, PESCHKO *et al.* 2020a, 2020b, 2021, VAN BEMMELEN *et al.* 2023), sondern bei Seetauchern und Trottellummen auch eine grundsätzliche räumliche Umverteilung belegt (MENDEL *et al.* 2019,

GARTHE *et al.* 2023, PESCHKO *et al.* 2024). Dank eines flächendeckenden Monitorings (BORKENHAGEN *et al.* 2023) können immer wieder aktualisierte Seevogelverbreitungen und daraus resultierende Darstellungen der Sensitivitäten gegenüber menschlichen Eingriffen in Neufassungen der marinen Raumordnung einfließen. Im 2023 begonnenen, vom Bundesamt für Naturschutz geförderten Projekt „Begleitforschung und Strategieberatung für eine starke Nachhaltigkeit der marinen Raumordnung in der deutschen AWZ“ werden nicht nur zum Thema OWP/Lebensraumverlust, sondern auch zu OWP/Kollision, Schiffsverkehr/Störungen, Fischerei/Beifangmortalität und ggf. weiteren Themen Sensitivitätskarten erstellt, die auf der modellierten Seevogelverbreitung für einen jüngeren Zeitraum (2017–2022) basieren. Die in dieser Arbeit präsentierten sowie künftige Aktualisierungen sollen gemeinsam mit Sensitivitätskarten für andere Schutzgüter dazu beitragen, die Belange des Naturschutzes in der marinen Raumordnung für die deutschen Meeresgewässer adäquat zu berücksichtigen. Sie können in Verfahren einfließen, welche die Bedürfnisse der marinen Biodiversität, des ökonomischen Nutzens und weiterer gesellschaftlicher Ansprüche (z. B. Landesverteidigung, Ernährung der Bevölkerung) ausbalancieren (VIRTANEN *et al.* 2022, BOUSSARIE *et al.* 2023). Damit kann der in der Rahmenrichtlinie zur maritimen Raumplanung (2014/89/EU) verankerte Ökosystemansatz unterstützt werden.

Dank. Unser Dank gilt zahlreichen Observerinnen und Observern, die seit 1990 auf Schiffen und in Flugzeugen zur Dokumentation der Seevogelvorkommen in der deutschen Nordsee beigetragen haben. Gleichermaßen danken wir den Institutionen und Firmen, die mit ihren Schiffen und Flugzeugen Seevogelerfassungen auf See ermöglicht haben. Die Erstellung der Sensitivitätskarten profitierte von Diskussionen mit Teilnehmenden des Projekts „Begleitforschung und Strategieberatung für eine starke Nachhaltigkeit der marinen Raumordnung in der deutschen AWZ“. Im Rahmen dieses Projekts (FKZ 3523521200) fand ein großer Teil der Arbeiten zu diesem Beitrag statt, weitere Unterstützung erfolgte aus den Projekten MarBird (FKZ 3521532206) und OWP-Seevögel (FKZ: 3520860100), beide finanziert durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des BMUV, sowie CoastalFutures (Fördernummer: 03F0911C), finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Für eine kritische Durchsicht des Manuskripts danken wir Kerstin Kober und Steffen Oppel.

5. Zusammenfassung

Dierschke, V., K. Borkenhagen, L. Enners, S. Garthe, M. Mercker, V. Peschko, H. Schwemmer & N. Markones 2024: Sensitivität von Seevögeln gegenüber Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee im Hinblick auf Lebensraumverluste durch Meidung. Vogelwelt 142: 59–74.

Zu der seit langem auf dem Meer ausgeübten Fischerei und Schifffahrt ist in diesem Jahrhundert die Nutzung der Windenergie als weitere großflächig auftretende Störungsquelle für Seevögel hinzugekommen. Es hat sich gezeigt, dass die Seevogelarten unterschiedlich auf Offshore-Windparks (OWP) reagieren. Basierend auf Beobachtungen und Messungen zum Meideverhalten (Reduktion der Individuendichte, Effektradius) sowie Schätzungen der daraus folgenden Intensität von Kosten auf individueller und Populationsebene wurde die Sensitivität gegenüber OWP für 20 regelmäßig in der deutschen Nordsee lebenden Seevogelarten über einen Index (Species Sensitivity Index, SSI) bestimmt. Eine Verknüpfung der Sensitivität mit der Individuendichte und die Aggregation für alle Arten zeigt für jede Flächeneinheit in der deutschen Nordsee (hier 1 km x 1 km große Gitterfelder) die gebietspezifische Sensitivität (Area Sensitivity Index, ASI). Eine separate Betrachtung für drei funktionelle Artengruppen zeigt unterschiedliche Bereiche besonders hoher Sensitivität gegenüber OWP, die bei Oberflächenfressern (z. B. Möwen, Seeschwalbe) und Wassersäulenfressern (z. B. Seetaucher, Alkenvögel, Basstölpel) im Offshorebereich, bei

Benthosfressern (Meeresenten) dagegen in küstennahen Bereichen der deutschen Nordsee liegen. Die Karte für alle Seevogelarten gemeinsam unterstreicht eine besonders hohe Sensitivität der Küstengewässer der deutschen Nordsee sowie des Seegebiets um Helgoland. Darüber hinaus gibt es in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) zwei Gebiete mit besonders hoher Sensitivität gegenüber OWP: ein Bereich westlich der Insel Sylt, der u. a. als Frühjahrs-Rastgebiet von Seetauchern von Bedeutung ist (geschützt u. a. als SPA und NSG) sowie im Norden der AWZ ein Gebiet, in dem sich zu bestimmten Jahreszeiten viele Trottellummen, Basstölpel und Eissturmvögel aufhalten. Letztgenanntes Gebiet hat keinen gesetzlichen Schutz und ist im aktuellen Flächenentwicklungsplan für einen großflächigen Ausbau der Windenergienutzung vorgesehen. Die hier vorgestellten Sensitivitätskarten sind eine wichtige Grundlage für die Fortschreibung der marinen Raumplanung. Sie identifizieren Gebiete, in denen bestimmte Aktivitäten (hier Windenergienutzung) aus Naturschutzsicht kritisch sind, und liefern damit eine wichtige Basis für die naturverträgliche Nutzung der Meere.

6. Literatur

- BILDSTEIN, T., B. SCHUCHARDT, M. KRAMER, S. BLEICH, S. SCHÜCKEL, A. HUBER, V. DIERSCHKE, S. KOSCHINSKI & A. GARNIEL 2017: Die Meeresschutzgebiete in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee – Beschreibung und Zustandsbewertung. BfN-Skripten 477: 1–549.
- BIRD, J. P., R. MARTIN, H. R. AKÇAKAYA, J. GILROY, I. J. BURFIELD, S. T. GARNETT, A. SYMES, J. TAYLOR, Ç. H. ŞEKERCİOĞLU & S. H. M. BUTCHART 2020: Generation lengths of the world's birds and their implications for extinction risk. *Conserv. Biol.* 34: 1252–1261.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL 2004: Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. BirdLife International, Cambridge.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL 2017: European birds of conservation concern: populations, trends and national responsibilities. BirdLife International, Cambridge.
- BORKENHAGEN, K., J. KOTZERKA, L. ENNERS, M. LERMA, H. SCHWEMMER, V. DIERSCHKE & N. MARKONES 2023: Erfassungen von Seevögeln auf See: Das deutsche Seabirds-at-Sea-Programm. Falke 70, Sonderheft: 22–29.
- BOUSSARIE, G., D. KOPP, G. LAVIALLE, M. MOUCHET & M. MORFIN 2023: Marine spatial planning to solve increasing conflicts at sea: A framework for prioritizing offshore windfarms and marine protected areas. *J. Environm. Manage.* 339: 117857.
- BRADBURY, G., M. TRINDER, B. FURNESS, A. N. BANKS, R. W. G. CALDOW & D. HUME 2014: Mapping seabird sensitivity to offshore wind farms. *PLOS ONE* 9 (9): e106366.
- BSH (BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE) 2023: Flächenentwicklungsplan 2023 für die deutsche Nordsee und Ostsee. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.
- BSH (BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE) 2024: Netzentwicklungsplan Strom 2037/2045 und Ausschreibungen Windenergie auf See 2024. Stellungnahme des BSH hinsichtlich der zu erwartenden Festlegungen des Flächenentwicklungsplans. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.
- BURTON, N. H. K., F. DAUNT, K. KOBER, E. M. HUMPHREYS & T. M. FROST 2023: Impacts of climate change on seabirds and waterbirds in the UK and Ireland. *MCCIP Science Review* 2023. DOI: [10.14465/2023.reu14.saw](https://doi.org/10.14465/2023.reu14.saw)
- CHRISTIANSEN, N., U. DAEWEL, B. DJATH & C. SCHRUM 2022: Emergence of large-scale hydrodynamic structures due to atmospheric offshore wind farm wakes. *Front. Mar. Sci.* 9: 818501.
- COURTENS, W., T. VAN DAELE, A. BRENNINKMEIJER, M. LEOPOLD, D. LUTTEROP, RINGGROEP DELTA, R. C. FIJN & E. W. M. STIENEN 2022: Estimates of survival and dispersal of Sandwich Terns in the Netherlands. The added value of colour-ring projects in estimating survival and dispersal of Sandwich Terns in the Netherlands. In: VAN BEMMELEN, R. S. A., W. COURTENS, M. P. COLLIER & R. C. FIJN (Hrsg.): Sandwich Terns in the Netherlands in 2019–2021. Distribution, behaviour, survival and diet in light of (future) offshore wind farms. Bureau Waardenburg Report 21-310: S. 75–110. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- CRAMP, S. & K. E. L. SIMMONS 1980: The Birds of the Western Palearctic. Bd. 3. Oxford University Press, Oxford.

- DAEWEL, U., AKHTAR, N., CHRISTIANSEN, N. & SCHRUM, C. 2022: Offshore wind farms are projected to impact primary production and bottom water deoxygenation in the North Sea. *Comm. Earth & Environment* 3: 292.
- DAVIES, J. G., E. M. HUMPHREYS, T. EVANS, R. J. HOWELLS, R. O'HARA-MURRAY & J. W. PEARCE-HIGGINS 2023: Seabird abundances projected to decline in response to climate change in Britain and Ireland. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 725: 121–140.
- DIAS, M. P., R. MARTIN, E. J. PEARMAIN, I. J. BURFIELD, C. SMALL, R. A. PHILLIPS, O. YATES, B. LASCELLES, P. B. BORBOROGLY & J. P. CROXALL 2019: Threats to seabirds: A global assessment. *Biol. Conserv.* 237: 525–537.
- DIERSCHKE, V., R. W. FURNESS & S. GARTHE 2016: Seabirds and offshore wind farms in European waters: Avoidance and attraction. *Biological Conservation* 202: 59–68.
- DIERSCHKE, V., S. MARRA & M. PARSONS 2023: Marine Birds Thematic Assessment. In: OSPAR, 2023: Quality Status Report 2023. OSPAR Commission, London. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/thematic-assessments/marine-birds/> (31.05.2024)
- DIERSCHKE, V., S. MARRA, M. PARSONS, M. FUSI & G. FRENCH 2022: Marine Bird Abundance. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/marine-bird-abundance/> (31.05.2024)
- DREWITT, A. L. & R. H. W. LANGSTON 2006: Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148: 29–42.
- FAUCHALD, P., V. M. S. OLLUS, M. BALLESTEROS, A. BREISTØL, S. CHRISTENSEN-DALSGAARD, S. MOLVÆRSMYR, A. TARROUX, G. H. SYSTAD & B. MOE 2024: Mapping seabird vulnerability to offshore wind farms in Norwegian waters. *Front. Mar. Sci.* 11: 1335224.
- FREDERIKSEN, M., V. DIERSCHKE, S. MARRA, M. PARSONS, G. FRENCH, M. FUSI, H. SCHEKKERMAN, T. ANKER-NILSSEN & I. MITCHELL 2022: Marine Bird Breeding Productivity. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/indicator-assessments/marine-bird-breeding-productivity/> (31.05.2024)
- FURNESS, R. W., H. M. WADE & E. A. MASDEN 2013: Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *J. Environ. Manage.* 119: 56–66.
- GARTHE, S. & O. HÜPPOP 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., N. MARKONES, B. MENDEL, N. SONNTAG & J. C. KRAUSE 2012: Protected areas for seabirds in German offshore waters: Designation, retrospective consideration and current perspectives. *Biol. Conserv.* 156: 126–135.
- GARTHE, S., V. PESCHKO, H. SCHWEMMER & M. MERCKER 2022: Auswirkungen des Offshore-Windkraft-Ausbaus auf Seevögel in der Nordsee. Vortrag Meeresumwelt-Symposium 2022. https://www.bsh.de/DE/PRESSE/Veranstaltungen/Termine/MUS/MUS_Nachklapp/_Anlagen/Downloads/MUS-2022/Vortraege/Vortrag_Garthe.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (31.05.2024)
- GARTHE, S., H. SCHWEMMER, V. PESCHKO, N. MARKONES, S. MÜLLER, P. SCHWEMMER & M. MERCKER 2023: Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern. *Sci. Rep.* 13: 4779.
- GERLACH, B., R. DRÖSCHMEISTER, T. LANGGEMACH, K. BORKENHAGEN, M. BUSCH, M. HAUSWIRTH, T. HEINICKE, J. KAMP, J. KARTHÄUSER, C. KÖNIG, N. MARKONES, N. PRIOR, S. TRAUTMANN, J. WAHL & C. SUDFELDT 2019: Vögel in Deutschland: Übersichten zur Bestandssituation. Dachverband Deutscher Avifaunisten, Münster.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM, U. N. & K. M. BAUER 1982: Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Bd. 8. Akad. Verlagsges., Wiesbaden.
- HAKKINEN, H., S. O. PETROVAN, W. J. SUTHERLAND, M. P. DIAS, E. I. AMECA, S. OPPEL, I. RAMÍREZ, B. LAWSON, A. LEHIKONEN, K. M. BOWGEN, N. G. TAYLOR & N. PETTORELLI 2022: Linking climate change vulnerability research and evidence on conservation action effectiveness to safeguard European seabird populations. *J. Appl. Ecol.* 59: 1178–1186.
- HARWOOD, A. J. P. & M. R. PERROW 2019: Mitigation for birds with implications for bats. In: PERROW, M. R. (Hrsg.): *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions*, Vol. 4, Offshore: Monitoring and Mitigation: S. 242–280. Pelagic Publishing, Exeter.
- HEINÄNEN, S., R. ŽYDELIS, B. KLEINSCHMIDT, M. DORSCH, C. BURGER, J. MORKÜNAS, P. QUILLFELDT, G. NEHLS 2020: Satellite telemetry and digital aerial surveys show strong displacement of red-throated divers (*Gavia stellata*) from offshore wind farms. *Marine Environmental Research* 160: 104989.
- HUMPHREYS, E. M., A. S. C. P. COOK & N. H. K. BURTON 2015: Collision, displacement and barrier effect concept note. BTO Research Report No. 669. British Trust for Ornithology, Thetford.
- HÜPPOP, O., H.-G. BAUER, H. HAUPT, T. RYSLAVY, P. SÜDBECK & J. WAHL 2013: Rote Liste wandernder Vogelarten Deutschlands, 1. Fassung, 31. Dezember 2012. *Ber. Vogelschutz* 49/50: 23–83.
- ICES 2002: Report of the Working Group on Seabird Ecology. Document No. CM 2002/C:04. ICES, Copenhagen, Denmark.
- ICES 2016: Report of the Joint OSPAR/HELCOM/ICES Working Group on Seabirds (JWGBIRD), 9–13 November 2015, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2015/ACOM:28. 196 pp.
- KAZAMA, K. & Y. WATNUKI 2021: Seabird sensitivity maps for minimising impacts of marine wind farms: Development, application and problems. *Japanese Journal of Cons. Ecol.* DOI: 10.18960/hozen.1916
- KING, S. 2019: Seabirds: collision. In: PERROW, M. R. (Hrsg.): *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions*, Vol. 3, Offshore: Potential Effects: S. 206–234. Pelagic Publishing, Exeter.
- MARKONES, N., N. GUSE, K. BORKENHAGEN, H. SCHWEMMER & S. GARTHE 2015: Seevogel-Monitoring 2014 in der deutschen AWZ von Nord- und Ostsee. FTZ Westküste, Büsum. https://www.ftz.uni-kiel.de/de/forschungsabteilungen/ecolab-oekologie-mariner-tiere/publikationen/dateien-publikationen-ecolab-mariner-tiere/BfN_Monitoring_Seevogel_2014_FTZ.pdf (31.05.2024)

- MENDEL, B., P. SCHWEMMER, V. PESCHKO, S. MÜLLER, H. SCHWEMMER, M. MERCKER & S. GARTHE 2019: Operational offshore wind farms and associated ship traffic cause profound changes in distribution patterns of Loons (*Gavia spp.*). *J. Environ. Manage.* 231: 429–438.
- MERCKER, M., MARKONES, N., BORKENHAGEN, K., SCHWEMMER, H., WAHL, J. & GARTHE, S. 2021 An integrated framework to estimate seabird population numbers and trends. *J. Wildl. Manage.* 62: 751–771.
- PERROW, M. R. 2019: *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions*. Vol. 3: Offshore: Potential Effects. Pelagic Publishing, Exeter.
- PESCHKO, V., B. MENDEL, S. MÜLLER, N. MARKONES, M. MERCKER & S. GARTHE (2020a): Effects of offshore windfarms on seabird abundance: Strong effects in spring and in the breeding season. *Mar. Environ. Res.* 162: 105157.
- PESCHKO, V., M. MERCKER & S. GARTHE (2020b): Telemetry reveals strong effects of offshore wind farms on behaviour and habitat use of common guillemots (*Uria aalge*) during the breeding season. *Mar. Biol.* 167: 118.
- PESCHKO, V., B. MENDEL, M. MERCKER, J. DIERSCHKE & S. GARTHE 2021: Northern gannets (*Morus bassanus*) are strongly affected by operating offshore wind farms during the breeding season. *J. Environ. Manage.* 279: 111509.
- PESCHKO, V., H. SCHWEMMER, M. MERCKER, N. MARKONES, K. BORKENHAGEN & S. GARTHE 2024: Cumulative effects of offshore wind farms on common guillemots (*Uria aalge*) in the southern North Sea – climate versus biodiversity? *Biodiv. Conserv.* 33: 949–970.
- SEARLE, K. R., J. WAGGITT, P. EVANS, M. BOGDANOVA, F. DAUNT & A. BUTLER 2022: Study to examine the impact of climate change on seabird species off the east coast of Scotland and potential implications for environmental assessments. Scottish Government, Edinburgh. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Searle3-et-al-2022.pdf> (31.05.2024)
- THAXTER, C. B., V. H. ROSS-SMITH, W. BOUTEN, E. A. MASNEN, N. A. CLARK, G. J. CONWAY, L. BARBER, G. D. CLEWLEY & N. H. K. BURTON 2018: Dodging the blades: new insights into three-dimensional space use of offshore wind farms by lesser black-backed gulls *Larus fuscus*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 587: 247–253.
- TJØRNLOV, R. S., H. SKOV, M. ARMITAGE, M. BARKER, J. B. JØRGENSEN, L. O. MORTENSEN, K. THOMAS & T. UHRENHOLDT 2023: Resolving key uncertainties of sea-bird flight and avoidance behaviours at offshore wind farms. Final Report for the study period 2020–2021. DHI A/S, Hørsholm. https://policycommons.net/artifacts/3453766/aowfl_aberdeen_seabird_study_final_report_20_february_2023/4254081/ (31.05.2024)
- VAN BEMMELEN, J. J. LEEMANS, M. P. COLLIER, R. M. W. GREEN, R. P. MIDDELVELD, C. B. THAXTER & R. C. FIJN 2023: Avoidance of offshore wind farms by Sandwich Terns increases with turbine density. *Ornithol. Appl.* 126: 1–10.
- VANERMEN, N., W. COURTENS, M. VAN DE WALLE, H. VERSTRAETE & E. STIENEN 2017: Seabird monitoring at the Thorntonbank offshore wind farm – Updated seabird displacement results & an explorative assessment of large gull behavior inside the wind farm area. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. https://purews.inbo.be/ws/portalfiles/portal/13271773/Vanermen_et_al_2017_SeabirdMonitoringAtTheThorntonbankOffshoreWindFarm.pdf (31.05.2024)
- VANERMEN, N., W. COURTENS, M. VAN DE WALLE, H. VERSTRAETE & E. STIENEN 2022: Seabirds and offshore wind farms – the potential value of sensitivity mapping in marine spatial planning. In: DEGRAER, S., R. BRABANT, B. RUMES & L. VIGIN (Hrsg.): *Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Getting ready for offshore wind farm expansion in the North Sea*. Memoirs on the Marine Environment. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management: 55–67.
- VANERMEN, N. & E. W. M. STIENEN 2019: Seabirds: displacement. In: PERROW, M. R. (Hrsg.): *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions*, Vol. 3, Offshore: Potential Effects: S. 174–205. Pelagic Publishing, Exeter.
- VIRTANEN, E. A., J. LAPPALAINEN, M. NURMI, M. VIITASALO, M. TIKANMÄKI, J. HEINONEN, E. ATLASKIN, M. KALLASVUO, H. TIKKANEN & A. MOILANEN 2022: Balancing profitability of energy production, societal impacts and biodiversity in offshore wind farm design. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 158: 112087.

Manuskript-Eingang: 2. Mai 2024

Annahme: 31. Mai 2024

Volker Dierschke, Kai Borkenhagen, Leonie Enners, Henriette Schwemmer, Nele Markones, Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA), Hafentörn 1, 25761 Büsum; E-Mail: volker.dierschke@dda-web.de.

Stefan Garthe, Verena Peschko, FTZ Westküste der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Hafentörn 1, 25761 Büsum.

Moritz Mercker, Bionum GmbH – Büro für Biostatistik, Finkenwerder Norderdeich 15 A, 21129 Hamburg.
