

## **2 Einleitung**

Die Ozeane sind für den Menschen von großer Bedeutung. In vielen Regionen sind die Meere einer der Hauptlieferanten von Nahrung. Zugleich gelten sie als Grundlage für unzählige Arbeitsplätze, z.B. in der Fischereiwirtschaft. Die Meere stellen das größte zusammenhängende Ökosystem der Erde dar, dessen Wichtigkeit für die globalen ökologischen Zusammenhänge noch kaum zu erahnen ist. Die marine Umwelt ist dennoch zahlreichen Beeinträchtigungen und Gefährdungen ausgesetzt. Die Abnahme der biologischen Vielfalt, der Verlust von Lebensräumen, die Verschmutzung durch Gefahr- und durch Nährstoffe etc. sind die Folge verschiedener anthropogener Belastungen. Die Hauptquellen sind ([www.bsh.de](http://www.bsh.de); [www.reports.de.eea.europa.eu](http://www.reports.de.eea.europa.eu)):

1. der kommerzielle Fischfang,
2. die Öl- und Gasgewinnung,
3. die Schifffahrt (Havarien, giftige Schiffsanstriche, Ballastwasser etc.),
4. die Landwirtschaft und
5. die landseitige Industrie.

Ohne den Einsatz von umfassenden Schutzmaßnahmen werden die Ozeane, eines der faszinierendsten und das erdumfassendste Ökosystem, gravierend verändert sowie die für den Menschen lebenswichtigen Ressourcen zerstört. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Gefährdung der Fischereiwirtschaft durch Überfischung, nicht nur der europäischen Gewässer ([www.eu-koordination.de](http://www.eu-koordination.de)). Eines der stark überfischten europäischen Meere ist die Nordsee ([www.reports.de.eea.europa.eu](http://www.reports.de.eea.europa.eu)). Aber gerade dieses Randmeer spielt, wie im Folgenden dargestellt, durch die Vielzahl seiner Lebensgemeinschaften eine bedeutende ökologische Rolle.

### **2.1 Habitat Nordsee**

Die Nordsee ist, geologisch gesehen, ein altes Meer. Im Verlauf der geologischen Entwicklung veränderte sich ihre Gestalt mehrfach. Ihre heutige Form erhielt die Nordsee erst vor 11.000 Jahren. Die Küstenlinie verändert sich noch heute, z.B. durch Schwankungen des Meeresspiegels, Erosion und Sandablagerung.

Neben dem Mittelmeer und der Ostsee ist auch die Nordsee ein flaches Randmeer des Atlantischen Ozeans. Sie ist durchschnittlich ca. 100 m tief. Die tiefste Stelle ist die norwegische Rinne mit einer Tiefe von 725 m. Begrenzt wird die Nordsee von den Britischen

Inseln im Westen, im Süden und Südosten durch Belgien, die Niederlande und Deutschland. Die östliche Grenze bildet Dänemark. Das Wattenmeer erstreckt sich am Südost-Rand in einer Länge von ca. 500 km von Den Helder (Niederlande) bis Esbjerg (Dänemark) und ist ein bedeutendes Habitat innerhalb der Nordsee.

Die Nordsee bietet eine Reihe sehr verschiedener Lebensraumtypen, die von unterschiedlichen Lebensgemeinschaften bewohnt sind. Grundsätzlich lassen sich die Lebensräume der Küstengebiete, die verschiedene Küstentypen (Steil-, Fels- und Sandküsten) von den tatsächlichen aquatischen Lebensräumen unterscheiden. Wichtige Übergangsgebiete der Nordsee sind die Salzwiesen und die Wattflächen, die sich durch einen Wechsel der Lebensbedingungen abhängig von den Gezeiten auszeichnen. Ein weiteres Habitat stellen die Ästuare dar, die sich durch eine Durchmischung des in die Nordsee fließenden Süßwassers und des salzigen Nordseewassers auszeichnen. Die aquatischen Lebensräume lassen sich in das Pelagial, sowie das Benthos unterteilen. Die benthischen Lebensräume wiederum unterscheiden sich durch ihre Tiefe sowie durch ihre Bodenbeschaffenheit. Sie sind felsig, kiesig oder sandig. Außerdem können sie mehr oder weniger bis gar keine Schlickschichten tragen.

Für den aquatischen Lebensraum Nordsee sind starke Erosions- und Sedimentationsgebiete von Bedeutung. Aufgrund von starken Brandungskräften unterliegt die englische Küste einer starken Erosion (Sterr, 2003). Auf diese Weise gelangen große Sedimentmengen in das Nordseebecken und in die begrenzenden Wattflächen. Sedimentationsraten nehmen signifikant mit der Wassertiefe zu, so dass das Skagerrak und das nördliche Kattegat als Senken für feinkörniges Sediment dienen (Lundqvist et al., 2003). Für den Transport der Sedimente ist die Strömung verantwortlich. Das Wasser in den flachen Bereichen der Nordsee besteht aus einer Mischung von Atlantikwasser und ablaufenden Süßwasser. Die tieferen Bereiche enthalten relativ reines Wasser aus dem Atlantik ([www.ospar.org/eng/doc/pdfs/R2C2.pdf](http://www.ospar.org/eng/doc/pdfs/R2C2.pdf)).

Die Hauptströmungen formen eine zyklonische Zirkulation (Abbildung 2.1). Der Großteil dieses Wassertransportes ist im nördlichen Teil der Nordsee konzentriert, wo ein Hauptaustausch mit der Norwegischen See erfolgt. Der größte Einstrom erfolgt entlang des

westlichen Randes des Norwegischen Grabens. Weitere Einströme finden sich östlich der Shetlandinseln und zwischen den Shetland- und Orkneyinseln. Ein Teil des nördlichen einströmenden Wassers kreuzt den Graben nördlich von Westnorwegen und fließt nordwärts zurück ([www.ospar.org/eng/doc/pdfs/R2C2.pdf](http://www.ospar.org/eng/doc/pdfs/R2C2.pdf)). Mit dem Einstrom von atlantischem Wasser

gelangen Nährstoffe (Nitrat, Phosphat, Silikat) in die Nordsee. Ihre Konzentration im Atlantikwasser ist relativ zu den eutrophen Küsten gering. Es gelangen jedoch große Mengen an Atlantikwasser in die Nordsee, so dass die transportierte Gesamtmenge an Nährstoffen wiederum sehr groß ist. Beispielsweise gelangen pro Jahr  $3.972 \pm 1.604$  Kilotonnen Nitrat auf diesem Weg in die Nordsee, während der Eintrag über Flüsse etwa 1.000 Kilotonnen pro Jahr beträgt (Becker, 2003).

Sowohl die herrschenden Strömungs- wie auch die Nährstoffbedingungen bieten vielen kommerziell genutzten Fischarten gute Laich- und Aufzuchtbedingungen. In der südlichen und westlichen Nordsee befinden sich die Laichgebiete von z.B. *Gadus morhua*, *Pleuronectes platessa*, *Solea solea*, in der nördlichen bzw. nordöstlichen und westlichen Nordsee die Laichgründe von *Merlangius melangus*, *Pollachius virens* und *Melanogrammus aeglefinus*. Die Eier und Larven einiger Fischarten gelangen mit der Strömung in flachere Gewässer oder bis ins Wattenmeer, der Kinderstube von z.B. *Pleuronectes platessa*, *Solea solea*.

Das vielfältige Angebot der Nordsee wird jedoch nicht nur von Flora und Fauna, sondern auch vom Menschen stark wirtschaftlich und auch touristisch genutzt.

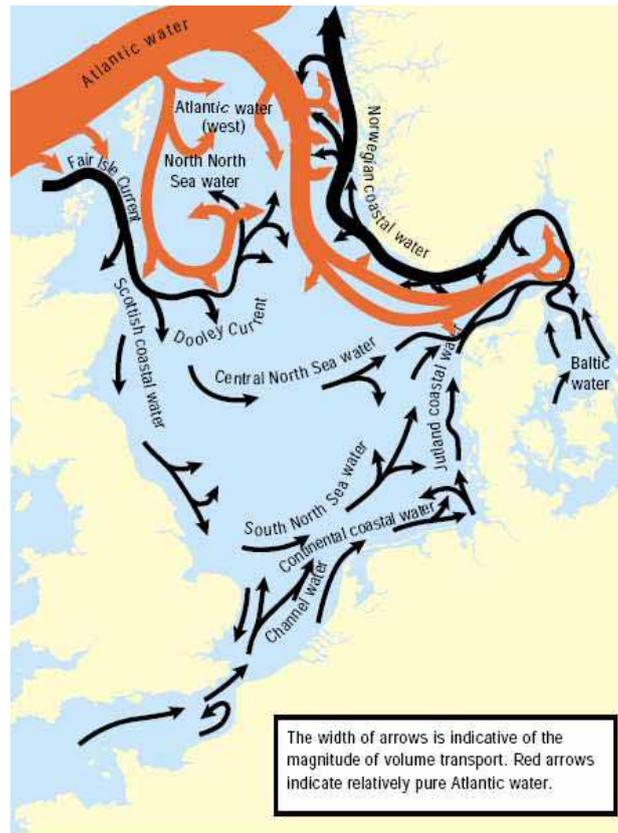


Abbildung 2.1: Schema der allgemeinen Zirkulation der Nordsee (nach Turrell et al. 1992).

## 2.2 Anthropogene Nutzungen in der Nordsee

Die deutschen Gewässer in der Nordsee lassen sich in zwei Bereiche unterteilen:

- 1) die 12 Seemeilen-Zone und
- 2) die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ).

Die 12 Seemeilen-Zone entspricht dem Küstenmeer und ist deutsches Hoheitsgebiet. Die AWZ befindet sich seewärts der 12 Seemeilen-Grenze bis maximal 200 sm Entfernung zur Küste. Sie schließt sich an die hohe See an. Im Gegensatz zur 12 Seemeilen-Zone ist die AWZ kein nationales Hoheitsgebiet, aber gemäß dem Seerechtsübereinkommen von 1982 genießt die jeweilige Nation nationales Nutzungsrecht ([www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp](http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp)).

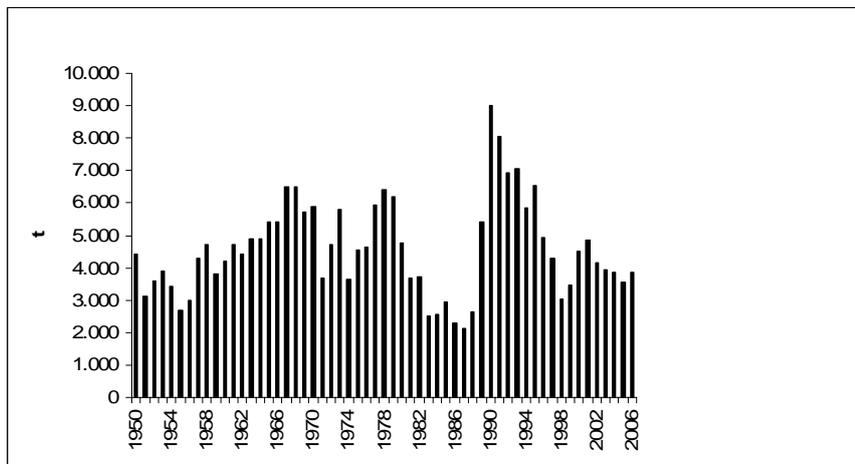
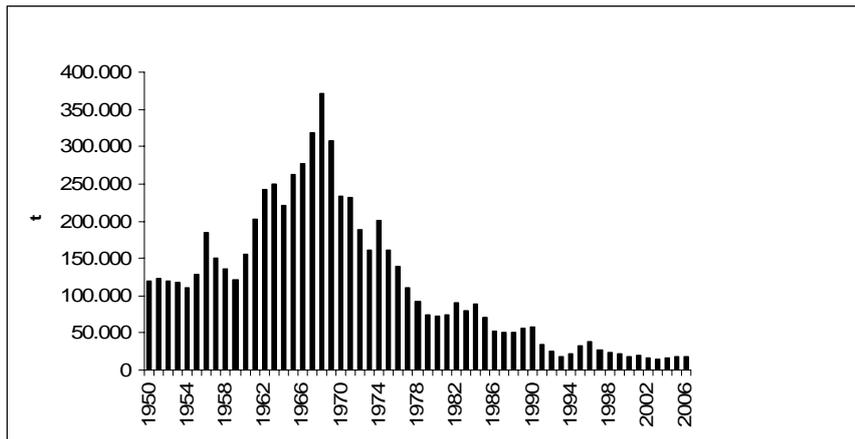
Die Einführung der deutschen AWZ am 11.11.1994 gemäß der UN-Seerechtskonvention bedingt eine Reihe von anthropogenen Nutzungen, z.B. durch Militär, Kiesabbau, Schifffahrt.

### Kommerzielle Fischerei

Eine in diesem Gebiet bestehende Nutzung, die sowohl den Meeresboden, benthische Organismen als auch demersale Fische stark beeinträchtigt, ist die Fischerei mit Bodenschleppnetzen und Baumkurren. Die Befischung mit Baumkurren verändert langfristig die Benthosgemeinschaft (Gill, 2005). In der südlichen Nordsee ändert sich bereits die

Häufigkeit des Vorkommens von einigen benthischen Arten. Zu beobachten ist eine Abnahme von Mollusken und eine Zunahme von Aasfressern (Rumohr, 2000). Heutzutage ist die Fischerei weitgehend keine nachhaltige Fischerei, jährlich gehen ca. 150.000 t nicht vermarktungsfähiger Fisch und ca. 85.000 t geschädigte oder tote Benthosorganismen als Discard (Beifang) über Bord (Lindeboom & deGroot, 1998). Es bestehen nur 5-30% des gesamten Fanggewichts auf Nordseeplattfische aus vermarktungsfähigem Fisch, d.h. auf 1 kg zu verkaufenden Fisch kommen 2-3 kg Discard (Rumohr, 2003). Die Welternährungsorganisation (FAO) schätzte im Jahr 2003, dass fast 50% der gesamten kommerziellen Fischbestände weltweit bis an ihre Grenzen ausgeschöpft bzw. überfischt sind (FAO, 2003). Mittlerweile wurden die Schätzungen auf ca. 70% erhöht (FAO, 2007). Für die Dynamik des Ökosystems Nordsee kann die langfristige Verringerung der Individuenzahlen von kommerziell genutzten Raubfischen wie z.B. *Gadus morhua* (Dorsch) und *Pleuronectes platessa* (Scholle) zur Folge haben, dass ihre Bedeutung im Ökosystem stark abnimmt. Sie verlieren nach und nach ihre, für das Ökosystem wichtige, Rolle als Topprädator, da die Überfischung der Räuber eine Zunahme der Beutetiere bewirken kann. Ihre Abundanz steigt durch den fehlenden Fraßdruck. Sie ernähren sich wiederum von anderen kleineren Organismen, auf die der Fraßdruck steigt (Lozán, 2003; Rumohr, 2000). Ein Top down gesteuertes wandelt sich zu einem Bottom up kontrolliertem Ökosystem.

Die Fischerei hat sich in den letzten Jahrzehnten rasant entwickelt. Dank technischer Fortschritte können die Fische effektiver aufgespürt und abgefischt werden. Die Entwicklung der Fischereiwerkzeuge ging hingegen nicht so effektiv voran. Noch immer gibt es keine Geräte, die selektiv bestimmte Fischarten befischen. Dies bedeutet, dass bei der Fischerei auf Scholle, alle anderen Fische und Benthosorganismen als Discard wieder zurück ins Meer gehen. Viele Fische, die nicht die vorgeschriebene Mindestlänge aufweisen sowie Individuen der Nichtzielarten überleben die Zeit im Netz bzw. an Bord nicht oder landen schwer verletzt wieder im Meer, wo sie für Prädatoren leichte Beute sind. Dies führt zur Abnahme der Bestände. Vor allem die starke Befischung der Topprädatoren *Pleuronectes platessa*, *Gadus morhua* und *Pollachius virens* sind eine Bedrohung für das Ökosystem Nordsee. Das Beispiel der Anlandungen Deutschlands im Atlantik verdeutlicht den Rückgang dieser Bestände in den letzten Jahrzehnten (Abbildung 2.2). In der Nordsee wurden im Jahr 2006 von internationalen Flotten 34.800 Tonnen Dorsch gefangen. Der Discard betrug 8.100 t (ICES, 2007). Im gleichen Jahr wurden 57.943 t Nordseescholle gefangen, der Discard machte etwa 80% aus (ICES, 2007).



**Abbildung 2.2:** Anlandungen Deutschlands in Tonnen im Atlantik im Zeitraum 1950 bis 2006. Oben für *G. morhua*, unten für *P. platessa*.

Die Nordsee kann vor solchen Verschiebungen und Störungen der ökologischen Dynamik nur durch eine nachhaltige Nutzung aller Bestände geschützt werden. Seit ca. 10 Jahren ist für die AWZ der deutschen Nordsee jedoch eine zusätzliche neue Nutzung geplant: Offshore - Windfarmen.

### **Offshore - Windkraft in Deutschland**

Seit ca. einer Dekade sind für die AWZ der deutschen Nordsee Offshore - Windparks geplant. Die meisten deutschen Projekte sind in Wassertiefen von 20 bis 35 Meter und einer Küstenentfernung von deutlich über 30 Kilometer vorgesehen. Dies ist eine Folge der intensiven Nutzung der deutschen Küstengewässer und des Naturschutzes im Küstenbereich der Nord- und Ostsee (z.B. Nationalpark Wattenmeer). Aktuell sind in der deutschen AWZ der Nordsee 17 Windparks genehmigt und 15 in Planung (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie, 14.09.2008).

Die Errichtung und die Inbetriebnahme der Anlagen ist eine weitere anthropogene Störung, die das hartsubstratarme Ökosystem Nordsee durch Einbringung von Hartsubstrat

(Windräder, Kolkschutz) verändert. Im 19. Jahrhundert gab es in der Nord- und Ostsee noch zahlreiche große Felsbrocken. Die Findlinge wurden von 1850 bis 1970 mit Hilfe von Tauchern befischt und im Hafen- und Straßenbau eingesetzt (Karez & Schories, 2005). Bis 1970 wurde die Steinfischerei immer weniger lukrativ und schließlich in Deutschland ganz eingestellt. Mit dem Bau von Offshore - Windparks wird ein, durch den Menschen, hartsubstratarmses Ökosystem, durch Einbringung von künstlichem Hartsubstrat (Windräder und Kolkschutz) erneut verändert.

Die Offshore - Windfarmen gestalten den Lebensraum Nordsee um. Ein Teil des Sandbodens geht durch Versiegelung beim Bau der Windräder verloren. Je nach Typ der Konstruktion der Piles und der gewählten Materialien für den Kolkschutz wird eine kleinere oder größere Fläche pro Windpark versiegelt. In dem hier modellierten Offshore - Windpark *Butendiek* wird die versiegelte Fläche 25.120 m<sup>2</sup> betragen. Dies ist etwa 0,1% der Gesamtfläche des Windparks (BSH, 2002). Das eingebrachte Hartsubstrat trägt zur Bildung von künstlichen Riffen bei. Ullrich (2006) berechnet, dass pro Pile (Piledurchmesser 5 m, in einer Tiefe von 30 m, inkl. Kolkschutz) 2.978 m<sup>2</sup> Hartsubstratfläche zur Besiedlung eingebracht werden.

Als Riff bildende Strukturen sind die Windräder eine Möglichkeit, die Nutzung des Habitats für einwandernde Spezies zu öffnen und Schutz für Juvenilstadien mobiler Organismen zu bieten (Gill, 2005). Letzterer Aspekt ist vor allem hinsichtlich der stark überfischten und sich verjüngenden Bestände von Bedeutung (Pauly, 1998; Agardy, 2000). Seit den 1970ern sinkt der trophische Level bei der Fischerei mit ca. 0,06 Punkten pro Jahrzehnt, da Arten am unteren Ende der Nahrungskette (z.B. *Hyperplus lanceolatus*, *Ammodytes marinus*) immer mehr zum Fang beitragen. Dieses Vorgehen wird von Pauly (1998) als „fishing down marine foodweb“ angedeutet. Vor allem in der Nordhemisphäre verändert sich seit ca. 50 Jahren die Fischerei von großen piscivoren zu kleineren planktivoren Fischen und Invertebraten. Dies bedeutet, nach dem Abfischen der geschlechtsreifen, großen Fische einer Art werden immer mehr jüngere noch nicht fortpflanzungsfähige Individuen gefangen. Die Anlandung der gleichen Menge Fische geringerer Größe bringt weniger Einnahmen. Als Folge werden mehr Fische abgefischt. Sind diese Fische des obersten trophischen Levels abgefischt, konzentriert sich die Fischerei auf die großen Individuen der darunter liegenden Trophieebene. Nach den ausgewachsenen, geschlechtsreifen werden auch hier die Juvenilen abgefischt. Dies setzt sich auf den folgenden trophischen Leveln fort. Die Dezimierung reproduktionsfähiger Individuen in einer Population führt zur Verkleinerung der Population bis hin zum Aussterben.

In dem Maße aber, wie die Anlandungen die Biomassen der einzelnen Organismengruppen widerspiegeln, verschiebt sich die Balance im Ökosystem Nordsee zugunsten niederer Tiere,

z.B. Krebse (Lozán, 2003). Nur die nachhaltige Bewirtschaftung der Fischbestände kann dies verhindern.

In Offshore - Windparks können Juvenilstadien mobiler Organismen, wie z.B. Fische, Schutz vor Prädatoren und Befischung aus zweierlei Gründen finden (Gill, 2005):

1. Entstehung künstlicher Riffe (Nahrungsquelle) und
2. Fischereiverbot innerhalb der Anlagen (Schutz).

Im Forschungsprojekt „Zukunft Küste - Coastal Futures“ (2004 – 2007, Projektnummer FKZ03F0404A) wurden fünf Szenarien für die Offshore - Windparks in der deutschen AWZ der Nordsee erarbeitet. Die einzelnen Szenarien unterscheiden sich in der Ausdehnung von Offshore - Windrädern im Zeitraum 2010 bis 2055 (Burkhard & Diembeck, 2006).

Anhand dieser Szenarien berechnet Ullrich (2006) die, durch die Besiedlung der Windkraftanlagen, zusätzlich ins Gebiet eingebrachte Biomasse für das Jahr 2055 bei geringer Ausdehnung der Piles mit 864.050 t und bei großer Ausdehnung mit 4.994.550 t.

Im Plangebiet des Offshore – Windparks *Butendiek* beträgt die Biomasse (Feuchtgewicht) der Benthosorganismen 13,828 t (Armonies und Buschbaum, 2003).

Die sich auf dem Hartsubstrat ansiedelnden Organismen bilden für einige Fische eine willkommene Nahrungsquelle. Die deutliche Zunahme der Biomasse in einem Habitat mit Hartsubstrat verdeutlicht den Einfluss von Offshore - Windparks als künstliches Riff in Form von Habitat (Hartsubstrat) und Nahrungsquelle für marine Organismen.

In Deutschland herrscht innerhalb von Offshore - Windfarmen Fischereiverbot. Die Fläche des Gebietes von *Butendiek* beträgt 31 km<sup>2</sup>. In Bezug auf die gesamten Fischereigebiete der Nordsee bewirkt ein Wegfall eines Gebietes dieser Größe oder der Fläche aller in der deutschen AWZ geplanten Anlagen keine Verbesserung der überfischten Bestände, da es zu keiner Reduzierung des gesamten Fischereiaufwandes kommt. Falls die Anzahl und Größe der Windparks in der deutschen AWZ auf andere Anliegerstaaten übertragen werden, könnten, die für die Fischerei teilweise oder ganz geschlossenen Gebiete eine Größe erreichen, die einen nachweisbaren positiven Effekt auf die Rekrutierung haben müsste (Ehrich, 2005).

### **2.3 Künstliche Riffe**

Künstliche Riffe werden schon seit vielen Jahren in den verschiedenen Meeren als Instrument zum Schutz gefährdeter Bestände eingesetzt. Sie reichen jedoch als alleinige Maßnahme nicht aus die Bestände zu schützen (Meier, 1989).

Von Menschen geschaffene Riffe dienen, z.B. im Mittelmeer, dem Schutz der Populationen von pelagischen und demersalen Nutzfischen, z.B. als geschützte Kinderstube, als Hartsubstrat-Habitat und als Schutzzone vor Räubern (Bombace, 1989; Aabel et al., 1997). Künstliche Riffe gibt es auch in Nord- und Ostsee. Vor der Insel Sylt trägt die künstliche Erweiterung eines natürlichen Sandriffes u. a. zum Küstenschutz bei. In der Ostsee wird, in einem aktuellen Projekt der Universität Rostock, die Wirkung eines künstlichen Riffs westlich von Warnemünde auf die Fischpopulationen und die Fischerei untersucht (<http://www.uni-rostock.de/riff>). Das Riff besteht aus verschiedenen Einheiten von Betonröhren, Natursteinschüttung und Seegrasswiesen. Ziele des Projektes sind u. a. die Schaffung künstlicher Laich- und Nahrungsplätze für Wirtschaftsfische, die Bereitstellung von Schutz- und Aufenthaltsräumen besonders für Jungfische, die Verbesserung der Wasserqualität durch Ansiedelung filtrierender Organismen, sowie die Konzentration von Wirtschaftsfischen zu Schutzzwecken und/oder einer gezielten Bewirtschaftung.

Juvenile und adulte Individuen von Fischarten, die durch Hartsubstrat limitiert sind, besiedeln künstliche Strukturen meist schnell (Alevizon & Gorham, 1989). Die Besiedlung kann in wenigen Stunden, abhängig von Alter, Art, Jahreszeit, Alter des Riffs und Lokalität, erfolgen (Bohnsack et al., 1985). Künstliche Riffe locken nicht nur pelagische Fische, sondern auch Plattfische, z.B. *Pleuronectes platessa*, *Solea solea* und andere demersale Fische wie *Gadus morhua* an. In der südlichen Nordsee wurden an den Öl- und Gasförderstützpunkten u. a. Plattfische, wie *Solea solea*, *Pleuronectes platessa* und *Limanda limanda* nachgewiesen (Aabel et al., 1997). Aabel et al. (1997) weisen in ihrer Studie auf Untersuchungen an der Ekofisk Plattform in Norwegen hin. An der Plattform wurde eine Ansammlung von *Gadus morhua* festgestellt. Die Dichte der Dorsche nahm mit zunehmender Distanz zur Plattform ab.

Die Fische wandern zwischen den einzelnen Riffteilen hin und her. Bedeutend ist dabei die Entfernung zwischen den jeweiligen Riffelementen. Alevizon et al. (1989) zeigten an einem Riff in Florida, dass Fische die Abstände von 80 m problemlos überwandern. Im Gebiet *Horns Rev*, Dänemark, legten *Pleuronectes platessa* und *Gadus morhua* Distanzen von ca. 1.000 m zwischen den Strukturen zurück (Stottrup, 2000). Hvidt (2005) schließt aufgrund der Ergebnisse des Monitorings im Offshore - Windpark *Horns Rev* und Literaturdaten darauf, dass Windräder Fische aus 500 m und größeren Entfernungen anlocken. Dies wird beeinflusst durch Verhaltensmuster und Mobilität der Fische, Bathymetrie, Zusammensetzung des Substrates (große Fische halten sich in Gebieten mit variierender Topografie des Meeresbodens auf), Salinität, Temperatur und anderen ozeanographischen Parametern (Hvidt, 2005).