

Erfassung von Seevögeln und Meeressäugetieren mit dem HiDef Kamerasystem aus der Luft

Von FELIX WEIB, HEIKE BÜTTGER, JULIA BAER, JORG WELCKER und GEORG NEHLS

Einleitung

Bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts waren die küstenfernen, deutschen Gewässer aus ornithologischer Sicht „Terra incognita“. Obwohl über die großen Seevogelkolonien auf Helgoland und auf den Inseln im Wattenmeer bereits seit dem 19. Jahrhundert detaillierte Aufzeichnungen existieren (z.B. GÄTKE 1891, DROSTE-HÜLSHOFF 1869), blieb das Geschehen auf dem Meer um die Inseln und insbesondere das Leben der Seevögel außerhalb der Brutzeit weitgehend unbekannt. Pioniere in Nordamerika begannen bereits in den 1930er Jahren und verstärkt nach dem Zweiten Weltkrieg Vogelzählungen mit Flugzeugen durchzuführen (BOWMANN 2014). In Deutschland wurde die Methode erstmals in den 1960er Jahren zur Erfassung mausernder Brandgänse im Wattenmeer eingesetzt (GOETHE 1961). Zahlreiche systematische Erfassungen an der Nordseeküste folgten, verließen jedoch nicht den küstennahen Bereich des Wattenmeeres. In der Ostsee wurde durch Klaus Kirchoff und Kollegen Pionierarbeit geleistet, die 1980-1982 eine vollständige Erfassung von Meeressäugern auf den Flachgründen und entlang der Ostseeküste durchführten (KIRCHHOFF et al. 1983).

Bei diesen frühen Untersuchungen wurde in der Regel eine Kompletterfassung der Vögel, in erster Linie in großen Schwärmen rastende Meeressäuger, Limikolen und Brandgänse angestrebt, bei der die Route des Flugzeugs den örtlich vorgefundenen Gegebenheiten (Wasserstände, Verteilung der Vögel) angepasst wurde. Große Ansammlungen wurden abfotografiert und auf projizierten Dias vor einem Raster ausgezählt (KIRCHHOFF et al. 1983). Parallel wurden Anfang der 1980er Jahre standardisierte Schiffs-erfassungen entwickelt, die als European Seabirds-at-Sea (ESAS) Programm bis in die Gegenwart durchgeführt werden (TASKER et al. 1984, WEBB & DURINCK 1992).

Mit Aufkommen der Offshore-Windenergie in Dänemark und Deutschland und der Verfügbarkeit moderner Navigationsmittel (GPS) wurde Ende der 2000er Jahre vom National

Environmental Research Institute (NERI) in Dänemark eine standardisierte Methode für Vogelzählungen mit dem Flugzeug entwickelt, die von DIEDERICHS et al. (2002) erstmals in Deutschland angewandt wurde. In der Folge wurden visuelle Erfassungsflüge im Standard zu den Untersuchungen der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK) des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) festgeschrieben (BSH 2003) und in zahlreichen Umweltmonitorings in Nord- und Ostsee eingesetzt. Die Methode sieht die Erfassung von Seevögeln und Meeressäugern entlang von Transekten vor, die in einer Höhe von 76 m (250 ft) bzw. 183 m (600 ft, für Erfassungen von Meeressäugern) abgeflogen werden. Diese niedrigen Flughöhen waren zunächst unproblematisch, da es in Deutschen Gewässern noch keine Windenergieanlagen gab. Mit Beginn des Baus des Offshore-Testfelds „Alpha Ventus“ im Jahr 2008 sowie der Entstehung weiterer Windparks, wurden zunehmend Sicherheitsbedenken geäußert, da sich die Windenergieanlagen direkt in der Flughöhe für konventionelle Vogelerfassungsflüge befinden und somit gefährliche Hindernisse darstellen. Mit der dritten Aktualisierung des StUK im Jahr 2013 (StUK4, BSH 2013) wurde die Umstellung von konventionellen Zählflügen mit Beobachtern auf digitale Erfassungssysteme für Umweltuntersuchungen im Offshorebereich verbindlich festgeschrieben. In Großbritannien waren solche Systeme zu diesem Zeitpunkt bereits im Einsatz und etabliert (BUCKLAND et al. 2012). Die Firma HiDef Aerial Surveying Ltd. (Cleator Moor, Großbritannien) hatte ein digitales Videoerfassungssystem für den Einsatz im Offshorebereich entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Im Januar 2014 begann Bio-Consult SH das System in Deutschland einzusetzen. Bis Ende 2015 wurden insgesamt 95 Zählflüge im Offshorebereich durchgeführt. Im Folgenden wird die Methode der digitalen Befliegung mit HiDef beschrieben und beispielhaft Ergebnisse vorgestellt sowie die Vor- und Nachteile der Methode auch im Vergleich zu visuellen Zählflügen und Schiffstransektfahrten diskutiert.

Methoden

Für die HiDef Erfassung werden in Deutschland zweimotorige Hochflügler der Typen Vulkanair P68 Observer und Vulkanair P68 eingesetzt, die sich unter anderem durch ihren geringen Treibstoffverbrauch und die damit verbundene große Reichweite auszeichnen. Diese Flugzeugtypen werden häufig auch für visuelle Zählflüge eingesetzt. Durch den zweiten Motor sind die Flugzeuge auch im Offshorebereich sicher einzusetzen und werden standardmäßig mit einem Power-FLARM® Kollisionswarnsystem ausgestattet, das Annäherungen anderer Flugzeuge mit dem gleichen System erkennt. In die Bodenluke des Flugzeugs ist das HiDef Kamerasystem installiert, das aus einer Computereinheit und vier hochauflösenden Kameras besteht, die so ausgerichtet sind, dass sie am Boden eine Linie quer zur Flugrichtung optimal erfassen. Je nach Aufgabenstellung können die Kameras so ausgerichtet werden, dass eine leichte Überlappung zwischen den Bildern entsteht und somit eine komplette Erfassung der Fläche erreicht wird (Abb. 1). Für Fragestellungen im Offshorebereich wird standardmäßig eine Einstellung gewählt, die eine kleine Lücke zwischen den Bildern der einzelnen Kameras erzeugt. So können Doppelzählungen ausgeschlossen werden und es wird eine gleichmäßigere Erfassung des Untersuchungsgebietes erreicht. Zusätzlich zur seitlichen Blickrichtung kann das Kamerasystem entweder in Flugrichtung oder gegen die Flugrichtung geneigt werden (Abb. 1). Durch diese Anordnung können sehr effizient störende Lichtreflexe auf der Wasseroberfläche vermieden werden, indem das System immer zur sonnenabgewandten Seite geschwenkt wird.

Die Standardflughöhe für Erfassungen im Offshorebereich beträgt 549 m (1800 ft), kann jedoch, je nach Fragestellung, variiert werden. Bei dieser Flughöhe decken die vier Kameras, ohne Überlappung, einen 544 m breiten Streifen quer zur Flugrichtung ab. Die Bodenauflösung beträgt hierbei 2 cm je Pixel. Mit dem System werden dann geradlinige Transekte abgeflogen und mit einer

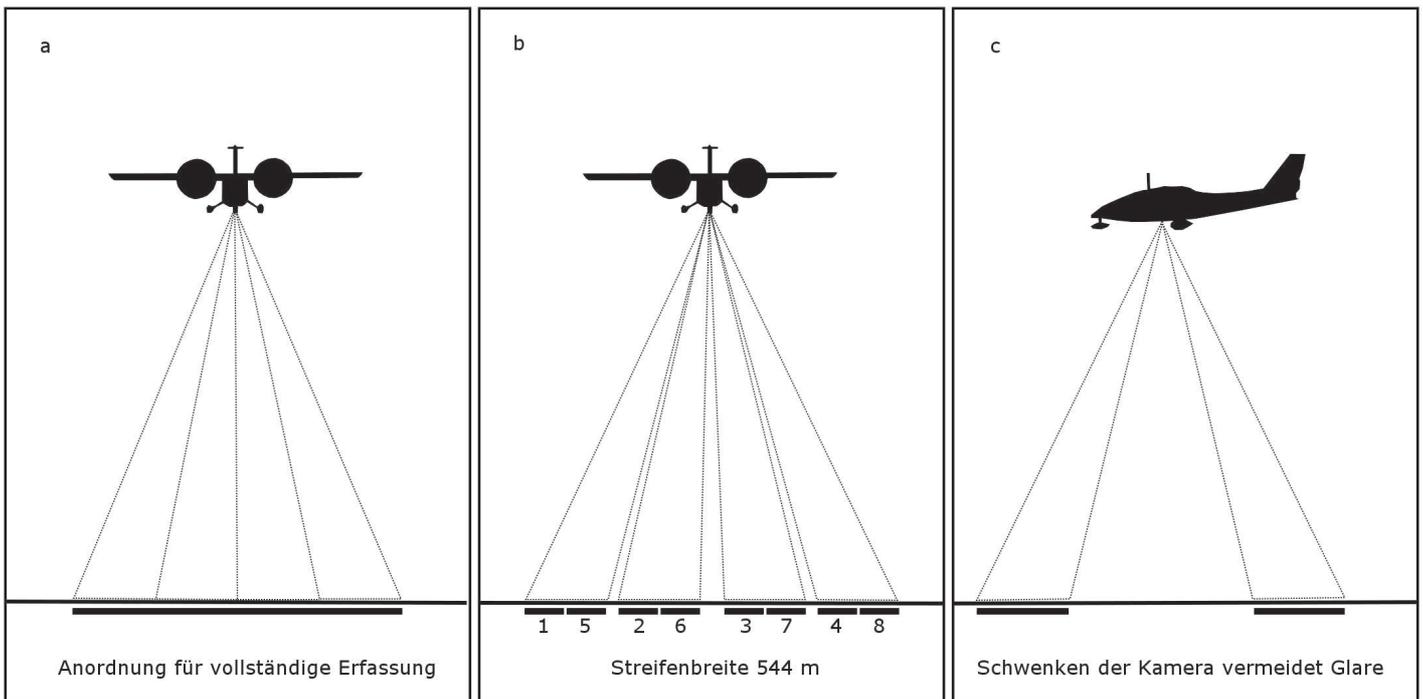


Abb. 1: a) Anordnung des Kamerasystems für eine vollständige Erfassung. b) Das Kamerasystem besteht aus vier Kameras, die für Standarderfassungen mit Lücken zwischen den Bildern ausgerichtet werden. Jeder Kamerastreifen wird für die Auswertung geteilt, so dass insgesamt acht Videosequenzen ausgewertet werden. c) Zur Vermeidung von Lichtreflexionen („glare“) wird das System von der Sonne weg geschwenkt.

Rate von 7 Bildern je Sekunde aufgezeichnet.

Die Ausrichtung und der Abstand der Transekte werden je nach Fragestellung angepasst. Bei Untersuchungen im Offshorebereich wird häufig ein Verlauf senkrecht zur Küstenlinie gewählt, um graduelle Änderungen der Wassertiefe besser zu erfassen. Für Umweltuntersuchungen an Offshore-Windenergieanlagen wird vom BSH (2014) eine Abdeckung von 10% des Untersuchungsgebietes gefordert, die mit dem HiDef System bei einem Transektabstand von 5 km erreicht wird.

Für die Erfassung muss die Wolkenuntergrenze oberhalb der Flughöhe liegen. Einzelne Abschnitte mit Wolken können jedoch durchfliegen werden und werden in der späteren Auswertung nicht berücksichtigt. Es werden jeweils möglichst ruhige Windverhältnisse für eine Erfassung angestrebt, doch können Flüge bei guter Sicht noch bis zu einer Windstärke von 6 Beaufort durchgeführt werden.

Das Videomaterial wird nach Durchführung des Flugs an Bildschirmarbeitsplätzen ausgewertet. Die Auswertung gliedert sich in drei Abschnitte:

1) zunächst wird das Bildmaterial gesichtet

und alle Objekte werden markiert („Review“),

- 2) anschließend werden die erfassten Objekte bestimmt („ID“) und schließlich
- 3) eine Einmessung der fliegenden Vögel für eine spätere Flughöhenbestimmung („birdheight“) vorgenommen.

Für die Betrachtung des Videomaterials werden die Aufnahmen der vier Kameras jeweils in der Mitte geteilt, damit sie in ihrer ganzen Breite auf einem Monitor auf einen Blick erfasst werden können. Die Videos werden dann in geringer Geschwindigkeit von 1-3 Bildern je Sekunde abgespielt. Durch die hohe Bildrate und die langsame Fluggeschwindigkeit ergibt sich eine Überlappung zwischen aufeinanderfolgenden Bildern, einzelne Objekte sind so auf bis zu acht Bildern sichtbar. Praktisch stationäre Objekte wie Vögel oder Meeressäuger werden beim Betrachten dieser langsamen Videos vom menschlichen Auge vor der ständig in Bewegung befindlichen Wasseroberfläche gut erkannt. Auch die bei vielen Vogelarten vorhandenen hellen Gefiederpartien helfen bei der Entdeckung. Die Position der Objekte auf dem Bildmaterial wird für die weitere Auswertung markiert und es wird bereits eine grobe Einordnung in Vogelobjekte, Meer-

essäuger und anthropogene Strukturen (Schiffe, Windturbinen, Bojen) vorgenommen. Um Doppelzählungen zwischen benachbarten Kameras auszuschließen und um die Streifenbreite zu standardisieren, wird der Bildschirm horizontal durch eine rote Linie geteilt und nur Objekte markiert, die aufeinander folgenden Bildern sowohl oberhalb als auch unterhalb dieser Linie erscheinen. Abschnitte über Land oder Abschnitte, die wegen Wolken oder starker Lichtreflexe nicht auswertbar sind, werden markiert. Die Objekterkennung wird von einer Qualitätssicherung begleitet, bei der 20% der Videosequenzen von einer zweiten Person (Auditor) betrachtet werden. Die Anzahl der erfassten Objekte wird zwischen dem ersten (Reviewer) und dem zweiten Bearbeiter (Auditor) verglichen und nur wenn der Reviewer wenigstens 90% der Objekte des Auditors erkannt hat, kann der Reviewer die Filme des Flugs weiter bearbeiten. Dieser Schritt wird auch zum internen Training der Mitarbeiter verwendet, da sich die Bearbeiter des Review so immer wieder abstimmen und abgleichen.

Die erfassten Objekte werden im zweiten Schritt von erfahrenen Ornithologen bestimmt. Bei Vögeln und Meeressäugern wird nach Möglichkeit eine Bestimmung bis zum Artniveau vorgenommen und, falls dies

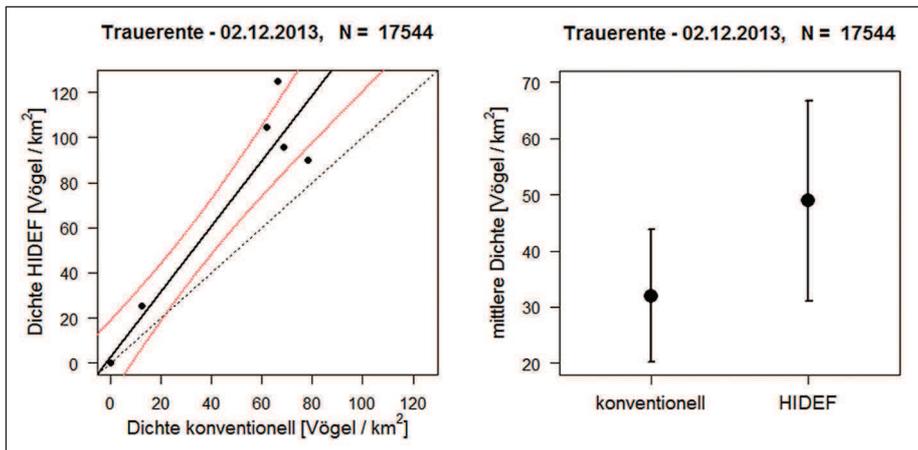


Abb. 2: Ein Vergleichsflug zwischen dem HiDef System und einem konventionellen Zählflug ergab konstant höhere Dichten von Trauerenten nach dem HiDef System.

nicht möglich ist, eine Einordnung in taxonomische Gruppen. Hilfreich für die Bestimmung ist eine Messfunktion, die über die Größe einzelner Pixel (2 cm) das Ausmessen von Objekten erlaubt. Bei allen Vögeln wird zudem das Verhalten grob klassifiziert (schwimmend, fliegend, an Land sitzend) und nach Möglichkeit Alter (adult, immatur, juvenil) und Geschlecht bestimmt. Bei fliegenden Vögeln wird weiterhin die Flugrichtung in 45°-Klassen (N, NW, W...) erfasst. Bei Meeressäugetiern wird erfasst, ob sie sich auf den Bildern oberhalb oder unterhalb der Wasseroberfläche aufhalten. Tiere, die sich auf allen Bildern unterhalb der Wasseroberfläche aufhalten, werden als „abgetaucht“ gewertet. Erscheint das Tier auf mindestens einem Bild oberhalb der Wasseroberfläche, was oft an Lichtreflexen auf der glatten Haut erkennbar ist, so ist es „aufgetaucht“. Ist auf dem Bild, auf dem sich das Tier in der Bildmitte befindet, die Rückenflosse über der Wasseroberfläche, so wird es als „aufgetaucht an roter Linie“ gewertet. Diese Informationen können im Zusammenhang mit dem bekannten Tauchverhalten für eine Dichteberechnung genutzt werden. Vögel und Meeressäugetiern, die zu einer Gruppe gehören, z.B. Mutter-Kind-Paare bei Schweinswalen oder ein Schwarm in Formation fliegender Weißwangengänse, werden als Gruppe gekennzeichnet. Nach Möglichkeit werden zudem das Verhalten und die Assoziation nach StUK4 (2014) bestimmt. Der ID-Prozess beinhaltet ebenfalls eine Qualitätssicherung. Es werden 20% aller Individuen zufällig ausgewählt und von einer zweiten Person unabhängig bestimmt. Widersprüche in der Bestimmung werden von einer dritten Person beurteilt. Bei mehr

als 10% Abweichungen in der Bestimmung, werden alle Objekte des Films erneut bestimmt und die Mitarbeiter werden anhand der Fehler nachgeschult.

Nach Abschluss der ID wird für alle fliegenden Vögel die Flughöhe mithilfe der Parallaxe bestimmt. Durch die Überlappung aufeinanderfolgender Videobilder sind fliegende Objekte auf etwa acht aufeinander folgenden Bildern sichtbar. Mit zunehmender Flughöhe bewegen sich die Vögel aufgrund der Parallaxenverschiebung scheinbar schneller als der Hintergrund. Hierbei wird auch die Flugrichtung der Vögel berücksichtigt, die aus dieser Parallaxenverschiebung, die von stationären Objekten ausgeht, herausgerechnet werden muss. Die Flughöhe kann jeweils aus benachbarten Bildpaaren bestimmt werden und es kann durch die meist sieben Bildpaare ein Konfidenzintervall für die Flughöhe berechnet werden. Für die Auswertung werden nur Datensätze berücksichtigt, bei denen das Konfidenzintervall nicht mehr als doppelt so groß ist wie die Flughöhe.

Wetterbedingungen und Lichtverhältnisse können einen großen Einfluss auf die Erfassungswahrscheinlichkeit der Objekte auf den Bildern haben. Beeinträchtigungen bei der Detektion werden insbesondere durch Lichtreflexe auf der Wasseroberfläche sowie durch Wellen und Schaumflächen verursacht, die von den Objekten ablenken. Für Meeressäugetiern spielt zudem die Wassertrübung eine große Rolle. Negativ kann sich auch eine hohe Luftfeuchtigkeit oder Luftflimmern auswirken. Diese Parameter werden daher in Intervallen von 500 Videobildern (ent-

spricht etwa alle 4400 m auf dem Transekt) erfasst. Für die Bestimmung des Seegangs („sea state“), der Wassertrübung und der Lufttrübung wird das Bildmaterial von Kamera 2 als repräsentativ gewertet (Abb. 1). Die Lichtreflexe werden auf allen Kameras bewertet. Für die Bewertung von Lichtreflexen, Wassertrübung und Lufttrübung wird jeweils eine dreiteilige Skala von 1 = nicht erkennbar, 2 = vorhanden aber nicht störend, 3 = störend gewählt. Der „sea state“ wird nach der zehnteiligen Skala von Petersen bewertet.

Alle bestimmten Objekte werden anhand des GPS-Tracks und der Ausrichtung der Kameras georeferenziert. Der GPS-Track wird in Abschnitte von einer Sekunde (entspricht etwa 62 m bei 222 km/h) unterteilt und jeder Abschnitt mit Wetterparametern hinterlegt. Abschnitte, die bei der Sichtung des Materials als nicht auswertbar eingestuft wurden (z.B. wegen Wolken, Land oder starker Lichtreflexionen („glare“)), werden als nicht gültig gekennzeichnet. Für die Videobilder wird jeweils in ihrer ganzen Breite eine gleichmäßige Erfassungswahrscheinlichkeit angenommen, so dass aus den erfassten und bestimmten Individuen und der Streifenbreite für jeden Abschnitt ohne weitere Korrekturschritte Individuendichten von Vögeln berechnet werden können.

Ergebnisse

Allgemein

Von Januar 2014 bis Dezember 2015 wurden insgesamt 93 Zählflüge in deutschen Gewässern durchgeführt. In einer Stichprobe von 50 Flügen wurden insgesamt 351.240 Vögel und 7.837 Meeressäugetiern erfasst. Die Anzahl der Tiere je Flug variierte dabei stark von nur 155 Vögeln auf einem Juli-Flug in der Ostsee bis zu 45.630 Vögeln auf einem Februar-Flug, ebenfalls in der Ostsee. Die meisten Meeressäugetiern (537) wurden auf einem Juni-Flug in der Nordsee gefunden. Ein hoher Anteil der Vögel (90,0%) und Meeressäugetiern (88,1%) konnte dabei bis auf Artniveau bestimmt werden. Ein geringer Anteil von 1,2% aller Vögel konnte keiner Vogelgruppe zugeordnet werden und ging als unbestimmter Vogel in die Datenbank ein. Die bei weitem häufigste Gruppe unter den Vögeln waren Enten (65% aller bestimmten Vögel). Typische Hochseevögel wie Basstölpel, Eissturmvögel und Raubmöwen machten

insgesamt deutlich unter 1% der bestimmten Vögel aus. Die Bestimmung der Vögel gelang nicht in allen Vogelgruppen gleich gut (Tabelle 1). Ein limitierender Faktor bei der Bestimmung ist offensichtlich die Größe. So ließen sich nur 21,7% der Singvögel auf Artniveau bestimmen; bei Seeschwalben lag dieser Anteil bei 18,4%, wobei die Unterscheidung von Fluss- und Küstenseeschwalben ein anerkanntes Bestimmungsproblem darstellt. In anderen für die Bewertung im Offshorebereich wichtigen Artgruppen wie bei den Seetauchern, Alken, Entenvögeln und Möwen konnte hingegen ein sehr hoher Anteil der Vögel auf Artniveau bestimmt werden.

Testflug Östliche Kieler Bucht

Am 23. Februar 2014 wurde im Rahmen eines Testflugs der Großteil des Europäischen Vogelschutzgebietes Östliche Kieler Bucht befliegen, das eines der Hauptkonzentrationsgebiete von überwinternden Meeressäugern in der Ostsee darstellt. Bei diesem Flug wurden 10 Transekte mit einem Transektabstand von 3 km befliegen und die Flughöhe zwischen den Transekten in drei Stufen (549 m, 457 m, 381 m) variiert. Mit der Befliegung sollte unter anderem ermittelt werden, ob die Flughöhe und damit auch die Auflösung der Bilder einen Einfluss auf die Bestimmbarkeit der Vögel und auf die

Tabelle 1: Anteile auf Artniveau bestimmter Vögel und Meeressäuger einzelner Taxa

Gruppe	Anzahl	Anteil auf Artniveau bestimmt
Alle Vögel	351.240	90,0%
Seetaucher	10.587	88,5%
Lappentaucher	1.310	64,0%
Röhrennasen	101	100,0%
Tölpel	875	100,0%
Entenvögel	227.355	99,4%
Greifvögel	71	94,4%
Limikolen	25.669	58,7%
Raubmöwen	30	66,7%
Möwen	57.816	85,8%
Seeschwalben	5.435	18,4%
Alkenvögel	13.673	80,7%
Singvögel	2.419	21,7%
Alle Meeressäuger	7.837	88,1%
Robben	2.106	71,9%

Tabelle 2: Anteile fliegender Vögel dreier Meeressäugerarten bei unterschiedlichen Flughöhen des Flugzeugs. Digitaler Erfassungsflug am 23. Februar 2014 des Vogelschutzgebietes Östliche Kieler Bucht.

Flughöhe	549 m	457 m	381 m
Eiderente [Anteil fliegend]	1,5% (n=15352)	1,8% (n=1272)	0,8% (n=513)
Trauerente [Anteil fliegend]	21,0% (n=5564)	41,9% (n=482)	3,7% (n=455)
Eisente [Anteil fliegend]	6,4% (n=425)	1,3% (n=160)	0,0% (n=64)

Scheuchwirkung durch das Flugzeug haben. Die Bildauflösung nahm mit abnehmender Flughöhe von 2 cm / Pixel (Flughöhe 549 m) auf 1,7 cm / Pixel (457 m) bzw. 1,4 cm / Pixel (381 m) zu. Als Maß für Störungen bei Entenvögeln wurde der Anteil fliegender Vögel zu sitzenden Vögeln angenommen. Insgesamt wurden bei der Befliegung 26.085 Vögel in 32 Arten erfasst. Bei den als sehr empfindlich gegenüber Störungen geltenden Arten Eiderente, Trauerente und Eisente zeigte sich jedoch kein deutlicher Zusammenhang zwischen Störungsintensität und Flughöhe (Tabelle 2). Bei Trauerenten war der Anteil fliegender Vögel insgesamt höher als bei Eider- und Eisenten.

Die Auflösung von 2 cm / Pixel erbrachte bereits einen sehr hohen Anteil auf Artniveau bestimmter Vögel von 98,0%. Dies lag insbesondere am sehr hohen Anteil auf Artniveau bestimmter Enten von 99,2%. Bei Seetauchern, Lappentauchern, Möwen und Alken zeigten sich hingegen auch Grenzen der Bestimmbarkeit und der Anteil bestimmter Vögel stieg mit zunehmender Auflösung der Bilder (1,7 cm / Pixel bzw. 1,4 cm / Pixel) an, wobei die teilweise geringe Stichprobe der niedrigen Flughöhen zu berücksichtigen ist.

Anhand der Befliegung konnten Dichten rasender Individuen für einen Teil des Vogelschutzgebietes Östliche Kieler Bucht bestimmt werden. In Tabelle 4 werden die Bestandsdichten für ausgewählte Arten dargestellt und auf einen Bestand für eine Teilfläche von 555 km² im zentralen Teil des Schutzgebietes (knapp 75% des Gesamtgebietes) hochgerechnet. Eiderenten waren mit Abstand die häufigsten Vögel im Untersuchungsgebiet.

Vergleichsflug Visueller und HiDef Zählflug

Am 2. Dezember 2013 wurde westlich der Nordfriesischen Küste ein Vergleichsflug mit

einem visuellen Erfassungsflug nach DIEDE- RICH'S et al. (2002) und einem HiDef Digitalflug durchgeführt. Dabei wurden sechs Transekte einer Länge von je 54 km mit beiden Methoden erfasst. Der HiDef Flug startete mit 30 Minuten Vorsprung um zu vermeiden, dass die Vögel durch das niedrig fliegend Flugzeug des konventionellen Zählflugs gestört werden. Der Abstand zwischen den Flugzeugen vergrößerte sich aufgrund der um 37 km/h höheren Geschwindigkeit des vorausfliegenden Flugzeugs im Laufe der Befliegung. Auf diesen Flügen wurden 2.203 Trauerenten auf dem visuellen Flug und 15.341 mit der digitalen Befliegung erfasst. Bei der digitalen Erfassung wurde eine 3,8-mal größere Fläche ausgezählt als bei der visuellen. Überträgt man die Anzahl der Trauerenten aus dem visuellen Zählflug auf die 3,8-fache Fläche des digitalen Fluggebietes, ergibt sich ein Erwartungswert von 8.371 Trauerenten-Sichtungen. Dieser wurden mit 15.341 Sichtungen weit übertroffen. Ein statistischer Vergleich der pro Transekt berechneten Dichten ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen den verschiedenen Erfassungsmethoden (Abb. 2a; R² = 0,93; t = 9,6; p < 0,001). Während der Y-Achsenabschnitt (Intercept) nicht signifikant verschieden von 0 war (t = 0,4; p = 0,7), war die Steigung der Regressionsgeraden jedoch signifikant größer als 1 (Konfidenzintervall 1,1 – 1,8). Die auf dem digitalen Flug ermittelten Dichten waren somit systematisch höher als auf dem visuellen Vergleichsflug. Darüber hinaus bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Dichten des Gesamtgebietes (Abb. 2b; gepaarter t-Test: t = 2,4; p = 0,04); die Dichte nach Digitalflügen war im Mittel 17 Vögel/km² höher als nach Daten des visuellen Flugs.

Diskussion

Digitale Erfassungsflüge werden erst seit wenigen Jahren in Deutschland durchgeführt. Mit 93 HiDef Flügen in der deutschen Nord- und Ostsee bis Ende 2015 besteht jedoch

Tabelle 3: Anteile auf Artniveau bestimmter Vögel nach Vogelgruppen und Flughöhen des Flugzeugs. Die Daten stammen aus einer Erfassung im Vogelschutzgebiet Östliche Kieler Bucht am 23. Februar 2014.

Flughöhe	549 m 2,1 cm/Pixel	457 m 1,7 cm/Pixel	381 m 1,4 cm/Pixel
Alle Vögel [Anteil bestimmt auf Gruppenniveau]	99,4% (n=22798)	99,3% (n=2151)	99,3% (n=1136)
Alle Vögel [Anteil bestimmt auf Artniveau]	98,0% (n=22798)	97,6% (n=2151)	97,9% (n=1136)
Anteile auf Artniveau bestimmter Enten	99,2% (n=22104)	99,0% (n=1973)	99,2% (n=1063)
Anteile auf Artniveau bestimmter Seetaucher	85,5% (n=76)	90,5% (n=21)	92,9% (n=14)
Anteile auf Artniveau bestimmter Lappentaucher	68,1% (n=113)	90,0% (n=60)	84,2% (n=38)
Anteile auf Artniveau bestimmter Möwen	76,2% (n=227)	98,6% (n=71)	100% (n=3)
Anteile auf Artniveau bestimmter Alken	52,9% (n=17)	66,7% (n=6)	100% (n=4)

trotz dieser kurzen Zeit viel Erfahrung und somit eine gute Basis für eine Bewertung dieser Methode. Ein Vergleich bietet sich insbesondere zu den visuellen Zählflügen nach DIEDERICHS et al. (2002) und Schiffstransektfahrten nach dem ESAS Standard (WEBB & DURINCK 1992) an.

Die geringen Anteile fliegender Vögel, insbesondere bei den als sehr empfindlich geltenden Meeresenten (vgl. GARTHE & HÜPPOP 2004), auf den HiDef Erfassungsflügen geben keine Hinweise auf eine Scheuchwirkung durch das Flugzeug, was mit der großen Flughöhe in Verbindung stehen dürfte. Ein enger Zusammenhang zwischen Flughöhe und Störwirkung wurde z.B. von KOMENDA-ZEHNDER et al. (2003) beschrieben wobei die Störwirkung erst unterhalb 300 m einsetzte weshalb der Probeflug in der Östlichen Kieler Bucht mit einer minimalen Flughöhe von 381 m wahrscheinlich noch keine Fluchtreaktionen auslöste. Visuelle Zählflüge in einer Höhe von 76 m nach DIEDERICHS et al. (2002) stellen hingegen für einige Arten eine große Störung dar. Insbesondere Trauerenten fliegen in der Regel vor dem herannahenden Flugzeug auf (vgl. BUCKLAND et al. 2012). Für Schiffe sind ähnliche Scheuchwirkungen beschrieben; neben Meeresenten flüchten insbesondere auch Seetaucher schon auf große Entfernung vor Schiffen (GARTHE & HÜPPOP 2004). So liegt der Anteil fliegender Seetaucher bei Schiffserfassungen häufig bei über 60%, bei HiDef Erfassungen jedoch nur bei

etwa 3% (eigene, unveröffentl. Daten). Auch Lockwirkungen durch Schiffe z.B. auf Möwen sind umfassend beschrieben (vgl. TÄSKER et al. 2004). Die geringe Scheuchwirkung der digitalen Erfassungsmethode ist in mehrfacher Hinsicht besonders hervorzuheben. Einerseits finden insbesondere Monitoringflüge überwiegend in sensiblen Schutzgebieten statt, in denen Störungen schon aus Schutzgründen auf ein Minimum reduziert werden sollten. Zudem bietet sich mit dem HiDef System die Möglichkeit sowohl die ungestörte Verteilung der Vögel als auch deren ungestörtes Verhalten zu erfassen. Auf diese Weise werden viel eher bedeutende Nahrungsflächen und Rastgebiete erkannt, zudem werden Doppelzählungen durch Umverteilung flüchtender Vögel vermieden und andererseits werden alle Vögel erfasst, da diese nicht unbemerkt in größerer Entfer-

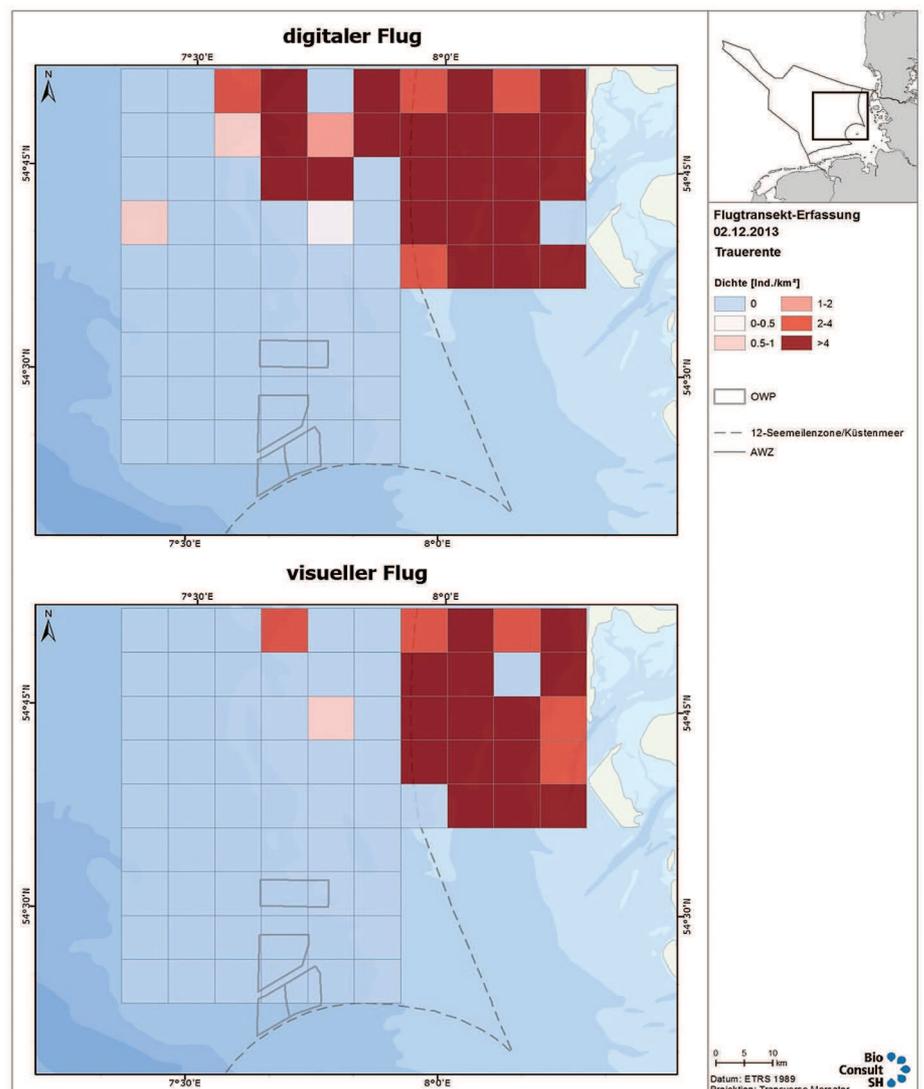


Abb. 3: Verteilung von Trauerenten westlich von Sylt nach einem Vergleichsflug mit dem HiDef System und einem konventionellen Zählflug.

nung abfliegen. Die Unterschiede sind im Vergleich der westlich von Sylt ermittelten Trauerentenzahlen und Verteilung deutlich. Auch BUCKLAND et al. (2012) ermittelten bei einem Vergleich zwischen visuellen und digitalen Flughöhen in Großbritannien höherer Dichten von Trauerenten mit der digitalen Erfassung.

Digitale Erfassungen von Seevögeln waren anfangs auch von den Sensorgrößen der Kameras limitiert (vgl. BUCKLAND et al. 2012). Dank technischer Weiterentwicklungen erreicht das HiDef Kamerasystem mittlerweile eine Abdeckung von 544 m bei einer immer noch sehr hohen Auflösung von 2 Pixel / cm. Dieser Wert übertrifft damit die Erfassungsbreite visueller Zählflüge deutlich, bei denen nach BSH (2007) nur eine Transektbreite von 2 x 122 m für die Dichteberechnungen berücksichtigt werden soll. Zudem ist bei visuellen Zählflügen häufig eine Seite des Flugzeugs durch störende Lichtreflexe nicht auswertbar, was die erfasste Fläche weiter reduziert. SAS Schiffstransektfahrten liegen mit einer Streifenbreite von 600 m bei beidseitiger Erfassung in einer ähnlichen Größenordnung wie das HiDef System; sie sind allerdings durch die langsame Fahrtgeschwindigkeit stark eingeschränkt. Die in einer Stunde erfasste Fläche beträgt mit dem HiDef System 121 km², bei visuellen Zählflügen 44 km² und bei ESAS Transektfahrten 11 km².

Bei digitalen Flugerfassungen wird die erfasste Fläche mit den darauf registrierten Vögeln und Meeressäugetieren dauerhaft als Bild gespeichert und damit dokumentiert. Eine Interpretation des Materials in Form der Detektion und Bestimmung der Objekte erfolgt in einem unabhängigen zweiten Schritt. Im Gegensatz hierzu erfolgt sowohl bei visuellen Zählflügen als auch bei ESAS Transektfahrten die Erfassung und Interpretation der Beobachtungen in einem Schritt im Feld, dokumentiert wird nur die Interpretation des Beobachters. Die Entkoppelung von Erfassung und Interpretation bei der HiDef Methode bietet entscheidende Vorteile, da hier sehr viel mehr Zeit zur Verfügung steht. So können große Vogelschwärme und unübersichtliche Ansammlungen unterschiedlicher Vogelarten in Ruhe nach Art, Alter und Geschlecht getrennt ausgezählt und bestimmt werden, wofür bei visuellen Zählflügen und

Tabelle 4: Bestandsdichten ausgewählter Vogelarten im zentralen Bereich des Vogelschutzgebietes Östliche Kieler Bucht und hochgerechneter Bestand auf der Teilfläche von 555 km² (knapp 75% der Gesamtfläche) nach Daten einer Befliegung am 23. Februar 2014. Als Vergleich sind Bestandsangaben aus dem Standarddatenbogen für das Vogelschutzgebiet aufgeführt (Land SH 2016).

Art	Dichte Ind./km ²	Bestand Teilfläche	Bestand gesamtes SPA lt. Datenbogen
Sternaucher n= 51	0,51	282	
Prachtaucher n=13	0,13	72	
Alle Seetaucher inkl. Unbestimmte n=75	0,75	415	
Haubentaucher n=142	1,41	785	
Rothalstaucher n=2	0,02	11	
Ohrentaucher n=8	0,08	44	
Eiderente n=17119	170,33	94680	120000
Trauerente n=6499	64,66	35944	75000
Samtente n=37	0,37	205	
Schellente n=317	3,15	1753	6700
Eisente n=647	6,44	3578	35000
Gänsesäger n=47	0,47	260	
Mittelsäger n=11	0,11	61	-
Silbermöwe n=134	1,33	741	
Sturmmöwe n=44	0,44	243	
Gryllteiste n=8	0,08	44	
Tordalk n=7	0,07	39	
Alle Alken inkl. Unbestimmte n=25	0,25	138	

Transektfahrten keine Zeit vorhanden ist. Insbesondere bei großen Schwärmen von Meeressäugern oder bei gemischten Schwärmen von Möwen hinter Fischkuttern sind Beobachter häufig überfordert und können nur Schätzungen mit unbekanntem Fehler vornehmen. Zudem ist es auf Bildern möglich, Zusatzinformationen wie Flugrichtung und Flughöhe einzumessen statt sich auf Schätzungen zu verlassen. Darüber hinaus kann durch die Aufzeichnung der Daten eine umfassende Qualitätssicherung durchgeführt werden, die bei visuellen Zählflügen durch einen unabhängigen 3. Beobachter realisiert wird. Die Auswertung von Bildern stellt jedoch für spezielle Fragestellungen auch einen Nachteil dar, denn durch die Aufzeichnung als Bild gehen Informationen verloren. Beobachter auf einer SAS Transektfahrt können auch komplexe Verhaltensweisen erkennen

und bewerten, die auf Bildern nicht erkennbar sind. So fällt es zum Beispiel auf Bildern schwer zu beurteilen, ob ein fliegender Vogel nach Nahrung sucht oder ein Gebiet nur überfliegt.

Die bei HiDef Flügen standardmäßig eingesetzte Auflösung von 2 cm / Pixel ermöglicht die Bestimmung eines sehr hohen Anteils der gefundenen Vögel und Meeressäugtiere. Auch die Unterscheidung von Stern- und Prachtauchern, Samt- und Trauerente und fliegenden Möwen gelingt in den meisten Fällen. Durch die hohe Bildrate sind je Vogel mehrere Bilder verfügbar. Dies ist insbesondere für die Bestimmung fliegender Vögel von Vorteil, da so unterschiedliche Flügelhaltungen abgebildet werden. Bei kleinen und sehr ähnlichen Arten stößt die Methode jedoch an Grenzen. Als große Her-

Tabelle 5: Übersicht der Stärken (+) und Schwächen (-) der drei Erfassungsmethoden HiDef, Visuelle Zählflüge, SAS.

HiDef Flugerfassung	Visuelle Flugerfassung	SAS-Schiffstransektfahrt
<ul style="list-style-type: none"> + keine Scheuchwirkung + erhöhte Sicherheit + Daten sind dokumentiert + genaue Georeferenzierung + Bestimmung von Flughöhen + Bestimmung von Flugrichtungen + exakte Zahlen für große Schwärme + gleichmäßige Erfassungswahrscheinlichkeit + sehr große Abdeckung + gleichmäßige Abdeckung von Windparks möglich + relativ unempfindlich gegenüber sea state 	<ul style="list-style-type: none"> + große Abdeckung + auch bei niedrigen Wolken durchführbar 	<ul style="list-style-type: none"> + sehr genaue Artbestimmung + Alters- und Geschlechtsbestimmung + genaue Erfassung von Verhalten und Assoziation + unabhängig von Bewölkung + relativ unempfindlich gegenüber sea state
<ul style="list-style-type: none"> - hoher Zeitaufwand in Auswertung - wenig Information zum Verhalten - einige Arten schwer zu bestimmen - nur bei klarem Himmel oder ausreichend hoher Bewölkung 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Scheuchwirkung - Schätzfehler bei Schwärmen - Daten sind nicht überprüfbar - Daten müssen für die entfernungsabhängige Detektionswahrscheinlichkeit korrigiert werden - sehr hohe Anforderungen an Wetterbedingungen - viele Arten schwer zu bestimmen - Kollisionsrisiko in Windparks - Gasseneffekt in Windparks 	<ul style="list-style-type: none"> - sehr hohe Scheuchwirkung - Schätzfehler bei Schwärmen - Daten sind nicht überprüfbar - Daten müssen für die entfernungsabhängige Detektionswahrscheinlichkeit korrigiert werden - Anlockwirkung des Schiffes - sehr langsam - Meeressäuger sehr schwer zu erfassen - Gasseneffekt in Windparks

ausforderungen haben sich die Unterscheidung von Trottellumme und Tordalk sowie die Bestimmung von Ohrentauchern herausgestellt, die häufig nicht möglich ist. Zudem können Fluss- und Küstenseeschwalben häufig nicht unterschieden werden. Trotzdem stellen die Möglichkeiten der Artbestimmung bei HiDef Erfassungen einen großen Fortschritt gegenüber visuellen Zählflügen dar, bei denen eine Unterscheidung beispielsweise von Pracht- und Sterntaucher oder von Trottellumme und Tordalk in der Regel gar nicht vorgenommen werden kann. Die genauesten Bestimmungsergebnisse liefert allerdings weiterhin die SAS Methode, bei der von erfahrenen Beobachtern auch sehr ähnliche Arten wie Fluss- und Küstenseeschwalbe unterschieden werden können und auch ei-

ne exakte Altersbestimmung in vielen Fällen möglich ist.

Der ursprüngliche Anstoß für eine Umstellung von visuellen zu digitalen Erfassungsflügen waren Sicherheitsaspekte. Mit einer Flughöhe von 549 m besteht bei der HiDef Methode keine Gefahr mehr mit Windturbinen zu kollidieren. Hierdurch können Transekte auch geradlinig über Windparks gelegt werden und so gleichmäßig Flächen in der Nähe und in größerem Abstand zu Windenergieanlagen erfasst werden. Bei visuellen Zählflügen und bei SAS Transektfahrten müssen die Transekte jeweils in die Gassen zwischen den Windenergieanlagen gelegt werden und es erfolgt somit keine repräsentative Beprobung der Fläche.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen der HiDef Methode und visuellen Zählflügen bzw. SAS Transektfahrten besteht in der Verteilung der Erfassungswahrscheinlichkeit. Bei visuellen Zählflügen und SAS Transektfahrten handelt es sich um eine Liniensektanzählung, bei der die Wahrscheinlichkeit einen Vogel oder ein Meeressäuger zu finden, mit der Entfernung zur Grundlinie abnimmt. Alle Beobachtungen werden Entfernungsklassen zugeordnet, die in Bändern parallel zur Grundlinie verlaufen. Aus der Verteilung der Beobachtungen kann die Abnahme der Erfassungswahrscheinlichkeit für jede Vogelart bestimmt und korrigiert werden (BUCKLAND et al. 2005). Die Methode setzt eine genaue Zuordnung der Beobachtungen in die Entfernungsklassen

voraus und nimmt eine gleichmäßige Verteilung der Vögel im Raum an, die zum Beispiel bei Meerestenten häufig nicht gegeben ist. Bei den Videobildern des HiDef Systems kann aufgrund der Breite der Bilder und der nahezu einheitlichen Größendarstellung der Objekte eine gleichmäßige Erfassungswahrscheinlichkeit über die gesamte Transektbreite angenommen werden und eine Diszanzkorrektur ist nicht nötig.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen sehr hohe Sichtungsraten von Meeressäugetieren durch die HiDef Methode, wobei die Tiere bei entsprechend klarem Wasser auch unter der Wasseroberfläche sichtbar sind. Eine Studie aus Großbritannien konnte die Eignung der Methode für die Bestimmung von relativen Dichten nachweisen (WILLIAMSON et al. in press).

Jede Erfassungsmethode stellt spezifische Ansprüche an die Wetterbedingungen. Als relativ unempfindlich stellen sich SAS Transektfahrten dar, die praktisch unabhängig von Bewölkung und Niederschlägen und bis sea state 4 durchgeführt werden können (vgl. StUK4, BSH 2013). Visuelle Transektflüge können nur bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten durchgeführt werden: Flüge für die Erfassung von Meeressäugetieren werden bis sea state 2 und zur Erfassung von Vögeln bis sea state 3 durchgeführt. Die Wolkendecke muss oberhalb der Flughöhe liegen und die Sichtbedingungen insgesamt die sichere Durchführung des Fluges nach Sichtflugregeln zulassen. HiDef Flüge können bis sea state 6 durchgeführt werden, wobei der Aufwand in der Auswertung deutlich ansteigt, wenn auf den Bildern zahlreiche Schaumkronen vorhanden sind. Aufgrund der größeren Flughöhe muss die Untergrenze der Wolken deutlich höher liegen als bei visuellen Zählflügen, was im Winterhalbjahr die Zahl der geeigneten Flugtage deutlich einschränkt.

Die Präzision in der Auszählung und Bestimmung der Objekte bei der HiDef Methode bedingt einen hohen Arbeitsaufwand, der deutlich über dem eines visuellen Zählfluges oder einer SAS-Transektfahrt liegt.

Abschließend kann gesagt werden, dass mit der Umstellung von visuellen Zählflügen zu digitalen Erfassungen die Qualität der Da-



Abb. 4: Beispielaufnahmen von Seevögeln und Meeressäugern mit dem HiDef System: Kormoran, Basstölpel, Sturmmöwe, Schweinswal, Heringsmöwe (oberer Vogel fliegt in großer Höhe) und Skua (im Uhrzeigersinn). Maßstab = 1m.

ten stark zugenommen hat und die Methode zahlreiche neue Möglichkeiten bietet.

Literatur

- BOWMANN TD (2014): Aerial Observer's Guide to North American Waterfowl. U.S. Fish and Wildlife Service.
- BSH (2003): Standarduntersuchungskonzept - Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt.
- BSH (2007): Standard - Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK3).
- BSH (2013): Standard - Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK4).
- BUCKLAND ST, ANDERSON DR, BURNHAM KP. & LAAKE JL (2005): Distance sampling. John Wiley & Sons, Ltd.
- BUCKLAND ST, LOUISE BURT M, REXSTAD EA, MELLOR M, WILLIAMS AE & WOODWARD R (2012): Aerial surveys of seabirds: the advent of digital methods. *Journal of Applied Ecology* 49: 960-967.
- DIEDERICHS A, NEHLS G & PETERSEN IK (2002): Flugzeugzählungen zur großflächigen Erfassung von Seevögeln und marinen Säugern als Grundlage für Umweltverträglichkeitsstudien im Offshorebereich. *Seevögel* 23: 38-46.
- GARTHE S & HÜPPOP H (2004): Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: deve-

loping and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology* 41, 724-734.

GÄTKE H (1891): Die Vogelwarte Helgoland. Braunschweig.

KIRCHHOFF K, PROKOSCH P & THIESSEN H (1983): Wasservogelerfassung mit dem Flugzeug an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. *Corax* 9: 154-177.

KOMENDA-ZEHNDER S, CEVALLOS M & BRUDERER, B (2003): Effects of disturbance by aircraft overflight on waterbirds—an experimental approach. *Proceedings International Bird Strike Committee May 2003*.

Land SH (2016): http://www.umweltdaten.landsh.de/public/natura/daten/detail.php?smodus=short&g_nr=1530-491 abgerufen am 14.02.2016.

TASKER ML, JONES PH, DIXON T & BLAKE BF (1984): Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. *The Auk*, 567-577.

WEBB A & DURINCK J (1992): Counting birds from ships. In: Komdeur J, Bertelsen J & Cracknell G (eds.): *Manual for aeroplane and ship surveys of waterfowl and seabirds*. IWRB Spec.Publ. 19: 24-37.

WILLIAMSON L, BROOKES KL, SCOTT BE, GRAHAM IM, BRADBURY G, HAMMOND PS & THOMPSON PM (in press): Echolocation detections and digital video surveys provide reliable estimates of the relative density of harbour porpoises.