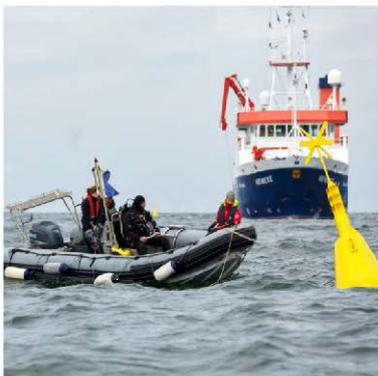
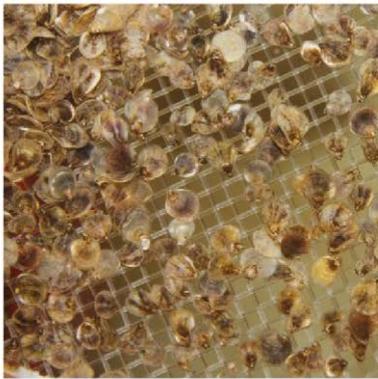


Bernadette Pogoda, Bérenger Colsou, Tanja Hausen,
Verena Merk und Corina Peter

Wiederherstellung der Bestände der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) in der deutschen Nordsee (RESTORE Voruntersuchung)



**Wiederherstellung der Bestände
der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*)
in der deutschen Nordsee
(RESTORE Voruntersuchung)**

**Bernadette Pogoda
Bérenger Colsoul
Tanja Hausen
Verena Merk
Corina Peter**

Titelbild: obere Reihe (v.l.n.r.): Zwei Millimeter große *Ostrea edulis* Saataustern (AWI/Merk); Versuchsaufbau am Landergestell unter Wasser (AWI/Merk); auf Muschelschill angesiedelte einzelne Europäische Auster (AWI/Colsoul); untere Reihe (v.l.n.r.): Taucher bringen die Europäischen Austern in der Nordsee aus (AWI/Mueller-Elsner); im Feldversuch gewachsene Europäische Austern im Austernkorb (AWI/Merk); Vermessung der Europäischen Austern (AWI/Merk)

Adressen der Autorinnen und des Autors:

Dr. Bernadette Pogoda	Alfred-Wegener-Institut
Bérenger Colsoul	Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Tanja Hausen	Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven
Verena Merk	E-Mail: bernadette.pogoda@awi.de
Corina Peter	berenger.colsoul@awi.de
	tanja.hausen@awi.de
	verena.merk@awi.de
	corina.peter@awi.de

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Katrin Prinz Fachgebiet II 3.3 „Menschliche Einflüsse, ökologische Fragen bei marinen Vorhaben“

Prof. Dr. Henning von Nordheim ehemaliger Abteilungsleiter II 3 „Meeresnaturschutz“

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (FKZ: 3516 89 2001).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de). BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter [http:// www.bfn.de/skripten.html](http://www.bfn.de/skripten.html) heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-343-0

DOI 10.19217/skr582

Bonn - Bad Godesberg 2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung und Zielsetzung	9
2 Ökologischer und naturschutzfachlicher Hintergrund	11
2.1 Historische Vorkommen und Gründe für das Aussterben der Europäischen Auster.....	11
2.2 Ökologische Bedeutung	10
2.3 Schutzstatus und Wiederansiedlung der Europäischen Auster	12
3 Arbeitsschritte, Methoden & Ergebnisse	13
3.1 Voraussetzungen für die erfolgreiche Wiederansiedlung.....	13
3.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und FFH Verträglichkeitsprüfung.....	13
3.1.2 Biologische Rahmenbedingungen: Freilandversuche.....	19
3.1.3 Zusammenfassung	28
3.2 Wissens- und Technologietransfer: Zusammenarbeit mit anderen Wiederansiedlungsvorhaben.....	29
3.2.1 Internationale Kooperationen	29
Die Native Oyster Restoration Alliance (NORA).....	31
3.2.3 Zusammenfassung	35
3.3 Weiterführende Untersuchungen für die praktische Umsetzung langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen	36
3.3.1 Definition der Kriterien zur Standortauswahl (Site Selection Criteria)	40
3.3.2 Standortauswahl für langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen	38
3.3.3 Auswahl von geeigneten Spenderpopulationen	50
3.3.4 Auswahl von geeignetem Ansiedlungssubstrat	61
3.3.5 Substratempfehlung für ein zukünftiges Pilotriff im NSG Borkum Riffgrund	70
3.3.6 Zusammenfassung	71
4 Abschließende Bewertung und Empfehlungen	67
4.1 Umsetzung von Wiederansiedlungsmaßnahmen	67
4.2 Weiterführende Fragestellungen	70
5 Literatur	72

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Deutsche Projekte zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster.....	8
Abb. 2: Die heimische Austernart <i>Ostrea edulis</i> bildet auf sublitoralen Weichböden einen dreidimensionalen Lebensraum für viele Tierarten	9
Abb. 3: Historische Verbreitung der Europäischen Auster in den deutschen Meeresgebieten und Küstengewässern der Nordsee	10
Abb. 4: Austerriffe erfüllen wichtige Ökosystemfunktionen	11
Abb. 5: Fließschema der Genehmigungsverfahren und Beteiligung zuständiger Fachbehörden.....	17
Abb. 6: Standorte der Freilandversuche.....	20
Abb. 7: Ausbringung der Austernkäfige an massiven Metallgestellen.....	21
Abb. 8: Genutzten Forschungsschiffe des Alfred- Wegener-Instituts	22
Abb. 9: Wachstum der wieder eingeführten Europäischen Austern.....	24
Abb. 10: Im Verlauf der Feldexperimente bildeten sich Austernaggregationen, sogenannte Mini-Riffe	25
Abb. 11: Saisonale Überlebensrate der wieder eingeführten Austern	26
Abb. 12: Reproduktion der wieder eingeführten Austern.....	27
Abb. 13: Der durch BfN und AWI organisierte Kick-Off Workshop 2017 in Berlin.....	31
Abb. 14: Die Empfehlungen (1.-6.) der Berlin Oyster Recommendation.....	32
Abb. 15: Die vier NORA Arbeitsgruppen (Production, Biosecurity, Site Selection, Monitoring).....	34
Abb. 16: Überblick über die im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit eingerichtete NORA-Homepage www.noraeurope.eu	35
Abb. 17: Marine Raumplanung für das NSG BRG und angrenzende Seegebiete: Darstellung ausgewählter, relevanter Nutzungsgruppen	42
Abb. 18: Marine Raumplanung für das NSG BRG und angrenzende Seegebiete: Lage der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Schiffsverkehr und der Seekabel	42
Abb. 19: Darstellung der Fischereiintensität der bodenberührenden Fischerei.....	43
Abb. 20: Sedimentverteilung, Steinvorkommen und Bathymetrie im NSG BRG.....	46
Abb. 21: Standorte der ausgewerteten Unterwasservideos im NSG BRG.....	46
Abb. 22: Zusammenfassung der Fauna Beprobung an 10 Standorten im Borkum Riffgrund	48
Abb. 23: Lage von zwei geeigneten Standorten für Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster im NSG Borkum Riffgrund	49
Abb. 24: Standorte, an denen die Experimente zur Substratpräferenz von <i>O. edulis</i> Larven durchgeführt wurden.....	57
Abb. 25: Versuchsaufbau im Labor zur Untersuchung der Substratpräferenz von Larven der Europäischen Auster.....	59
Abb. 26: Auswertung der Laboruntersuchungen: Ansiedlung von Larven auf verschiedenen Substraten	60
Abb. 27: Darstellung und besiedelte Flächen der im Laborexperiment getesteten Sandsteinriffkörper.....	61
Abb. 28: Versuchsplanung und Durchführung von Ansiedlungsexperimenten mit <i>Ostrea edulis</i> Larven.....	63
Tab. 1: Zeitlicher Ablauf der Freilandversuche	23
Tab. 2: Wissens- und Technologietransfer mit internationalen Kooperationspartnern	29
Tab. 3: Liste der definierten Site Selection Criteria zur Standortwahl für Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der Deutschen Bucht.....	38
Tab. 4: Übersicht über die Gebietsdaten und Flächenumriss des Meeresnaturschutzgebietes Borkum Riffgrund	40
Tab. 5: Liste der vorhandenen und für Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster ausgewerteten Unterwasservideos	44
Tab. 6: Umweltbedingungen im Natura 2000 Gebiet Borkum Riffgrund.....	47
Tab. 7: Krankheitserreger der Europäischen Auster <i>O. edulis</i>	52
Tab. 8: Zuchtbetriebe der Europäischen Auster <i>O. edulis</i>	55
Tab. 9: Überblick der ausgewählten und getesteten Substrate zum Ansiedlungsverhalten von <i>O. edulis</i> Larven.....	58

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
AWI	Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BPBV	Bundesprogramm Biologische Vielfalt
BRG	Borkum Riffgrund
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
E+E-Vorhaben	Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben
EU	Europäische Union
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FK	Forschungskutter
FS	Forschungsschiff
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
GIS	Geographisches Informationssystem
HD	Helgoland deep: Helgoland tief
HRR	High-relief-reef
HS	Helgoland shallow: Helgoland flach
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IUCN	International Union for the Conservation of Nature
MELUND	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig- Holstein
MSRL	Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NORA	Native Oyster Restoration Alliance
NSG	Naturschutzgebiet
OSPAR	Oslo-Paris-Abkommen
ONO	Ostnordost
OWP	Offshore Windpark
PCR	Polymerase-Kettenreaktion
SeeAnIV	Seeanlagenverordnung
SL	Schalenlänge
WF	Windpark
WSW	West-südwest

Zusammenfassung

Austerriffe haben als Hot Spots der biologischen Vielfalt wichtige ökologische Funktionen. Als biogene Riffbildner erbringen sie wertvolle Ökosystemleistungen: Sie bieten Nahrung, Siedlungssubstrat, Laichgrund und Schutzraum für viele Tierarten und erreichen damit eine Steigerung der Biodiversität. Durch ihre Filtrationsleistung verbessern sie die Wasserqualität und steigern die benthopelagische Kopplung.

Die Europäische Auster und ihre Austernbänke waren in der Nordsee einst weit verbreitet. Durch Überfischung bis in die 1920er Jahre gilt die Art in der Deutschen Bucht heute als funktionell ausgestorben. Das vom BfN mit Mitteln des BMU geförderte Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben RESTORE untersucht Methoden zur Wiederherstellung der Bestände der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) in der deutschen Nordsee. Für einen nachhaltigen Bestandsaufbau der Art werden naturschutzrechtliche, technologische und biologische Fragestellungen bearbeitet und Methoden für die praktische Umsetzung im Rahmen von Meeresnaturschutzmaßnahmen entwickelt und erprobt.

Die Voruntersuchung liefert den rechtlichen Rahmen für die praktische Erprobung von Wiederansiedlungsmaßnahmen mit der Europäischen Auster im Naturschutzgebiet (NSG) Borkum Riffgrund. Sie leistete den Aufbau eines umfassenden Netzwerks zum Wissens- und Technologietransfer in Europa. RESTORE initiierte die Gründung der Native Oyster Restoration Alliance (NORA), in der die europäischen Projekte zur Wiederansiedlung der heimischen Austernart eng zusammenarbeiten. Die Voruntersuchung bestätigte durch umfassende Freilanduntersuchungen die grundsätzliche Eignung der Europäischen Auster für eine Wiederansiedlung in der deutschen Nordsee bei den heute vorherrschenden Umweltbedingungen. Sie identifizierte das konkrete Problem der Verfügbarkeit ausreichend geeigneter Saataustern für Meeresnaturschutzmaßnahmen und erarbeitete Lösungsvorschläge. RESTORE empfahl den Aufbau einer eigenen Saatausternzucht für langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen, der nun durch das Bundesprogramm Biologische Vielfalt im Rahmen des Projektes PROCEED umgesetzt wird. Die Voruntersuchung identifizierte durch umfassende Labor- und Feldexperimente geeignete Substrate, die in der Austernzucht und bei der praktischen Umsetzung von Wiederansiedlungsmaßnahmen im Freiland eingesetzt werden können.

Abschließend empfiehlt die Voruntersuchung die Errichtung und wissenschaftliche Untersuchung eines Pilot austernriffes im NSG Borkum Riffgrund. Hierfür wurden alle naturschutzrechtlichen, biologischen und technologischen Grundlagen erarbeitet, so dass dieser nächste Schritt im Rahmen des RESTORE Hauptvorhabens erfolgen und mittels wissenschaftlicher Begleitung evaluiert werden kann.

1 Einleitung und Zielsetzung

Austern- und Muschelbänke gehören als biogener Riffotyp der temperierten Breiten zu den am stärksten bedrohten Habitaten weltweit (Airoldi, Beck 2007). Der Zustand der Austernbänke der Europäischen Auster gilt durch über Jahrhunderte andauernden, massiven Fischereidruck in ganz Europa als stark gefährdet. Intakte Austernbänke erbringen jedoch wertvolle Ökosystemfunktionen und -leistungen: Sie bieten Futter, Siedlungssubstrat, Versteck- und Schutzraum, sowie Laichgrund für viele Tierarten und gelten damit als Hotspots der Biodiversität. Austern ernähren sich filtrierend und verbessern durch ihre Filtrationsleistung die Wasserqualität und verringern lokal toxische Algenblüten. Durch die Aufnahme und Verwertung planktischer Organismen und organischer Schwebstoffe steigern sie die benthopelagische Kopplung, festigen lose Sedimente und erreichen insgesamt eine Wertsteigerung des umliegenden Ökosystems (Austen 2011; Beck et al. 2011; Pogoda et al. 2019). Die in Europa heimische Austernart *Ostrea edulis* gilt als Schlüsselart mit besonderer ökologischer Bedeutung und ist vom Aussterben bedroht. Entsprechend ist sie als Art besonderer Priorität für die OSPAR Region II - Greater North Sea/Nordost-Atlantik definiert (OSPAR 2008) und gehört nach Fauna-Flora-Habitat Richtlinie zum besonders geschützten Lebensraumtyp "Riff", dessen günstiger Erhaltungszustand zu bewahren oder wiederherzustellen ist (BfN 2008; Pogoda et al. 2020b).

Im Rahmen des Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens „RESTORE - Wiederherstellung der Bestände der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) in der deutschen Nordsee (Voruntersuchung)“ werden erstmalig Methoden und Verfahren zum nachhaltigen Bestandsaufbau der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee entwickelt und modellhaft in die Praxis umgesetzt und getestet. Als Grundlage diente die im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) erstellte und als BfN-Skript 379 veröffentlichte Machbarkeitsstudie „Aktueller Status der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) und Möglichkeiten einer Wiederansiedlung in der deutschen Nordsee“ (Gercken, Schmidt 2014). In dieser Studie stellten die Autoren anhand theoretischer Rahmenbedingungen fest, dass die Voraussetzungen für eine geplante Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee grundsätzlich gegeben sind. Jedoch wurde eine vertiefende Voruntersuchung empfohlen, um praktische Erkenntnisse zur biologischen und technologischen Umsetzung von Wiederansiedlungsprojekten zu erlangen.

RESTORE setzt hier an um Voraussetzungen, Verfahren und Erkenntnisse zu erarbeiten, die einen nachhaltigen Bestandsaufbau der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee ermöglichen. Im Rahmen der Voruntersuchung wurden wichtige theoretische Erkenntnisse der Machbarkeitsstudie in der Praxis getestet und grundlegende wissenschaftliche und technologische Rahmenbedingungen für die nächste Phase der Umsetzung definiert. Die Aufgaben der Voruntersuchung umfassten:

- I) die Prüfung rechtlicher Rahmenbedingungen für eine Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der deutschen AWZ,
- II) die Bestimmung geeigneter Wiederansiedlungsflächen,
- III) die Identifikation von Bezugsquellen für geeignete Austern und geeignetes Substrat,
- IV) die Untersuchung der biologischen Eignung der Europäischen Auster an möglichen Wiederansiedlungsstandorten durch die Erhebung konkreter Wachstums- und Fitnessdaten,
- V) die Erarbeitung und Empfehlung geeigneter Technologien zur Wiederansiedlung.

Mit dem vorliegenden Vorhaben wurden erstmals praktische Maßnahmen zur Wiedereinführung der Europäischen Auster in die deutsche Nordsee ergriffen.

Die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen wurden zu allgemein verwertbaren Empfehlungen aufbereitet, um die weitere praktische Umsetzung im RESTORE Hauptvorhaben zu definieren. Das gesamte E+E-Vorhaben dient als Grundlage für zukünftige, langfristige Restaurationsmaßnahmen und für die Erstellung eines Restaurationsprogrammes für die heimische Austernart in der deutschen Nordsee (Abb. 1).

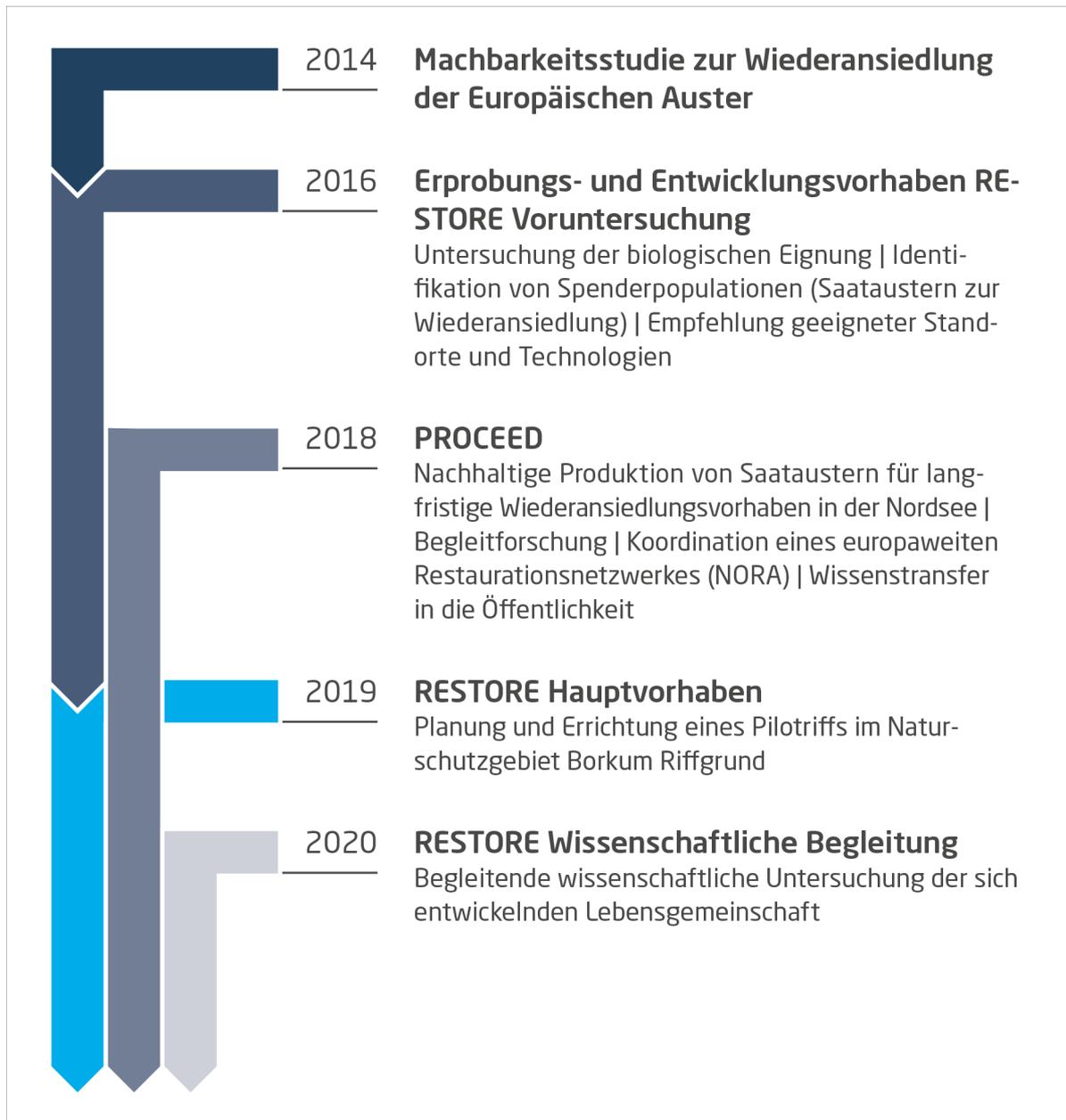


Abb. 1: Deutsche Projekte zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster: Zeitliche Einordnung verschiedenen Phasen und thematische Schwerpunkte der Projekte RESTORE und PROCEED (AWI/Y. Nowak).

2 Ökologischer und naturschutzfachlicher Hintergrund

2.1 Historische Vorkommen und Gründe für das Aussterben der Europäischen Auster

Die Europäische Auster ist die heimische und ehemals in weitläufigen Beständen in der deutschen Nordsee vorkommende Austernart. Die von ihr gebildeten Austernbänke (Abb. 2), definiert als Bestände von fünf oder mehr *O. edulis* Individuen pro Quadratmeter, kommen typischerweise in 0-10 Metern, aber auch in bis zu 30 Metern Tiefe vor (OSPAR 2009). Sie bieten ein biogenes Hartsubstrat auf sandigem Sediment und repräsentieren so einen sublitoralen biogenen Rifftyp (European Nature Information System 2019). Historische Vorkommen innerhalb der Deutschen Bucht sind für das Nord- und Ostfriesische Wattenmeer, um Helgoland und in tiefen Gebieten der südlichen Nordsee belegt (Abb. 3) (Olsen 1883; Gercken, Schmidt 2014; Pogoda 2019).



Abb. 2: Die heimische Austernart *Ostrea edulis* bildet auf sublitoralen Weichböden einen dreidimensionalen Lebensraum für viele Tierarten. Diese biogenen Riffe zeichnen sich durch eine hohe Artenvielfalt aus. Sie beheimaten die typische Lebensgemeinschaft einer Austernbank (Foto: AWI/S.Zankl).

Die Populationen der Europäischen Auster erlitten ab Ende des 19. Jahrhunderts europaweit einen dramatischen Rückgang. Gründe dafür sind die anhaltende Überfischung der Bestände und die damit einhergehende Zerstörung des Lebensraums durch das Abfischen der biogenen Strukturen, sowie die Verschlechterung der Umweltbedingungen durch Belastung der Meeresgewässer durch Schadstoffe und eingeschleppte Krankheiten (Korringa 1952; Wehrmann et al. 2000; Laing 2005; Shelmerdine, Leslie 2009; Gercken, Schmidt 2014; Pogoda 2019). Vor allem die Verbreitung des parasitischen Einzellers *Bonamia ostreae* führte in wilden Populationen wie auch in der kommerziellen Aquakultur zu hohen Mortalitäten (Lallias et al. 2008; Sas et al. 2020). Im gesamten natürlichen Verbreitungsgebiet, entlang der Europäischen Atlantikküste von Norwegen bis Marokko sowie entlang der

Küsten des Mittelmeers und des Schwarzen Meers, sind die Austernvorkommen deutlich zurückgegangen und gelten heute als stark bedroht (Airoidi, Beck 2007; Pogoda 2019).

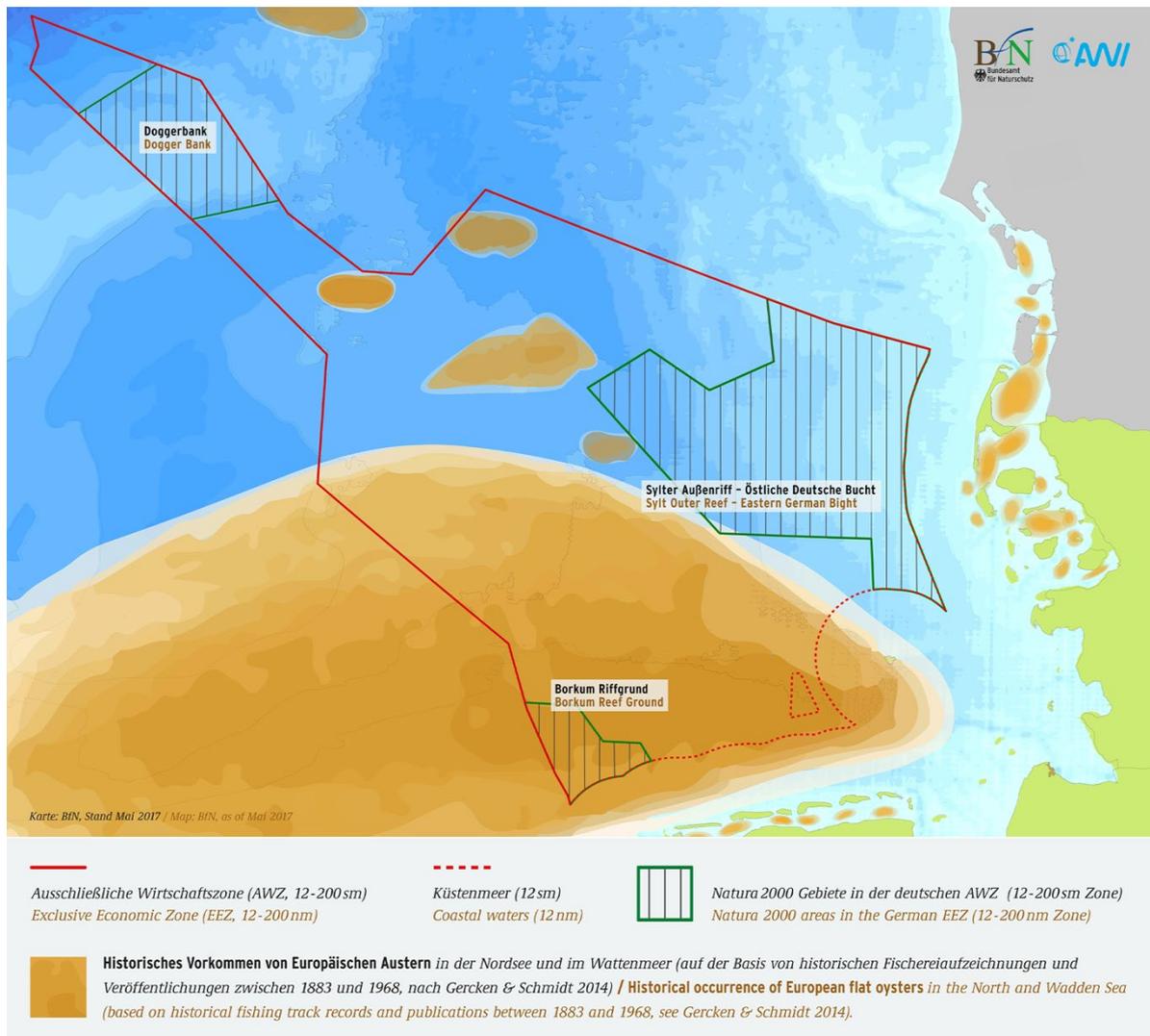


Abb. 3: Historische Verbreitung der Europäischen Auster in den deutschen Meeresgebieten und Küstengewässern der Nordsee. Die ehemaligen Offshore-Austerngründe erstreckten sich von der zentralen Deutschen Bucht weit nach Westen. Das Meeresnaturschutzgebiet Borkum Riffgrund (BRG) liegt innerhalb der historischen Verbreitung und steht damit im Fokus erster Wiederansiedlungsmaßnahmen (Grafik: AWI/BfN, A. Essenberger).

In der deutschen Nordsee gilt die Europäische Auster als funktionell ausgestorben. Restbestände der heimischen Austernart und der ehemals weit verbreiteten Austernbänke sind noch vereinzelt, zum Beispiel in Großbritannien, Irland, Frankreich, den Niederlanden, Dänemark und Norwegen vorhanden (OSPAR 2009; Beck et al. 2011).

2.2 Ökologische Bedeutung

Austern bilden durch ihr Schalenwachstum biogene Riffe nach Definition des Natura2000-Interpretationshandbuches (European Commission DG Environment 2013). Diese ökologisch wertvollen Habitate dienen anderen Tieren als Lebensraum, vor allem epibenthischer Flora und Fauna, mobilen Invertebraten und Fischen (Pogoda 2019). Mit mehr als 130 assoziierten Arten gelten sie als Hot Spots der Biodiversität (Smyth, Roberts 2010). Als sogenannte „Ökosystem-Ingenieure“ und „Gründer-Spezies“ bilden Austern damit einen

einzigartigen Lebensraum. Am Artenreichtum der historischen Austernbänke in der Deutschen Bucht formulierte Karl August Möbius 1877 den Begriff „Biozönose“ (Lebensgemeinschaft), heute ein zentraler Grundbegriff der Ökologie (Möbius 1877).

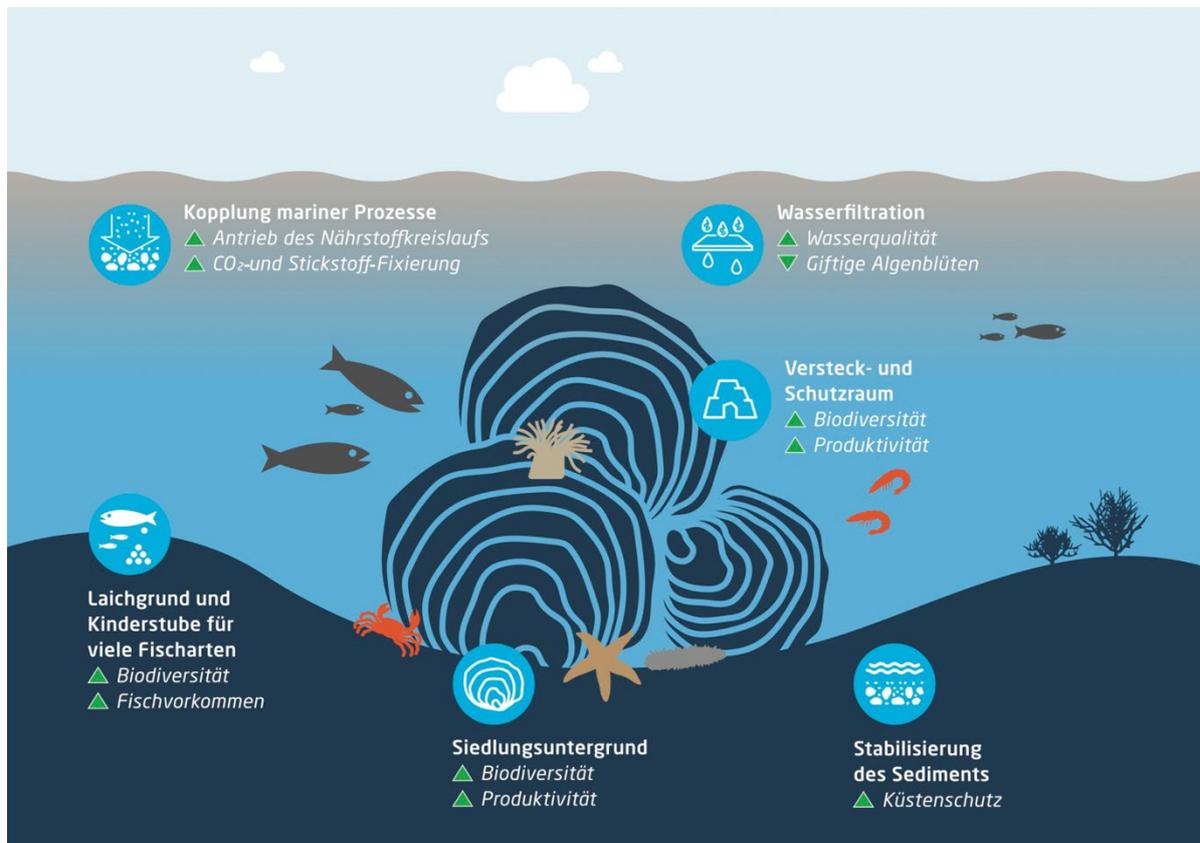


Abb. 4: Austernriffe erfüllen wichtige Ökosystemfunktionen (hohe Artenvielfalt) und erbringen wertvolle Ökosystemleistungen (Nahrung, Siedlungsraum, Versteck- und Schutzraum, Laichgebiet, Filtrationsleistung) (Grafik: AWI/Y. Nowak).

Zu den Ökosystemfunktionen und -leistungen eines Austernriffs zählen:

- Siedlungssubstrat für epibiontische Flora und Fauna,
- Lebensraum, Nahrung und Schutz für zahlreiche Wirbellose und Fischarten,
- Laichgrund und Kinderstube für zahlreiche Fischarten,
- Zunahme des Artenreichtums,
- Verbesserung der Wasserqualität durch hohe Filtrationsleistung,
- Lokale Abnahme toxischer Algenblüten,
- Zunahme der benthopelagischen Kopplung,
- Küstenschutz durch die Stabilisierung des Sediments,
- Erhöhte Aufnahme von Nährstoffen und Kohlenstoffbindung.

Nicht nur in Europa, sondern weltweit zählen Austernriffe zu den am stärksten degradierten marinen Habitaten. Nach Schätzungen wurden im Verlauf der letzten 130 Jahre weltweit mehr als 85% der Austernriff-Habitats zerstört (Lotze 2005; Beck et al. 2011). Mit dem Verlust der Riffe stehen auch die wertvollen Ökosystemfunktionen und -leistungen nicht mehr zur

Verfügung, die von intakten Austernriffen bereitgestellt werden (Abb. 4, Pogoda (2019); Pogoda et al. (2019)).

2.3 Schutzstatus und Wiederansiedlung der Europäischen Auster

Die Erhaltung oder, falls nötig, Wiederherstellung eines guten Zustands des Lebensraumtyps „Riffe“ inklusive der dafür charakteristischen Spezies, ist nach EU Fauna-Flora-Habitat Richtlinie (FFH-Richtlinie) obligatorisch (Europäische Union 1992; Pogoda et al. 2020b). Diese natürlichen Lebensräume sind im Schutzgebietsnetz Natura 2000 zu berücksichtigen (Anhang I der FFH-Richtlinie). Für Deutschland werden *Ostrea edulis* Riffe als biogene Riffbildner definiert, anhand derer ein guter Erhaltungszustand des Lebensraumtyps „Riffe“ bewertet werden kann (BfN 2017b). Aktuell wird dieser Lebensraumtyp mit einem ungünstig bis schlechten Erhaltungszustand bewertet. Im Jahr 2008 wurde die Europäische Auster zusätzlich in die OSPAR Liste bedrohter Arten und Lebensräume aufgenommen (OSPAR 2008). Nach OSPAR gilt die Europäische Auster als Schlüsselart mit besonderer ökologischer Bedeutung, die außerdem vom Aussterben bedroht ist. Daher wird sie als Art besonderer Priorität für die OSPAR Region II - Greater North Sea/Nordost-Atlantik eingestuft (OSPAR 2008). Entsprechende, auch für Deutschland geltende Handlungsempfehlungen zum Schutz der Art wurden verabschiedet (OSPAR 2013). *O. edulis* wird außerdem auf der Roten Liste der gefährdeten Tiere Deutschlands geführt (BfN 2013).

Maßgebliche Faktoren für die Limitierung einer natürlichen Wiederherstellung von *O. edulis* Austernbänken sind vor allem die intensive bodenberührende Fischerei in weiten Teilen der deutschen Nordsee, ein nicht vorhandener Elterntierbestand für die Aufrechterhaltung der Population, sowie ein Mangel an geeignetem Substrat für die Larvenansiedlung (Kennedy, Roberts 1999; Gercken, Schmidt 2014).

Daher sind aktive Wiederansiedlungsmaßnahmen zum Schutz der Art und zur Wiederherstellung der Lebensgemeinschaft mit ihren wertvollen assoziierten Ökosystemfunktionen und -leistungen notwendig (Fitzsimons et al. 2019). Aktuell gibt es in zahlreichen Ländern Programme und Projekte zur Wiederherstellung bedrohter Austernriffe. In Europa sind diese vor allem in Frankreich, Großbritannien, Irland und in den Niederlanden angesiedelt (Pogoda et al. 2019). In den USA sind Schutz und Stärkung der Bestände bedrohter heimischer Austernarten bereits seit einem Jahrzehnt etabliert und die Ökosystemleistungen der Populationen gelten als wichtiger Wirtschaftsfaktor (Grabowski, Peterson 2007; Beck et al. 2011). Die Entwicklung entsprechender Maßnahmen und deren nachhaltig erfolgreiche Umsetzung erfolgte in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit einer Reihe nationaler und internationaler Partner (Fitzsimons et al. 2019). Auch in Europa wurden Wiederansiedlungsvorhaben gestartet, die im Rahmen der Native Oyster Restoration Alliance (NORA) auf Initiative des BfN und des AWI eng zusammenarbeiten (Pogoda et al. 2019).

3 Arbeitsschritte, Methoden & Ergebnisse

Die Voruntersuchung gliedert sich in drei Arbeitsschritte. Diese umfassen die Prüfung der aktuellen Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine langfristige Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee, den Wissenstransfer und die Vernetzung mit anderen internationalen Wiederansiedlungsprojekten sowie umfassende Voruntersuchungen für die konkrete Umsetzung der Wiederansiedlung im Rahmen des RESTORE Hauptvorhabens.

3.1 Voraussetzungen für die erfolgreiche Wiederansiedlung

Da die Europäische Auster schon seit mehr als 50 Jahren aus der deutschen Nordsee verschwunden ist, wurde zunächst geprüft und untersucht, ob aus heutiger Sicht die Wiederansiedlung sowohl naturschutzfachlich wie ökologisch möglich ist.

3.1.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und FFH Verträglichkeitsprüfung

Die Erarbeitung eines rechtlichen Rahmens für künftige Wiederansiedlungsmaßnahmen erfolgte auf zwei Ebenen, wobei Erkenntnisse aus Ebene I durchaus auch für Ebene II gelten können:

- I) Prüfung der rechtlichen Grundlagen für die unmittelbare Umsetzung von Freilandexperimenten mit *Ostrea edulis* in der RESTORE Voruntersuchung
- II) Prüfung der rechtlichen Grundlagen für eine langfristige Wiederansiedlung und die Errichtung eines Pilotriffs mit *Ostrea edulis* im RESTORE Hauptvorhaben

Allgemeine rechtliche Regelungen und Empfehlungen internationaler Gremien

Für die Beantragung von Genehmigungen für Wiederansiedlungsprojekte der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee wurden die folgenden rechtlichen Regelungen und Richtlinien, sowie fachliche Empfehlungen internationaler Institutionen und Gremien identifiziert.

- **Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie** (FFH-RL) (92/43/EWG (Europäische Union 1992)): Die Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union dient der Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen und damit der von den EU-Mitgliedstaaten 1992 eingegangenen Verpflichtungen zum Schutz der biologischen Vielfalt (Biodiversitätskonvention, CBD, Rio 1992). Der Lebensraumtyp „Riffe“ (Code 1170) wird hier als ein besonders schützenswertes Habitat gelistet, dessen günstiger Erhaltungszustand zu bewahren oder wiederherzustellen ist. Derzeit wird der Erhaltungszustand dieses Habitattyps in Deutschland als ungünstig bis schlecht ausgewiesen, biogene Riffe wie die von *Ostrea edulis* gebildeten Bänke werden hierfür als Bewertungskriterium herangezogen (BfN 2017b; 2019b).
- **OSPAR Liste der gefährdeten Arten und Lebensräume**, erstellt von der OSPAR- Meereschutzkonvention zum Schutz und Erhalt mariner Ökosysteme und deren Biodiversität (OSPAR 2008): Gemäß Artikel 2 der Anlage V des OSPAR Abkommens sind notwendige Maßnahmen und Programme zum Schutz der Meere, maritimer Ökosysteme und der Biodiversität darin anzuwenden (OSPAR Commission 1992). Die Europäische Auster sowie Austernbänke allgemein sind als besonders schutzwürdig aufgeführt. Zusätzlich wird in der OSPAR Empfehlung 2013/4 eine Wiederansiedlung der Europäischen Auster in geeigneten Meeresgebieten empfohlen (OSPAR 2013).

- **Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL)** (Europäisches Parlament 2008): EU-Mitgliedsländer sind verpflichtet, einen guten Umweltzustand der Meere bis 2020 herzustellen. In dem diesbezüglichen deutschen Maßnahmenprogramm-Entwurf wird auch die Art *Ostrea edulis* aufgeführt (BLANO 2012), wobei bisher keine entsprechenden Maßnahmen für die deutsche Nordsee angeführt wurden (BLANO 2016).
- **„Code of Practice“ (COP) des Internationalen Rats für Meeresforschung (ICES 2005)**: Vorgabe von Handlungsanweisungen, wie vor und nach der Freisetzung einer Art zu verfahren ist.
- Richtlinien zur Translokation von Arten im Rahmen von Naturschutzmaßnahmen, veröffentlicht durch die **International Union for the Conservation of Nature (IUCN/SSC 2013)**: Handlungsanweisungen für alle im Rahmen des Naturschutzes durchgeführten oder geplanten Translokationen von Arten.
- **Richtlinie 2006/88/EG des Rates der Europäischen Union** mit Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere in Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse und zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten (Europäische Union 2006): In der Richtlinie werden, aufbauend auf die Mindestmaßnahmen der Richtlinie 95/70/EG, Vorschriften festgelegt, *„die die notwendige Vorbereitung auf die effiziente Beherrschung von Krisensituationen infolge eines Ausbruchs oder mehrerer Ausbrüche schwerwiegender exotischer oder neu auftretender Krankheiten bei Tieren in Aquakultur gewährleisten“*. In diesem Rahmen sollten die Projekte *„mit Unterstützung der zuständigen Behörden der Mitgliedstaaten durch Selbstregulierung und Festlegung von „Verhaltenskodizes“ mehr Eigenverantwortung für die Verhütung der Einschleppung oder die Bekämpfung dieser Krankheiten übernehmen.“* Im Bezug zur geplanten Austernwiederansiedlung in der deutschen Nordsee wurden eben diese Verhaltenskodizes und Vorgehensweisen im Rahmen der Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al. 2017; Pogoda 2019) definiert und mit anderen Projekten europaweit abgestimmt. Für die Europäische Auster sind vor allem die Krankheiten Bonamiose und Marteiliose von Bedeutung (Richtlinie 2006/88/EG im Anhang). In einer Entscheidung der EU-Kommission (2007/104/EC) vom 15. Februar 2007 (Europäische Kommission 2007) sind Gebiete aufgeführt, die eine Zulassung als seuchenfreies Gebiet besitzen. Für Wiederansiedlungsprojekte innerhalb der deutschen Nordsee sollten also nur Tiere aus solchen ausgewiesenen Gebieten importiert werden, um eine ebenfalls seuchenfreie Population der Europäischen Auster anzusiedeln. Dies ist auch in der Richtlinie 2006/88/EG des Rates der Europäischen Union, Teil A, als zu berücksichtigende Maßnahme festgesetzt (Europäische Union 2006).
- **Native Oyster Restoration Alliance (NORA)**: Innerhalb des 2017 gegründeten Europäischen Netzwerks einigten sich die teilnehmenden Institutionen und Länder auf gemeinsame Rahmenbedingungen und Empfehlungen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der Nordsee (Pogoda et al. 2017; Pogoda et al. 2019).
- **Invasive Arten**: Durch die Translokation von Arten besteht auch immer die Gefahr, nicht-heimische und gebietsfremde Arten mit einzuschleppen. Laut § 40 des Bundesnaturschutzgesetzes bedarf das Ausbringen gebietsfremder Arten in der freien Natur der Genehmigung der zuständigen Behörde. Im sog. Muschelurteil des Oberverwaltungsgerichts Schleswig-Holstein vom 15.12.2011 (Az: 1 LB 19/10) wurde die Einbringung von Saatmuscheln (Miesmuscheln) unter anderem untersagt, um die Einführung gebietsfremder Arten in den Nationalpark zu minimieren. Für die durchgeführten Feldversuche im E+E-Vorhaben RESTORE, sowie für künftige Vorhaben zur Wiedereinbringung der Europäischen Auster wird kein Besatzmaterial aus dem Freiland verwendet, um die Gefahr einer

Einschleppung auszuschließen. Damit folgen die deutschen Vorhaben dem Übereinkommen innerhalb des Europäischen Netzwerks NORA, der Berlin Oyster Recommendation, dem Ökologischen Fachbeitrag von BioConsult Schuchardt & Scholle GbR (Schuchardt et al. 2017) sowie dem sog. Muschelurteil (Oberverwaltungsgericht für das Land Schleswig-Holstein 2011; Schuchardt et al. 2017; Pogoda et al. 2019). Die Wiederansiedlung ehemals heimischer Arten ist zusätzlich in Artikel 22 der FFH-Richtlinie (92/43/EWG, (Europäische Union 1992) geregelt.

- Ausbringen von **Muschelschalen als Substrat** für die Larvenansiedlung: Einem aktualisierten Protokoll des London-Übereinkommens von 1996 ist zu entnehmen, dass die Verklappung von organischem Material natürlichen Ursprungs grundsätzlich erlaubt ist. Allerdings sollte vor dem Einbringen des Materials eine behördliche Genehmigung eingeholt werden (Laing 2005; Laing et al. 2005). In der deutschen AWZ ist laut § 8 des HoheSee-EinbrG (Gesetz über das Verbot der Einbringung von Abfällen und anderen Stoffen und Gegenständen in die Hohe See) das BSH für den Vollzug zuständig, welches dann die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder anhört.

Ebene I: Prüfung der rechtlichen Grundlagen für die unmittelbare Umsetzung von Freilandexperimenten mit *Ostrea edulis* innerhalb des E+E-Vorhabens RESTORE

Die Vorgehensweise für die Prüfung rechtlicher Grundlagen innerhalb der deutschen AWZ basiert auf dem von Prof. Dr. Czybulka (Universität Rostock) erstellten Rechtsgutachten zur Frage der Erforderlichkeit einer FFH-Verträglichkeitsprüfung im Rahmen des vorliegenden Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens (Czybulka, Francesconi 2016). Dort wird ausgeführt, dass *„Projekte sind nach § 34 Abs. 1 S. 1 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) vor ihrer Zulassung oder Durchführung auf ihre Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines Natura 2000 Gebiets zu überprüfen, [...] wenn sie nicht unmittelbar der Verwaltung des Gebiets dienen. Für Projekte, die jedoch unmittelbar der Verwaltung des Gebiets dienen, zu denen auch die Wiederansiedlungsmaßnahmen des vorliegenden Projekts zählen, greift das sogenannte „Managementprivileg“ und eine FFH-Verträglichkeitsprüfung oder FFH-Vorprüfung sind nicht erforderlich. Es wird davon ausgegangen, dass die Schutzziele der Natura 2000 Gebiete unverändert bleiben.“*

Des Weiteren geht aus dem Rechtsgutachten hervor, dass für Freilandexperimente *„im Windpark [Meerwind Süd I Ost] eine FFH-Verträglichkeitsprüfung erforderlich ist, weil das „Managementprivileg“ nach § 34 Abs. 1 S. 1 BNatSchG nicht zur Anwendung kommt und – bei prognostischer Betrachtung – eine Beeinträchtigung der Erhaltungsziele derzeit nicht mit wissenschaftlicher Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Zuständig für die Durchführung der Verträglichkeitsprüfung ist das BSH.“*

„Falls das Vorhaben das BfN als Anlagenbetreiber in diesen zwei Fällen benennt, besteht seerechtlich für das Vorhaben nur eine Anzeigepflicht beim BSH, § 6 Abs. 5 S. 1 SeeAnIV. Dagegen ist ein Genehmigungsverfahren nach § 6 Abs. 1 SeeAnIV erforderlich, wenn die Seeanlagen vom AWI errichtet werden sollen.“

Aus Gründen der Verfahrensökonomie sollten die Unterlagen bei allen [...] Teilprojekten inhaltlich in einer Weise gestaltet werden, dass sie den Anforderungen einer FFH-Verträglichkeitsprüfung genügen, falls das BSH alle Projekte – wider Erwarten – als FFH-pflichtig einstufen sollte.“

Für die Wiederansiedlungsversuche der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee wurde eine FFH-Verträglichkeitsprüfung für alle Standorte durchlaufen. Der Ablauf und die Reihenfolge der im Vorfeld nötigen Genehmigungen bzw. der Beteiligung der verschiedenen Fachbehörden sind dem Fließschema (Abb. 5) zu entnehmen.

Um den Genehmigungsprozess nach SeeAnIV für die vorgesehenen Freilandexperimente mit Europäischen Austern an den Projektstandorten zu definieren erfolgte eine Abstimmung mit dem BSH. Es wurde einvernehmlich eine Vorgehensweise zur Genehmigung vereinbart. Da das vorliegende Vorhaben in Kooperation mit dem BfN durchgeführt wurde, bedurfte es gemäß § 6 Abs. 5 SeeAnIV, einer Anzeige für das **Ausbringen und die Verankerung der Käfige** beim BSH. Dem BSH musste zusätzlich die Genehmigung des jeweiligen Windparkbetreibers und ein Antrag für das **Einbringen Europäischer Austern für Freilandexperimente** nach SeeAnIV vorliegen. Im Rahmen des Antrages wurde dem BSH das FFH-Gutachten und ein zusätzlich vom BSH empfohlener Ökologischer Fachbeitrag vorgelegt (Schuchardt et al. 2017). Die abschließende Genehmigung erfolgte durch das BSH nach einer Beteiligungsrunde (Umweltbundesamt, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Standort Nordwest, Wasser- und Schifffahrtsamt Tönning, Bundesamt für Naturschutz, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein MELUND, Deutscher Fischerei-Verband, WindMW).

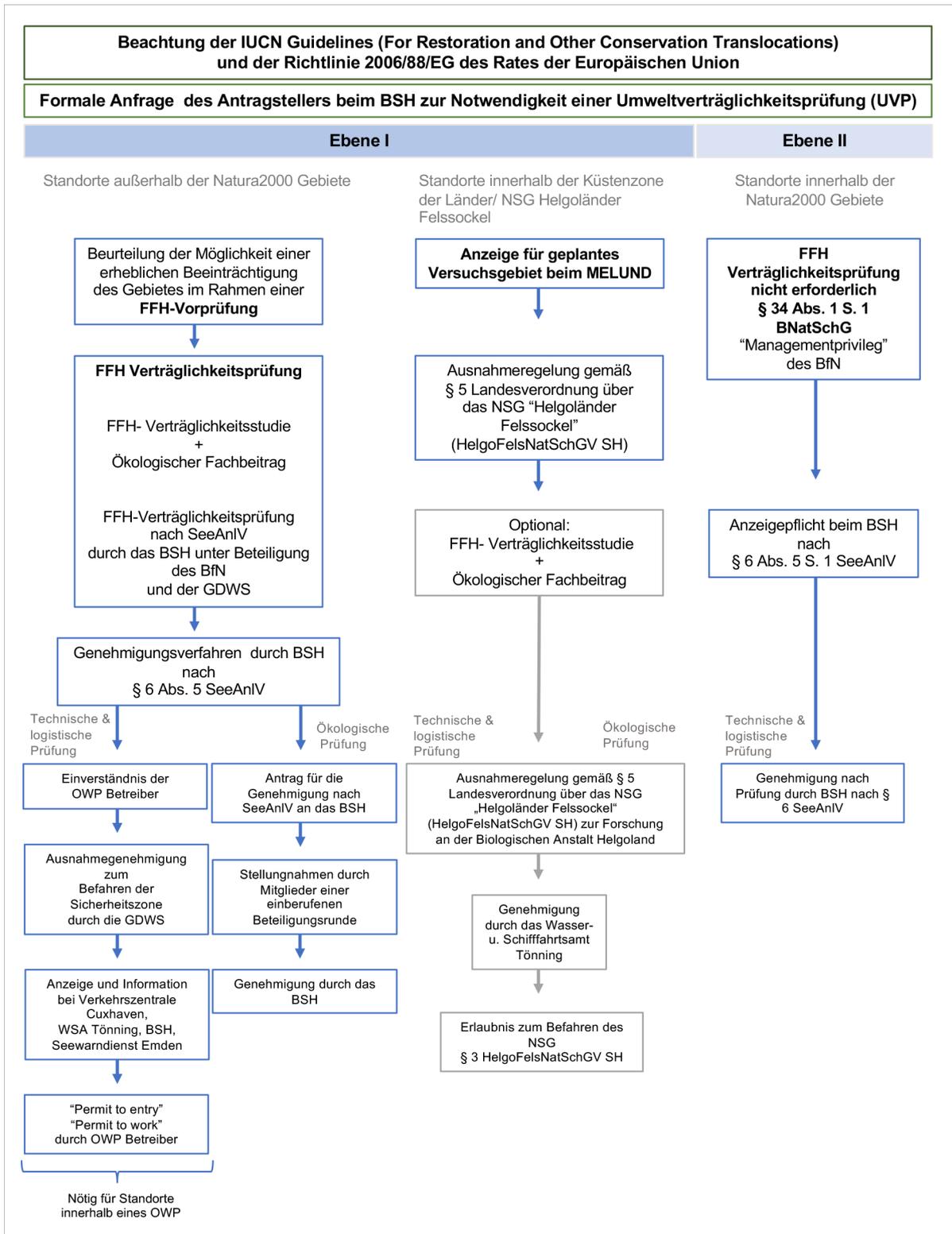


Abb. 5: Fließschema der Genehmigungsverfahren und Beteiligung zuständiger Fachbehörden. Übergeordnet stehen thematisch zutreffende internationale und europäische Richtlinien. Eine UVP wurde von der zuständigen Behörde als nicht notwendiges Prüfinstrument eingestuft. Ebene I stellt den Genehmigungsverfahren außerhalb von Natura 2000 Gebieten dar (wie für die Voruntersuchung angewendet). Ebene II zeigt den Genehmigungsverfahren für das Natura 2000 Gebiet Borkum-Riffgrund (wie für das Hauptvorhaben angewendet) (Grafik: AWI).

Im Rahmen der vorliegenden Voruntersuchung wurde die Sicherheitszone im Bereich des Offshore Windparks (OWP) Meerwind Süd I Ost als Standort für die Freilandexperimente (Wachstums- und Fitnessuntersuchungen) ausgewählt. Von der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) wurden die entsprechenden zweckgebundenen Ausnahmegenehmigungen erteilt.

Zusätzlich erfolgte beim MELUND die Anzeige für zwei weitere Standorte im Naturschutzgebiet Helgoländer Felssockel. Dort liegt das Unterwasser-Versuchsgebiet MarGate, in dem ebenfalls Freilandexperimente (Wachstums- und Fitnessuntersuchungen) durchgeführt wurden. Diese Forschungsarbeiten sind erforderliche Versuchsanordnungen im Rahmen der Maßnahmen der Biologischen Anstalt Helgoland (Landesverordnung über das Naturschutzgebiet „Helgoländer Felssockel“ § 5), die damit unter die bestehende Ausnahmeregelung fallen. Eine Erlaubnis zum Befahren des Gebietes mit Forschungsschiffen wurde gemäß § 3 der Verordnung über das Befahren des Naturschutzgebietes „Helgoländer Felssockel“ vom zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamt Tönning ausgestellt.

Ebene II: Rechtliche Rahmenbedingungen für eine langfristige Wiederansiedlungsmaßnahme im NSG Borkum-Riffgrund

Die Standortwahl ergab, dass die Wiederansiedlung der Europäischen Auster in den Natura 2000 Gebieten innerhalb der deutschen AWZ geplant und durchgeführt werden soll. In diesen Meeresschutzgebieten gilt laut § 34 Abs. 1 S. 1. BNatSchG das Managementprivileg des BfN. Entsprechend ist keine FFH-Verträglichkeitsprüfung für Vorhaben innerhalb dieser Gebiete notwendig, die durch das BfN als Maßnahmen des Gebietsmanagements eingestuft werden (Czybulka, Francesconi 2016). Mögliche nachteilige Effekte auf das Naturschutzgebiet und seine Erhaltungsziele werden durch das BfN laufend intern geprüft und die fachrechtliche Einschätzung laufend dokumentiert. Nach § 6 SeeAnIV müssen technische Anlagen, wie zum Beispiel die im Meeresboden verankerten Käfiggestelle, dem BSH gemeldet und genehmigt werden. Das Einbringen entsprechenden Substrats für die Besiedlung (wie zum Beispiel Muschelschalen) fällt generell unter das Hohe-See-Einbringungsgesetz (Hohe-SeeEinbrG). Im Fall der Austernwiederansiedlung entfällt jedoch ein Genehmigungsbedürfnis, da laut § 3 Abs. 1 S. 2 HoheSeeEinbrG kein Einbringen vorliegt, wenn Maßnahmen des Naturschutzes von der zuständigen Behörde (in diesem Fall das BfN) durchgeführt oder angeordnet wurden (Flutter 2020). Weiterhin ist eine wie in Ebene I durchgeführte Beteiligungsrunde (Umweltbundesamt, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Standort Nordwest, Bundesamt für Naturschutz, Deutscher Fischerei-Verband) zu erwarten, um die Interessen und die Sicherheit aller an dem Projekt Beteiligten zu erörtern und zu vereinbaren. So sollte intern und vor allem in enger Absprache mit dem BfN laufend geprüft und sichergestellt werden, dass Steinschüttung und Riffbau *„nicht entgegen § 30 Abs. 2 BNatSchG andere hochwertige und gesetzlich geschützte Biotope wie Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände, sublitorale Sandbänke, Schlickgründe mit bohrender Bodenmegafauna sowie artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe erheblich beeinträchtigen.“* Außerdem muss geprüft werden, ob es sich bei der zum Zweck der Austernwiederansiedlung eingebrachten Steinunterlage um eine Seeanlage im Sinne von § 2 Abs. 2 Nr. 4 SeeAnIG handelt, wonach eine hilfsweise Anzeige nach § 6 Abs. 5 SeeAnIG unter Angabe der Art, des Zwecks und des genauen Standortes der Anlage beim BSH eingereicht werden und durch dieses geprüft und bewertet werden sollte. Die Tätigkeiten zur Wiederansiedlung der Europäischen Austern sollten des Weiteren der zuständigen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der GDWS und aufgrund der Sachnähe zu fischereilichen Belangen auch der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) vorsorglich mitgeteilt werden (Flutter 2020).

Die hier dargestellten rechtlichen Rahmenbedingungen sind für die Beantragung und Umsetzung weiterer Wiederansiedlungsmaßnahmen der Europäischen Auster in den Bereichen der Deutschen Bucht nutzbar.

Zwischenfazit:

- Für die Umsetzung aktiver Naturschutzmaßnahmen sind entsprechende nationale sowie internationale Regelungen und Richtlinien zu beachten. Die Wiederansiedlung der Europäischen Auster ist unter Beachtung dieser aus naturschutzfachlicher Sicht durchführbar.
- Für Maßnahmen an Standorten innerhalb der deutschen AWZ, die nicht in Natura 2000 Gebieten liegen oder in sie hineinwirken, müssen zur Genehmigung durch das BSH eine FFH-Vorprüfung und gegebenenfalls eine FFH-Verträglichkeitsprüfung erfolgen, für die eine FFH-Verträglichkeitsstudie und u.U. ein Ökologischer Fachbeitrag vorliegen müssen.
- Für Standorte innerhalb der Küstenzone der Länder müssen die Genehmigung der zuständigen Länder und die Genehmigung des Befahrens durch das zuständige Wasser- und Schifffahrtsamt eingeholt werden.
- Maßnahmen an Standorten innerhalb eines ausgewiesenen Natura 2000 Schutzgebietes fallen unter das Managementprivileg des BfN und unterliegen nicht einer FFH-VP, wenn es sich um eine Maßnahme im Rahmen des Gebietsmanagements handelt. Dennoch müssen technische Anlagen, die am Meeresboden verankert werden, durch das BSH genehmigt werden.
- Die hier aufgezeigten Genehmigungswege gelten auch für weiterführende Wiederansiedlungsmaßnahmen.

3.1.2 Biologische Rahmenbedingungen: Freilandversuche

Geeignete Umweltbedingungen sind eine zentrale Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der Deutschen Bucht. Der Rückgang der Europäischen Auster bis hin zum Status "funktionell ausgestorben" liegt fast ein Jahrhundert zurück und ist vermutlich auf eine langfristig andauernde Kombination von Stressoren zurückzuführen. Fischereiberichte und Fangzahlen belegen eine massive Überfischung (siehe Kapitel 2.1). Darüber hinaus können sich auch veränderte Umweltbedingungen auf den ökologischen Erfolg der Art in der Vergangenheit ausgewirkt haben, bzw. den Wiederansiedlungserfolg in der Zukunft beeinflussen. Entsprechend wurden Freilandversuche im Sublitoral der Deutschen Bucht durchgeführt, um Wachstum und Gesundheit der Europäischen Auster unter heute vorherrschenden Umweltbedingungen zu untersuchen. Die ökologischen Kenntnisse zu den historischen Austernriffen im tiefen Bereich der Nordsee, zum Aufbau, zur Struktur und den ökologischen Anforderungen der Art sind bisher begrenzt. Die Ergebnisse der hier dargestellten Feldexperimente ergänzen und erweitern das notwendige Wissen zu *O. edulis* im tiefen Sublitoral der Deutschen Bucht und ermöglichen die Erarbeitung von Empfehlungen für die Umsetzung von langfristigen Wiederansiedlungsmaßnahmen (Merk et al. 2020).

Standortauswahl und Versuchsdurchführung

Die Standortwahl erfolgte anhand spezifisch für die Art definierter Kriterien zur Standortwahl (Site selection criteria, siehe Kapitel 3.3.1). Nach erfolgreichem Abschluss der Eignungsprüfung wurde ein Untersuchungsgebiet in der deutschen Nordsee ausgewählt, an denen Wachstums- und Gesundheitsuntersuchungen durchgeführt wurden. Die drei ausgewählten Standorte (Abb. 6) liegen nördlich der Insel Helgoland, 25 Seemeilen vor der deutschen

Küste und im Bereich der historischen Austernverbreitung, der offshore Austerngründe (Olsen 1883; Boos et al. 2004; Gercken, Schmidt 2014).

Standort 1 liegt in der Sicherheitszone des Windparks Meerwind Süd I Ost in 26 m Wassertiefe (Standort WF). Die Standorte 2 und 3 liegen im NSG Helgoländer Felssockel in 26 m (Standort HD) und in 10 m Wassertiefe (Standort HF, Abb. 6). Die Experimente waren aufgrund des an allen drei Standorten geltenden Fischereiverbotes keinem Fischereirisiko ausgesetzt.

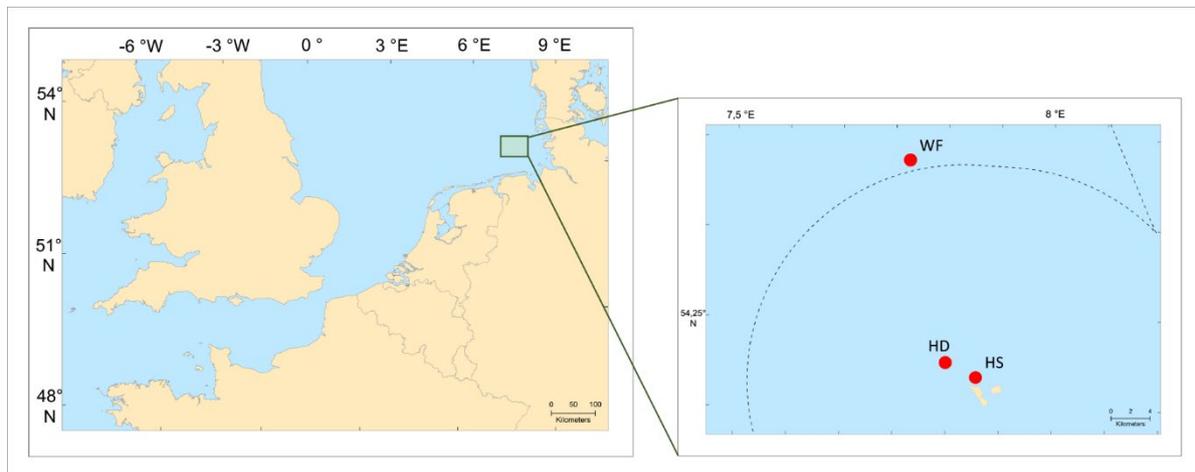


Abb. 6: Standorte der Freilandversuche zur Untersuchung von Wachstum, Gesundheit und Mortalität von wiedereingeführten Europäischen Austern (in Austernkäfigen) unter heute vorherrschenden Umweltbedingungen (WF = innerhalb der Sicherheitszone des Windparks Meerwind Süd I Ost in 26 m Wassertiefe, HD = im NSG Helgoländer Felssockel in 26 m Tiefe, HS = im NSG Helgoländer Felssockel in 10 m Tiefe, gestrichelte Linie = deutsche AWZ-Grenze).

Der Meeresgrund (Sedimentklassifizierung) an den drei Standorten ist sandig. Standort HD weist zusätzlich vereinzelt Steine auf. Temperatur, Salinität, Strömungsgeschwindigkeit und Sauerstoffkonzentration waren an den drei Standorten über den Versuchszeitraum vergleichbar. Die maximale Wassertemperatur lag bei 18 °C. Für Wassertemperaturen >7 °C ist ein Wachstum der Austern nachgewiesen (Ashton, Brown (2009), siehe Kapitel 3.3.2).

An den Versuchsstandorten wurden Metallkäfigkonstruktionen am Meeresboden verankert und mit Bojen an der Wasseroberfläche gekennzeichnet (Abb. 7). Das massive Metallgestell ermöglichte die Befestigung von bis zu acht Austernkörben (6 mm Maschenweite, 15 L Volumen, Hersteller SEAPA). Das Ausbringen und Bergen der Austern in den Austernkörben, sowie Wartungen am Versuchsaufbau wurden von den Forschungstauchern des wissenschaftlichen Tauchzentrums des AWI mit Forschungsschiffen des AWI durchgeführt (Abb. 8).

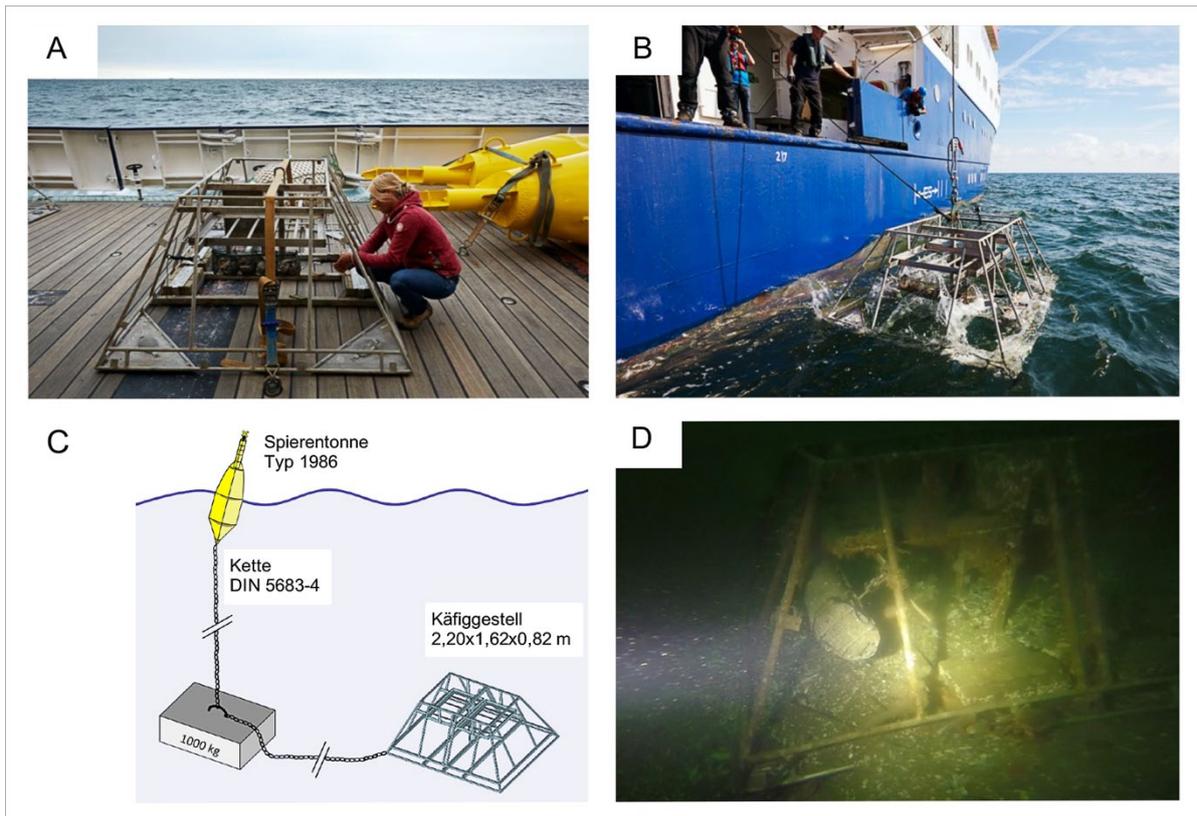


Abb. 7: Ausbringung der Austernkäfige an massiven Metallgestellen (sog. Austernlander): **A)** Vorbereitung der Metallgestelle und Anbringung der Austernkäfige an Bord der FS Heincke im Juli 2016; **B)** Ausbringung der Austernlander mit einer Winde am Versuchsstandort; **C)** Schematische Skizze des Versuchsaufbaus: Verankerung der Austernlander am Meeresboden und Kennzeichnung durch eine Markierungstonne; **D)** Austernlander mit Austernkäfigen am Versuchsstandort unter Wasser (Fotos: AWI/V. Merk, AWI/H. Müller-Elsner).

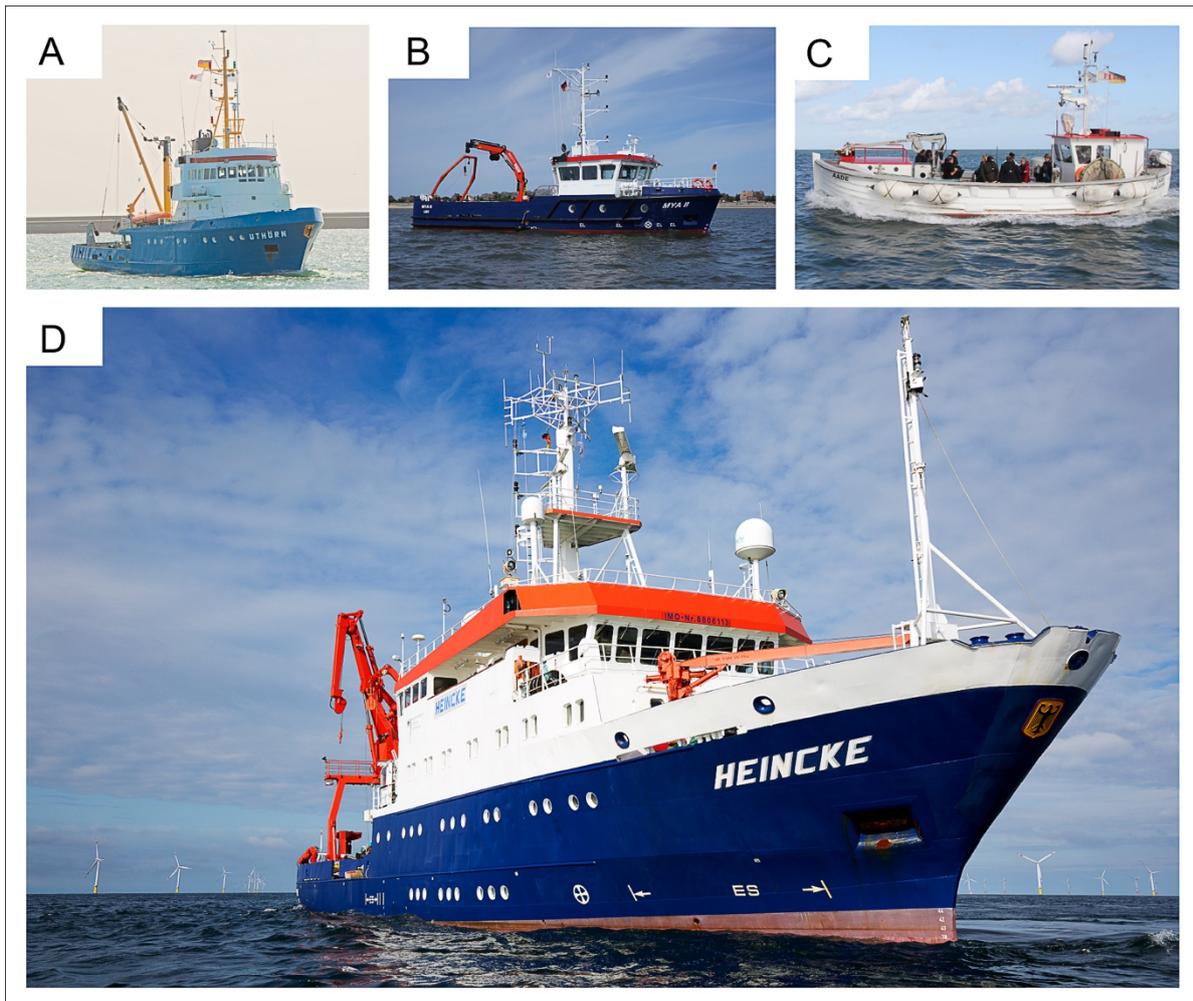


Abb. 8: Die für die Arbeiten der Felduntersuchungen genutzten Forschungsschiffe des Alfred-Wegener-Instituts **A**) FK Uthörn **B**) FS Mya II **C**) FS Aade und **D**) FS Heincke (Fotos: AWI/P. Flange, U. Nettelmann, F. Mehrtens und H. Müller-Elsner).

Insgesamt wurden an den drei Standorten zwischen Mai 2017 und April 2018 24.000 Saataustern (2 mm Schalenlänge) ausgesetzt und bis Mai 2019 untersucht (Tab. 1). Die Saataustern stammen aus einer Zuchtanlage mit künstlichem Meerwasser, um die Einführung von Parasiten, Krankheitserregern oder gebietsfremder Epifauna und -flora zu verhindern. Sie wurden mit Gesundheitszertifikat des nationalen französischen Referenzlabors für Muschelkrankheiten (GIP LABOCEA) bezogen. Größere Größenklassen werden in Europa nur in natürlichem Seewasser und im Freiland produziert und die Einfuhr stellt durch potenziell mit transportierte Begleitarten ein erhebliches ökologisches Risiko dar (siehe Kapitel 3.1.1). Auf den Import und die Translokation größerer Jungtiere oder adulter Austern wurde aus diesem Grund bewusst verzichtet (Pogoda et al. 2017).

Tab. 1: Zeitlicher Ablauf der Freilandversuche: Aufbau und Instandhaltung der Unterwasserkonstruktionen, Aussetzen der Austern (A) und Beprobung.

	2016												2017												2018												2019							
	Jun	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug															
Aufbau & Instandhaltung																																												
Beprobung Gruppe 1		A																																										
Beprobung Gruppe 2					A																																							
Beprobung Gruppe 3							A																																					
Beprobung Gruppe 4													A																															

Wachstum und Kondition der Austern

Wachstumsanalysen ermöglichen die Bewertung der aktuellen Umweltbedingungen (Brumbaugh et al. 2006) und liefern notwendige Informationen für die Wiedereinführung einer lokal oder funktionell ausgestorbenen Art. Das Wachstum der Austern hängt von verschiedenen Umweltfaktoren ab, zum Beispiel Temperatur, Nahrungsverfügbarkeit und -qualität, aber auch von der Herkunft der Elterntiere (Utting 1988; da Silva et al. 2005). Das absolute Wachstum der Austern pro Tag wurde über die Zunahme der Schalenlänge und des Weichkörpergewichts bestimmt (Abb. 9). Die untersuchten jungen Austern zeigten ein stetiges und beträchtliches Wachstum (Merk et al. 2020). Alle Gruppen wiesen schnell, normal und langsam wachsende Tiere auf, was zu deutlichen Standardabweichungen in Schalenlänge, Nassgewicht und Wachstumsraten bei einzelnen Tieren führte. Zudem variierten die täglichen Wachstumsraten saisonal. Hohe Chlorophyll- und Temperaturwerte im Sommer 2017 resultierten in hohen Wachstumsraten der Austern. Ein weniger ausgeprägtes Chlorophyllmaximum im Sommer 2018 führte zu moderaten täglichen Wachstumsraten und somit zu einem niedrigeren Konditionsindex (Verhältnis von Weichkörpergewicht zu Schalengewicht). Der Konditionsindex folgte einem natürlichen saisonalen Muster und bestätigt die Hypothese, dass junge Europäische Austern zunächst in das Wachstum der Schale investieren (Valero 2006; Pogoda et al. 2011). Moderate Wachstumsraten (Gruppe 3, Gruppe 4) hängen möglicherweise mit weniger optimalen Futterbedingungen (Qualität) im Vorfeld der Feldversuche zusammen. Wachstumsuntersuchungen an Europäischen Austern wurden bisher vor allem in Küstenregionen durchgeführt (Ivanov 1966; da Silva et al. 2005; Valero 2006). Erste Feldexperimente mit *O. edulis* an Offshore-Standorten in der deutschen Nordsee wurden in sog. Austernlaternen nahe der Wasseroberfläche durchgeführt (Pogoda et al. 2011). Die Zunahme der Schalenlänge ist vergleichbar mit den im Rahmen der vorliegenden Feldexperimente erhobenen Daten an tieferen Standorten. Detritus könnte an diesen tieferen Standorten als relevante zusätzliche Nahrungsquelle für Austern dienen und somit saisonale Schwankungen der Phytoplanktonkonzentration ausgleichen (Mackinson, Daskalov 2007). Dementsprechend könnten Austernpopulationen an tieferen Offshore-Standorten von einer stabilen Futterverfügbarkeit profitieren und widerstandsfähiger gegen schwankende Umweltbedingungen sein.

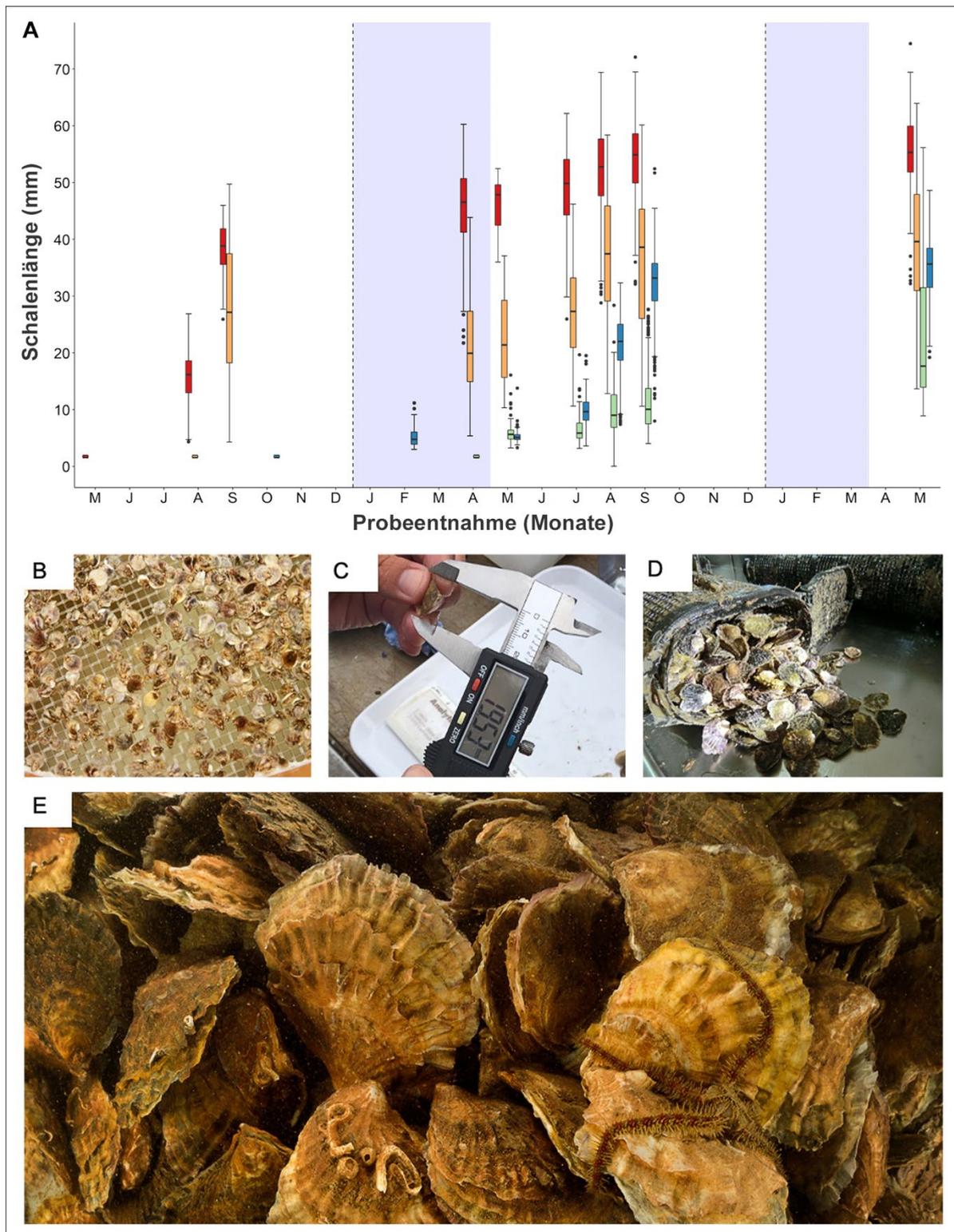


Abb. 9: Wachstum der wieder eingeführten Europäischen Austern: **A**) Absolute Schalenlänge der Austern während der Freilandversuche (24 Monate). Im Mai 2017 (Gruppe 1, rot), August 2017 (Gruppe 2, orange), Oktober 2017 (Gruppe 3, blau) und Mai 2018 (Gruppe 4, grün) wurden je 6000 Austern (mittlere Schalenlänge 2 mm, $N \geq 200$) eingesetzt (Merk et al. 2020). Hellblau hinterlegt sind Zeiträume mit Wassertemperaturen $< 7 \text{ }^\circ\text{C}$, für die kein Wachstum erwartet wird (Pogoda et al. 2020b). **B**) Saataustern zum Zeitpunkt der Ausbringung (2 mm Größe). **C**) Vermessung der Austern bei der Beprobung. **D**) Zu gesunden, subadulten herangewachsene Austern im Austernkorb bei der Beprobung im September 2018. **E**) Adulte Austern im Mai 2019 (Fotos: AWI/V. Merk und S. Zankl).

Bildung von Austernaggregationen (Miniriffe)

Im Verlauf der Feldversuche führte das Schalenwachstum der Austern zur Bildung von Aggregationen von zwei oder mehr Austern, die fest als dreidimensionale Struktur zusammengewachsen waren (siehe Abb. 10). Die Fähigkeit und der Prozess der Riffbildung der Art *O. edulis* sind noch nicht vollständig verstanden; es existieren keine Daten zur Struktur eines unberührten Lebensraums von *O. edulis*. Bestehende historische Daten zu Austerriffen beziehen sich hauptsächlich auf Fangdaten und enthalten vereinzelte Hinweise zu „groben Austern“ und „Austernklumpen“ (Möbius 1877). Dieser durch Möbius beschriebene Zustand gilt jedoch bereits als verändert (degradiert), da das Gebiet zu diesem Zeitpunkt schon jahrzehntelang einem hohen Fischereidruck ausgesetzt war. Die in der vorliegenden Studie aus zusammenwachsenden Austern gebildeten Aggregationen, hier definiert als „Miniriffe“, entsprechen den historisch beschriebenen „groben Austern“.

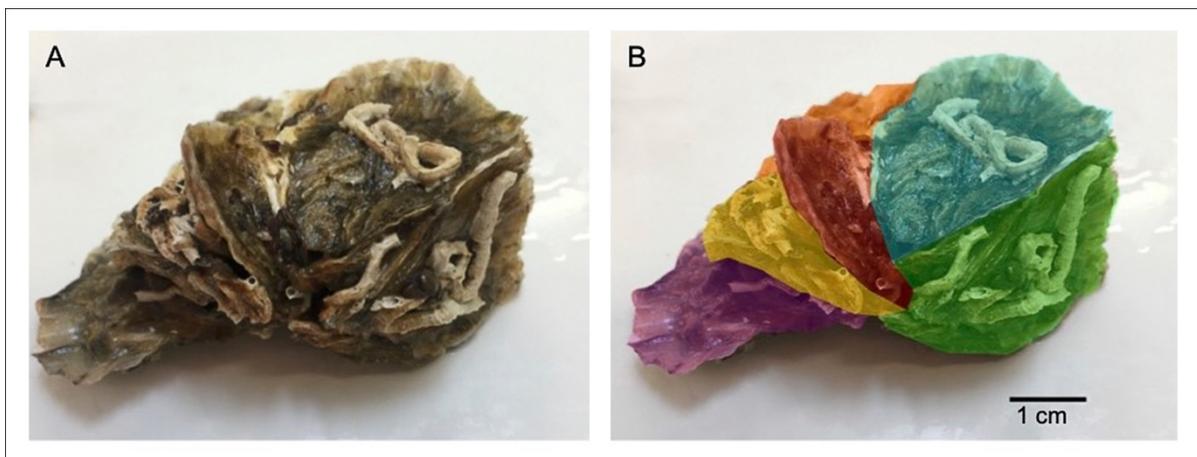


Abb. 10: Im Verlauf der Feldexperimente bildeten sich Austernaggregationen, sogenannte Mini-Riffe, aus zwei bis acht Austern. **A)** Übersicht eines Mini-Riffs. **B)** Farbige Kennzeichnung der einzelnen zu einem Mini-Riff zusammengewachsenen Austern (Foto: AWI/V.Merk).

Die Anzahl der Miniriffe nahm mit der Zeit zu, unabhängig davon, ob sie in den ersten Monaten in Netzbeuteln oder später in Austernkäfigen ausgebracht wurden. Es konnte außerdem beobachtet werden, dass sich Austernklumpen bildeten, die von Epifauna wie dem Bäumchenröhrenwurm *Lanice conchilega* oder dem Dreikantröhrenwurm *Spirobranchus triqueter* zusammengehalten wurden. Diese Klumpen könnten der Ausgangspunkt der Riffbildung sein. Weniger Bewegung der Tiere führt möglicherweise zur Bildung noch größerer Aggregationen und Riffstrukturen, wenn die entsprechende Dichte an Austern gegeben ist. Tote Riffstrukturen von *O. edulis*, die im Schwarzen Meer gefunden wurden, zeigten Vorkommen von *Sabellaria taurica* an den Schalen, die dieselbe Funktion haben könnten (Todorova et al. 2009). Die Maße dieses Riffs erreichten eine Höhe von bis zu 7 m, was zeigt, dass *O. edulis* grundsätzlich in der Lage ist, substantielle Riffe zu bilden. Dies steht im Gegensatz zu bisherigen Annahmen (Beck et al. 2009). Derzeit gibt es keine Erklärung für diese ungewöhnliche Dimension eines Lebensraums von *O. edulis* im Schwarzen Meer. Es ist denkbar, dass hierfür geeignete Sedimenttypen und Strömungsmuster notwendig sind. Die spezifischen Parameter sind jedoch unbekannt und es ist entsprechend abzuwarten, welche Strukturen *O. edulis* in ungestörten Offshore-Seegebieten der Nordsee nach einer großräumigen Wiederansiedlung bildet. Aber auch die hier bereits nach wenigen Monaten gezeigte Bildung kleinerer Aggregationen und Riffstrukturen erhöht bereits die Komplexität, die Biodiversität und die Ökosystemleistungen für den umgebenden Lebensraum (Merk et al. 2020; Pogoda et al. 2020c).

Mortalität und Reproduktion der Austern

Die Mortalität wurde über die Anzahl lebender Austern in den Austernkäfigen berechnet. War aufgrund der hohen Anzahl von Individuen und/oder der zeitlichen Begrenzung zwischen den taucherischen Probenahmen eine Gesamtzählung nicht möglich, wurden maximale Unterproben gezählt. Eine hohe Mortalität trat vor allem bei jungen Saataustern in den ersten Wochen nach dem Aussetzen auf (Abb. 11). Die Mortalität ging, mit Ausnahme einer niedrigen Wintermortalität, im Verlauf der Experimente auf null zurück. Logistische Anpassungen und ein verbesserter Umgang mit den Austern während des Aussetzens erhöhten das Überleben der Austern. Die Mortalität der Austern war insgesamt niedriger als in früheren Studien beobachtet (Utting 1988; Valero 2006; Pogoda et al. 2011). Die Vergleichbarkeit ist jedoch aufgrund der Unterschiede in der Saatausterngröße und den Umgebungsbedingungen eingeschränkt: Erstmals wurden hier Tiere von nur 2 mm Größe eingesetzt und untersucht. Die geringe Größe der Saataustern beeinflusste die Mortalität jedoch nicht (Merk et al. 2020). Dieses Erkenntnis stellt eine wichtige Grundlage für ökologisch sichere Wiederansiedlungsmaßnahmen im großen Umfang dar, da entsprechend mit zertifiziert produzierten Saataustern aus Zuchtbetrieben geplant werden kann.

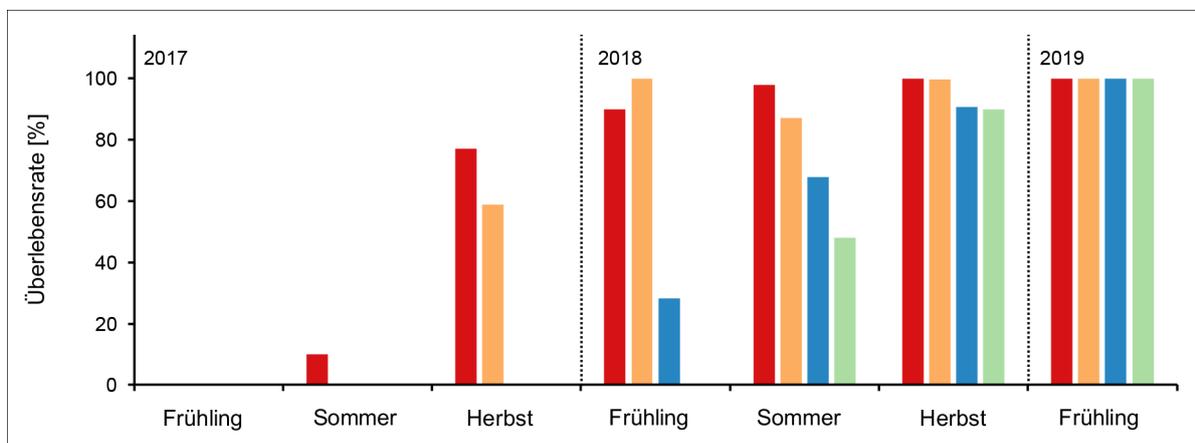


Abb. 11: Saisonale Überlebensrate der wieder eingeführten Austern: Im Verlauf der Freilandversuche (24 Monate) wurden im Mai 2017 (Gruppe 1, rot), August 2017 (Gruppe 2, orange), Oktober 2017 (Gruppe 3, blau) und Mai 2018 (Gruppe 4, grün) je 6000 Austern (mittlere Schalenlänge 2 mm, $N \geq 200$) eingesetzt (Merk et al. 2020). Die höchste Mortalität wurde jeweils in den ersten Wochen nach dem Einsetzen beobachtet, nahm jedoch in allen Gruppen über die Versuchszeit ab. Gruppe 1 und Gruppe 2 erreichten im Herbst 2018 bzw. im Frühjahr 2018 eine Überlebensrate von 100%.

Im Verlauf der Versuche erreichte ein Teil der Austern 9 bis 14 Monate nach der Ausbringung ins Freiland bereits die Geschlechtsreife. Verschiedene Larvenstadien wurden bei adulten weiblichen Tieren nachgewiesen (Abb. 12). Die Reproduktion von *O. edulis* wird stark von Umweltparametern wie Temperatur, Futterverfügbarkeit und -zusammensetzung beeinflusst (Berntsson et al. 1997). Da *O. edulis* ein protandrierender, alternierender Hermaphrodit ist (Colsoul et al. 2020a), fanden also im Verlauf der Freilandversuche bereits das Heranreifen zum Männchen, ein Geschlechtswechsel mit Heranreifen zum Weibchen, sowie eine erfolgreiche Befruchtung und ein Abbläuen bei einigen Tieren statt (Merk et al. 2020). In Anbetracht des hervorragenden Wachstums und der Kondition der Austern sowie der Abwesenheit von Makroparasiten ergänzen diese Ergebnisse zur Reproduktion das Bild der insgesamt sehr guten Fitness der wieder eingeführten Europäischen Austern an den sublitoralen Offshore-Standorten.

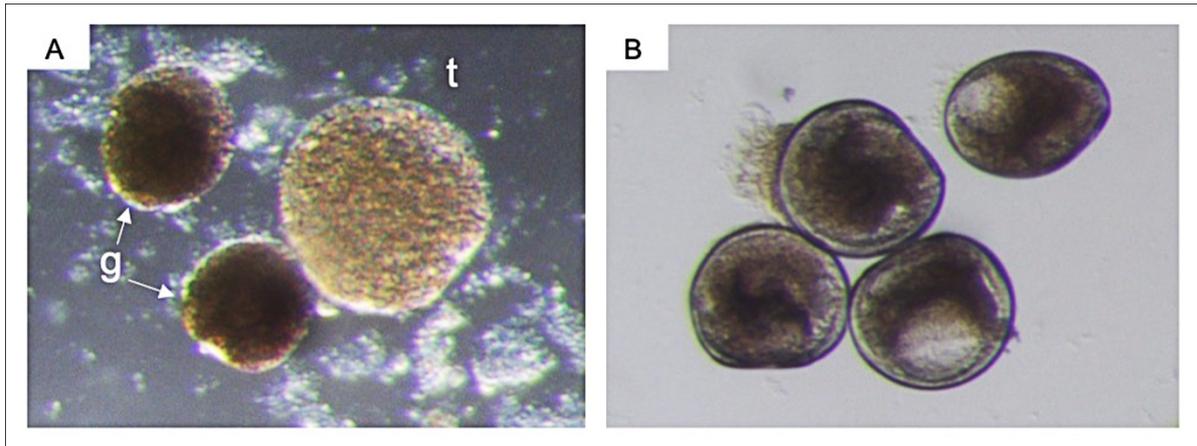


Abb. 12: Reproduktion der wieder eingeführten Austern: In 15 Monate alten Europäischen Austern konnten im Verlauf der Freilandversuche Larven nachgewiesen werden. **A)** Gastrula (g, Durchmesser 100 μm) und Trochophora (t, Durchmesser 150 μm); **B)** frühes Veligerlarvenstadium (Durchmesser 150 μm) (nach Merk et al. (2020)).

Analyse des Gesundheitszustandes: Makroparasiten und Krankheitserreger

Die Analyse des Gesundheitszustandes erfolgte saisonal an den Unterproben durch eine mikroskopische Untersuchung (Makroparasiten) sowie durch genetische Analytik (Bonamiosis, Marteilliosis). Für die genetische Analyse wurden die Weichkörper der Austern bei -20°C gelagert.

Austernschalen und Weichkörper wurden einzeln auf Makroparasiten untersucht (N~20). Für die Untersuchung des Weichkörpers wurden organspezifische Quetschpräparate hergestellt. Die genetischen Analysen auf eine mögliche Infektion von *O. edulis* durch *Bonamia ostrea* wurden anhand des von Carnegie et al. (2000) entwickelten Protokolls durchgeführt. Die genetischen Analysen zum Nachweis einer möglichen Infektion mit *Marteilia refringens* wurden nach Le Roux et al. (1999) durchgeführt. Von jedem Individuum wurde ganzes Weichgewebe zur DNA-Extraktion verwendet (Qiagen DNeasy Blood & Tissue Kit).

In keiner der insgesamt 100 untersuchten Austern wurden Makroparasiten oder die o.g. Krankheitserreger nachgewiesen. Marteilliosis kann aufgrund der hohen Salinität in den Versuchsgebieten der deutschen Nordsee ausgeschlossen werden (Colsoul et al. 2020a; Sas et al. 2020). Die wieder eingeführten Europäischen Austern wurden nach Beendigung der Freilandversuche (nach 24 Monaten) als vollständig gesund eingestuft (Merk et al. *in prep*).

Die vorliegende Voruntersuchung konnte die grundsätzliche biologische Eignung der Europäischen Auster für Wiederansiedlungsmaßnahmen in der Deutschen Bucht durch umfassende Freilandversuche nachweisen. Untersuchungsergebnisse zu Wachstum, Überleben und Fitness zeigen, dass die Umweltbedingungen in dem Gebiet und der Tiefe der ehemaligen Austernbänke für die Art auch heute sehr gut geeignet sind. Die zusätzliche nachgewiesene Reproduktionsaktivität ergänzt diese vielversprechenden Ergebnisse bezüglich der Frage, ob langfristig eine selbsterhaltende Population wiederangesiedelt werden kann. Die Voruntersuchung kann aufgrund der Käfigexperimente jedoch keine Aussagen zu Auswirkungen von Räuber-Beute-Beziehungen und zum Einfluss der Sedimentdynamik liefern.

3.1.3 Zusammenfassung

- Die Durchführung von Wiederansiedlungsprojekten in der deutschen Nordsee ist rechtlich und naturschutzfachlich möglich, jedoch an nationale und internationale Regelungen und Richtlinien gebunden.
- Je nach Lage (innerhalb der deutschen AWZ, innerhalb der Küstenzone der Länder, innerhalb von Natura 2000 Schutzgebieten) sind entsprechende Genehmigungen einzuholen und/oder FFH-Verträglichkeitsprüfungen notwendig.
- Zur Prüfung biologischer Rahmenbedingungen wurden Versuchsstandorte in Wassertiefen von 10 m und 26 m von Forschungsschiffen aus mit Forschungstauchern aufgebaut, instandgehalten und beprobt. Alle Standorte lagen in fischereifreien Bereichen.
- Für die Offshore-Feldexperimente wurden ca. 24.000 zertifiziert gesunde Saataustern mit einer Schalenlänge von 2 mm ausgebracht. Das Ausbringen erfolgte zu vier unterschiedlichen Zeitpunkten. Über einen Zeitraum von zwei Jahren wurden die Austern regelmäßig beprobt.
- Für die wieder eingeführten Saataustern wurde ein hervorragendes Wachstum nachgewiesen. Die Ergebnisse belegen eine gute Nahrungsverfügbarkeit und -qualität für die Europäische Auster in der deutschen Nordsee.
- Der Konditionsindex ermöglicht Aussagen zum Allgemeinzustand der Tiere: Bei den ausgesetzten Austern folgte der Konditionsindex erwartungsgemäß dem Jahresverlauf und belegte insgesamt eine gute Fitness der Tiere. Ein Teil der Austern wurde bereits im ersten Jahr im Freiland geschlechtsreif.
- Es kam zu keiner nachweisbaren Infektion mit Makroparasiten oder relevanten Krankheitserregern. Die wieder eingeführten Europäischen Austern wurden nach Beendigung der Freilandversuche als vollständig gesund eingestuft.
- Die Überlebensrate konnte im Laufe des Versuchszeitraums durch Verbesserung der Logistik und Handhabung der Austern drastisch verbessert werden und entspricht natürlichen Raten im Freiland.
- Erstmals konnte die kontinuierliche Bildung kleiner Riffstrukturen dokumentiert werden. Über den Versuchszeitraum bildeten sich insgesamt mehrere Dutzend Austernaggregationen (Miniriffe) von zwei bis acht Individuen.
- Im Laufe des Experimentes konnte außerdem ein Anstieg der Biodiversität und der Biomasse der Epifauna festgestellt werden.

3.2 Wissens- und Technologietransfer: Zusammenarbeit mit anderen Wiederansiedlungsvorhaben

Austernwiederansiedlungsmaßnahmen werden in einigen Ländern, vor allem aber in den USA, bereits seit zwei Jahrzehnten erfolgreich durchgeführt. Die Netzwerkbildung mit internationalen Partnern auf dem Gebiet der Austernwiederansiedlung ermöglicht einen Wissens- und Technologietransfer mit bestehenden Forschungs- und Restaurationsprojekten, der fortlaufend nachhaltig genutzt werden kann.

3.2.1 Internationale Kooperationen

Durch Praxisrecherchen bei und Kooperationen mit internationalen KollegInnen und Partnerinstitutionen konnten Gemeinsamkeiten identifiziert und wertvolle Problemlösungen erarbeitet werden. Vorhandenes Expertenwissen wird genutzt um gegebenenfalls bewährte Methoden und Technologien auf die Situation in der deutschen Nordsee zu übertragen (Tab. 2).

Tab. 2: Wissens- und Technologietransfer mit internationalen Kooperationspartnern.

USA	Oyster Restoration Program, NOAA, MD Hornpoint Lab Oyster Hatchery, MD Global Marine Team, The Nature Conservancy, RI Chesapeake Bay Program, The Nature Conservancy, VA Chincoteague Wildlife Refuge, VA Albemarle-Pamlico Sounds Program, The Nature Conservancy, NC Half Moon Reef Program, The Nature Conservancy, TX Washington Shellfish Initiative, WA Shellfish Hatchery Northwest Fisheries Science Center, NOAA, WA
Australien	South Australian Research Development Institute (SARDI), SA Port Stephens Fisheries Institute (PSFI), NSW Victorian Shellfish Hatchery Queenscliff, VIC Shellfish Restoration Reef Windara, SA Australia Oceans Program, The Nature Conservancy, VIC
Neuseeland	Shellfish Production and Technology New Zealand (SPATnz) Cawthron Institute Moana New Zealand
Europa	Zusammenarbeit über die Native Oyster Restoration Alliance (NORA): zum Beispiel mit Frankreich (Ifremer, Novostrea Bretagne, CRC), Großbritannien (University of Portsmouth, Heriot-Watt-University Edinburgh, Natural Scotland, Rossmore Oysters Ltd., Jersey Seafarms) www.noraeurope.eu

USA

Vor allem in den USA existieren eine Vielzahl an Machbarkeitsstudien, Wiederherstellungsvorhaben und konkreten Restaurationsprogrammen zur Wiederherstellung und zum Schutz von Austembänken. Viele dieser Vorhaben werden seit Jahren erfolgreich umgesetzt und können eine Wiederansiedlung der heimischen Austernart in der deutschen Nordsee durch einen aktiven Wissenstransfer massiv erleichtern und unterstützen. Eine Praxisrecherche in den USA leitete eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit der amerikanischen Naturschutzorganisation *The Nature Conservancy* (TNC) ein, die zu einem aktiven Wissens- und Technologietransfer mit Projektstandorten in Virginia, Maryland, North Carolina, Louisiana und Texas weiterentwickelt wurde; dort wird die heimische Austernart *Crassostrea virginica* im Rahmen von Naturschutzmaßnahmen wieder angesiedelt. Dies umfasst einen intensiven Austausch zur Planung und Umsetzung aktiver Restaurationsmaßnahmen und zu speziell für die Austernrestauration gegründeten Zuchtanlage. Ein weiterer Schwerpunkt der Zusammenarbeit mit den USA sind Projekte zur Native Oyster Restoration der Austernart *Ostrea lurida* im Puget Sound an der US-Westküste. Aufgrund gattungsspezifischer, biologischer Merkmale sind die Erfahrungen aus diesen Wiederansiedlungsprojekten und Zuchtbetrieben besonders wertvoll. Daher wurde eine Zusammenarbeit mit dem Netzwerk Washington Shellfish Initiative, mit einem weiteren staatlichen Zuchtbetrieb sowie mit zwei Wiederansiedlungsprojekten im Puget Sound aufgebaut. Insgesamt ergab sich daraus ein wertvoller Wissenszuwachs für die Planung eines Austernzuchtbetriebes in Deutschland (Projekt PROCEED) und eine solide Bewertung für die praktische Umsetzung der Austernwiederansiedlung in Deutschland (Projekt RESTORE).

Australien

In Australien erfolgten Besuche und Kooperationsgespräche bei drei Muschelzuchtanlagen sowie die Besichtigung eines Wiederansiedlungsstandortes: Das *South Australian Research Development Institute (SARDI)*, West Beach, Australien verfügt über verschiedene Forschungseinheiten zur Muschelzucht, wie zum Beispiel zur Produktion von Mikroalgen in Outdoor-Flachbecken. Das *Port Stephens Fisheries Institute (PSFI)* ist keine kommerzielle Zuchtanlage, sondern eine Forschungseinrichtung, die sich mit der Optimierung der Austernlarvenzucht (Gattung *Ostrea*) beschäftigt. Die technische Umsetzung erfolgt in traditionellen Batch-Systemen (Algenzucht, Larvenhälterung). Die *Victorian Shellfish Hatchery Queenscliff* ist eine moderne Zuchtanlage, die sich auf *Ostrea angasi* spezialisiert hat. Die technische Umsetzung erfolgt in innovativen Durchfluss-Systemen. Die Betreiber der Anlage sind daher ein wichtiger Partner für die Umsetzung in Deutschland (Projekt PROCEED). *Ostrea angasi* wird dort sehr erfolgreich gezüchtet. Das *Windara Reef*, Yorke Peninsula, South Australia, wurde 2017 angelegt und ist für Deutschland ein wichtiger Vergleichsstandort, da dort ebenfalls im Sublitoral und mit der Gattung *Ostrea* gearbeitet wird. Die technologische Errichtung sowie biologisch-ökologische Fortschritte geben wichtige Anhaltspunkte für die praktische Umsetzung in Deutschland (<https://www.youtube.com/watch?v=LAmnv1WiTWo>). Mit dem Australia Oceans Team (TNC) wurde eine erfolgreiche Kooperation zur Anwendung und Weiterentwicklung einer taucherbasierten Technik zur großflächigen Ausbringung von Saataustern zur sublitoralen Wiederansiedlung aufgebaut.

Großbritannien & Irland (UK)

Intensive Treffen haben im Rahmen der Oceans Past Platform (EU COST Action IS1403) durch eine Short Term Scientific Mission (STSM) in England, Wales, Schottland, Nordirland und Irland stattgefunden.

Weiterhin wurde das deutsche Projekt beim International Oyster Symposium (IOS) in Bangor, Wales, im Rahmen einer Session zum Thema „Restoration“, die erstmals ins Programm der World Oyster Society (WOS) aufgenommen wurde, präsentiert. Gemeinsam mit den europäischen KollegInnen erfolgte die Vorbereitung der Inhalte für den NORA1 Workshop in Berlin. Im Rahmen der NORA subgroup „Monitoring“ werden in Kooperation mit dem UK Network, vertreten durch Dr. Joanne Preston und Celine Gamble, derzeit europäische Monitoringstandards entwickelt. Diese werden als Handlungsempfehlungen für Europa veröffentlicht, ggf. als Annex zur Berlin Oyster Recommendation.

3.2.2 Die Native Oyster Restoration Alliance (NORA)

Die Wiederansiedlung zerstörter und verschwundener biogener Riffe in ihren ehemaligen Verbreitungsgebieten steht weltweit im Fokus von Restaurationsprojekten. Speziell die Wiederansiedlung der heimischen Europäischen Auster wird im Rahmen europäischer Projekte vermehrt getestet und durchgeführt. Um diese Projekte erfolgreich miteinander zu vernetzen entstand der Bedarf nach einem europäischen Netzwerk zur Bestandsstärkung und Restauration der heimischen Austernart.



Abb. 13: Der durch BfN und AWI organisierte Kick-Off Workshop 2017 in Berlin: Die TeilnehmerInnen (oben rechts) stellten im Rahmen der NORA1-Konferenz die verschiedenen Europäischen Projekte vor, beschlossen die Gründung der Native Oyster Restoration Alliance (NORA) und erarbeiteten die Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al. 2017, 2019), (Fotos: K. Wollny-Goerke).

Vor diesem Hintergrund wurde die Native Oyster Restoration Alliance (NORA) im November 2017 im Rahmen eines Kick-Off Workshops in Berlin auf Initiative des BfN und des AWI gegründet. An diesem ersten erfolgreichen Workshop (NORA1) nahmen 65 KollegInnen aus

10 europäischen Ländern und ExpertInnen aus den USA teil (Abb. 13). Im Vordergrund stand der Austausch zu den aktuellen internationalen Wiederansiedlungsprojekten und die Diskussion potenzieller Hürden mit entsprechendem gemeinschaftlichen Handlungsbedarf. Daraus resultierend einigten sich die anwesenden ExpertInnen auf gemeinsame Europäische Wiederansiedlungsstrategien und formulierten die Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al. 2017). Dieses Dokument und die darin enthaltenen Empfehlungen gelten als Grundlage für die Sicherung von „best practice“ Methoden und nachhaltigem Erfolg für europäische Wiederansiedlungsmaßnahmen (Abb. 14).



Abb. 14: Die Empfehlungen (1.-6.) der Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al., 2017, 2019), die im Rahmen der NORA1 Konferenz erarbeitet wurden (Grafik: A. Essenberg).

NORA vereint Wiederansiedlungsprojekte und assoziierte Stakeholder aus über zehn europäischen Ländern, um einen aktiven Wissenstransfer zu relevanten Themenfeldern (Biologie, Ökologie von *O. edulis* (einschließlich Krankheitserreger wie *Bonamia ostreae*), Restaurierungsmethoden, Austernzucht, Monitoring, Finanzierungsmöglichkeiten und rechtliche Rahmenbedingungen für Wiederansiedlungsmaßnahmen) zu gewährleisten. Das langfristige Bestreben der Allianz ist es, die Bestände der heimische Europäische Auster als Schlüsselart in der Nordsee und angrenzenden europäischen Meeresgebieten wiederherzustellen. Zukünftige Ziele sind: I) der weitere Ausbau des Netzwerks und eine umfangreiche Miteinbeziehung aller mit der Wiederansiedlung der Europäischen Auster assoziierten Interessengruppen, II) die intensive Zusammenarbeit im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen, regelmäßigen themenbezogenen Workshops in den jeweiligen Arbeitsgruppen sowie einer jährlich stattfindenden Konferenz in einem der Teilnehmerländer, III) die gemeinsame Erarbeitung von Lösungen und Handlungsempfehlungen für übergreifende Problemstellungen (zum Beispiel Translokationen adulter Wildtiere, Bekämpfung von Krankheiten wie Bonamiosis, ausreichende Produktion von Saataustern, Ausbau der Forschung für großflächige Wiederansiedlungsmaßnahmen).

Im Rahmen des ersten NORA Treffens in Berlin (NORA1) wurden vier übergeordnete Themen identifiziert, die für alle Projekte von maßgeblicher Bedeutung sind und somit im gesamteuropäischen Ansatz in Arbeitsgruppen fortlaufend bearbeitet werden (Pogoda et al. 2020a). Dabei bedienen die verschiedenen Arbeitsgruppen jeweils auch die durch NORA definierten Empfehlungen (Recommendations, Abb. 14).

Die Themen sind:

Production

Einer der Schlüsselprozesse bei allen europäischen Projekten ist die Versorgung mit gesunden und geeigneten Saataustern. Für den langfristigen und nachhaltigen Erfolg von europäischen Wiederansiedlungsprojekten ist eine umfangreiche Saatausternproduktion notwendig, die derzeit nicht erreicht wird. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich entsprechend mit der Entwicklung innovativer Produktionsmethoden, sowie mit der Anpassung und dem Ausbau bereits existierender Produktionstechniken und -strukturen. Des Weiteren werden Standards für die Austernproduktion getestet, um diese zukünftig großskalig – auch vor dem Hintergrund der biologischen Sicherheit – anzuwenden.

Biosecurity

Durch die verschiedenen Aspekte praktischer Wiederansiedlungsmaßnahmen besteht die Gefahr, Krankheitserreger und invasive Arten in die Wiederansiedlungsgebiete einzuführen. Um diese Risiken auszuschließen erarbeitet die Arbeitsgruppe spezifische „Biosecurity Guidelines“ für die Wiederansiedlung der Europäischen Auster in Europa. Diese berücksichtigen die Bereiche Produktion und Translokation von Austern und Substrat sowie die Verhinderung der weiteren Ausbreitung des Bonamiosis-Erregers.

Site selection

Die Standortwahl ist europaweit von unmittelbarer Bedeutung, um erfolgreiche Wiederansiedlungsprojekte durchzuführen. Die Arbeitsgruppe befasst sich mit naturschutzfachlichen Rahmenbedingungen und interagiert mit politischen Stakeholdern, um individuelle Frage- und Problemstellungen an den ausgewählten Wiederansiedlungsstandorten zu identifizieren. Ziel ist es, aktuelles Kartenmaterial zum Lebensraum und Schutzstatus der Europäischen Auster auf lokaler, regionaler und europaweiter Ebene zur Verfügung zu stellen. Dies unterstützt zum einen mögliche Anpassungen der geltenden Naturschutzregelungen, zum anderen können so ökologisch sinnvolle, grenzüberschreitende Projekte, die auf internationale Zusammenarbeit angewiesen sind, identifiziert werden.

Monitoring

Bislang gibt es keinen ganzheitlichen Ansatz, welche Methoden zur Untersuchung der Wiederansiedlung von *O. edulis* in Europa anwendbar, nutzbar und sinnvoll sind. Die Arbeitsgruppe entwickelt entsprechend gemeinsame, allgemeingültige Monitoringmethoden, um die Ergebnisse der jeweiligen Wiederansiedlungsmaßnahmen vergleichbar und Erfolge messbar zu machen.

Die Beteiligung am europäischen NORA-Netzwerk ist nach der Gründung weiter gestiegen: 2019 wurde eine zweite Konferenz in Edinburgh, Schottland (NORA2) mit über 120 TeilnehmerInnen durchgeführt. Die nachhaltigen Erkenntnisse aus dem Wissens- und Technologietransfer innerhalb von NORA werden auch in die zukünftige Bearbeitung der deutschen Wiederansiedlungsmaßnahmen einfließen. Um den Austausch der NORA Mitglieder untereinander zu erleichtern sowie die Sichtbarkeit und den inhaltlichen Austausch des Netzwerks weiter zu steigern, wurde eine Homepage eingerichtet (www.noraeurope.eu), die Projektbeschreibungen, interaktive Karten zu den Projektstandorten sowie einen Downloadbereich mit aktuell relevanter Literatur und NORA Dokumenten beinhaltet (Abb. 15).

Das NORA Netzwerk wurde in den zwei Jahren nach der Gründung weiter gefestigt. Eine Finanzierung, welche die Koordination und damit die Organisation jährlicher Konferenzen ermöglicht, ist vorerst bis 2021 durch eine Förderung im Bundesprogramm Biologische Vielfalt (Projekt PROCEED) festgeschrieben.

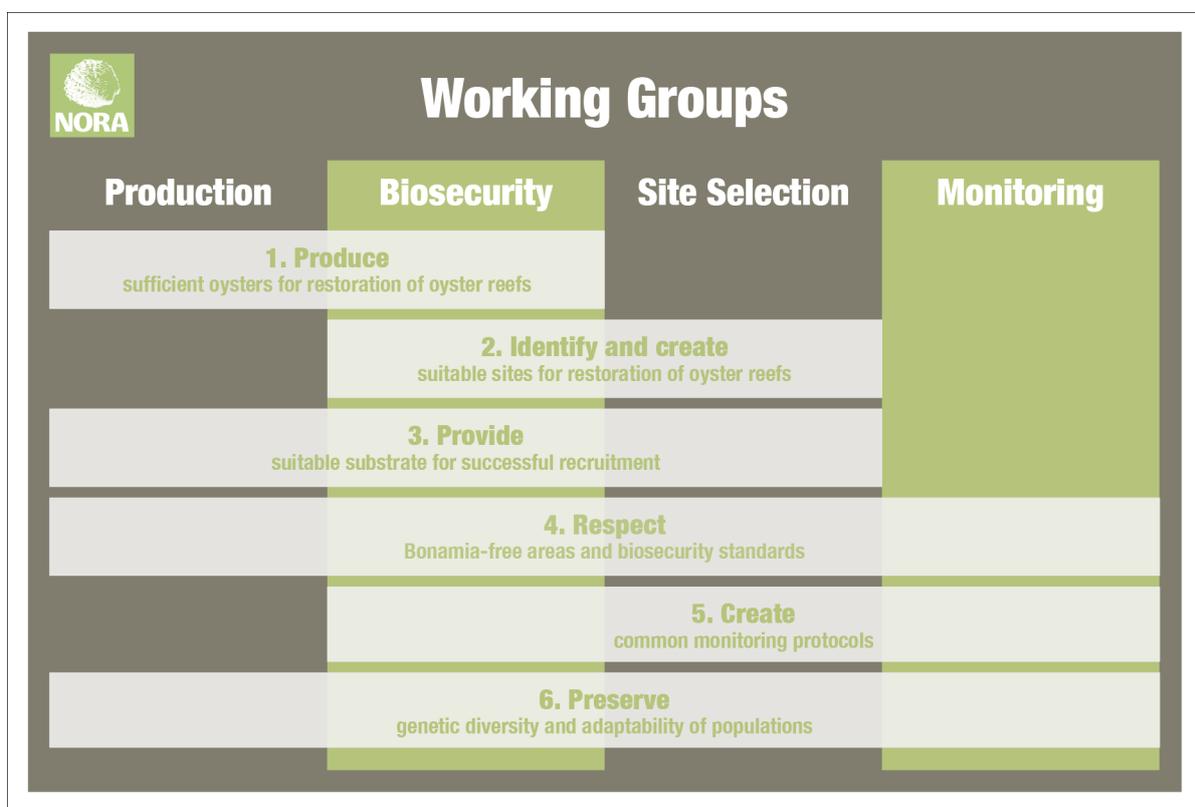


Abb. 15: Die vier NORA Arbeitsgruppen (Production, Biosecurity, Site Selection, Monitoring) bearbeiten jeweils die Empfehlungen zur nachhaltigen Wiederansiedlung der Europäischen Auster, definiert durch die Berlin Oyster Restoration (Grafik nach Pogoda et al. (2020a)).

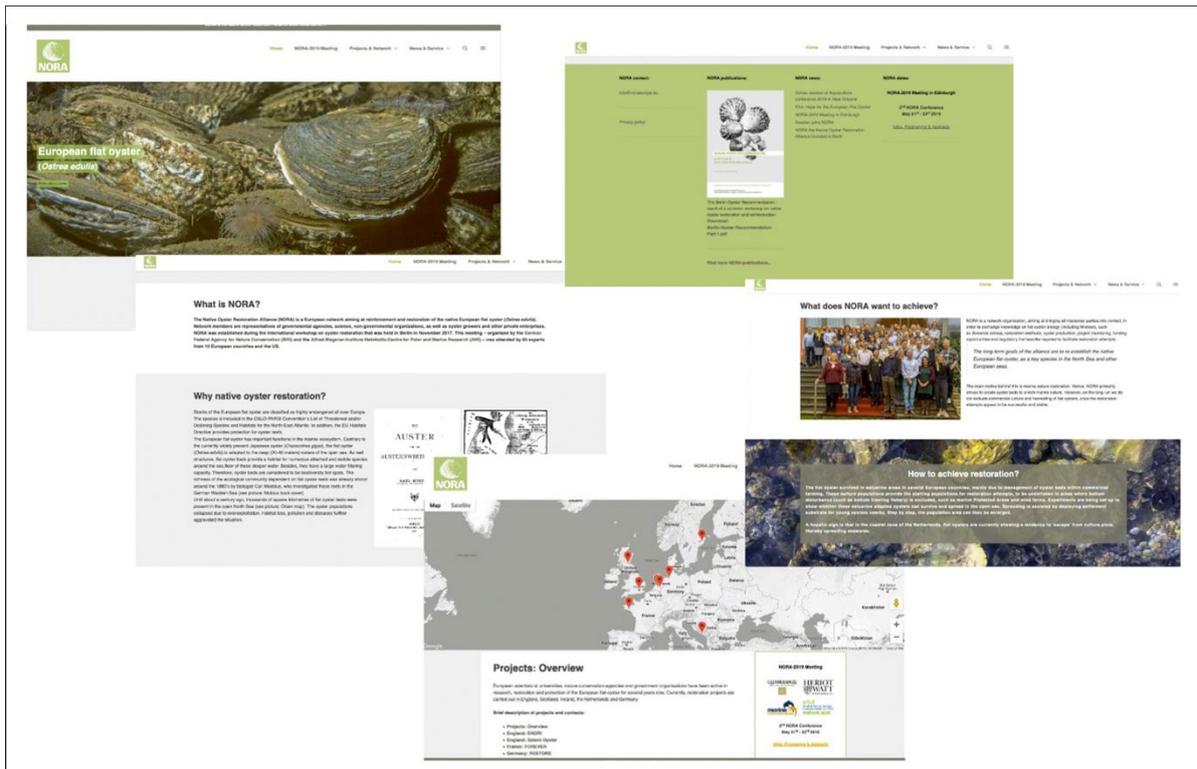


Abb. 16: Überblick über die im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit eingerichtete NORA-Homepage www.noraeurope.eu (Stand Juli 2019).

3.2.3 Zusammenfassung

- Es wurden umfangreiche Kooperationen auf nationaler und internationaler Ebene (in Europa und darüber hinaus) aufgebaut, die für die Umsetzung von Wiederansiedlungsmaßnahmen in Deutschland von großer praktischer Bedeutung sind.
- Die Gründung der Native Oyster Restoration Alliance (NORA) wurde in den europäischen Küstenländern als wichtig erachtet und nachhaltig unterstützt. Das Netzwerk ist sehr aktiv und wächst stetig. Es unterstützt den umfassenden Wissens- und Technologietransfer zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern und Ländern.
- Im Zuge der Gründung von NORA wurden 2017 sechs europaweit relevante Empfehlungen definiert, die eine „best practice“ für die Austernwiederansiedlung gewährleisten: 1) Produktion von gesunden Saataustern, 2) Identifikation und Ausweisung geeigneter Wiederansiedlungsgebiete, 3) Bereitstellung von geeignetem Substrat für die Rekrutierung von Jungtieren, 4) Berücksichtigung Bonamia - freier Gebiete, 5) Entwicklung gemeinsamer Monitoringstandards und 6) Erhaltung der genetischen Vielfalt und Anpassungsfähigkeit der Populationen.
- Es wurden vier aktive NORA Arbeitsgruppen (Production, Biosecurity, Site Selection, Monitoring) gegründet, die aktiv an wichtigen, die Wiederansiedlungsvorhaben in ganz Europa betreffende Themen arbeiten.
- Die NORA Website (www.noraeurope.eu) stellt umfassende Informationen zu Projekten, Projektstandorten und Dokumenten zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster in Europa für alle Interessierten zur Verfügung (Abb. 16).

3.3 Weiterführende Untersuchungen für die praktische Umsetzung langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen

Um die Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee langfristig erfolgreich durchzuführen, müssen im Vorfeld mögliche Szenarien geplant und die beste Verfahrensweise für die nächsten Schritte definiert werden. Dazu gehören die Standortwahl für Wiederansiedlungsmaßnahmen wie auch die Sicherung der Versorgung mit Jungaustern und geeigneten Substrats für die Aufzucht und die Wiederansiedlungsstandorte.

3.3.1 Definition der Kriterien zur Standortauswahl (Site Selection Criteria)

Die Grundvoraussetzung für die Durchführung großflächiger Wiederansiedlungsmaßnahmen ist der Ausschluss jeglicher bodenverändernder Aktivitäten (zum Beispiel Fischerei, Sand- und Kiesentnahme, Seekabelverlegungen) im Wiederansiedlungsgebiet. Darüber hinaus sind weitere Aspekte für die erfolgreiche Standortauswahl von Bedeutung: Die historische Verbreitung der Europäischen Auster, die ökologische Eignung des Gebietes, sowie logistische Faktoren und naturschutzrechtliche Vorgaben sollten bei der Empfehlung geeigneter Standorte zur langfristigen Wiederansiedlung berücksichtigt werden.

Die relevanten Kriterien zur Standortauswahl wurden in drei Kategorien zusammengefasst (Clewell et al. 2000; Pogoda et al. 2020b):

- I) Historische Verbreitung: Nachweise zu historischen Vorkommen und Beständen
- II) Umweltbedingungen: Adäquate abiotische und biotische Faktoren
- III) Durchführbarkeit der Maßnahme: Rechtliche Rahmenbedingungen und logistische Voraussetzungen

Für die drei Kategorien wurden, aufbauend auf Erkenntnissen wissenschaftlicher Untersuchungen (Pogoda et al. 2011; Pogoda 2012; Pogoda et al. 2013), den Empfehlungen der Machbarkeitsstudie (Gercken, Schmidt 2014) und unter Berücksichtigung historischer, ökologischer, biographischer, logistischer und naturschutzpolitischer Parameter umfassende Kriterien zur Standortauswahl (Site Selection Criteria) für die Zielart definiert (Tab. 3, Pogoda et al. (2020b).

Anwendung der Site Selection Criteria

Anhand der oben definierten Kriterien wurden mögliche Standorte innerhalb der Deutschen Bucht auf ihre Eignung untersucht und für die Wiederansiedlung der Europäischen Auster ausgewählt.

Historische Verbreitung von *O. edulis*

Für die Wiederansiedlung ist zunächst ein Standort innerhalb des historisch belegten Verbreitungsgebietes der heimischen Austernart zu wählen. Dies entspricht der Vorgehensweise für Wiederansiedlungsmaßnahmen, definiert durch die International Union for Conservation of Nature (IUCN) als beabsichtigte Freisetzung eines Organismus in seinem ursprünglichen Verbreitungsgebiet, aus dem er verschwunden ist (IUCN/SSC 2013). Aus ökologischer Sicht ist dies jedoch für den Erfolg einer Maßnahme nicht obligatorisch (Gercken, Schmidt 2014).

Naturschutzgebiet

Eine grundsätzliche Voraussetzung für die Eignung entsprechender Meeresgebiete ist der Ausschluss jeglicher den Boden verändernde Aktivitäten (zum Beispiel Fischerei, Sand- und Kiesabbau). Die Managementpläne für die Meeresschutzgebiete in der deutschen AWZ

(Natura 2000 Gebiete Borkum-Riffgrund, Sylter Außenriff, Doggerbank) sehen derzeit Regelungen für einen Teilausschluss der Fischerei und für eine Begrenzung des Substratabbaus vor (BMU 2019). Der Nutzungsdruck in diesen Meeresgebieten nimmt dadurch ab und ermöglicht die Planung langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen.

Abiotische Faktoren

Temperatur, Sauerstoffgehalt, Strömungsgeschwindigkeit, Salinität sowie Substrateigenschaften bilden grundsätzliche Bedingungen, von denen erfolgreiches Wachstum, Überleben, Reproduktion, Rekrutierung und Bestandsbildung der Europäischen Auster abhängen. Alle Faktoren sind zu berücksichtigen und müssen innerhalb des artspezifischen Toleranzbereichs liegen, um einen geeigneten Standort zu definieren. Für die Europäische Auster sind bisher keine Präferenzen für spezifische Sedimenttypen bekannt. Auf dieser Grundlage kann (zunächst) kein Sedimenttyp als obligatorisch eingestuft werden. Der Sedimenttyp Feinsand wird allerdings als kontraindiziert ausgeschlossen, da die feinen Partikel in der Wassersäule von den Austern durch Filtration für die Nahrungsaufnahme angereichert und durch eine erhöhte Pseudofäzesproduktion wieder ausgeschieden werden (Heral 1990). Die Nahrungsaufnahme ist entsprechend geringer und die Pseudofäzesproduktion kostet zusätzlich Energie, sodass der Stoffwechselumsatz nicht optimal ist (Rodhouse 1979).

Biotische Faktoren

Ein ausreichend hoher Chlorophyllgehalt ist als primäre Nahrungsquelle für die Europäische Auster Voraussetzung für eine erfolgreiche Ansiedlung. Weitere wichtige Kriterien sind die Verbreitung von Krankheitserregern, Konkurrenz um Nahrung und Siedlungssubstrat, sowie Prädation durch Fressfeinde.

Frei von Nutzungen

Die Wiederansiedlungsstandorte sollten frei von kontraindizierten Nutzungen sein, zu denen unter anderem Fischerei, Sand- und Kiesabbau und Unterwasserkabel (vorhanden oder in Planung) zu zählen sind. Je geringer der Nutzungsdruck insgesamt im ausgewählten Gebiet ist, desto aussichtsreicher sind die logistische Umsetzung und der langfristige Erfolg der Wiederansiedlungsmaßnahme(n). Aus logistischer Sicht ist es außerdem sinnvoll, (zunächst) einen Standort zu wählen, der nicht in Gebieten liegt, die eine hohe Schiffsverkehrsdichte (Verkehrstrennungsgebiete) aufweisen. Sämtliche (derzeit) vorhandenen Nutzungen, auch innerhalb der Meeresschutzgebiete, bilden entsprechend logistische Ausschlussgebiete für Wiederansiedlungsmaßnahmen.

Tiefe

Europäische Austern können bis zu einer Wassertiefe von 30-50 Metern vorkommen (OSPAR 2013; Pogoda 2019), entsprechend der Maximaltiefe der deutschen Nordsee von ca. 50 Metern. Die Tiefe als Auswahlkriterium ist hier also kein biologischer Faktor, sondern ausschließlich von logistischer Bedeutung für die wissenschaftliche Begleitung und geplante Monitoringaufgaben.

Sedimentfassung

Die Sedimente in der Deutschen Bucht sind noch nicht flächendeckend kartiert. Entsprechend bieten Standorte, an denen die Sedimentzusammensetzung bereits untersucht ist und hydrografische Daten verfügbar sind, einen deutlichen Vorteil gegenüber noch nicht erfassten Standorten.

Tab. 3: Liste der definierten Site Selection Criteria zur Standortwahl für Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der Deutschen Bucht (nach Pogoda et al. (2020b)).

Site Selection Kategorie	Site Selection Kriterium
1. Ökologische Geschichte	1. Historische Verbreitung von <i>O. edulis</i> und <i>O. edulis</i> Bänken
2. Machbarkeit der Wiederansiedlung	2. Naturschutzgebiet 3. Ausschluss von bodenberührender Fischerei 4. Ausschluss von Sand- und Kiesabbau 5. Ausschluss von Flächen mit Unterwasserkabeln 6. Fehlen weiterer kontraindizierter Nutzungen 7. Tiefe
3. Umweltfaktoren (abiotisch)	8. Temperatur 9. Salinität 10. Strömungsgeschwindigkeit 11. Sauerstoffkonzentration 12. Substratqualität (Sedimenttyp/ -dynamik)
4. Umweltfaktoren (biotisch)	13. Futtermverfügbarkeit (Chlorophyllkonzentration) 14. Prädation 15. Konkurrenz 16. Krankheiten

3.3.2 Standortauswahl für langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen

Die Standortauswahl für die Errichtung eines Pilotriffs im Rahmen des RESTORE Hauptvorhabens und für die Umsetzung weiterer langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen erfolgte anhand vorab definierter Site Selection Criteria (Tab. 3), unter besonderer Berücksichtigung der Kriterien Naturschutzgebiet (verminderter Nutzungsdruck) und historische Verbreitung (Pogoda et al. 2020b). Das Kriterium Naturschutzgebiet ist in drei Gebieten der AWZ erfüllt (NSG Doggerbank, NSG Sylter Außenriff, NSG Borkum Riffgrund). Das NSG Borkum Riffgrund (BRG) liegt im Zentrum der historisch belegten Verbreitung der einst heimischen Austernart (Abb. 3) (Olsen 1883; Gercken, Schmidt 2014; Pogoda 2019). Im Managementplan für das Naturschutzgebiet Borkum Riffgrund ist die Wiederansiedlung der Europäischen Auster im notwendigen Umfang mit hoher Priorität (M 5.2) in der Maßnahmengruppe Wiederansiedlung von Arten bzw. Wiederherstellung von Lebensraumtypen (LRT) in ihren typischen Ausprägungen (MG 5) vorgesehen (BfN 2020). Derzeit wird ein Fischereiausschluss im NSG BRG verhandelt, womit sich das Gebiet in seiner Eignung für die geplanten Wiederansiedlungsvorhaben (zunächst) insgesamt von anderen Gebieten abhebt (BMU 2019). Entsprechend wurde das NSG BRG für die Errichtung des Pilotriffs (RESTORE Hauptvorhaben) und die Umsetzung weiterer langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen ausgewählt. Alle hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf dieses Gebiet. Innerhalb des Gebietes erfolgte die Standortauswahl anhand der vorab definierten Site Selection Criteria (Tab. 3), unter besonderer Berücksichtigung der Kriterien Umweltfaktoren und Nutzungsbelastungen.

NSG Borkum Riffgrund: Detaillierte Beschreibung

Geologische Beschreibung des Gebietes Borkum Riffgrund

Die morphologischen und sedimentologischen Charakteristika des Gebiets Borkum Riffgrund haben ihren Ursprung in der Saale-Kaltzeit im Pleistozän (130.000 – 200.000 J.v.h.). Während dieser Zeit war der Bereich der südlichen Nordsee zuletzt von einem Inlandeisschild bedeckt, durch dessen Vorstoß und Gletscherbewegungen Gesteinsmaterial erodiert und über weite Strecken mittransportiert wurde. Dieses Material wurde beim Abschmelzen der Eismassen sowohl unter dem Gletscher abgelagert (Grundmoräne) als auch am Rande des Eises aufgeschüttet (Endmoräne) (Ehlers 1994). Durch Meeresströmungen, Seegang und Tide wurde das Meeresbodenrelief der Deutschen Bucht im Laufe der Zeit aufgearbeitet und verändert. Grobe Fraktionen der ursprünglichen Moräne blieben dabei zumeist an ihrem ursprünglichen Ablagerungsort vorhanden, weshalb die heutigen Steinfelder der Deutschen Bucht als Indikatoren für die Lage ehemaliger Moränen gelten (Diesing, Schwarzer 2006b). Der Borkum Riffgrund ist als Fortsetzung der saaleeiszeitlichen oldenburgisch-ostfriesischen Grundmoräne anzusehen (Ehlers 1994; BfN 2008). Die vorhandenen Riffstrukturen dort sind nordseetypisch kleinflächig und fleckenhaft verteilte Anhäufungen von Steinen, die dabei in Form bandartig angeordneter oder verstreuter Steinfelder vorkommen (Boedeker et al. 2006).

Teile der Riffstrukturen im Borkum Riffgrund wurden mit Hilfe hydroakustischer Methoden (Seitensichtsonar) untersucht und analysiert (Diesing, Schwarzer 2006a). Dabei wurden zum einen umgrenzte Steinfelder identifiziert, in denen Steine typischerweise auf Grobsedimenten konzentriert auftreten. Innerhalb der Steinfelder ist die Belegungsdichte relativ gering, einzelne Steine sind teilweise mehrere Meter bis Dekameter voneinander entfernt. Im Gegenteil dazu stehen weite Bereiche des Meeresbodens, die keine Steine aufweisen und in denen neben Mittelsanden vor allem Grobsande und Kiese vorkommen (Figge 1981; BfN 2008). Die oberflächliche Sedimentbedeckung zeichnet sich durch eine hohe Heterogenität aus: Gebiete mit einem engräumigen Sedimentwechsel neben Gebieten relativ hoher Homogenität sind dabei charakteristisch (Diesing, Schwarzer 2006a). Über die Beständigkeit der Sedimentverteilung wird in einer Studie zur Sedimentverteilung in der deutschen AWZ von Diesing und Schwarzer, 2006a, Folgendes geschrieben:

„Untersuchungen [...] haben gezeigt, dass alle oberflächlich anstehenden Sedimente seegangs- und strömungsinduzierte Rippel aufweisen und somit zumindest episodisch umgelagert werden. Für die Grobsedimente gilt dies ebenso wie für die Fein- bis Mittelsande. Demgegenüber hat der Vergleich von Sedimentverteilungsmustern im Gebiet der ehemaligen Forschungsplattform „Nordsee“ (FPN) über mehrere Jahre hinweg gezeigt, dass die Sedimentgrenzen erstaunlich stabil sind (Werner 2004). Veränderungen sind im Wesentlichen nur im Meterbereich, in wenigen Fällen im Dekameterbereich nachweisbar. In vielen Fällen sind selbst Details der Sedimentverteilungsmuster erhalten geblieben.“

Um ein genaues Bild des Meeresbodens zu erhalten, wurden im Rahmen der vorliegenden Voruntersuchung und ergänzend zur Literaturrecherche im NSG BRG aufgenommene Unterwasservideos untersucht (Übersicht siehe Abb. 21, Abb. 22 und Tab. 5). Für die ausgewählten Standorte im BRG wurden ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Voruntersuchung umfassende Tiefenprofile und aktuelle Unterwasseraufnahmen erstellt (HE529).

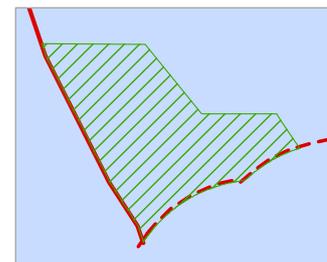
Lebensraumtypen und Biotoptypen im NSG Borkum Riffgrund

Das NSG BRG liegt etwa 15 km nordwestlich der ostfriesischen Insel Borkum und umfasst insgesamt ca. 625 km², hauptsächlich bestehend aus dem Lebensraumtyp (LRT, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL, 92/43/EWG)) „Sandbank mit nur schwacher ständiger

Überspülung durch Meerwasser“ (Code 1110) mit vereinzelt eingestreuten Steinfeldern, definiert als LRT „Riffe“ (Code 1170). Charakteristisch für die hartsubstrat-typischen Epifauna-Gemeinschaften sind Porifera (*Leucosolenia botryoides*), Cnidaria (zum Beispiel *Sertularia cuppressina*, *Metridium senile*, *Alcyonium* sp.), Mollusca (zum Beispiel *Lepidochitona cinerea*, *Littorina littorea*, *Macoma balthica*), Polycheata (zum Beispiel *Pomatoceros triqueter*, *Polydora* spp., *Sabellaria spinulosa*), Bryozoa (zum Beispiel *Flustra* sp., *Membranipora membranacea*, *Securiflustra securifrons*), Crustacea (zum Beispiel *Carcinus maenas*, *Homarus gammarus*, *Galathea* spp.), Echinodermata (zum Beispiel *Asterias rubens*, *Echinus esculentus*, *Ophiothrix fragilis*), und Tunicata (zum Beispiel *Ciona intestinalis*) (BfN 2008; Krause et al. 2008). Die Steinoberfläche der Steinfeldern, besiedelt mit hartsubstrat-typischen Epifauna-Gemeinschaften im BRG beträgt insgesamt 23 km² (Übersicht der Gebietsdaten siehe Tab. 4). Der nach § 30 Abs. 2 S. 1 Nr. 6 BNatSchG (BfN 2017a) vorherrschende gesetzlich geschützte Biotoptyp „Artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe (KGS)“ zeigt sich mit Schwerpunktbereichen im zentralen bis zentral südlichen Kerngebiet des Schutzgebietes. Durch die vielgestaltige Substrat- und Habitatstruktur und einer dafür charakteristischen, artenreichen Bodenfauna gilt der Borkum Riffgrund als ein Gebiet mit hoher ökologischer Bedeutung (BfN 2008).

Tab. 4: Übersicht über die Gebietsdaten und Flächenumriss des Meeresnaturschutzgebietes Borkum Riffgrund in der Deutschen Nordsee (nach BfN (2008)).

Biogeographische Region	atlantisch
Lage Gebietsmittelpunkt	53°52'14" N 06°24'50" E
Gebietsfläche	625 km ²
Lebensraumtyp „Riffe“ Fläche	23 km ²
Anteil Riffe gesamt	4%
Wassertiefe	18-33 m



Das NSG BRG ist einer Reihe von Nutzungen und Belastungen im Rahmen der Marinen Raumplanung ausgesetzt (Abb. 17). Diese umfassen unter anderem Schifffahrtswege, Seekabel, Entnahme von Sand und Kies, Fischerei und Offshore-Windkraft. Die vorhandenen Nutzungen schränken die Standortwahl für die Errichtung eines Pilotriffs und für die Umsetzung weiterer, langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen ein.

Für die Standortwahl sind vor allem Nutzungen des Meeresbodens von Bedeutung, insbesondere der Verlauf von Seekabeln, die teilweise in Betrieb, geplant oder genehmigt sind. Verschiedene Daten- und Energiekabel durchziehen das NSG BRG. Je nach Art des Kabels müssen vom Betreiber individuelle Anforderungen bezüglich der Wärmeentwicklung und/oder Instandhaltung erfüllt werden (pers. Kommunikation mit BSH). Alle Kabeltypen haben gemein, dass es im Umfeld zu weiteren Bauarbeiten, Erneuerungen oder zum vollständigen Rückbau der Kabel kommen kann und aktive Wiederansiedlungsmaßnahmen behindert, gestört oder zerstört würden. Entsprechend werden Gebiete, die aktive oder im Bau befindliche Energie- oder Telekommunikationskabel aufweisen für Wiederansiedlungsmaßnahmen ausgeschlossen. Eine Übersicht der für Restaurationsvorhaben relevanten Kabel ist in Abb. 18 dargestellt.

Zentral sowie im südlichen Teil durchziehen Vorbehalts- und Vorranggebiete der Schifffahrt das NSG BRG (blaue Flächen und blau schraffierte Flächen in Abb. 18). Diese Gebiete sind zum Teil Verkehrstrennungsgebiete und damit viel befahrene Wasserstraßen des internationalen Seeverkehrs. Flächen innerhalb dieser Gebiete sind zwar nicht durch Eingriffe am Meeresboden beeinträchtigt, allerdings werden sie aus logistischen Gründen und Gründen der Verkehrssicherheit (zunächst) ausgeschlossen. Einerseits sollte die Fläche, auf der im Rahmen des RESTORE Hauptvorhabens ein Pilotriff errichtet wird, jederzeit und ohne aufwändige logistische Kennzeichnungs- und Abgrenzungsmaßnahmen für regelmäßige Beprobungen zugänglich sein. Dies wäre in einem Verkehrstrennungsgebiet nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich. Andererseits muss in den Vorranggebieten, zum derzeitigen Stand, mit Ankermanövern des Schiffsverkehrs gerechnet werden (pers. Kommunikation GDWS), die aktive Wiederansiedlungsmaßnahmen behindern, stören oder zerstören würden. Entsprechend werden diese Gebiete für Wiederansiedlungsmaßnahmen ausgeschlossen. Eine Übersicht der für Restaurationsvorhaben relevanten Verkehrsgebiete ist in Abb. 18 dargestellt.

Eine weitere einschränkende Nutzung ist die Fischereiaktivität im Schutzgebiet (Abb. 19). Im NSG BRG herrschen zwar Flächen vor, die nur wenig befischt werden. Allerdings findet in den nördlichen Gebieten eine erhöhte Fischereiaktivität statt, die aktive Wiederansiedlungsmaßnahmen behindern, stören oder zerstören würde (ICES 2016). Bodenverändernde Aktivitäten innerhalb des Gebietes widersprechen der Eignung für die Errichtung eines Pilotriffs und für die Umsetzung weiterer, langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen. Ein zukünftiger Fischereiausschluss im NSG BRG wird derzeit von der EU-Kommission im Rahmen eines Delegierten Rechtsaktes auf Grundlage der Gemeinsamen Fischereipolitik der EU (GFP) geprüft. Demnach würden bodenberührende Fanggeräte in großen Teilen des NSG BRG verboten. Auch Sand- und Kiesabbaugebiete müssten durch die potentiell ständige Störung des Meeresbodens ausgeschlossen werden. Innerhalb des NSG BRG findet allerdings kein laufender oder beantragter Abbau statt. Auch Bewilligungsfelder für den Sand- und Kiesabbau bestehen in der deutschen Nordsee derzeit ausschließlich im NSG Sylter Außenriff (BfN 2019a).

Allgemein gilt, dass die vorhandenen Nutzungen die Wahl des Standortes innerhalb des NSG Borkum Riffgrund bereits stark eingrenzen.

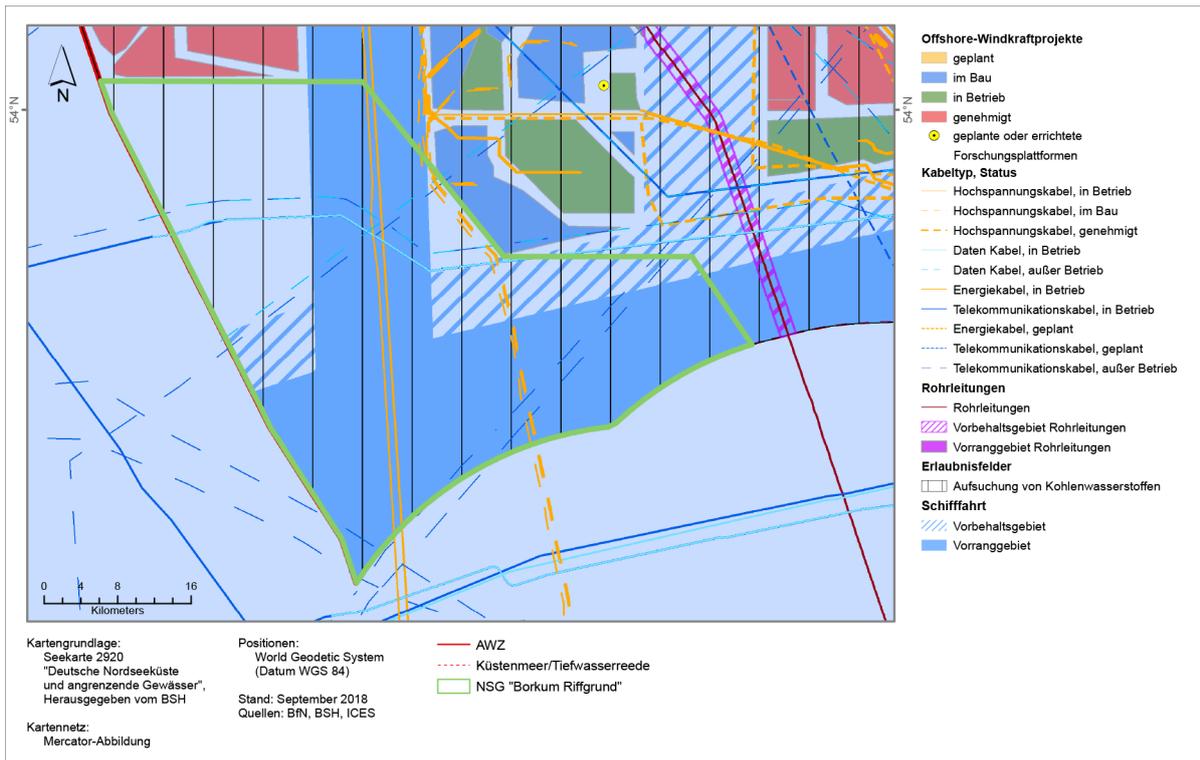


Abb. 17: Marine Raumplanung für das NSG BRG und angrenzende Seegebiete: Darstellung ausgewählter, relevanter Nutzungsgruppen (Daten: BfN 2018).

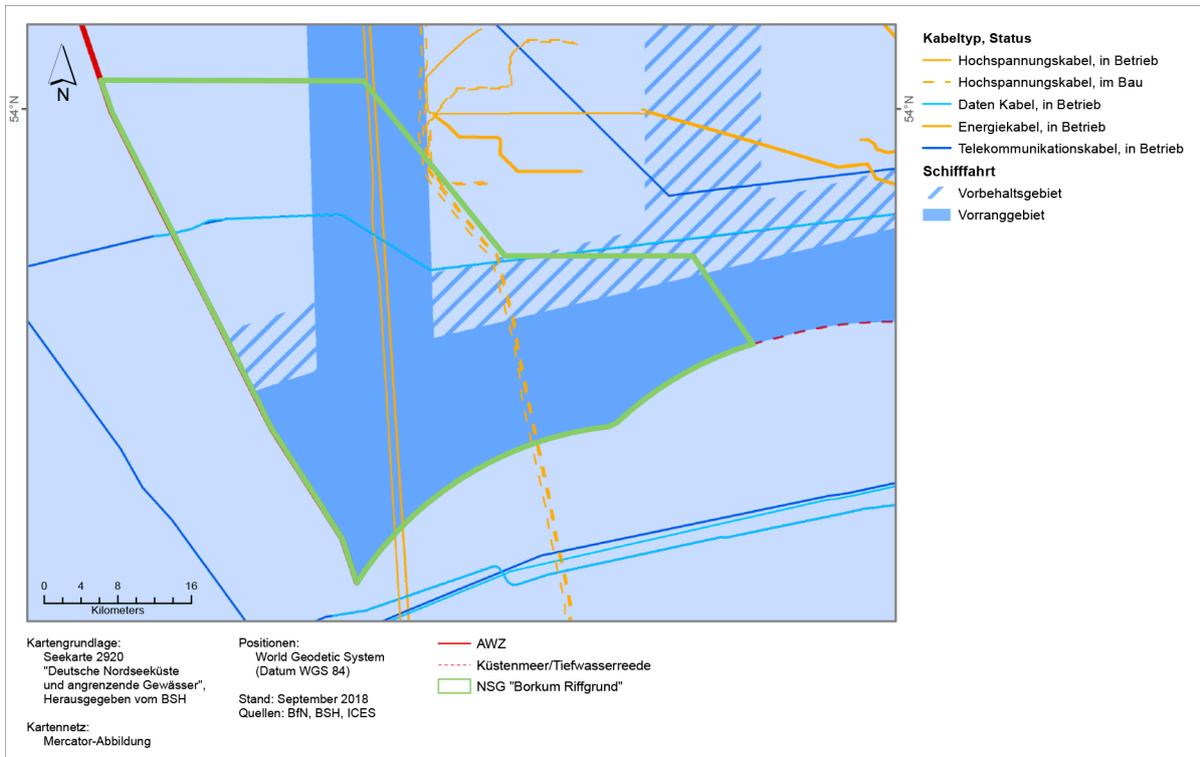


Abb. 18: Marine Raumplanung für das NSG BRG und angrenzende Seegebiete: Lage der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Schiffsverkehr und der Seekabel, die Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster beeinträchtigen oder ausschließen (Daten: BfN 2018).

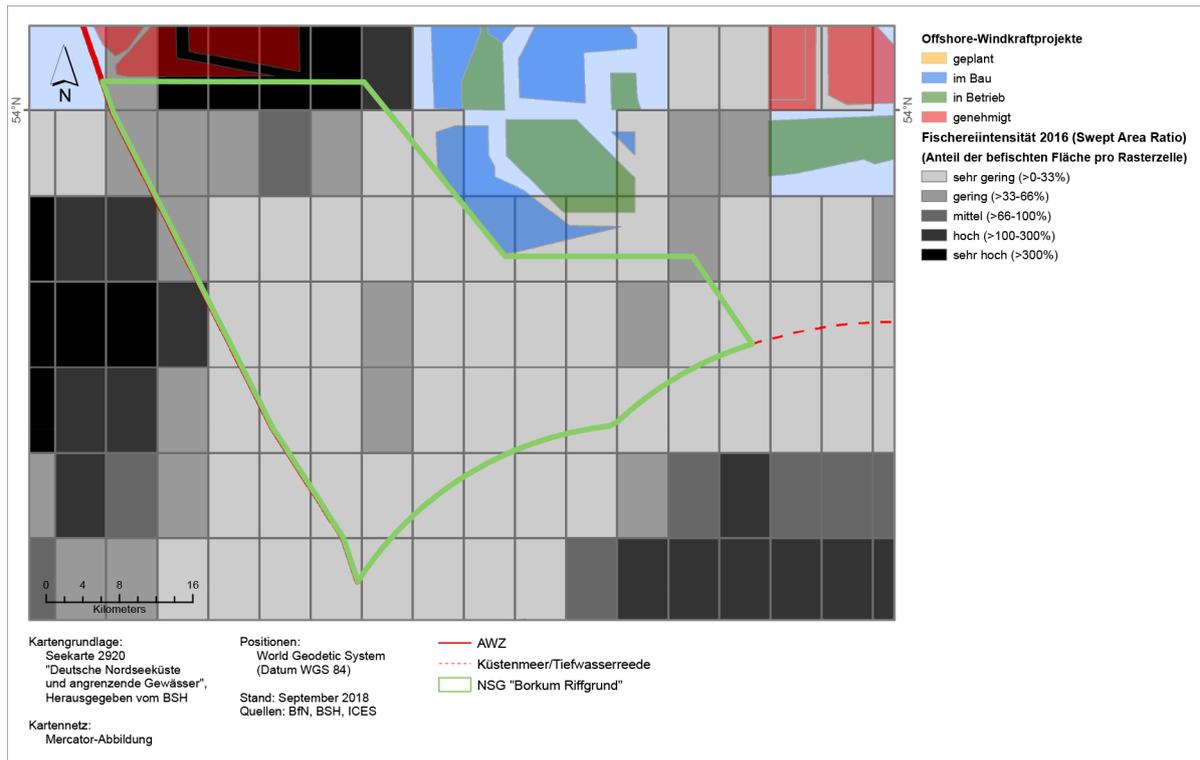


Abb. 19: Darstellung der Fischereintensität der bodenberührenden Fischerei (Baumkurre, Dredge, Otterschleppnetz, Zugnetz) im NSG BRG im Jahr 2016 (Daten: BfN 2018).

Tab. 5: Liste der vorhandenen und für Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster ausgewerteten Unterwasservideos (AWI = Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung, BfN = Bundesamt für Naturschutz, BioConsult = BioConsult Schuchardt & Scholle, SaM = Senckenberg am Meer).

Jahr	Fahrt	Schiffsname	Anzahl der Transekte	Quelle
2002	NAN BRGSK SK	Dr. Nansen	18	BfN
2012	P495 1212	Damkerort	10	BioConsult
2012	Senckenberg 34/2012	Senckenberg	20	SaM
2012	HE389	Heincke	5	SaM
2012	Senckenberg 45/2012	Senckenberg	20	SaM
2012	HE385	Heincke	8	AWI
2013	Senckenberg 05/2013	Senckenberg	24	SaM
2013	Senckenberg 36/2013	Senckenberg	27	SaM
2013	Senckenberg 40/2013	Senckenberg	14	SaM
2013	Senckenberg 45/2013	Senckenberg	7	SaM
2014	Senckenberg 02/2014	Senckenberg	7	SaM
2014	Senckenberg 05/2014	Senckenberg	8	SaM
2014	Senckenberg 22/2014	Senckenberg	23	SaM
2015	GR03	Grinna	6	AWI
2015	UT03	Uthörn	1	AWI
2017	P617 MZB 0617 BRG	Damkerort	19	BioConsult
2019	HE529	Heincke	3	AWI

Beschreibung der biotischen und abiotischen Faktoren

Wachstum, Überleben, Reproduktion, Rekrutierung und Bestandsbildung der Europäischen Auster hängen von verschiedenen Umweltfaktoren ab (Laing et al. 2005).

Ein wichtiger abiotischer Faktor, der den Lebenszyklus der Art maßgeblich steuert, ist die **Wassertemperatur**. Nahrungsaufnahme und Wachstum beginnen im Frühling ab einer Temperatur von 7 °C (Ashton, Brown 2009). Diese Bedingungen sind in der Deutschen Bucht etwa acht Monate im Jahr erfüllt (Tab. 6, Pogoda et al. (2020b) b). Im Gegensatz zu küstennahen, flacheren Lebensräumen (zum Beispiel im Wattenmeer) liegen Wassertemperatur und Salzgehalt im tieferen Sublitoral, wie im NSG BRG, immer im für die Europäische Auster definierten Toleranzbereich. Maximale Wachstumsraten wurden bei Wassertemperaturen von 16-18 °C gemessen (Laing 2005). Die Reproduktion erfolgt bei Temperaturen ab ca. 15 °C. Entsprechend kann es von Vorteil sein, wenn eine Wiederansiedlung in geringerer Wassertiefe (ca. 20 m) erfolgt, da diese Temperaturen dort bereits früher im Jahr erreicht werden (Gercken, Schmidt 2014).

Hydrodynamische Prozesse beeinflussen den Larventransport und die Nahrungsverfügbarkeit. Für die Ausbreitung und erfolgreiche Ansiedlung der Larven sind Strömungsrichtung und -geschwindigkeit von Bedeutung. Diese bestimmen den Ort der weiteren Ansiedlung und sollten bei langfristigen und großflächigen Wiederansiedlungsmaßnahmen beachtet werden

indem zum Beispiel Siedlungssubstrat an entsprechenden Standorten angeboten wird. Die vorherrschenden Strömungsrichtungen in der Deutschen Bucht (BSH 2017) ergeben eine zu erwartende Larvendrift in nordöstliche Richtung. Mit dem Ziel der Besiedlung größerer Flächen innerhalb des Naturschutzgebiets, sollte ein Pilotriff entsprechend im südwestlichen Bereich errichtet werden. Auch für die Nahrungsaufnahme ist die Strömungsgeschwindigkeit ein relevanter abiotischer Faktor. Zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten resultieren in einer mechanischen Belastung. Die Austern investieren mehr Energie in das Schalenwachstum um sich zu schützen oder sind gar nicht mehr in der Lage, Nahrung aus dem Wasserstrom zu filtrieren. Der Konditionsindex, der den Allgemeinzustand der Tiere bewertet, sinkt dann entsprechend. Vorangegangene Studien zeigen, dass die Filtrationsrate von Austern mit einer zunehmenden Strömungsgeschwindigkeit bis zu einem Maximum ansteigt (Walne 1979; Ashton, Brown 2009) und dass bei einer täglichen maximalen Tidenströmung von 0,45 m/s der äußere Toleranzbereich mit entsprechend geringen Wachstumsraten erreicht wurde (Pogoda et al. 2011). Eine zu geringe Strömung begünstigt die Ablagerung feiner Sedimente und verändert so den Untergrund. Strömungsraten von 0,05-0,1 m/s sind deshalb mindestens notwendig um Sedimentakkumulation und Schlickbildung im Gebiet auszuschließen (Ashton, Brown 2009). Die Strömungsgeschwindigkeit im NSG BRG liegt zwischen 0,27-0,31 m/s, ausreichend hoch um Sedimentation zu vermeiden und ausreichend niedrig um eine gute Nahrungsverfügbarkeit zu gewährleisten (Tab. 6, Pogoda et al. (2020b).

Die durchschnittlichen Tiefen des Gebiets eignen sich gut für die Besiedlung der Europäischen Auster. *O. edulis* kommt bis in 50 m **Wassertiefe** vor. Die vorherrschenden Tiefen im NSG BRG liegen mit 18-33 m im Toleranzbereich der Art (Pogoda 2019). Sie stellen jedoch aus logistischer Sicht eine Herausforderung dar. Weitere zu berücksichtigende abiotische Faktoren sind die **Sedimentzusammensetzung** und die Untergrundbeschaffenheit (Pogoda et al. 2020b). Im NSG BRG liegen acht unterschiedliche Sedimenttypen vor (Abb. 20). Flächen mit größeren Korngrößen (Mittel- bis Grobsand mit/ohne potenzielle KGS-Anteile) eignen sich für die Errichtung eines Pilotriffs und für die Umsetzung weiterer, langfristiger Wiederansiedlungsmaßnahmen. Die Europäische Auster siedelt auf verschiedenen Bodensubstraten, wie zum Beispiel Steinen, Kies, Grob- oder Mittelsand (Laing et al. 2005; Airoidi, Beck 2007; Colsoul et al. 2020b). Auch die Wassertrübung am Standort ist abhängig von der Korngröße der vorherrschenden Sedimente und beeinflusst Wachstum und Gesundheit der Austern (Soletchnik et al. 2007).

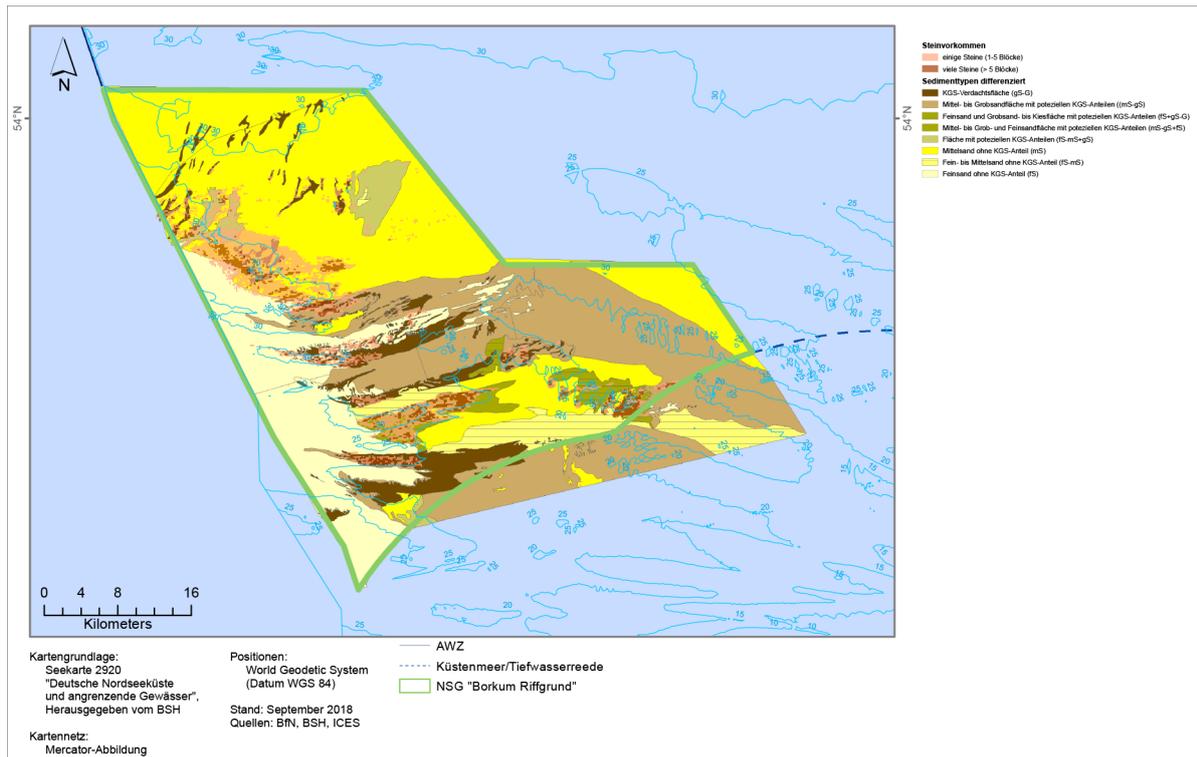


Abb. 20: Sedimentverteilung, Steinvorkommen und Bathymetrie im NSG BRG (Daten: BfN, BSH, GeoSea-Portal).

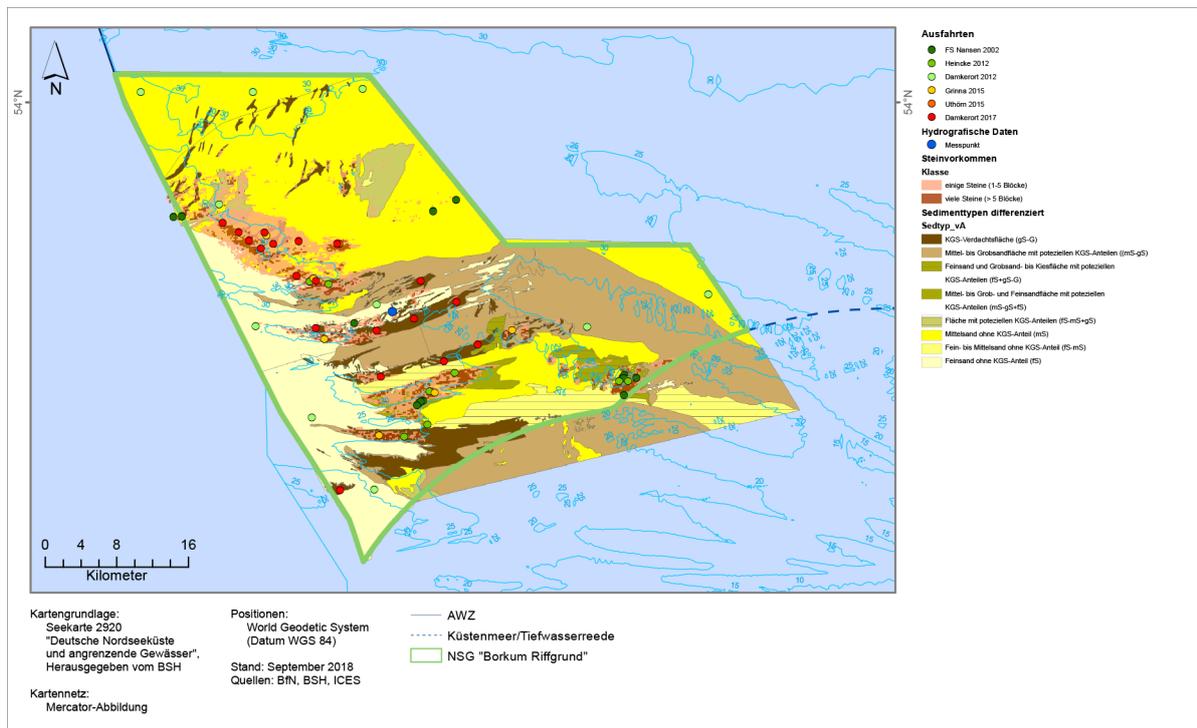


Abb. 21: Standorte der ausgewerteten Unterwasservideos im NSG BRG, aufgenommen während verschiedener Forschungsausfahrten in den Jahren 2002-2019 (Legende), und Position des Messpunktes zur Erfassung hydrographischer Parameter (Daten: AWI, BfN, BioConsult, BSH, GeoSea-Portal).

Tab. 6: Umweltbedingungen im Natura 2000 Gebiet Borkum Riffgrund für den Zeitraum September 2017 bis September 2018 (Datenquelle Operational Circulation Model of BSH (BSHcmod), Dick et al. 2008, Dick et al. 2001 nach Pogoda 2020).

Monat	Temperatur	Salinität	Sauerstoffkonzentration	Strömungsgeschwindigkeit	Chlorophyllkonzentration
	[°C]	[g/l]	[mg/l]	[m/s]	[µg/l]
Sep 17	17,63	33,54	7,38	0,31	3,06
Okt 17	15,38	34,11	7,99	0,31	1,57
Nov 17	12,14	34,34	8,59	0,31	1,11
Dez 17	8,59	34,66	9,39	0,32	0,94
Jan 18	6,49	34,29	9,88	0,32	1,17
Feb 18	5,19	33,14	10,18	0,31	2,69
Mär 18	3,15	32,74	10,80	0,32	3,92
Apr 18	4,91	32,30	10,29	0,31	1,73
Mai 18	8,92	32,68	9,16	0,27	1,55
Jun 18	13,07	33,72	8,28	0,24	1,57
Jul 18	14,81	33,56	7,65	0,31	2,36
Aug 18	16,75	33,07	7,23	0,31	3,13
Sep 18	17,36	33,44	7,53	0,31	2,38

Ein wichtiger biotischer Faktor ist der **Chlorophyllgehalt**, der die Nahrungsverfügbarkeit für die filtrierenden Austern und damit die Grundlage für gesunde Stoffwechselläufe belegt. Die optimale Chlorophyllkonzentration liegt bei 2-3 µg/l (Rogan, Cross 1996). Diese Bedingungen sind in der Deutschen Bucht etwa sechs Monate im Jahr erfüllt und ermöglichen ein erfolgreiches Wachstum (Tab. 6).

Krankheitserreger können Austern in jedem Wachstumsstadium befallen und je nach Erreger auch extreme Mortalitätsraten in Austernpopulationen auslösen. Bislang wurden im NSG BRG keine relevanten Krankheitserreger, wie *Bonamia ostreae* und *Marteilia refringens*, dokumentiert (TSIS 2019; Merk et al. *in prep*).

Zu den **Fressfeinden** gehören Seesterne, zum Beispiel *Asterias rubens*, und Krebse, zum Beispiel *Cancer pagurus* und *Homarus gammarus*. Austernstadien mit einem Schalendurchmesser von bis zu 3 cm sind durch ihre relativ weiche Schale dem Prädationsdruck besonders ausgesetzt. Die Zusammensetzung potenzieller Fressfeinde in den untersuchten Flächen des NSG BRG zeigt Abb. 22.

Auch **Konkurrenz** um Nahrung oder Siedlungssubstrat kann für die Wiederansiedlung der Europäischen Auster von Bedeutung sein. Natürlich vorhandenes Siedlungssubstrat ist bereits weitgehend durch sessile Invertebraten bewachsen. Die Gruppen rifftypischer sessiler Epifauna wurden durch Videoaufnahmen identifiziert und ernähren sich ebenfalls filtrierend: Porifera (zum Beispiel *Halichondria panicea*), Cnidaria (zum Beispiel *Alcyonium digitatum*, *Metridium senile*, *Sagartia elegans*) und Bryozoa (zum Beispiel *Flustra foliacea*) (Fritsch 2017). Aufgrund der Chlorophyllkonzentration (Tab. 6) ist nicht von einer Limitierung der Nahrungsverfügbarkeit auszugehen.

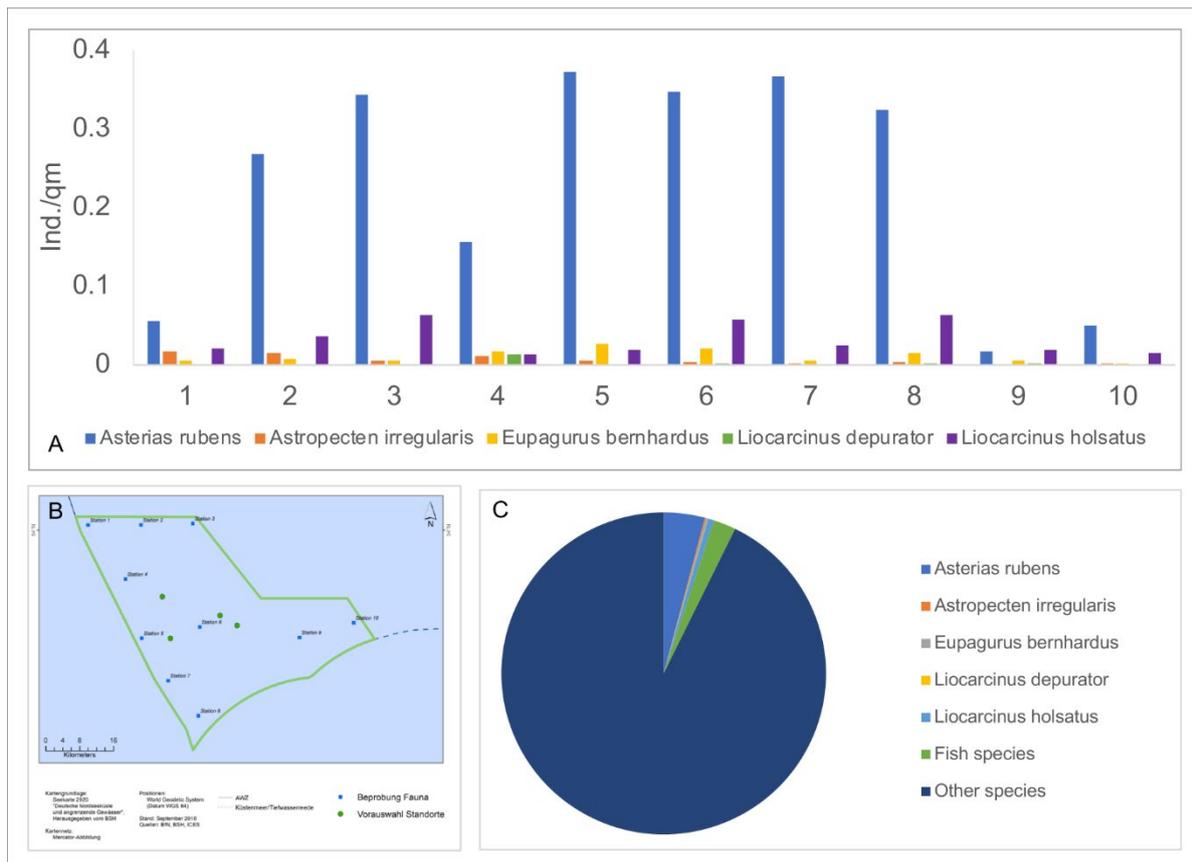


Abb. 22: Zusammenfassung der Fauna Beprobung an 10 Standorten im Borkum Riffgrund.
A) Station 1-10 (blau): Dredge Proben Bioconsult 12/2012 (IOW et al.). Original Stationsnamen: Station 1= BR-D-01, Station 2= BR-D-02, Station 3= BR-D-03, Station 4= BR-D-05, Station 6= BR-D-07, Station 6= BR-D-08, 7= BR-D-09, 8= BR-D-10, 9= BR-D-11, 10= BR-D-012). Vorauswahl Standorte zur Austernwiederansiedlung (grün).
B) Die Verteilung der Prädatoren pro Station.
C) Zusammensetzung der Makrofauna an potenziellen Wiederansiedlungsstandorten im Natura 2000-Gebiet Borkum Riffgrund (BRG). Anteile potentieller Prädatoren, zusammengefasst für 10 Stationen innerhalb des BRGs. Fischarten als potentielle Larvenräuber: *Agonus cataphractus*, *Arnoglossus latern*, *Buglossidium luteum*, *Callionymus lyra*, *Callionymus reticulatus*, *Ciliata mustela*, *Clupea harengus*, *Gadus morhua*, *Gasterosteus aculeatus*, *Hyperoplus immaculatus*, *Limanda limanda*, *Liparis liparis*, *Merlangius merlangus*, *Mullus surmuletus*, *Myoxocephalus scorpius*, *Osmerus eperlanus*, *Pholis gunellus*, *Pleuronectes platessa*, *Pomatoschistus minutus*, *P. pictus*, *Scyliorhinus canicula*, *Sprattus sprattus*, *Syngnathus rostellatus*, *Trachurus trachurus*, *Trisopterus luscus*, Andere Arten: *Alcyonidium* sp., *Alloteuthis subulate*, *Aora typica*, *Bougainvillia* sp., *Chamelea gallina*, *Clytia hemisphaerica*, *Conopeum reticulum*, *Corophium acherusicum*, *Crangon allmanni*, *C. crangon*, *Echinocardium cordatum*, *Electra pilosa*, *Flustra foliacea*, *Hydractinia echinate*, *Macropodia rostrata*, *Mactra corallina*, *Melita obtusata*, *Membranipora membranacea*, *Obelia dichotoma*, *O. geniculate*, *Ophiura albida*, *O. ophiura*, *Pandalina brevirostris*, *Pariambus typicus*, *Phaxas pellucidus*, *Philocheras trispinosus*, *Phyllodoce* sp., *Processa parva*, *Sepiola atlantica*, *Sertularia cupressina*.
 Abundanz aller Arten <1 Ind m⁻².

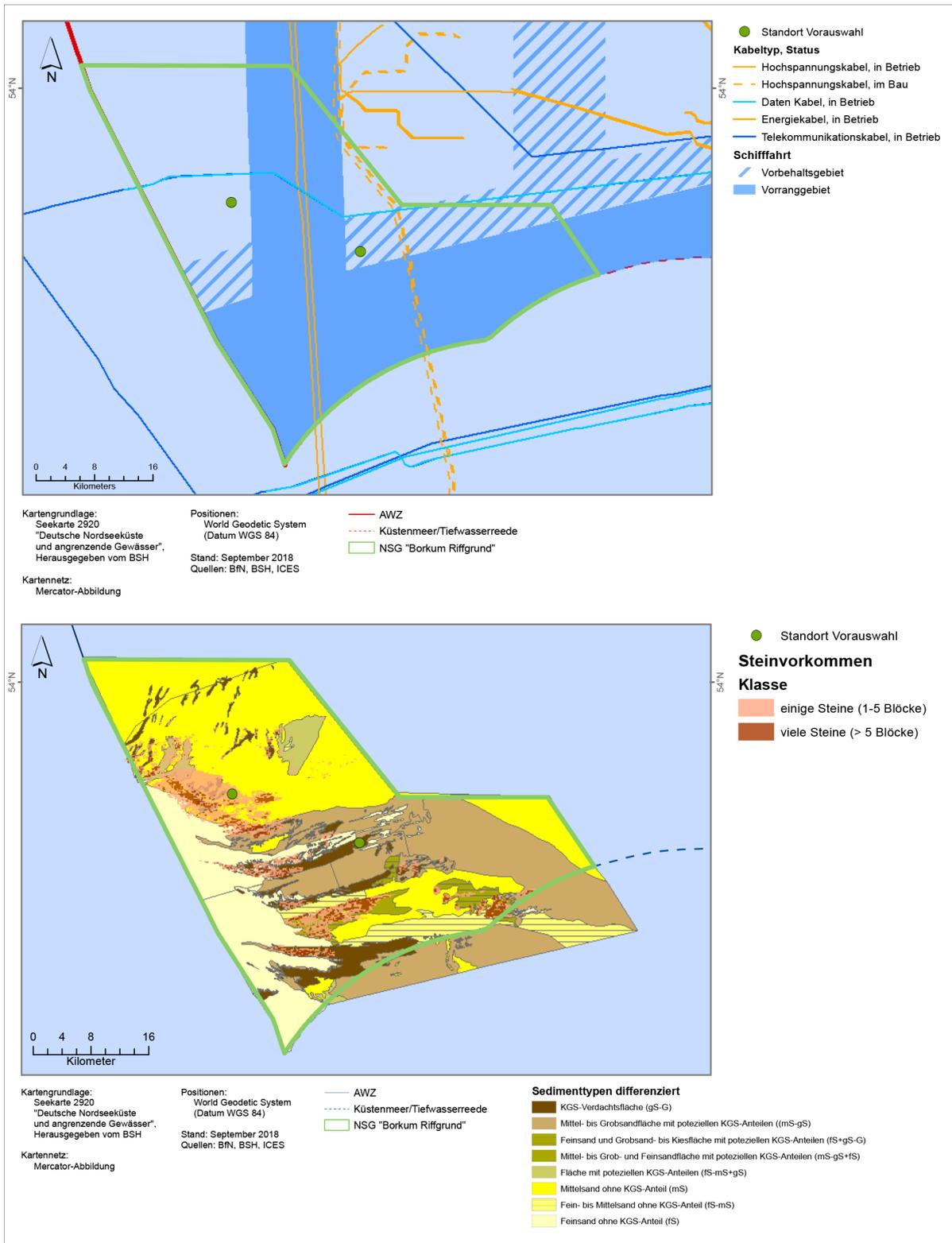


Abb. 23: Lage von zwei geeigneten Standorten für Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster im NSG Borkum Riffgrund, dargestellt in Karten zur Marinen Raumplanung (oben) und zur Sedimentverteilung (unten). Nach Berücksichtigung aller Standortfaktoren ergeben sich mehrere Standorte mit unterschiedlicher Abstufung der Eignung.

Zwischenfazit:

- Das gesamte NSG BRG liegt innerhalb der historischen Verbreitung der Europäischen Auster (Abb. 3)
- Die abiotischen Umweltbedingungen im NSG BRG eignen sich grundsätzlich für die Wiederansiedlung. Die Ergebnisse der Sedimentkartierung (Senckenberg/BSH/BfN) zeigen, dass der westliche Bereich nördlich des Verkehrstrennungsgebietes besonders geeignet ist (Abb. 24).
- Auch aus ökologischer Sicht (Nahrungsangebot, Prädation, Konkurrenz, Krankheiten) und aufgrund der zu erwartenden Larvendrift (Nettoströmungsrichtung in diesem Bereich von WSW nach ONO) empfiehlt sich die Errichtung des Pilotriffs im WSW-Bereich des NSG BRG. Dies ermöglicht eine potentiell hohe Retention der Larven im Schutzgebiet und damit die Möglichkeit weitere Bereiche im NSG BRG für eine natürliche Ansiedlung vorzubereiten und auszuweisen.
- Die in Zusammenarbeit mit AWI, BSH, BfN, Senckenberg am Meer und BioConsult erstellten Karten des NSG BRG integrieren die historische Verbreitung von *O. edulis*, Bathymetrie, Sedimentologie und Nutzungsbelastungen (Abb. 3, Abb. 18, Abb. 19, Abb. 20). Sie dienen als Grundlage für die Standortwahl im NSG BRG und ermöglichen die Empfehlung geeigneter Standorte.
- Nach der Analyse sämtlicher vorhandener Nutzungen im NSG BRG und deren entsprechender Berücksichtigung als Ausschlussgebiete erweist sich das NW-Gebiet als geeignet.
- Die vorherrschende Tiefe im NSG BRG befindet sich innerhalb des ökologischen Toleranzbereichs der Art und stellt daher nur ein logistisches Kriterium dar. Zur Durchführung von wissenschaftlichen Begleituntersuchungen und Monitoringaufgaben sollte ein Pilotriff in einer technisch/taucherisch umsetzbaren Tiefe angesiedelt werden (≤ 30 m Wassertiefe).
- Die UW-Videoaufnahmen in diesem Gebiet erfassen auch die Steinfelder und zeigen einen diversen Bewuchs. Die Errichtung des Pilotriffs kann an diese Bereiche heranreichen, sollte die natürlichen Steinvorkommen aber nicht überdecken. Die Sedimente nordöstlich der Steinvorkommen eignen sich gut, dort wird ein Effekt auf bereits bestehende Lebensgemeinschaften auf den Steinfeldern vermieden.
- Nach Berücksichtigung aller Standortfaktoren ergeben sich mehrere Standorte mit unterschiedlicher Abstufung der Eignung (Abb. 24).

3.3.3 Auswahl von geeigneten Spenderpopulationen

Die Auswahl gesunder und geeigneter Saataustern sowie die Identifizierung geeigneter Technologien für die praktische Umsetzung ist entscheidend für den nachhaltigen und langfristigen Erfolg von Wiederansiedlungsmaßnahmen. Die Auswahl und Bewertung geeigneter Spenderpopulationen und Produktionsmethoden erfolgten einerseits für die Freilandexperimente der Voruntersuchung sowie andererseits bereits für das weiterführende Hauptvorhaben und für zukünftige, langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen.

Zunächst wurde festgelegt, aus welchen Zuchtbetrieben geeignete Austern bezogen werden können. Hierbei wurden die ICES-Richtlinien „Shellfish transfer between sites“ (ICES 2011) und die Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al. 2019) berücksichtigt, um die Einführung gebietsfremder, potentiell invasiver Arten und Krankheitserreger auszuschließen.

Bestehende Empfehlungen aus der Machbarkeitsstudie (Zuchtbetriebe in Dänemark und Schweden, Gercken, Schmidt (2014)) wurden auch im Hinblick auf eine langfristige, genetische Variabilität der Population entsprechend berücksichtigt und an aktuelle Forschungsergebnisse (zum Beispiel Status Bonamia-Zertifizierung, Status Zuchtbetriebe) angepasst.

Berücksichtigung von Krankheitserregern und Parasiten

Bonamiosis und Marteiliosis sind derzeit die Hauptursache für eine hohe Mortalität der Europäischen Auster in den noch vorhandenen europäischen Populationen (Laing et al. 2006; Gercken, Schmidt 2014; Sas et al. 2020). Bisher wurden in Europa zwei Arten der Gattung *Bonamia* als pathogen eingestuft: *Bonamia ostreae* und *Bonamia exitiosa* (Helmer et al. *in press*). Innerhalb der Gattung *Marteilia* ist bisher nur *Marteilia refringens* bekannt. Alle bekannten Krankheitserreger der Europäischen Auster wurden im Rahmen einer intensiven Literaturrecherche (wissenschaftliche Artikel, graue Literatur in verschiedenen Sprachen: Bücher, Buchkapitel, Konferenzbeiträge, Projektberichte) identifiziert (Tab. 7, Colsoul et al. 2020a) und als Ausschlusskriterien für die Auswahl von Zuchttieren und Saataustern festgelegt. Die Liste enthält Informationen zur Identifizierung und geographischen Verteilung, zur Infektionsdauer und pathologischen Auswirkungen der Krankheitserreger, zum Lebenszyklus (soweit bekannt) und zu Nachweisverfahren. Meldepflichtige Krankheiten und Krankheitserreger sind mit Informationen zu den entsprechenden nationalen Referenzlaboratorien für Muschelkrankheiten aufgeführt (Colsoul et al. 2020b)

Neue Erkenntnisse zur Verbreitung der meldepflichtigen europäischen Krankheitserreger (*B. ostreae*, *B. exitiosa*, *M. refringens*, *Mikrocytos mackini*) wurden kontinuierlich eingearbeitet, um geeignete, gesunde Spenderpopulationen auszuwählen. Die Informationen und Schlussfolgerungen aus der Machbarkeitsstudie (Gercken, Schmidt 2014) wurden damit neu bewertet und ergänzt (Colsoul et al. 2020a).

Die Spenderpopulationen, die auf Grundlage dieser Informationen im Rahmen eines Restaurierungsprogramms in der deutschen Nordsee eingesetzt werden könnten, sind:

- Populationen aus Norwegen, die frei von anzeigepflichtigen Krankheitserregern sind, vorbehaltlich eines Gesundheitszertifikates und einer Quarantäne.
- Populationen ausgewählter Gebiete in Schottland, die frei von anzeigepflichtigen Krankheitserregern sind, vorbehaltlich eines Gesundheitszertifikates und einer Quarantäne.
- Populationen ausgewählter Gebiete in Frankreich, die frei von anzeigepflichtigen Krankheitserregern sind, vorbehaltlich eines Gesundheitszertifikates und einer Quarantäne.

Populationen, aus einer irischen Selektivzucht in Rossmore, Hafen von Cork, pathogenfrei und resistent gegen Bonamiosis, vorbehaltlich eines Gesundheitszertifikates und einer Quarantäne.

Tab. 7: Krankheitserreger der Europäischen Auster *O. edulis* (Colsoul et al. 2020a).

Gruppe	Art	Effekt	Verbreitung	Nachweis
Algae	<i>Gyrodinium aureolum</i>	Nekrose des zentralen Bereichs der Verdauungsdrüse	N.N.	Makroskopie
Bacteria	<i>Nocardia crassostreae</i>	Mortalität (Nachweis in allen Geweben)	Kanada, Europa (Niederlande)	Histologie PCR ISH
Bacteria	<i>Vibrio alginolyticus</i>	Hohe Larvenmortalität (bis 100%)	N.N.	PCR
Bacteria	<i>Vibrio anguillarum</i>	Larvenmortalität	Europa (Spanien)	PCR
Bacteria	<i>Vibrio coralliilyticus</i>	Larvenmortalität	USA, Neuseeland, Europa (Frankreich)	PCR
Bacteria	<i>Vibrio neptunius</i>	Hohe Larvenmortalität (>98%)	Europa (Spanien)	PCR
Bacteria	<i>Vibrio ostreicida</i>	Hohe Larvenmortalität (86.4-98.5%)	Europa (Spanien)	PCR
Bacteria	<i>Vibrio tubiashi</i>	Larvenmortalität (tödliche Exotoxine (für Larven), bakterielle Nekrose)	USA, Europa (Spanien)	PCR
Copepod	<i>Herrmannella dugganif</i>	Kiemen Verkleinerung (Nachweis in der Schalenhöhle)	Europa (Irland)	Makroskopie Histologie
Copepod	<i>Mytilicola intestinalis</i>	Minimale Auswirkungen auf den Wirt (Nachweis im Darmlumen)	USA, Japan, Europa	Makroskopie Histologie
Fungus	<i>Ostracoblabe implexa</i>	Anomalien der Schale	Indien, Kanada (Nova Scotia), Europa	Makroskopie Histologie
Protozoan	<i>Bonamia exitiosa</i>	Mortalität (Nachweis in Hämocyten; alle Gewebe können befallen werden)	Australien, Neuseeland, Tasmanien, Europa (Kroatien, Frankreich, Italien, Portugal, Spanien, Tunesien, UK)	Histologie PCR ISH Elektronenmikroskopie
Protozoan	<i>Bonamia ostreae</i>	Mortalität (Nachweis in Hämocyten; alle Gewebe können befallen werden; Larven können infiziert werden)	USA, Europa (Belgien, Dänemark, England, Frankreich, Italien, Niederlande, Nordirland, Spanien, Wales)	Histologie PCR ISH Elektronenmikroskopie

Protozoan	<i>Haplosporidium armoricatum</i>	Mortalität (vereinzelt – Nachweis im Bindegewebe)	Europa (Frankreich, Niederlande, Spanien)	Histologie
Protozoan	<i>Hexamita inflata</i>	Mortalität (Nachweis im Bindegewebe)	USA, Kanada, Europa	Makroskopie
Protozoan	<i>Marteilia refringens</i>	Mortalität (extrazellulärer Parasit der Verdauungsdrüse)	Europa (Albanien, Kroatien, Frankreich, Griechenland, Italien, Marokko, Portugal, Spanien, Schweden, Tunesien, UK)	Histologie PCR ISH Elektronenmikroskopie
Protozoan	<i>Mikrocystos mackini</i>	Mortalität (intrazellulärer Parasit in den Bindegewebszellen)	USA, kanadan (Westküste)	Histologie PCR ISH Elektronenmikroskopie
Protozoan	<i>Perkinsus mediterraneus</i>	Hohe Mortalität	Spanien (Balearen)	Histologie Elektronenmikroskopie
Protozoan	<i>Pseudoklossia</i> (Gattung)	Parasit, Nachweis in der Niere	Frankreich	Histologie Elektronenmikroskopie
Virus	<i>Herpesviridae</i> (Familie)	Mortalität bei Juvenilen und Jungstadien (vereinzelt – Nachweis im Bindegewebe)	USA, Australien, Neuseeland, Europa	Histologie PCR ISH Elektronenmikroskopie
Virus	<i>Papovaviridae</i> (Familie)	Nachweis im Bindegewebe, Gametozysten	USA, Australien, Korea, Japan, Europa (Frankreich)	Histologie Elektronenmikroskopie

Berücksichtigung der genetischen Vielfalt

Der Erhalt einer hohen genetischen Vielfalt ist für nachhaltig erfolgreiche Wiederansiedlungsmaßnahmen von grundlegender Bedeutung und muss entsprechend berücksichtigt werden (Lallias et al. 2010). Obwohl die geographische Herkunft aufgrund der genetischen Nähe der europäischen Populationen von untergeordneter Bedeutung ist, beeinflusst die angewandte Strategie bei einer langfristigen Wiederherstellung die genetische Vielfalt (Gercken, Schmidt 2014).

Man unterscheidet drei Hauptstrategien zur Stärkung und Wiederherstellung von Austernbeständen (Lallias et al. 2010): Translokation von adulten Tieren, Aussaat von Jungstadien und Freisetzung von Larven.

Für die Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee ist die zweite Strategie zu bevorzugen. Gemäß der Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al. 2019) sollen Translokationen ausgewachsener Austern aus Wildbeständen aufgrund des erhöhten Drucks auf die bereits gefährdeten Wildpopulationen sowie aufgrund des Risikos der Einschleppung invasiver Arten und Krankheitserreger nicht durchgeführt werden. Die Produktion und der Import junger Saataustern aus kontrollierten Austernzuchtanlagen zur Aussaat von

Jungstadien ist jedoch ein geeigneter und ökologisch sicherer Weg für die Wiedereinführung der Europäischen Auster in die Deutsche Bucht. Die Freisetzung von Larven hingegen ist eher für kleinräumige Meeresgebiete, wie Fjorde (zum Beispiel Norwegen), Sea Loughs (zum Beispiel Schottland) oder geographisch abgegrenzte Buchtsysteme (zum Beispiel England, Frankreich) geeignet.

Auch die Produktionsmethode der Saataustern beeinflusst die genetische Vielfalt (Lallias et al. 2010; Colsoul et al. 2020a; Pogoda et al. 2020a):

- Bei der Produktion in Austernzuchtanlagen (geschlossene Systeme) muss der Elterntierbestand regelmäßig so ausgewählt werden, dass der Erhalt der genetischen Vielfalt gewährleistet ist.
- Die großflächige Produktion in „Breed Polls“ (zum Beispiel in Norwegen) und in „Breeding Ponds“ (zum Beispiel in Irland) stellt eine Alternative zur Zuchtanlage dar. Diese Techniken gewährleisten im Idealfall eine höhere genetische Vielfalt.
- In Bonamia-freien Gebieten sind die Produktionstechniken in „Breed Polls“ und in „Breeding Ponds“ die bevorzugten Technologien; in Gebieten, in denen Bonamiosis vorhanden ist, ist auch die Verwendung resistenter/toleranter Stämme aus „Breeding Ponds“ geeignet.

Identifikation von Saatausternproduzenten und Zuchtbetrieben

Die Verfügbarkeit von Saataustern ist eine entscheidende Grundlage für die Umsetzung von Wiederansiedlungsmaßnahmen. Zuchtbetriebe, die Europäische Austern produzieren, sind in (Colsoul et al. 2020a) zusammengefasst (Tab. 8).

Von insgesamt 15 potenziellen Lieferanten für *Ostrea edulis* konnten 2018 nur drei Lieferanten (*Hatchery Scalpro AS*, Norwegen, *Hatchery Ostrea Aquaculture*, Schweden, *Ostrea Marinove SCEA*, Frankreich) Saataustern ohne meldepflichtige Krankheitserreger anbieten, die wie vorausgesetzt ausschließlich in gefiltertem Meerwasser gehalten wurden. Jedoch wurde *O. edulis* in den Jahren 2018 und 2019 nur in sehr begrenztem Umfang und offensichtlich mit technischen Schwierigkeiten produziert. Insgesamt wurde festgestellt, dass der erfolgreiche Bezug von Saataustern in Europa nicht ausreichend gewährleistet ist und damit einen limitierenden Faktor für zukünftige Wiederansiedlungsvorhaben darstellt.

Als konkrete Lösungsstrategie erfolgte die Planung einer Zuchtanlage für eine eigene Saatausternproduktion, die im Rahmen des Projektes PROCEED umgesetzt wird. PROCEED wird durch das BfN mit Mitteln des BMU im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt über einen Zeitraum von 6 Jahren gefördert und startete am 01.11.2018. Die erste Produktion geeigneter Saataustern für die Ausbringung im Rahmen von Restaurationsvorhaben ist für das Jahr 2020 vorgesehen.

Tab. 8: Zuchtbetriebe der Europäischen Auster *O. edulis* (Colsoul et al. 2020a).

Land	Name	Produktion	Status	<i>Bonamia sp. frei</i>
Kanada	Dalhousie University Aquaculture Center	Hatchery	aktiv? Forschung	unsicher
Dänemark	Dansk Skaldyrcenter	Hatchery	aktiv Forschung	unsicher
Dänemark	Venø Fish Farm AS	Breeding-Pond	aktiv Aquakultur	unsicher
England, UK	Seasalter (Walney) Ltd	Hatchery	aktiv Aquakultur	ja
England, UK	Seasalter Shellfish (Whitstable) Ltd	Hatchery	inaktiv? Aquakultur	unsicher
Frankreich	CRC Bretagne Nord Shellfish Technical Centre	Hatchery	aktiv Wiederansiedlung	unsicher
Frankreich	Ferme Marine de l'île d'Arun EARL	Hatchery	aktiv Aquakultur	unsicher
Frankreich	IFREMER Argenton	Hatchery	active research	unsicher
Frankreich	Novostrea Bretagne SAS	Hatchery	aktiv Aquakultur	unsicher
Frankreich	Ostrea Marinove SCEA	Hatchery	aktiv Aquakultur	ja
Deutschland	AWI Helgoland Oyster Hatchery	Hatchery	im Aufbau Forschung	unsicher
Irland	Atlantic Shellfish Ltd	Breeding-Pond	aktiv Aquakultur	unsicher
Irland	Cartron Point Shellfish Ltd	Hatchery & Breeding-Pond	aktiv Aquakultur	unsicher
Irland	Tralee Bay Hatchery Co Ltd	Hatchery	aktiv Aquakultur	unsicher
Niederlande	NIOZ Experimental Hatchery	Hatchery	aktiv Forschung	ja
Niederlande	Roem van Yerseke BV	Hatchery	inaktiv? Aquakultur	unsicher
Niederlande	Stichting Zeeschelp	Hatchery	inaktiv Aquakultur	unsicher
Norwegen	Bømlo Skjell AS	breed-poll	aktiv Aquakultur	ja

Norwegen	Scalpro AS	hatchery	inaktive Aquakultur	Yes
Norwegen	Storestraumen Østers AS	Breed-Poll	aktiv Aquakultur	yes
Portugal	Marvellous Wave SA	Hatchery	aktiv Aquakultur	unsicher
Schottland, UK	FAI Farms Ardtoe Marine Research Facility	Hatchery	aktiv? Aquakultur	unsicher
Schottland, UK	Orkney Shellfish Hatchery Ltd	hatchery	aktiv Aquakultur	unsicher
Spanien	A Ostreira SL	hatchery	aktiv Aquakultur	ja
Spanien	Centro de Cultivos Marinos de Ribadeo	hatchery	aktiv?	unsicher
Schweden	Ostrea Aquaculture	hatchery	aktiv Aquakultur	ja

Zwischenfazit:

- Spenderpopulationen für eine nachhaltige Versorgung der langfristig geplanten Wiederansiedlungsmaßnahmen müssen frei von Krankheiten, wie Bonamiosis und Marteiliosis, sein.
- Translokationen ausgewachsener Austern aus Wildbeständen sollten aufgrund des erhöhten Drucks auf die bereits gefährdeten Wildpopulationen sowie aufgrund des Risikos der Einschleppung invasiver Arten und Krankheitserreger nicht durchgeführt werden.
- Für die Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der Nordsee ist die Aussaat von gesunden Jungstadien zu bevorzugen.
- Die erforderliche Verfügbarkeit von Saataustern ist in Europa nicht ausreichend gewährleistet und stellt damit einen limitierenden Faktor für zukünftige Wiederansiedlungsvorhaben dar.
- Auf Helgoland erfolgt seit November 2018 die Errichtung einer Austernzuchtanlage im Rahmen des Projekts PROCEED, gefördert durch das Bundesprogramm Biologische Vielfalt.

3.3.4 Auswahl von geeignetem Ansiedlungssubstrat

Im Rahmen einer nachhaltigen Wiederansiedlung der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee werden zunächst vor allem juvenile Saataustern ausgebracht, die nach erfolgreichem Wachstum, bereits nach 1-2 Jahren geschlechtsreif werden und sich fortpflanzen (Merk et al. 2020). Die adulten Weibchen geben planktische Larven ins Freiwasser ab (Korringa 1952; Bayne 2017). Für den weiteren Verlauf der Wiederansiedlungsmaßnahmen ist die erfolgreiche Ansiedlung der Larven auf geeignetem Substrat von grundlegender Bedeutung. Gegen Ende ihrer pelagisch-planktischen Lebensphase suchen die freischwimmenden Austernlarven aktiv nach attraktivem Ansiedlungsgrund. Ist kein geeignetes Ansiedlungssubstrat vorhanden, sterben die Larven ab.

Auch in den Zuchtbetrieben müssen geeignete und attraktive Substrate eingesetzt werden, um ein optimales Ansiedlungsergebnis zu erzielen und damit einen hohen Produktionserfolg zu gewährleisten.

Die Auswahl und Bereitstellung bestmöglicher Ansiedlungssubstrate ist also von grundlegender Bedeutung und erfolgte mit dem Ziel für beide Anwendungsbereiche (Freiland und Zucht) geeignete und absolut umweltverträgliche Substrate zu definieren. Entsprechend wurden verschiedene natürliche, naturnahe und biologisch abbaubare Substrattypen, sowohl im Labor wie auch im Feld auf ihre Eignung untersucht. Es wurde geprüft, inwieweit der Untergrund an den ausgewählten Standorten langfristig für die nachhaltige Wiederansiedlung der Europäischen Auster mit geeignetem Substrat ergänzt werden muss. Es wurden mögliche Bezugsquellen für geeignetes Substrat identifiziert, sowie notwendige Vorbehandlungen geprüft, um die Einführung gebietsfremder Organismen und Krankheitserreger auszuschließen.

Laboruntersuchungen

Die Ansiedlungsexperimente zur Untersuchung der Substratpräferenz von *O. edulis* Larven wurden im Juli 2017 in den Labor- und Hälterungseinrichtungen des IFREMER in Argenton, Frankreich durchgeführt (Colsoul et al. 2020b). Zunächst wurden drei Gruppen von Ansiedlungssubstraten identifiziert: 1. Muschelschalen verschiedener Arten, 2. anorganische Substrate (Gesteine und Mineralienprodukte) und 3. natürliche Sedimente. Für jede der drei Gruppen wurden jeweils 3 - 4 spezifische Substrattypen untersucht. (Tab. 9, Abb. 25).

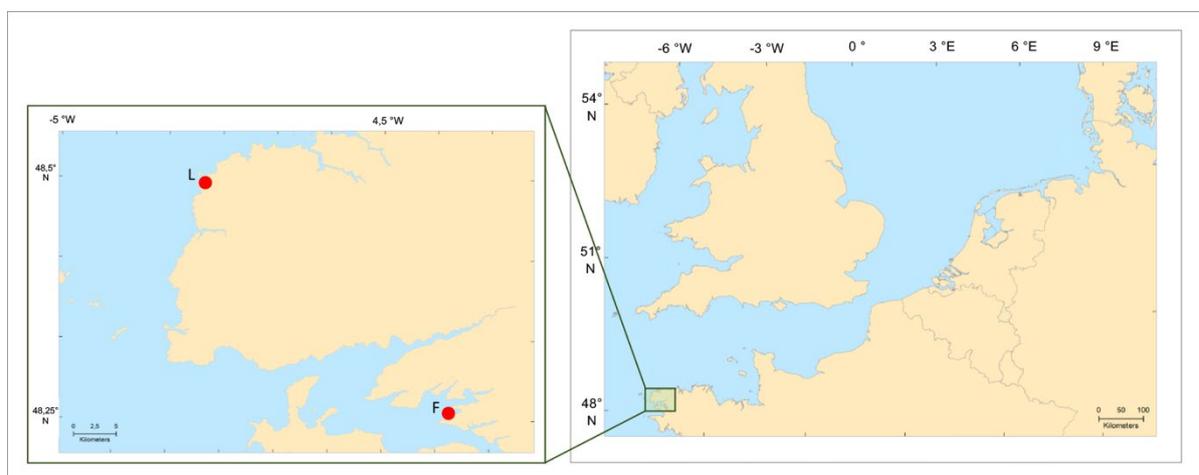


Abb. 24: Standorte, an denen die Experimente zur Substratpräferenz von *O. edulis* Larven durchgeführt wurden (L = Laboruntersuchungen, F = Felduntersuchungen).

O. edulis Larven wurden von einem kommerziellen Aquakulturbetrieb für Muscheln (Ferme Marine de l'île d'Arin EARL, Bretagne, Frankreich) bezogen und stammen von Elterntieren aus einer im natürlichen Brutzyklus konditionierten Wildpopulation in der Bucht von Brest. Die Experimente wurden in Versuchsbecken mit sterilem Meerwasser und den zu untersuchenden Substraten durchgeführt (Tab. 9). Die freischwimmenden Larven wurden in hohen Konzentrationen zur Ansiedlung in die Versuchsbecken gegeben und täglich gefüttert. Parameter wie Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Salzgehalt sowie die Nahrungskonzentration in den Becken wurden täglich untersucht. Die Ansiedlungsexperimente wurden beendet, sobald keine schwimmenden Larven mehr beobachtet wurden und die Metamorphose abgeschlossen war. Jeder Substrattyp wurde aus dem Wasser entfernt, mit Süßwasser gespült, getrocknet und durch manuelle Zählung mit einem Binokular ausgewertet (Abb. 26).

Im Juli 2018 wurde ein zusätzliches Ansiedlungsexperiment zur Besiedlung von Sandsteinsriffkörpern (Design: Reef Design Lab®, Australien, 3D-Drucktechnik- Boskalis Nederland BV) durchgeführt (Aufbau siehe Abb. 27, (Colsoul et al. 2020b)). Das Design der Riffe wurde mit Alex Goad (Reef Design Lab®, Australien) in Kooperation weiterentwickelt und für die Anwendung im Experiment zur Verfügung gestellt. Die Experimente wurde mit *O. edulis* Larven in der Zuchtanlage Novostrea Bretagne SAS, Sarzeau (Bretagne, Frankreich) durchgeführt. Zwei Sandsteinsriffe wurden dafür in je einem mit Meerwasser gefüllten 500 Liter-Tank platziert. Anschließend wurden in der Novostrea Zuchtanlage produzierte Larven in die Tanks überführt, im Durchflusssystem gehalten und gefüttert. Konzentration und Größe der Larven wurden wöchentlich an Unterproben bestimmt. Die abiotischen Parameter (s.o.) sowie die Nahrungskonzentration in den Becken wurden täglich untersucht. Die Ansiedlungsexperimente der Larven wurden beendet, sobald keine schwimmenden Larven mehr beobachtet wurden und die Metamorphose abgeschlossen war. Die Ansiedlungsrate wurde durch UW-Fotodokumentation ausgewertet. Die besiedelten Riffkörper wurden zur späteren Ausbringung im Rahmen von Wiederansiedlungsvorhaben weiter gehalten.

Tab. 9: Überblick der ausgewählten und getesteten Substrate zum Ansiedlungsverhalten von *O. edulis* Larven.

Laboruntersuchungen			
Muschelschalen	Anorganische Substrate	Natürliche Sedimente	
Pazifische Auster <i>Crassostrea gigas</i>	Ton	Feinkies aus einer Tiefe von 28 m	
Miesmuschel <i>Mytilus edulis</i>	Elektro-Mineral-Akkretion (EMA)	Grober Sand aus einer Tiefe von 27 m	
Europäische Auster <i>Ostrea edulis</i>	Granit	Mittel-/Feinsand aus einer Tiefe von 27,5 m	
Jakobsmuschel <i>Pecten maximus</i>	Kalk		
Felduntersuchungen			
Muschelschalen	Anorganische Substrate	Pflanzliche Substrate	Gekalkte Oberflächen

Pazifische Auster <i>Crassostrea gigas</i>	Ton	Wacholder <i>Juniperus communis</i>	Muschelschalen (<i>C. gigas</i> , <i>M. edulis</i> , <i>O. edulis</i>)
Miesmuschel <i>Mytilus edulis</i>	Kalk	Gemeine Fichte <i>Picea abies</i>	Pflanzliche Substrate (<i>P. edulis</i> , <i>P. abies</i>)
Europäische Auster <i>Ostrea edulis</i>		Bambus <i>Phyllostachys edulis</i>	
Jakobsmuschel <i>Pecten maximus</i>			

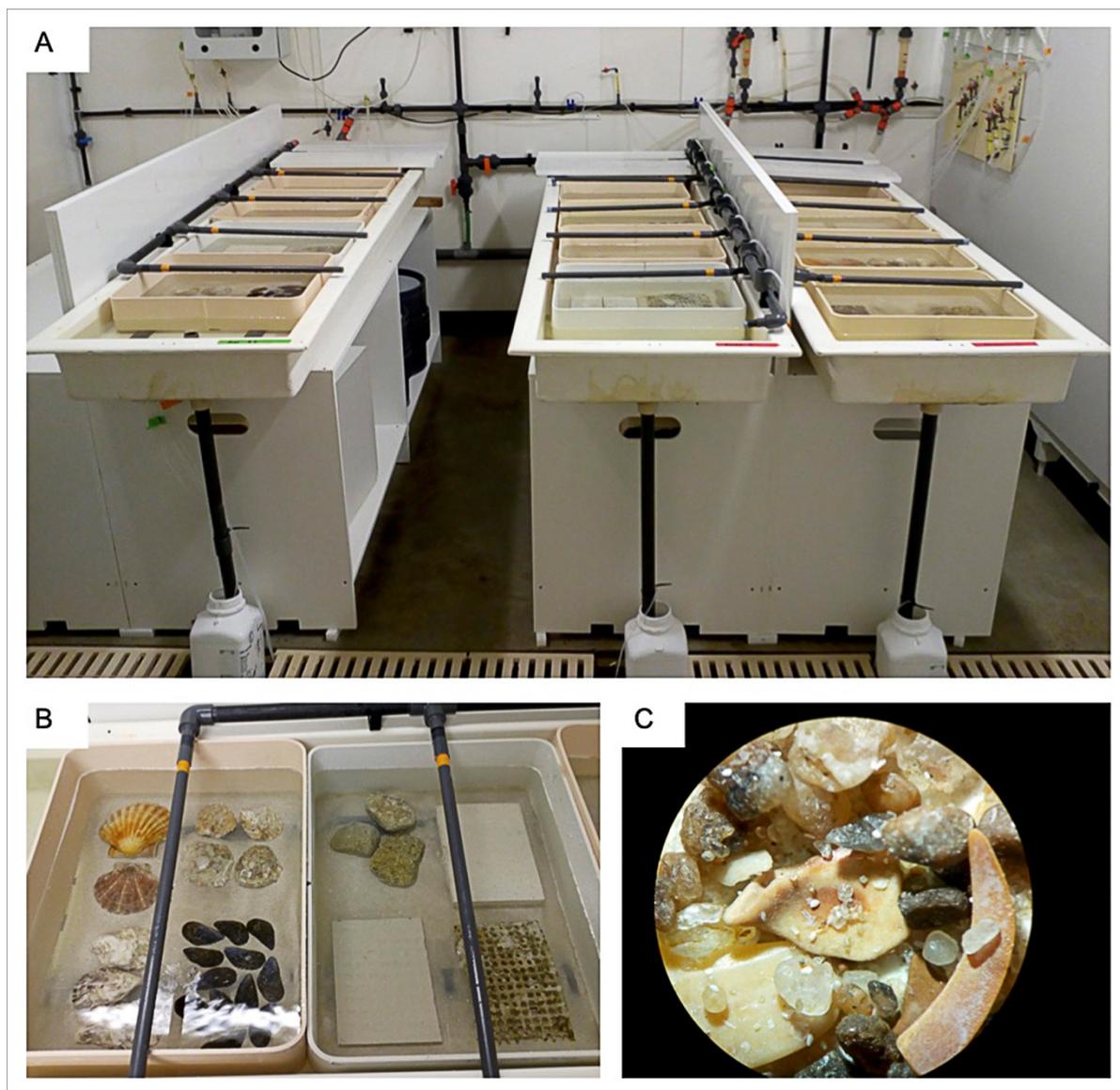


Abb. 25: **A)** Versuchsaufbau im Labor zur Untersuchung der Substratpräferenz von Larven der Europäischen Auster. **B)** links: Muschelschalen der Arten *Pecten maximus*, *Ostrea edulis*, *Crassostrea gigas* und *Mytilus edulis*, rechts: Anorganische Substrate wie Ton und EMA Gitterplatten; **C)** Ansiedlungsversuche auf natürlichen Sedimenten aus der deutschen Nordsee im NSG Borkum Riffgrund (Fotos: AWI/B. Colsoul).

Ergebnisse der Laboruntersuchungen und Anwendungsbezüge

Im Laborexperiment bevorzugten die *O. edulis* Larven Miesmuschelschalen und *O. edulis*-Schalen als Ansiedlungssubstrat. Sie wählten vermehrt die Schaleninnenseite zur Ansiedlung (Colsoul et al. 2020b). Die Ressourcen für Muschelschill sind jedoch begrenzt, teuer und arbeitsaufwändig (Reinigungs- und Desinfektionsschritte).

Bei den anorganischen Substraten bevorzugten *O. edulis* Larven Kalk und Ton mit jeweils hohen Ansiedlungsraten. Diese Ergebnisse bedeuten, dass Ton und Kalk als Ansiedlungssubstrat in der Zucht gute Alternativen zu Muschelschill darstellen. Kalk hat zudem den Vorteil, dass er auf verschiedene (natürliche) Trägermaterialien aufgetragen werden kann, wie zum Beispiel auf Terrakotta. Auf den drei untersuchten natürlichen Sedimenten zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Ansiedlungspräferenz. Tatsächlich scheint die Korngröße wenig Einfluss auf die Ansiedlung zu haben, jedoch aber die Zusammensetzung des Sediments. Die *O. edulis* Larven bevorzugten Sediment mit höherem Muschelschillanteil und siedelten vermehrt auf Schillpartikeln (Abb. 25 B).

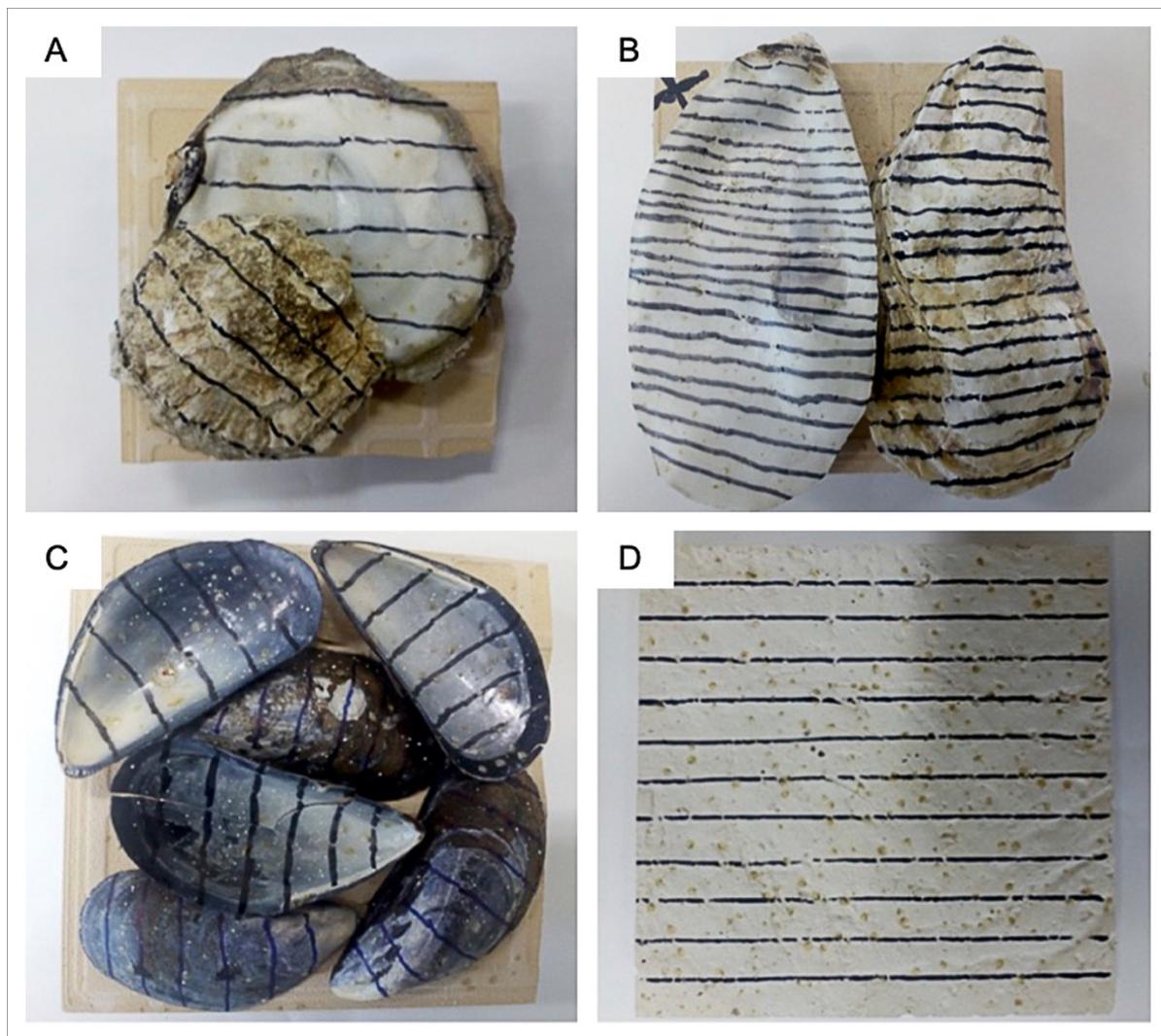


Abb. 26: Auswertung der Laboruntersuchungen: Ansiedlung von Larven auf verschiedenen Substraten: **A)** Schalen der Europäischen Auster (*O. edulis*); **B)** der Pazifischen Auster (*C. gigas*); **C)** Miesmuschelschalen (*M. edulis*) und **D)** Ton. Die jeweiligen Substrate wurden zur Analyse in gleiche Abschnitte unterteilt um den Besatz pro Fläche zu erfassen (Fotos: AWI/B. Colsoul).

Die Sandsteinriffe zeigten auf allen Flächen und Schichten der beiden Riffe eine hohe Besiedlung durch Austernlarven (Abb. 27). Wie schon im vorangegangenen Laborexperiment zur Ansiedlung auf Muschelschalen gezeigt, siedelten sich die *O. edulis* Larven vermehrt auf den nach unten gewandten Flächen (Riffunterseiten) an. Die Rate der Larvenansiedlung auf den Riffkörpern, im Verhältnis zu Tankwänden und -böden des Beckens, liegt bei 100%. Die Larven siedelten also ausschließlich auf den Sandsteinriffkörpern. Dieses Ergebnis belegt die Eignung dieses künstlichen aber naturnahen Substrattyps. Die Überlebensrate wird ebenfalls auf 100% geschätzt.

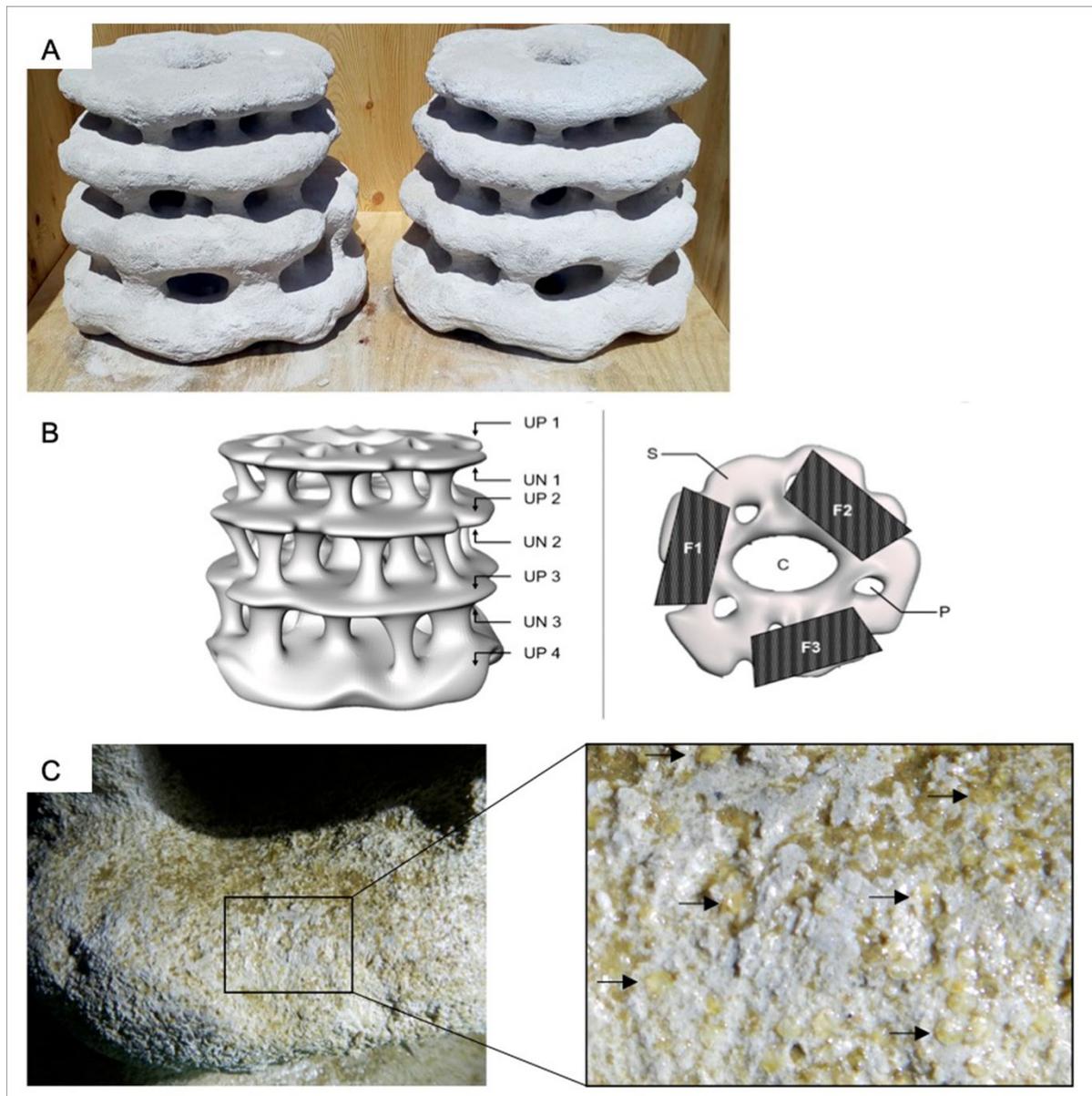


Abb. 27: Darstellung und besiedelte Flächen der im Laborexperiment getesteten Sandsteinriffkörper. **A)** Die zwei getesteten Sandsteinriffkörper vor dem Ansiedlungsversuch im Labor **B)** Schematische Darstellung eines Riffprofils mit den Schichten 1-4. UP: Oberseite; UN: Unterseite; rechts: Horizontale Ansicht einer Ober- oder Unterseite. C: hohle Mitte des Riffs; P: Loch, das den Ort der Säulen zwischen den Schichten darstellt; S: Mögliches Siedlungsgebiet; F1-F3: Drei Fotos pro Schicht, einschließlich Gebiete ohne Siedlungsgebiet (aus (Colsoul et al. 2020b), **C)** Übersicht der besiedelten Oberfläche der Sandsteinriffe mit Detailaufnahme von erfolgreich festsetzenden *O. edulis* Saataustern (siehe schwarze Pfeile, Foto: AWI/B. Colsoul).

Die Erkenntnisse der Laborexperimente können in der Saatausternproduktion (Zuchtanlage) bei den Methoden Spat-on-Shell (Jungaustern auf Schalenmaterial) oder Spat-on-Reef (Jungaustern auf künstlichen Riffkörpern) umgesetzt werden (Colsoul, Pogoda 2019; Colsoul et al. 2020b). Die Sandsteinriffkörper sind künstliche aber naturnahe und dreidimensionale Substrate mit begrenzter Haltbarkeit. Entsprechend können sie in frühen Wiederansiedlungsphasen von großer Bedeutung sein, ohne den Meeresgrund dauerhaft durch künstliche Bauelemente zu verändern.

Felduntersuchungen

Die Ansiedlungsexperimente zur Untersuchung der Substratpräferenz von *O. edulis* Larven im Feld wurden in Kooperation mit dem französischen Forschungsinstitut IFREMER in der Bucht von Brest durchgeführt (Abb. 24). Dort gibt es noch natürliche Vorkommen der Europäischen Auster. Die Versuche wurden im Juli 2018 zu Beginn der Ausschwärmphase der *O. edulis* Larven (swarming) gestartet, die durch eine erhöhte Larvenkonzentration im Wasser festgestellt wurde. Die zu untersuchenden Substrate (Tab. 9) wurden in drei Gestellen (50 cm x 50 cm) ca. 10 cm über dem Meeresboden installiert (Abb. 28). Jedes Gestell hatte je 13 Aufnahmen zur horizontalen Anbringung der Substrate (je 9,5 cm x 9,5 cm). Die jeweiligen Substrate wurden entweder auf Tafeln aufgeklebt oder in 9,5 cm x 9,5 cm große Stücke geschnitten. Umweltparameter wie Temperatur, Salzgehalt und Trübung wurden täglich untersucht. Das Feldexperiment wurde über 14 Tage durchgeführt. Danach wurden die untersuchten Substrate geborgen, mit Süßwasser gespült, getrocknet und durch manuelle Zählung mit einem Binokular ausgewertet.

Ergebnisse der Felduntersuchungen und Anwendungsbezüge

Im Laborexperiment bevorzugten die *O. edulis* Larven neben organischem Material wie Muschelschill auch anorganisches Material wie Ton und Kalk als Ansiedlungssubstrat. Holz und Bambus sind nicht geeignet. Im Vergleich zu den Laboruntersuchungen zeigten sich die höchsten Ansiedlungsraten auf Ton. Daraus ergeben sich weitere innovative und umweltfreundliche Nutzungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel der Einsatz von 3D Strukturen und Riffkörpern aus Ton. Zusätzlich wurde eine Auswahl an Substraten mit Kalk beschichtet, um eine Präferenz für besondere Substratformen zu testen. Im Feldversuch konnte kein Unterschied zwischen gekalkten Tafeln und gekalkten Muschelschalen festgestellt werden: die Form der gekalkten Oberfläche scheint unter bestimmten Bedingungen vernachlässigbar zu sein.

Die Erkenntnisse der Feldexperimente sind für die Umsetzung zukünftiger Restaurationsmaßnahmen relevant um eine erfolgreiche Rekrutierung bei natürlichem Larvenfall zu gewährleisten.(Colsoul et al. 2020b). Eine Präferenz für Ober- oder Unterseiten der Substrate, wie bei den Laboruntersuchungen festgestellt, war im Feldversuch nicht zu beobachten.

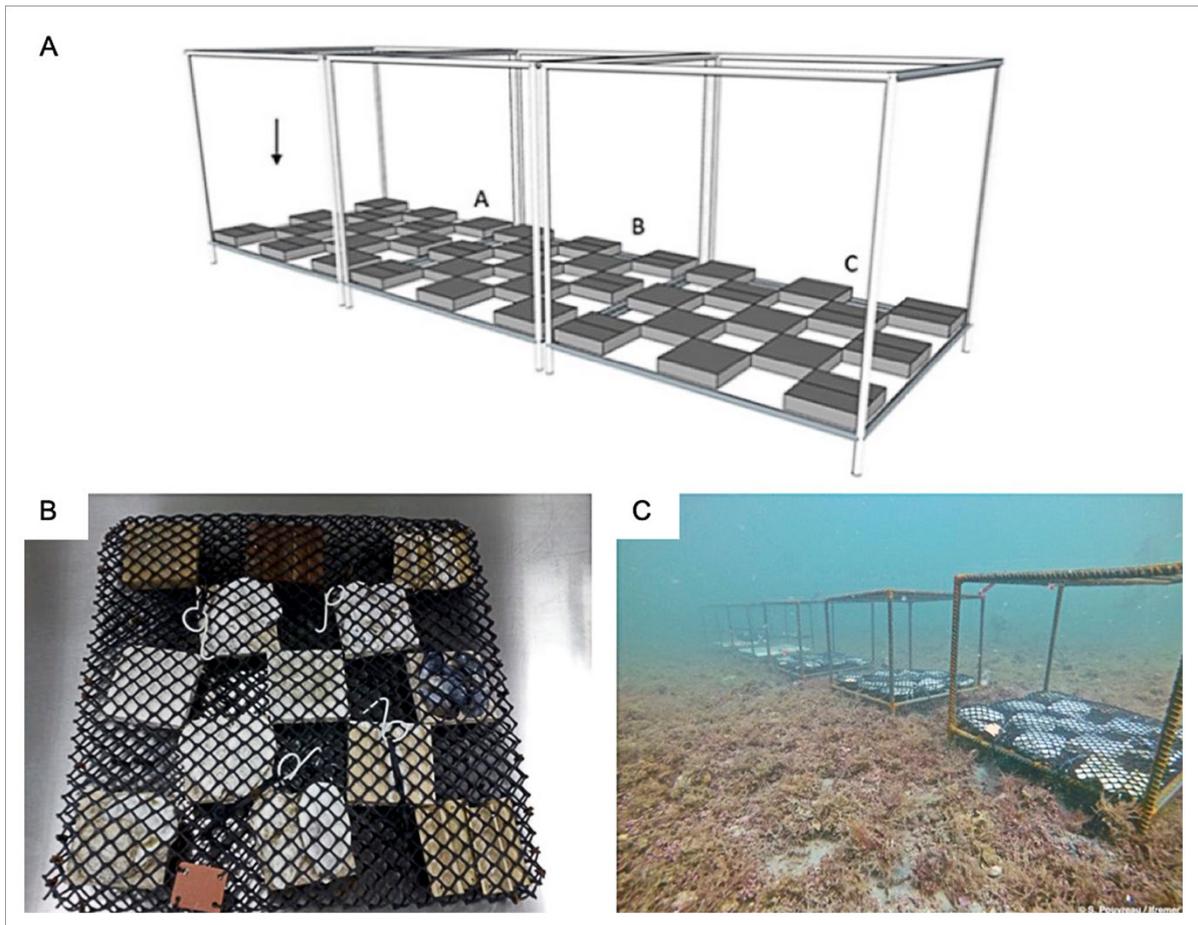


Abb. 28: Versuchsplanung und Durchführung von Ansiedlungsexperimenten mit *Ostrea edulis* Larven im Freiland. **A)** Schematische Darstellung der Anordnung der in Käfigen getesteten Substrate mit zwei Siedlungsflächen (Ober- und Unterseite) pro Replikat; **B)** Anordnung der Substrate in einem der ausgebrachten Netze (Foto: AWI/B. Colsoul); **C)** Unterwasseraufnahme der experimentellen Strukturen in 3 m Wassertiefe (Foto: Ifremer/S. Pouvreau).

Zwischenfazit:

- Für die Herstellung von Spat-on-Shell und Spat-on-Reef in Zuchtanlagen eignen sich verschiedene organische und anorganische Substrate.
- Maximale Ansiedlungsraten von *O. edulis* Larven wurden auf *Mytilus edulis* und *Ostrea edulis* Schalen erreicht. Unter Laborbedingungen zeigte die Verteilung der angesiedelten Larven, dass die Substratunterseite als Siedlungsfläche bevorzugt wurde.
- Geeignete Alternativen zu begrenzt oder unregelmäßig verfügbarem natürlichem Schalenmaterial sind Kalk und Ton, für die jeweils eine hohe Ansiedlungsrate von *O. edulis* Larven gezeigt werden konnte.
- Unter Laborbedingungen war die Ansiedlung der Larven auf natürlichem Sediment gering. Hier spielt die Zusammensetzung eine entscheidende Rolle für den Ansiedlungserfolg: Je höher der Muschelschillanteil, desto höher die Ansiedlungsrate.
- Unter Laborbedingungen zeigten innovative 3D Sandsteinriffkörper hohe Ansiedlungsraten von *O. edulis* Larven. Diese künstlichen aber naturnahen Riffkörper können in Zuchtanlagen besiedelt werden und zeichnen sich durch eine begrenzte Haltbarkeit aus. Entsprechend können sie in frühen Wiederansiedlungsphasen von großer Bedeutung sein, ohne den Meeresgrund dauerhaft durch künstliche Bauelemente zu verändern.

Maximale Ansiedlungsraten von *O. edulis* Larven werden im Freiland mit anorganischem Substrat (Ton und gekalkte Oberflächen) erreicht, ohne Präferenz der Art der gekalkten Muschelschalen und der Lage der Ansiedlungsfläche (Ober-/Unterseite).

3.3.5 Substratempfehlung für ein zukünftiges Pilotriff im NSG Borkum Riffgrund

Wichtige technologische Voraussetzungen für die erfolgreiche Wiederansiedlung der Europäischen Auster ist die Bereitstellung von geeignetem Substrat an den ausgewählten Standorten und außerdem die Schaffung von „high relief reefs“ (HRR), um den Ansiedlungserfolg zu maximieren (Schulte, Burke 2014; Sawusdee et al. 2015; NOAA 2018; Rodriguez-Perez et al. 2019; Colsoul et al. 2020b). Die Ergebnisse der Ansiedlungsversuche empfehlen Muschelschalen, Kalkgestein und Sandsteinriffkörper für die weitere praktische Umsetzung (Colsoul et al. 2020b). Für die Errichtung eines Pilotriffs wird der Aufbau einer Versuchsfläche mit kombinierten geeigneten Substraten empfohlen, um den bestmöglichen Untergrund für erfolgreiches Wachstum, Überleben, Reproduktion und Rekrutierung von *O. edulis* im NSG BRG zu erreichen.

Dafür sollten nur natürliche und naturnahe Materialien verwendet werden, um die Restauration nachhaltig und umweltfreundlich zu gestalten. Entsprechend sind die folgenden Materialien für eine Vorbereitung des Untergrundes geeignet: natürliches Schalenmaterial (bevorzugt der Art *O. edulis*), Natursteine (Kalkstein, Sandstein, Granit, Basalt, wie in den Zielgebieten NSG Borkum Riffgrund und im NSG Helgoland natürlich vorkommend, kein Granitbruch!) und Riffkörper aus Sandstein und Ton gefertigt (Colsoul et al. 2020b). Da in der Deutschen Bucht keine oder nur geringe Larvenkonzentrationen gegeben sind, ist das Ausbringen von Ansiedlungssubstrat allein nicht ausreichend. Auf allen Flächen muss dann die Ausbringung von Austern (Spat-on-Shell, Spat-on-Reef) erfolgen. Die Spat-on-Shell-Technologie wird in den USA und Australien bereits erfolgreich angewendet (Kapitel 3.2) und ist auf deutsche Bedingungen übertragbar (NOAA 2018; Fitzsimons et al. 2019; Westby et al. 2019).

Hierbei werden die Austernlarven in der Zuchtanlage direkt auf geeignetem Schalenmaterial (Kapitel 3.3.4) angesiedelt. Für Wiederansiedlungsmaßnahmen in der Nordsee sollten die jungen Spat-on-Shell Austern zunächst in Netzsäcken, bestehend aus biologisch

abbaubarem Netzmaterial (Jute/Sisal/Hanf/Baumwolle) mit angemessenen Maschenweiten ausgebracht werden um ausreichende Durchflussraten und eine entsprechende Sauerstoff- und Nahrungsversorgung zu gewährleisten. Die jungen Saataustern werden durch diese Technik nicht so leicht verdriftet, da sie jeweils auf größerem Schalenmaterial bereits fest angesiedelt sind. Empfohlen werden beständige Jute- oder Baumwoll-Netzsäcke. Diese Säcke fassen jeweils 100 – 300 kg Spat-on-Shell. Die biologisch abbaubaren Netze können nach der Ausbringung geöffnet werden und/oder lösen sich nach und nach auf. Die Ausbringung von Spat-on-Shell auf vorher ausgebrachtem Steinsubstrat entspricht der Errichtung von High Relief Reefs (HRR). Dies wirkt durch die Auflage der Austern auf eine Steinunterlage einer Versandung entgegen (Kapitel 3.2). So kann eine höhere Überlebensrate erreicht werden. Die Sandsteinriffkörper dienen der räumlichen Ausdehnung in die Wassersäule und beeinflussen potenziell die lokale Hydrodynamik. Damit könnte eine höhere Retentionszeit der Larven im Riffgebiet erreicht werden.

Im Rahmen der Errichtung des Pilotriffs sollte die Untersuchung des Biofilms auf unterschiedlichen Substrattypen (Ansiedlungsplatten) eingeplant werden. Die Biofilmzusammensetzung ist offensichtlich von besonderer Bedeutung für die erfolgreiche natürliche Larvensiedlung (Rekrutierung) von *O. edulis* (Rodriguez-Perez et al. 2019).

Für die Einbringung von Steinen in das NSG BRG als Substratunterlage für die Wiederansiedlung der Europäischen Auster wurde die Beschaffenheit der natürlichen Steinvorkommen, sowie die allgemeine Geologie des Gebiets recherchiert (Unterstützung durch Experten des BSH). Ergänzend stellte Greenpeace Informationen zur Aktion „Felsbrocken zum Schutz des Sylter Außenriffs“ (2008, 2011) zur Verfügung (Greenpeace 2009). Granitsteine, Basalt und Kalksteine kommen als natürliche Gesteine in der Deutschen Bucht vor (Streif 1990) und eignen sich daher als natürliches Ansiedlungsmaterial bzw. als vertikale Erhöhung (HRR). Kalkstein bietet den Vorteil, dass dieser auch ein bevorzugtes Ansiedlungssubstrat für Austernlarven darstellt (Colsoul et al. 2020b).

3.3.6 Zusammenfassung

- Entsprechend der vorherrschenden Anforderungen an mögliche Standorte für langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen wurden Auswahlkriterien (Site Selection Criteria) definiert (Pogoda et al. 2020b).
- Die Untersuchung der Umweltfaktoren und die Ergebnisse der Wachstums- und Fitnessuntersuchungen von wieder eingeführten Austern in der Deutschen Bucht (Kapitel 3.1.2, Merk et al. (2020)) zeigen, dass sich das NSG BRG für die Errichtung eines Pilotriffs der Europäischen Auster eignet. Aufgrund der Ergebnisse der Ansiedlungsversuche eignen sich Muschelschalen, Kalkgestein und Sandsteinriffkörper für die weitere praktische Umsetzung (Colsoul et al. 2020b).
- Nach Berücksichtigung dieser Standortfaktoren ergeben sich mehrere Standorte mit unterschiedlicher Abstufung der Eignung innerhalb des NSG BRG (Abb. 23).
- Für die Errichtung eines Pilotriffs wird der Aufbau einer Versuchsfläche mit kombinierten Substraten empfohlen, um den bestmöglichen Untergrund für ein erfolgreiches Wachstum, Überleben, Reproduktion und Rekrutierung im NSG BRG zu erreichen.
- Kalksteine, Basalt und Granitsteine kommen als natürliche Gesteine in der Deutschen Bucht vor und eignen sich daher als natürliches Ansiedlungsmaterial bzw. als vertikale Erhöhung (HRR).

- Hohe Ansiedlungsraten von *O. edulis* Larven wurden für Muschelschalen (Zuchtanlage), Kalk (Zuchtanlage und Freiland) und Sandsteinriffkörper (Zuchtanlage) gezeigt. Entsprechend sollten Austern in Zuchtanlagen als Spat-on-Shell und Spat-on-Reef produziert werden.
- Auf Wiederansiedlungsflächen werden die Austern (Spat-on-Shell) zunächst in Netzsäcken, bestehend aus biologisch abbaubarem Netzmaterial (Jute/Sisal/Hanf) ausgebracht, um ein Verdriften der jungen Austern zu vermeiden.

4 Abschließende Bewertung und Empfehlungen

Aufbauend auf der Machbarkeitsstudie “Aktueller Status der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) und Möglichkeiten einer Wiederansiedlung in der deutschen Nordsee” (Gercken, Schmidt 2014) behandelt die vorliegende Publikation die verschiedenen Aspekte der praktischen Umsetzung der Wiederansiedlung. Dabei wurden Empfehlungen der Machbarkeitsstudie aufgegriffen sowie identifizierte Problemstellungen und offene Fragen durch Labor- und Freilandversuche, durch Recherchearbeit und Netzwerkaufbau erfolgreich bearbeitet. Die in der RESTORE-Voruntersuchung gewonnenen Erkenntnisse sind wegweisend für die weiterführenden Wiederansiedlungsvorhaben der Art *Ostrea edulis* in den sublitoralen Gebieten der Deutschen Bucht. Die thematischen Blöcke des vorliegenden Berichtes schließen am Ende mit einem Zwischenfazit, die Kapitel jeweils mit einer Zusammenfassung.

Abschließend erfolgen nun eine integrierende Bewertung der gewonnenen Erkenntnisse und die Darstellung entsprechende Empfehlungen, sowie eine Zusammenfassung noch zu bearbeitender, weiterführender Fragestellungen.

4.1 Umsetzung von Wiederansiedlungsmaßnahmen

Die Managementpläne für die Schutzgebiete der AWZ wurden unmittelbar vor der Fertigstellung der vorliegenden Publikation veröffentlicht. Im Managementplan für das Naturschutzgebiet Borkum Riffgrund ist die Wiederansiedlung der Europäischen Auster im notwendigen Umfang mit hoher Priorität (M 5.2) in der Maßnahmengruppe Wiederansiedlung von Arten bzw. Wiederherstellung von Lebensraumtypen (LRT) in ihren typischen Ausprägungen (MG 5) vorgesehen (BfN 2020).

Standortwahl in der deutschen Nordsee

Für die Standortwahl wurde eine umfassende Liste an Auswahlkriterien (Site Selection Criteria) erstellt (Tab. 3). Diese definierten Kriterien wurden eingehend analysiert und untersucht (Kapitel 3.3.1). Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Standortwahl ermöglichen die Auswahl geeigneter Gebiete für zukünftige und langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen in der Deutschen Bucht. Die beschriebene Vorgehensweise kann anhand der nun verfügbaren Kriterienliste im Rahmen von Maßnahmen zum Gebietsmanagement der Natura 2000 Gebiete in der deutschen AWZ oder für die Durchführung von Realkompensationen angewendet werden (Pogoda et al. 2020b). Für die Umsetzung der nächsten Phase der Wiederansiedlung der Europäischen Auster wurden konkrete Standorte im NSG BRG definiert. Im Rahmen des Hauptvorhabens (RESTORE HV) wird dort die Errichtung eines Pilotriffs erfolgen. Gemäß der Empfehlungen der Machbarkeitsstudie wurde eine Statuserfassung der Artengemeinschaft im Bereich des Standortes bereits im Vorfeld der Maßnahme durchgeführt (Kapitel 3.3.2), um ökologische Veränderungen, die im Verlauf der Wiederansiedlung erfolgen, zu erfassen. Potenzielle räuberische Feinde wurden dokumentiert und das Fehlen relevanter Krankheitserreger im Bereich der Deutschen Bucht bestätigt (Kapitel 3.3.1 und 3.3.2). Umfassende Begleituntersuchungen zur Entwicklung des Austernriffs und zur Erfassung riffassoziierten Arten und ihrer Sukzession werden im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB) durchgeführt. Wie in der Machbarkeitsstudie empfohlen, werden auch Larvenkollektoren zur Erfassung eines natürlichen Larvenfalls ausgebracht. Sie geben Hinweise zum Fortpflanzungszeitraum, Fortpflanzungserfolg und zur Larvaldrift. Außerdem kann die Rekrutierung als ein möglicher Indikator für eine erfolgreiche Wiederansiedlung festgelegt werden.

Substrat für eine langfristige Wiederansiedlung

Den Empfehlungen der Machbarkeitsstudie zur Substratunterlage mit Austern- oder Muschelschalen entsprechend, wurden im Rahmen der Voruntersuchung geeignete Substrattypen in umfassenden Labor- und Freilandversuchen untersucht und identifiziert (Kapitel 3.3.4). Dabei wurden die Anwendungsbereiche Ansiedlung in der Zuchtanlage zur Produktion von Saataustern (Spat-on-Shell, Spat-on-Reef) und natürlicher Larvenfall auf ausgebrachtem Substrat im Freiland unterschieden (Kapitel 3.3.5). Da Wiederansiedlungsmaßnahmen "in großem Umfang" erfolgen sollten (Gercken, Schmidt 2014) wurden aufgrund naturschutzfachlicher Aspekte nur natürliche und naturnahe Substrate als geeignet eingestuft und getestet. Mögliche negative ökologische Nebeneffekte der Wiederansiedlung können damit ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen eine gute Eignung natürlicher Schalenmaterialien (vor allem *O. edulis* und *Mytilus edulis*) für beide Anwendungsbereiche, aber auch von Kalk, Ton und Sandsteinriffkörpern. Neben der biologischen Eignung sind auch logistische Aspekte, wie die Verfügbarkeit des Substrats und die notwendige Reinigung der Schalen (biosecurity) zu berücksichtigen. Die hier dargestellten Erkenntnisse zur Substrateignung sind auf kurz-, mittel- und langfristige Vorhaben zur Wiederansiedlung von *O. edulis* in der deutschen Nordsee übertragbar, können aber auch in anderen europäischen Wiederansiedlungsvorhaben Anwendung finden. Da die Substratressourcen in Quantität, Qualität und Preis stark variieren, sollte eine langfristige Versorgungsstrategie entwickelt werden (Colsoul et al. 2020b).

Herkunft von Austern für eine langfristige Wiederansiedlung

Die Empfehlungen der Machbarkeitsstudie wurden an aktuelle Entwicklungen in den europäischen Zuchtbetrieben angepasst. Durch den Aufbau der Native Oyster Restoration Alliance (NORA), die Erarbeitung der Berlin Oyster Recommendation (Pogoda et al. 2017; Pogoda et al. 2019) und mit Gründung der NORA Working Group Production (Kapitel 3.2.2) wurde sehr deutlich, dass die Verfügbarkeit von Saataustern für langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen europaweit einen relevanten limitierenden Faktor darstellt (Kapitel 3.3.3). Die Bestandsaufnahme der international aktiven Zuchtbetriebe sowie mögliche Produktionssteigerungen standen im Fokus mehrerer Konferenzen (Aquaculture Europe 2017 in Kroatien, NORA1 2017 in Deutschland, NORA2 2019 in Schottland). Die aktive Zusammenarbeit ermöglicht die Erarbeitung gemeinsamer europäischer Strategien zur Lösung der Saatausternversorgung auf NORA-Ebene. Die aktualisierten Ergebnisse und Erkenntnisse zur Verfügbarkeit von Saataustern und zur Eignung von Elterntierpopulationen wurden bereits verwertet und mit dem Aufbau einer Zuchtanlage in Deutschland umgesetzt (BPBV-Projekt PROCEED).

Die laufende Bestandsaufnahme der Krankheitserreger ist ein obligatorischer Bestandteil bei der Auswahl von Elterntieren und für die Bewertung der Risiken bei Translokationen (IUCN/SSC 2013). Geeignete Elterntiere werden zum Erhalt der biologischen Vielfalt aus ausgewählten europäischen Regionen bezogen (Kapitel 3.3.3). Durch die Gründung der NORA Working Group Biosecurity (Kapitel 3.2.2) werden entsprechende best available practice (BAP) und best environmental technique (BET) Verfahren erarbeitet und in den NORA Biosecurity Guidelines veröffentlicht (in Vorbereitung). Die Produktion geeigneter Saataustern (Qualität und Quantität) für langfristige Wiederansiedlungsmaßnahmen wird im Zuchtbetrieb auf Helgoland erfolgen.

Voruntersuchungen zur Errichtung eines Pilotriffs

Die im Rahmen der Felduntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sind wegweisend für Wiederansiedlungsvorhaben mit der Art *O. edulis* in sublitoralen Gebieten (Kapitel 3.1.2). Dies bezieht sich sowohl auf die aus der deutschen AWZ verschwundenen Austernriffe als auch auf die ehemaligen belgischen und niederländischen sublitoralen Austernvorkommen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die ökologischen Ansprüche der Europäischen Auster in diesen Wassertiefen erfüllt sind. Die Tiere zeigten hervorragendes Wachstum, sehr gute Fitness und geringe Mortalitätsraten (Merk et al. 2020). Die bereits im ersten Jahr erworbene Reproduktionsfähigkeit der im Freiland untersuchten, wieder eingeführten Austern belegt das Potenzial der Europäischen Auster, langfristig intakte Bestände zu bilden und damit auch die funktionierende Lebensgemeinschaft Austernbank wiederherzustellen. Die Käfigexperimente erlauben jedoch keine Aussagen zu sich neu einstellenden Räuber-Beute-Beziehungen und zum Einfluss der Sedimentdynamik. Diese offenen Fragen, sowie technische und biologische Herausforderungen umfassender Wiederansiedlungsmaßnahmen werden im Rahmen des Hauptvorhabens (RESTORE HV) und der Wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB) durch die Errichtung eines Pilotriffs untersucht, bearbeitet und getestet. Insbesondere die erfolgreiche Ansiedlung der Larven, nach erfolgreicher Reproduktion der wiederangesiedelten Austern und einem ersten natürlichen Larvenfall, ist ein ausschlaggebendes Kriterium, ob die Population nach einer initialen Ansiedlungsphase erfolgversprechend wachsen kann.

Übergreifende Empfehlungen

Aufgrund der unzureichenden und instabilen Saatausternverfügbarkeit sowie der Problematik *Bonamia*-infizierter Elterntiere ist der Aufbau einer verlässlichen Produktionskette für gesunde und unter kontrollierten Bedingungen gezüchtete Saataustern essentiell.

Die Verwendung von gesunden Austern aus Zuchtanlagen wird nach den Erkenntnissen der Voruntersuchung als obligatorische Handlungsempfehlung (best environmental practice & best available technique) ausgesprochen und wurde bereits in der Berlin Oyster Recommendation formuliert (Pogoda et al. 2017; Pogoda et al. 2019).

Die Entnahme adulter Tiere aus Wildbeständen muss dringend vermieden werden, um den Fischereidruck auf die natürlichen Bestände anderer Regionen nicht zusätzlich zu erhöhen, und um die drohende Einschleppung von Aufwuchsorganismen, Parasiten und Krankheiten durch Translokation zu verhindern.

Die Wiederherstellung der Bestände der Europäischen Auster sollte vor dem Hintergrund einer ökologischen Renaturierung erfolgen. Entsprechend sollte die Einbringung von künstlichem Substrat vermieden werden. Die Verwendung von natürlichem und naturnahem Substrat, sowie eine entsprechende Vorbehandlung (Reinigung) zur Vermeidung möglicher negativer ökologischer Effekte werden ausdrücklich empfohlen.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Voruntersuchung dienen als notwendige wissenschaftliche Grundlage für weitere praktische Restaurationschritte bei der Wiederherstellung der Bestände der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee. Sie ermöglichen die direkte Umsetzung zukünftiger Wiederansiedlungsmaßnahmen im Rahmen der

- Errichtung eines Pilotriffs (Hauptvorhaben),
- Umsetzung von Managementmaßnahmen in den Schutzgebieten der AWZ oder
- Durchführung von Realkompensationen.

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass sich die Austernwiederansiedlung als Realkompensationsmaßnahme in der Deutschen Bucht eignet (BfN 2019c). Damit leistet die Voruntersuchung einen wichtigen Beitrag zur komplexen Problematik von Kompensationsmaßnahmen in den deutschen Meeresgebieten.

4.2 Weiterführende Fragestellungen

Nach Abschluss der Voruntersuchung empfehlen wir die Bearbeitung einer Reihe von angrenzenden und weiterführenden Fragestellungen, die für die Implementierung eines langfristigen Restaurationsprogrammes und für die großflächige Wiederherstellung von heimischen Austernbeständen von besonderer Bedeutung sind.

Technologische Aspekte:

- Entwicklung einer europaweiten langfristigen Versorgungsstrategie mit gesunden, zertifizierten Saataustern auf NORA-Ebene, um mögliche negative ökologische Effekte durch Translokationen auszuschließen.
→ Bearbeitung im Rahmen des BPBV-Projektes PROCEED
- Entwicklung einer europaweiten langfristigen Versorgungsstrategie mit geeignetem Substrat auf NORA-Ebene, um mögliche negative ökologische Effekte durch die Einbringung von künstlichem Substrat oder durch Translokation von unbehandeltem Schalensubstrat auszuschließen.
→ Bearbeitung im Rahmen des BPBV-Projektes PROCEED
- Praktische Erprobung und Entwicklung verschiedener großflächiger Ausbringungsmethoden für die jungen Saataustern aus Zuchtbetrieben auf den vorbereiteten Substratunterlagen. Weiterentwicklung und Anpassung der Methoden Spat-on-Shell und Spat-on-Reef.
→ Bearbeitung im Rahmen des Hauptvorhabens (RESTORE HV) in Zusammenarbeit mit dem deutschen Zuchtbetrieb (PROCEED)
- Praktische Erprobung und Umsetzung internationaler Monitoringvorgaben (Baggett et al. 2014; Fitzsimons et al. 2019; Fitzsimons et al. 2020) für wiederhergestellte Austernriffe an den tiefen Standorten in der Deutschen Bucht.
→ Bearbeitung im Rahmen des Hauptvorhabens (RESTORE HV) in Zusammenarbeit mit NORA-Partnern
- Entwicklung von Monitoringmethoden zur Erfassung der Biodiversität und der Habitatstruktur auf großflächig wiederhergestellten sublitoralen Austernriffen.

Ökologische Aspekte:

- Erfassung und Bewertung der Effekte durch die natürliche Sedimentdynamik am Wiederherstellungsstandort. Erprobung und Entwicklung angepasster Methoden zur Errichtung der Austernriffe.
→ Bearbeitung im Rahmen des Hauptvorhabens (RESTORE HV) und der Wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB) in Zusammenarbeit mit NORA-Partnern.
- Erfassung und Bewertung der Effekte sich neu einstellender Räuber-Beute Beziehungen.
→ Bearbeitung im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB)

- Erfassung der riffassoziierten Fauna und Aussagen zur Sukzession relevanter Artengruppen. Bewertung der wiederangesiedelten Austernriffe hinsichtlich ihrer Rolle als Hot Spots der Biodiversität.
→ Bearbeitung im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB)
- Erfassung der Riffstruktur und Bewertung der geogenen und biogenen Struktur der wiederangesiedelten Austernriffe.
→ Bearbeitung im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB)

Formale Aspekte:

- Erstellung eines Leitfadens für die Errichtung von Austernriffen im Rahmen von Managementmaßnahmen oder Realkompensationen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster.
→ Bearbeitung im Rahmen des Hauptvorhabens (RESTORE HV) und der Wissenschaftlichen Begleitung (RESTORE WB)
- Erarbeitung von Hinweisen für eine Erfolgskontrolle nach Durchführung von Managementmaßnahmen oder Realkompensationen zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster.
- Definition des notwendigen Umfangs der Wiederansiedlung der Europäischen Auster.

5 Literatur

Airoldi L., Beck M.W. (2007): Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanography and marine biology: An Annual Review* 45: S. 357-405.

Ashton E.C., Brown J.H. (2009): Review of technical requirements, approaches and regulatory framework for the restoration of native oysters in Scotland. 43 S.

Austen M. (2011): Ecosystem services - adding value to shellfish resources. 14th International Conference on Shellfish Restoration, Stirling (Scotland, UK), 61 S.

Baggett L., Posers S., Brumbaugh R., Coen L., DeAngelis B., Greene J. (2014): Oyster habitat restoration monitoring and assessment handbook The Nature Conservancy, Arlington (Hrsg.).

Bayne B.L. (2017): Biology of oysters Academic Press (Hrsg.).

Beck M.W., Brumbaugh R. D., Airoldi L., Carranza A., Coen L. D., Crawford C., Defeo O., Edgar G. J., Hancock B., Kay M., Lenihan H., Luckenbach M. W., Toropova C. L., G. Z. (2009): Shellfish reefs at risk: A global analysis of problems and solutions. Arlington VA, The Nature Conservancy.

Beck M.W., Brumbaugh R.D., Airoldi L., Carranza A., Coen L.D., Crawford C., Defeo O., Edgar G.J., Hancock B., Kay M.C., Lenihan H.S., Luckenbach M.W., Toropova C.L., Zhang G., Guo X. (2011): Oyster Reefs at Risk and Recommendations for Conservation, Restoration, and Management. *BioScience* 61(2): S. 107-116. DOI: <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.2.5>

Berntsson K.M., Jonsson P.R., Wängberg S., Carlsson A. (1997): Effects of broodstock diets on fatty acid composition, survival and growth rates in larvae of the European flat oyster, *Ostrea edulis*. *Aquaculture* 154(2): S. 139-153.

BfN (2008): Erhaltungsziele für das FFH-Gebiet „Borkum-Riffgrund“ (DE 2104-301) in der deutschen AWZ der Nordsee. 19 S. (https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/meeresundkuestenschutz/download/Erhaltungsziele/Erhaltungsziele_Borkum_Riffgrund_2009_03_06.pdf)

BfN (2013): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands - Band 2: Meeresorganismen. Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg. Naturschutz und Biologische Vielfalt: 236 S.

BfN (2017a): Die Meeresschutzgebiete in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee - Beschreibung und Zustandsbewertung. BfN-Skripten 477: 486 S. (<https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript477.pdf>)

BfN (2017b): Methodik der Managementplanung für die Schutzgebiete in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone der Nord- und Ostsee. BfN-Skripten 478: 97 S. (<https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript478.pdf>)

BfN (2019a) <https://www.bfn.de/themen/meeresnaturschutz/belastungen-im-meer/sand-und-kiesabbau.html>. (aufgerufen am 06. April 2020).

BfN (2019b): Bewertung des Erhaltungszustandes der Lebensraumtypen der atlantisch biographischen Region. Nationaler FFH-Bericht 2019. (https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/natura2000/Dokumente/nat_bericht_LRT_EHZ_Gesamttr_end_ATL_20190830.pdf)

BfN (2019c): Mögliche Maßnahmen für eine Realkompensation von Eingriffen (Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) in der deutschen AWZ von Nord- und Ostsee. (https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/awz/Dokumente/Uebersicht_Kompensationsmassnahmen.pdf)

- BfN (2020): Managementplan für das Naturschutzgebiet „Borkum Riffgrund“ (MPBRg). Bundesamt für Naturschutz, Bonn. 123 S.
- BLANO (2012): Festlegung von Umweltzielen für die deutsche Nordsee nach Artikel 10 Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. (BLANO) B. L. n.-A. N.-u. O. (Hrsg.). 48 S. (<https://www.meeresschutz.info/berichte-art-8-10.html>)
- BLANO (2016): MSRL-Maßnahmenprogramm zum Meeresschutz der deutschen Nord- und Ostsee: Bericht gemäß § 45h Absatz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes. (BLANO) B. L. n.-A. N.-u. O. (Hrsg.). 128 S. (<https://www.meeresschutz.info/berichte-art13.html>)
- BMU (2019): „Gemeinsame Empfehlung“ für das Fischereimanagement in den Natura-2000 Gebieten in der AWZ der Nordsee. 9 S. (<https://www.bmu.de/download/gemeinsame-empfehlung-fuer-das-fischereimanagement-in-den-natura-2000-gebieten-in-der-awz-der-nords/>)
- Boedeker D., Krause J.C., von Nordheim H. (2006): Interpretation, identification and ecological assessment of the NATURA 2000 habitats “sandbank” and “reef”. In: von Nordheim H., Boedeker D., Krause J. C. (Hrsg.): Progress in Marine Conservation in Europe: NATURA 2000 Sites in German Offshore Waters. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg: S. 47-64.
- Boos K., Buchholz C., Buchholz F., Gutow L. (2004): Bericht über die Zusammensetzung des Helgoländer Makrozoobenthos im Vergleich historischer und aktueller Quellen - Klassifizierungsvorschlag nach der WRRL und Empfehlungen zum Monitoring.
- Brumbaugh R.D., Beck M.W., Coen L.D., Craig L., Hicks P. (2006): A Practitioners' guide to the design and monitoring of shellfish restoration projects: an ecosystem services approach. The Nature Conservancy (NOAA), Arlington. 28 S.
- BSH (2017): Der küstennahe Gezeitenstrom in der Deutschen Bucht.
- Carnegie R.B., Barber B.J., Culloty S.C., Figueras A.J., Distel D.L. (2000): Development of a PCR assay for detection of the oyster pathogen *Bonamia ostreae* and support for its inclusion in the Haplosporidia. *Diseases of Aquatic Organisms* 42(3): S. 199-206.
- Clewell A., Rieger J., Munro J. (2000): Guidelines for developing and managing ecological restoration projects. Society for Ecological Restoration (Hrsg.). 11 S.
- Colsoul B., Boudry P., Pérez-Parallé M.L., Bratoš Cetinić A., Hugh-Jones T., Arzul I., Merou N., Wegner K.M., Peter C., Merk V., Pogoda B. (2020a): Sustainable large-scale production of European flat oyster (*Ostrea edulis*) seed for ecological restoration and aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*,
- Colsoul B., Pogoda B. (2019): Land-basierter Prozess/Protokoll zur Herstellung von mit Europäischen Austern (*Ostrea edulis* Linnaeus, 1758) besiedelten, künstlichen Riffen.
- Colsoul B., Pouvreau S., Di-Poi-Broussard C., Pouil S., Merk V., Peter C., Boersma M., Pogoda B. (2020b): Addressing critical limitations of oyster (*Ostrea edulis*) restoration: identification of nature-based substrates for hatchery production and recruitment in the field. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Czybulka D., Francesconi P. (2016): Rechtsgutachten zur Frage der Erforderlichkeit einer FFH-Verträglichkeitsprüfung im Rahmen des Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens „Wiederherstellung der Bestände der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) in der deutschen Nordsee (Voruntersuchung“.
- da Silva P.M., Fuentes J., Villalba A. (2005): Growth, mortality and disease susceptibility of oyster *Ostrea edulis* families obtained from brood stocks of different geographical origins, through on-growing in the Ría de Arousa (Galicia, NW Spain). *Marine Biology* 147(4): S. 965-977. DOI: <https://10.1007/s00227-005-1627-4>

- Diesing M., Schwarzer K. (2006a): Abschlussbericht. Erforschung der FFH Lebensraumtypen Sandbank und Riff in der AWZ der deutschen Nord- und Ostsee (FKZ 802 85 270). Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. Universität Kiel.
- Diesing M., Schwarzer K. (2006b): Identification of submarine hard-bottom substrates in the German North Sea and Baltic Sea EEZ with high-resolution acoustic seafloor imaging. In: von Nordheim H., Boedeker D., Krause J. C. (Hrsg.): Progress in Marine Conservation in Europe: NATURA 2000 Sites in German Offshore Waters. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg: S. 111-125.
- Ehlers J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie Enke Verlag Stuttgart (Hrsg.). 358S.
- European Commission DG Environment (2013): Interpretation Manual of European Union Habitats - Appendix 1: Marine Habitat types definitions. 18 S.
(http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/marine/docs/appendix_1_habitat.pdf)
- Europäische Kommission (2007): 2007/104/EC: Commission Decision of 15 February 2007 amending Decision 2002/300/EC as regards the areas excluded from the list of approved zones with regard to *Bonamia ostreae* (notified under document number C(2007) 419), 3 S.
- Europäische Union (1992): Richtlinie 92/43/EEC vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanze (FFH - Richtlinie), 68 S.
- Europäische Union (2006): RICHTLINIE 2006/88/EG DES RATES vom 24. Oktober 2006 mit Gesundheits- und Hygienevorschriften für Tiere in Aquakultur und Aquakulturerzeugnisse und zur Verhütung und Bekämpfung bestimmter Wassertierkrankheiten, 43 S.
- Europäisches Parlament (2008): Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community actions in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive, MSFD). Off. J. Eur. Commun.
- European Nature Information System (2019): EUNIS marine habitat classification 2019. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification/eunis-marine-habitat-classification-review-2019/eunis-marine-habitat-classification-2019>. (aufgerufen am 31.03.2020).
- Figge K. (1981): Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht (Blatt: 2900, Maßstab: 1:250.000). Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.
- Fitzsimons J., Branigan S., Brumbaugh R.D., MacDonald T., zu Ermgassen P.S.E. (Hrsg.) (2019): Restoration Guidelines for Shellfish Reefs. The Nature Conservancy. Arlington VA, USA: 80 S.
- Fitzsimons J.A., Branigan S., Gillies C.L., Brumbaugh R.D., Cheng J., DeAngelis B.M., Geselbracht L., Hancock B., Jeffs A., McDonald T. (2020): Restoring shellfish reefs: Global guidelines for practitioners and scientists. Conservation Science and Practice: S. e198.
- Flatter H. (2020): Vorgehen zur Wahrung der rechtlichen Voraussetzungen von Wiederansiedlungsprojekten der Europäischen Auster im NSG Borkum Riffgrund (Internes BfN Arbeitspapier vom 16.04.2020).
- Fritsch S. (2017): Vergleichende ökologische Untersuchung sublitoraler Rifstrukturen in den FFH-Gebieten Borkum-Riffgrund und Sylter Außenriff anhand digitaler Unterwasservideos. 43 S.
- Gercken J., Schmidt A. (2014): Aktueller Status der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) und Möglichkeiten einer Wiederansiedlung in der deutschen Nordsee. Bfn-Skripten 379: 104 S.

- Grabowski J.H., Peterson C.H. (2007): Restoring oyster reefs to recover ecosystem services. In: Cuddington K., Byers J. E., Wilson W. G., Hastings A. (Hrsg.): Ecosystem engineers: plants to protists. Elsevier- Academic Press, Amsterdam: S. 281-298.
- Greenpeace (2009): Besiedlung von eingebrachten natürlichen Hartsubstraten im FFH-Gebiet „Sylter Außenriff“ - Nordsee -.
- Helmer L., Hauton C., Bean T., Bass D., Hendy I., Harris-Scott E., Preston J. (in press): Ephemeral detection of *Bonamia exitiosa* (Haplosporidia) in adult and larval European flat oysters *Ostrea edulis* in the Solent (UK). Journal of Invertebrate Pathology.
- Heral M. (1990): Traditional oyster culture in France. In: Barnabé G., de IB Solbe J. F. (Hrsg.): Aquaculture. Ellis Horwood. Chichester, UK: S. 342-387.
- ICES (2005): ICES Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms 2005. 30 S.
- ICES (2011): Report of the Working Group on Marine Shellfish Culture (WGMASC) 5-8 April 2011. La Trinité-sur-Mer, France. ICES CM 2011/SSGHIE:08: 92 S.
- ICES (2016): OSPAR request 2016 for further development of fishing intensity and pressure mapping (WGSFD).
(<https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Forms/DispForm.aspx?ID=32178>)
- IOW W., AWI B., Bioconsult B. Erfassung, Bewertung und Kartierung benthischer Arten und Biotope (AWZ-P4, Benthos) - Titel: 532 02 AWZ.
- IUCN/SSC (2013): Guidelines for reintroductions and other conservation translocations IUCN Species Survival Commission (Hrsg.). Gland, Schweiz: 57S.
- Ivanov A.I. (1966): Present stocks and distribution of oysters (*Ostrea taurica* Kryn.) in the Black Sea. Oceanology of the Russian Academy of Sciences 6(4): S. 568-572, <https://books.google.de/books?id=nR5PAQAAIAAJ>
- Kennedy R.J., Roberts D. (1999): A Survey of the Current Status of the Flat Oyster *Ostrea edulis* in Strangford Lough, Northern Ireland, with a View to the Restoration of Its Oyster Beds. Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy 99B(2): S. 79-88, <http://www.jstor.org/stable/20500055>
- Korringa P. (1952): Recent Advances in Oyster Biology. The Quarterly Review of Biology 27(3): S. 266-308, <http://www.jstor.org/stable/2813532>
- Krause J., Drachenfels von O., Ellwanger G., Farke H., Fleet D.M., Gemperlein J., Heinicke K., Herrmann C., Klugkist H., Lenschow U., Michalczyk C., Narberhaus I., Schröder E., Stock M., Zscheile K. (2008): Bewertungsschemata für die Meeres- und Küstenlebensraumtypen der FFH-Richtlinie, BfN.
- Laing I. (2005): Return of the native- is European Oyster (*Ostrea edulis*) stock restoration feasible? Shellfish News 20: S. 7-8.
- Laing I., Walker P., Areal F. (2005): A feasibility study of native oyster (*Ostrea edulis*) stock regeneration in the United Kingdom. The Centre for Environment F. A. S. C., The Centre for Environment F. A. S. C.: 1-95 S.
- Laing I., Walker P., Areal F. (2006): Return of the native – is European oyster (*Ostrea edulis*) stock restoration in the UK feasible? Aquatic Living Resources 19(3): S. 283-287. DOI: 10.1051/alr:2006029
- Lallias D., Arzul I., Heurtebise S., Ferrand S., Chollet B., Robert M., Beaumont A.R., Boudry P., Morga B., Lapègue S. (2008): *Bonamia ostreae*-induced mortalities in one-year old European flat oysters *Ostrea edulis*: experimental infection by cohabitation challenge. Aquatic Living Resources 21(4): S. 423-439. DOI: 10.1051/alr:2008053

- Lallias D., Boudry P., Lapègue S., King J.W., Beaumont A.R. (2010): Strategies for the retention of high genetic variability in European flat oyster (*Ostrea edulis*) restoration programmes. *Conservation Genetics* 11(5): S. 1899-1910. DOI: <https://doi:10.1007/s10592-010-0081-0>
- Le Roux F., Audemard C., Barnaud A., Berthe F. (1999): DNA probes as potential tools for the detection of *Marteilia refringens*. *Marine Biotechnology* 1(6): S. 588-597.
- Lotze H.K. (2005): Radical changes in the Wadden Sea fauna and flora over the last 2,000 years. *Helgoland Marine Research* 59(1): S. 71-83. DOI: <https://doi:10.1007/s10152-004-0208-0>
- Mackinson S., Daskalov G. (2007): An ecosystem model of the North Sea to support an ecosystem approach to fisheries management: description and parameterisation. Cefas. Science Series Technical Report.
- Merk V., Colsoul B., Pogoda B. (2020): Return of the native: Survival, growth and condition of European oysters reintroduced to German offshore waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Merk V., Colsoul B., Pogoda B. (*in prep*): Health status of *Ostrea edulis* in offshore restoration experiments in the German Bight.
- Möbius K.A. (1877): *Die Austern und die Austernwirtschaft* Verlag von Wiegandt, Hapel und Parey (Hrsg.). Berlin: S. 126.
- NOAA (2018): NOAA, Chesapeake Bay Office and NOAA Restoration Center: 2017 Virginia Oyster Restoration Update: Progress in the Lafayette, Piankata k, and Lynnhaven River. Annapolis, MD.
- Oberverwaltungsgericht für das Land Schleswig-Holstein (2011): Untersagung der Einbringung importierter Miesmuscheln (nebst Begleitarten) in die zum Nationalpark „Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer“ gehörenden Küstengewässer, 12 S.
- Olsen O.T. (1883): *The Piscatorial Atlas of the North Sea, English and St. George's Channels- illustrating the fishing ports, boats, gear, species of fish (how, where, and when caught), and other information concerning fish and fisheries*(Hrsg.). S. 50.
- OSPAR (2008): OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (Reference Number: 2008-6).
- OSPAR (2009): Background document for *Ostrea edulis* and *Ostrea edulis* beds. OSPAR Commission. Haelters J., Kerckhof F. (Hrsg.) OSPAR. Biodiversity Series: 22 S.
- OSPAR (2013): OSPAR Recommendation 2013/4 on furthering the protection and conservation of *Ostrea edulis* in Region II of the OSPAR maritime area and *Ostrea edulis* beds in Regions II, III and IV of the OSPAR maritime area.
- OSPAR Commission (1992): OSPAR Convention for the protection of the marine environment of the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London, UK.
- Pogoda B. (2012): *Farming the High Seas: Biological performance of the offshore cultivated oysters *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* in the North Sea*. University Bremen, University Bremen, 119 S.
- Pogoda B. (2019): Current Status of European Oyster Decline and Restoration in Germany. *Humanities* 8(1): S. 9,

Pogoda B., Boudry P., Bromley C., Cameron T., Colsoul B., Donnan D., Hancock B., Hugh-Jones T., Preston J., Sanderson W.G., Sas H., Brown J., Bonacic K., von Nordheim H. (2020a): NORA moving forward: Developing an oyster restoration network in Europe to implement the Berlin Oyster Recommendation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.

Pogoda B., Brown J., Hancock B., Preston J., Pouvreau S., Kamermans P., Sanderson W.G., von Nordheim H. (2019): The Native Oyster Restoration Alliance (NORA) and the Berlin Oyster Recommendation: bringing back a key ecosystem engineer by developing and supporting best practice in Europe. *Aquatic Living Resources* 32: S. 13. DOI: <https://doi.org/10.1051/alr/2019012>

Pogoda B., Brown J., Hancock B., von Nordheim H. (2017): Berlin Oyster Recommendation on the Future of Native Oyster Restoration in Europe, Part I, Preface and Recommendations. Kick-off Workshop Berlin „Native oyster restoration in Europe- current activities and future perspectives“, Berlin, 5 S.

Pogoda B., Buck B.H., Hagen W. (2011): Growth performance and condition of oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*) farmed in an offshore environment (North Sea, Germany). *Aquaculture* 319(3): S. 484-492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.017>

Pogoda B., Buck B.H., Saborowski R., Hagen W. (2013): Biochemical and elemental composition of the offshore-cultivated oysters *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. *Aquaculture* 400-401: S. 53-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.031>

Pogoda B., Merk V., Colsoul B., Hausen T., Peter C., Pesch R., Kramer M., Holler P., Bartholomä A. (2020b): Site selection for biogenic reef restoration in offshore environments: The Natura 2000 site Borkum Reefground as a case study for native oyster restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.

Pogoda B., Peter C., von Nordheim H. (2020c): Wiederansiedlung und ökologische Bedeutung der Europäischen Auster in der deutschen Nordsee. *Natur und Landschaft*.

Rodhouse P.G. (1979): Note on the Energy Budget for an Oyster Population in a Temperate Estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 37(3): S. 205-212. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(79\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(79)90060-1)

Rodriguez-Perez A., James M., Donnan D.W., Henry T.B., Møller L.F., Sanderson W.G. (2019): Conservation and restoration of a keystone species: Understanding the settlement preferences of the European oyster (*Ostrea edulis*). *Marine Pollution Bulletin* 138: S. 312-321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.032>

Rogan E., Cross T.F. (1996): Nutrient dynamics and plankton cycles in artificial ponds used in the production of oyster *Ostrea edulis* L. spat. *Aquaculture Research* 27: S. 9-23. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1996.tb00962.x>

Sas H., Deden B., Kamermans P., zu Ermgassen P.S.E., Pogoda B., Preston J., Helmer L., Holbrook Z., Arzul I., van der Have T., Villalba Garcia A., Colsoul B., Lown A., Merk V., N. Z., Reuchlin E. (2020): Bonamia infection in native oysters (*Ostrea edulis*) in relation to European restoration projects. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.

Sawusdee A., Jensen A.C., Collins K.J., Hauton C. (2015): Improvements in the physiological performance of European flat oysters *Ostrea edulis* (Linnaeus, 1758) cultured on elevated reef structures: Implications for oyster restoration. *Aquaculture* 444: S. 41-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.022>

Schuchardt B., Bachmann F., Günther C.-P., Huber A. (2017): Ökologischer Fachbeitrag zu den Auswirkungen von Experimenten zur Wiederansiedlung der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) im Bereich des OWP Meerwind Süd/Ost in der Deutschen Nordsee. BIOCONSULT Schuchardt & Scholle GbR. 32 S.

- Schulte D.M., Burke R.P. (2014): Recruitment enhancement as an indicator of oyster restoration success in Chesapeake Bay. *Ecological Restoration* 32(4): S. 434-440.
- Shelmerdine R.L., Leslie B. (2009): Restocking of the native oyster, *Ostrea edulis*, in Shetland: habitat identification study. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 396: 26 S. Smyth D., Roberts D. (2010): The European oyster (*Ostrea edulis*) and its epibiotic succession. *Hydrobiologia* 655(1): S. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0401-x>
- Soletchnik P., Ropert M., Mazurié J., Gildas Fleury P., Le Coz F. (2007): Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databases along the coasts of France. *Aquaculture* 271(1–4): S. 384-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.049>
- Streif H. (1990): Das Ostfriesische Küstengebiet–Nordsee, Inseln, Watten und Marschen. Sammlung Geologischer Führer. Gebr. Borntraeger (Hrsg.). Berlin & Stuttgart: S. 376.
- Todorova V., Micu D., Klisurov L. (2009): Unique Oyster Reefs discovered in the Bulgarian Black Sea. *Comptes rendus de l'academie bulgare des Sciences* 62(7): S. 871-874.
- TSIS (2019): TSIS - TierSeuchenInformationssystem. (<https://www.tsis.fli.de/Reports/YearOverview.aspx>)
- Utting S.D. (1988): The growth and survival of hatchery-reared *Ostrea edulis* L. spat in relation to environmental conditions at the on-growing site. *Aquaculture* 69(1-2): S. 27-38. DOI: [https://10.1016/0044-8486\(88\)90183-4](https://10.1016/0044-8486(88)90183-4)
- Valero J. (2006): *Ostrea edulis*- Growth and mortality depending on hydrodynamic parameters and food availability. Department of Marine Ecology. Göteborg University, Strömstad, Sweden, Göteborg University
- Walne P.R. (1979): Culture of bivalve molluscs: 50 years' experience at Conwy Fishing News Books Ltd. (Hrsg.). S. 173.
- Wehrmann A., Herlyn M., Bungenstock F., Hertweck G., Millat G. (2000): The distribution gap is closed — First record of naturally settled pacific oysters *Crassostrea gigas* in the East Frisian Wadden Sea, North Sea. *Senckenbergiana maritima* 30(3-6): S. 153-160. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf03042964>
- Werner F. (2004): Coarse sand patterns in the southeastern German Bight and their hydrodynamic relationships. *Meyniana* 56: S. 117-148
- Westby S., Geselbracht L., Pogoda B. (2019): Shellfish reef restoration in practice. In: Fitzsimons J., Branigan S., Brumbaugh R. D., McDonald T., zu Ermgassen P. (Hrsg.): Restoration Guidelines for Shellfish Reefs. The Nature Conservancy, Arlington VA, USA: S. 36-48.