Untersuchung der Effekte von Windenergieanlagen auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld *alpha ventus*

AP A: Pelagische Fische

Schlussbericht zum Projekt

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

Dr. Sören Krägefsky

Im Auftrag des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)

Bremerhaven, Mai 2014

StUKplus

Auftraggeber:

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Bernhard-Nocht-Straße 78
20359 Hamburg

Auftragnehmer:

Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum
für Polar- und Meeresforschung (AWI)
Am Handelshafen 12
27570 Bremerhaven

Stand:

Mai 2014

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben *alpha ventus* zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH“ (StUKplus) durchgeführt. Das StUKplus-Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0327689A gefördert. Es ist Bestandteil der Forschungsinitiative „Research at *alpha ventus*“ (RAVE).

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

RAVE
RESEARCH AT ALPHA VENTUS
Eine Forschungsinitiative des Bundesumweltministeriums

Untersuchung der Effekte von Windenergieanlagen auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld "alpha ventus“

Auftragnehmer	Auftragsnummer
Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung	0327689A/AWI1a

Projektbezeichnung

Untersuchung der Effekte von Windenergieanlagen auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld *alpha ventus*

Arbeitspaket A: Untersuchungen der Auswirkungen auf pelagische Fische

Laufzeit des Projektes

01.07.2008 - 30.04.2012

Projektbeteiligte

Dr. Sören Krägefsky

1. Zusammenfassung

Im Teilprojekt „Untersuchung der Effekte von WEAs auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld "alpha ventus“ AP A: Pelagische Fische“ wurden im Rahmen von StUKplus die möglichen Auswirkungen von Offshore-Windparks auf pelagische Fische untersucht und die eingesetzten Untersuchungsverfahren evaluiert und weiterentwickelt. *Alpha ventus* liegt ca. 45 km in nordwestlicher Richtung vor Borkum in einer Wassertiefe von ca. 27 – 30 m. Das Testfeldgebiet umfasst 12 Offshore-Windenergieanlagen (WEA) der 5 MW-Klasse mit einer Gesamtleistung von 60 MW. Die Gründung erfolgte für jeweils 6 WEA mit Tripoden und Jacket-Fundamenten. Der gesamte Windpark nimmt eine Fläche von ca. 4 km^2 ein. 2012 produzierte *alpha ventus* rund 268 GWh.

Die Untersuchungen basierten auf hydroakustischen Messverfahren, Netzfangbeprobung und Mageninhaltsanalysen an Fischen, die im *alpha ventus* Testfeldgebiet und im Gebiet außerhalb des Windparks gefangen wurden. Weiterhin umfasste das Projekt die Entwicklung eines stationären hydroakustischen Messsystems für Langzeitmessungen der Fischverteilung und Abundanz sowie eines absetzbaren Geräteträgers mit beweglichem Gerätekopf mit bildgebendem Sonar (Landersystem) für die Untersuchung der Fischverteilung innerhalb der Unterwasserstrukturen der Windenergieanlagen. Die Untersuchung umfasst einen Zeitraum vor der Bauphase, die Bauphase (2009) und die Betriebsphase von *alpha ventus* 2010 und 2011.

Die vorliegende Studie zeigt eine starke relative Erniedrigung des Fischbestands im *alpha ventus* Gebiet während der Bauphase, die eine scheuchende Wirkung auf pelagische Fische durch die Rammarbeiten und andere Bauaktivitäten vermuten lässt. Für die Betriebsphase (2010 und 2011) kann auf der Basis der saisonal in Frühjahr, Sommer und Herbst durchgeführten schiffsgebundenen hydroakustischen Surveys kein durch *alpha ventus* bedingter scheuchender oder attraktiver Effekt auf pelagische Fische festgestellt werden.

Die Mageninhaltsanalysen zeigen, dass Hartsubstrat-assoziierte Organismen, die durch die Verfügbarkeit von Hartstrukturen bedingt, ein erhöhtes Vorkommen im Windpark zeigen, für Makrele (*Scomber scombrus*) und Stöcker (*Trachurus trachurus*) unbedeutende Nahrungskomponenten im Windpark darstellen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen weiterhin signifikante Unterschiede zwischen den Magenfüllungsgraden der Makrelen innerhalb und außerhalb des Testfeldgebiets, die durch einen gestörten Nahrungserwerb innerhalb des Windparkgebiets oder durch Unterschiede im Futterfeld verursacht sein können.

2. Summary

This project has investigated the effects of offshore wind farms on pelagic fish within the StUKplus research framework and has evaluated and improved the survey methods. *Alpha ventus* is located in a distance of about 45 km in north-westly direction from Borkum in a water depth of 27 – 30 m. This test field consists of 12 offshore wind turbines of 5 MW class with a total capacity of 60 MW. Each six wind turbines have a tripod and jacket foundation, respectively. The wind farm covers an area of about 4 km^2. In 2012 *alpha ventus* produced 268 GWh.

The study is based on hydroacoustic survey methods, sampling with net catches, and stomach content analysis of fish caught outside and within the area of the wind farm. Furthermore stationary hydroacoustic measuring devices for long term monitoring and a lander system for surveying the fish distribution within underwater structures of the wind farm has been developed. The study covered a period before construction of alpha ventus, the construction (2009) and the operating period (2010 and 2011).

Study results show a strong relative decline in abundance of pelagic fish in the *alpha ventus* area compared to the surrounding area during construction of alpha ventus, suggesting scaring effects on fish by pile driving and other construction activities. Based on the seasonal ship-based hydroacoustic surveys in spring, summer and autumn there is no evidence for attraction or scaring effects of the wind farm on pelagic fish during the operating period (2010 and 2011).

Stomach content analysis shows that hard substrate-associated organisms, whose abundance is relatively increased within the wind farm area, are an insignificant component of food of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) and Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*) within the wind farm. Furthermore, mackerels within the wind farm show a significantly reduced degree of stomach fullness compared to mackerels caught outside the wind farm, suggesting disturbed food gathering behavior or differences in food composition and distribution within the wind farm.

3. Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung 4
2. Summary 5
3. Inhaltsverzeichnis 6
4. Tabellenverzeichnis 8
5. Abbildungsverzeichnis 11
6. Abkürzungsverzeichnis 15
7. Einleitung 16
8. Stand von Wissenschaft und Technik 19
8.1. Elektromagnetische Felder 19
8.2. Schalleintrag 20
8.3. Mittelbare Änderungen des lokalen Futterangebots 23
8.4. Struktur 24
9. Material und Methoden 25
9.1. Untersuchungsdesign 25
9.1.1. Messsysteme 27
9.1.1.1. Stationäres hydroakustisches Messsystem 27
9.1.1.2. Landersystem mit bildgebenden Sonar 29
9.1.2. Hydroakustischer Survey 30
9.1.2.1. Analyse- und Auswertungsmethoden 33
9.1.3. Netzfänge 33
9.1.4. Mageninhaltsanalyse 35
10. Methodenkritik 36
10.1. Einschränkungen und mögliche systematische Fehlabschätzungen durch horizontale hydroakustische Messungen 36
10.2. Modifiziertes Untersuchungskonzept 39
10.2.1. Beobachtungen der Verteilung von Fischen innerhalb der Unterwasserstrukturen einer WEA mit einem bildgebenden Sonar auf einem Landersystem 39
10.2.2. Stationäres Multifrequenz-Echolotsystem 40
10.2.3. Hydroakustische, schiffgebundene Surveys 40
11. Ergebnisse 41
11.1. Netzfänge 41
11.2. Hydroakustischer Survey 53

11.3. Mageninhaltsanalyse 80
11.3.1. Analyse auf Ebene der Einzelgewichtsanteile 81
11.3.2. Hauptnahrungsbestandteile und Gruppenvergleich auf der Ebene gewichteter Nahrungsbestandteile (Index der Präponderanz) 82
11.3.3. Gruppenvergleich durch den Schoener’s Index 84
11.3.4. Vergleich der Magenfüllungsgrade 84
12. Diskussion 90
12.1. Effekte des Windparks auf die Fischabundanz 90
12.2. Mageninhalt von Stöcker und Makrele 92
12.3. Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit den Resultaten anderer Studien zum Einfluss von Offshore Windparks auf pelagische Fische 94
13. Ausblick 95
14. Literaturangaben 96

4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Hols mit einem Pelagischen Schleppnetz im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums Frühjahr 2009 bis Herbst 2011 innerhalb und außerhalb von *alpha ventus* (Bau- und Betriebsphase). 41

Tabelle 2: Index der Similarität auf der Basis der relativen Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den Fängen innerhalb und außerhalb des Testfeldgebiets alpha ventus. Ein BCI von 0 bedeutet eine komplette Übereinstimmung der Zusammensetzung, ein BCI- Wert von 1 eine vollständige Dissimilarität. 46

Tabelle 3: Mittlere Gewichte (MF) und Standardabweichung (SD) der Fänge der unterschiedlichen pelagischen Fischarten während der verschiedenen Untersuchungsfahrten (HE300 - HE369). 46

Tabelle 4: Gesamtmesstransektstrecken [NM] der einzelnen saisonalen hydroakustischen Surveys während der Forschungsfahrten mit der FS Heincke im Frühjahr, Sommer und Herbst 2009, 2010 und 2011. 53

Tabelle 5: Forschungsfahrt HE300: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle). 54

Tabelle 6: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE300 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 56

Tabelle 7: Forschungsfahrt HE309: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle). 57

Tabelle 8: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE309 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 59

Tabelle 9: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und der Nacht, sowie im Referenzgebiet NW (Tag) während der HE313. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle). ...60

Tabelle 10: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE313 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag. 62

Tabelle 11: Forschungsfahrt HE313: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle). 63

Tabelle 12: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE323 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 65

Tabelle 13: Forschungsfahrt HE332: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für

den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).....66

Tabelle 14: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE332 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 68

Tabelle 15: Forschungsfahrt HE340: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).....69

Tabelle 16: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE340 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 71

Tabelle 17: Forschungsfahrt HE352: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).....72

Tabelle 18: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE352 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 74

Tabelle 19: Forschungsfahrt HE362: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).....75

Tabelle 20: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE362 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 77

Tabelle 21: Forschungsfahrt HE369: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).....78

Tabelle 22: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE362 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). 80

Tabelle 23: Anzahl der untersuchten Mägen von Stöcker (STÖ) und Makrele (MAK) für den Zeitraum 2008-2011 und die Betriebsphase (2010 und 2011) gesamt und für die einzelnen Fang-Orte (FINO1, *alpha ventus* Gebiet und Referenzgebiete).....81

Tabelle 24: Prozentuale Gewichtsanteile (% Gi), Auftretens-Häufigkeit (Hi) und prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) innerhalb der Gruppe der Stöcker, die im Zeitraum 2008 - 2011 bzw. während der Betriebsphase (2010 u. 2011) unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden sowie der aus % Gi und % Hi berechnete Präponderanz-Index (IOP) für die verschiedenen Nahrungsbestandteile (ohne organische Reste). 85

Tabelle 25: Prozentuale Gewichtsanteile (% Gi), Auftretens-Häufigkeit (Hi) und prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) innerhalb der Gruppe der Makrelen, die im Zeitraum 2008 - 2011 bzw. während der Betriebsphase (2010 u. 2011) unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden sowie der aus % Gi und % Hi berechnete Präponderanz-Index (IOP) für die verschiedenen Nahrungsbestandteile (ohne organische Reste).....86

Tabelle 26: Prozentuale Gewichtsanteile (% Gi), Auftretens-Häufigkeit (Hi) und prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) innerhalb der Gruppe der Makrelen, die während der Betriebsphase (2010 u. 2011) im *alpha ventus* Gebiet bzw. in den Referenzgebieten (RFG) gefangen wurden sowie der aus % Gi und % Hi berechnete Präponderanz-Index (IOP) für die verschiedenen Nahrungsbestandteile (ohne organische Reste). 87

Tabelle 27: Mittelwert, Standardabweichung (SD), Medianwert und Quartile der Magenfüllunggrade der Makrelen, die während der Betriebsphase im *alpha ventus* Gebiet, an der FINO1 sowie in den Referenzgebieten gefangen wurden sowie der Mittelwert, der sich aus log-transformierten Daten berechnet. Unter Gesamt av sind die Makrelen von FINO1 (Angel) und dem *alpha ventus* Gebiet (PSN) zusammengefasst. 88

5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets in der Deutschen Bucht. Kästen markieren das *alpha ventus* Gebiet (AV) und zwei Referenzgebiete südöstlich (Refernzgebiet SO) und nordwestlich (Referenzgebiet NW) von *alpha ventus*. Eine graue Umrandung zeigt die Begrenzung des Gesamtuntersuchungsgebiets der hydroakustischen vergleichenden Bestandsuntersuchungen (mesoskaliges Untersuchungsgebiet um alpha ventus). 26

Abbildung 2: (A) Stationäres Multifrequenzecholotsystem im schleppnetzgeschützten Geräteträger. (B) Bei der Ausbringung mit Kabelanbindung. 29

Abbildung 3: Landersystem mit bildgebendem Sonar (Didson ULS1000). A) Landergestell mit Schwenkneigekopf und bildgebendem Sonar. B) Landergestell im eingeklappten Zustand. C) Spritzwassergeschützter Computer für Steuerung und Datenakquisition auf Peli Case mit integrierten aufladbaren Batterien. 30

Abbildung 4: Untersuchungsgebiet der Hydroakustischen Surveys. Gelbe Linien markieren die Transekte der mesoskaligen Nachtsurveys. Das *alpha ventus* Untersuchungsgebiet ist rot umrandet, die Referenzgebiete sind blau umrandet. Konturflächen zeigen farblich kodiert (Graustufen) die Tiefe im Untersuchungsgebiet. 32

Abbildung 5: Zeichnung des verwendeten Pelagischen Schleppnetzes mit Angaben zur Maschenweite und der Länge der einzelnen Netzsegmente. 34

Abbildung 6: Farbkodierte Darstellung der volumenbezogenen Rückstreuung (Sv-Werte, dB) gemessen auf einem Messtransekt entlang der Windkraftanlagen M10, M11, M12 und dem Umspannwerk bei guten Wetterbedingungen. Die Messungen erfolgten mit einem in südlicher Richtung gerichteten horizontalen Echolot. Der systematische Anstieg der Rückstreu-Werte in Entfernung vom Transducer zeigt die Beeinflussung durch Bodenrückstreusignale. Messungen in Entfernung > ca. 60 m müssen auf Grund dieser Beeinflussung aus der Untersuchung ausgeschlossen werden, die somit nicht den Nahbereich der Windkraftanlagen (markiert mit M10 etc.) umfassen kann. 37

Abbildung 7: Tiefen-Häufigkeitsverteilung der Fische gemäß der relativen Anzahl der Einzeldetektionen (single target detections: 38 kHz; TS > -60 dB) im Untersuchungsgebiet. Die Anzahl der Detektionen wurde in Hinsicht auf das mit der Entfernung ansteigende Beprobungs-Volumen normiert (Korrektur). Die graue Linie markiert den Beginn des Messbereichs (bedingt durch den Tiefgang des Schiffs und den Ausschluss der durch Blaseneinträge etc. beeinflussten Oberflächenzone). 38

Abbildung 8: Entfernungs-Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Einzeldetektionen (single target detections: 38 kHz; TS > -57 dB) der Messungen mit dem horizontal gerichteten Simrad EK60. Die Anzahl der Detektionen wurde in Hinsicht auf das mit der Entfernung ansteigende Beprobungs-Volumen normiert (Korrektur). 39

Abbildung 9: Skizze der Effekte der Ausweitung des Schallkegels. Die Ausweitung bedingt eine entfernungsabhängige Beprobung unterschiedlicher Tiefenbereiche. Bei ungleichmäßiger Tiefenverteilung der Fische, führt dies zu einer starken Verzerrung in der Bestandsabschätzung, wenn diese auf horizontal gerichteten Echolot-Messungen basiert. Das eingebundene Histogramm stellt die relative Häufigkeit in der Tiefenverteilung der Fische im Untersuchungsbiet dar und zeigt eine stark ungleichmäßige Verteilung mit einer bevorzugten Aufenthaltstiefe im unteren Drittel der Wassersäule. 39

Abbildung 10: Relative Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den PSN-Fängen innerhalb (Einzelabbildungen linke Seite) und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* (Einzelabbildungen rechte Seite) während der Untersuchung im Frühjahr (HE300), Sommer (HE309) und Herbst 2009 (HE313). 43

Abbildung 11: Relative Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den PSN-Fängen innerhalb (Einzelabbildungen linke Seite) und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* (Einzelabbildungen rechte Seite) während der Untersuchung im Frühjahr (HE323), Sommer (HE332) und Herbst 2010 (HE340). 44

Abbildung 12: Relative Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den PSN-Fängen innerhalb (Einzelabbildungen linke Seite) und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* (Einzelabbildungen rechte Seite) während der Untersuchung im Frühjahr (HE352), Sommer (HE362) und Herbst 2011 (HE369). 45

Abbildung 13: Fanggewichte von Hering und Sprotte (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten. 47

Abbildung 14: Fanggewichte der Sardelle (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten. 48

Abbildung 15: Fanggewichte der Sardine (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten. 49

Abbildung 16: Fanggewichte der Makrele (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten. 50

Abbildung 17: Fanggewichte der juvenilen Stöcker (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten. 51

Abbildung 18: Fanggewichte der juvenilen Wittlinge (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten. 52

Abbildung 19: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE300. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 55

Abbildung 20: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE309. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 58

Abbildung 21: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE313. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 61

Abbildung 22: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE323. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 64

Abbildung 23: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE332. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 67

Abbildung 24: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE340. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 70

Abbildung 25: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE352. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 73

Abbildung 26: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE362. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 76

Abbildung 27: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE369. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet. 79

Abbildung 28: nMDS-Plot auf der Basis der Einzelgewichte der Nahrungsbestandteile in den Fischmägen für den Zeitraum 2008 - 2011 als Subset-nMDS (Primer 6) ohne 11 unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit streuende Fischmägen. Die Berechnung der Similarität (Bray-Curtis) erfolgte ohne organische Reste. Die unterschiedlichen Gruppen sind durch farbige Symbole markiert (siehe Legende): STÖ = Stöcker, MAK = Makrele, av = Fangort *alpha ventus* Gebiet, fin = Fangort FINO1, ref = Fangort Referenzgebiet. *Hier sind Fänge im *alpha ventus* Gebiet vor der Betriebsphase eingeschlossen. 81

Abbildung 29*:* nMDS-Plot auf der Basis der Einzelgewichte der Nahrungsbestandteile in den Fischmägen für den Zeitraum 2010 - 2011 als Subset-nMDS (Primer6) ohne 7 unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit streuende Fischmägen. Die Berechnung der Similarität (Bray-Curtis) erfolgte ohne organische Reste. Die unterschiedlichen Gruppen sind durch farbige Symbole markiert (siehe Legende): STÖ = Stöcker, MAK = Makrele, av = Fangort *alpha ventus* Gebiet, fin = Fangort FINO1, ref = Fangort Referenzgebiet. 82

Abbildung 30: Präponderanz-Index, berechnet für die einzelnen Gruppen von Makrelen, die unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1 (rote Balken), innerhalb des

Windparkgebiets (grüne Balken) sowie in den Referenzgebieten (violette Balken) gefangen wurden sowie für die Stöcker, die an der Unterwasserstruktur der FINO1 (blaue Balken) gefangen wurden.....89

Abbildung 31: Relative Abundanz innerhalb zu außerhalb des *alpha ventus* Gebiets gemäß GLM.....91

6. Abkürzungsverzeichnis

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
ANOSIM	Analyse der Similarität
ANOVA	Varianzanalyse
EMF	Elektromagnetische Felder
FINO	Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee
GLM	Generalisiertes Lineares Modell
GPT	General Purpose Transceiver
IOP	Index der Präponderanz
NASC	Nautischer Flächenrückstreu-Koeffizient (Nautical Area Backscattering Coefficient)
NM	Nautische Meile
nMDS	Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung
PPS	Permanent Threshold Shift
PSN	Pelagisches Schleppnetz
SD	Standardabweichung
StUKplus	Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben *alpha ventus* zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH
StUK3	Standarduntersuchungskonzept des BSH, 3. Version (2007)
Sv	Volumen Rückstreu-Stärke (Volume Backscattering Strength)
TTS	Temporary Threshold Shift
WEA	Windenergieanlage

Referenzgebiete:

NW	Nordwestliches Referenzgebiet
SO	Südöstliches Referenzgebiet

7. Einleitung

Das Projekt „Untersuchung der Effekte von Windenergieanlagen auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld *alpha ventus*“ ist Teil des Gesamtforschungsprojekts „Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben *alpha ventus* zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH (StUKplus)“. Ziel von StUKplus war es, in Ergänzung zu den betreiberseitig zu finanzierenden ökologischen Untersuchungen gemäß Standarduntersuchungskonzept (StUK3, BSH 2007), die Effekte von Offshore Windparks auf die Meeresumwelt zu untersuchen. Mit den StUKplus Untersuchungen wurden die Effekte von Offshore-Windparks auf marine Säugetiere, Rast- und Zugvögel, Fische und Benthosorganismen untersucht. Anhand der Untersuchungsergebnisse soll das StUK3 evaluiert und ggf. fortgeschrieben werden.

Offshore Windparks bestehen aus einer unterschiedlich großen Anzahl von einzelnen Windenergieanlagen (WEA), Umspannplattformen und Unterwasserkabeln für die Stromübertragung zwischen den Anlagen und zum Land. Der Abstand zwischen den einzelnen WEAs ist abhängig von der Größe der Anlagen, beträgt jedoch einige hundert Meter (im Fall von alpha ventus 800 m). WEAs unterscheiden sich in ihrer Gründungsstruktur. Bei großen WEA erfolgt die Gründung nicht durch einen einzelnen Pfahl, sondern, wie im Testfeldgebiet *alpha ventus*, durch eine Tripoden-Struktur oder einer Jacket-Konstruktion. Der umbaute Raum, den die Unterwasserstrukturen der einzelnen WEAs einnehmen, erreicht bei der letztgenannten Gründungsart im *alpha ventus* Testfeldgebiet annähernd 25 x 25 x 30 m.

Das Testfeldgebiet *alpha ventus* ist mit 12 WEA und einer Gesamtfläche von ca. 4 km² klein im Vergleich zu bereits küstennah gebauten Offshore Windparks (z.B. Dänemark) sowie den geplanten küstenfernen Parks in der Deutschen Bucht. Der bislang größte Offshore-Windpark ist Walney, der 14 km vor der Walney Insel in der Irischen See in einer Wassertiefe von ca. 20 m erbaut wurde. Walney hat eine Kapazität von ca. 370 MW und nimmt eine Fläche von rund 73 km² ein. Die in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) geplanten Offshore Windparks, sowie der sich aktuell in Ausbau befindliche Windpark *BARD Offshore 1* (rund 60 km²), sollen vergleichbare Einzelflächen einnehmen.

Die Offshore Windparks in der Deutschen Bucht zeichnet aus, dass sie in relativ großer Distanz zur Küste (bis zu einer Entfernung von 150 km) in Meeresbereichen mit Tiefen bis zu 50 m geplant werden. In der deutschen AWZ sind mit *BARD Offshore 1* und *alpha ventus* aktuell zwei Offshore Windparks im Teil- bzw. Voll-Betrieb. *Alpha ventus* liegt ca. 45 km vor Borkum in einer Wassertiefe von annähernd 30 m. *BARD Offshore 1* wurde in 90 km Entfernung von der Küste in einer Wassertiefe von ca. 40 m gebaut. Insgesamt ist der Bau von 27 Offshore-Windparks in der deutschen AWZ der Nordsee und von drei Offshore-Windparks in der Ostsee genehmigt. Änträge von 128 Verfahren liegen dem BSH zur Prüfung bzw. zum Vollzug vor. Sollten diese Windparks in der Gesamtheit gebaut werden, werden sie zu Habitatveränderungen für demersale und pelagische Fische in einem großen Gebiet in der Deutschen Bucht führen.

Es können unmittelbare und mittelbare Veränderungen, die durch den Bau und den Betrieb von Offshore Windparks resultieren, unterschieden werden. Unmittelbare Änderungen ergeben sich durch den Bau von Strukturen, kleinräumige Änderungen des Strömungsfelds, Schalleintrag und die kleinräumige Erzeugung von elektromagnetischen Feldern um die

stromführenden Unterwasserkabel. Während der Bauphase stellt der Rammschall einen sehr bedeutenden Lärmeintrag dar. Während der Betriebsphase des Windparks kommt es durch den Betrieb der WEA zu einem Schalleintrag relativ geringer Intensität in unterschiedlichen Frequenzbereichen. Mittelbare Habitatveränderungen ergeben sich z.B. aus den Veränderungen des lokalen Futterangebots durch die Ansiedlung Hartsubstrat-assoziierter Arten.

Während die möglichen positiven Effekte von Offshore Windparks bei vielen Hartsubstrat-assoziierten Arten direkt an ihrem Ansiedlungserfolg abgelesen werden können, sind mögliche positive oder negative Effekte auf die meisten demersalen und alle pelagischen Fische sehr viel schwieriger abzuleiten.

Pelagische Fische, wie Makrele, Stöcker, Hering und Sprotte, die in Hinsicht auf Anzahl und Biomasse, die wichtigsten Fischarten im Untersuchungsgebiet darstellen, vollziehen saisonale Wanderungsbewegungen. Während ihrer Wanderungen zwischen Laichgründen, Futter- und Winteraufenthaltsgebieten legen sie Strecken von vielen hunderten Kilometern zurück. Sie reagieren bei diesen Wanderungen auf die lokalen Änderungen der biologischen und physikalischen Meeresumwelt. Neben den aktiven Wanderungen, wird ihre Verteilung durch die Drift der Eier (z.B. im Fall der Makrele) und der heranwachsenden Larvenstadien mit den Meeresströmungen bestimmt.

Makrelen sind, wie die anderen oben genannten pelagischen Fischarten, Schwarmfische. Sie erreichen die Geschlechtsreife in einem Alter von 2 - 3 Jahren. Makrelen erreichen gewöhnlich eine Länge von bis zu 40 cm und ein Alter bis 17 Jahre. Die beobachtete erreichte Maximallänge ist 60 cm, das Maximalalter beträgt etwa 30 Jahre. Makrelen besitzen keine Schwimmblase. Sie sind sehr schnelle Schwimmer, die durch das Fehlen einer Schwimmblase schnelle Tiefenveränderungen vornehmen können, aber dauerhaft schwimmen müssen, um nicht abzusinken. Makrelen ernähren sich vorwiegend von kleineren Fischen und Zooplankton.

Der Nordostatlantische Makrelenbestand kann in eine Nordsee-, eine westliche und eine südliche Komponente unterteilt werden, deren jeweilige Laichgründe sich an der britischen Ostküste, der westbritischen Schelfkante und der Schelfkante der Biskaya bzw. der iberischen Halbinsel befinden. Auf den sehr ausgedehnten Wanderbewegungen zu ihren Futtergründen mischen sich diese Komponenten. Im Winter meiden Makrelen Wassertemperaturen unter 11° C. Von den in europäischen Gewässern kommerziell befischten Fischarten, zeigt die Makrele die geographisch weiteste Verbreitung. Die Nordseekomponente gilt seit den 1960er Jahren als überfischt und zeigt bis heute keine Erholung ihres Bestands.

Stöcker leben zumeist in großen Schwärmen. Die Jungfische des Stöckers halten sich oft unter den Schirmen von Quallen auf, wo sie sich von Zooplankton, aber auch von Teilen der Qualle ernähren. Stöcker werden nach ca. 3 - 4 Jahren geschlechtsreif und haben dann eine Länge von ca. 25 cm erreicht. Stöcker weisen gewöhnlich Längen von bis zu 40 cm auf. Einzelexemplare können eine Maximallänge von bis zu 70 cm und ein Maximalalter von 40 Jahren erreichen. Der Stöcker ernährt sich vorwiegend von Zooplankton und von kleineren Fischen, wie Sprotte und Hering, sowie von weiteren Beuteorganismen wie Cephalopoden.

Wie der Makrelenbestand, kann der Bestand des Stöckers im Nordostatlantik in eine Nordsee-, eine westliche und eine südliche Komponente unterteilt werden. Die Nordseekomponente laicht im Sommer in der südlichen Nordsee und wandert anschließend nordwärts und erreicht den Skagerrak und Kattegat. Die westliche Komponente laicht im Frühjahr in der

Biskaya und wandert nach dem Laichen in die nördliche Nordsee und die Küste Südnorwegens. Die Südkomponente zeigt eine starke Überlappung zwischen Laich- und Futtergebieten entlang der iberischen Halbinsel. Fällt die Wassertemperatur unter 10° C stellen Stöcker die Nahrungsaufnahme ein. Während sie im Sommer küstennah über Sandböden zu finden sind, meiden sie im Winter Wassertemperaturen unter 8°C und ziehen zu ihren Überwinterungsgebieten im Kontinentalschelfbereich bis in Wassertiefen von über 200 m.

Heringe leben zumeist in großen Schwärmen. Im Nordostatlantik kommen mindestens 14 Heringsbestände vor, die in eine noch größere Anzahl von Komponenten eingeteilt werden können. Die Bestände bzw. Komponenten zeigen charakteristische ausgedehnte Wanderungen zwischen ihren Laich- und Nahrungsgründen und Überwinterungsgebieten und Unterschiede in den Laichzeiten (Herbst bis Frühjahr). Junge Heringe bilden küstennahe Schwärme, während die Schwärme adulter Heringe küstenferner auftreten. Heringe erreichen mit 3 - 4 Jahren die Geschlechtsreife. Der Nordsee-Hering kann ein Alter von 20 Jahren erreichen und weist gewöhnlich Längen bis zu 30 cm auf.

Heringe ernähren sich von Zooplankton, zu einem Großteil von Copepoden, die sie visuell erbeuten. Erlauben es die Dichte und die Größe des Zooplanktons, können sie ihre Nahrungsorganismen aus dem Wasser filtrieren.

Der Nordseebestand des Herings kollabierte in den 1970er Jahren durch Überfischung. Er erholte sich jedoch in den 1980er Jahren nach Schließung der Fischerei (1977). Mitte der 1990er Jahre kam es zu einem erneuten Einbruch des Bestands der laichreifen Tiere, durch die zuvor erfolgte hohe Entnahme von Jungfischen. Seit 2002 zeigt der Bestand, möglicherweise durch klimatische Einflüsse bedingt, nur noch schwache Nachwuchsjahrgänge.

Sprotten gehören zur Familie der Heringe. Wie der Hering, bilden sie große Schwärme und vollziehen saisonale Wanderungen. Sie sind vor allem küstennah zu finden. Die Sprotte ist eine relativ kleine und kurzlebige Art. Sie erreicht die Geschlechtsreife mit 2 Jahren und zeigt eine maximale Lebensdauer von ca. 6 Jahren. Sie erreicht eine Körperlänge von ca. 16 cm.

Makrele, Stöcker, Sprotte und Hering unterliegen nicht nur einem hohen fischereilichen Druck, die Bestandsentwicklung wird fernerhin durch die durch Klimawandel bedingten Veränderungen der physikalischen und biologischen Meeresumwelt beeinflusst. Diese anthropogen verursachten Veränderungen sind zum Beispiel Änderungen der Meerestemperatur und der Salinität bis hin zu großskaligen Änderungen der Meeresströmungen, ebenso wie eine veränderte Verfügbarkeit von Futterorganismen. Der Bestand und die Verteilung des Zooplanktons, das von allen hier angeführten Fischarten als Haupt- oder als sehr wichtige Nahrungsquelle genutzt wird, werden stark von den hydrographischen Änderungen beeinflusst. Die Effekte der Habitatveränderungen, die durch den Bau von Offshore Windparks resultieren, können somit nicht isoliert von anderen Effekten betrachtet werden. Es besteht die Möglichkeit wechselwirkender und sich verstärkender Effekte durch diese Habitatveränderungen, durch klimatisch bedingte Veränderungen der Meeresumwelt und die starke fischereiliche Nutzung der Fischbestände.

Die vorliegende Projektstudie zu *alpha ventus* ist auf die Untersuchung des Einflusses eines relativ kleinen Offshore Windparks beschränkt. Die Studie adressiert die unmittelbaren scheuchenden oder attraktiven Effekte. Dies erfolgt durch die Untersuchung der relativen Verteilung pelagischer Fische in und außerhalb des Testfeldgebiets mit Netzfangbeprobung und hydroakustischen Messmethoden. Neben den unmittelbaren scheuchenden oder attrak-

tiven Effekten, untersucht die Studie die Effekte, die die Änderungen des lokalen Nahrungsangebots auf das Fressverhalten der pelagischen Fische zeitigen. Dies erfolgt durch Mageninhaltsuntersuchungen an Fischen, die in direkter Nähe von Unterwasserstrukturen, im Windparkgebiet und außerhalb des Windparkgebiets gefangen wurden.

8. Stand von Wissenschaft und Technik

Werden die Effekte betrachtet, die durch die Erzeugung von Elektromagnetischen Feldern (EMF) um die stromführenden Unterwasserkabel, durch den Schalleintrag, die Bebauung (Struktur) und die mittelbaren Änderungen des lokalen Futterangebots folgen, zunächst isoliert, so gibt es auch für eine isolierte Betrachtung nur wenige Feldstudien und laborexperimentelle Untersuchungen, auf die sich eine Folgenabschätzung stützen kann.

8.1. Elektromagnetische Felder

Die potentiellen Auswirkungen, die von den Elektromagnetischen Feldern (EMF) ausgehen, die um die stromführenden Unterwasserkabel erzeugt werden, können in physiologische Auswirkungen und in Effekte auf das Orientierungs- und Schwimmverhalten wandernder Fische unterschieden werden. Eine weitere Unterscheidung muss zwischen den Effekten der elektrischen, beziehungsweise magnetischen Komponente getroffen werden. Aussagen über mögliche Auswirkungen müssen sich vornehmlich auf experimentelle Studien unter Laborbedingungen beziehen.

Es existiert eine Reihe von Studien zur Elektro- und Magnetorezeption bei Fischen. Ein Großteil dieser Studien bezieht sich auf Knorpelfische, wie Haie und Rochen, die spezialisierte Elektrorezeptoren besitzen. Die Rezeption von Magnetfeldern wurde in Studien mit einigen diadromen und wenigen oceanodromen Fischen untersucht (Gill 2009, Gill 2010).

Für eine Reihe der untersuchten Fischarten konnte eine Sensitivität und Reaktion auf magnetische Felder festgestellt werden. Hierzu gehören sehr unterschiedliche Fischarten wie die Scholle (Metcalfe et al. 1993) und der Gelbflossenthunfisch (Walker et al. 1984). In ihrer Gesamtheit zeigen die experimentellen Untersuchungen, je nach untersuchter Fischart und experimentellem Aufbau, jedoch widersprüchliche Resultate. In nur wenigen Feldstudien wurden die Effekte von EMF durch Unterwasserkabel direkt untersucht. In diesen Studien konnten nur geringe oder keine signifikanten unmittelbaren Änderungen des Orientierungs- und Schwimmverhaltens festgestellt werden. Zu den festgestellten Verhaltensreaktionen zählen kurzzeitige Änderungen der Geschwindigkeit der Wanderung des Europäischen Aals (*Anguilla anguilla*), ohne eine Änderung der Wanderrichtung zu verursachen (Westerberg & Langenfelt 2008), sowie geringe Abweichungen von einer gradlinigen Wanderroute derselben Art innerhalb einer 500 m Zone, während außerhalb einer 500 m Zone keine Veränderungen des Wanderverhaltens festgestellt werden konnten (Westerberg & Begout-Anras 2000, Öhman et al. 2007).

Es gibt klare experimentelle Befunde, dass Magnetfelder bzw. Änderungen in der Magnetfeldstärke physiologische Reaktionen hervorrufen können. Hierzu gehören zum Beispiel Änderungen von Hormonkonzentrationen beim Bachsaibling (*Salvenius fontinalis*; Lerchl et al. 1998), Effekte auf die Geschwindigkeit der Embryonalentwicklung der Forelle (*Salmo trutta*)

und der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) und Änderungen der pulmonaren Zirkulation (Formicki et al. 1998).

Wird der japanischen Aal, *Anguilla japonica*, während seiner Lebensphase als Glasaal anhaltend einem Magnetfeld ausgesetzt, hat dies Einfluss auf dessen Orientierungsverhalten als erwachsenes Tier (Nishi & Kawamura 2005). Eine Art, die eine solche Beeinflussung aufweist, würde Abweichungen im Wanderverhalten der erwachsenen Tiere zeigen, ohne dass diese Tiere aktuell anthropogen erzeugten EMF ausgesetzt wären.

Auf der Grundlage der bisherigen Forschungsergebnisse können Effekte von EMF, die durch den Betrieb von Offshore Windparks im Meer lokal erzeugt werden, nicht ausgeschlossen werden. In Hinsicht auf die physikalischen Eigenschaften der um die Unterwasserkabel erzeugten elektromagnetischen Felder kann jedoch angenommen werden, dass Fische nur über sehr kurze Zeitdauer der Beeinflussung durch die so erzeugten EMF ausgesetzt sind. Die Stärke der elektromagnetischen Felder nimmt als eine inverse quadratische Funktion der Entfernung mit dem Abstand zum Kabel schnell ab. Fische sind somit nur in unmittelbarer Nähe der Kabel so starken EMF ausgesetzt, dass Effekte zu erwarten sind.

8.2. **Schalleintrag**

Fische nehmen Schall wahr und erzeugen Schall. Der wahrgenommene Schall dient ihnen unter anderem zur Erkennung von Feinden oder Futterorganismen. Das Schallfeld, durch das sie sich bewegen, liefert ihnen viele weitere Informationen nicht nur über ihre biologische, sondern auch über ihre abiotische Umgebung (Tolimieri et al. 2000). Der von den Fischen erzeugte Schall dient unter anderem der Feindabschreckung oder der Kommunikation bzw. als Signal u.a. beim Paarungsverhalten verschiedener Fischarten (Kasumyan 2008).

Die Ausbreitung des Schalls durch das Wasser erfolgt durch die Bewegung von Teilchen, die in Ausbreitungsrichtung hin und her schwingen, wobei Druckänderungen entlang der Ausbreitungsrichtung induziert werden. Die Wahrnehmungsmöglichkeit und die spezifische Sensitivität der Schallwahrnehmung hängen von den morphologischen Eigenschaften der Hörorgane der Fische, deren Verbindung mit der Schwimmblase bzw. dem Vorhandensein einer Schwimmblase ab.

Alle Knochenfische besitzen zwei innere Ohren, die jeweils drei Otolithen aufweisen, die durch eine dünne Membran mechanisch mit dem Epithelium verbunden sind. Sensorische Haarzellen ermöglichen es, die Relativbewegung von Otolithen und Epithelium zu registrieren, die auf Grund der weit höheren Dichte der Otolithen in unterschiedliche Bewegungen versetzt werden. Die inneren Ohren dienen dem Hören sowie dem Gleichgewichtssinn.

Fische nehmen mit ihren inneren Ohren oder ihren Seitenlinienorganen die Partikelbewegung wahr, die mit der Schallausbreitung verbunden ist. Das Seitenlinienorgan, das sich seitlich am Fischkörper entlang zieht, besteht aus mehreren hundert bis einigen tausend Neuromasten. Sie bestehen aus Haarzellen, die von einer gallertartigen Masse, der Cupula, umgeben sind. Über die Bewegung der Cupula, als einer Art Fahne, kommt es zu einer mechanischen Kopplung der Bewegung des Wassers mit den sensorischen Haarzellen, mit denen die Bewegung registriert wird. Die so vermittelte Wahrnehmung der Wasserbewegung erlaubt es dem Fisch u.a. Informationen über die Anwesenheit von Räubern und Nahrungsorganismen in seinem Nahfeld sowie räumliche Informationen für seine Orientierung zu gewinnen (Bleckmann 2004). Das Seitenlinienorgan ermöglicht die Wahrnehmung von Schallfrequenzen im Frequenzbereich von weniger als 1 Hz und bis zu circa 150 Hz.

Die Wahrnehmung des Schalldrucks setzt hingegen das Vorhandensein einer luftgefüllten Schwimmblase voraus, die den Schalldruck in eine Bewegung umsetzt, die mit Hilfe der Otolithen für den Fisch wahrnehmbar ist. Fischarten wie die Makrele, die keine Schwimmblase besitzen, können somit die Schalldruckkomponente nicht wahrnehmen und weisen, verglichen mit anderen Fischarten, eine eingeschränkte Schallwahrnehmung auf. Besondere morphologische Verbindungen zwischen der Schwimmblase und dem inneren Ohr erlauben es spezialisierten Fischen, Schall über relativ große Frequenzbereiche und bereits bei relativ geringen Schallintensitäten wahrzunehmen. Der Frequenzbereich ihrer Schallwahrnehmung erstreckt sich von wenigen Hertz bis zu einigen Kilohertz. Das Niveau des wahrnehmbaren Schalldrucks kann bei den hoch schallsensitiven karpfenartigen Fischen niedrige Schwellwerte von 60 dB re 1 µPa erreichen (Fay 1969, Fay & Popper 1974).

Zu den Spezialisten gehören auch die Heringsartigen Fische wie Hering und Sardine. Sie besitzen gasgefüllte Bläschen (Bulla auditoria), die mit einem der Otolithen verbunden sind und es ihnen ermöglichen, ihr Hörvermögen bis in den Frequenzbereich von 3-4 kHz zu steigern. Der Schwellenwert der Schallwahrnehmung des Herings liegt bis in den kHz-Frequenz Bereich hinein deutlich unter 80 dB re 1 µPa (Enger 1967, Popper et al. 2003, Popper et al. 2004).

Die meisten Fische hingegen zeigen keine morphologischen Spezialisierungen des Hörapparates. Sie nehmen Schall bis zu einer Frequenzobergrenze von 500 - 1000 Hz wahr, mit der besten Wahrnehmungsleistung im Frequenzbereich von 100 - 400 Hz (Popper et al. 2003, Radford et al.2012).

Fische ohne Schwimmblase, wie die Makrele oder benthische Arten, wie die Scholle (*Pleuronectes platessa*), die nur Partikelbewegungen wahrnehmen können, zeigen eine jeweils ähnliche Sensitivität (Schwellwert der wahrgenommenen Partikelbeschleunigung: 10^{-4} - 10^{-5} m s^{-2}) und einen ähnlichen Frequenzbereich der Wahrnehmung von unter 1 Hz bis 300 - 400 Hz (Popper et al. 2003).

Der Einfluss von Schall bzw. Störgeräuschen auf Fische kann in verschiedene Beeinflussungsgrade eingeteilt werden: Wahrnehmung, Signalmaskierung, Verhaltensreaktion, Hörverlust und Verletzung oder Tod. Unter der vereinfachten Annahme einer horizontal gleichförmigen Abnahme der Schallintensität um eine Schallquelle, erfahren die Fische die genannten Beeinflussungen in bestimmten Zonen um die Schallquelle (Richardson et al. 1998). Die Wahrnehmungsschwelle wird, je nach Charakteristik des Schallsignals und der artspezifischen Wahrnehmungsleistung, in einem bestimmten Abstand von der Schallquelle erreicht. Die steigende Schallintensität in Richtung Quelle führt zuerst zu einer Maskierung von Signalen, deren Wahrnehmung z.B. der Orientierung, Kommunikation oder Feindvermeidung dienen kann, und führt in noch geringer Distanz zur Quelle zu Hörverlusten. Die Hörverluste können vorübergehend (TTS, temporary threshold shift) oder, bei noch stärkerer Beeinflussung, permanent sein (PTS, permanent threshold shift). Noch höhere Schallintensitäten können zu Verletzungen weiterer Organe oder im Extremfall zum Tod führen.

Die aktuelle Beeinflussung eines Fisches durch den eingetragenen Schall hängt dabei nicht allein von der Schallintensität eines einzelnen Schallpulses ab. Sie ist abhängig von der Charakteristik des Schallsignals, der Zeitdauer und der Anzahl der einzelnen Schallsignale oder Pulse, aus denen sich kumulativ die akustische Energie ergibt, der der Fisch ausgesetzt war.

Während der Bau- und der Betriebsphase von Offshore Windparks kommt es zu sehr unterschiedlichen Schalleinträgen in das Wasser. Während der Bauphase kommt der Schalleintrag von einer Reihe von Quellen, wobei die Rammarbeiten zur Gründung der Windenergieanlagen eine besondere Rolle spielen. Das Rammen erfolgt mit einem Hydraulikhammer. Der entstehende Rammschall besteht, bedingt durch die einzelnen sich wiederholenden Schläge, aus einer Anzahl kurzer Schallpulse mit sehr hoher Schallintensität. Bei maximalen Quellpegeln von z. T. über 250 dB re 1 µPa @ 1m (OSPAR 2009, Thomsen et al. 2006, ITAP 2011) erstreckt sich das Frequenzspektrum des in den Wasserkörper eingetragenen Schalls über den Bereich von weniger als 20 Hz bis mehr als 20 kHz. Messungen bei verschiedenen Windpark-Bauvorhaben belegen, dass ohne die Anwendung von Schallschutzmaßnahmen noch in 750 m Entfernung vom Rammort im Frequenzbereich von ca. 100 - 1000 Hertz Einzelereignispegel (Sound Exposure Level SEL, 1/3 Oktave) von 150 dB re 1 µPa und mehr erreicht werden (z. B. Diederichs et al. 2014). Die meiste Energie tritt dabei im Frequenzbereich von 100 – 400 Hz auf und damit im generellen Hauptwahrnehmungsbereich von Fischen. Die resultierenden Schallfelder sind unter anderem auf Grund einer Rammschallübertragung durch das Wasser und den Boden sehr komplex. Unter vereinfachten Annahmen für die Schallabschwächung mit der Entfernung, können auf der Grundlage der gemessenen Rammschalleinträge artspezifische Distanzen vom Baugebiet abgeschätzt werden, ab denen die einzelnen Fischarten die Rammarbeiten wahrnehmen können. Die abgeschätzte Wahrnehmungsdistanz beträgt für Hering und Dorsch über 80 km (Thomson et al. 2006). Für Fischarten ohne Schwimmblase, die nur Partikelbewegung wahrnehmen können, ist die Distanz schlecht abschätzbar, aber sehr viel geringer.

Diese Abschätzungen basieren auf den ermittelten Schallwahrnehmungsleistungen der verschiedenen Fischarten, die zumeist in neurophysiologischen Experimenten ermittelt wurden. Es existieren nur wenige Studien, in denen die Reaktion einzelner Fischarten auf Rammschall und die Auswirkungen des Rammschalls direkt untersucht wurden. Eine aktuelle Studie von Mueller-Blenkle et al. (2010) zeigt signifikante Verhaltensreaktionen der untersuchten Fischarten Seezunge (*Solea solea*) und Dorsch (*Gadus morhua*). Die Verhaltensreaktionen wurden schon bei relativ geringem Niveau von Schalldruck und Partikelbewegung beobachtet. Im Gegensatz zu dieser Studie, bei der die Fische in einem großen umgrenzten Meeresbereich unter möglichst natürlichen Bedingungen, in einem sogenannten Mesokosmos (Durchmesser ca. 40 m), untersucht wurden, erfolgten die meisten Studien mit Tieren, die während des Experiments in relativ kleinen Käfigen gehältert wurden (Popper & Hastings 2009). Diese Studien stellen zumeist Untersuchungen der unmittelbaren körperlichen Auswirkungen des Rammschalls auf die Fische dar.

Eine Anzahl von Fischarten zeigte innere und äußere Verletzungen und Tod, nachdem sie Rammschall in einer Entfernung von weniger als 50 m von der Schallquelle ausgesetzt wurden (Wassertiefe ca. 10 m, SEL = 183 dB re 1 µPa in einer Entfernung von 100 m, Caltrans 2001). Untersuchungen an *Cymatogaster aggregata* (Familie: Brandungsbarsche) zeigten dabei eine Abhängigkeit von der Entfernung und der Aufenthaltszeit (Caltrans 2001). In ihrer Gesamtheit lieferten die verschiedenen Studien widersprüchliche Ergebnisse (siehe Popper & Hastings 2009 für eine Übersicht einschließlich nicht-veröffentlichter Studien). In einigen Studien konnten gemäß der pathologischen Untersuchung keine Unterschiede zwischen Tieren, die Rammschall ausgesetzt waren, und Tieren der Kontrollgruppe festgestellt werden (Nedwell et al. 2003, Oestman & Earle 2012).

Der Eintrag von Rammschall in die Meeresumwelt ist für pelagische und demersale Fische ein bedeutender Einflussfaktor. Während die unmittelbaren körperlichen Auswirkungen auf einen engen Umkreis um die Rammstelle beschränkt sind, kann der Rammschalleintrag in einer beträchtlich großen Zone um die Baustelle zu Verhaltensreaktionen von Fischen führen. Ob dies mit einem bedeutenden energetischen Aufwand für induzierte Fluchtreaktionen verbunden ist, oder sogar mit großräumigen Ausweichreaktionen (> 10 km), kann zurzeit nicht ausgesagt werden.

In der Betriebsphase von Offshore-Windparks wird Schall durch Generatoren und Getriebe erzeugt und über den Turm und Fundamente in den Boden und das Wasser eingetragen. Daneben entsteht Schall durch den Wellenschlag an den Fundamenten und den Wartungsverkehr. Geräusche, die von den Rotoren erzeugt werden (< 2 Hz) tragen kaum zum Schalleintrag bei. Der Frequenzbereich des eingetragenen Schalls liegt im generellen Hauptwahrnehmungsbereich von Fischen (ITAP 2011). Die Schallintensität ist verglichen mit der Schallintensität, die bei Rammarbeiten während der Bauphase auftritt, gering und kann keine unmittelbaren körperlichen Schädigungen an Fischen verursachen.

Die abgeschätzte Wahrnehmungsdistanz von Offshore-Windenergieanlagen während des Betriebs liegt für Schwimmblasen-lose Fische unter 10 m, für nicht spezialisiert hörende Fische unter 1 km und für Fische mit sehr guten Hörvermögen bis zu 10 km (Andersson 2011). Nur im Nahfeld der Anlagen ist das Schallniveau vermutlich hinreichend, um Verhaltensreaktionen bei einigen Fischarten zu induzieren.

Die Effekte einer niederschwelligen, aber lang andauernden Geräusch-Exposition in der Nähe der Windenergieanlagen sind unbekannt. Sie könnte jedoch eine Stresssituation darstellen (Slabbekoorn et al. 2010), die, wie in anderen bekannten Fällen von geräuschinduziertem Stress in Fischen, physiologische Auswirkungen auf Wachstum, Reifung oder Reproduktion zeitigt (Davidson 2009).

8.3. Mittelbare Änderungen des lokalen Futterangebots

Der Bau von Offshore Windparks führt zu der Ansiedlung von Hartsubstrat-assoziierten Arten an den Unterwasserstrukturen der Windenergieanlagen und Umspannwerke. Sie können potentiell als Nahrung für demersale und pelagische Fische dienen. Bislang gibt es nur wenige Studien, die das Nahrungsverhalten von Fischen in Offshore Windparks untersuchen. Nur die veröffentlichte Studie von Derweduwen et al. (2012) umfasst die Untersuchung einer rein pelagischen Fischart, des Stöckers.

May (2005) beobachtete Schulen von jungen Wittlingen, die im Offshore Windpark North Hoyle vor der Küste von Nordwales die Amphipoden der Art *Jassa falcata* fraßen, die in dichten Bauten die Unterwasserstrukturen der Windenergieanlagen besiedeln. Die Ergebnisse einer anderen Studie, die im Windpark Thorntonbank vor der Belgischen Küste durchgeführt wurde, konnte die Ergebnisse von May (2005) anhand der Mageninhaltsanalysen an Wittlingen, die im Windparkgebiet gefangen wurden, nicht bestätigen (Derweduwen et al. 2012).

In der Studie von Derweduwen et al. (2012) wurde der Mageninhalt von Klieschen (*Limanda limanda*), Zwergzungen (*Buglossidium luteum*), Leierfischen (*Callionymus sp.*), Petermännchen (*Echiichthys vipera*), Wittlingen (*Merlangius merlangus*) und Stöcker (*Trachurus trachurus*) untersucht. Es wurden Unterschiede in der jeweiligen Nahrungszusammensetzung im Magen zwischen den einzelnen Beprobungsorten festgestellt. Jedoch konnte nur für die Kliesche ein höherer Anteil spezifisch Hartsubstrat-assoziierter Amphipoden, wie *Phtisica*

marina, in den Mägen im Windpark gefangener Tiere festgestellt werden, der eine Änderung der Nahrungsverhaltens vermuten lässt. Jedoch wurden die in weitaus höherer Abundanz vorkommenden Hartsubstrat-Arten *Jassa hermani* (Amphipode) und *Pisidia longicornis* (Porzellan-Krabbe) in keinem der Klieschenmägen gefunden (Derweduwen et al. 2012).

In den Mägen der Stöcker, die im Windparkgebiet gefangen wurden, kamen in 89 % der Mägen Copepoden vor. Sie waren die dominante Nahrung in Hinsicht auf die Anzahl der in den Mägen gefundenen Individuen. Amphipoden und Dekapoden, die in 78 % der Mägen vorkamen (zweithäufigste Vertreter), stellen im Vergleich dazu nur eine untergeordnete Nahrungskomponente dar (Derweduwen et al. 2012).

Fernerhin umfasste die Untersuchung eine Ermittlung eines Magenfüllungsgrades. Der festgestellte Füllungsindex war für einige benthische bzw. bentho-pelagische Fischarten (u.a. nicht für den Stöcker) und Größenklassen in der Nähe der Windenergieanlagen und im Randbereich des Windparkgebiets höher als in den Referenzgebieten, was laut der Autoren auf ein erhöhtes Futterangebot im Windparkgebiet hindeuten könnte (Derweduwen et al. 2012).

Eine Studie zum Aggregations- und Nahrungsverhalten des Franzosendorsches (*Trisopterus luscus*), die ebenfalls im Offshore-Windpark Thortonbank durchgeführt wurde, zeigt eine Nahrungspräferenz für die in hohen Abundanzen an den Anlagen des Windparks vorkommenden *Jassa hermani* und *Pisidia longicornis* (Reubens et al. 2011).

8.4. **Struktur**

Es gibt zahlreiche Beobachtungen von Fischansammlungen an treibenden oder festen Strukturen im Meer. Zu den treibenden Strukturen gehören treibende Organismen, wie Quallen (Kingsford 1993, Brodeur 1998, Masuda et al. 2008) und Algen (Safran & Omori 1990), sowie natürliches und künstliches Treibgut einschließlich Müll, aber auch zweckverfolgend eingebrachte Objekte, die Fische ansammeln und einer fischereilichen Nutzung dienen sollen (Dempster & Taquet 2004). Zu den stationären, von Menschen eingebrachten größeren Strukturen gehören dem Meer überlassene Objekte, wie Wracks (Zitzen et al. 2006), sowie Nutzstrukturen wie Ölplattformen (Franks 2000, Helvey 2002).

Unterwasserkonstruktionen, wie die der letztgenannten Offshore-Ölplattformen, werden von Hartsubstrat-assoziierten Organismen und Fischen besiedelt bzw. aufgesucht. Hinsichtlich dieser Funktion werden sie als sekundäre künstliche Riffe betrachtet (Love et al. 1999, Franks 2000, Helvey 2002). Während die Besiedlung durch bestimmte Hartsubstrat-assoziierte Organismengruppen durch lokale Produktion erfolgt, beruht die Zunahme des lokalen Fischbestands oft nur zu einem geringen Teil auf einer solchen lokalen Produktion (Bohnsack 1989). Bei allen pelagischen Fischen, die hier behandelt werden, kann eine lokale Zunahme von Tieren um Unterwasserstrukturen im Windpark, sollte sie erfolgen, nur durch eine Umverteilung von Fischen auf Grund einer Attraktion erfolgen.

Die Gründe einer solchen Attraktion sind strittig und werden in den weit überwiegenden Fällen nur vermutet. Zu den angenommenen Gründen gehören u.a. die Nutzung der Unterwasserstrukturen a) als Schutz und Überlebensraum, b) als Futterhabitat für Fische, die die sich von den ansiedelnden Hartsubstrat-assoziierten Arten ernähren und c) als Jagdraum für räuberische Fische, die sich von kleineren Fische ernähren (Bohnsack 1989). Diese angenommenen Gründe basieren auf der grundlegenden Annahme eines Vorteils des aktuell gezeigten Aggregationsverhaltens um die künstlich eingebrachten Unterwasserstrukturen. Diese

Annahme ist jedoch nicht zwingend. Ein Aufsuchen von künstlichen Unterwasserstrukturen kann auf Grund von visuellen (z.B. Licht und Schatten) und nicht-visuellen Signalen erfolgen, die in anderen Situationen spezifische Signale darstellen, und auf einer Verhaltensweise begründet sein, die in einer anderen Situation einen Vorteil darstellen kann. Ein Aggregationsverhalten um künstliche Unterwasserstrukturen kann somit für einige Fischarten auch einen Nachteil darstellen. Nachteilig wäre ein solches Verhalten etwa dann, wenn der energetische Mehraufwand für das Verhalten den energetischen Ertrag übersteigt. Es gibt mehr noch Hinweise darauf, dass ein Aggregationsverhalten an künstlichen Strukturen die zeitliche und räumliche Kohärenz einer wandernden Fischpopulation störend beeinflussen kann (Wang et al. 2012).

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass große Wissenslücken existieren, die es bislang schwer machen, die möglichen Effekte von Offshore Windparks auf pelagische Fische abzuschätzen. Dies gilt umso mehr, wenn es um eine Abschätzung der möglichen wechselwirkenden oder kumulativen Effekte geht.

Die aktuellen Untersuchungen verbleiben auf der Ebene einzelner Windparks. Durch vergleichende Untersuchungen der Fischverteilung im Windparkgebiet und benachbarter Gebiete, die auch die hier vorgelegte Studie umfasst, kann die lokale, sich mit allen Einflüssen im Windpark ergebende, scheuchende oder attraktive Wirkung eines Offshore Windparks untersucht werden.

Der überwiegende Anteil der Untersuchungen stellen Untersuchungen benthischer und einiger bentho-pelagischer Fische dar. Für diese Fischarten wurden Aggregationen in der Nähe von Windenergieanlagen festgestellt (Wilhemsson et al. 2006, Inger et al. 2009, Reubens et al. 2010). Es existieren dagegen nur ausgesprochen wenige veröffentlichte Studien zur Verteilung pelagischer Fische innerhalb und außerhalb von Windparks. Eine kürzlich erschienen Studie von Leonhard et al. (2011) beinhaltet eine Untersuchung der Verteilung pelagischer Fische im Windpark Horns Rev 1 (Betriebszeit 7 Jahre). Die Untersuchungsmethoden umfassten Netzfänge und wenige hydroakustische Surveys. Auf Grund der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität, konnten keine signifikanten Änderungen in der Abundanz oder der Verteilungsmuster in und außerhalb des Windparks festgestellt werden.

Eine weitere Studie wird in niederländischen Windparks durchgeführt (Grift et al. 2004). Die T1-Studie über die Einflüsse auf pelagische Fische nach einem Jahr Betriebsphase zeigte keine klaren und direkten Effekte durch den Offshore-Windpark Egmond aan Zee (Ybema et al. 2009, Lindeboom et al 2011).

9. Material und Methoden

9.1. Untersuchungsdesign

Das Verhalten pelagischer Fische als wandernde Fische stellt spezifische Anforderungen an das Untersuchungskonzept. Die Untersuchungsmöglichkeiten sind jedoch durch die notwendige Beschränkung auf das Testfeldgebiet *alpha ventus* deutlich eingeschränkt. Die vorliegende Studie untersucht die räumlichen Verteilungsmuster von pelagischen Fischen im Testfeldgebiet und in zwei benachbarten Referenzgebieten (Abbildung 1) und adressiert somit die scheuchende und anziehende Wirkung des Offshore Windparks, wie sie aus der Ge-

samtheit möglicher Effekte resultieren, die sich aus den unmittelbaren (z.B. durch EMF, Schalleintrag oder Struktur) und mittelbaren Habitatveränderungen ergeben (Änderungen des lokalen Futterangebots und des Räuberbestands). Die Studie ist als saisonale Studie angelegt, um die Sukzession in der Anwesenheit der verschiedenen im Untersuchungsgebiet vorkommenden pelagischen Fischarten abzudecken, die sich aus deren saisonalem Wanderverhalten ergibt.

Die Studie umfasst ebenso Mageninhaltsuntersuchungen an pelagischen Fischen, mit denen mögliche attraktive Effekte durch die Änderung des lokalen Futterangebots direkt adressiert werden können. Die Mageninhaltsuntersuchungen wurden durchgängig an zwei Fischarten durchgeführt. Sie untersuchen das Nahrungsverhalten des Stöcker, von dem bekannt ist, dass er sich in der Nähe und innerhalb der Unterwasserstruktur der Forschungsplattform FINO1, die innerhalb der Sicherheitszone von *alpha ventus* liegt, aufhält (visuelle Beobachtungen mit einer Unterwasserkamera). Die Untersuchung umfasst ferner die Makrele, die ein ähnliches Nahrungsspektrum wie der Stöcker aufweist, jedoch im Vergleich zum Stöcker aufgrund der jeweiligen lokomotorischen Fähigkeiten deutliche Unterschiede in den Möglichkeiten des Nahrungserwerbs in und an den Unterwasserstrukturen zeigen sollte.

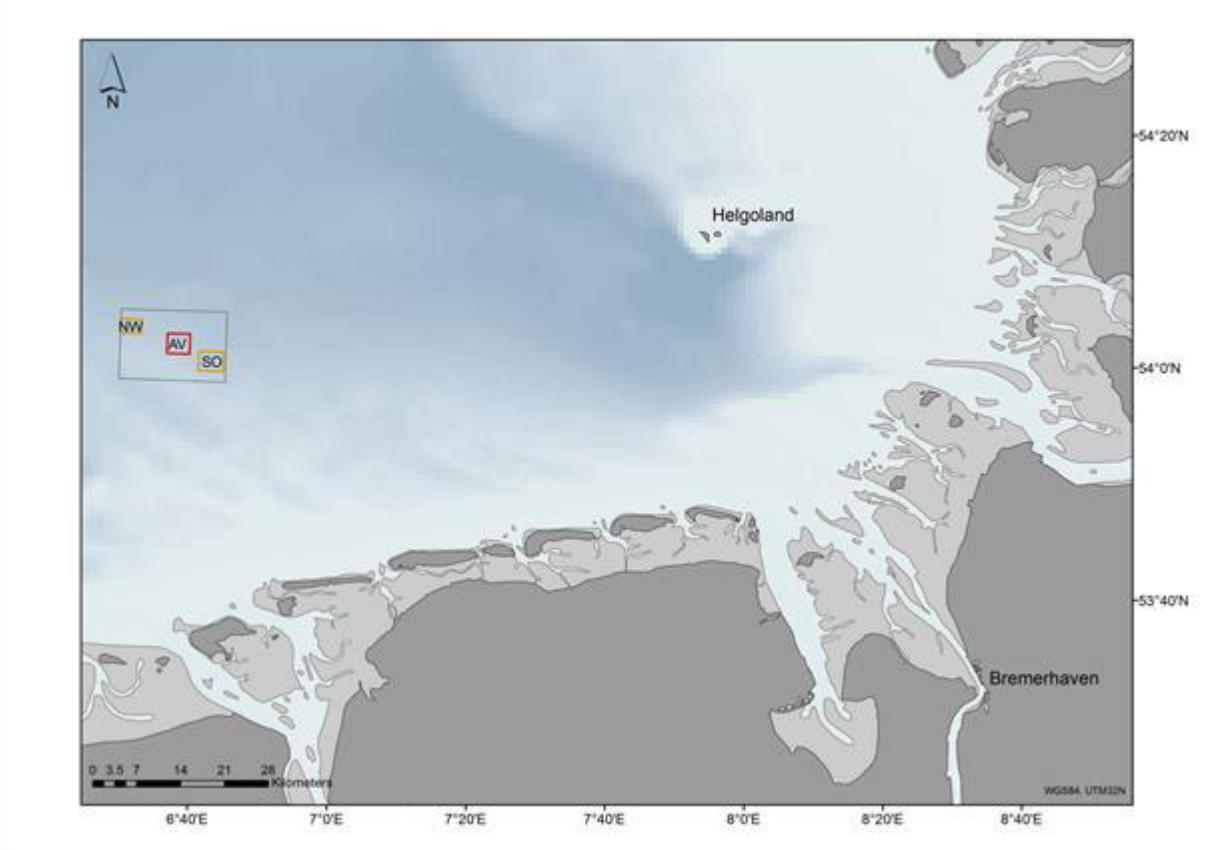

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets in der Deutschen Bucht. Kästen markieren das *alpha ventus* Gebiet (AV) und zwei Referenzgebiete südöstlich (Referenzgebiet SO) und nordwestlich (Referenzgebiet NW) von *alpha ventus*. Eine graue Umrandung zeigt die Begrenzung des Gesamtuntersuchungsgebiets der hydroakustischen vergleichenden Bestandsuntersuchungen (mesoskaliges Untersuchungsgebiet um alpha ventus).

Die Untersuchung der Verteilung der pelagischen Fische erfolgte mit hydroakustischen Messungen mit stationären und schiffsgebundenen Messsystemen und mit Netzfang-Beprobungen mit einem pelagischen Schleppnetz. Das Untersuchungskonzept sah zu Beginn der Untersuchung schiffsbasierende Messungen mit einem horizontal gerichteten Echolot (Simrad EK60) auf Messtransekten entlang der Windenergieanlagen und stichpunktartige Messungen entlang von Messtransekten in Referenzgebieten vor. Darüber hinaus umfasste das Untersuchungskonzept Messungen mit einem kabelbetriebenen horizontal gerichteten stationären Messsystem (Simrad EK60) in der Nähe von FINO1. Die Ergebnisse der Evaluierung der ursprünglichen Messmethoden sind im Kapitel *Methodenkritik* dargestellt. Die Evaluierung hat zu Änderungen des Untersuchungskonzepts (2010) geführt.

Das geänderte Untersuchungskonzept beinhaltet eine Ausweitung der hydroakustischen Messmethoden und Messungen. Die Untersuchung der Verteilungsmuster der pelagischen Fische beruht im weiterentwickelten Untersuchungskonzept im vollen Umfang auf Messungen mit vertikal gerichteten Echolotsystemen. Es erfolgte eine Ausweitung der Messtransekte im zeitlichen Umfang und in der räumlichen Abdeckung durch die Messungen, die auf einen mesoskaligen Bereich um das Testfeldgebiet ausgeweitet wurde. Mit insgesamt drei stationären hydroakustische Messsystemen außerhalb und innerhalb des Windparkgebiets (mit Distanz sowie in unmittelbarer Nähe einer WEA) sollen Langzeitmessungen erfolgen, die es erlauben, gerichtete Veränderungen von kurzzeitigen oder periodischen Schwankungen in der lokalen Abundanz von Fischen zu unterscheiden und fernerhin Gradienten innerhalb des Windparks aufzulösen. Eine mögliche Aggregation von Fischen innerhalb der Unterwasserstrukturen soll mit einem bildgebenden Sonar untersucht werden. Für diesen Zweck musste ein adäquates stationäres Messsystem sowie ein Landersystem für den Einsatz des bildgebenden Sonars innerhalb des Projekts entwickelt werden. Die neuentwickelten Systeme werden im Folgenden kurz dargestellt.

9.1.1. Messsysteme

9.1.1.1. Stationäres hydroakustisches Messsystem

Die Messelektronik des Messsystems basiert auf einem Simrad EK60 Multifrequenzecholot mit den Messfrequenzen 38 und 120 kHz. Die General Purpose Transceiver (GPTs, 38 und 120 kHz) und die Transducer (ES38B und ED120-7C) wurden ohne Modifikationen verbaut. Eine neuentwickelte Steuerelektronik und Software erlaubt:

- einen kabelgebundenen sowie einen batteriebetriebenen Betriebsmodus
- eine automatische Umschaltung zwischen den Betriebsmodi
- die Versetzung des Systems in einen extrem stromsparenden Schlafzustand zwischen den Messungen
- einen programmierten Ablauf der Messungen und Schlafphasen nach Datums- und tageszeitlichen Vorgaben
- die Möglichkeit der Fernwartung und Datenzugriff im kabelgebundenen Betrieb

Das Umschalten zwischen den Betriebsmodi erfolgt hierarchisch, mit einem Vorrang des kabelgebundenen Betriebs und automatisch, z.B. bei einem Defekt des Kabels, und gewährleistet damit einen ausfalllosen Messbetrieb über einen Zeitraum, der von der verfügbaren Batteriekapazität bestimmt wird. Eine Wake-up-Kontrolleinheit steuert das Hochfahren des Systems gemäß einem vorgegebenen Zeitplan für die Messungen. Nach Ende der vorgege-

benen Messdauer wird das Gesamtsystem zunächst Software-seitig heruntergefahren und dann stromlos geschaltet und so in einen extrem stromsparenden Schlafmodus versetzt. Eine neuentwickelte Software erlaubt eine Vorgabe der Messzeiten nach Datumsangaben oder sich wiederholenden, festen Tageszeiten. Die Vorgaben erfolgen getrennt für den kabelgebundenen und den batteriebetriebenen Messbetrieb und ermöglichen somit unter anderem einen Notfallmessbetrieb im Batteriemodus. Die Software kommuniziert mit dem Wake-Up-Kontroller und der Betriebssoftware des Simrad EK60. Die Software bildet dabei eine Hierarchieebene oberhalb der EK60 Betriebssoftware, gibt Messparameter vor und steuert Beginn und Ende der Messungen. Das Messsystem verfügt im derzeitigen Ausbauzustand über eine Datenspeicherkapazität von 64 GB auf einer Solid State Disk.

Die Steuer-, Regel- und Messelektronik ist in einem Druckgehäuse aus PE-HD und POM (Deckel) mit einem Außendurchmesser von ca. 370 mm und einer Länge von 1.050 mm untergebracht. Ein zweites, gleichgroßes Druckgehäuse dient der Aufnahme von Batterien. Vollbestückt erreicht das System zurzeit eine Batterie-Gesamtkapazität von 17.600 Wh. Die theoretische Gesamtmessdauer beträgt bei einer Gesamtleistungsaufnahme des Systems von 55 W im Messbetrieb unter der Berücksichtigung von Selbstentladung und Kapazitätsverlust ca. 230 Stunden (Dauermessbetrieb). Einstellungen am Messsystem und Datenabfragen werden in einer Remote-Desktop Verbindung vorgenommen, die über DSL-Modems hergestellt wird.

Elektronik und Batterie-Druckgehäuse sind unterhalb der Transducer in einem Geräteträgersystem verbaut, das Schutz vor Schleppnetzen bieten soll. Später erfolgte die Konstruktion eines zweiten Geräteträgers aus Glasfaser verstärktem Kunststoff (GFK), der durch eine Verkleinerung der Abmessung und durch eine Gewichtsreduktion eine vereinfachte Ausbringung mit kleinen Schiffen ermöglicht. Die geringe Höhe des Geräteträgers ermöglicht einen bodennahen Beginn der Messungen (abhängig von den Eigenschaften des Transducers). In Schleppnetz-Fischerei freien Gebieten stellt das Messsystem keine Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs da. Außerhalb des Windparkgebiets erfolgt aus Sicherheitsgründen die Markierung der Messstelle mit einer Warn-Spierentonne.

Die Geräteträger verfügen über ein Bergungssystem, das die Bergung des Messsystems ohne den Einsatz von Tauchern ermöglichen soll. Das Bergungssystem besteht aus einer hydroakustisch auslösbaren Auftriebstrommel (FIOBUOY), auf die das Bergungsseil aufgetrommelt ist. Die Bergungsboje ist in den Geräteträger eingelassen (Abbildung 2).

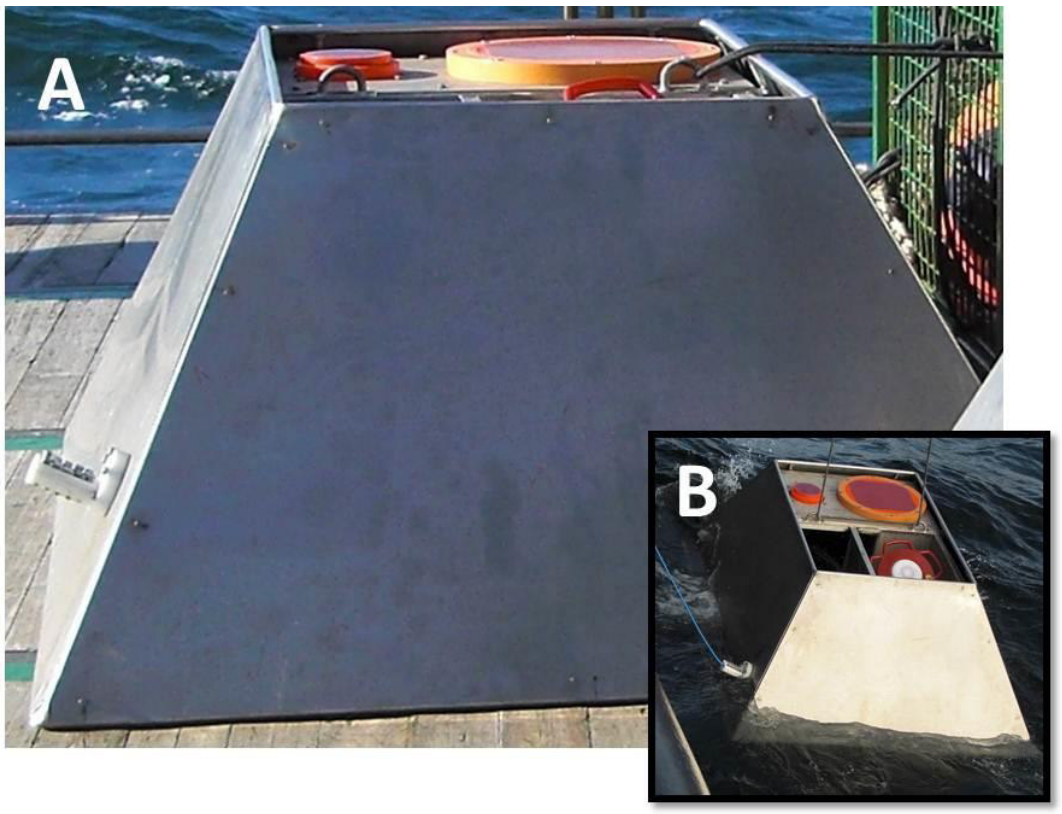

Abbildung 2: (A) Stationäres Multifrequenzecholotsystem im schleppnetzgeschützten Geräteträger. (B) Bei der Ausbringung mit Kabelanbindung.

9.1.1.2. Landersystem mit bildgebenden Sonar

Das Landersystem dient als lagestabilisierende Plattform, die Messungen der Fischverteilung innerhalb von Windenergieanlagen (WEA) ermöglichen soll. Das Gestell des Landersystems besteht aus einem Ringfuß mit 2 m Durchmesser, der für den Transport klappbar ist. An einem zentralen Gestänge befindet sich in 1,8 m Höhe eine Aufnahme für einen Schwenkneigekopf, an dem das bildgebende Sonar montiert wird (Abbildung 3). Mit Hilfe des Schwenkneigekopfs kann das bildgebende Sonar in 3 Dimensionen bewegt und somit verschiedene Bereiche der WEA untersucht werden.

Als bildgebendes Sonar kommt ein Didson ULS1000 zum Einsatz. Die Ansteuerung des bildgebenden Sonars und die Visualisierung der aktuellen Messwerte erfolgt mit einem spritzwassergeschützten Laptop (Panasonic Toughbook). Die Steuerung des Schwenkneigekopfs erfolgt mittels Joystick, der zusammen mit elektronischen Bauteilen, Kabelsteckverbindungen und Anzeigeinstrumenten in einem Peli Case verbaut wurde. In diesem Peli Case sind darüber hinaus aufladbare Batterien (AGM 12 V, 2 x 55 Ah) und ein Schnellladegerät eingebaut. Die Kabelverbindung zum bildgebenden Sonar für Kommunikation, Datenübertragung und Spannungsversorgung sowie zur Schwenkneigekopfeinheit für Ansteuerung und Spannungsversorgung erfolgt über zwei separate, parallel geführte Kabel.

Das Landersystem kann von einem kleinen Schiff oder direkt von der Plattform einer WEA aus eingesetzt werden.

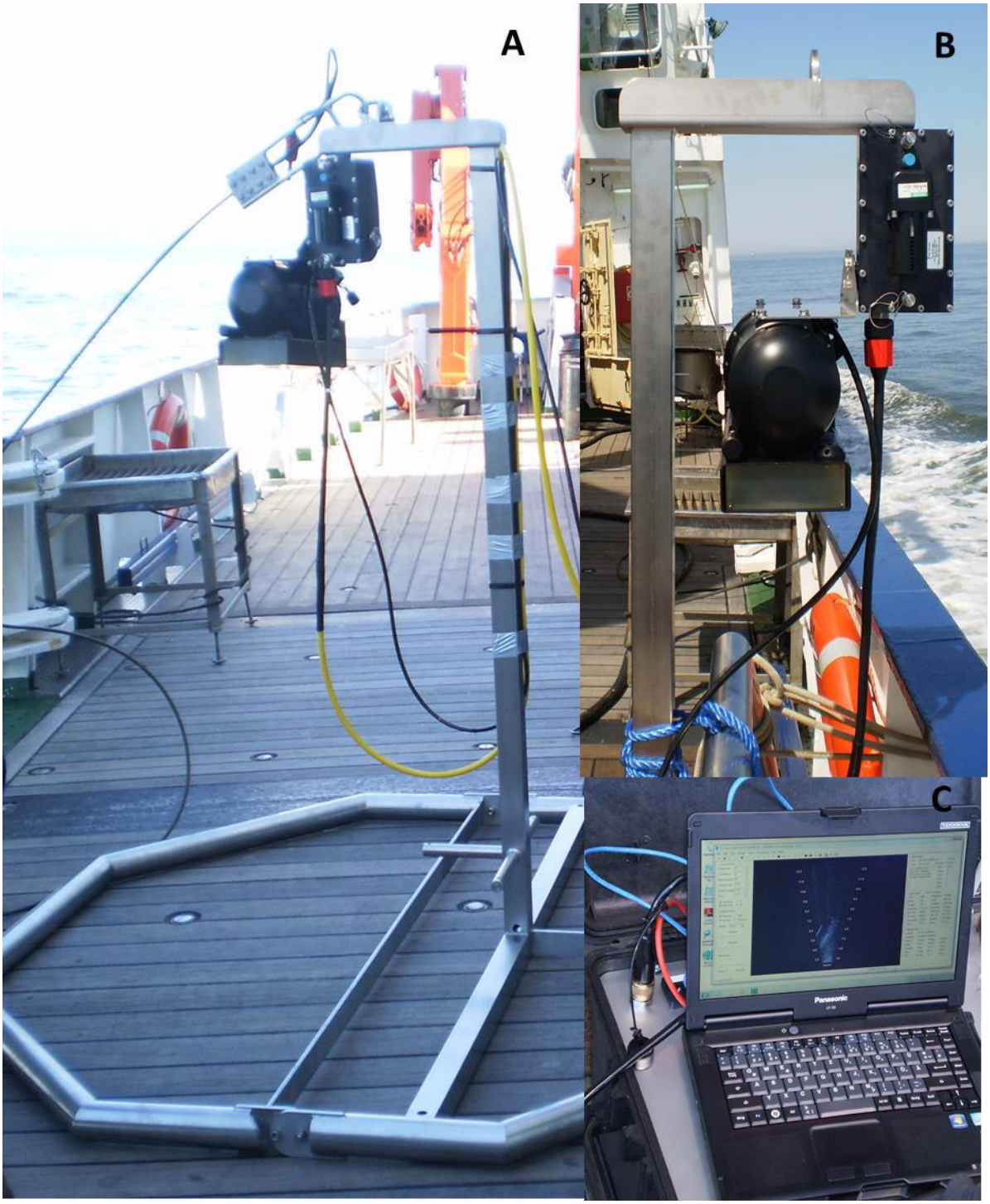

Abbildung 3: Landersystem mit bildgebendem Sonar (Didson ULS1000). A) Landergestell mit Schwenkneigekopf und bildgebendem Sonar. B) Landergestell im eingeklappten Zustand. C) Spritzwassergeschützter Computer für Steuerung und Datenakquisition auf Peli Case mit integrierten aufladbaren Batterien.

9.1.2. Hydroakustischer Survey

Die Messungen erfolgten entlang von Messtransekten in und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* mit einem in dem Schiffsrumpf der FS Heincke festeingebauten wissenschaftli-

chen Multifrequenz-Echolotsystem (Simrad EK60) mit den Frequenzen 38, 70, 120 und 200 kHz. Das Echolotsystem wurde über den Gesamtzeitraum der Untersuchung mehrfach nach der Standardmethode mit Standard-Kalibrierungskugeln kalibriert (Foote et al. 1987). Die erhobenen Daten wurden anschließend unter Verwendung des Programms Echoview 5 (Sonardata) visuell geprüft und gestörte Messungen aus der weiteren Datenanalyse ausgeschlossen. Nach der Entstörung wurden die gemessenen Sv-Werte (Volume Backscattering Strength - Volumen Rückstreu-Stärke, dB) in Zellen mit einer vertikalen Ausdehnung von 5 m und einer horizontalen Ausdehnung von 10 m integriert und der Sv-Wert für die jeweilige Zelle berechnet. Um Rückstreu-Signale, die nicht von Fischen, sondern von schwachrückstreuenden Organismen resultieren, auszuschließen, wurde ein Schwellwert (Sv-Schwellwert) der Integration von -70 dB (38kHz) definiert. Die Bereiche von 0 - 4 m unterhalb der Schallwandler im Schiffsrumpf (Blasen beeinflusste Oberflächenzone) und 0 - 1 m über den Boden wurden aus der Integration ausgeschlossen.

Anschließend erfolgte die Berechnung von mittleren NASC-Werten (Nautical Area Backscattering Coefficient – Nautischer Flächenrückstreu-Koeffizient) entlang der Messtransekte für Transektintervalle von 180 m Länge auf der Basis der Messungen bei 38 kHz. Messungen bei Schiffsgeschwindigkeiten geringer als 3,5 kn wurden aus der Berechnung der mittleren NASC-Werte ausgenommen (z.B. Ausschluss von Wendemanövern):

$$NASC = 4\,\pi\, \times 1852^2\, \times \overline{sv}\, \times\, \overline{T_U}$$

$1852 =$ Meter pro Nautischer Meile (m/NM)

$\overline{sv}$ = mittlerer Volumen Rückstreu-Koeffizient (m^2/m^3) im Transektintervall, mit

$$sv = 10^{Sv/_{10}}$$

$\overline{T_U} =$ mittlere Tiefe des Untersuchungsbereichs im Transektintervall (4 m unterhalb des Transducers bis 1 m über Boden).

Räumliche Definition von alpha ventus-, Referenz- und Gesamt-Untersuchungsgebiet

Die Messungen im *alpha ventus* Gebiet erfolgten standardmäßig entlang von Messtransekten entlang des Breitengrades und beginnen bzw. enden in ca. 800 m Entfernung in Längsrichtung von der äußersten Anlage des Windparks. Die Definition des *alpha ventus* Gebiets in dieser Studie umschließt diese Transekte (Abbildung 4). Ferner sind ein Nord-Westliches und ein Süd-Östliches Referenzgebiet definiert, in denen Standard-Messtransekte durchgeführt wurden. Mit der Ausweitung des Gesamtgebiets des hydroakustischen Surveys und seiner Dauer (vertikale Messungen) konzentrierten sich die Messungen während des Tages auf das *alpha ventus* Gebiet und beide Referenzgebiete (Abbildung 4). Das erweiterte Untersuchungsgebiet umfasst nach räumlicher Ausweitung der Messungen ein Gebiet von ca. 12 x 16 km während eines mesoskaligen Standard-Nachtsurveys (Abbildung 4) um das *alpha ventus* Testfeldgebiet. Neben den Transekt-Messungen im *alpha ventus* Gebiet, den Referenzgebieten sowie den Nachttransekten, umfasst der Messdatensatz Messungen bis zu einer Entfernung von 10 km um das *alpha ventus* Gebiet (z.B. Messungen während An- und Abfahrten zum *alpha ventus* Gebiet). Die äußeren Transekte des Nachtsurveys bilden dabei die nördliche bzw. südliche Grenze des Untersuchungsgebiets (Abbildung 4).

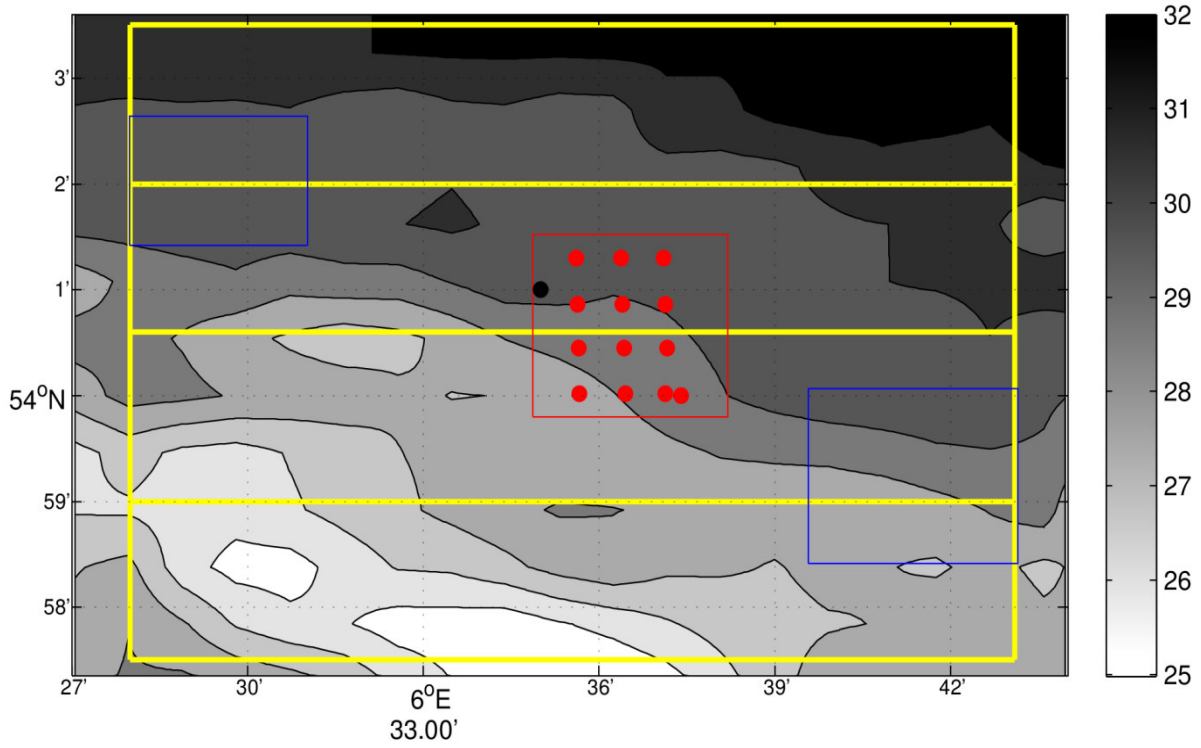

Abbildung 4: Untersuchungsgebiet der Hydroakustischen Surveys. Gelbe Linien markieren die Transekte der mesoskaligen Nachtsurveys. Das *alpha ventus* Untersuchungsgebiet ist rot umrandet, die Referenzgebiete sind blau umrandet. Konturflächen zeigen farblich kodiert (Graustufen) die Tiefe im Untersuchungsgebiet.

Mittlere Wassertiefe

Aus der Gesamtheit der während der hydroakustischen Surveys (HE300 – HE369) aktuell gemessenen Wassertiefen-Messwerte (Simrad EK60) wurde eine annähernd tidenbereinigte mittlere Wassertiefe als Faktor für die weitere Datenanalyse berechnet. Die Berechnung erfolgte durch Mittelwertbildung aller Messwerte in Zellen von 1 x 1 km in einem Messgitter. Die Tiefe, die dem NASC-Messwert in den einzelnen Transektintervallen als erklärende Variable (Generalisiertes Lineares Modell, s.u.) zugeordnet wird, ergibt sich als lineare Interpolation auf Grundlage dieser Daten an der aktuellen Messposition.

Normierte Globalstrahlung und Tag-Nacht-Definition

Während des Untersuchungszeitraums wurde die kurzwellige solare Einstrahlung (Globalstrahlung) mit einem CMP11-Messsensor der Firma Kipp & Zonen gemessen. Die in einem tageszeitlichen Intervall (10 M-in.-Intervall) gemessene Globaleinstrahlung wurden im jeweiligen Tageszeitintervall über den Untersuchungszeitraum (Untersuchungsausfahrt) gemittelt ($\overline{Sol_i}$) und normiert (nSol_i).

$$nSol_i = \frac{\overline{Sol_i}}{\max(\overline{Sol_i})}$$

Auf der Grundlage der normierten Globalstrahlung erfolgte eine Tag/Nacht-Einteilung der Messungen des hydroakustischen Surveys, mit der Definition des Beginns bzw. des Endes eines Tages-Surveys durch die Tageszeit, bei der die normierte Globalstrahlung einen Wert

von 5 % ($nSol_i = 0.05$) des mittäglichen Werts (Maximal-Wert) erreicht bzw. unterschreitet. Diese Abgrenzung trägt Änderungen von Schwarm- und Tiefenaufenthaltsverhalten mit der einsetzenden Dämmerung Rechnung.

9.1.3. Analyse- und Auswertungsmethoden

Die vorkommenden pelagischen Fische sind u.a. auf Grund ihres Schwarmverhaltens räumlich fleckenhaft verteilt. Die NASC-Messwerte zeigen daher keine statistische Normalverteilung. Aus diesem Grund kann kein unmittelbarer Vergleich der Mittelwerte der NASC-Werte, die im *alpha ventus* Gebiet und außerhalb gemessen wurden, erfolgen. Mit einer Log-Transformation kann eine Normalverteilung angenähert werden. Der Vergleich von Mittelwerten log-transformatierter NASC-Werte bedeutet jedoch einen Vergleich von geometrischen Mittelwerten, und führt somit zu einer Unterschätzung der realen Fischabundanz fleckenhaft verteilter Fische (örtlich hohe Messwerte). Ein direkter Vergleich der Mittelwerte log-transformierter Messwerte wird aus diesem Grund nicht durchgeführt.

Die Datenanalyse und die statistische Quantifizierung der Effekte des Testfeldgebiets *alpha ventus* auf die Verteilung pelagischer Fische erfolgt hingegen durch die Berechnung Generalisierter linearer Modelle (GLM) unter Verwendung der Familie der Gamma- oder inverser Gauß-Verteilungen, die als kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen die Modellierung nicht diskreter, schiefverteilter Messdaten ermöglichen (Hilbe 2010). Als Link-Funktion wurde in beiden Fällen die Log-Funktion verwendet. Das Modell beinhaltet die Tiefe am Ort der Messung und den Ort der Messung („innerhalb“ oder „außerhalb“ alpha ventus) als erklärende Variablen, ebenso wie eine Interaktion zwischen diesen Variablen:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1\, zTiefe_i + \beta_2 ia_i + \beta_3\, zTiefe_i{:}\, ia_i$$

$zTiefe$ ist hier die z-transformierte Tiefe, ia die binäre erklärende Variable („innerhalb“ oder „außerhalb“ alpha ventus) und $zTiefe{:}\, ia$ der Interaktionsterm.

Die Berechnung der Modelle erfolgte mit dem Statistikprogramm R. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit von der Interaktion $zTiefe{:}\, ia$ wurde der Interaktionsterm aus der Modellierung ausgeschlossen. Bei signifikantem Interaktionsterm wurde von der Betrachtung des Aufenthalts innerhalb oder außerhalb des *alpha ventus* Gebiets (ia) auch bei signifikanter Abhängigkeit von ia als erklärender Faktor abgesehen.

Unter der Annahme einer gleichen Größen- und Artzusammensetzung (gleiche Grundpopulation) der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets, berechnet sich ihre relative Abundanz innerhalb zu außerhalb des Testfeldgebiets bei signifikanter Abhängigkeit von ia gemäß

Relative Abundanz = e^{β_2}

Der Modell-Vergleich erfolgte mittels Residualanalyse sowie auf Grundlage der AIC-Werte (Akaikes Informationskriterium, Akaike 1974). Die Signifikanz der Modelle wurde mit einer ANOVA mit einer F-Test Statistik bestimmt.

9.1.4. Netzfänge

Der pelagische Fischbestand innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets wurde mit einem pelagischen Schleppnetz beprobt (Abbildung 5). Die Schleppdauer betrug jeweils eine halbe Stunde in mittlerer Wassertiefe. Die Fische wurden an Bord sortiert, gezählt und ge-

wogen. Nicht dauerhaft pelagische Fischarten, wie der Sandaal (Ammodytidae), die sporadisch auch mit signifikanten Biomassen auftreten können, wurden als nicht pelagische Fischarten von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die Netzfänge dienten der Erfassung der Zusammensetzung der pelagischen Fische, nicht der vergleichenden Abundanz-Abschätzung, die auf Grund der Fleckenhaftigkeit der Fischverteilung vollständig auf den hydroakustischen Messungen (Survey) basieren muss.

Unter Verwendung der relativen Gewichtsanteile der Biomasse der verschiedenen pelagischen Fischarten wurde auf der Grundlage des Bray-Curtis-Index ein Similaritäts-Index berechnet (BCI), mit dem die Zusammensetzung der Fänge innerhalb mit denen außerhalb verglichen wird. Ist B_{ik} der relative Gewichtsanteil der Fischart k im Testfeldgebiet *alpha ventus* und B_{jk} der relative Gewichtsanteil der Fischart außerhalb, berechnet sich der Index gemäß:

$$BCI = \frac{\sum_{k=1}^{n} |B_{ik} - B_{jk}|}{\sum_{k=1}^{n} (B_{ik} + B_{jk})}$$

Ein BCI von 0 bedeutet eine komplette Übereinstimmung der Zusammensetzung, ein BCI-Wert von 1 eine vollständige Dissimilarität.

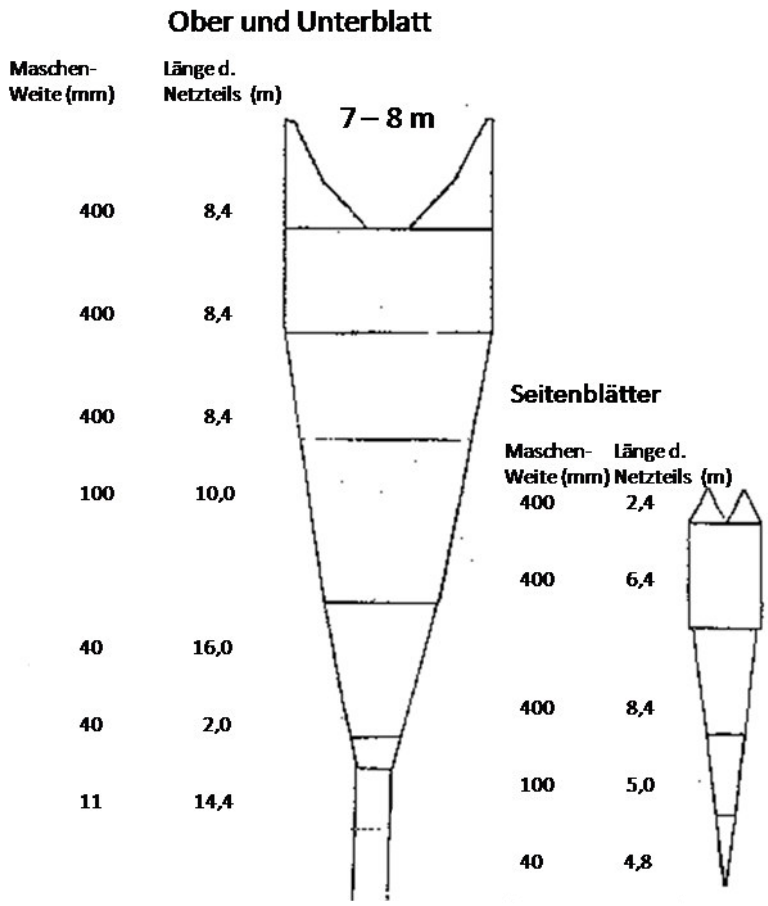

Abbildung 5: Zeichnung des verwendeten Pelagischen Schleppnetzes mit Angaben zur Maschenweite und der Länge der einzelnen Netzsegmente.

9.1.5. Mageninhaltsanalyse

Mageninhaltsuntersuchungen wurden an Makrele und Stöcker durchgeführt. Die Fische wurden mit einem pelagischen Schleppnetz und, in unmittelbarer Nähe der FINO1, mit Angeln gefangen. Die Fische wurden an Bord vermessen und die Mägen herauspräpariert und in einer gepufferten Formaldehydlösung für die weitere Analyse präserviert.

Im Labor wurden die Fischmägen geöffnet und der Mageninhalt auf eine feine Gaze überführt und eingewogen. Der Mageninhalt wurde anschließend unter dem Binokular auf verschiedenen taxonomischen Ebenen bestimmt, sortiert und wiederum auf Gaze überführt und eingewogen. Dauerhaft pelagisch lebende Krebstiere (Crustacea) sowie pelagische Stadien von Krebstieren wurden auf Ordnungsebene bzw. auf Ebene der Unterklasse (Copepoden) bestimmt. Im Fall der Garnelen (Caridea) erfolgte eine Bestimmung bis zur Familienebene (Crangonidae und Processidea). Im Fall der Amphipoden erfolgte eine gesonderte Bestimmung auf Gattungsebene als Identifizierung der Hartsubstrat-assoziierten Amphipoden-Gattung *Jassa*. Nemertini (Schnurwürmer) wurden auf Stammebene, Sipuncula (Spritzwürmer) auf Gruppenebene (Stamm: Annelida) und Bivalvia (Muscheln), Gastropda (Schnecke), Cephalopoda (Kopffüßer), Anthozoa (Blumentiere), Hydrozoa (Hydrozoen) und Ascidia-Larven (Seescheiden) auf Klassenebene identifiziert. Die Identifikation umfasst fernerhin die Überordnung Decabrachia (Zehnarmige Tintenfische), die Gattung Oikopleura und Fische.

Die hier vorgestellte Untersuchung umfasst Mägen von Stöckern und Makrelen, die im Zeitraum von 2008 bis einschließlich 2011 gefangen wurden. Sie umfasst Fische, die unmittelbar an der Unterwasserstruktur der Forschungsplattform FINO1 gefangen wurden, Fische, die im Testfeldgebiet *alpha ventus* und vor dessen Errichtung in der Nähe der FINO1 gefangen wurden sowie Fische, die außerhalb des *alpha ventus* Gebiets gefangen wurden. Für die Betriebsphase von *alpha ventus* erfolgt die Gruppierung jeweils für Makrele und Stöcker, die (1) unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1, (2) im *alpha ventus* Testfeldgebiet bzw. (3) in den Referenzgebieten gefangen wurden.

Die vergleichende Analyse der Nahrungskomponenten erfolgte auf der Ebene der einzelnen Mägen sowie auf der Ebene der Gruppenmittelwerte, der an den verschiedenen Orten gefangenen Tiere. Die einzelnen Gruppen stellen dabei die Fische der jeweiligen Art dar, die an der Unterwasserstruktur der FINO1, im *alpha ventus* Gebiet (ohne Tiere FINO1) sowie in den Referenzgebieten gefangen wurden. Die Analyse erfolgte in Hinsicht auf die Unterschiede zwischen den Gruppen (Nahrungskomponenten der Tiere an FINO1, *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten) sowie auf die Bestandteile an Nahrungsorganismen, die Hartsubstart-assoziiert sind und somit auf eine Nutzung spezifischer im Windpark vorkommender Nahrungsorganismen schließen ließen.

Für die Analyse auf der Ebene der Einzelmägen wurden die Gewichtsdaten (Nahrungsbestandteile) mit der vierten Wurzel transformiert. Anschließend wurde eine Bray-Curtis-Ähnlichkeitsmatrix berechnet und eine graphische Exploration möglicher Unterschiede zwischen den Gruppen durch die Darstellung von nicht-metrischen multidimensional skalierten Daten (nMDS-Plots) durchgeführt (Primer 6). Durch die Berechnung einer ANOSIM (Einweg) mit den „Gruppen“ als Faktor, wurde getestet, ob signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bestehen (Primer 6). Diese Analyse erfolgte für den Zeitraum 2008 - 2011 sowie zeitlich eingeschränkt auf die Betriebsphase für die Daten 2010 und 2011.

Für die Gruppen erfolgte darüber hinaus die Berechnung der relativen Gewichtsanteile der einzelnen Nahrungskomponenten (G), deren Auftretens-Häufigkeit (H) und eines Präponderanz-Index (Index of Preponderance, IOP), der eine Gewichtung der Nahrungskomponenten auf der Grundlage der prozentualen Gewichtsanteile der Nahrungskomponenten (% G) und deren prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% H) darstellt. Der prozentuale Gewichtsanteil einer Nahrungskomponente innerhalb einer Gruppe berechnet sich aus der Summe der Gewichte der einzelnen Nahrungskomponente (i) in allen Fischmägen der Gruppe (SGi) sowie der Summe der Gewichte aller Nahrungskomponenten in allen Fischmägen der Gruppe (SGij) nach $\%G_i = SGi/SGij \times 10$. Die Auftretens-Häufigkeit (Hi) berechnet sich aus der Anzahl der Fischmägen in denen die Nahrungskomponente (i) auftritt (Ji) sowie der Anzahl der Mägen mit Mageninhalt in der Gruppe (M) nach $H_i = J_i/M \times 100$. Die prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) berechnet sich aus Ji sowie der Summe der Anzahlen der Fischmägen über alle Nahrungskomponenten ($\sum_{i=1}^{n} J_i$) nach $\%H_i = J_i / \sum_{i=1}^{n} J_i$. Der Präponderanz-Index wird gemäß

$$IOP_i = \frac{\%G_i \times \%H_i}{\sum_{i=1}^{n} \%G_i \times \%H_i} \times 100$$

berechnet. Auf Basis dieser Gruppenkennziffer wurde unter Verwendung des IOP ein Similaritätsindex (SMI) berechnet. Die Berechnung folgt der Berechnung des Schoener’s Index:

$$SMI = 100 - 0{,}5 \times \sum_{i=1}^{n} |IOP_{xi} - IOP_{yi}|$$

IOP_{xi} und IOP_{yi} bezeichnen hier die IOP-Werte der zu vergleichenden Gruppe x und y.

Darüber hinaus wurde für die einzelnen untersuchten Fische ein Magenfüllungsindex (MFI) aus dem Gewicht des Mageninhalts (Gm) und dem Gesamtfischgewicht (TG) bestimmt:

$$MFI = \frac{Gm}{TG} \times 10000$$

10. Methodenkritik

10.1. Einschränkungen und mögliche systematische Fehlabschätzungen durch horizontale hydroakustische Messungen

Das Untersuchungskonzept basierte zu Beginn der Studie auf den Einsatz von horizontal gerichteten hydroakustischen Messungen für die Untersuchung der Verteilungsmuster und die lokale Bestandsabschätzung pelagischer Fische. Eine Evaluierung der Methoden, die unter anderem durch vergleichende vertikal gerichtete hydroakustischen Messungen erfolgte, hat aufgezeigt, dass die horizontale Messmethode bedeutende Einschränkungen aufweist und zu möglichen systematischen Fehlabschätzungen führen kann.

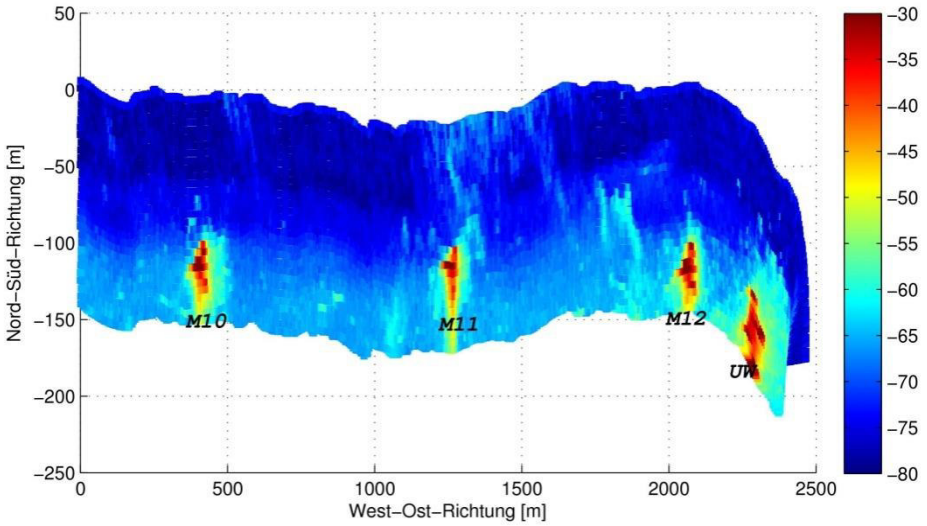

Abbildung 6: Farbkodierte Darstellung der volumenbezogenen Rückstreuung (Sv-Werte, dB) gemessen auf einem Messtransekt entlang der Windkraftanlagen M10, M11, M12 und dem Umspannwerk bei guten Wetterbedingungen. Die Messungen erfolgten mit einem in südlicher Richtung gerichteten horizontalen Echolot. Der systematische Anstieg der Rückstreu-Werte in Entfernung vom Transducer zeigt die Beeinflussung durch Bodenrückstreusignale. Messungen in Entfernung > ca. 60 m müssen auf Grund dieser Beeinflussung aus der Untersuchung ausgeschlossen werden, die somit nicht den Nahbereich der Windkraftanlagen (markiert mit M10 etc.) umfassen kann.

Die Messungen mit dem horizontal gerichteten Messsystem (Simrad EK60, 38 und 120 kHz) erfolgten auf Transekten entlang der Windkraftanlagen. Auch unter sehr guten Wetter- und Seebedingungen kann der Abstand der FS Heincke und vergleichbarer Forschungsschiffe zu den Windkraftanlagen kaum auf Entfernungen unter 100 m verkürzt werden, da unter anderem eine eingeschränkte Manövrierfähigkeit durch langsame Fahrt besteht. Die horizontal gerichteten Messungen sind abhängig von der Rollbewegung des Schiffes und der Inklination des Schallwandlers (Transducer) in einer Entfernung von unter 80 m von Boden-Rückstreusignalen beeinflusst (Abbildung 6). Untersuchungen der Fischverteilung können somit nicht den Nahbereich der Unterwasserstrukturen umfassen.

Die Ausweitung des Schallkegels und die Inklination des Transducers führten bei horizontalen Messungen zu einer entfernungsabhängigen Beprobung unterschiedlicher Tiefenbereiche. Bei einer nicht homogenen Tiefenverteilung der Fische führt dies zu einer systematischen Verzerrung der Bestandsabschätzung mit der Entfernung vom Schiff.

Die vertikalen Messungen zeigten eine ungleichmäßige Tiefen-Verteilung der Fische mit einem gehäuften Vorkommen im unteren Drittel der Wassersäule (Abbildung 7). Der Tiefenschwerpunkt der Einzel-Identifikationen lag für die Messungen während der HE309 (TS_{38kHz} ≥ -60 dB) bei ca. 22 m. In der Tat stiegen die Detektionen von Einzelechos bei den horizontal gerichteten Messungen mit der Entfernung und somit mit verändertem Tiefenbereich der Beprobung an (Abbildung 8). Es erfolgt somit eine von der Mess-Entfernung abhängige Teilbeprobung des Fischbestands. Ein großer Teil des Bestands verbleibt in einer Blindzone, die von den Messungen nicht umfasst wird.

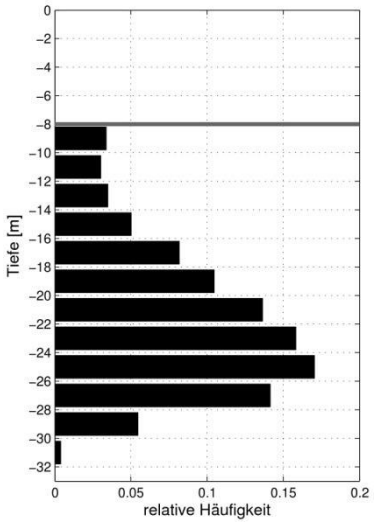

Abbildung 7: Tiefen-Häufigkeitsverteilung der Fische gemäß der relativen Anzahl der Einzeldetektionen (single target detections: 38 kHz; TS > -60 dB) im Untersuchungsgebiet. Die Anzahl der Detektionen wurde in Hinsicht auf das mit der Entfernung ansteigende Beprobungs-Volumen normiert (Korrektur). Die graue Linie markiert den Beginn des Messbereichs (bedingt durch den Tiefgang des Schiffs und den Ausschluss der durch Blaseneinträge etc. beeinflussten Oberflächenzone).

Zusammenfassend und abschließend kann festgestellt werden, dass die horizontal gerichtete, hydroakustische Beprobung mehrere deutliche, methodische Beschränkungen aufweist, die sind: (1) Die für die Untersuchung des Nahbereichs der Windkraftanalgen benötigte Nähe zu den Anlagen ist auch bei sehr guten Wetterverhältnissen und See-Bedingungen kaum mit FS Heincke und anderen Forschungsschiffen einzuhalten. (2) Die Ausweitung des Schallkegels mit der Entfernung und die Inklination des Schallwandlers führen dazu, dass die Messungen entfernungsabhängig unterschiedliche Tiefenbereiche umfassen. Zeigen die Fische keine homogene, sondern - wie auch im Untersuchungsgebiet - eine ungleichmäßige Tiefenverteilung, wird eine Bestandsuntersuchung mit horizontalen Messungen verzerrt. (s. Abbildung 9)

Nach Evaluierung der horizontalen Messmethode durch die ab 2009 in einem großen Umfang parallel durchgeführten vertikalen hydroakustischen Messungen (Simrad EK60) wurde ein modifiziertes Untersuchungskonzept implementiert, dass vollständig auf vertikalen hydroakustischen Messungen basiert.

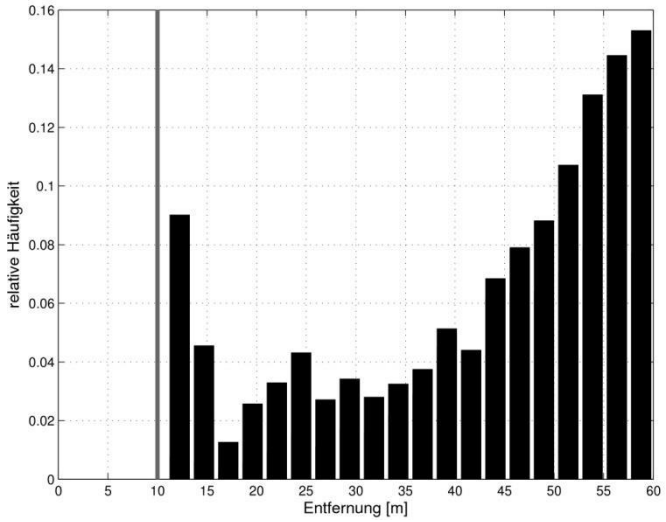

Abbildung 8: Entfernungs-Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Einzeldetektionen (single target detections: 38 kHz; TS > -57 dB) der Messungen mit dem horizontal gerichteten Simrad EK60. Die Anzahl der Detektionen wurde in Hinsicht auf das mit der Entfernung ansteigende Beprobungs-Volumen normiert (Korrektur).

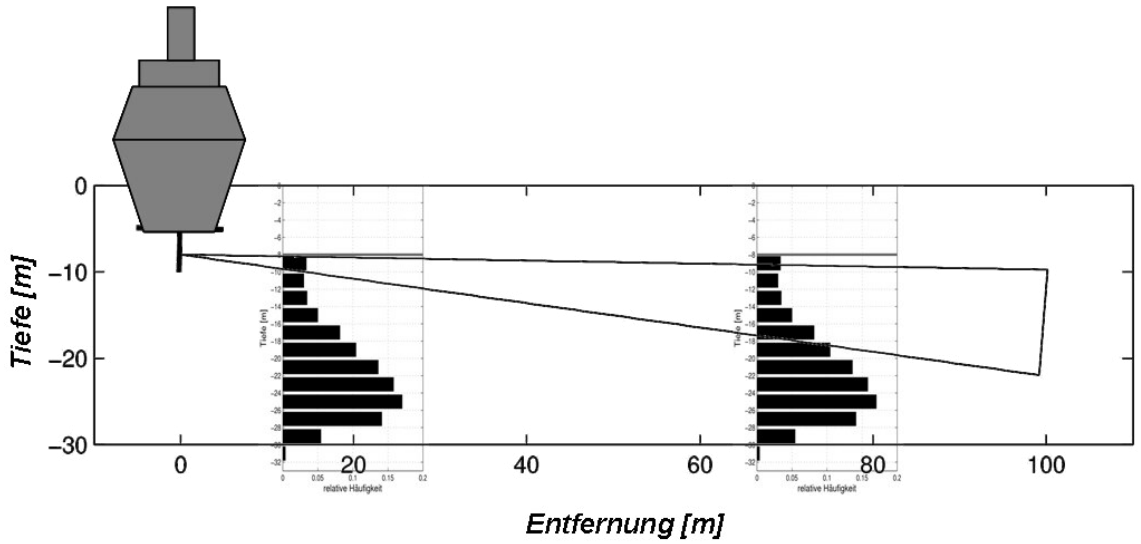

Abbildung 9: Skizze der Effekte der Ausweitung des Schallkegels. Die Ausweitung bedingt eine entfernungsabhängige Beprobung unterschiedlicher Tiefenbereiche. Bei ungleichmäßiger Tiefenverteilung der Fische, führt dies zu einer starken Verzerrung in der Bestandsabschätzung, wenn diese auf horizontal gerichteten Echolot-Messungen basiert. Das eingebundene Histogramm stellt die relative Häufigkeit in der Tiefenverteilung der Fische im Untersuchungsbiet dar und zeigt eine stark ungleichmäßige Verteilung mit einer bevorzugten Aufenthaltstiefe im unteren Drittel der Wassersäule.

10.2. Modifiziertes Untersuchungskonzept

10.2.1. Beobachtungen der Verteilung von Fischen innerhalb der Unterwasserstrukturen einer WEA mit einem bildgebenden Sonar auf einem Landersystem

Die Entwicklung und der Bau des Landersystems für die Untersuchung der Fischverteilung innerhalb der Unterwasserstrukturen konnte erst zum Ende des Projekts (Untersuchungszeitraum bis einschließlich Herbst 2011) abgeschlossen werden. Bedingt war diese starke Verzögerung durch die Nicht-Lieferbarkeit eines spezifischen Linsensystems für das verfügbare

bildgebende Sonar (Didson ULS1000) durch den Hersteller bzw. die hohen Kosten für eine Anpassung eines lieferbaren Linsensystems.

Tests in 2012 mit dem fertiggestellten Landersystem haben die Funktionalität des Systems gezeigt. Das Didson bildgebende Sonar wird erfolgreich bei der Zählung und der Beobachtung von Fischen in und an Unterwasserstrukturen wie z.B. Fischtreppen eingesetzt. Es kann somit von der Funktionalität des Landersystems für die Untersuchung der Fischverteilung in und an den Unterwasserstrukturen der WEAs ausgegangen werden.

10.2.2. Stationäres Multifrequenz-Echolotsystem

Die Beschädigung der Unterwasser-Kabel für die Anbindung der Messgeräte an das Umspannwerk (2010) sowie organisatorische Probleme (Schiffseinsätze) bei der Ausbringung der Messsysteme waren hauptursächlich für die Verhinderung eines mehrmonatigen Messbetriebs (Sommer bis Herbst) in 2010 und 2011. Diese Probleme stellen logistische Probleme dar, die weniger durch die Größe und das Gewicht der Messgeräte und deren Ausbringungsort (u.a. Nahfeld einer WEA) selber, sondern durch die Verfügbarkeit von Schiffen und Schiffszeiten und die spezifischen Wetterbedingungen während der Messgeräte-Kampagnen in 2010 und 2011 bedingt waren.

Um eine Ausbringung in unmittelbarer Nähe einer WEA mit einem kleinen Schiff zu ermöglichen, wurde die Konstruktion des Geräteträgersystems des stationären Messsystems verkleinert und deren Gewicht verringert (unter Verwendung von Glasfaserverstärktem Kunststoff). Das Bergungssystem muss in der Zukunft als redundantes System ausgelegt werden, da aus Sicherheitsgründen im Windparkgebiet kein Notaufstieg der Bergungsboje bei Abfall der internen Batteriespannung oder bei Wassereintritt in die Bergungsboje möglich ist.

Die Messelektronik des stationären Multifrequenz-Echolotsystems basiert auf einem wissenschaftlichen Multifrequenz-Echolotsystem (Simrad EK60), das weltweit standardmäßig für hydroakustische Bestandsabschätzungen eingesetzt wird. Die Entwicklung der Steuerelektronik und Software, die im Projekt erfolgte, ist vollständig abgeschlossen. Diese Entwicklungen erlauben autonome sowie kabelgebundene Messungen und einen extrem stromsparenden Messmodus (messfreie Zeiträume sind als Schlafphase realisiert). Letzte Modifikationen erfolgten Ende 2011 mit einer Vereinfachung der Programmierung und der Absicherung der initialen Übergabe der definierten Messzeiten an die Wake-up Kontrolleinheit. Eine fehlerhafte Übergabe, bedingt durch einen Batterieausfall, hatte zu einem Ausfall bei Kurzzeitmessungen in 2011 geführt. Die außerhalb der Projektlaufzeit zusätzlich durchgeführten Messungen mit zwei stationären Messsystemen im *alpha ventus* Gebiet im Jahr 2012 (Juli - Oktober) zeigen Messungen hoher Güte und einen sehr zuverlässigen mehrmonatigen Messbetrieb (zyklischer Messbetrieb mit Schlaf- und Messphasen).

10.2.3. Hydroakustische, schiffgebundene Surveys

Fischbestandsabschätzungen können auf Grund der fleckenhaften Verteilung pelagischer Fische (Schwarmverhalten) nicht auf Netzfängen basieren. Schiffs-basierende hydroakustische Surveys sind international das Standarduntersuchungsverfahren für die Ermittlung lokaler Fischbestände sowie der Abschätzung der Fischstöcke in großskaligen Meeresgebieten, weil sie eine großräumige, aber zeitlich und räumlich hochauflösende Untersuchung während Messfahrten ermöglichen. Das nationale und internationale Management von Fischbe-

ständen (z.B. mittels Fangquoten-Regelungen) basiert auf hydroakustischen Bestandsabschätzungen.

Zukünftige Untersuchungen sollten auf den hier beschriebenen Messmethoden basieren. Eine Diskussion des Gesamtuntersuchungskonzepts und Vorschläge für ein zukünftiges, windparkübergreifendes Untersuchungskonzept unter Verwendung dieser grundlegenden Messmethoden werden in der ***Diskussion*** bzw. im ***Ausblick*** gegeben.

11. Ergebnisse

11.1. Netzfänge

Während der Bau- und Betriebsphase von *alpha ventus* (Untersuchungszeitraum 2009 - 2011) wurden insgesamt 105 Hols mit einem Pelagischen Schleppnetz mit einer jeweiligen Schleppdauer von ½ Stunden innerhalb und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* standardmäßig während des Tages durchgeführt. Die Anzahl der Hols während der einzelnen Untersuchungsfahrten betrug zwischen 5 und 23 Hols (Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl der Hols mit einem Pelagischen Schleppnetz im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums Frühjahr 2009 bis Herbst 2011 innerhalb und außerhalb von *alpha ventus* (Bau- und Betriebsphase).

PSN Netzfänge innerhalb und außerhalb alpha ventus			
Fahrt	*Anzahl Hols alpha ventus*	*Anzahl Hols außerhalb*	*Anzahl Hols Gesamt*
HE300	6	4	10
HE309	7	3	10
HE313	3	2	5
HE323	6	6	12
HE332	9	14	23
HE340	3	3	6
HE352	2	9	11
HE362	7	9	16
HE369	5	7	12

Hering und Sprotte dominierten die pelagischen Fischfänge während der Frühjahrs 2009, 2010 und 2011 (HE300, HE323 und HE352, Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12). Sie dominierten darüber hinaus mit anderen Heringsartigen wie Sardine (HE313), Sardine und Sardelle (HE340, Abbildung 11) bzw. Sardelle (HE369, Abbildung 12) die Fänge im Herbst 2009, Herbst 2010 beziehungsweise im Herbst 2011. Im Sommer 2009 und Sommer 2011 dominierte die Makrele die pelagischen Fischfänge (HE309, HE362, Abbildung 10, Abbildung 12). Im Sommer 2010 stellten Hering und Sprotte den weitaus größten Gewichtsanteil an

den PSN-Fängen dar und traten Makrele und Sardelle in einen bedeutenden Umfang auf (HE332).

Der auf Basis der relativen Gewichtsanteile der Fischarten berechnete Index der Similarität zeigt eine sehr starke (BCI$\leq 0{,}05$ für HE300, HE313, HE323 HE340, HE363 und HE369) beziehungsweise starke Übereinstimmung (HE309 mit BCI = 0,08, HE332 mit BCI = 0,17) der Zusammensetzung der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets (Tabelle 2).

Alle pelagischen Fischarten zeigen eine stark fleckhafte Verteilung im Frühjahr, Sommer und mit einer hohen Streuung der Fanggewichte innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets (Abbildung 13 - 18).

Das mittlere Fanggewicht von Hering und Sprotte betrug während des Frühjahrs und Herbst zwischen 11,3 kg (SD=22,1 kg, Frühjahr 2009) und 90,8 kg (SD = 62,6 kg, Herbst 2011) (Tabelle 3). Sardinen traten während des Herbst 2009 und des Herbst 2010 mit einem mittleren Fanggewicht von 14,4 kg (SD = 22,2 kg) und 1,8 kg (SD = 3,46 kg) auf (Tabelle 3).

Die Sardelle trat im Vergleich dazu in geringeren Biomassen während des Sommer 2009 (sehr geringe Biomasse), Sommer 2010, Herbst 2010 und Herbst 2011 mit einem maximalen mittleren Fanggewicht von 0,72 kg auf (SD = 0,80 kg, Herbst 2010) (Tabelle 3). Die mittleren Fanggewichte der Makrele betrugen im Sommer zwischen 0,58 kg (SD = 0,65 kg, Sommer 2010) und 14,6 kg (SD = 34,2 kg, Sommer 2011) (Tabelle 3). Juvenile Stöcker wiesen mittlere Fanggewichte zwischen 0,02 kg (SD = 0,02 kg, Sommer 2011) und 0,22 kg (SD = 0,27 kg, Herbst 2010) auf. Juvenile Wittlinge traten in geringen Biomassen auf (0,01 - 0,04 kg, SD=0,01 - 0,07 kg) (Tabelle 3). Adulte Stöcker waren während des Untersuchungszeitraums 2009, 2010 und 2011 nur als Einzelexemplar vertreten. Ebenso traten Fische wie der gewöhnliche Hornhecht (*Belone belone*) nur sporadisch bzw. wie die Seenadel (*Syngnathus*) nur sehr gelegentlich in mehr als sehr geringfügigen Biomassen auf.

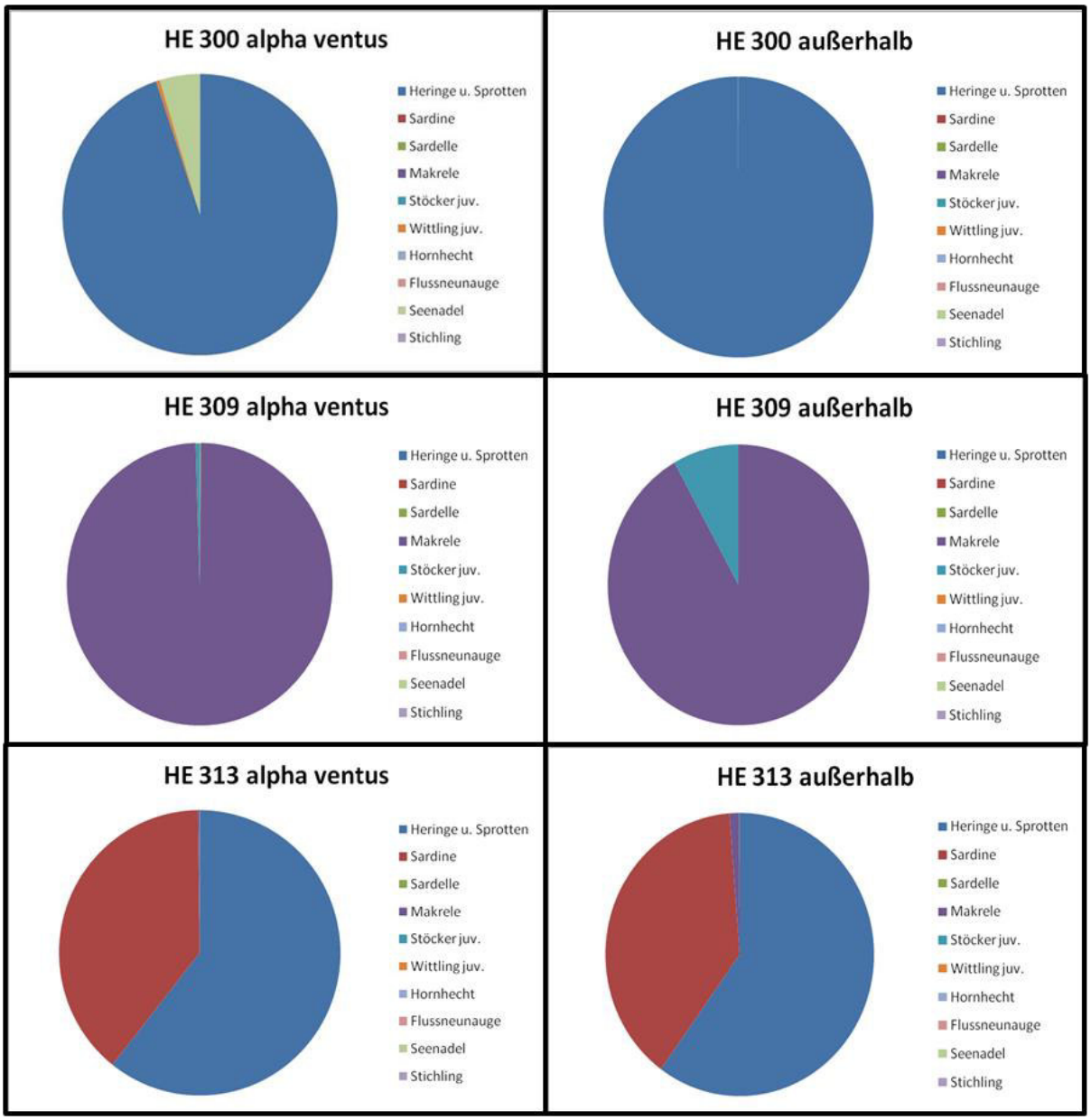

Abbildung 10: Relative Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den PSN-Fängen innerhalb (Einzelabbildungen linke Seite) und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* (Einzelabbildungen rechte Seite) während der Untersuchung im Frühjahr (HE300), Sommer (HE309) und Herbst 2009 (HE313).

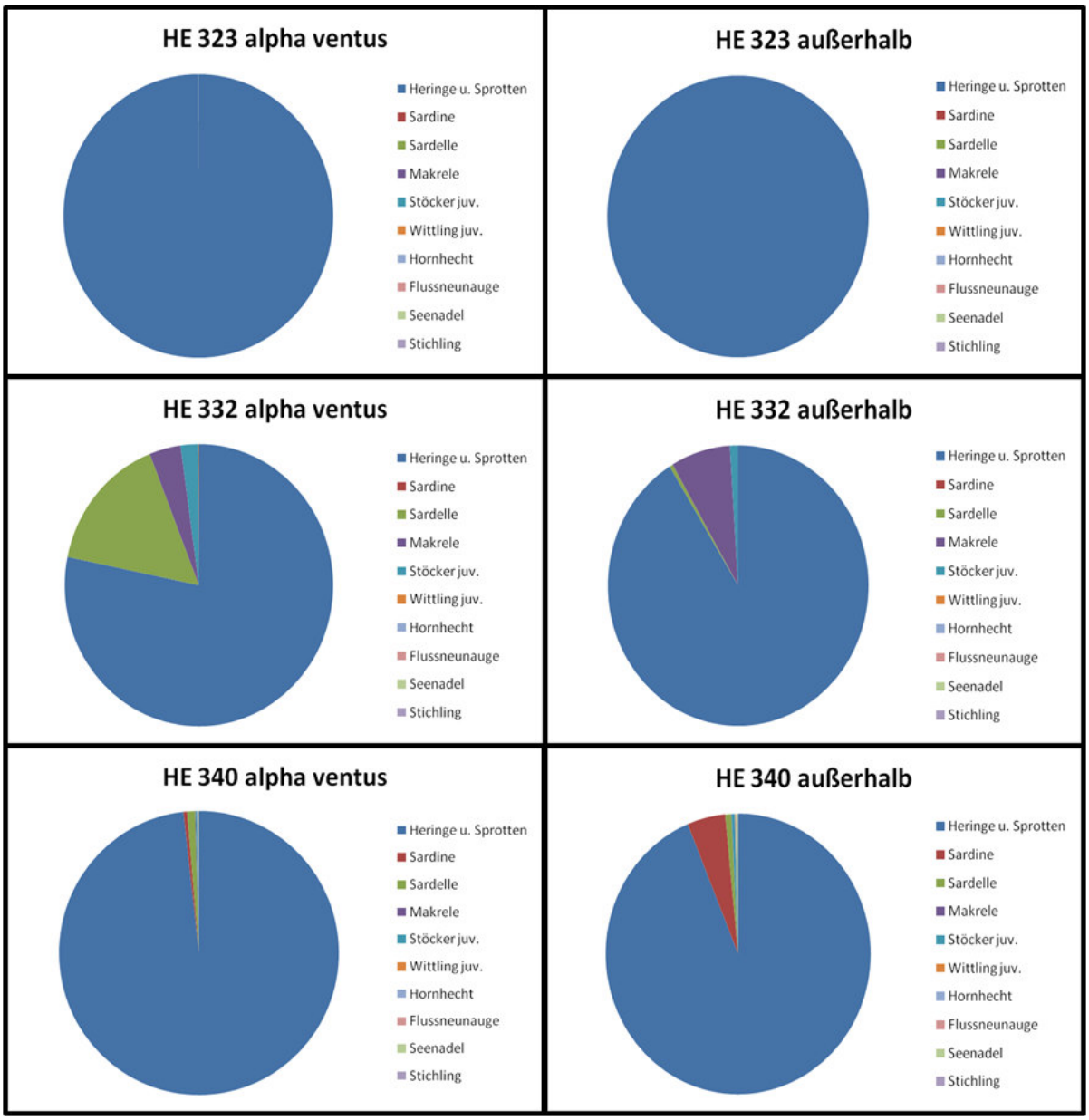

Abbildung 11: Relative Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den PSN-Fängen innerhalb (Einzelabbildungen linke Seite) und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* (Einzelabbildungen rechte Seite) während der Untersuchung im Frühjahr (HE323), Sommer (HE332) und Herbst 2010 (HE340).

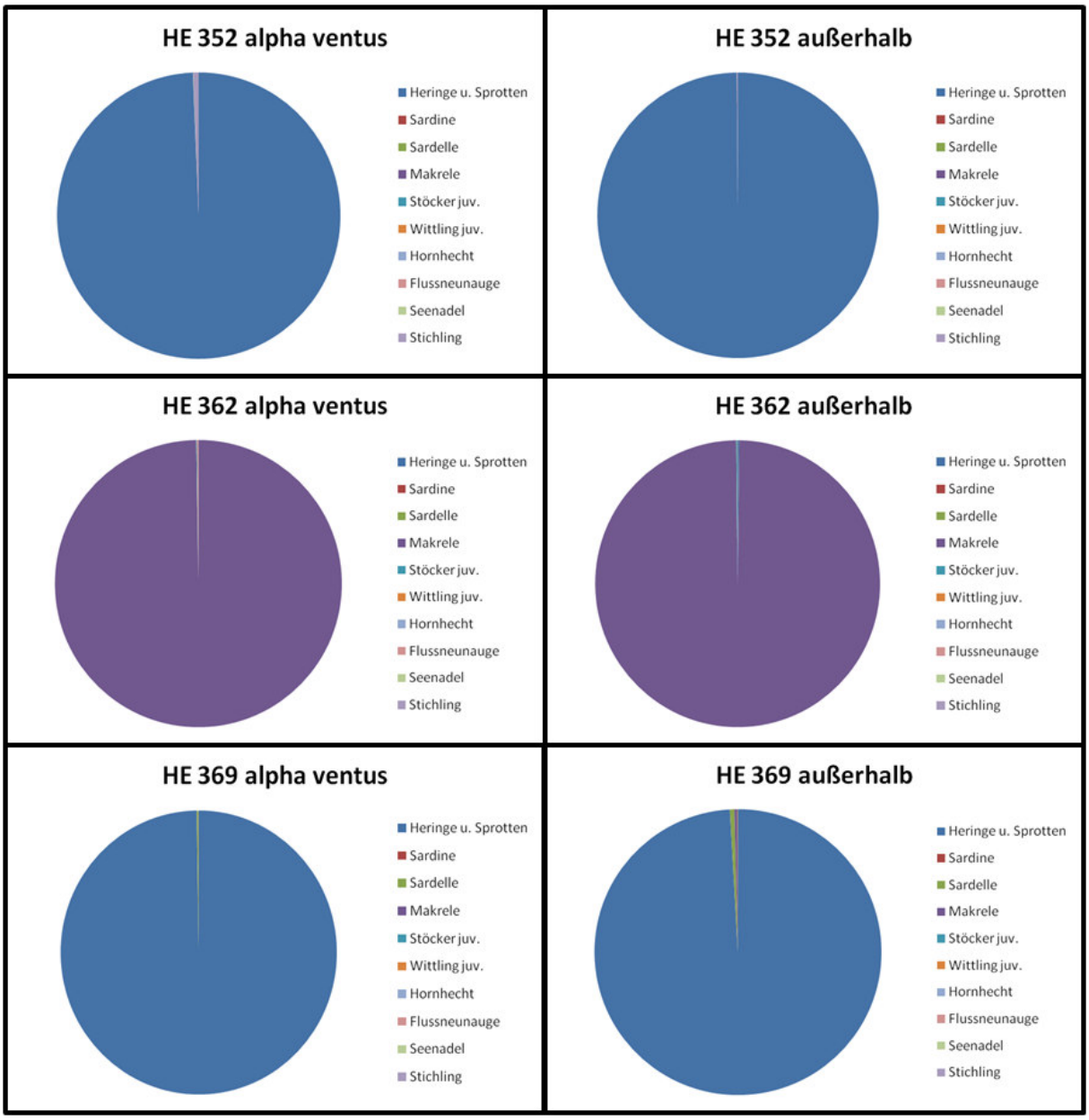

Abbildung 12: Relative Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den PSN-Fängen innerhalb (Einzelabbildungen linke Seite) und außerhalb des Testfeldgebiets *alpha ventus* (Einzelabbildungen rechte Seite) während der Untersuchung im Frühjahr (HE352), Sommer (HE362) und Herbst 2011 (HE369).

Tabelle 2: Index der Similarität auf der Basis der relativen Gewichtsanteile der unterschiedlichen pelagischen Fischarten in den Fängen innerhalb und außerhalb des Testfeldgebiets alpha ventus. Ein BCI von 0 bedeutet eine komplette Übereinstimmung der Zusammensetzung, ein BCI- Wert von 1 eine vollständige Dissimilarität.

Index der Similarität **Fangzusammensetzung (relative Gewichtsanteile der Arten) innerhalb und außerhalb alpha ventus**									
Fahrt	HE300	HE309	HE313	HE323	HE332	HE340	HE352	HE362	HE369
BCI	0,05	0,08	0,01	0,00	0,17	0,05	0,01	0,00	0,01

Tabelle 3: Mittlere Gewichte (MF) und Standardabweichung (SD) der Fänge der unterschiedlichen pelagischen Fischarten während der verschiedenen Untersuchungsfahrten (HE300 - HE369).

Fischart	***Hering und Sprotte***		***Sardine***		***Sardelle***		***Makrele***		***Stöcker juv.***		***Wittling juv.***	
Fahrt	**MF (kg)**	**SD (kg)**	**MF (kg)**	**SD (kg)**	**MF (kg)**	**SD (kg)**	**MF (kg)**	**SD (kg)**	**MF (kg)**	**SD (kg)**	**MF (kg)**	**SD (kg)**
HE300	11,31	22,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
HE309	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	4,65	13,90	0,03	0,05	0,00	0,00
HE313	22,37	20,26	14,42	22,17	0,00	0,00	0,11	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
HE323	59,85	63,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HE332	7,79	28,86	0,00	0,00	0,33	1,41	0,58	0,65	0,11	0,12	0,00	0,00
HE340	83,07	63,54	1,79	3,46	0,72	0,80	0,05	0,07	0,22	0,27	0,01	0,02
HE352	16,77	49,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HE362	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	14,58	34,19	0,02	0,02	0,00	0,01
HE369	90,83	62,58	0,00	0,00	0,32	0,34	0,14	0,25	0,00	0,01	0,04	0,07

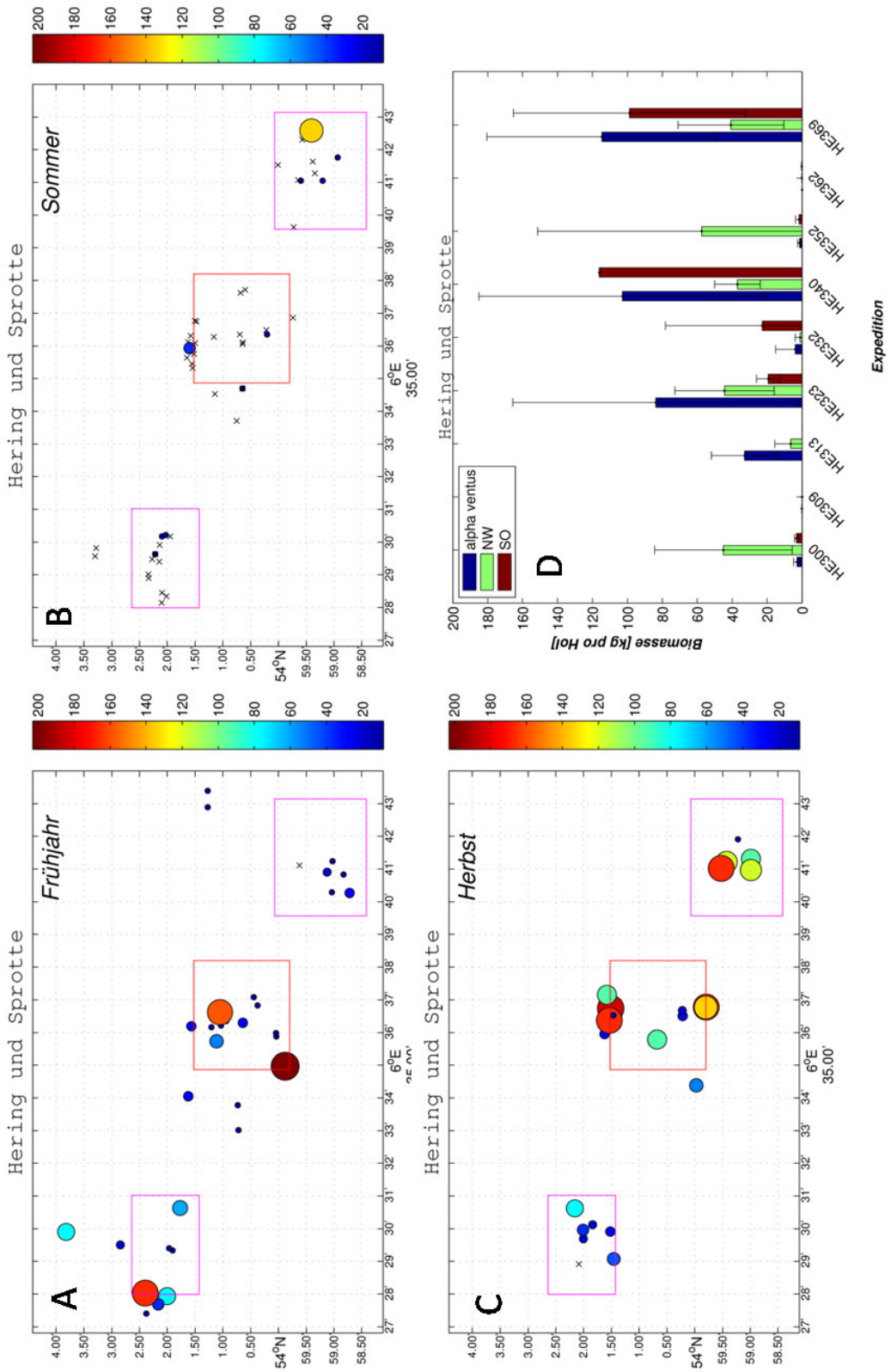

Abbildung 13: Fanggewichte von Hering und Sprotte (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten.

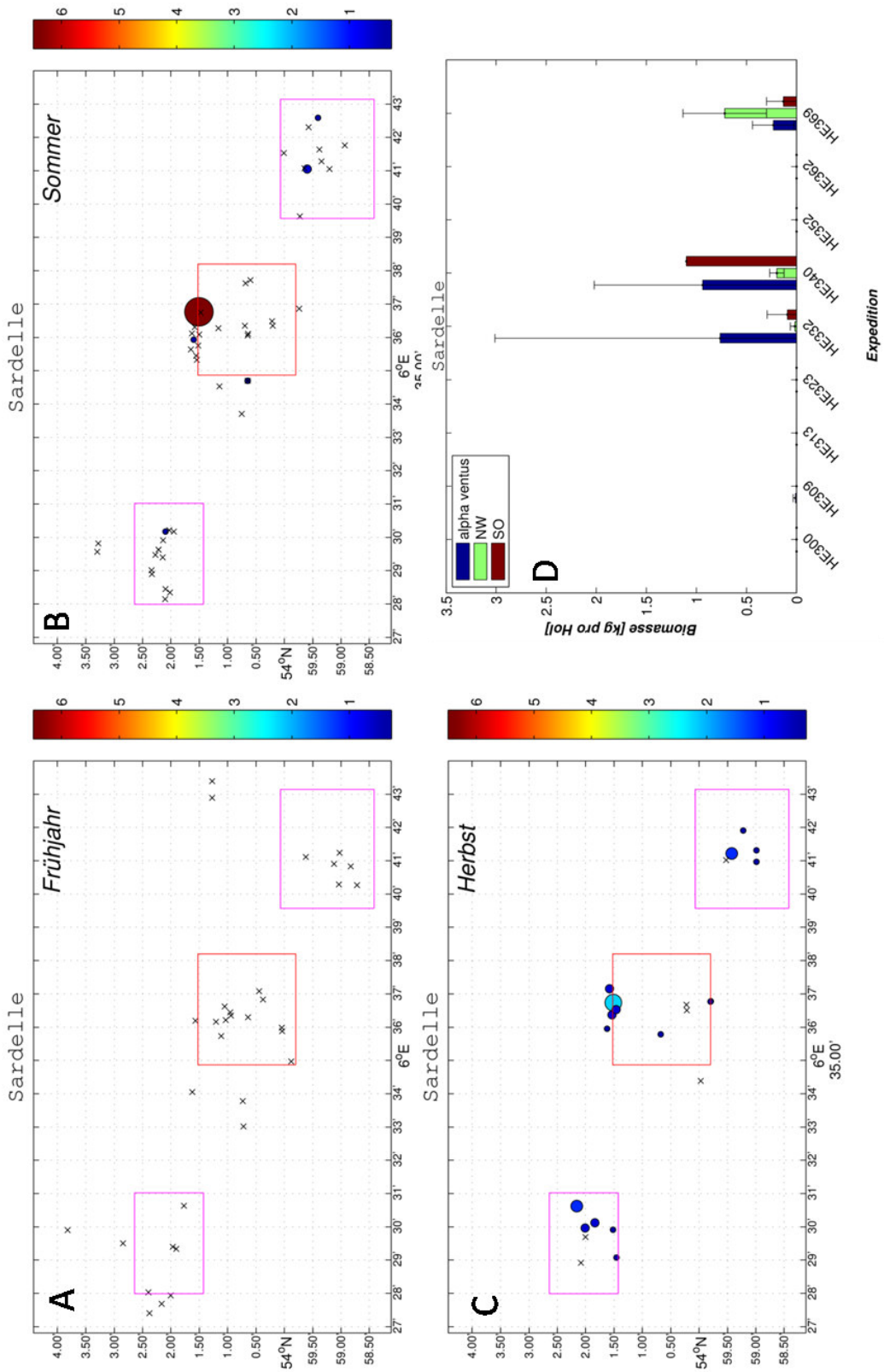

Abbildung 14: Fanggewichte der Sardelle (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten.

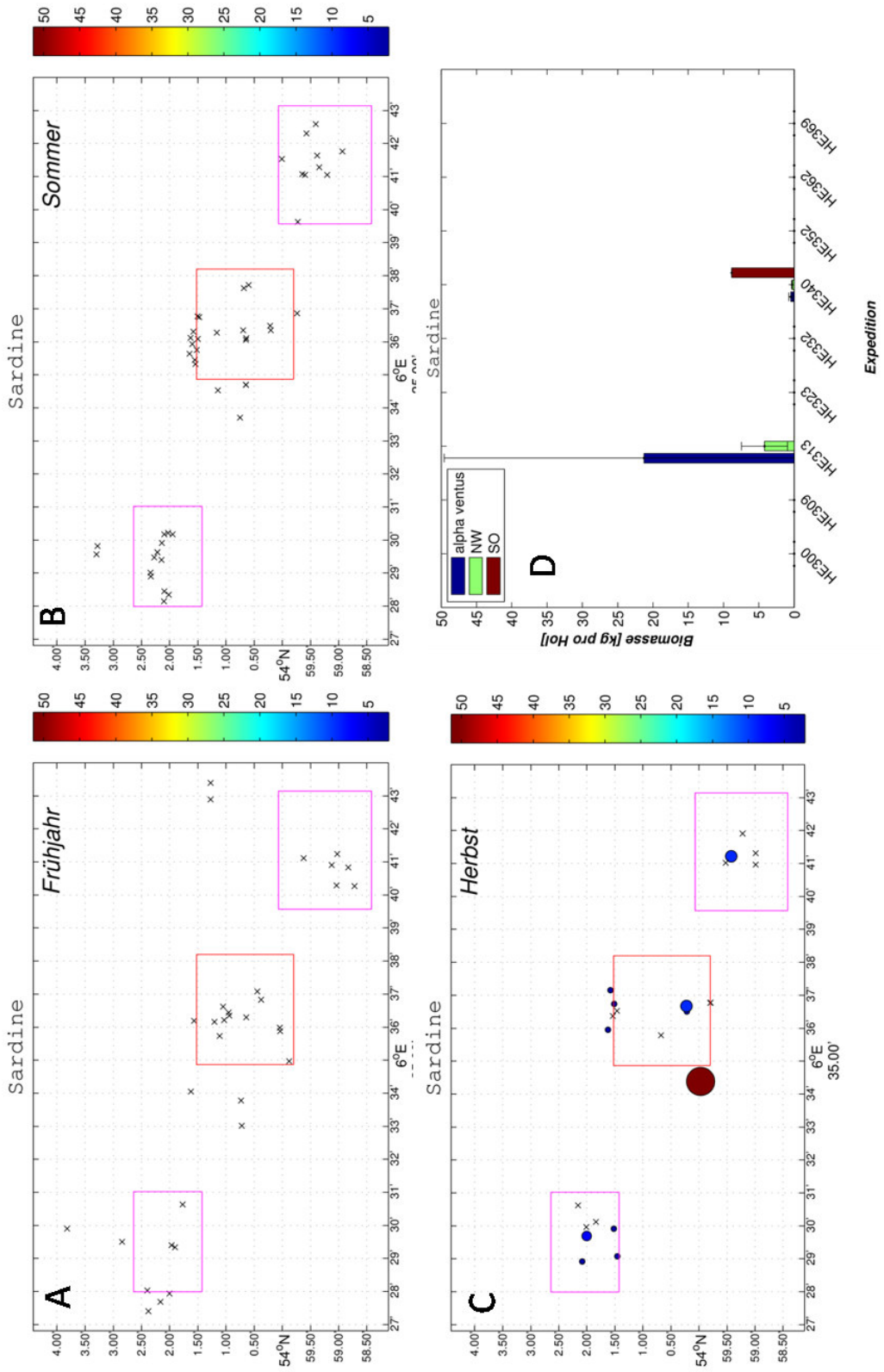

Abbildung 15: Fanggewichte der Sardine (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten.

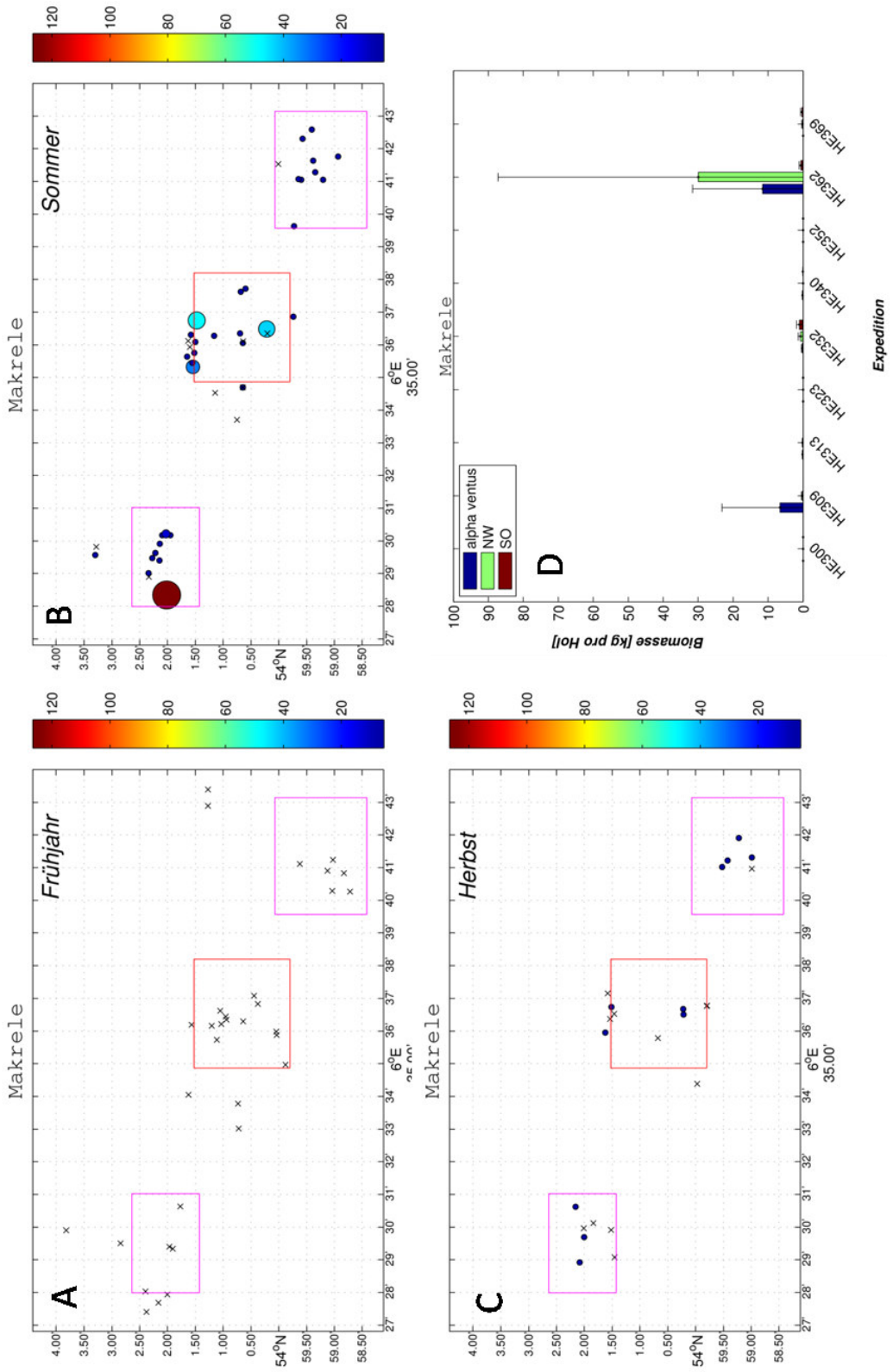

Abbildung 16: Fanggewichte der Makrele (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten.

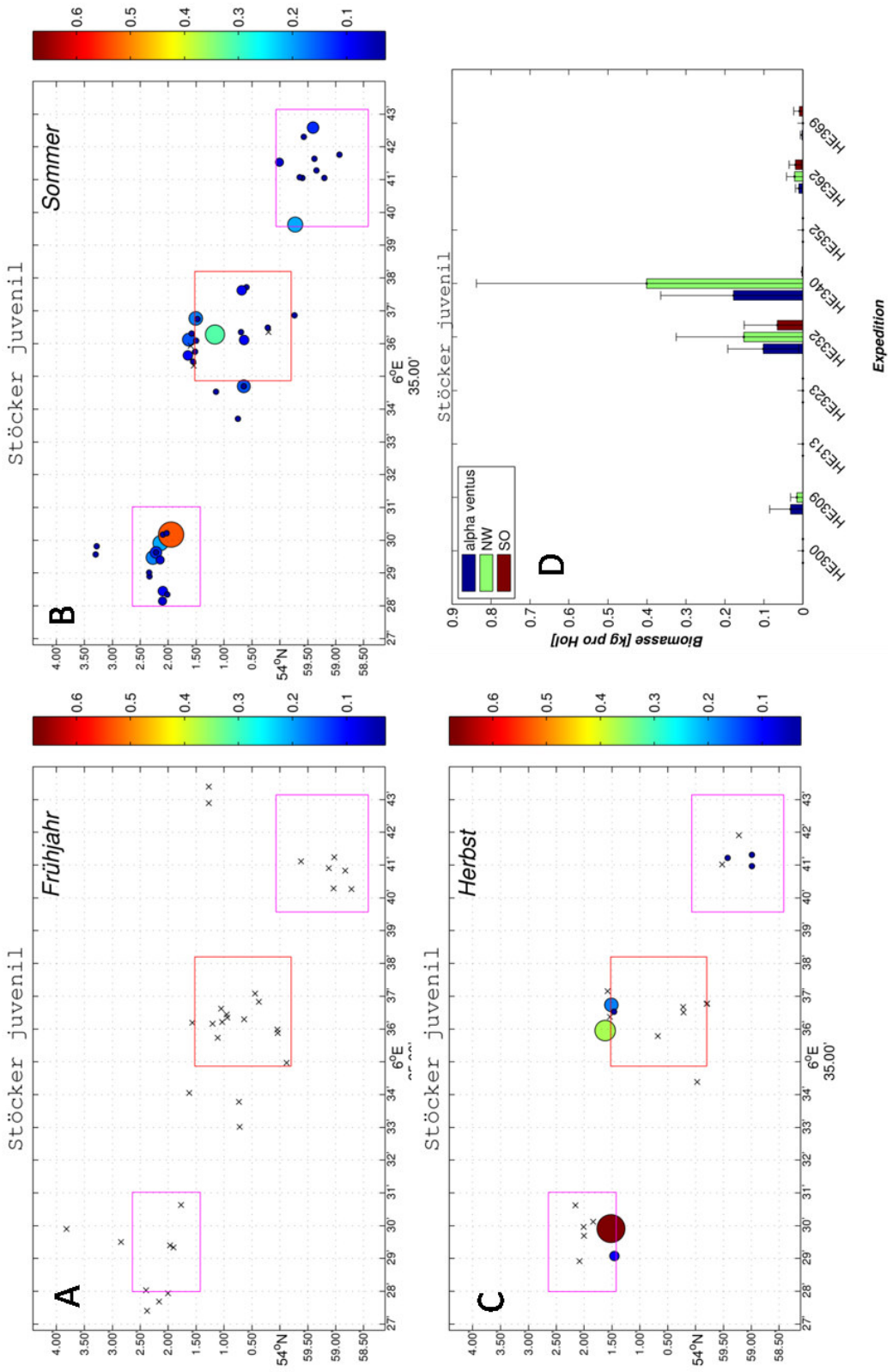

Abbildung 17: Fanggewichte der juvenilen Stöcker (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten.

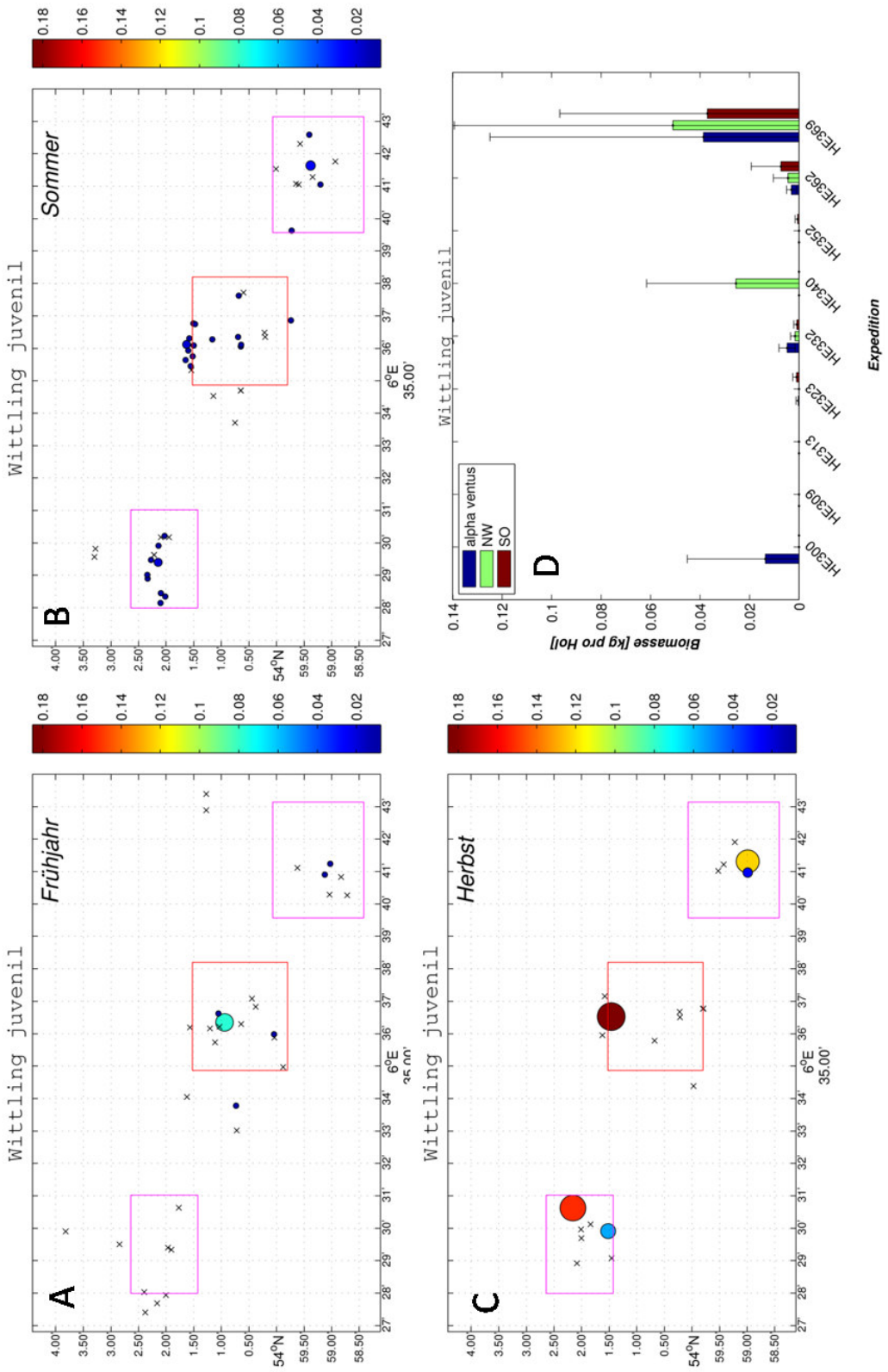

Abbildung 18: Fanggewichte der juvenilen Wittlinge (kg pro Hol) der einzelnen PSN-Fänge in Frühjahr (A), Sommer (B) und Herbst (C). Die Fanggewichte werden farb- und durch die Kreisgröße kodiert an der Fangposition dargestellt. (D) zeigt die mittleren Fanggewichte im *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten (NW, SO) mit Standardabweichung für die einzelnen Untersuchungsfahrten.

11.2. Hydroakustischer Survey

Die hydroakustischen Surveys wurden während 1 – 2-wöchiger Forschungsfahrten durchgeführt und umfassten jeweils vieltägige Surveys. Die Gesamtstrecke der Messtransekte betrug während der einzelnen saisonalen Surveys vor der Ausweitung der Messtransekte (vertikale Messungen) durchschnittlich 118 NM (minimal 66 NM), davon durchschnittlich 38 NM innerhalb des *alpha ventus* Gebiets und 80 NM außerhalb. Nach Ausweitung der Messtransekte betrug die durchschnittliche Gesamtstrecke 507 NM, davon durchschnittlich 106 NM innerhalb des *alpha ventus* Gebiets und 402 NM außerhalb (Tabelle 4).

Tabelle 4: Gesamtmesstransektstrecken [NM] der einzelnen saisonalen hydroakustischen Surveys während der Forschungsfahrten mit der FS Heincke im Frühjahr, Sommer und Herbst 2009, 2010 und 2011.

Gesamtmesstransektstrecken [NM] der hydroakustischen Surveys im Untersuchungszeitraum 2009, 2010, 2011									
	Frühjahr 2009	Sommer 2009	Herbst 2009	Frühjahr 2010	Sommer 2010	Herbst 2010	Frühjahr 2011	Sommer 2011	Herbst 2011
Gebiet	HE300	HE309	HE313	HE323	HE332	HE340	HE352	HE362	HE369
alpha ventus	35,5	59,4	17,8	124,8	240,8	39,6	108,8	41,5	79,0
außerhalb	30,2	131,9	77,8	215,7	519,6	312,4	472,5	359,9	530,1
gesamt	65,7	191,3	95,5	340,5	760,4	351,9	581,2	401,4	609,1

Forschungsfahrt HE300 (Frühjahr 2009): Untersuchung vor Hauptbauphase

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde eindeutig von Hering und Sprotte dominiert (Abbildung 10). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 397,92 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 1335,51 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 598,34 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 1682,11 $m^2\,NM^{-2}$), und während der Nacht 97,30 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 267,95 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 5). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 499,08 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 1121,23 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 641,43 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 1226,2 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 189,71 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 768,38 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 5). Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 19).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt für die Messungen während des Tages keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine nicht signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und eine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist hoch signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 4,6 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable, gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 6).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt auch für die Messungen während der Nacht keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und eine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 5,5 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 6).

Tabelle 5: Forschungsfahrt HE300: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE300	NASC			
Frühjahr 2009	Mittelwert	SD	Median	n(180m)
alpha ventus				
Tag und Nacht	397,92	1335,51	36,21	365
außerhalb				
Tag und Nacht	499,08	1121,23	41,07	311
***alpha ventus* Tag**	598,34	1682,11	119,43	219
außerhalb Tag	641,43	1226,20	118,79	213
***alpha ventus* Nacht**	97,30	267,95	13,99	146
außerhalb Nacht	189,71	768,38	24,72	98

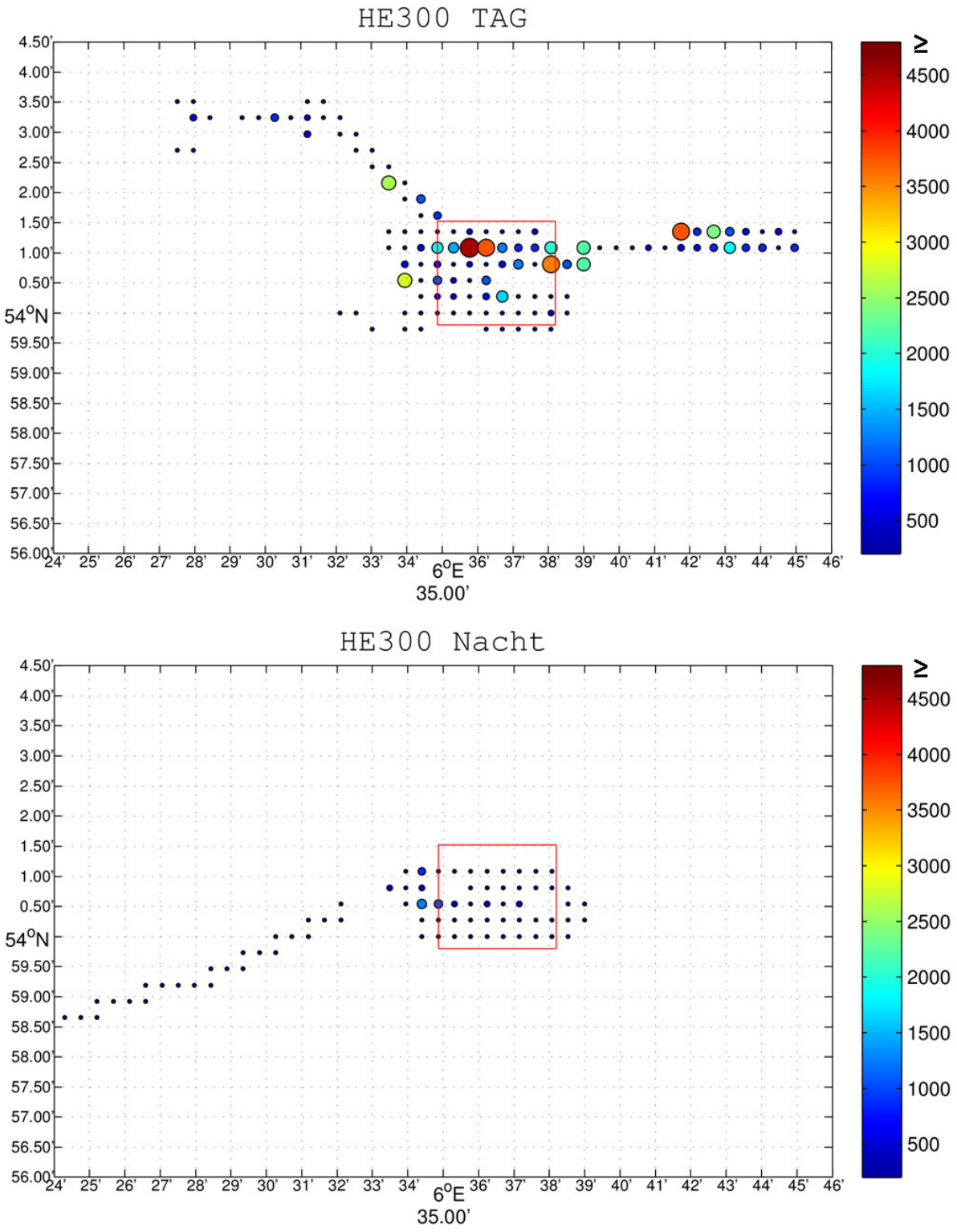

Abbildung 19: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE300. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 6: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE300 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE300 / Frühjahr 2009		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	6,442	0,036	0,459	**1,156**	**0,000**	**4,59**
Konfidenzintervall 2,5%:	6,107	-0,258	-0,056	**0,604**		
97,5%:	6,777	0,329	0,974	**1,707**		
Signifikanz:	***			***	***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	5,636	0,966	-0,223	**-2,728**	**0,000**	**5,52**
Konfidenzintervall 2,5%:	4,717	0,524	-1,433	**-3,905**		
97,5%:	6,554	1,408	0,988	**-1,550**		
Signifikanz:	***	***		***	***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

Forschungsfahrt HE309 (Sommer 2009): Bauphase

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde eindeutig von der Makrele dominiert (Abbildung 10). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 19,83 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 9,70 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 19,59 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 9,64 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 24,64 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 9,86 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 7). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 40,28 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 109,40 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 37,41 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 123,07 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 49,87 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 35,42 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 7). Im Referenzgebiet NW (Tag) betrug der mittlere NASC-Wert 57,80 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 172,55 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 7). Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 20).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt für die Messungen während des Tages (HE309) eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Die Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe ist nicht signifikant, ebenso ist die Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus) nicht signifikant. Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz,

der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 18,2 %. Die gemäß des GLM berechnete relative Abundanz (innen/außen) beträgt 0,55 (2,5 %: 0,43, 97,5 %: 0,71) (Tabelle 8).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt auch für die Messungen während der Nacht (HE309) eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Die Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe ist signifikant, es zeigt keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 20 %. Die gemäß des GLM berechnete relative Abundanz (innen/außen) beträgt 0,51 (2,5 %: 0,43, 97,5 %: 0,61) (Tabelle 8).

Fahrt				
HE309	NASC			
Sommer 2009	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus	19,83	9,70	18,78	610
außen	40,28	109,40	26,30	1358
***alpha ventus* Tag**	19,59	9,64	18,58	581
außen Tag	37,41	123,07	23,33	1045
***alpha ventus* Nacht**	24,64	9,86	21,96	29
außen Nacht	49,87	35,42	37,59	313
Referenz NW Tag	57,80	172,55	25,69	158

Tabelle 7: Forschungsfahrt HE309: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

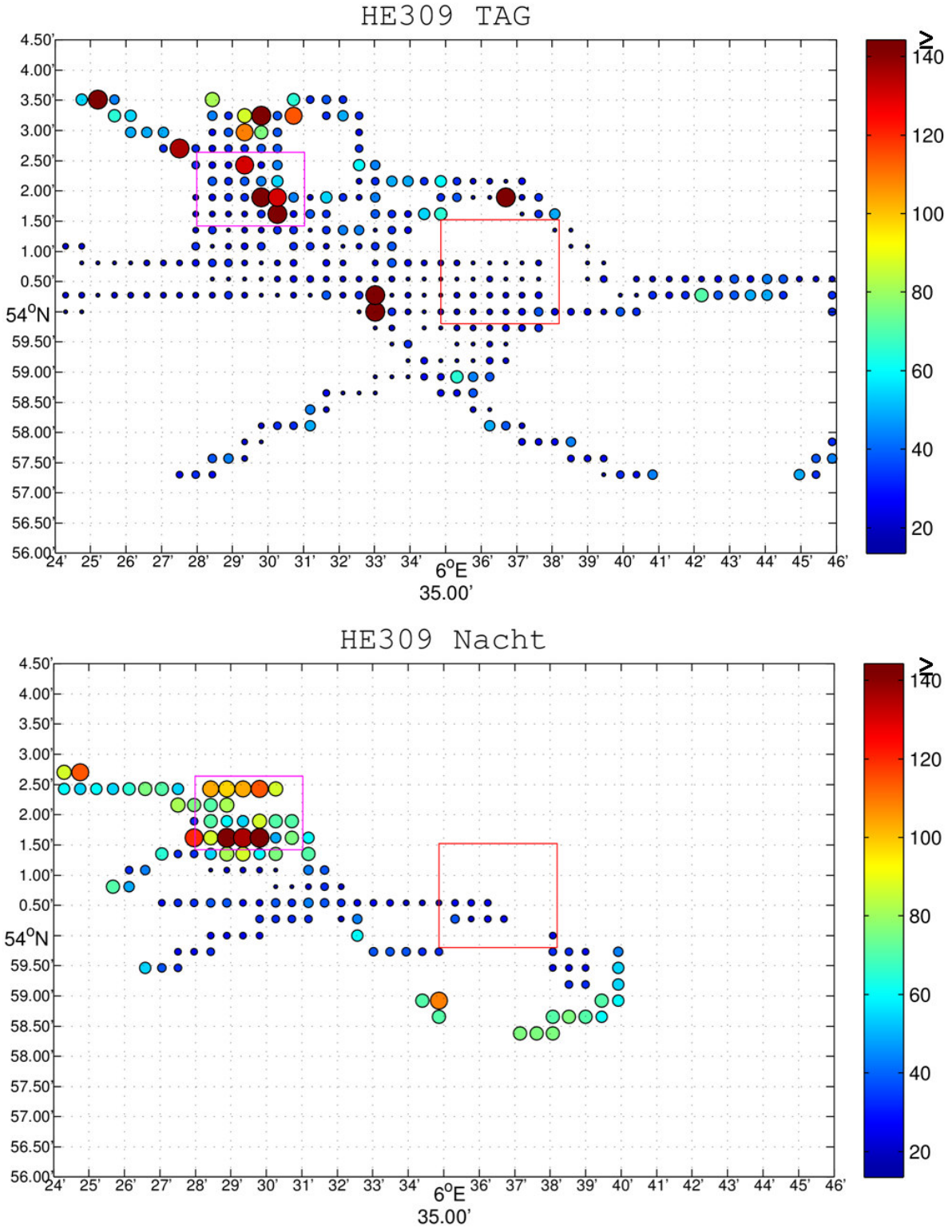

Abbildung 20: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE309. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 8: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE309 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE309 / Sommer 2009		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	**3,591**	**0,123**	**-0,595**		**0,000**	**18,18**
Konfidenzintervall 2,5%:	**3,407**	**-0,019**	**-0,853**			
97,5%:	**3,775**	**0,265**	**-0,337**			
Signifikanz:	***		***		***	
					Relative A-bundanz (2,5%; 95%)	***0,55*** ***(0,43; 0,71)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Model: Inverse Gauß	**3,867**	**0,201**	**-0,681**		**0,000**	**19,95**
Konfidenzintervall 2,5%:	**3,800**	**0,139**	**-0,853**			
97,5%:	**3,935**	**0,264**	**-0,510**			
Signifikanz:	***	***	***		***	
					Relative A-bundanz (2,5%; 95%)	***0,51*** ***(0,43; 0,61)***

Forschungsfahrt HE313 (Herbst 2009): Bauphase

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde von Hering und Sprotte dominiert (Abbildung 10). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 71,84 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 185,71 $m^2 NM^{-2}$), während des Tages 49,91 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 179,17 $m^2 NM^{-2}$) und während der Nacht 287,3 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 83,94 $m^2 NM^{-2}$) (Tabelle 9). Die Messwerte im *alpha ventus* Gebiet während der Nacht umfassen jedoch nur 17 Intervallmesswerte am Rand des Gebiets (Abbildung 21). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 193,81 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 498,98 $m^2 NM^{-2}$), während des Tages 135,37 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 421,41 $m^2 NM^{-2}$) und während der Nacht 276,44 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 582,31 $m^2 NM^{-2}$) (Tabelle 9). Im Referenzgebiet NW (Tag) betrug der mittlere NASC-Wert 33,06 $m^2 NM^{-2}$ (SD = 34,91 $m^2 NM^{-2}$) (Tabelle 9). Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 21).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt für die Messungen während des Tages (HE309) eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Die Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe ist nicht signifikant, ebenso ist die Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus) nicht signifikant. Das Modell ist hoch signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt werden, beträgt 5,1 %. Die gemäß des GLM berechnete relative Abundanz (innen/außen) beträgt 0,38 (2,5 %: 0,22, 97,5 %: 0,64) (Tabelle 10)

Aufgrund der geringen Messabdeckung im *alpha ventus* Gebiet (Randbereich) während der Nacht (n = 17) wird von der Berechnung eines GLM abgesehen.

Tabelle 9: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und der Nacht, sowie im Referenzgebiet NW (Tag) während der HE313. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE313	NASC			
Herbst 2009	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus	71,84	185,71	25,29	184
außen	193,81	498,98	34,16	799
***alpha ventus* Tag**	49,91	179,17	23,52	167
außen Tag	135,37	421,41	23,26	468
***alpha ventus* Nacht**	287,30	83,94	254,22	17
außen Nacht	276,44	582,31	140,01	331
Referenz NW Tag	33,06	34,91	20,80	118

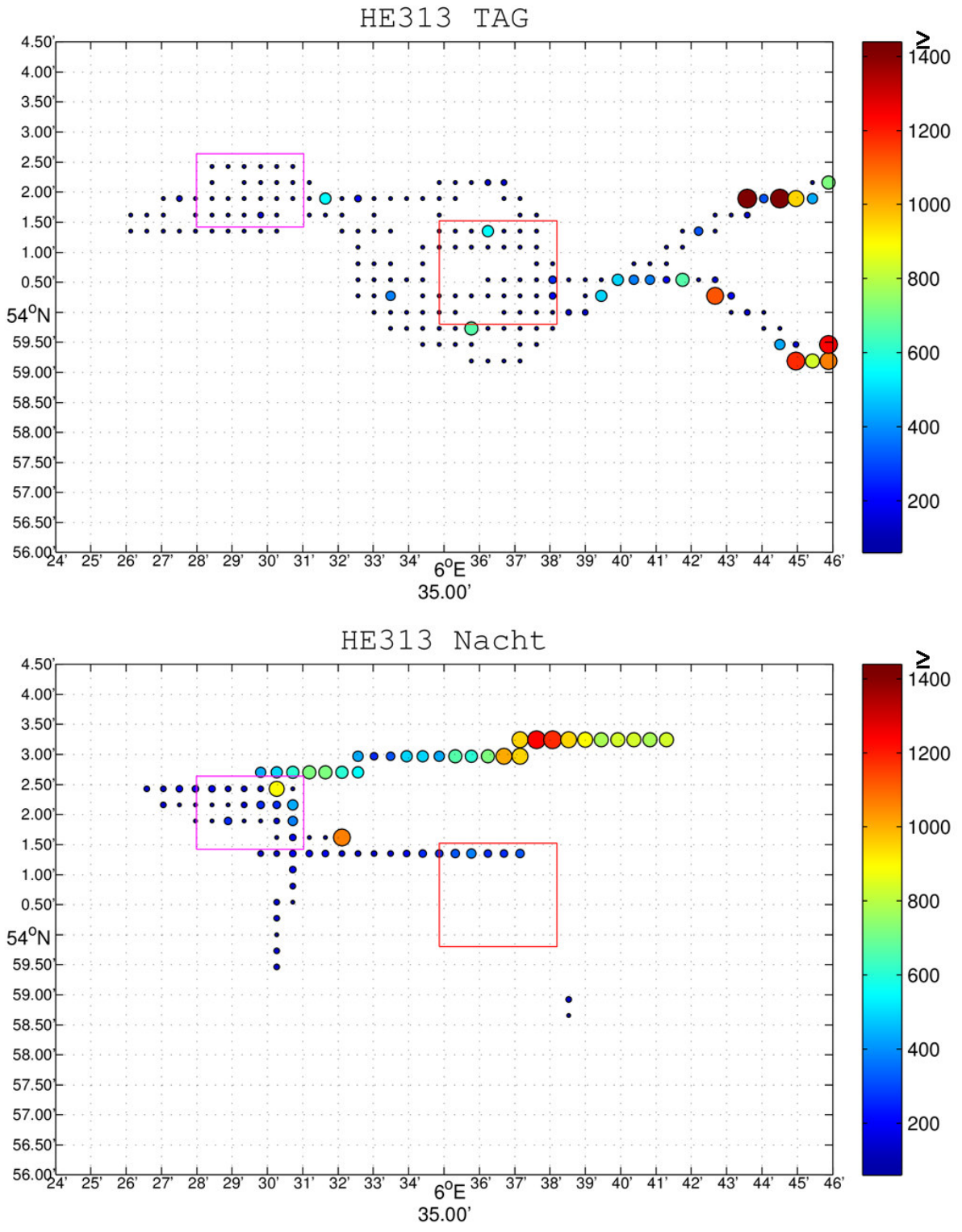

Abbildung 21: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE313. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 10: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE313 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag. Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE313 / Herbst 2009		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	**4,900**	**0,006**	**-0,982**		**0,008**	**5,13**
Konfidenzintervall 2,5%:	**4,533**	**-0,280**	**-1,522**			
97,5%:	**5,268**	**0,291**	**-0,442**			
Signifikanz:	***		***		**	
					Relative Abundanz	***0,38***
					(2,5%; 95%)	***(0,22;0,64)***

Forschungsfahrt HE323 (Frühjahr 2010)

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde eindeutig von Hering und Sprotte dominiert (Abbildung 10). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 42,64 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 142,2 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 55,42 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 162,3 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 12,35 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 66,61 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 11). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 52,02 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 438,43 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 50,09 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 200,81 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 55,78 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 698,4 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 11). Der mittlere NASC-Wert betrug im Referenzgebiet NW 66,23 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 204,79 $m^2\,NM^{-2}$) und 31,54 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 237,99 $m^2\,NM^{-2}$) im Referenzgebiet SO. Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 22).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt für die Messungen während des Tages keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist hoch signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 0,6 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 12).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) zeigt für die Messungen während der Nacht eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als

erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und eine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist hoch signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 14,9 %. Auf Grund der signifikanten Interaktion ia:tiefe wird von der Betrachtung des Aufenthalts innerhalb oder außerhalb des *alpha ventus* Gebiets (ia) von ia als erklärende Variable trotz signifikanter Abhängigkeit abgesehen (Tabelle 12).

Tabelle 11: Forschungsfahrt HE313: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE323	NASC			
Frühjahr 2010	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus	42,64	142,20	4,55	1284
außen	52,02	438,43	3,78	2219
***alpha ventus* Tag**	55,42	162,30	5,94	903
außen Tag	50,09	200,81	4,00	1465
***alpha ventus* Nacht**	12,35	66,61	3,54	381
außen Nacht	55,78	698,40	3,41	754
Referenz NW Tag	66,23	204,79	4,42	457
Referenz SO Tag	31,54	237,99	4,07	307
Referenz Tag	52,29	219,25	4,25	764

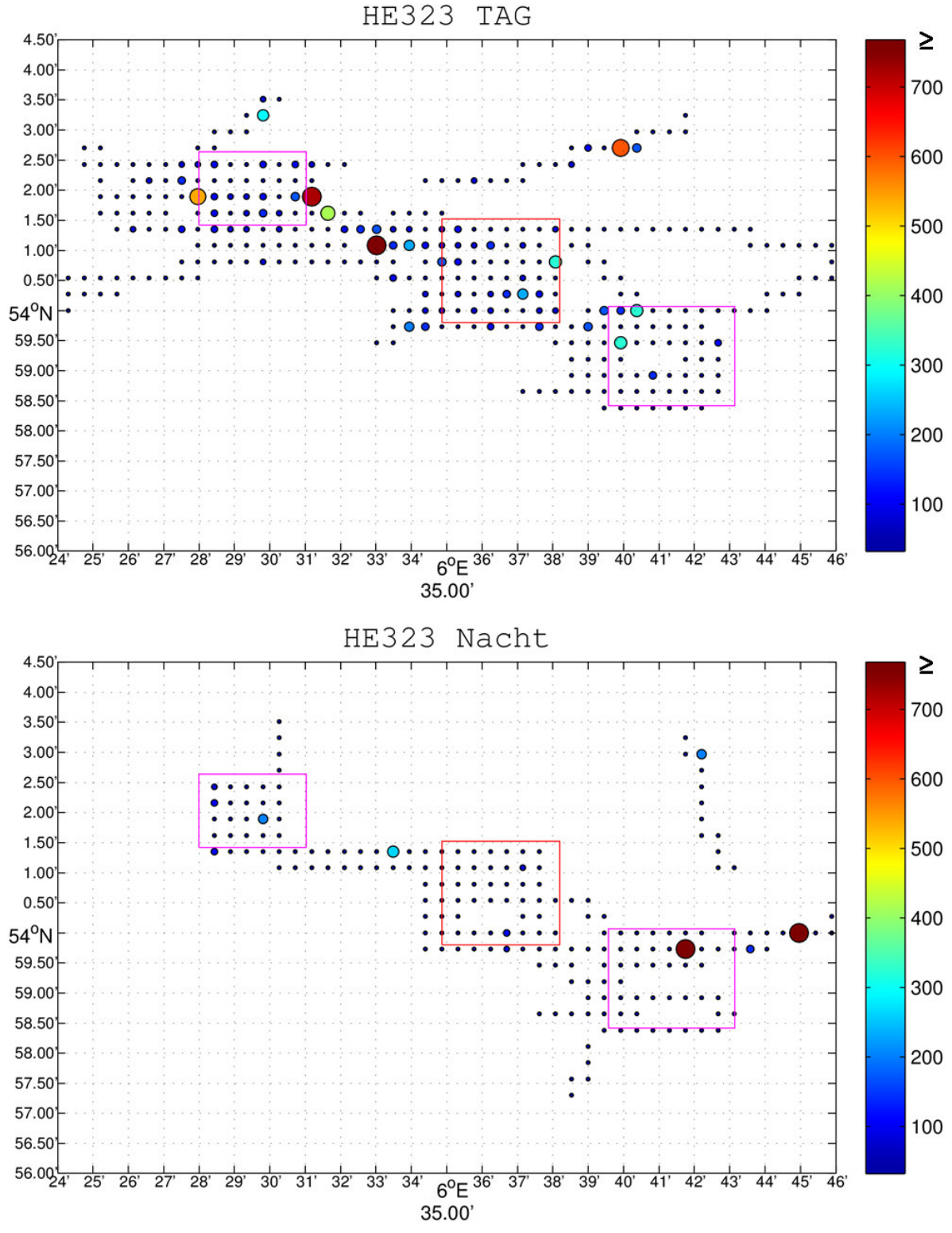

Abbildung 22: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE323. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 12: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE323 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE323 / Frühjahr 2010		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	**3,794**	**0,297**	**0,331**		**0,000**	**0,64**
Konfidenzintervall 2,5%:	**3,608**	**0,144**	**-0,024**			
97,5%:	**3,999**	**0,449**	**0,686**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	4,020	1,258	-1,905	**-2,336**	**0,000**	**14,87**
Konfidenzintervall 2,5%:	3,337	0,763	-3,912	**-3,937**		
97,5%:	6,000	2,086	-0,887	**-1,322**		
Signifikanz:	***	***	***	***	***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

Forschungsfahrt HE332 (Sommer 2010)

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde eindeutig von Hering und Sprotte dominiert. Makrelen und Sardelle hatte bedeutende Anteile an der Gesamtbiomasse (Abbildung 11). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 1054,11 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 602,03 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 924,08 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 455,85 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 1493,36 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 796,26 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 13). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 1303,78 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 916,56 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 935,17 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 853,68 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 1569,82 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 867,06 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 13). Der mittlere NASC-Wert betrug im Referenzgebiet NW 1363,4 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 792,38 $m^2\,NM^{-2}$) und 782,2 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 326,27 $m^2\,NM^{-2}$) im Referenzgebiet SO. Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 23).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 14) zeigt für die Messungen während des Tages keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha*

ventus als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und eine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 12,2 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative A-bundanz beträgt somit 1 (Tabelle 14).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 14) zeigt für die Messungen während der Nacht eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und eine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 15 %. Auf Grund der signifikanten Interaktion ia:tiefe wird von der Betrachtung des Aufenthalts innerhalb oder außerhalb des *alpha ventus* Gebiets (ia) von ia als erklärende Variable trotz signifikanter Abhängigkeit abgesehen (Tabelle 14)

Tabelle 13: Forschungsfahrt HE332: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE332	NASC			
Sommer 2010	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus				
Tag und Nacht	1054,11	602,03	895,39	2478
außen				
Tag und Nacht	1303,78	916,56	1071,73	5346
***alpha ventus* Tag**	924,08	455,85	841,90	1912
außen Tag	935,17	853,68	789,09	2241
***alpha ventus* Nacht**	1493,36	797,26	1260,46	566
außen Nacht	1569,82	867,06	1306,40	3105
Referenz NW Tag	1363,40	792,38	1217,40	359
Referenz SO Tag	782,20	326,27	755,16	868
Referenz Tag	952,25	573,23	859,64	1227

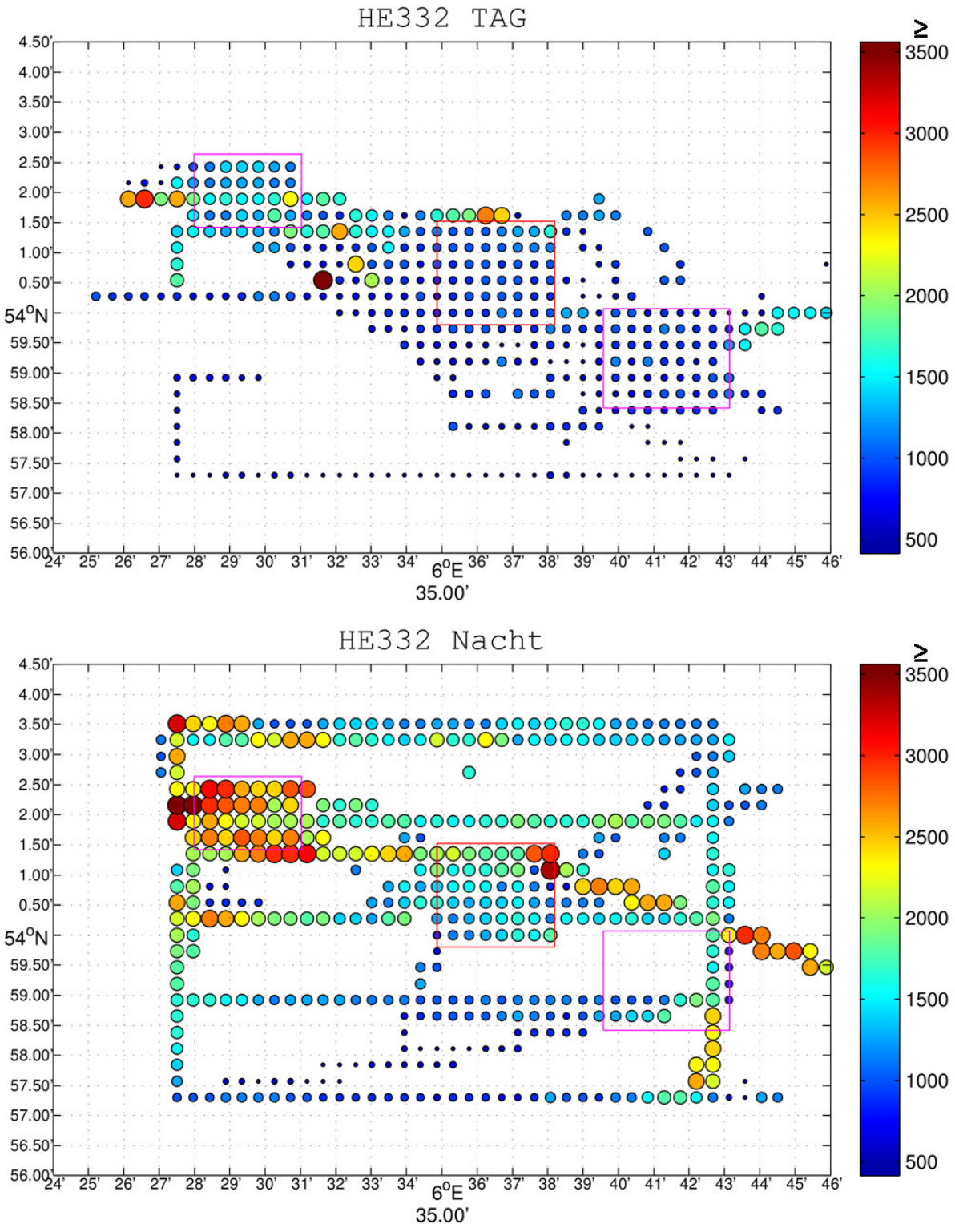

Abbildung 23: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE332. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 14: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE332 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1**

HE332 / Sommer 2010		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	6,858	0,222	-0,051	**-0,132**	**0,000**	**12,24**
Konfidenzintervall 2,5%:	6,819	0,194	-0,110	**-0,211**		
97,5%:	6,898	0,248	0,007	**-0,053**		
Signifikanz:	***	***		**	***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	7,351	0,248	-0,168	**0,314**	**0,000**	**15,01**
Konfidenzintervall 2,5%:	7,332	0,232	-0,221	**0,158**		
97,5%:	7,370	0,264	0,116	**0,471**		
Signifikanz:	***	***	***	***	***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

Forschungsfahrt HE340 (Herbst 2010)

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde eindeutig von Hering und Sprotte dominiert, des Weiteren kamen Sardellen und Sardinen vor (Abbildung 11). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 255,65 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 351,18 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 264,49 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 385,58 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 219,05 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 131,52 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 15). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 235,91 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 261,01 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 240,36 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 427,99 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 234,6 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 184,61 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 15). Der mittlere NASC-Wert betrug im Referenzgebiet NW 121,95 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 219,71 $m^2\,NM^{-2}$) und 231,61 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 365,57 $m^2\,NM^{-2}$) im Referenzgebiet SO. Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 24).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 16) zeigt für die Messungen während des Tages keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von

der Tiefe sowie eine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 1 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 16).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 16) zeigt für die Messungen während der Nacht keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 2,3 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 16).

Tabelle 15: Forschungsfahrt HE340: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE340	NASC			
Herbst 2010	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus	255,65	351,18	145,36	406
außen	235,91	261,01	178,84	2698
***alpha ventus* Tag**	264,49	385,58	139,29	327
außen Tag	240,36	427,99	87,02	617
***alpha ventus* Nacht**	219,05	131,52	189,04	79
außen Nacht	234,60	184,61	197,40	2081
Referenz NW Tag	121,95	219,71	53,25	147
Referenz SO Tag	231,61	365,57	98,92	204
Referenz Tag	185,68	317,15	73,28	351

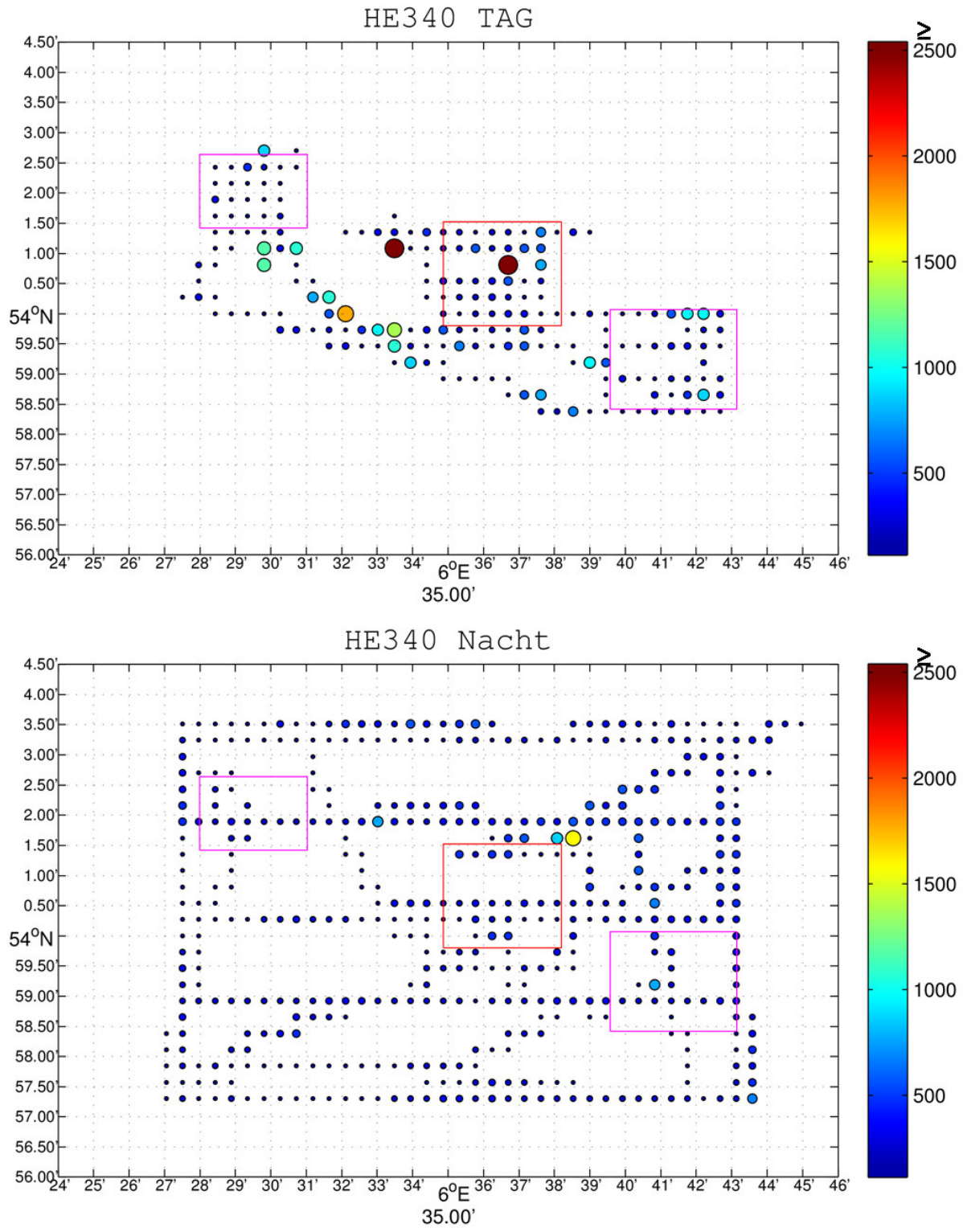

Abbildung 24: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE340. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 16: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE340 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE340 / Herbst 2010		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	5,471	-0,130	0,096	**0,423**	**0,023**	**0,95**
Konfidenzintervall 2,5%:	5,339	-0,248	-0,136	**0,111**		
97,5%:	5,603	-0,013	0,329	**0,736**		
Signifikanz:	***	*		**	*	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	**5,453**	**0,098**	**-0,058**		**0,000**	**2,28**
Konfidenzintervall 2,5%:	**5,420**	**0,066**	**-0,229**			
97,5%:	**5,486**	**0,130**	**0,113**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

Forschungsfahrt HE352 (Frühjahr 2011)

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde klar von Hering und Sprotte dominiert (Abbildung 12). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 26,59 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 116,03 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 29,33 $m^2\,NM^{-2}$ (SD= 124,08 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 8,84 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 24,43 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 17). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 20,69 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 139,2 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 42,2 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 260,56 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 14,94 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 79,22 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 17). Der mittlere NASC-Wert betrug im Referenzgebiet NW 58,28 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 275,59 $m^2\,NM^{-2}$) und 14,79 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 65,63 $m^2\,NM^{-2}$) im Referenzgebiet SO. Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 25).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 18) zeigt für die Messungen während des Tages keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-

Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 7,9 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 18).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 18) zeigt für die Messungen während der Nacht keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 7,27 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 18).

Tabelle 17: Forschungsfahrt HE352: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE352	NASC			
Frühjahr 2011	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus				
Tag und Nacht	26,59	116,03	3,34	1121
außen				
Tag und Nacht	20,69	139,20	4,30	4867
***alpha ventus* Tag**	29,33	124,08	2,94	971
außen Tag	42,20	260,56	2,70	1026
***alpha ventus* Nacht**	8,84	24,43	4,89	150
außen Nacht	14,94	79,22	4,58	3841
Referenz NW Tag	58,28	275,59	9,27	184
Referenz SO Tag	14,79	65,63	1,60	296
Referenz Tag	31,46	179,21	3,08	480

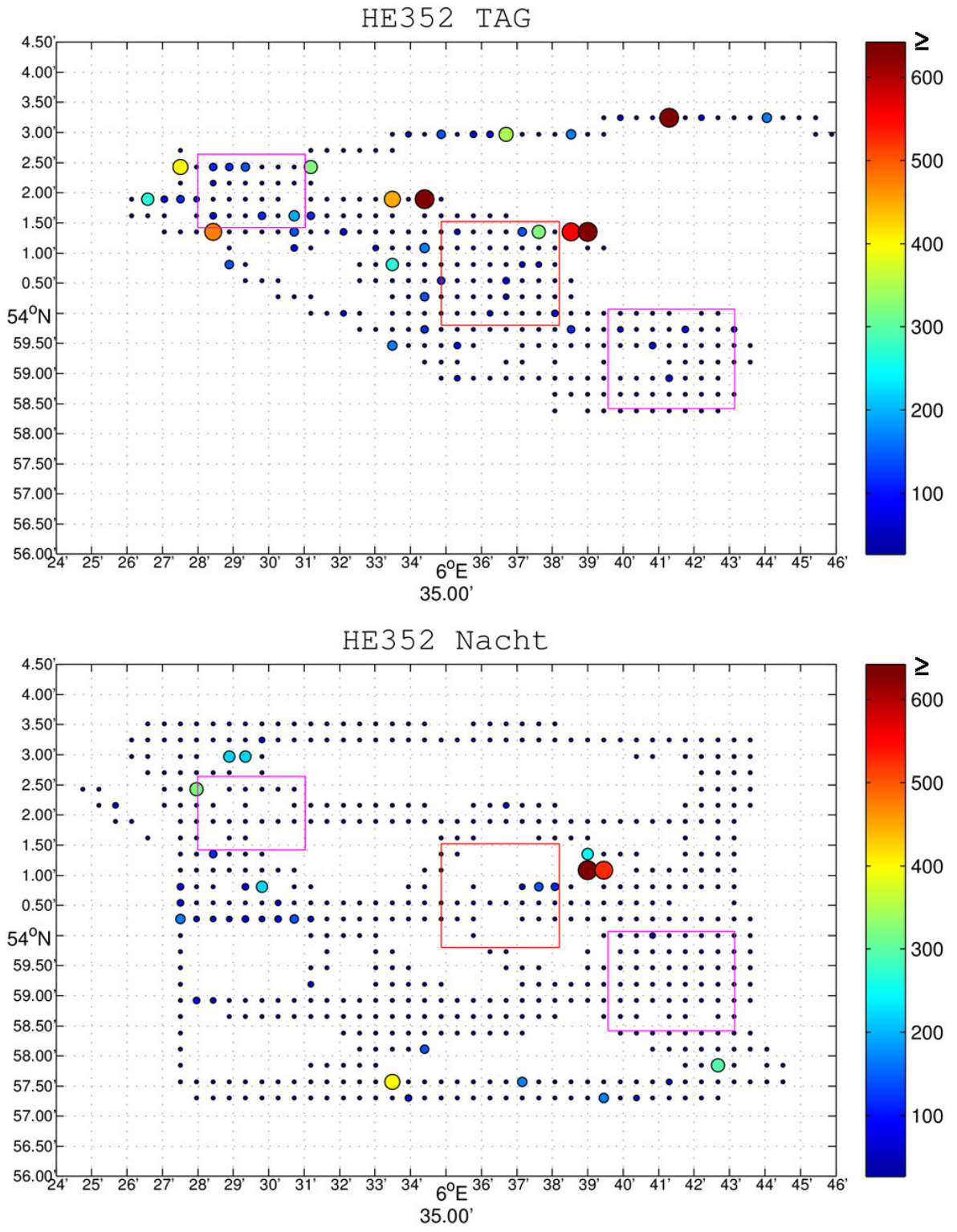

Abbildung 25: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE352. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 18: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE352 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE352 / Frühling 2011		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	**3,430**	**0,643**	**-0,048**		**0,000**	**7,85**
Konfidenzintervall 2,5%:	**3,148**	**0,441**	**-0,453**			
97,5%:	**3,713**	**0,846**	**0,358**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	**2,620**	**-0,411**	**-0,409**		**0,000**	**7,27**
Konfidenzintervall 2,5%:	**2,464**	**-0,564**	**-1,213**			
97,5%:	**2,775**	**-0,258**	**0,395**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

Forschungsfahrt HE362 (Sommer 2011)

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde klar von der Makrele dominiert (Abbildung 12). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 250,18 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 111,2 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 237,1 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 93,34 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 516,34 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 113,44 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 19). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 470,33 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 428,27 $m^2\,NM^{-2}$), während des Tages 254,31 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 247,39 $m^2\,NM^{-2}$) und während der Nacht 609,84 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 461,28 $m^2\,NM^{-2}$) (Tabelle 19). Der mittlere NASC-Wert betrug im Referenzgebiet NW 326,39 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 96,3 $m^2\,NM^{-2}$) und 209,12 $m^2\,NM^{-2}$ (SD = 504,14 $m^2\,NM^{-2}$) im Referenzgebiet SO. Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 26).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 20) zeigt für die Messungen während des Tages keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messge-

biet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 4,4 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 20).

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 20) zeigt auch für die Messungen während der Nacht keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 17,8 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 20).

Tabelle 19: Forschungsfahrt HE362: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE362	NASC			
Sommer 2011	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus				
Tag und Nacht	250,18	111,20	233,27	427
außen				
Tag und Nacht	470,33	428,27	368,09	3703
***alpha ventus* Tag**	237,10	93,34	228,43	407
außen Tag	254,31	247,39	231,72	1453
***alpha ventus* Nacht**	516,34	113,44	470,82	20
außen Nacht	609,84	461,28	528,12	2250
Referenz NW Tag	326,39	96,30	305,44	263
Referenz SO Tag	209,12	504,14	130,99	285
Referenz Tag	265,40	373,95	231,07	548

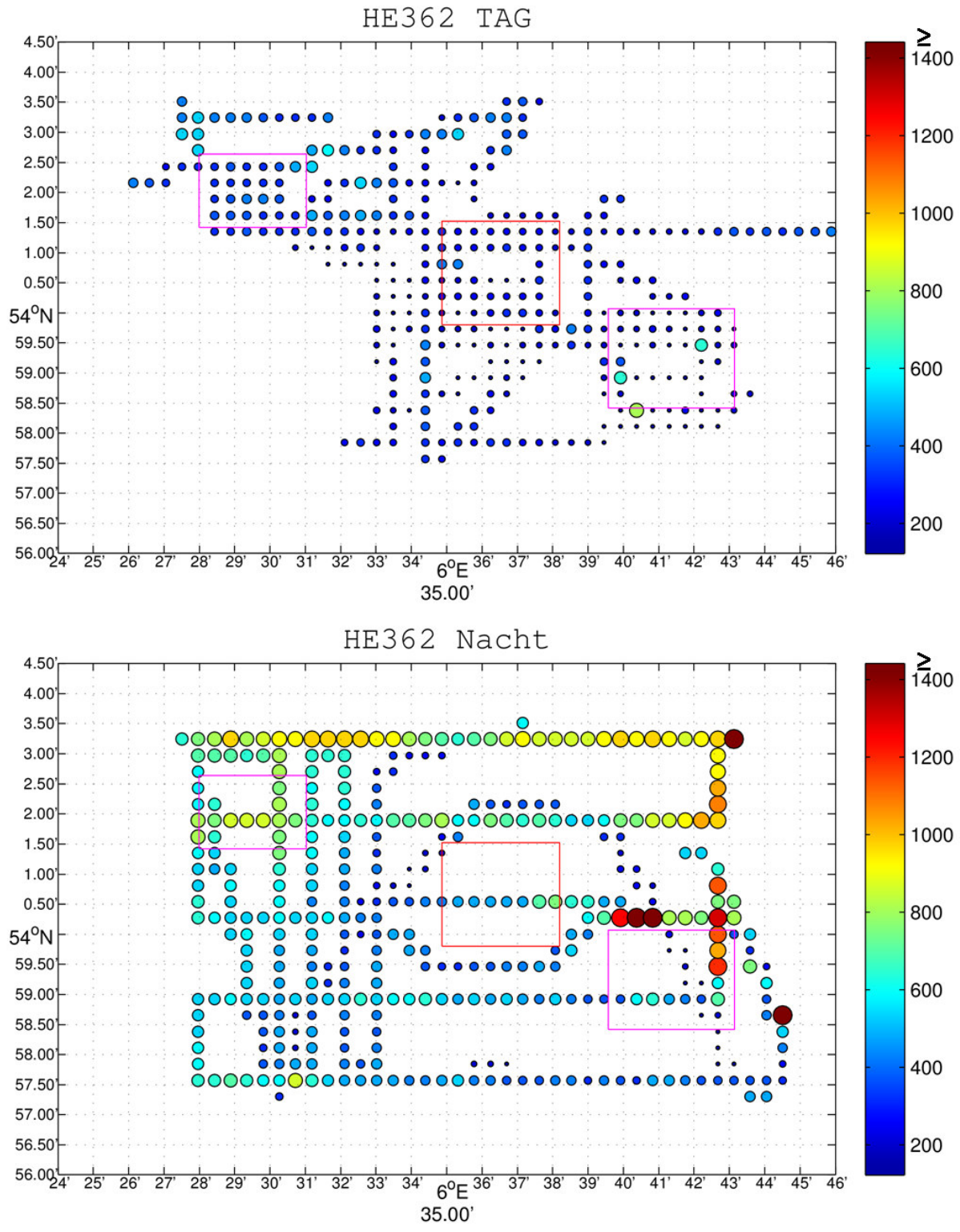

Abbildung 26: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE362. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 20: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE362 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE362 / Sommer 2011		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	**5,530**	**0,104**	**-0,068**		**0,000**	**4,44**
Konfidenzintervall 2,5%:	**5,479**	**0,061**	**-0,174**			
97,5%:	**5,581**	**0,147**	**0,037**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Inverse Gauß	**6,383**	**0,241**	**-0,184**		**0,000**	**17,78**
Konfidenzintervall 2,5%:	**6,356**	**0,213**	**-0,478**			
97,5%:	**6,411**	**0,268**	**0,110**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

Forschungsfahrt HE369 (Herbst 2011)

Die Zusammensetzung der pelagischen Fische wurde von Hering und Sprotte eindeutig dominiert (Abbildung 12). Die mittleren NASC-Werte betrugen im *alpha ventus* Gebiet für den Gesamtmesszeitraum 467,96 m^2 NM^{-2} (SD = 906,28 m^2 NM^{-2}), während des Tages 398,91 m^2 NM^{-2} (SD = 920,82 m^2 NM^{-2}) und während der Nacht 806,25 m^2 NM^{-2} (SD = 746,74 m^2 NM^{-2}) (Tabelle 21). Die mittleren NASC-Werte betrugen außerhalb des *alpha ventus* Gebiets für den Gesamtmesszeitraum 670,29 m^2 NM^{-2} (SD = 748,06 m^2 NM^{-2}), während des Tages 443,34 m^2 NM^{-2} (SD = 862,03 m^2 NM^{-2}) und während der Nacht 708,12 m^2 NM^{-2} (SD = 720,52 m^2 NM^{-2}) (Tabelle 21). Der mittlere NASC-Wert betrug im Referenzgebiet NW 361,63 m^2 NM^{-2} (SD = 1053,31 m^2 NM^{-2}) und 473,08 m^2 NM^{-2} (SD = 742,36 m^2 NM^{-2}) im Referenzgebiet SO. Die pelagischen Fische zeigten während des Tages und der Nacht eine hoch fleckenhafte Verteilung (Abbildung 27)

Für die NASC-Messungen während des Tages ergibt sich kein signifikantes Generalisiertes lineares Modell (GLM), das auf der Tiefe und dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable basiert. Die relative Abundanz beträgt somit 1.

Das berechnete Generalisierte lineare Modell (GLM) (Tabelle 22) zeigt für die Messungen während der Nacht keine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Es zeigt eine signifikante Abhängigkeit des NASC-Werts von der Tiefe und keine signifikante Interaktion ia:tiefe (spezifische Tiefenverteilung im Messgebiet alpha ventus). Das Modell ist höchst signifikant. Der Prozentsatz der Varianz, der durch das Modell (erklärende Variablen) erklärt wird, beträgt 21,4 %. Auf Grund der nicht-signifikanten Abhängigkeit des NASC-Werts vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable gibt es keinen signifikanten vom Untersuchungsgebiet abhängigen Unterschied in der Abundanz der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets. Die relative Abundanz beträgt somit 1 (Tabelle 22).

Tabelle 21: Forschungsfahrt HE369: NASC-Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Medianwerte der Messungen innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Testfeldgebiets für den Gesamtmesszeitraum, während des Tages und in der Nacht. n(180 m) bezeichnet die Anzahl der jeweiligen Messtransektintervalle (180 m Intervalle).

Fahrt				
HE369	NASC			
Herbst 2011	Mittelwert	SD	Median	n (180m)
alpha ventus				
Tag und Nacht	467,96	906,28	107,86	814
außen				
Tag und Nacht	670,29	748,06	436,17	5453
***alpha ventus* Tag**	398,91	920,82	49,69	676
außen Tag	443,34	862,03	84,49	779
***alpha ventus* Nacht**	806,25	746,74	557,93	138
außen Nacht	708,12	720,52	498,88	4674
Referenz NW Tag	361,63	1053,31	20,12	162
Referenz SO Tag	473,08	742,36	116,74	314
Referenz Tag	435,15	861,39	71,00	476

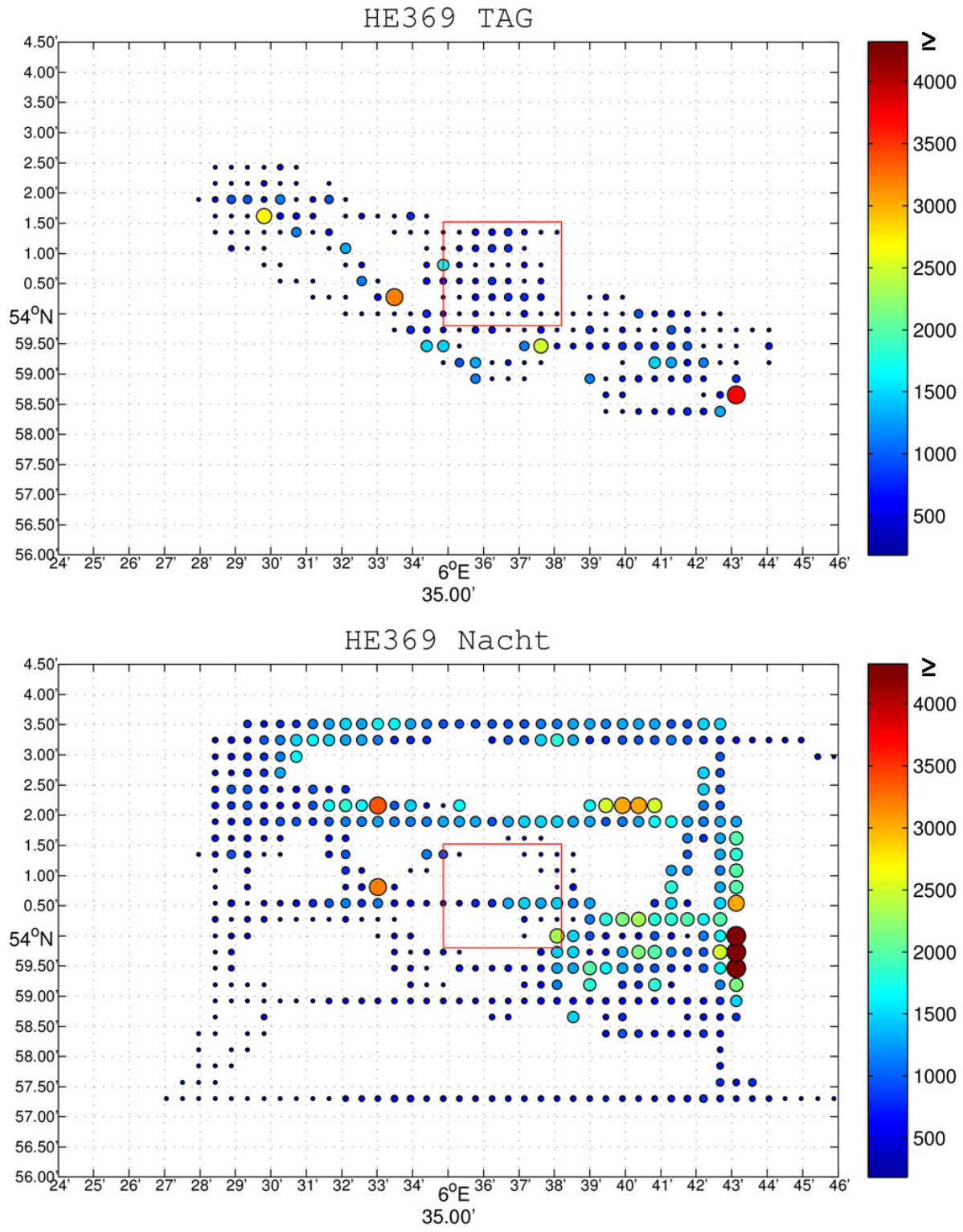

Abbildung 27: Mittelwerte aller NASC-Messwerte in Zellen von 0,5 x 0,5 km in einem Messgitter über das Untersuchungsgebiet der Messungen während des Tages (A) und der Nacht (B) während der HE369. Das rot-umrandete Gebiet ist das *alpha ventus* Gebiet.

Tabelle 22: Form und Ergebnisse des für den Datensatz der HE362 berechneten Generalisierten linearen Modells (GLM) für den Tag (oben) und die Nacht (unten). Nicht-signifikante Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen sind grau gesetzt. Das Signifikanzwert-Niveau folgt der Kodierung: 0 ‘*’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1. PR(>F) gibt den Signifikanzwert des GL-Modells an. % Expl. gibt den Prozentsatz der Varianz an, der durch die Abhängigkeiten von den erklärenden Variablen erklärt werden kann. Die Tabelle umfasst die berechneten Modell-Koeffizienten sowie deren (2,5 %, 97,5 %)- Konfidenzintervall. Relative Abundanz bezeichnet das Verhältnis des gemäß GLM berechneten NASC-Werts außerhalb zu innerhalb des *alpha ventus* Gebiets, das durch exp(β2) gegeben ist sowie dessen Konfidenzintervall. Bei nicht-signifikanter Abhängigkeit des NASC-Werts von dem Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable (ia) ergibt sich eine relative Abundanz von 1.**

HE369 / Herbst 2011		tiefe	ia	tiefe:ia		
TAG	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell:		**kein signifikantes Modell**				
Konfidenzintervall 2,5%:						
97,5%:						
Signifikanz:						
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***
NACHT	**β0**	**β1**	**β2**	**β3**	**PR(>F)**	**%Expl,**
Modell: Gamma	**6,460**	**0,463**	**-0,278**		**0,000**	**21,37**
Konfidenzintervall 2,5%:	**6,434**	**0,437**	**-0,615**			
97,5%:	**6,487**	**0,489**	**0,059**			
Signifikanz:	***	***			***	
					Relative Abundanz (2,5%; 95%)	***1*** ***(1; 1)***

11.3. Mageninhaltsanalyse

Es wurden insgesamt 401 Mägen von Fischen untersucht, die im Zeitraum von 2008 bis 2011 gefangenen wurden, davon 117 Mägen von Stöckern und 284 Mägen von Makrelen. 97 Mägen von Stöckern sowie 84 Mägen von Makrelen stammen von Tieren, die unmittelbar an der Unterwasserstruktur der Forschungsplattform FINO1 gefangen wurden. Während der Betriebsphase von *alpha ventus* (2010 und 2011) wurden 69 Mägen von Stöckern und 50 Mägen von Makrelen untersucht, die direkt an der FINO1 gefangen wurden sowie 62 Mägen von Makrelen, die im *alpha ventus* Gebiet und 97 Mägen von Makrelen, die in den Referenzgebieten gefangen wurden. Innerhalb des Zeitraums 2010 - 2011 wurden keine adulten Stöcker mit dem pelagischen Schleppnetz im *alpha ventus* Gebiet gefangen sowie nur zwei adulte Stöcker in den Referenzgebieten (Tabelle 23).

Tabelle 23: Anzahl der untersuchten Mägen von Stöcker (STÖ) und Makrele (MAK) für den Zeitraum 2008-2011 und die Betriebsphase (2010 und 2011) gesamt und für die einzelnen Fang-Orte (FINO1, ***alpha ventus*** **Gebiet und Referenzgebiete).**

	Anzahl der untersuchten Fischmägen							
	2008 - 2011				2010 - 2011			
Art **Ort**	STÖ ge-samt	MAK gesamt	STÖ FINO1	MAK FINO1	STÖ FINO1	MAK FINO1	MAK alpha ventus	MAK Referenz
n=	117	284	97	84	69	50	62	97

11.3.1. Analyse auf Ebene der Einzelgewichtsanteile

Zeitraum 2008-2011

Die graphische Exploration der Ähnlichkeit (Bray-Curtis Similarität) zwischen den Fischmägen mit Hilfe einer nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung (nMDS) auf der Basis der Einzelgewichtsanteile der unterschiedlichen Nahrungsbestandteile in den Fischmägen zeigt für den Zeitraum 2008 - 2011 keine Unterschiede zwischen den Gruppen, die durch Fischart und den Ort des Fangs bestimmt sind (Abbildung 28). Die Analyse der Similarität (ANOSIM), mit der die Ähnlichkeit zwischen den Gruppen paarweise getestet wurde, zeigt keine bedeutenden statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Es treten keine R-Werte größer 0,13 mit hinreichendem Signifikanz-Niveau auf.

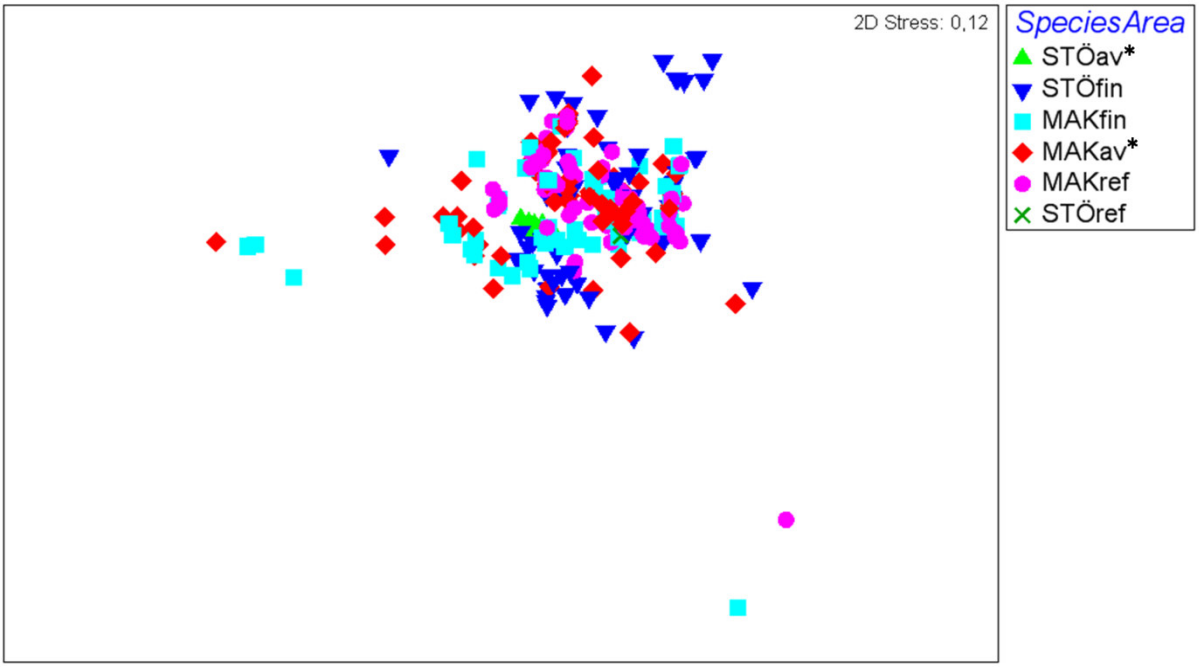

Abbildung 28: nMDS-Plot auf der Basis der Einzelgewichte der Nahrungsbestandteile in den Fischmägen für den Zeitraum 2008 - 2011 als Subset-nMDS (Primer 6) ohne 11 unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit streuende Fischmägen. Die Berechnung der Similarität (Bray-Curtis) erfolgte ohne organische Reste. Die unterschiedlichen Gruppen sind durch farbige Symbole markiert (siehe Legende): STÖ = Stöcker, MAK = Makrele, av = Fangort *alpha ventus* Gebiet, fin = Fangort FINO1, ref = Fangort Referenzgebiet. *Hier sind Fänge im *alpha ventus* Gebiet vor der Betriebsphase eingeschlossen.

Betriebsphase

Die graphische Exploration der Ähnlichkeit (Bray-Curtis Similarität) zwischen den Fischmägen mit Hilfe einer nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung (nMDS) zeigt auch separiert für die Fänge während der Betriebsphase keine Unterschiede zwischen den Gruppen, die durch Fischart und den Ort des Fangs bestimmt sind (Abbildung 29). Die Analyse der Similarität (ANOSIM) zeigt keine bedeutenden statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Der R-Wert des paarweisen Vergleichs erreicht maximal R = 0,19 (Makrele FINO1, Stöcker FINO1).

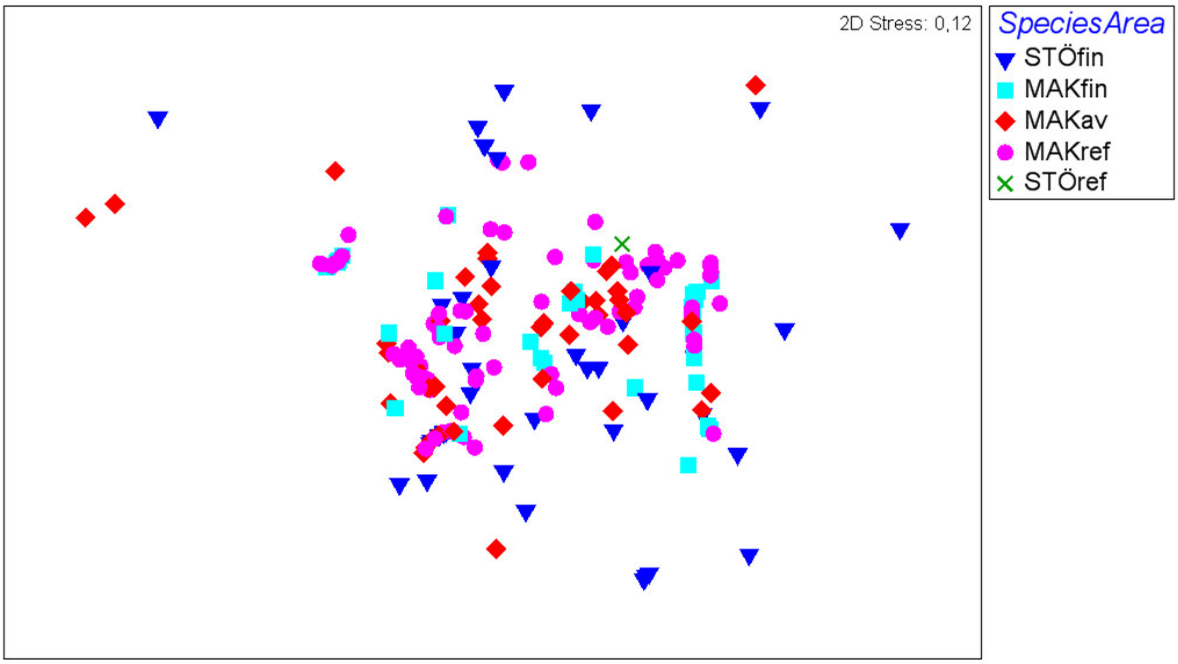

Abbildung 29*:* nMDS-Plot auf der Basis der Einzelgewichte der Nahrungsbestandteile in den Fischmägen für den Zeitraum 2010 - 2011 als Subset-nMDS (Primer6) ohne 7 unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit streuende Fischmägen. Die Berechnung der Similarität (Bray-Curtis) erfolgte ohne organische Reste. Die unterschiedlichen Gruppen sind durch farbige Symbole markiert (siehe Legende): STÖ = Stöcker, MAK = Makrele, av = Fangort *alpha ventus* Gebiet, fin = Fangort FINO1, ref = Fangort Referenzgebiet.

11.3.2. Hauptnahrungsbestandteile und Gruppenvergleich auf der Ebene gewichteter Nahrungsbestandteile (Index der Präponderanz)

11.3.2.1. Stöcker FINO1 2008 - 2011

Der Mageninhalt der Stöcker, die an der Unterwasserstruktur der FINO1 zwischen 2008 und 2011 gefangen wurden, ist in Hinsicht auf den Gesamt-Gewichtsanteil von Fischen (%Gi = 65,75 %) und in Hinsicht auf die Auftretens-Häufigkeit in den Mägen von planktischen Krebstieren dominiert (u.a. Decapoden-Larven Hi = 27,55 %, Mysidacea Hi = 22,45 %, Copepoda Hi = 11,22 %). Hartsubstrat-assoziierte *Jassa spp*. treten in 10,2 % der Mägen mit einem Gesamt-Gewichtsanteil von 2,24 % auf. Anthozoa tritt als ein Einzelexemplar auf, jedoch mit einem hohen Einzelgewicht. Der Index der Präponderanz (Abbildung 30) zeigt die Dominanz von Fischen (IOP = 86,39 %), gefolgt von Cephalopoda (IOP = 3,18 %, n = 2), Mysidacea (IOP = 4,98 %) und Decapoden-Larven (IOP = 2,69 %). Hartsubstrat-assoziierte Arten stel-

len einen geringen Anteil an der Ernährung dar (*Jassa spp* 1,84 %, Anthozoa 0,64 %) (Tabelle 24).

11.3.2.2. Stöcker FINO1 Betriebsphase

Die Gesamt-Gewichtsanteile der Mageninhalte der Stöcker-Gruppe, die während der Betriebsphase an der Unterwasserstruktur gefangen wurden, sind stark durch das Auftreten von Einzelexemplaren von Anthozoa (n = 1) und Cephalopoda (n = 2) mit hohen Einzelgewichten beeinflusst. Cephalopoda stellen auf Grund ihres hohen Einzelgewichts den zweithöchsten Gesamt-Gewichtsanteil (%G i =32,58) hinter den Fischen (%G i= 43,41 %) dar. In Hinsicht auf die Auftretens-Häufigkeit in den Mägen sind planktische Krebstiere (u.a. Mysidacea Hi = 31,88 %, Decapoden-Larven Hi=18,84 %, Copepoda Hi = 5,8 %) dominant. Der Index der Präponderanz zeigt eine Dominanz von Fischen (IOP = 62,45 %), gefolgt von Mysidacea (IOP = 16,31 %), Cephalopoda (IOP = 10,42 %, n = 2), *Jassa spp.* (IOP = 4,74 %) und Decapoden-Larven (IOP = 3,72 %). Für Anthozoa berechnet sich ein IOP von 2,11 %. Hartsubstrat-assoziierte Arten stellen insgesamt einen geringen Anteil an der Ernährung dar (Tabelle 24).

11.3.2.3. Makrele FINO1 2008 - 2011

Der Mageninhalt der Makrelen, die an der Unterwasserstruktur von FINO1 zwischen 2008 und 2011 gefangen wurden, wird hinsichtlich des Gesamt-Gewichtsanteils von Fischen dominiert (%Gi = 97,72 %). Planktische Krebstiere dominieren in Hinsicht auf die Auftretens-Häufigkeit in den Mägen (u.a. Copepoda Hi = 45,24 %, Amphipoda Hi = 22,62 %, Mysidacea Hi = 14,29 %, Decapoden-Larven Hi=19,5 %). Hartsubstrat-assoziierte *Jassa spp*. treten in 4,76 % der Mägen mit einem Gesamt-Gewichtsanteil von 0,14 % auf. Der Index der Präponderanz (Abbildung 30) zeigt die starke Dominanz von Fischen (IOP = 98,95 %), gefolgt von Copepoda (IOP = 0,49). Hartsubstrat-assoziierte Arten stellen einen sehr geringen Anteil an der Ernährung dar (*Jassa spp.* IOP = 0,02 %) (Tabelle 25).

11.3.2.4. Makrele FINO1 Betriebsphase

Der Mageninhalt der Makrelen, die an der Unterwasserstruktur der FINO1 während der Betriebsphase von *alpha ventus* gefangen wurden, wird hinsichtlich des Gesamt-Gewichtsanteils von Fischen dominiert (%Gi = 96,39 %). Planktische Krebstiere dominieren in Hinsicht auf die Auftretens-Häufigkeit in den Mägen dieser Gruppe (u.a. Copepoda Hi = 34,0 %, Mysidacea Hi = 22,0 %, Amphipoda Hi = 14,0 %, Decapoden-Larven Hi = 14 %). Hartsubstrat-assoziierte *Jassa spp*. treten in 8% der Mägen mit einem Gesamt-Gewichtsanteil von 0,24 % auf. Der Index der Präponderanz zeigt die starke Dominanz von Fischen (IOP = 98,56 %), gefolgt von Copepoda (IOP = 0,56). Hartsubstrat-assoziierte Arten stellen einen sehr geringen Anteil an der Ernährung dar (*Jassa spp.* IOP = 0,04 %) (Tabelle 25).

11.3.2.5. Makrele alpha ventus Gebiet Betriebsphase

Der Mageninhalt der Makrelen, die im *alpha ventus* Gebiet während der Betriebsphase von gefangen wurden, wird hinsichtlich des Gesamt-Gewichtsanteils von Fischen dominiert (%Gi = 84,05 %). Planktische Krebstiere dominieren in Hinsicht auf die Auftretens-Häufigkeit in den Mägen (u.a. Mysidacea Hi = 62,9 %, Copepoda Hi = 37,10 %, Decapoden-Larven Hi = 29,03 %, Amphipoda Hi = 12,90 %). Hartsubstrat-assoziierte *Jassa spp*. treten nicht auf. Der

Index der Präponderanz (Abbildung 30) zeigt die Dominanz von Fischen (IOP = 80,98 %), gefolgt von Mysidacea (IOP = 11,16 %) und Decapoden-Larven (IOP = 6,89 %). Hartsubstrat-assoziierte Arten stellen einen zu vernachlässigen Anteil an der Ernährung dar (Tabelle 26).

11.3.2.6. Makrele Referenzgebiete Betriebsphase

Der Mageninhalt der Makrelen, die in den Referenzgebieten während der Betriebsphase von *alpha ventus* gefangen wurden, wird hinsichtlich des Gesamt-Gewichtsanteils von Fischen dominiert (%Gi = 90,73 %). Planktische Krebstiere dominieren in Hinsicht auf die Auftretens-Häufigkeit in den Mägen (u.a. Mysidacea Hi = 50,52 %, Copepoda Hi = 44,33 %, Decapoden-Larven Hi = 39,18 %, Amphipoda Hi = 8,25 %). Hartsubstrat-assoziierte *Jassa spp*. treten in 8,25 % der Mägen mit einem Gesamt-Gewichtsanteil von 0,18 % auf. Der Index der Präponderanz (Abbildung 30) zeigt die starke Dominanz von Fischen (IOP = 91,15 %), gefolgt von Mysidacea (IOP = 5,46 %) und Decapoden-Larven (IOP = 2,17 %). Hartsubstrat-assoziierte Arten stellen einen zu vernachlässigen Anteil an der Ernährung dar (*Jassa spp*. IOP = 0,01 %) (Tabelle 26).

11.3.3. Gruppenvergleich durch den Schoener’s Index

Der auf der Basis gewichteter Nahrungsbestandteile (IOP) berechnete Schoener’s Index zeigt eine hohe Übereinstimmung zwischen den Makrelengruppen. Der Schoener’s Index beträgt für die Betriebsphase für den Vergleich zwischen den Makrelen im *alpha ventus* Gebiet und den Makrelen in den Referenzgebieten einen Wert von SI = 0,89. Für den Vergleich zwischen den Makrelen im *alpha ventus* Gebiet und den Makrelen, die während der Betriebsphase an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden, beträgt der Schoener’s Index SI = 0,82. Für den Vergleich zwischen den Makrelen, die in den Referenzgebieten gefangen wurden und den Makrelen, die während der Betriebsphase an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden, beträgt er SI = 0,92.

Zwischen den gewichteten Nahrungskomponenten von Stöcker und Makrelen, die zwischen 2008 - 2011 an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden, besteht eine hohe Übereinstimmung. Der Schoener’s Index beträgt SI = 0,87. Zeitlich eingeschränkt auf die Betriebsphase zeigt der Vergleich (Makrele FINO1, Stöcker FINO1) einen Schoener’s Index von SI = 0,63. Die geringere Übereinstimmung der gewichteten Nahrungskomponenten wird durch die Differenz in den IOP-Werten für Fische (36 Prozentpunkte), Mysidacea (15 Prozentpunkte) und Cephalopoda (10 Prozentpunkte) bestimmt.

11.3.4. Vergleich der Magenfüllungsgrade

Die Magenfüllungsgrade der Gruppe der Makrelen, die im *alpha ventus* Gebiet gefangen wurden, unterscheiden sich höchst signifikant von der Gruppe der Makrelen, die in den Referenzgebieten gefangen wurden (Log-transformierte Daten, $p < 0,001$). Ebenso höchst signifikant unterscheiden sich die Magenfüllungsgrade der Makrelen, die im *alpha ventus* Gebiet (PSN) und an der FINO1 (Angel) gefangen wurden (Gruppierung als Gesamt av), von der Gruppe der der Makrelen, die in den Referenzgebieten gefangen wurden (Log-transformierte Daten, $p < 0,001$).

Das Verhältnis der Mittelwerte der Magenfüllungsgrade der Makrele aus dem *alpha ventus* Gebiet zu Makrelen aus den Referenzgebieten beträgt 0,54, das entsprechende Verhältnis

der Mittelwerte auf der Basis Log-transformierter Daten 0,27 (Tabelle 27). Das Verhältnis der Mittelwerte der Magenfüllungsgrade der Makrele in der Gruppierung Gesamt av zu Makrelen aus den Referenzgebieten beträgt 0,57, das entsprechende Verhältnis der Mittelwerte auf der Basis Log-transformierter Daten beträgt 0,40 (Tabelle 27).

Tabelle 24: Prozentuale Gewichtsanteile (% Gi), Auftretens-Häufigkeit (Hi) und prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) innerhalb der Gruppe der Stöcker, die im Zeitraum 2008 - 2011 bzw. während der Betriebsphase (2010 u. 2011) unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden sowie der aus % Gi und % Hi berechnete Präponderanz-Index (IOP) für die verschiedenen Nahrungsbestandteile (ohne organische Reste).

	Stöcker Angel FINO1 **2008-2011**				**Stöcker Angel** FINO1 **2010-2011**			
	%Gi	Hi	%Hi	IOPi	%Gi	Hi	%Hi	IOPi
Crustacea	0.01	2.04	1.82	0.00	0.01	1.45	1.52	0.00
Amphipoda	0.05	7.14	6.36	0.03	0.00	1.45	1.52	0.00
Jassa	2.24	10.20	9.09	1.84	3.71	11.59	12.12	4.74
Mysidacea	2.75	22.45	20.00	4.98	4.64	31.88	33.33	16.31
Caridea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crangonidae	0.16	1.02	0.91	0.01	0.26	1.45	1.52	0.04
Processidae	0.32	2.04	1.82	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Copepoda	0.19	11.22	10.00	0.17	0.26	5.80	6.06	0.17
Decapoden-Larve	1.22	27.55	24.55	2.69	1.79	18.84	19.70	3.72
Isopoda	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cumacea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cladocera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nemertini	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Polychaeta	0.00	1.02	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Oikopleura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sipuncula	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bivalvia	0.07	2.04	1.82	0.01	0.12	2.90	3.03	0.04
Anthozoa	7.83	1.02	0.91	0.64	13.18	1.45	1.52	2.11
Gastropoda	0.03	3.06	2.73	0.01	0.05	1.45	1.52	0.01
Cephalopoda	19.35	2.04	1.82	3.18	32.58	2.90	3.03	10.42
Decabrachia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hydrozoa	0.04	2.04	1.82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Ascidia sp.	0.00	1.02	0.91	0.00	0.00	1.45	1.52	0.00
Pisces	65.75	16.33	14.55	86.39	43.41	13.04	13.64	62.45
Summe	100		100	100	100		100	100

Tabelle 25: Prozentuale Gewichtsanteile (% Gi), Auftretens-Häufigkeit (Hi) und prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) innerhalb der Gruppe der Makrelen, die im Zeitraum 2008 - 2011 bzw. während der Betriebsphase (2010 u. 2011) unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1 gefangen wurden sowie der aus % Gi und % Hi berechnete Präponderanz-Index (IOP) für die verschiedenen Nahrungsbestandteile (ohne organische Reste).

	Makrele Angel FINO1 **2008-2011**				**Makrele Angel** FINO1 **2010-2011**			
	%Gi	Hi	%Hi	IOPi	%Gi	Hi	%Hi	IOPi
Crustacea	0.01	5.95	3.33	0.00	0.02	6.00	3.85	0.00
Amphipoda	0.21	22.62	12.67	0.11	0.34	14.00	8.97	0.10
Jassa	0.14	4.76	2.67	0.02	0.24	8.00	5.13	0.04
Mysidacea	0.59	14.29	8.00	0.20	1.05	22.00	14.10	0.49
Caridea	0.21	1.19	0.67	0.01	0.36	2.00	1.28	0.02
Crangonidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Processidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Copepoda	0.46	45.24	25.33	0.49	0.77	34.00	21.79	0.56
Decapoden-Larve	0.46	19.05	10.67	0.21	0.78	14.00	8.97	0.23
Isopoda	0.00	1.19	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cumacea	0.00	1.19	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cladocera	0.00	2.38	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nemertini	0.07	9.52	5.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Polychaeta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Oikopleura	0.00	1.19	0.67	0.00	0.00	2.00	1.28	0.00
Sipuncula	0.00	1.19	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bivalvia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Anthozoa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gastropoda	0.00	1.19	0.67	0.00	0.00	2.00	1.28	0.00
Cephalopoda	0.11	1.19	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Decabrachia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hydrozoa	0.03	2.38	1.33	0.00	0.04	2.00	1.28	0.00
Ascidia sp.	0.00	1.19	0.67	0.00	0.00	2.00	1.28	0.00
Pisces	97.72	42.86	24.00	98.95	96.39	48.00	30.77	98.56
Summe	100		100	100	100		100	100

Tabelle 26: Prozentuale Gewichtsanteile (% Gi), Auftretens-Häufigkeit (Hi) und prozentuale Auftretens-Häufigkeit (% Hi) innerhalb der Gruppe der Makrelen, die während der Betriebsphase (2010 u. 2011) im *alpha ventus* Gebiet bzw. in den Referenzgebieten (RFG) gefangen wurden sowie der aus % Gi und % Hi berechnete Präponderanz-Index (IOP) für die verschiedenen Nahrungsbestandteile (ohne organische Reste).

	IOP Makrele *alpha ventus* 2010-2011				**IOP Makrele RFG 2010-2011**			
	%Gi	Hi	%Hi	IOPi	%Gi	Hi	%Hi	IOPi
Crustacea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	2.06	1.01	0.00
Amphipoda	0.28	12.90	6.67	0.11	0.18	8.25	4.02	0.04
Jassa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	4.12	2.01	0.01
Mysidacea	5.64	62.90	32.50	11.16	4.11	50.52	24.62	5.46
Caridea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Crangonidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Processidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Copepoda	0.25	37.10	19.17	0.30	0.77	44.33	21.61	0.90
Decapoden-Larve	7.55	29.03	15.00	6.89	2.10	39.18	19.10	2.17
Isopoda	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cumacea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cladocera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nemertini	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Polychaeta	0.00	1.61	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Oikopleura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sipuncula	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bivalvia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Anthozoa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gastropoda	0.01	9.68	5.00	0.00	0.01	5.15	2.51	0.00
Cephalopoda	2.21	8.06	4.17	0.56	0.88	10.31	5.03	0.24
Decabrachia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hydrozoa	0.00	1.61	0.83	0.00	1.08	1.03	0.50	0.03
Ascidia sp.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.06	1.01	0.00
Pisces	84.05	30.65	15.83	80.98	90.73	38.14	18.59	91.15
Summe	100		100	100	100		100	100

Tabelle 27: Mittelwert, Standardabweichung (SD), Medianwert und Quartile der Magenfüllungsgrade der Makrelen, die während der Betriebsphase im *alpha ventus* Gebiet, an der FINO1 sowie in den Referenzgebieten gefangen wurden sowie der Mittelwert, der sich aus log-transformierten Daten berechnet. Unter Gesamt av sind die Makrelen von FINO1 (Angel) und dem *alpha ventus* Gebiet (PSN) zusammengefasst.

	Mittelwert	SD	Median	Q(0,25%)	Q(0,50%)	Q(0,75%)	Mittelwert nach Log-Transformation	Anzahl Fisch-mägen
alpha ventus	77,33	147,68	12,97	5,37	12,97	74,41	17,06	62
FINO 1	88,39	106,70	30,59	13,20	30,59	170,87	40,74	50
Gesamt av	82,27	130,55	18,89	8,07	18,89	119,97	25,16	112
Referenzgebiete	143,54	189,73	62,46	28,46	62,46	150,45	63,47	97

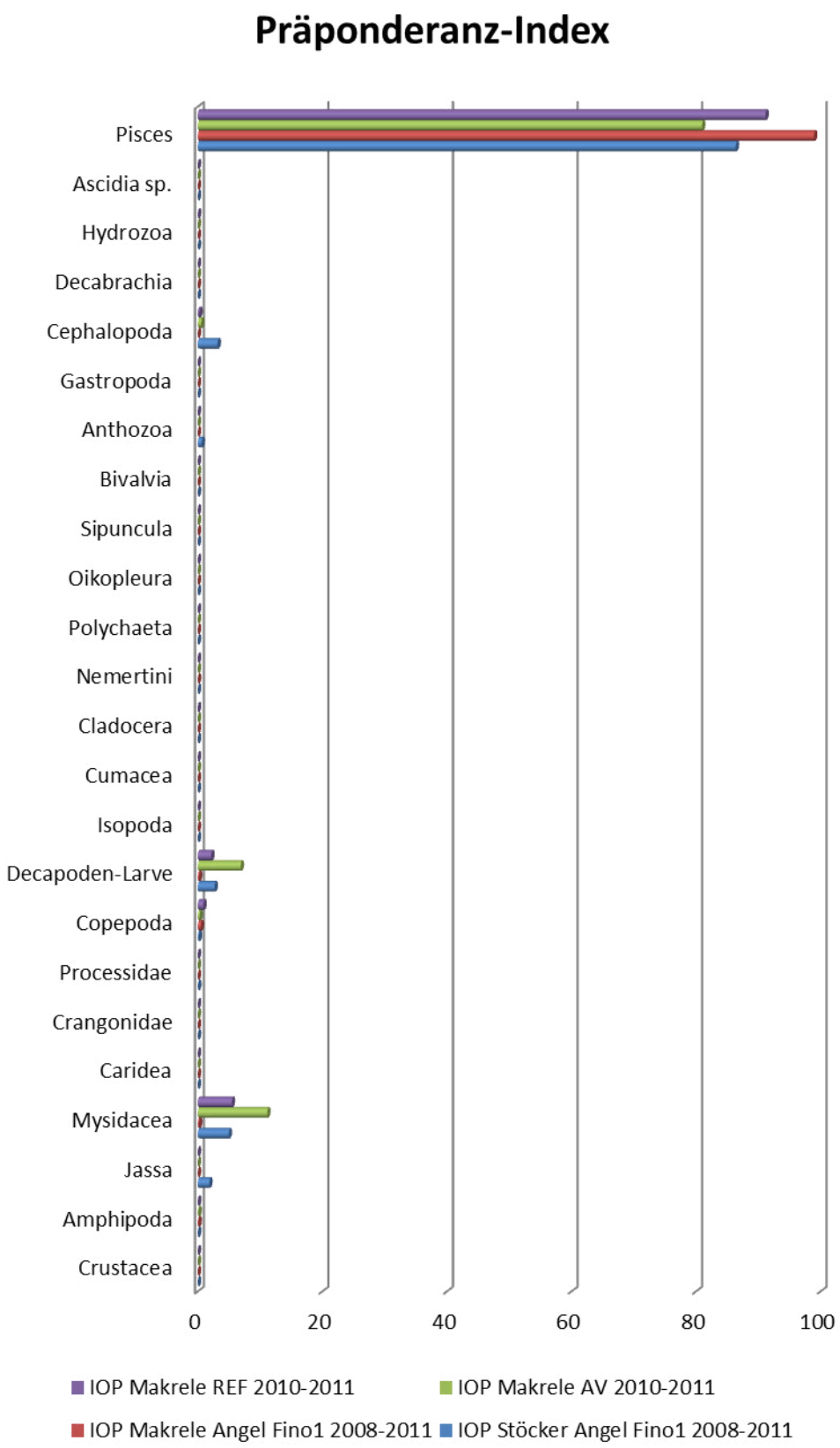

Abbildung 30: Präponderanz-Index, berechnet für die einzelnen Gruppen von Makrelen, die unmittelbar an der Unterwasserstruktur der FINO1 (rote Balken), innerhalb des Windparkgebiets (grüne Balken) sowie in den Referenzgebieten (violette Balken) gefangen wurden sowie für die Stöcker, die an der Unterwasserstruktur der FINO1 (blaue Balken) gefangen wurden.

12. Diskussion

12.1. Effekte des Windparks auf die Fischabundanz

Die sehr starke Variabilität der Fanggewichte der einzelnen Netzfang-Hols zeigt das extrem fleckenhafte Auftreten der pelagischen Fische, die keine vergleichende Biomasse bzw. Abundanz-Bestandsabschätzung zwischen dem *alpha ventus* Gebiet und den Referenzgebieten erlaubt, die auf den Netzfängen basieren würde.

Die jahreszeitlichen Änderungen in der Netzfangzusammensetzung, mit der Dominanz von Heringsartigen im Frühjahr und Herbst und der Dominanz oder dem bedeutenden Anteil von Makrelen in den Netzfängen im Sommer, spiegeln die saisonalen Wanderungsbewegungen der pelagischen Fische. Sardine und Sardelle stellen südliche Warmwasser-Fischarten dar, deren Abundanzen in der Nordsee über die letzten Jahrzehnte mit durchschnittlich steigenden Wassertemperaturen angestiegen sind (Alheit et al. 2012). Mit Hering, Sprotte, Makrele und Stöcker sind die auch fischereilich bedeutendsten pelagischen Fischarten der Deutschen Bucht im *alpha ventus* Gebiet vertreten. Deren relative Anteile können sich jedoch mit weiterer Entfernung von der Küste in anderen Windparks in der Art- und Größenzusammensetzung verschieben.

Für die Netzfangbeprobung der pelagischen Fische wurde ein relativ kleines pelagisches Schleppnetz eingesetzt (Abbildung 5), das in der mittleren Wassersäule und standardmäßig tagsüber geschleppt wurde. Die Größe und die Schleppmethode richten sich nach den Gegebenheiten im Testfeldgebiet alpha ventus, um eine Gefährdungslage, z.B. eine Beschädigung stromführender Kabel am Boden, auszuschließen. Durch die Art des eingesetzten Netzes kann es zu einer Unterbeprobung von schnell schwimmenden Fischarten kommen (Netzvermeidung). Ebenso kann die Tiefe der Netzfangbeprobung zu einer Unterrepräsentation von Fischarten in den Netzfängen führen, die eine sehr bodennahe Aufenthaltstiefe während des Tages zeigen. Dies könnte zu einem Teil das sehr geringe Vorkommen von Stöckern in den Netzfängen erklären. Diese mögliche systematische Beeinflussung der Netzfangdaten gilt jedoch in gleichem Maß für die Beprobung innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets und beeinflusst somit nicht den direkten Vergleich der Fänge.

Der Vergleich der Zusammensetzung der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb des *alpha ventus* Gebiets zeigt eine sehr starke Übereinstimmung. Der berechnete Similaritätsindex BCI lag überwiegend unter 0,05 und maximal bei 0,17 (Tabelle 2, BCI = 0 vollständige Übereinstimmung). Auf der Grundlage der Netzfänge muss von einer identischen Zusammensetzung ausgegangen werden.

Die hydroakustischen Surveys ermöglichen durch die hohe zeitliche und räumliche Überdeckung eine vergleichende Bestandsabschätzung. Die während des hydroakustischen Surveys innerhalb und außerhalb gemessenen NASC-Werte stellen auf Grund der gleichen Zusammensetzung der pelagischen Fische innerhalb und außerhalb eine direkt proportionale Bestandsmessung dar.

Adulte Stöcker weisen im Vergleich zu Makrele und der in den spezifischen Größenklassen vorkommenden Heringsartigen eine höhere Rückstreu-Stärke (TS) auf. Sollte entgegen der Annahme einer Gleichzusammensetzung, ein relativ höherer Anteil von Stöckern im *alpha ventus* Gebiet vorkommen, der auf Grund einer möglichen systematischen Unterbeprobung durch die Netzfangmethode nicht entdeckt wurde, würde dies daher zu einer *Überschätzung*

des pelagischen Fisch-Bestands im Windpark durch den NASC-Vergleich führen. Geringere NASC-Werte innerhalb des Windparkgebiets können somit als sichere Abschätzung geringerer Fischbestände gelten.

Während des Frühjahrs 2009, vor der Hauptbauphase von alpha ventus, zeigen die Messungen keine vom Windparkgebiet abhängige Ungleichverteilung der Fischbestände (HE309). Während der Bauphase zeigen die Messungen hingegen eine höchst-signifikante Abhängigkeit der NASC-Messwerte vom Windparkgebiet und eine starke Erniedrigung des Fischbestands relativ zu dem umgebenden Gebiet. Die nach dem berechneten statistischen Modell (Generalisiertes lineares Modell) berechnete relative Abundanz beträgt für den Sommer 2009 (HE309) während des Tages 0,55 (0,43 [2,5 %], 0,71 [95 %]) und 0,51 (0,43 [2,5 %], 0,64 [95 %]) während der Nacht (Abbildung 31). Die Messungen während des Herbst 2009 während des Tages zeigen nach dem GL-Modell eine relative Abundanz von 0,38 (0,22 [2,5 %], 0,64 [95 %]). Die Überdeckung mit Messungen ist für die HE313 während der Nacht zu gering, um Aussagen über die Fischverteilung während der Nacht treffen zu können. Aufgrund des stark geringeren Bestands von pelagischen Fischen im *alpha ventus* Gebiet während der Bauphase in Sommer und Herbst 2009 relativ zu dem umgebenden Gebiet muss von einer scheuchenden Wirkung durch die Baumaßnahmen ausgegangen werden (Abbildung 31).

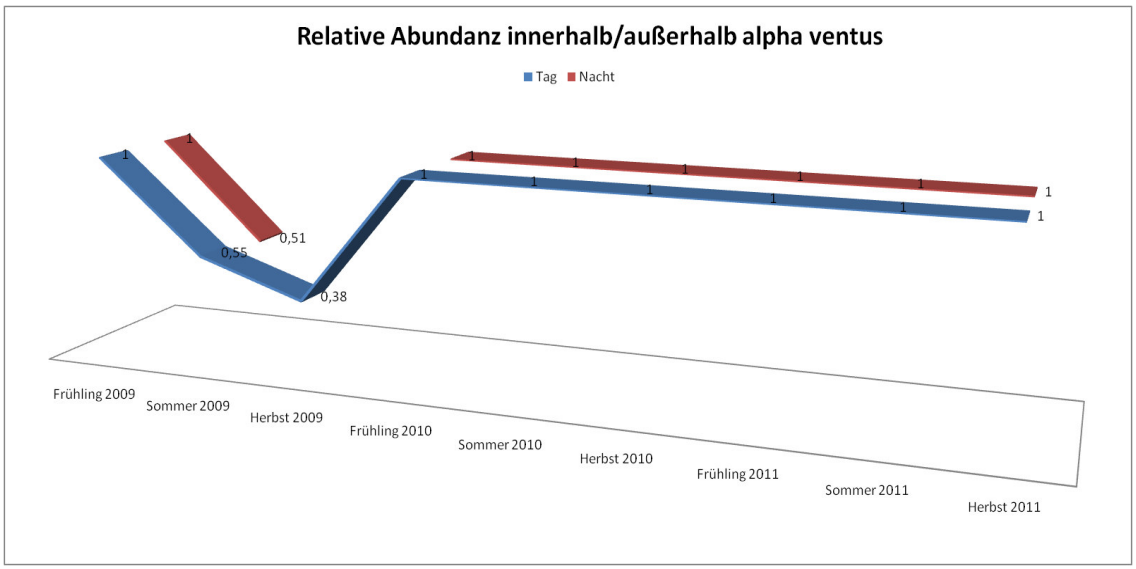

Abbildung 31: Relative Abundanz innerhalb zu außerhalb des *alpha ventus* Gebiets gemäß GLM.

Die wissenschaftlichen Befunde zur Schallsensitivität von Fischen sowie die hohen Schallintensitäten, die bei Rammarbeiten während der Bauphase auftreten, machen es wahrscheinlich, dass eine Scheuchwirkung u.a. durch die Rammarbeiten verursacht wurde. Da Fische unter bestimmten Umständen Schiffsgeräusche wahrnehmen und Fluchtreaktionen auf annähernde Schiffe zeigen können (Mitson & Knudsen 2003), kann darüber hinaus eine zusätzliche, aber weitaus schwächere Scheuchwirkung durch andere Bauaktivitäten angenommen werden.

In 2010 und 2011 konnten entgegen der Planung aus logistischen Gründen keine Langzeitmessungen mit den stationären Echolotsystemen durchgeführt werden (siehe Methodenkritik). Aus diesem Grund können keine Aussagen zu einer eventuellen gerichteten Ungleich-

verteilung von pelagischen Fischen hin zu den Unterwasserstrukturen der WEA innerhalb des *alpha ventus* Gebiets getroffen werden. Die Nahzone der WEAs stellt eine Blindzone für die Abundanzabschätzung in 2010 und 2011 dar. Die Messungen können somit die Fischabundanz im *alpha ventus* Gebiet bei bevorzugtem Aufenthalt um die WEA unterschätzen bzw. bei Scheuchung aus dem Nahfeldbereich der Anlagen überschätzen.

Während der Betriebsphase kann tagsüber im Frühjahr, Sommer und Herbst kein signifikanter vom Windpark bedingter Unterschied in der Fischabundanz zwischen dem Windparkgebiet und den umgebenden Gebiet festgestellt werden. Die während der Nachtuntersuchungen gemessenen NASC-Werte zeigen im Frühjahr 2010 und Sommer 2010 eine signifikante Abhängigkeit vom Messgebiet *alpha ventus* als erklärende Variable. Sie zeigen jedoch ebenfalls eine signifikante Interaktion zwischen dem Messgebiet und der Tiefe (Tiefe:ia, GLM). Diese Interaktion kann eine reale Umverteilung von Fischen innerhalb des *alpha ventus* Gebiets darstellen, die zu einem im Vergleich zu dem umgebenden Seegebiet zu einem unterschiedlichen Tiefenverteilungsmuster führt. Die Interaktion kann aber auch ein Artefakt darstellen, das in einer nicht hinreichenden räumlichen Überdeckung mit Messungen im Windparkgebiet in der Nacht begründet ist. Aus Sicherheitsgründen kann der schiffsgebundene, hydroakustische Survey in der Nacht im Windparkgebiet nicht die hohe *räumliche* Überdeckung aufweisen, die tagsüber erreicht wird. Bei einer signifikanten Interaktion (Tiefe:ia, GLM) muss davon ausgegangen werden, dass der Windpark die Fischabundanz im gegebenen Untersuchungszeitraum nicht beeinflusst, ohne jedoch einen solchen Effekt (starke Erniedrigung während HE323 und moderate Erniedrigung während HE332) sicher ausschließen zu können. Im Herbst 2010 und im Frühjahr, Sommer und Herbst 2011 wurde kein signifikanter, vom Windpark bedingter Unterschied in der Fischabundanz zwischen dem Windparkgebiet und dem umgebenden Gebiet festgestellt.

12.2. Mageninhalt von Stöcker und Makrele

Futterorgansimen zeigen in den Fischmägen unterschiedliche Verdauungsgrade. Ein bedeutender Teil der Nahrung ist bei einer Analyse des Mageninhalts nicht identifizierbar. Besonders empfindlich sind nicht-hartschalige Zooplankton-Organismen. Diese Empfindlichkeit gilt auch für *Jassa*-Individuen. Dieser Amphipode siedelt in dichtgedrängten Bauten an Hartsubstrat-Strukturen. Die Bauten, die mit gefressen werden, wenn der Fraß an den Unterwasserstrukturen der WEA oder der FINO1 erfolgt, sind jedoch im Magendurchgang robust und im Magen deutlich auffindbar. Es ist somit unwahrscheinlich, dass die Mageninhaltsanalyse zu einer relativen Unterschätzung des Nahrungsanteils von Hartsubstrat-assoziierten Organismen führt.

Die Analyse der Similarität (ANOSIM) zwischen allen Fischmägen zeigt keine Unterschiede zwischen den einzelnen Stöcker- und Makrelengruppen, die innerhalb des *alpha ventus* Gebiets (Freiwasser und an der Unterwasserstruktur der FINO1) sowie außerhalb des *alpha ventus* Gebiets gefangen wurden. Unterschiede in der Wichtigkeit der Nahrungskomponenten (mit der Häufigkeit des Auftretens gewichtete Nahrungskomponenten, IOP) zwischen Stöcker und Makrele, die sich in einem Vergleich für den Zeitraum der Betriebsphase zeigen, werden nicht durch den Fraß auf Hartsubstrat-assoziierten Arten bedingt, sondern durch Unterschiede in den relativen Anteilen von Fischen, pelagischen Crustaceen und Cephalopoden.

Sowohl für Stöcker als auch Makrele stellen Hartsubstrat-assoziierte Organismen im Windparkgebiet und direkt an der FINO1 in Hinsicht auf ihren Gewichtsanteil als auch als gewichtete Nahrungskomponente einen unbedeutenden Nahrungsbestandteil dar (Abbildung 30). Stöcker und Makrele profitieren somit nicht von einer durch den Windpark bedingten Ansiedlung von Hartsubstrat-assoziierten Organismen.

Die Magenfüllungsgrade der Makrelen an der FINO1 und im Freiwasser des Windparks sind während der Betriebsphase höchst signifikant von den Magenfüllungsgraden der Makrelen in den Referenzgebieten verschieden. Der höchst signifikante Unterschied besteht für die log-transformierten Daten (t-Test) als auch für die nicht transformierten (schräg-verteilten) Daten (Mann-Whitney-Wilcoxon Test). Der durchschnittliche Magenfüllungsgrad von Makrelen im Windparkgebiet beträgt 54 % des durchschnittlichen Magenfüllungsgrads in den Referenzgebieten. Für den Vergleich auf der Basis der log-transformierten Magenfüllungsgrade (rücktransformierte Mittelwerte) ergibt sich ein Wert von 27 % . Berücksichtigt man zusätzlich die Makrelen, die im Windparkgebiet an der FINO1 mit der Angel gefangen wurden, beträgt der Magenfüllungsgrad der Makrelen im Windparkgebiet 57 % des durchschnittlichen Magenfüllungsgrads in den Referenzgebieten bzw. 40 % in einem Vergleich der log-transformierten Magenfüllungsgrade. Die Magenfüllungsgrade der Makrelen im Windparkgebiet sind somit deutlich niedriger, verglichen mit den Magenfüllungsgraden der Makrelen in den Referenzgebieten.

Auf Basis der Magenfüllungsgrade kann nicht direkt auf den Gesamtnahrungserwerb über einen Zeitraum (z.B. pro Tag) geschlossen werden. Der kontinuierliche Fraß von Zooplankton (geringes Nahrungsgewicht) kann im Gegensatz zu sporadisch erbeuteten Fischen (hohes Nahrungsgewicht) kontinuierlich erfolgen. Um den Ernährungserfolg der pelagischen Fische im Windpark und außerhalb des Windparks zu vergleichen, müsste also zudem die Ingestionsrate betrachtet werden, die hier nicht bekannt ist. Die sehr ähnliche Nahrungszusammensetzung der Makrelen über die Fangorte hinweg macht es jedoch wahrscheinlich, dass der Nahrungserwerb der Makrelen innerhalb des Windparkgebiets geringer war.

Ein verringerter Nahrungserwerb kann durch eine Störung des Nahrungsverhaltens oder durch Unterschiede in der Abundanz und Zusammensetzung der Futterorganismen (Nahrungsfeld) begründet sein. Geräusche haben potentiell einen störenden Einfluss auf das Nahrungsverhalten von Fischen. Mögliche Störungen des Nahrungsverhaltens von pelagischen Fischen durch Geräusche sind jedoch kaum untersucht. Eine Verhaltensstudie am Dreistacheligen Stichling zeigt eine reduzierte Fähigkeit des Fisches, Nahrung zu erkennen sowie erhöhte Fehler bei der Behandlung der Nahrung und eine reduzierte Nahrungseffizienz (Purser & Radford 2011). Einen weiteren potentiellen Einfluss auf das Nahrungsverhalten der Makrele stellen die Unterwasserstrukturen dar. Eine Störung des Schwimmverhaltens der Makrele, und darüber vermittelt, ihres Nahrungsverhaltens, sollte jedoch nur im absoluten Nahfeldbereich der Unterwasserstrukturen der WEA auftreten.

Ohne eine gleichzeitige Untersuchung des Nahrungsfelds der pelagischen Fische, das u.a. mit hydrographischen Parametern korreliert ist, zufällige Änderungen aufweist und möglicherweise durch den Windpark beeinflusst ist (z.B. Auftreten von Larven-Stadien Hartsubstrat-assoziierter Arten), können die Ursachen eines möglichen verringerten Nahrungserwerbs nicht näher eingegrenzt werden.

12.3. Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit den Resultaten anderer Studien zum Einfluss von Offshore Windparks auf pelagische Fische

Es existieren nur sehr wenige Studien, die die Effekte von Offshore Windparks auf pelagische Fische untersuchen. Der überwiegende Anteil der Untersuchungen stellt Untersuchungen benthischer und einiger bentho-pelagischer Fische dar.

Die vorliegende Untersuchung ist die erste Studie, die auf hydroakustischen Surveys basiert, die saisonal im Frühjahr, Sommer und Herbst durchgeführt wurden und die Bauphase (einschließlich Vorbauphase) und Betriebsphase umfasst. Die vorliegende Studie zeigt eine starke relative Erniedrigung des Fischbestands im Gebiet von *alpha ventus* während der Bauphase und somit Evidenz für eine scheuchende Wirkung auf pelagische Fische während der Bauphase. Dieses Untersuchungsergebnis ist in Übereinstimmung mit dem Wissensstand über die Schallsensitivität von Fischen und den gemessenen Schalleintrag durch die Bautätigkeit und der auf Grund dieser Befunde zu vermutenden Beeinflussung durch die Rammschalleinträge (Thomson et al. 2006, OSPAR 2009, ITAP 2011, Andersson 2011).

Die schiffsgebundenen, hydroakustischen Surveys zeigen während der Betriebsphase keine scheuchenden oder attraktiven Effekte auf pelagische Fische. Dieser Befund ist in Übereinstimmung mit den bisherigen Ergebnissen der Untersuchung im Windpark Horns Rev1 (Leonhard et al. 2011) und dem Windpark Egmond aan Zee (Ybema et al. 2009). Die Untersuchungsmethoden umfassten bei der Untersuchung im Windpark Horns Rev 1 Netzfänge und einige hydroakustische Surveys. Auf Grund der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität, konnten keine signifikanten Änderungen in der Abundanz oder den Verteilungsmustern in und außerhalb des Windparks festgestellt werden (Leonhard et al. 2011). Die T1-Studie über die Einflüsse auf pelagische Fische nach einem Jahr Betriebsphase des Windparks Egmond aan Zee zeigte keine klaren und direkten Effekte auf die Abundanz pelagischer Fische (Ybema et al. 2009). Wie oben ausgeführt, stellt jedoch die Nahzone der WEAs eine Blindzone für die Abundanzabschätzung mit schiffsgebundenen, hydroakustischen Surveys dar, die somit Abundanz pelagischer Fische im Windparkgebiet über- oder unterschätzen kann.

Über die Effekte von Offshore Windparks auf die Ernährung pelagischer Fische ist extrem wenig bekannt. Das Ergebnis der vorliegenden Studie, dass Hartsubstrat-assoziierte Organismen, die ein erhöhtes Vorkommen im Windpark haben, für Makrele und Stöcker unbedeutende Nahrungskomponenten im Windpark darstellen, steht in Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen von Derweduwen et al. (2012) für Stöcker im *Offshore-Windpark* Thortonbank. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand liegen bislang keine vergleichenden mehrjährigen Untersuchungen des Magenfüllungsgrades von pelagischen Fischen und speziell der Makrele innerhalb und außerhalb von Offshore Windparks vor. Die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Studie zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Magenfüllungsgraden der Makrelen innerhalb und außerhalb des Windparkgebiets *alpha ventus*, die durch einen gestörten Nahrungserwerb innerhalb des Windparkgebiets oder durch Unterschiede im Futterfeld verursacht sein können.

13. Ausblick

Das Wanderverhalten der pelagischen Fische macht es unmöglich, die Langzeiteffekte von Offshore Windparks auf der Ebene einzelner Offshore Windparks zu untersuchen. Sollte ein weiterer Ausbau von Offshore Windparks in der deutschen AWZ erfolgen, muss eine solche Untersuchung windparkübergreifend durchgeführt werden. Sie muss großskalige Surveys der Fischverteilung und des Bestands umfassen sowie Langzeitmessungen mit stationären Messsystemen in *ausgesuchten* (einzelnen) Windparkgebieten und Referenzgebieten. Die stationären Langzeitmessungen erlauben eine sichere Bestandabschätzung bei einer gerichteten Ungleichverteilung im Windpark und ermöglichen gerichtete Langzeittrends von kurzzeitigen Änderungen zu unterscheiden.

Großskalige Surveys und stationäre Messungen müssen synoptisch mit der Untersuchung des lokalen Futterangebots und der Messung hydrographischer Parameter gekoppelt sein, um u.a. Fragen der Beeinflussung des Nahrungsverhaltens von pelagischen Fischen adressieren zu können. Eine solche synoptische Untersuchung ist durch den gleichzeitigen Einsatz u.a. von hydroakustischen Messmethoden, bildbasierenden optischen Verfahren zur Detektion von Zooplankton und hydrographischer Messsensorik möglich.

Bei schiffsgebundenen Surveys (großskalige Untersuchung) kann dies mit Hilfe geschleppter, undulierender Messgeräteträger realisiert werden. Es sollte geprüft werden, ob diese synoptischen, großskaligen Surveys im Rahmen der standardmäßig durch die Bundesrepublik Deutschland durchgeführten fischereilichen Bestandsabschätzungen durchgeführt werden können. Die Langzeitmessungen können mit dem im Rahmen dieses Projekts neuentwickelten stationären Messsystem durchgeführt werden, wenn es durch den Einsatz eines bildbasierenden optischen Messsystems (z.B. LOKI, vgl. Schulz et al. 2010) und hydrographische Messsensorik erweitert wird. Vorstudien zu einer solchen Integration werden aktuell durchgeführt.

14. Literaturangaben

Akaike, Hirotugu (1974), "A new look at the statistical model identification", *IEEE Transactions on Automatic Control* **19** (6): 716–723

Alheit, J.; Pohlmann, T.; Casini, M.; Greve, W.; Hinrichs, R.; Mathis, M.; Vorberg, R. & Wagner, C. (2012), 'Climate variability drives anchovies and sardines into the North and Baltic Seas', **96**(1), 12--12.

Andersson, M. H. (2011), 'Offshore wind farms – ecological effects of noise and habitat alteration on fish', PhD thesis, Department of Zoology, Stockholm University.

Bleckmann, H. (2004), '3-D-orientation with the octavolateralis system', *J. Physiol.* **98**, 53–65.

Blegvad, H. (1917), 'The food of fish in the Danish waters within the Skaw', *Rep. Danish Biol. St. Board Agric. Copenh.* **2**, 49-72.

Bohnsack, J. A. (1989), 'Are High Densities of Fishes at Artificial Reefs the Result of Habitat Limitation or Behavioral Preference?', *Bulletin of Marine Science* **44(2)**, 631-645.

Brodeur, R.-D. (1998), 'In situ observations of the association between juvenile fishes and scyphomedusae in the Bering Sea', *Marine Ecology Progress Series* **163**, 11-20.

Caltrans (2001), 'Pile Installation Demonstration Project, Fisheries Impact Assessment.', *Caltrans Contract 04A0148. San Francisco - Oakland Bay Bridge East Span Seismic Safety Project*.

Davidson, J.; Bebak, J. & Mazik, P. (2009), 'The effects of aquaculture production noise on the growth, condition factor, feed conversion, and survival of rainbow trout, Oncorhynchus mykiss', *Aquaculture* **288**(3вЂ“4), 337-343.

Dempster T. & Taquet M. (2004). ‘Fish aggregation device (FAD) research: gaps in current knowledge and future directions for ecological studies’, /Reviews in Fish Biology and Fisheries/, *14(1)*, 21-42

Derweduwen, J.; Vandendriessche, S.; Willems, T. & Hostens, K. (2012), 'The diet of demersal and semi-pelagic fish in the Thorntonbank wind farm: tracing changes using stomachanalyses data', *Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea [Hrsg.: Degraer,S.; Brabant, R.; Rumes, B.]*, 73-84.

Diederichs, A.; Pehlke, H.; Nehls, G.; Bellmann, M.; Gerke, P.; Oldeland, J.; Grunau, C.; Witte, S. & Rose, A. (2014): Entwicklung und Erprobung des Großen Blasenschleiers zur Minderung der Hydroschallemissionen bei Offshore-Rammarbeiten. Schlussbericht zum BMU-geförderten Vorhaben Hydroschall-OFF BWII (Förderkennzeichen 0325309A/B/C), 1-250.

Enger, P. S. (1967), 'Hearing in herring', *Comparative Biochemistry and Physiology* **22**(2), 527-538.

Fay, R. (1969), 'Behavioural audiogram for the goldfish', *J. Aud. Res.* **9**, 112-121.

Fay, R. & Popper, A. (1974), 'Acoustic stimulation of the ear of the goldfish (Carassius auratus)', *J Exp Biol* **61**, 243-260.

Foote, K. G.; Knudsen, H. P.; Vestnes, G.; MacLennan, D. N. & Simmonds, E. J. (1987), 'Calibration of acoustic instruments for fish density estimation : a practical guide', *Coop*

. Res. Rep. Cons. int. Explor. Mer **144**, p 69.

Formicki, K. & Winnicki, A. (1998), 'Reactions of fish embryos and larvae to constant magnetic fields', *Italian Journal of Zoology* **65:S1**, 479-482.

Franks, J. (2000), 'A review: pelagic fishes at petroleum platforms in the Northern Gulf of Mexico; diversity, interrelationships, and perspective', *In: Pêche thonière et dispositifs de concentracion de poissons. [Hrsg.: Le Gall JL, Cayre P, Taquet M] IFREMER, Martinique*, 502–515.

Gill, A. & Bartlett, M. (2010), 'Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel', *Scottish Natural Heritage Commissioned Report* **401**.

Gill, A. B.; Huang, Y.; Gloyne Philips, I.; Metcalfe, J.; Quayle, V.; Spencer, J. & Wearmout h, V. (2009), 'COWRIE 2.0 Electromagnetic Fields (EMF) Phase 2 : EMF - sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry', *Commissioned by COWRIE Ltd (project reference COWRIE - EMF - 1 - 06)*.

Grift, R.; Tulp, I.; Ybema, M. & Couperus, A. (2004), *Base line studies North Sea wind farms: final report pelagic fish*, Netherlands Institute for Fisheries Research (RIVO), Ymuiden [etc.].

Helvey, M. (2002), 'Are southern California oil and gas platforms essential fish habitat?', *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* **59**(suppl), S266--S271.

Hilbe, J. (2010) ‘Generalized Linear Models’, In: Miodrag, L. (Editor), (2010). International Encyclopedia of Statistical Science. Heidelberg: Springer Science (http://statprob.com/encyclopedia/GeneralizedLinearModels.html)

Inger, R.; Attrill, M. J.; Bearhop, S.; Broderick, A. C.; James Grecian, W.; Hodgson, D. J.; Mills, C.; Sheehan, E.; Votier, S. C.; Witt, M. J. & Godley, B. J. (2009), 'Marine renewable energy: potential benefits to biodiversity? An urgent call for research', *Journal of Applied Ecology* **46**(6), 1145--1153.

ITAP (2011), 'Messungen von Unterwasserschall beim Bau der Windenergieanlagen im Offshore-Testfeld alpha ventus', *Abschlussbericht zum Monitoring nach StUK 3 in der Bauphase*, 1-48.

Kasumyan, A. O. (2008), 'Sounds and sound production in fishes', *J. Ichthy.* **48(11)**, 981–1030.

Kingsford, M. J. (1993), 'Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: importance to small fishes.', *Bulletin of Marine Science* **53**, 393–415.

Leonhard, S.; Stenberg, C. & Støttrup, J. [H. (2011), 'Effect of the Horns Rev 1 Offshore Wind Farm on Fish Communities. Follow-up Seven Years after Construction.', *DTU Aqua Report No 246-2011*, pp. 66

Lerchl, A.; Zachmann, A.; Ali, M. & Reiter, R. (1998), 'The effect of pulsing fields on pineal melatonin synthesis in a teleost fish (brook trout, *Salvelinus fontinalis*)', *Neuroscience Letters* **256**, 171–173.

Lindeboom, H. J. e. a. (2011), 'Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation', *Environ. Res. Lett.* **6**, pp 13.

Love, M.; Caselle, J. & Snookm, L. (1999), 'Fish assemblages on mussel mounds surrounding seven oil platforms in the Santa Barbara Channel and Santa Maria Basin', *Bulletin Of Marine Science* **65(2)**, 497-513.

Masuda R.; Yamashita, Y. & Matsuyama, M. (2008), 'Jack mackerel *Trachurus japonicus* juveniles use jellyfish for predator avoidance and as a prey collector', *Fisheries Science* **74**(2), 276--284.

May, J. (2005), 'Post-construction results from the North Hoyle offshore wind farm. Paper for the Copenhagen offshore wind international conference', *Project Management Support Services Ltd*, 1-10.

Metcalfe, J.; Holford, B. & Arnold, G. (1993), 'Orientation of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the open sea: evidence for the use of external directional clues', *Mar. Biol.* **117**, 559-566.

Mitson, R. B. & Knudsen, H. P. (2003), 'Causes and effects of under-water noise on fish-abundance estimation.', *Aquatic Living Resources* **16**, 255–263.

Mueller-Blenkle, C.; McGregor, P.; Gill, A.; Andersson, M. M.; Metcalfe, J.; Bendall, V.; Sigray, P.; Wood, D. & Thomsen, F. (2010), 'Effects of Pile-driving Noise on the Behaviour of Marine Fish', *COWRIE Ref: Fish 06-08, Technical Report 31st March 2010*.

Nedwell, J.; Turnpenny, A.; Langworthy, J. & Edwards, B. (2003), 'Measurements of underwater noise during piling at the Red Funnel Terminal, Southampton, and observations of its effect on caged fish', *Subacoustics LTD. Report558 R 0207. Bishops Waltham: Subacoustic Ltd*.

Nishi, T. & Kawamura, G. (2005), 'Anguilla japonica is already magnetosensitive at the glass eel phase', *Journal of Fish Biology* **67**, 1213-1224.

Oestman, R. & Earle, C. (2012), Effects of Pile-Driving Noise on Oncorhynchus mykiss (Steelhead Trout), *in* Arthur, N. Popper & Hawkins, A. ed., 'Advances in Experimental Medicine and Biology', Springer New York, , pp. 263-265.

Öhman, M.; Sigray, P. & Westerberg, H. (2007), 'Offshore Windmills and the Effects of Electromagnetic Fields on Fish', *Ambio* **36(8)**, 630-633.

OSPAR (2009), Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment, OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. Biodiversity and Ecosystems Series, Publication Number 441/2009, 134 pp.

Popper, A.; Fay, R.; Platt, C. & Sand, O. (2003), Sound Detection Mechanisms and Capabilities of Teleost Fishes, *in* Shaun, P. C. & Justin, N. Marshall, ed., 'Sensory Processing in Aquatic Environments', Springer New York, , pp. 3-38

Popper, A. & Hastings, M. (2009), 'The effects of anthropogenic sources of sound on fishes', *Journal of Fish Biology* **75**(3), 455-489.

Popper, A.; Plachta, D.; Mann, D. A. & Higgs, D. (2004), 'Response of clupeid fish to ultrasound: a review', *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* **61**(7), 1057-

1061.

Purser, J. & Radford, A. (2011), 'Acoustic Noise Induces Attention Shifts and Reduces Foraging Performance in Three-Spined Sticklebacks (Gasterosteus aculeatus).', *PLoS ONE* **6(2)**, e17478. doi:10.1371/journal.pone.0017478.

Radford, C. A.; Montgomery, J. C.; Caiger, P. & Higgs, D. M. (2012), 'Pressure and particle motion detection thresholds in fish: a re-examination of salient auditory cues in teleosts', *The Journal of Experimental Biology* **215(Pt 19)**, 3429-3435.

Reubens, J.; Degraer, S. & Vincx, M. (2011), 'Aggregation and feeding behaviour of pouting (Trisopterus luscus) at wind turbines in the Belgian part of the North Sea', *Fisheries Research* **108**(1), 223--227.

Reubens, J.; Degraer, S. & Vincx, M. (2010), 'The importance of marine wind farms, as artificial hard substrata, for the ecology of the ichthyofauna.. + annexes', *Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impactassessment and spatio-temporal variability. [Hrsg,: Degraer, S.; Brabant, R.; Rumes, B.]*, 69-82.

Richardson; Greene, J. a. M. & Thomson (1998), *Marine Mammals and Noise*, Academic Press.

Safran, P. & Omori, M. (2008), 'Some ecological observations on fishes associated with drifting seaweed off Tohoku coast, Japan.', *Mar. Biol.* **105**, 395-402.

Schulz, J.; Barz, K.; Ayon, P.; Lüdtke, A.; Zielinski, O.; Mengedoht, D. & Hirche, H.-J. (2010), 'Imaging of plankton specimens with the lightframe on-sight keyspecies investigation (LOKI) system', *Journal of the European Optical Society - Rapid publications; Vol 5 (2010)*

Slabbekoorn, H.; Bouton, N.; van Opzeeland, I.; Coers, A.; ten Cate, C. & Popper, A. N. (2010), 'A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish', *Trends in Ecology & Evolution* **25**(7), 419-427.

Thomsen, F.; Lüdemann, K.; Kafemann, R. & Piper, W. (2006), 'Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish', *biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd*, 1-62.

Tolimieri, N.; Jeffs, A. & Montgomery, J. C. (2000), 'Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes', *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **207**, 219–224.

Walker, M.; Kirschvink, J.; Chang, S. & Dizon, A. (1984), 'A candidate magnetic sense organ in the Yellowfin tuna, Thunnus albacares', *Science* **224**, 751-753.

Wang, X.and Xu, L.; Chen, Y.; Zhu, G.; Tian, S. & Zhu, J. (2012), 'Impacts of fish aggregation devices on size structures of skipjack tuna Katsuwonus pelamis', **46**(3), 343-352.

Westerberg, H. & Begout-Anras, M. L. (2000), 'Orientation of silver eel (*Anguilla anguilla*) in a disturbed geomagnetic field', *In: A. Moore & I. Russell (eds) Advances in Fish Telemetry. Proceedings of the 3rd Conference on Fish Telemetry. Lowestoft: CEFAS*, 149–158.

Westerberg, H. & Langenfelt, I. (2008), 'Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel', *Fisheries Management and Ecology* **15**, 369-375.

Wilhelmsson, D.; Malm, T. & Öhman, M. C. (2006), 'The influence of offshore windpower on

demersal fish', *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* **63**(5), 775--784.

Ybema, M. S.; Gloe, D. & Hille Ris Lambers, R. (2009), 'OWEZ-pelagic fish: progression after T1', *MARES Wageningen UR Report number: OWEZ R 264 T1 20091110 (pelagic)*, p 32.

Zintzen, V.; Massin, C.; Norro, A. & Mallefet, J. (2006), 'Epifaunal Inventory of Two Shipwrecks from the Belgian Continental Shelf', *Hydrobiologia* **555**, 207-219.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Untersuchung der Effekte von Windenergieanlagen auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld „alpha ventus“ - Arbeitspaket A: Pelagische Fische	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr. Sören Krägefsky	5. Abschlussdatum des Vorhabens Mai 2014
	6. Veröffentlichungsdatum Mai 2014
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) Am Handelshafen 12 27570 Bremerhaven	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 0327689A/AWI1-A
	11. Seitenzahl 100
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 62
	14. Tabellen 27
	15. Abbildungen 31
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) BSH & BMU (2014). Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus - Challenges, Results and Perspectives. Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH), Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Springer Spektrum. 201 pp. ISBN: 987-3-658-02461-1	
Im Teilprojekt „Untersuchung der Effekte von WEAs auf Fische und vagile Megafauna im Testfeld „alpha ventus“ AP A: Pelagische Fische“ wurden im Rahmen von StUKplus die möglichen Auswirkungen von Offshore-Windparks auf pelagische Fische untersucht und die eingesetzten Untersuchungsverfahren evaluiert und weiterentwickelt. Die Untersuchungen basierten auf hydroakustischen Messverfahren, Netzfangbeprobung und Mageninhaltsanalysen an Fischen, die im Testfeldgebiet und im Gebiet außerhalb des Windparks gefangen wurden. Weiterhin umfasste das Projekt die Entwicklung eines stationären hydroakustischen Messsystems für Langzeitmessungen der Fischverteilung und Abundanz sowie eines absetzbaren Geräteträgers mit beweglichem Gerätekopf mit bildgebendem Sonar (Landersystem) für die Untersuchung der Fischverteilung innerhalb der Unterwasserstrukturen der Windenergieanlagen. Die Untersuchung umfasst einen Zeitraum vor der Bauphase, die Bauphase (2009) und die Betriebsphase von „alpha ventus“ 2010 und 2011. Die vorliegende Studie zeigt eine starke relative Erniedrigung des Fischbestands im „alpha ventus“-Gebiet während der Bauphase, die eine scheuchende Wirkung auf pelagische Fische durch die Rammarbeiten und andere Bauaktivitäten vermuten lässt. Für die Betriebsphase (2010 und 2011) kann auf der Basis der saisonal in Frühjahr, Sommer und Herbst durchgeführten schiffsgebundenen hydroakustischen Surveys kein durch „alpha ventus“ bedingter scheuchender oder attraktiver Effekt auf pelagische Fische festgestellt werden. Die Mageninhaltsanalysen zeigen, dass Hartsubstrat-assoziierte Organismen, die durch die Verfügbarkeit von Hartstrukturen bedingt, ein erhöhtes Vorkommen im Windpark zeigen, für Makrele (*Scomber scombrus*) und Stöcker (*Trachurus trachurus*) unbedeutende Nahrungskomponenten im Windpark darstellen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen weiterhin signifikante Unterschiede zwischen den Magenfüllungsgraden der Makrelen innerhalb und außerhalb des Testfeldgebiets, die durch einen gestörten Nahrungserwerb innerhalb des Windparkgebiets oder durch Unterschiede im Futterfeld verursacht sein können.	
19. Schlagwörter	
20. Verlag	21. Preis