

Die Ökologie der Nordsee

Aktuelle Nutzungsprobleme und Trends

Stand: Dezember 2006

CF-Arbeitsbericht X

Anke Schmidt & Dr. Kai Ahrendt



Die Ökologie der Nordsee

Aktuelle Nutzungsprobleme und Trends



Erstellt durch Anke Schmidt & Kai Ahrendt

Dezember 2006

(1) Abiotik der Deutschen Nordsee.....	3
(1.1) Topographie.....	3
(1.2) Seegrund und Sedimentologie.....	3
(1.3) Hydrologie.....	6
(1.4) Bestandsdarstellung des deutschen Wattenmeers.....	11
(1.4.1) Entstehung.....	12
(1.4.2) Sedimentologie.....	13
(1.4.3) Hydrologie.....	14
 (2) Flora und Fauna der Deutschen Nordsee.....	 15
(2.1) Plankton.....	16
(2.2) Benthos.....	16
(2.3) Fische.....	20
(2.4) Vögel.....	21
(2.5) Marine Säuger.....	23
(2.6) Vegetation.....	24
 (3) Aktuelle Probleme und Trends	 25
(3.1) Die Fischerei und deren Auswirkungen (Beeinträchtigungen)	26
(3.2) Die Auswirkungen und Beeinträchtigungen durch die Schifffahrt	27
(3.3) Beeinträchtigung durch die Abfallentsorgung in der Nordsee	28
(3.4) Rohstoffgewinnung in der Nordsee	29
(3.5) Offshore Windenergie inklusive Service-Leistungen.....	29
(3.6) Verlegung von Kabeln und Pipelines	40
(3.7) Küstenschutz.....	41
(3.8) Tourismus	42
(3.9) Militär	42
(3.10) Landwirtschaft	43
(3.11) Marikultur.....	44
(3.12) Straßenverkehr an Land.....	45
(3.13) Schutzgebiete.....	46
(3.14) Fazit:	49
 (4) Literatur	 50

(1) Abiotik der Deutschen Nordsee

(1.1) Topographie

Die Nordsee ist ein Nebenmeer des Nordatlantiks und hat als Schelfmeer eine durchschnittliche Wassertiefe von 25 bis maximal 50 m. Richtung Norden, mit zunehmender Nähe zum Kontinentalhang, vergrößert sich die Wassertiefe.

Die Nordsee öffnet sich zum einen nach Norden, zum anderen nach Süden durch den Ärmelkanal zum Atlantik. Festländisch begrenzt wird sie durch Großbritannien im Westen, das mitteleuropäische Festland im Süden, sowie durch die jütländische Halbinsel und die Küsten von Schweden und Südnorwegen im Osten. Zwischen Nordsee und Atlantik verläuft die Grenze im Norden entlang 62° nördlicher Breite, im Süden schließt sie den Ärmelkanal mit ein (LÓZAN ET AL, 2003).

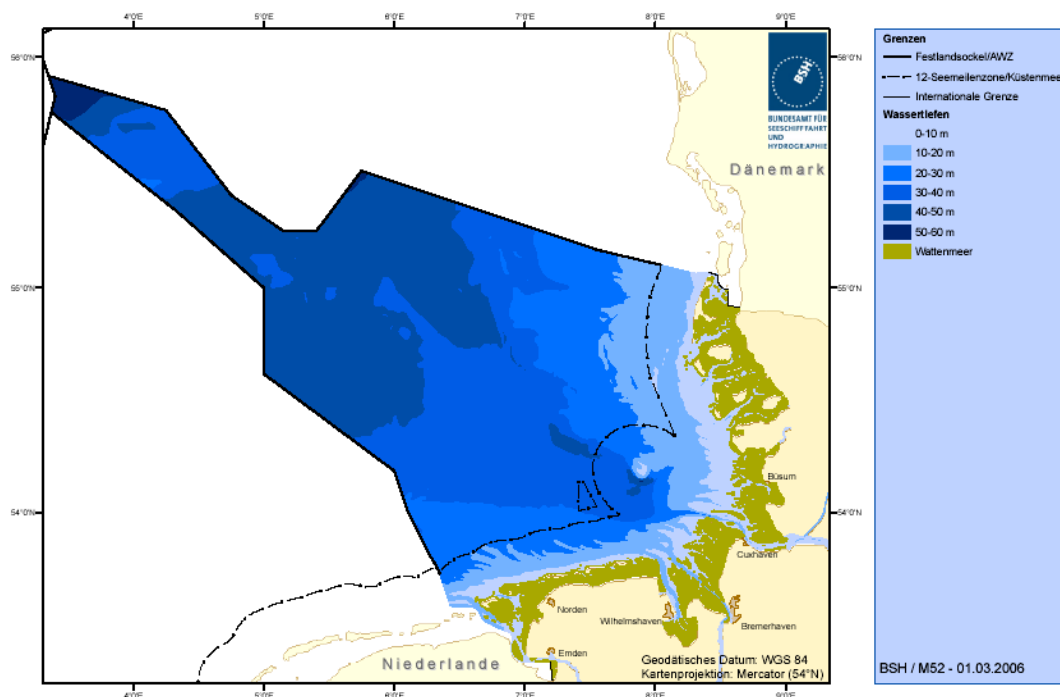


Abb. 1: Wassertiefen der AWZ (Quelle: BSH www.bsh.de)

Der zu betrachtende Bereich bezieht sich auf die Deutsche Bucht, speziell auf die AWZ. Diese ist identisch mit dem deutschen Festlandsockel. Der Meeresboden liegt in Tiefen zwischen 0 bis 10 m im Bereich des Wattenmeeres und der Küste sowie zwischen 20 und 50 m in der AWZ. Ein kleiner Bereich im äußersten Nordwesten liegt in Tiefen von mehr 50 m.

(1.2) Seegrund und Sedimentologie

Die sedimentologischen Verhältnisse in der Deutschen Bucht sind durch die geologischen Entwicklungen seit der letzten Eiszeit vorgegeben. Der Untergrund besteht aus Sedimenten die während des Pleistozäns und des Holozäns abgelagert wurden, wobei unterschiedliche Ablagerungsbedingungen zu unterschiedlichen Bodenarten geführt haben (SINDOWSKI, 1970 in: GIGAWIND 2001).

Die maßgebliche geologische Entwicklung begann im Perm mit ausgedehnten Sedimentationssenkungen tektonischen Ursprungs. Im Tertiär kam es zu einer Absenkung des Nordseebeckens gefolgt von einem Ausgleich durch Ablagerungen von flachmarinen und terrestrischen Sedimenten. An der Grenze vom Tertiär zum Quartär dehnte sich durch Regression der Nordsee die Küstenebene weiträumig aus. Infolge zyklischer Klima- und Meeresspiegelschwankungen während des Quartärs erhöhte sich die auf die Nordsee gerichtete Sedimentfracht. Im mittleren und oberen Pleistozän wechselten Kalt- und Warmzeiten. Während sich in den Kaltzeiten große Gletschermassen ausbreiteten, kam es zu Moränenablagerungen, Eisstauchungen und dem Ausschürfen von Rinnenstrukturen. Des Weiteren wurden äolische und fluviale Rückstände sowie Beckentone und Schluffe abgelagert. In den auf die Kaltzeiten folgenden Warmzeiten kamen nach Abschmelzen der Eismassen und Anstieg des Meeresspiegels überwiegend marine Sedimente, Watt und Brackwassersedimente zur Ablagerung, zum Teil bildeten sich Moore.

Der Meeresspiegelanstieg setzte sich seit der letzten Eiszeit fort und die heutige Nordsee überschwemmte die pleistozäne Landschaft. Der pleistozäne Untergrund wurde von postglazialen Sedimenten des Holozäns, überwiegend marines und terrestrisches Material, überlagert (SCHWARZ, 1996 in: GEO mbH 2003).

Die pleistozänen Böden weisen infolge der massiven Gletscherauflast eine hohe Lagerungsdichte auf und sind hochgradig überkonsolidiert. Sie bestehen überwiegend aus Fein- bis Mittelsanden, zum Teil auch aus Grobsanden, Schluffen, sowie Geschiebemergel und -lehm. Tonig-schluffige feine Beckensedimente werden als Lauenburger Ton bezeichnet. Die Schichtfolge spiegelt die Abfolge der Kalt- und Warmzeiten wieder. (vgl. Tabelle 1).

Der pleistozäne Untergrund verfügt über eine gute Tragfähigkeit. Er wird in manchen Bereichen durch eine Steinlage von den holozänen Sedimenten abgegrenzt (SINDOWSKI, 1970 in: GIGAWIND 2001). Diese sind geologisch jünger und überlagern die Sedimente des Pleistozäns.

Im Holozän haben die abfließenden Schmelzwässer tiefe Rinnen in den pleistozänen Untergrund eingeschnitten, die nachträglich verfüllt wurden. Die Böden bestehen aus Sanden, Schluffen und Tonen mit lockerer bis mittlerer Lagerungsdichte, z.T. sind Mudden und Torfe eingeschaltet. Die Schichtdicke der holozänen Sedimente ist regional sehr unterschiedlich. Sie beträgt im Durchschnitt wenige Meter, abgesehen von einer Mächtigkeit bis zu 16 m im Elbe-Urstromtal (SINDOWSKI, 1970 in: GIGAWIND, 2001).

vermutete Entstehungszeit		Schicht	Schicht- dicke	Bodenart
Holozän		obere, marine Schicht	1 – 15 m	meist graue Feinsande und schluffige Feinsande (Schlicksand) mit Molluskenresten, stark kalkhaltig Sande und Tone (Klei)
Pleistozän	Weichsel-Eiszeit	limnisch-fluviatile Schicht	0 – 17 m	oberer Schichtbereich : tonig-sandige Mudden oder humose Lagen unterer Schichtbereich: Fein- bis Mittelsande mit Kieskomponente
	Eem-Warmzeit	mittlere marine Schicht	4 – 20 m	Fein- bis Mittelsande mit Kies
	Drenthe (Saale)-Eiszeit	Beckenablagerung	0 – 3 m	dunkle Tone
		glaziäre Schicht	1 – 10 m	grauer, sandiger geschiebearmer Geschiebemergel bzw. Geschiebelehm
		obere glazifluviatile Schicht	> 2 m	Fein- bis Mittelsande mit geringer Kieskomponente
	Holstein-Warmzeit	untere marine Schicht	> 2 m	Fein- bis Mittelsande
	Elster-Eiszeit	Beckenablagerung	bis 30 m	dunkle, z.T. gebänderte Tone (Lauenburger Ton)
		untere glazifluviatile Schicht	> 2 m	Fein- bis Mittelsande mit geringer Kieskomponente

Tab. 1: Schichtenfolge in der Nordsee nach Sindowski (1979) (Quelle: GIGAWIND, 2001, S. 28)

Die Oberflächensedimente bis in eine Tiefe von 10 cm werden auf der Karte „Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht“ (FIGGE, 1981; Abb. 2) dargestellt. SCHWARZER & DIESING (2003) teilen die Deutsche Bucht genetisch in drei Bereiche: (1) Das Elbe-Urstromtal und der Bereich westlich davon, (2) den Borkum Riffgrund und (3) in den Bereich östlich des Elbe-Urstromtals. Im Bereich des Elbe-Urstromtals (1) ist die holozäne Sedimentation bis zu 16 m mächtig. Sie umfasst hauptsächlich feine Sande mit einem Silt- und Tongehalt von 5 bis 50%, das Relief ist relativ eben. Der Borkum Riffgrund (2) liegt in Wassertiefen von 20 bis 30 m und weist ein unruhiges Relief auf. Das Sediment, bestehend aus groben Sanden und Kies, als Restsediment des Pleistozäns wird in zwei Sedimenttypen unterschieden. Zum einen in Grobsedimente, wie Mittel- und Grobsand sowie Kies, mit einem Sandgehalt von 16 bis 93%, einem Kiesgehalt von 5 bis 82% und einem Ton- und Siltgehalt von weniger als 2%. Zum anderen in marine Sande, wie Fein-, Mittel- und Grobsand mit einem Kies-, Ton- und Siltgehalt von weniger als 5%. Der Bereich östlich des Elbe-Urstromtals (3) hat ebenfalls ein unruhiges Relief und ist in seiner Sedimentzusammensetzung ähnlich dem Borkum Riffgrund. Es treten ebenfalls Kiese als Restsedimente aus dem Pleistozän sowie Sande verschiedener Korngrößen auf. Die Grobsedimente bestehen aus kiesigen Grobsanden und grobsandigen Kiesen mit einem Sandgehalt von 29 bis 62%, der Kiesanteil liegt bei 32 bis 70%, der Silt- und Tongehalt ist gering. Die Fein- und Mittelsande in diesem Bereich haben einen Sandgehalt von 94 bis 99% und Silt-, Ton- und Kiesgehalte von weniger als 5% (SCHWARZER & DIESING, 2003).

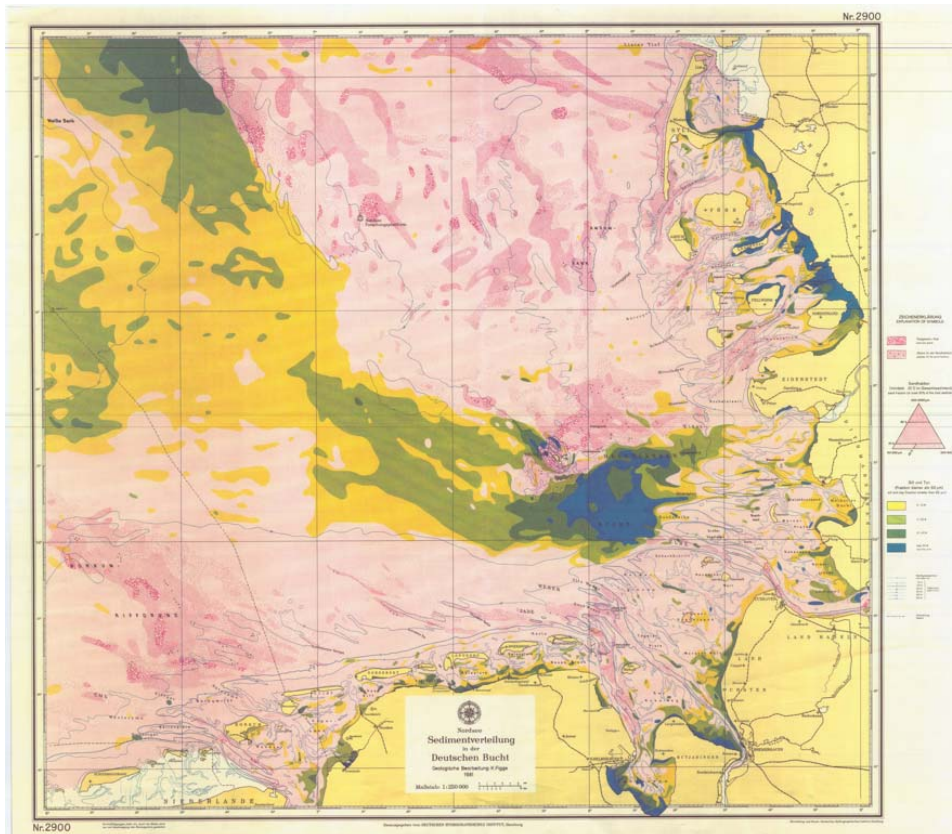


Abb. 2: Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht (Quelle: FIGGE, 1981)

Die im folgenden Kapitel 3.5 aufgeführten Windpark-Bauvorhaben sind nach der vorangegangenen Diskussion nach SCHWARZER & DIESING (2003) wie folgt einzuordnen:

- Im Bereich des Elbe-Urstromtals sind die Windparks Global Tech I und der Hochseewindpark Nordsee geplant, sowie die noch nicht genehmigten Windparks „Forseti“, „Bard Offshore I“ und der „Hochseewindpark, He dreht“.
- Im Bereich des Borkum Riffgrunds sind die Windparks „Borkum West“, „Borkum Riffgrund“, „Borkum Riffgrund West“ und „Gode Wind“ genehmigt, sowie „North Sea Wind Power“ beantragt.
- Für das Gebiet östlich des Elbe-Urstromtals wurden die Windparks „DanTysk“, „Sandbank 24“, „Butendiek“, „Nördlicher Grund“, „Amrumbank West“, sowie „Nordsee Ost“ genehmigt. Beantragt wurden hier weiterhin die Windparks „Uthland“, „Weiße Bank“, „Meerwind“ und „Offshore Helgoland“.

(1.3) Hydrologie

Die Dynamik der Nordsee wird durch die überwiegend halbtägigen Gezeiten geprägt. Diese sind keine „eigenen“ Gezeiten sondern werden durch die Gezeiten des Nordatlantiks hervorgerufen. Dessen Gezeitenwelle strömt zwischen Schottland und den Shetlandinseln in die Nordsee und trifft im südlichen Bereich auf die atlantische Gezeitenwelle, die durch den Englischen Kanal einströmt. Zusammen strömen diese dann entgegen dem Uhrzeiger nach Norden (LÓZAN ET AL, 2003).

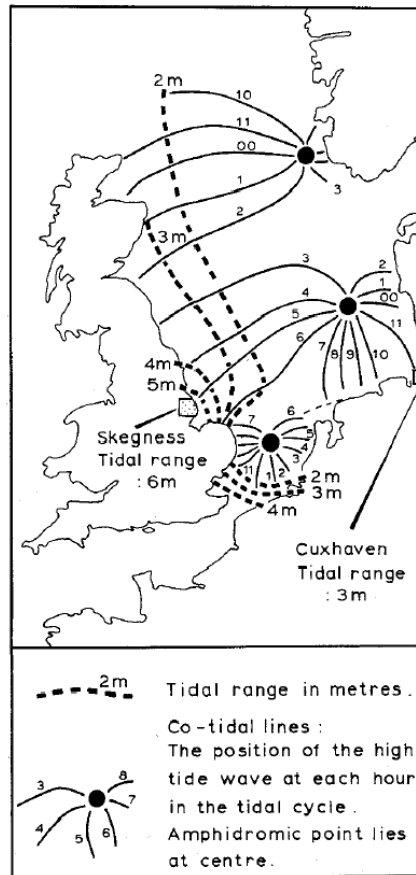


Abb. 3: Amphidrome in der Nordsee (Quelle: PETHICK, 1984, S.63)

In der Deutschen Bucht wird die Gezeitenströmung durch eine astronomisch verursachte Tidewelle von 1,5 bis 3,5 m Höhe bestimmt. Die Tideströmung variiert in Bezug auf Richtung und Geschwindigkeit lokal stark. Ihre Dynamik ist ein prägender Faktor für die Hydrodynamik, da starke Strömungen zum Teil lokale erhöhte Sedimentumlagerungen verursachen. Die Stärke der Nordseezirkulation hängt von der vorherrschenden Luftdruckverteilung über dem Nordatlantik ab, wobei die oberflächennahe Zirkulation fortlaufend durch das lokale Windfeld modifiziert wird. In der Deutschen Bucht bilden sich dabei neun typische Zirkulationsmuster aus. Diese werden täglich aus den mit dem operationellen Strömungsmodell des BSH berechneten oberflächennahen Restströmen bestimmt. Die häufigsten Muster sind die zyklonale Zirkulation (ca. 45 %) mit deutlichem Einstrom am SW-Rand der Deutschen Bucht und Ausstrom am N- und/oder NW-Rand, die gegensinnig gerichtete antizyklonale Zirkulation (ca. 10 %) und ein variables Strömungsmuster (25 – 30 %), das zeitweise von Wirbelstrukturen geprägt ist, die sich bei ruhigen Wetterlagen über mehrere Tage verfolgen lassen. Sechs weitere Kategorien sind von untergeordneter Bedeutung mit Häufigkeiten von deutlich unter 10 %.

Die mittleren Beträge der Strömungsgeschwindigkeit (skalares Mittel) betragen zwischen 25 und 56 cm/s in Oberflächennähe und bis zu 42 cm/s in Bodennähe. Die Gezeitenströme wurden durch den Anschluss an den Pegel Helgoland bestimmt, d.h. die gemessenen Strömungen werden zu den dort beobachteten Tidenhöhen und Hochwasserzeiten in Beziehung gesetzt (KLEIN und MITTELSTAEDT, 2001). Die so ermittelten maximalen Gezeitenströme liegen in Oberflächennähe zwischen 36 und 86 cm/s und zwischen 26 und 73

cm/s am Boden. Basierend auf einer Analyse aller zwischen den Jahren 1957 und 2001 vom BSH bzw. vom Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) durchgeführten Strömungsmessungen (KLEIN, 2002) ergeben sich für die Deutsche Bucht Reststromgeschwindigkeiten (Vektormittel) zwischen 1 und über 6 cm/s in Oberflächennähe (3 - 12 m) bzw. zwischen 1 und 3 cm/s in Bodennähe (0 - 5 m über dem Meeresboden).

In der Deutschen Bucht ist die Zusammensetzung des Wassers und dessen Qualität maßgeblich durch das Zusammentreffen von Süßwasser aus den großen Flüssen und salzhaltigem Seewasser der offenen Nordsee bestimmt. Daraus resultiert eine Front mit scharfem Salzgradient zwischen dem Wasser, welches der Elbe entstammt und einen Salzgehalt von 32 psu (practical salinity units) aufweist, und dem gemischt ästuarinen Nordseewasser mit einer Salinität von 32 bis 34 psu. Diese Front verläuft entlang der 20 m Tiefenlinie auf einer Breite von bis zu 10 km und ist quasi-stabil.

Die Temperatur der Nordsee wird deutlich durch den Schelfmeercharakter beeinflusst. Die Temperatur der Wasseroberfläche liegt während der Sommermonate im Durchschnitt zwischen 17 und 18°C, im Winter bei 3 bis 4°C (*BIO/CONSULT 1999*, in: GEO mbH 2003). Daraus ergibt sich eine jährliche Schwankung von 14°C im Oberflächenwasser. In größeren Tiefen nimmt diese Temperaturdifferenz deutlich ab, es könnten sich hier stabile Schichtungen aufbauen.

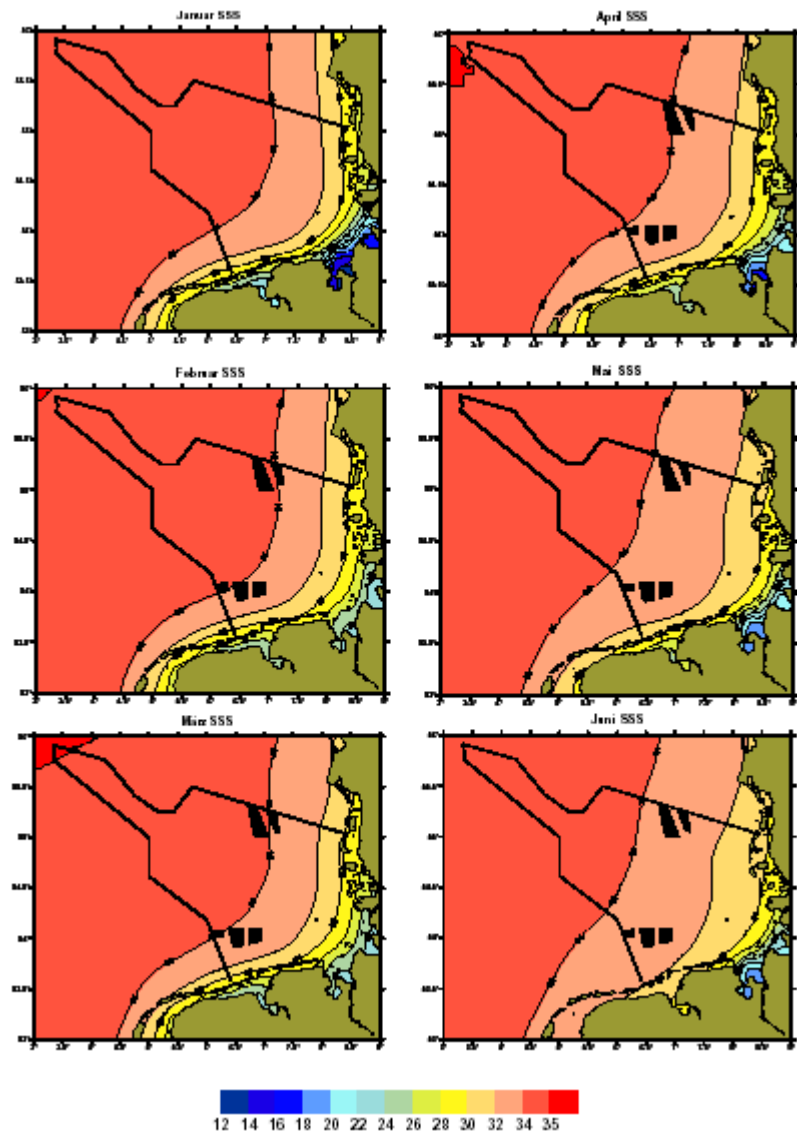


Abb. 4: Klimatologische Monatsmittel der Oberflächentemperatur (1900-1996) nach JANSSEN et al. (1999) für die Monate Januar bis Juni

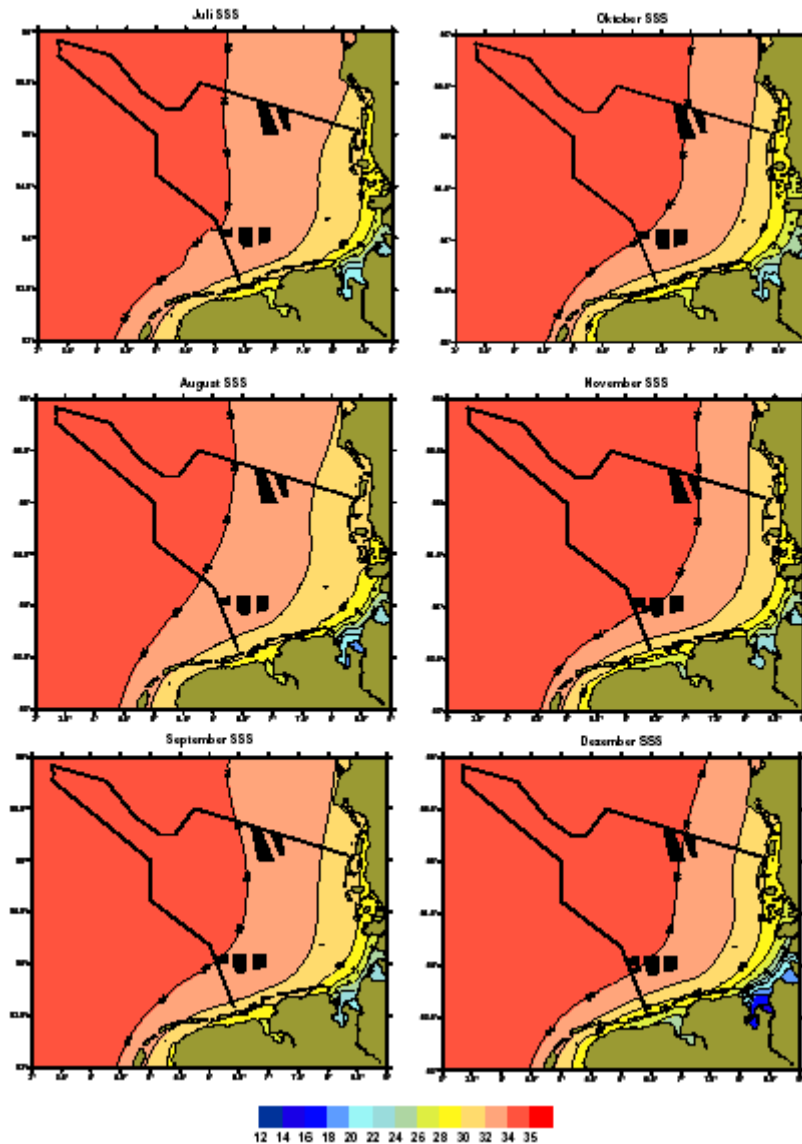


Abb. 5: Klimatologische Monatsmittel des Oberflächensalzgehalts (1900-1996) nach JANSSEN et al. (1999) für die Monate Juli bis Dezember.

Die Nordsee liegt allgemein im Bereich der Westwinddrift, welcher von Island-Tiefs und Azorenhochs bestimmt wird. Tiefdruckgebiete, die von Nordwest nach Südost ziehen, prägen die Windverhältnisse über der Nordsee. Die zonale Windkomponente kann durch Verschiebung der atlantischen Drucksysteme, sowie durch andauernde kontinentale Hochdruckgebiete verlagert oder abgeschwächt werden (LÓZAN ET AL, 1990).

Der Seegang der Nordsee setzt sich zusammen aus lokal erzeugten Wellen (Windsee) und Wellen anderer Ursprungsgebiete (Dünung). Die maximale Wellenhöhe beträgt 10 m, bei mittlerer Windstärke ist durchschnittlich mit einer Wellenhöhe von 5 bis 5,4 m zu rechnen (DHI 1999, in: GEO mbH, 2003).

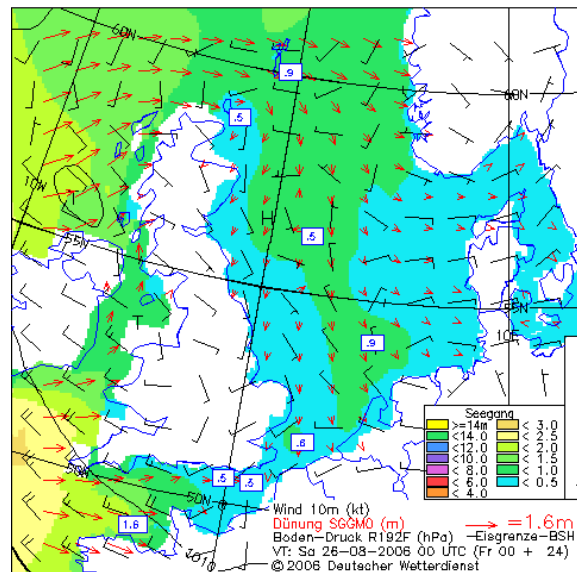


Abb. 6: Seegang und Windverhältnisse der Nordsee (Quelle: BSH, www.bsh.de)

Je nach Wetterlage, also abhängig von Wind und Seegang, beträgt der Anteil an lithogenen, biogenen und hydrogenen Schwebstoffen ($> 0,5\mu\text{m}$) 0 bis 100 mg/l. Dieser resultiert aus dem Reibungsstrom der Gezeiten und zyklisch auftretenden Stürmen, sowie dem Schelfmeercharakter der Nordsee (GEO mbH, 2003).

(1.4) Bestandsdarstellung des deutschen Wattenmeers

Das Wattenmeer ist eine bis zu 40 km breite Übergangszone zwischen der Nordsee und der Marschküste. Es erstreckt sich von Den Helder in den Niederlanden bis nach Blåvandshuk in Dänemark auf einer Länge von etwa 500 km und bedeckt eine Fläche von rund 9300 km². Das Watt ist ein der Küste vorgelagerter Bereich mit größeren Gezeitenschwankungen, die bewirken, dass der Küstenbereich zweimal täglich überflutet wird und anschließend wieder trocken fällt.

Die südliche Nordseeküste lässt sich den Gezeiten nach in drei Bereiche unterteilen. Zum einen in den mikrotidalen Bereich, mit gering ausgeprägten Gezeiten zwischen Holland und der Küste im Norden Jütlands. Hier treten geradlinige Ausgleichsküsten auf. Der mesotidale Bereich hat zwei Verbreitungsgebiete: der Küstenabschnitt zwischen Texel und der Jademündung sowie der zwischen Fanø und Süderoogsand. Der Tidenhub beträgt hier mehr als 1,35 m und die geschlossene Dünenküste wird von einem System aus Watt und vorgelagerten Inseln abgelöst. Diese Inseln fehlen im makrotidalen Bereich, es dominieren offenes Watt und Sandbänke (LOZÁN, 1994). Das Wattenmeer als übergeordnete Einheit umfasst sowohl die eigentlichen Wattflächen als auch die vorgelagerten Inseln und Salzwiesen. Zwischen Wattenmeer, offener Nordsee und Ästuaren besteht ein ständiger Stoff- und Organismenaustausch (LOZÁN, 1994).

(1.4.1) Entstehung des Wattenmeeres

Die Entstehung des Wattenmeers ist ein Ergebnis der Gezeiten. Unterschiedliche Mechanismen führten zu der Bildung des Wattenmeers sind jedoch regional sehr unterschiedlich abgelaufen. Festzuhalten ist, dass ein flaches Küstenvorfeld, ein reichliches Angebot an Lockersedimenten, sowie das Zusammenwirken von Gezeiten und Seegang wichtige Voraussetzungen sind.

Der seeseitige Beitrag zur Bildung des Wattenmeers war hauptsächlich die Transgression. Die heutige Nordsee lag während der Eiszeiten im Einflussbereich der großen Gletscher. Während der Eiszeiten fiel der Meeresspiegel um mehrere Zehnermeter, die Nordsee war eisbedeckt. Am Ende der Eiszeiten kam es infolge des Abschmelzens der Gletscher zu einem Anstieg des Meeresspiegels. Einen geringen Einfluß hat dazu die isostatische Ausgleichsbewegung der skandinavischen Platte, die nach der Druckentlastung durch abtauende Gletscher eine Kippbewegung vollführte. Der südwestliche Teil senkt sich auch heute noch langsam ab, im Gegenzug hebt sich der nordöstliche. Auf diese Weise konnte das Wasser in das heutige Nordseebecken eindringen (flemming et al, 2002). Seit etwa 4000 Jahren überwiegt die Sedimentation gegenüber dem Meeresspiegelanstieg. Sobald die Wattflächen den mittleren Tidehochwasserspiegel überstiegen bildeten sich Salzmarschen. Mit dem Tidestrom der Gezeiten wurden große Mengen an Sand in Richtung der ostfriesischen Küste transportiert, die sich in Form von Strandwällen ablagerten. Diese wuchsen mit der Zeit in die Höhe und bildeten ein geschlossenes System. Bei Hochwasser wurde das Flachland überschwemmt und die Nehrungen und Strandwälle von der Küste abgeschnitten. Aus ihnen gingen die ostfriesischen Inseln hervor, deren Schwemmsandkörper dynamischen Veränderungsprozessen unterliegen.

Schmelzwässer der Gletscher sammelten sich in Senken und bildeten Moore, die heute als Basistorf unter den postglazialen, marinen Sedimenten anstehen. Mit zunehmender Transgression wurden die flachen Bereiche überflutet. In der Phase des Strömungsstillstands wird Material sedimentiert, also das Watt aufgebaut erhöht und seltener überflutet. Auf diese Weise entstanden als natürlicher Verlandungsprozess auf den Mooren die Wattflächen. (flemming et al, 2002) Im Vergleich zu den Ostfriesischen Inseln bestehen die Nordfriesischen Inseln Amrum, Sylt und Föhr aus alten Festlandsresten, die durch Erosion und Sedimentation verändert wurden. Die Marscheninseln entstanden Die Entstehung des Wattenmeeres ist ein Ergebnis der Gezeiten. Unterschiedliche Mechanismen führten zur Bildung des Wattenmeeres, sind jedoch regional sehr unterschiedlich abgelaufen. Festzuhalten ist, dass ein flaches Küstenvorfeld, ein reichliches Angebot an Lockersedimenten sowie das Zusammenwirken von Gezeiten und Seegang wichtige Voraussetzungen sind.

Der seeseitige Beitrag zur Bildung des Wattenmeers war hauptsächlich die Transgression. Die heutige Nordsee lag während der Eiszeiten im Einflussbereich der großen Gletscher. Während der Eiszeiten fiel der Meeresspiegel um mehrere Zehnermeter, die Nordsee war eisbedeckt. Am Ende der Eiszeiten kam es infolge des Abschmelzens der Gletscher zu einem Anstieg des Meeresspiegels. Einen geringen Einfluß hat dazu die isostatische Ausgleichsbewegung der skandinavischen Platte, die nach der Druckentlastung durch abtauende Gletscher eine Kippbewegung vollführte. Der südwestliche Teil senkt sich auch heute noch langsam ab, im Gegenzug hebt sich der nordöstliche. Auf diese Weise konnte

das Wasser in das heutige Nordseebecken eindringen (FLEMMING ET AL, 2002). Seit etwa 4000 Jahren überwiegt die Sedimentation gegenüber dem Meeresspiegelanstieg. Sobald die Wattflächen den mittleren Tidehochwasserspiegel überstiegen, bildeten sich Salzmarschen.

Mit dem Tidestrom der Gezeiten wurden große Mengen an Sand in Richtung der ostfriesischen Küste transportiert, die sich in Form von Strandwällen ablagerten. Diese wuchsen mit der Zeit in die Höhe und bildeten ein geschlossenes System. Bei Hochwasser wurde das Flachland überschwemmt und die Nehrungen und Strandwälle von der Küste abgeschnitten. Aus ihnen gingen die Ostfriesischen Inseln hervor, deren Schwemmsandkörper dynamischen Veränderungsprozessen unterliegen.

Landseitig setzte die Marschbildung ein. Die Schmelzwässer der Gletscher sammelten sich in Senken und bildeten Moore, die heute als Basistorf unter den postglazialen, marinen Sedimenten durch in bestehendes Marschland einbrechende Sturmfluten (FLEMMING ET AL, 2002).

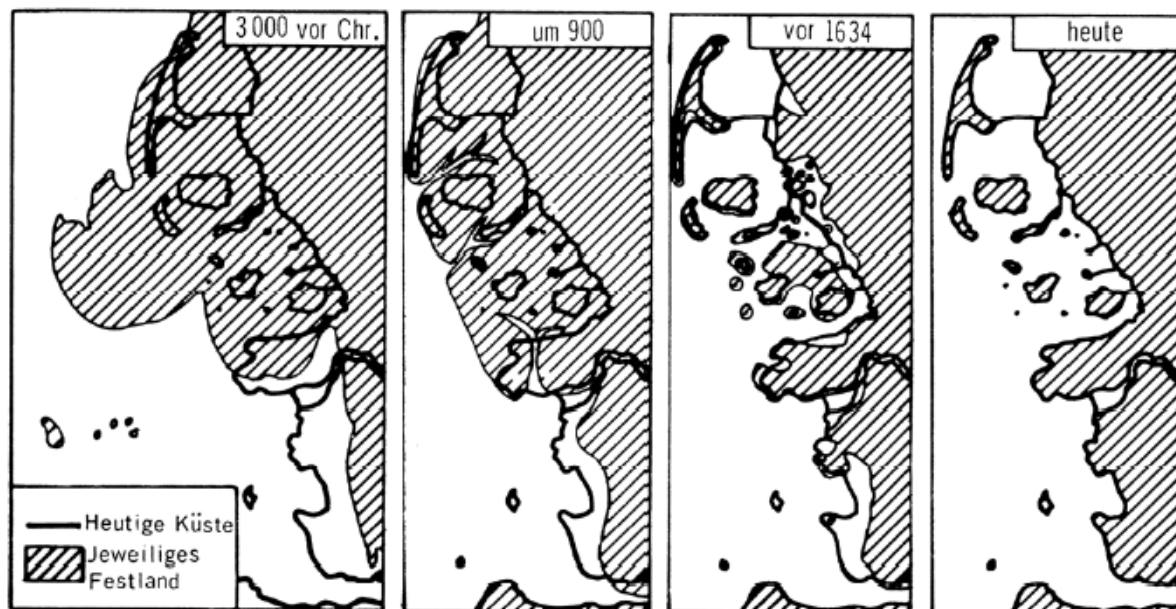


Abb. 7 : Entwicklung der schleswig-holsteinischen Nordseeküste (Quelle: GERHARD, 1981)

(1.4.2) Sedimentologie

Die Ablagerungen des Wattenmeers bestehen hauptsächlich aus Sand, Schluff und Ton. Es tritt kaum gröberes Material auf. Bei sehr ruhigen Sedimentationsbedingungen, wie sie an der Festlandsküste, an der Rückseite von Inseln und an Wattwasserscheiden vorkommen, wird Schlick abgelagert. Schlicksedimente bestehen zu einem erheblichen Teil aus organischem Material, zum Beispiel aus tierischen und pflanzlichen Resten.

Der Sand stammt vorwiegend vom Boden der Nordsee und ist aufgearbeitetes Material der Eiszeiten. Die Umverteilung des lockeren und unverfestigten Sediments erfolgt durch den küstenparallelen Längstransport (LOZÁN, 1994). Man unterscheidet den Wattboden in drei Typen: das Sandwatt, das Schlickwatt und das Mischwatt.

Im küstenfernen Bereich besteht das Watt hauptsächlich aus Sandwatt. Es weist grobkörniges Sediment und einen geringen Gehalt an Wasser und organischem Material auf. Das landnahe Schlickwatt dagegen hat einen hohen Anteil an Wasser und organischer Substanz, es wird vornehmlich in Stillwasserbereichen abgelagert. Beim Mischwatt handelt es sich um eine Übergangsform zwischen küstennahem Schlick- und küstenfernem Sandwatt.

Im Wattenmeer gibt es vier große Ablagerungsräume. Das hochgelegene Epilitoral besteht aus Wattflächen, die außer bei extremen Sturmflutereignissen nicht überflutet werden. Seewärts folgen Supralitoral, Eulitoral und Sublitoral. Das Supralitoral umfasst den Trockenstrand und die unbedeckten Salzmarschen, die nur bei hochauflaufendem Wasser überschwemmt werden. Der schmalere Nassstrand und die Wattflächen zwischen Inseln und Festland werden dem Eulitoral zugeschrieben. Dieser Bereich wird regelmäßig vom Hochwasser überschwemmt und fällt bei Niedrigwasser trocken. Das darauffolgende Sublitoral schließt die ständig mit Wasser bedeckten Flächen des Vorstrands sowie die Seegats und tiefere Wattrinnen ein (LOZÁN, 1994).

(1.4.3) Hydrologie

Die Strömung ist regional unterschiedlich. In großen Prielen und Rinnen erreicht sie Geschwindigkeiten zwischen 100 und 150 cm/s. auf den Wattflächen ist die Strömungsgeschwindigkeit wesentlich langsamer, sie beträgt Werte zwischen 30 und 50 cm/s (REINECK, 1978).

Das Wattenmeer zeichnet sich durch seine geringe Wassertiefe aus und unterliegt daher größeren Temperaturschwankungen als die offene Nordsee, welche als ausgleichender Wärmespeicher dient (BECKER, G. IN: UMWELTATLAS WATTENMEER). Generell ist das Wasser des Wattenmeers im Sommer wärmer und im Winter kälter als das Nordseewasser. Dies liegt neben der geringen Tiefe auch am Gezeiteinfluss, da sich die trockenen Wattflächen unter Sonneneinstrahlung schneller aufheizen und das Wasser im Winter schneller gefriert. Ebenso ist ein Unterschied zwischen Tages- und Nachttemperaturen zu beobachten (LOZÁN, 1994). Die Tiefsttemperaturen liegen bei $-1,5^{\circ}\text{C}$ im Winter, die Höchsttemperaturen liegen im Sommer bei 23°C , können in flachen Tümpeln aber bis auf 30°C ansteigen (BECKER, G. IN: UMWELTATLAS WATTENMEER).

Der Salzgehalt des Wattenmeers ist geringer als jener der Nordsee und unterliegt ebenso wie die Temperatur großen jahreszeitlichen Schwankungen. Im Herbst, wenn der Süßwassereintrag durch die Flüsse besonders gering ist, ist der Salzgehalt höher als im Frühjahr. Zu dieser Zeit tragen die Flüsse verhältnismäßig viel Süßwasser ins Wattenmeer. Das Wattenmeer hat einen praktischen Salzgehalt von durchschnittlich 30 psu, im Vergleich zu 34 psu der Nordsee. Er schwankt jedoch zwischen einem Minimum von 25 psu und einem Maximum von 32 psu (BECKER, G. IN: UMWELTATLAS WATTENMEER).

Ebenso schwankt der Salzgehalt im Boden, wo es im Sommer durch hohe Verdunstung zu einer Salzanreicherung und im Winter bei viel Niederschlag und Eis zu einer regelrechten Aussüßung kommt (LOZÁN, 1994).

Ein wichtiger Faktor sind die Schwebstoffe, die als ein Baustein an der Entstehung und Entwicklung des Wattenmeers beteiligt sind. Sie bestehen hauptsächlich aus kleinsten mineralischen Körnern, zerriebenem Detritus, Mikroorganismen und Phytoplankton und

gelangen über Flüsse und die Luft ins Wattenmeer. Die Schwebstoffe sind homogen im Wattenmeer verteilt. Die Konzentration ist wesentlich höher als in der Nordsee (DOERFFER, R., in: Umweltatlas Wattenmeer).

(2) Flora und Fauna der Deutschen Nordsee

Die verschiedenen Lebensräume der Nordsee resultieren aus einer Vielzahl von geologischen, hydrographischen und ökologischen Prozessen. Man kann folgende Lebensräume grob unterscheiden:

- An den Weichböden der Küste leben aufgrund von stetiger Sedimentumlagerung durch Wellen wenige Organismen, es gibt aber eine reichhaltige Infauna.
- Das Felslitoral ist artenreich an festsitzenden oder dem Hartsubstrat anhaftenden Organismen.
- In den Flussmündungen und Ästuaren bilden sich aufgrund des veränderten Salzgehaltes typische Lebensgemeinschaften aus, die im Vergleich zu den rein limnischen oder rein marinen artenärmer sind (SRU, 2004).

Ein besonders einzigartiger Lebensraum ist das Wattenmeer, welches sich entlang der niederländischen, deutschen und dänischen Küste erstreckt. Dieses Ökosystem ist maßgeblich durch die Gezeiten und die damit verbundenen Änderungen des Salzgehalts, der Temperatur und der starken Strömung beeinflusst. Das Wattenmeer ist der produktivste Bereich der Nordsee. Seine hohe Biomasseproduktion macht es zu einer begehrten Nahrungsquelle für Fische und Vögel. Des weiteren dient das Wattenmeer als „Kinderstube“ für Jungfische und seine trocken gefallen Sandbänke als wichtiger Lebensraum für Seehunde. Eine große Rolle spielt auch die Filterfunktion des Watts, da Schwebstoffe abgelagert werden und Wasser von zahlreichen Miesmuscheln gefiltert wird (SRU, 2004).

Die Salzmarschen im Deichvorland werden je nach Höhe wenig vom Salzwasser der Nordsee überflutet. In diesem Bereich können sich Blütenpflanzen wie der Queller (*Salicornia europaea*) und das Hohe Schlickgras (*Spartina townsendii*) ansiedeln. Diese Pionierpflanzen halten das Sediment fest und begünstigen so die Akkumulation und Verlandung. Die Salzmarschen sind wichtige Nähr- und Brutgebiete für viele Vögel und gleichzeitig Lebensraum vieler Insekten (LOHMANN, 1993).

Der küstenferne Nordseebereich weist aufgrund seines Meeresgrunds vielfältige Lebensräume auf. Es dominieren sandige Gebiete, im Bereich des Elbe-Urstromtals feinsandige und Schlicksedimente sowie vereinzelt Steine, Geröll und Kies. Typisch sind Sandbänke und Riffe, die besonders bemerkenswerte Lebensraumtypen darstellen. Die Sandbänke weisen meist nur wenig Vegetation auf, bieten aber Lebensraum für Sandbodengemeinschaften und dienen als Nahrungs- und Raststelle für Vögel, Robben und Fische.

Riffe bestehen, im Gegensatz zu den Sandbänken, aus Felsen, Steinen oder biogenem Hartsubstrat und sind Lebensraum für eine Vielzahl von festsitzenden Organismen und nicht sessilen Lebensgemeinschaften (SRU, 2004).

Das Ökosystem Nordsee sollte stets als ganzheitliches System betrachtet werden, kann aber zum besseren Verständnis gedanklich aufgeteilt werden. So unterscheidet man grob das

belebte vom unbelebten Teilsystem (WESTERNHAGEN, in: LÓZAN ET AL, 1990). Im Folgenden wird näher auf das belebte Teilsystem eingegangen.

Eine weitere Gliederung ist möglich aber auch problematisch, da die einzelnen Teilbereiche eng ineinander greifen. Man untergliedert das belebte Teilsystem in Plankton, Benthos, Fische, Vögel und Meeressäuger. Diese Glieder stehen in einem engen Verhältnis zueinander, der Nahrungskette. Den Anfang bildet dabei das Phytoplankton, welches durch Photosynthese organisches Material aufbaut. Es dient dem Zooplankton als Nahrung. Darauf folgen Würmer, Weichtiere und Krebstiere, die wiederum von den Fischen gefressen werden. Diese dienen sich selbst und den Vögeln und Meeressäugern als Nahrung.

(2.1) Plankton

Als Plankton werden Pflanzen und Tiere sowie Bakterien bezeichnet, die im Wasser treiben und sich nicht selbständig fortbewegen können. Es zählen aber auch Eier, Larven und Jungstadien von Fischen und Würmern dazu.

Das Phytoplankton ist zur Photosynthese fähig, es baut mit Hilfe von Lichtenergie aus Kohlendioxid, Wasser und anorganischen Nährsalzen organische Substanz auf. Das Phytoplankton in der Nordsee besteht aus Kieselalgen (Diatomeen) und Dinoflagellaten, sowie Kalkflagellaten (Coccolithophoride) und Blaualgen (Cyanobakterien).



(www.geologie.uni-frankfurt.de)

Das Phytoplankton unterliegt einer jährlichen Sukzession: Im Winter sind die Bestände aufgrund der mangelnden Lichtenergie am niedrigsten. Im Frühjahr kommt es durch die erhöhte Lichtintensität zur Massenentwicklung der Diatomeen. Die sogenannte „Frühjahrsblüte“ endet erst, wenn die benötigten Nährsalze wie Phosphat und Silikat aufgebraucht sind. Daran schließt sich die Vermehrung der Flagellaten an. Die gelösten Nährsalze wie Nitrat und Phosphat sind der limitierende Faktor für die Phytoplanktonproduktion.

Die im Wasser treibenden tierischen Organismen stellen das Zooplankton dar. Die herbivoren Zooplankter ernähren sich vom pflanzlichen Phytoplankton, treiben so den Kohlenstoffkreislauf an und werden selbst vom carnivoren Zooplankton gefressen. Das Zooplankton wird unter anderem von Protozoen und Ruderfußkrebse (Copepoden) gebildet.

Die Bakterien sind Destruenten, da sie organische Substanz, wie tote Organismen und Exkremente, abbauen. Auf diese Weise gelangen Nitrat und Phosphat wieder in den Stoffkreislauf. Sie bauen ebenfalls allochtone anthropogene Schadstoffe ab (GUNKEL, IN: LÓZAN, 1990).

(2.2) Benthos

Das Benthos umfasst alle Lebewesen des Gewässerbodens im Grenzbereich zwischen Wasser und Sediment (RACHOR IN: LÓZAN, 1990).

Man unterscheidet zwischen Mikro-, Meso- und Makrobenthos. Mikro- und Mesobenthos sind abhängig vom Sedimentcharakter und dem Nahrungsangebot. Es handelt sich bei den Organismen hauptsächlich um Nematoden, Protozoen und Pilze sowie kleine Crustaceen. Dabei ist festzuhalten, dass ein höherer Schlick- und Schluffanteil eine hohe Biomasse und Organismendichte bedingt.

Die Verbreitung des Makrobenthos ist ebenfalls abhängig von der Bodenbeschaffenheit und dem Nahrungsangebot, zusätzlich aber auch geprägt von Wassertemperatur und Wassertiefe. Vertreter dieser Gruppe sind unter anderem Großalgen, Seegräser, Tiere und am Boden lebende Fische (RACHOR IN: LÓZAN, 1990).

Des weiteren unterscheidet man zwischen den an der Bodenoberfläche lebenden Tieren, der Epifauna, und den Tieren der Endofauna, die in das weiche und schlickige Sediment eindringen. Zur Endofauna gehören neben den Kleinstlebewesen auch Ringelwürmer (*Annelida*), Muscheln (*Bivalvia*), Krebse (*Decapoda*) und Schnecken (*Gastropoda*) (RACHOR IN: LÓZAN, 1990).

Ein mögliches Kriterium der Gliederung in Benthosgemeinschaften wäre das Sediment. Man unterscheidet drei große Bereiche in der Deutschen Bucht:

(1) Das Elbe-Urstromtal und der Bereich westlich davon mit der *Amphiura filiformis*-Gesellschaft, (2) den Borkum Riffgrund mit der *Goniadella spissula*- Gesellschaft und den Bereich östlich des Elbe-Urstromtals (3) mit der *Tellina fabula*- Gesellschaft.

Die *Amphiura filiformis* Gesellschaft kommt auf feinsandigen bis schlickigen Böden vor, zu ihr gehören hauptsächlich der Schlangensterne (*Amphiura filiformis*), der Herz-Seeigel (*Echinocardium cordatum*), die weiße Pfeffermuschel (*Abra alba*) und die glänzende Nussmuschel (*Nucula nitidosa*).

Auf steinigem Untergrund ist die *Goniadella spissula*-Gesellschaft mit der Borstenwurmart *Spio filicornis*, die ovale Trogmuschel (*Spissula solida*) und die große Schwertmuschel (*Ensis ensis*) zu finden.

Zur *Tellina Fabula*- Gesellschaft gehören die gerippte Tellmuschel (*Tellina fabula*) und der Herz-Seeigel (*Echinocardium cordatum*).

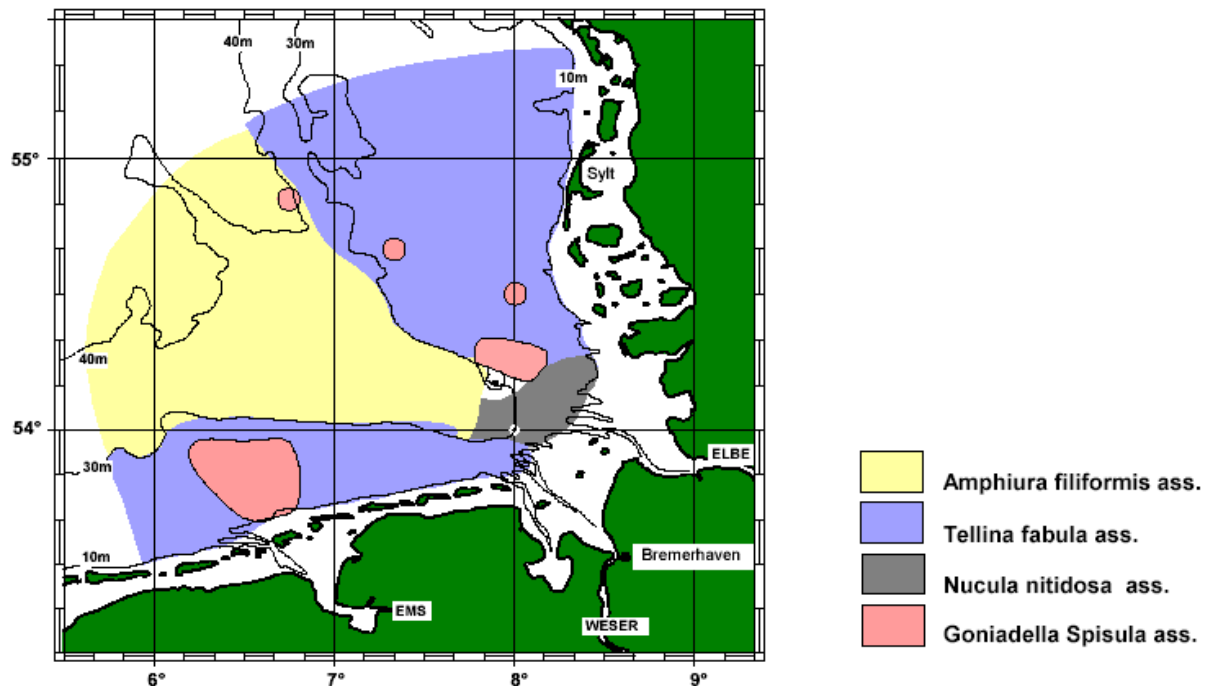


Abb. 8: Lebensgemeinschaften des Benthos nach Salzwedel (Quelle: KNUST ET AL., 2003. S. 23)

Die Artenzusammensetzung unterliegt zeitlichen und räumlichen Schwankungen, resultierend aus Sturmereignissen und damit verbundenen Sedimentumlagerungen, klimatischen Fluktuationen und der Befischung durch die Großfischerei. Die Lebensgemeinschaften bestehen daher zumeist aus schnellwachsenden, kurzlebigen Arten mit einer hohen Produktion an Nachkommen (RACHOR & NEHMER, 2002).

Zu den Krebstieren in der Nordsee gehören die Entenmuschel (*Lepas anatifera*) und die gewöhnliche Seepocke (*Balanus balanoides*), welche an harten Gegenständen wie Treibgut, Bojen oder Schiffsrümpfen zu finden sind. Sie ernähren sich von kleinen Krebstierchen und Mikroorganismen.



Entenmuschel (www.fotoreiseberichte.de)



Seepocken (www.creative-edesign.com)

Weitere Krebstiere sind die Steingarnele (*Leander squilla*), die Nordseegarnele (*Crangon crangon*), die Sandkrabbe (*Hyas araneus*), die Strandkrabbe (*Carcinus maenas*) und der Einsiedlerkrebs (*Eupagurus bernhardus*). Der Taschenkrebs (*Cancer pagurus*) und die Schwimmkrabbe (*Portunus holsatus*) sind eher in tieferen und steinig bis felsigen Bereichen der Nordsee verbreitet (LOHMANN, 1993).



In den tieferen Bereichen der Nordsee kommen an Schnecken besonders die gewöhnliche Turmschnecke (*Turritella communis*) und der Pelikansfuß (*Aporrhais pespelicano*) auf sandig-schlickigem Untergrund vor. Auf Felsen befindet sich in der Tiefe die Pantoffelschnecke (*Crepidula fornicata*).

Strandschnecke (<http://www.biopix.dk>)

An der Küste treten maßgeblich die Wellhornschnecke (*Buccinum undatum*) und die Strandschnecke (*Littorina littorea*) auf. Schnecken ernähren sich hauptsächlich von Plankton und Mikroorganismen, die im Wasser und im Boden leben (LOHMANN, 1993).

Der bekannteste Vertreter der Muscheln ist die Miesmuschel (*Mytilus edulis*), die als Planktonfresser in großen Kolonien festen Untergrund und Wattflächen besiedelt. Ebenso bekannt ist die Auster (*Ostrea edulis*), welche in Kolonien auf festem Untergrund siedelt. Natürliche Austernbänke wurden durch Verschmutzung und Überfischung in der deutschen Nordsee zerstört, sie kommen lediglich als Marikultur vor (LOHMANN, 1993).



Miesmuschel (<http://www.amrum-wetter.de>)

Eingegraben in den Untergrund von sandigen und schlammigen Küsten sind die Herzmuschel (*Cardium edule*), die rote Bohne oder Baltische Plattmuschel (*Macoma baltica*), die bunte Trogmuschel (*Macra corallina*), die Sandklaffmuschel (*Mya arenaria*) und die amerikanische sowie die große Schwertmuschel (*Ensis directus* und *Ensis spp.*) weit verbreitet (LOHMANN, 1993).

Zu den Stachelhäutern zählen der Seestern (*Asteria rubens*) und die Seesonne (*Crossaster papposus*). Beide sind besonders in mehreren Hundert Metern Wassertiefe auf festem Boden verbreitet. Sie ernähren sich von Muscheln, Schnecken und Krabben.

In weniger großer Tiefe ist der Kammstern (*Astropecten irregularis*) anzutreffen. Er ernährt sich von nahezu allen Bodenlebewesen.

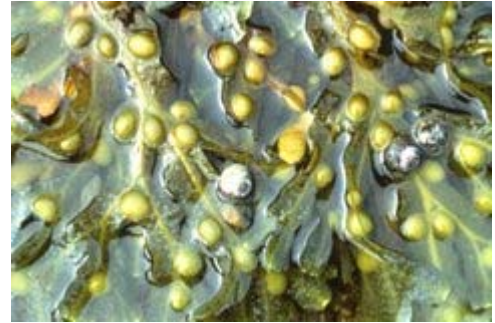
Auch die Seeigel gehören zu den Stachelhäutern. Der Herzseeigel (*Echinocardium cordatum*) ist bis in Tiefen von 200 m verbreitet und lebt eingegraben in den Meeresboden. Der essbare Seeigel (*Echinus esculentes*) und der Strandseeigel (*Psammechinus miliaris*) kommen in weniger großer Tiefe auf felsigem Untergrund vor (LOHMANN, 1993).

Die Makroalgen sind sozusagen die Vegetation der Nordsee und sind überall dort verbreitet, wo sie Halt finden. Das heißt, Makroalgen kommen in felsigen und steinigen Bereichen vor, nicht aber in Bereichen mit sandigem oder schlickigem Untergrund.

Blattförmige Tange sind besonders angepasst an den Wechsel von Gezeiten und die Brandung. Sie sind biegsam und haften außerordentlich gut an Felsen. Man unterscheidet Rot-, Grün- und Braunalgen. Zu den Braunalgen gehören Fingertang (*Laminaria digitata*), Zuckertang (*Laminaria saccharina*), Blasentang (*Fucus vesiculosus*) und Knotentang (*Ascophyllum nodosum*).

Die Braunalgen sind in der Nordsee hauptsächlich um Helgoland verbreitet und werden seit langer Zeit wirtschaftlich genutzt, zum Beispiel als Tierfutter, Dünger oder Geliermittel.

Die Vertreter der Rotalgen, wie Knorpeltang (*Chondrus crispus*), blutroter Meerampfer (*Delesseria sanguinea*) und Purpurtang (*Porphyra umbilicalis*), sind ebenfalls in der Nordsee weit verbreitet, ebenso mit dem Schwerpunkt Helgoland.



Blasentang (www.schutzstation-wattenmeer.de)

Die Grünalgen kommen an allen deutschen Küsten vor. Sie werden auch in Brackwassergebieten und Flussmündungen angetroffen. Vertreter sind der flache Darmtang (*Enteromorpha compressa*), der Meersalat (*Ulva lactuca*) und die Borstenhaarialge (*Chaetomorpha linum*), die sich auch in sandigen Gebieten festhalten kann (LOHMANN, 1993).

(2.3) Fische

In der Nordsee kommen inklusive Sommer- und Irrgästen über 200 Fischarten vor, von denen 11 Arten die Hauptnutzfischarten sind und die Hälfte der Biomasse ausmachen. Diese sind: Hering, Kabeljau, Makrele, Sandaal, Seelachs, Seezunge, Schellfisch, Scholle, Sprotte, Stintdorsch und Wittling.

Die Nordsee ist ein offenes System und beherbergt Dauerbewohner ebenso wie diadrome Fischarten wie den Stör, die die Nordsee auf dem Weg zu ihren Laichgründen passieren. Hering und Makrele gehören zu den pelagischen, den frei im Wasser schwimmenden Arten, Kabeljau und Plattfische zu den demersalen Arten. Letztere leben am Meeresboden.

Der Hering (*Clupea harengus*) ist die Fischart, die am häufigsten vorkommt. Heringe treten in Schwärmen auf und ernähren sich überwiegend von Plankton.

Zu den Heringsfischen gehört auch die Sprotte (*Clupea sprattus*). Die Sprotte ist ein Schwarmfisch und ist vorwiegend in der südöstlichen Nordsee verbreitet. Während die Bestände des Herings immer weniger werden, steigt der Sprottenbestand kontinuierlich an.

Die Makrele (*Scomber scombrus*) ist hauptsächlich in der nördlichen Nordsee verbreitet, sie ernährt sich vorwiegend von kleinen Krebstieren, Fischeiern und kleinen Fischen.



Makrele und Hering (www.univ-lehavre.fr)

Zu den bekanntesten Fischen der Nordsee gehört die Scholle (*Pleuronectes platessa*), die zu den Plattfischen zählt. Sie hält sich zum Laichen in der südlichen Nordsee auf und ernährt sich von Würmern, Muscheln und Krebstierchen. Die Scholle ist für die Klische (*Limanda limanda*) ein großer Nahrungskonkurrent. Diese ist ebenfalls in der südlichen Nordsee zu finden.

Die Seezunge (*Solea solea*), ebenfalls ein Plattfisch, hat ihr nördlichstes Verbreitungsgebiet in der südlichen Nordsee. Sie lebt auf sandigem Boden, wo sie auch ihre Beute bestehend aus dünnschaligen Muscheln, Würmern und Krebsen sucht.

In Gebieten mit steinigem Boden ist ein anderer Plattfisch weit verbreitet: der Steinbutt (*Psetta maxima*). Er ernährt sich hauptsächlich von anderen Fischen (CHRISTENSEN, 1977).

Zu den Dorschfischen gehören unter anderem Kabeljau, Wittling und Schellfisch. Als Raubfisch ernährt sich der Kabeljau von anderen Fischen, aber auch von Muscheln, Krebstieren und Seeigeln. Die Population ist überall in der Nordsee vertreten und eine der größten weltweit (CHRISTENSEN, 1977).



Kabeljau (www.greenpeace-stuttgart.de)

Der Wittling (*Gadus merlangus*) ist ebenfalls in der südlichen Nordsee verbreitet, vorwiegend über schlammigem Grund. Seine Nahrung besteht hauptsächlich aus Kleinfischen, Garnelen und Schwimmkrabben (MUUS & DAHLSTRÖM, 1991).

Der Schellfisch (*Melanogrammus aeglefinus*) „(...) lebt als Zugfisch in bodennahen Schwärmen (...)“ (CHRISTENSEN, 1977, S. 45). Er ernährt sich anders als der Wittling und der Hering von Bodentieren, Jungfischen und Fischlaich (MUUS & DAHLSTRÖM, 1991).

Der kleine und der große Sandaal (*Ammodytes lancea* und *Hyperoplus lanceolatus*) sind nachts in kleinen Schwärmen aktiv. Ihre Nahrung besteht aus Zooplankton, Würmern, Krebsen und Jungfischen. Sie selbst stellen die Hauptnahrung für Kabeljau und andere Nutzfische dar (MUUS & DAHLSTRÖM, 1991).

(2.4) Vögel

Bei den Vögeln wird unterschieden zwischen den Zugvögeln und den mehr oder weniger stationären Seevögeln. Die Seevögel sind fast das ganze Jahr im Nordseegebiet verteilt. Sie ballen sich lediglich in den Sommermonaten um ihre Brutgebiete und Nahrungsquellen. Auf See sind kaum Brutplätze vorhanden. Seevögel nutzen daher Inseln, das Festland oder trockene Sandbänke.

Die 12 wichtigsten Seevogelarten der Nordsee und deren Verbreitung nach GARTHE (2003) werden im Folgenden erläutert.

Der Sterntaucher (*Gavia stellata*) und der diesem ähnliche Prachtaucher (*Gavia arctica*) sind zwei im Winter weit verbreitete Arten in der südlichen Nordsee. Sie werden hier zu den Seetauchern zusammengefasst. Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich geschlossen entlang der deutschen Küste. Eine Konzentration ist im Bereich des Elbe-Weser-Ästuars und vor den Ostfriesischen Inseln zu erkennen. Der Bestand breitet sich aber weiter nördlich in die

AWZ aus. Im Frühjahr verlagert sich der Bestand der Seetaucher nach Norden und reicht auch weiter in die AWZ hinein. Diese Dynamik ist von der Frontenbildung im Nordseewasser abhängig.

Der Basstölpel (*Morus bassanus*) ist trotz Zunahme der Brutkolonie auf Helgoland nur in geringer Dichte in der deutschen Nordsee verbreitet. Die Hauptnahrung ist Fisch, vor allem Schellfisch, Hering und Makrele (DIF ET AL., 1981).



Sternaucher (<http://www.wikipedia.org>)

Die europäische Zwergmöwe (*Larus minutus*) kommt auch nur mit geringer Dichte aber mit einheitlichem Verbreitungsraum in der Deutschen Bucht vor. Die Art konzentriert sich hauptsächlich auf das Elbe-Weser-Ästuar und den Bereich der aus der Elbe kommenden Wassermassen, sowie auf die östliche AWZ.

Eine häufige Seevogelart im Osten und Süden der deutschen Nordsee ist die Sturmmöwe (*Larus canus*), die hauptsächlich im Elbe-Weser-Ästuar, im Ems-Ästuar und vor den Nordfriesischen Inseln verbreitet ist. Diese Art ist im Winter vorwiegend auf den östlichen Teil der AWZ verteilt. Aufgrund des kleinen Schnabels ernährt sich die Sturmmöwe von Krebsen, Weichtieren, Würmern und Insekten (DIF ET AL., 1981).

Die Heringsmöwe (*Larus fuscus*) ist während und nach der Brutzeit eine weit verbreitete Art in der Deutschen Bucht. Ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich von den deutschen Küstengewässern bis in die AWZ. Die Nahrung besteht aus Fischen, Krebsen, Weichtieren, Fischabfällen, lebenden Vögeln und auch Kaninchen und Ratten (DIF ET AL., 1981).



Silbermöwen (*Larus argentatus*) gehören zu den häufigsten Großmöwen in der Nordsee und sind nahezu Allesfresser. Es stehen auch Eier und Jungvögel auf ihrem Speiseplan. Ebenso wie die Heringsmöwe profitieren sie von der Fischerei und deren Abfällen (LOHMANN, 1993).

Die Mantelmöwe (*Larus marinus*) kommt hauptsächlich im Winter ohne Schwerpunkte in der Deutschen Bucht vor. Die Mantelmöwe ist ebenfalls nahezu ein Allesfresser. Zur Nahrung gehören Fische, Weichtiere, Krebse, aber auch Ratten und Kaninchen (DIF ET AL., 1981).

Silbermöwen (www.uni-kiel.de)

Während der Brutzeit ist das Verbreitungsgebiet der Dreizehenmöwe (*Rissa tridactyla*) auf Helgoland konzentriert. Außerhalb der Brutzeit sind sie flächendeckend verbreitet, mit hohen Dichten in der AWZ. Im Herbst ist die wichtigste Nahrungsquelle der Fisch, im Winter ernährt sich die Dreizehenmöwe von Krebsen, Würmern, Weichtieren und Fischereiabfällen (DIF ET AL., 1981).

Die Brandseeschwalbe (*Sterna sandvicensis*) “(...) ist während der Brutzeit weit in den deutschen Hoheitsbereichen der Nordsee verbreitet (...)“ (GARTHE, 2003, S.29), hauptsächlich im Übergangsbereich zwischen Wattenmeer und Nordsee und in der östlichen AWZ. Sie ernährt sich fast ausschließlich von Fischen und einigen Krebsarten (DIF ET AL., 1981).

Die Küstenseeschwalbe (*Sterna paradisaea*) und die Flusseeschwalbe (*Sterna hirundo*) sind während der Brutzeit auf einen küstennahen Streifen und einen kleinen Teil der AWZ verteilt. Die Flusseeschwalbe konzentriert sich auf die niedersächsische Küste, während die Küstenseeschwalbe in schleswig-holsteinischen Gewässern auftritt.

Die Flusseeschwalbe ernährt sich als Tauchspezialist von kleinen Fischen und auch von Insekten (DIF ET AL., 1981).

Der Verbreitungsschwerpunkt der Trottellumme (*Uria aalge*) ist während der Brutzeit die Insel Helgoland und der Eingang zum Entenschnabel der deutschen AWZ. Im Winter sind die Schwerpunkte vor allem der Norden und Nordwesten der deutschen Nordsee. Die Trottellumme kann bis zu 10 m und tiefer tauchen, dort fängt sie Fische als Hauptnahrung (DI ET AL., 1981).

Der auffällige Austernfischer (*Haematopus ostralegus*) ist einer der häufigsten Brutvögel an der Nordseeküste. Er brütet auf Muschelbänken, Sandstränden und Marschwiesen. Er ernährt sich bevorzugt von Herzmuscheln und Stachelhäutern, sowie von Insekten (LOHMANN, 1993).

Auch der Säbelschnäbler (*Recurvirostra avosetta*) ist während der Brutzeit an der Nordseeküste verbreitet. Dieser fischt Weichtiere, Schalentiere, Insekten und Fischlaich aus Wasser und Boden (LOHMANN, 1993).

Die Brandente oder auch Brandgans (*Tadorna tadorna*) zählt zu den Halbgänsen und kommt in der Nordsee vorwiegend in Ästuaren und an sandigen Flachküsten vor. Das Wattenmeer dient ihr im Winter als Mauserplatz. Sie ernährt sich von kleinen Wirbellosen und anderen Bodenbewohnern (LOHMANN, 1993).

Die Nordseeküste ist auch für die Pfeifenten (*Anas penelope*) ein beliebtes Überwinterungsgebiet. Sie gehören im winterlichen Wattenmeer zu den zahlreichsten Schwimmvögeln (LOHMANN, 1993).

Als Wintergast kommt auch die Bergente (*Aythya fuligula*) an der Nordseeküste vor. Ihre Nahrung besteht hauptsächlich aus Weichtieren, Krebsen und Würmern, die sie tauchend erbeutet (LOHMANN, 1993).

Weitere Wintergäste sind die Schellente (*Bucephala clangula*), die Samtente (*Melanitta fusca*), die Eiderente (*Somateria mollissima*), der Steinwälzer (*Arenaria interpres*), der Sandregen- und der Seeregenpfeifer (*Charadrius hiaticula* und *Ch. alexandrinus*) sowie der Goldregenpfeifer (*Pluvialis apricaria*) (LOHMANN, 1993).

(2.5) Marine Säuger

Die Gruppe der marinen Säuger umfasst vorwiegend die pelztragenden hundeartigen (Robben) und die walartigen. Wale sind aquatische Lebewesen, während Robben eine semiaquatische Lebensweise haben. Sie verlassen das Wasser zum Gebären, Säugen und zum Fellwechsel (LUCKE, 2000).

Zu den Robben gehören die Seehunde (*Phoca vitulina*) und die Kegelrobben (*Halichoerus grypus*). Diese Küstenbewohner liegen bei Niedrigwasser auf Sandbänken und Wattplatten, bei Hochwasser gehen sie auf Beutejagd. Seehunde beschränken sich auf den küstennahen Bereich, während Kegelrobben einen größeren Aktionsradius besitzen. Ihr Verbreitungsschwerpunkt liegt im Bereich der Amrumbank. Die Population des Seehundes ist im Vergleich zu der Kegelrobbenpopulation relativ groß. Die Hauptnahrungsquelle sind Fische.



Seehund (www.norderney.de)



Schweinswal (www.wattenmeer-nationalpark.de)

Zu den walartigen Meeressäugern der deutschen Nordsee gehören die Schweinswale (*Phocoena phocoena*) sowie der Weißschnauzen- und der Weißseitendelphin (*Lagenorhynchus albirostris* und *Lagenorhynchus actus*). Sie sind kaum standortgebunden und unternehmen große Wanderungen (GEO MBH, 2003).

Delphine kommen in der Nordsee eher selten vor, im Winter an der Küste, im Sommer in der offenen Nordsee. Ihre Hauptnahrungsquelle sind Fische, Cephalopoden und Crustaceen. Die Schweinswale kommen in der gesamten Nordsee vor, ihre Verbreitung weist aber einen Nord-Süd-Gradienten entlang des Wattenmeers auf. Ein Verbreitungsschwerpunkt vor allem für Mütter und Kälber ist der Bereich westlich von Sylt.

(2.6) Vegetation

Im Watt sind größere Pflanzen kaum verbreitet. Aufgrund der Gezeiten und den damit verbundenen Strömungsverhältnissen finden die Wurzeln keinen Halt im Sand. An ruhigen Stellen im Bereich der Niedrigwasserlinie sind Seegräser, wie das Zwerg-Seegras (*Zostera noltii*) und das echte Seegras (*Zostera marina*) zu finden. Sie stellen eine wichtige Nahrungsquelle und Schutz für Jungfische und Larven dar.

Charakteristische Arten in Salzmarschen sind die Andel (*Puccinellia maritima* und *Puccinellia distans*), der Strandflieder (*Limonium vulgare*), die Strandaster (*Aster tripolium*), der Strand-Beifuß (*Artemisia maritima*) und die Strand-Sode (*Suaeda maritima*). Salzmarschen sind typisch für das Deichvorland, sie werden meist durch Schafe beweidet. Weiter im Landesinneren wechselt die Vegetation mit der veränderten Landschaft und Lebensbedingung. Im Bereich der Dünen wird Sand durch Wind akkumuliert und durch Pflanzenbesiedlung festgelegt. Im Bereich des Spülsaums und auf nährstoffreichen Schlickböden sind der Meersenf (*Cakile maritima*) und die Strand-Melde (*Atriplex littoralis*) verbreitet. Diese Primärvegetation dient als Windschutz und führt zur Entstehung von

niedrigen Primärdünen. Diese werden zum Beispiel von der Salzmiere (*Honckeya peploides*) besiedelt, die durch ihre tiefreichende Wurzel den Sand festlegt.

Aus den Primärdünen entwickeln sich durch weitere Sandakkumulation im Laufe der Zeit sogenannte Weißdünen, in denen sich über dem salzigen Grundwasser ein Süßwasserhorizont ausbildet. Besiedelt werden die kalkhaltigen Weißdünen von Strandhafer (*Ammophila arenaria*), Stranddiestel (*Eryngium maritimum*) und Sandroggen (*Elymus arenarius*). Durch Auswaschung von



Meersenf (www.natur-lexikon.com)

Kalk und Nährstoffen gehen aus den Weißdünen die Graudünen hervor. Hier sind Hasenklee (*Trifolium arvense*) und Sand-Segge (*Carex arenaria*) sowie erstmals auch kleine Weidegebüsche (*Salix repens*) zu finden. Im Laufe der Zeit bildet sich eine deutliche Humusschicht aus. Man nennt sie dann Braundünen, die bereits weitgehend mit Heidekraut, Krähenbeere (*Empetrum nigrum*), und Dünenrose (*Rosa pimpinellifolia*) bewachsen sind. Vereinzelt kommen auch Kiefern vor (LOHMANN, 1993).

(3) Aktuelle Probleme und Trends

Die Küstenzone der deutschen Nordsee hat eine große Bedeutung, da sie den direkten Wechselbeziehungen zwischen menschlichen Aktivitäten an Land und in der Nordsee selbst unterworfen ist. Der Mensch hat unterschiedliche Nutzungsansprüche an die Nordsee und deren Küstenbereich, aus denen verschiedenste Konflikte und Probleme resultieren. So ist die Nordsee und ihre Küstenregion gleichzeitig Produktionsraum für biologische, mineralische und energetische Ressourcen, Entsorgungsraum für flüssige und feste Abfallstoffe, sowie Verkehrs und Erholungsraum (UTHOFF, 1983). Die vielfältigen anthropogenen Nutzungen in der Küstenzone können der nachfolgenden Liste entnommen werden. Im Anschluss werden diese Nutzungen konkretisiert und deren Auswirkungen auf die Ökologie der Nordsee diskutiert.

Anthropogene Hauptnutzungsformen in der Küstenzone:

- Fischerei
- Schifffahrt und Häfen
- Abfallentsorgung
- Rohstoffgewinnung
- Offshore Windenergie inklusive Service-Leistungen
- Verlegung von Kabeln und Pipelines
- Küstenschutz

- Tourismus
- Militär
- Landwirtschaft
- Marikultur
- Verkehrsinfrastruktur an Land
- Schutzgebiete auf See und an Land

(3.1) Die Fischerei und deren Auswirkungen (Beeinträchtigungen)

Die Nordsee ist der Lebensraum für 230 Fischarten und gehört zu den fischereiwirtschaftlich produktivsten Meeresgebieten weltweit.

Die drei wichtigsten der 13 kommerziell befischten Fischarten sind Sandaal, Hering und Stintdorsch. Viele dieser Bestände sind extrem übernutzt und ihre Populationsgröße ist massiv zurückgegangen. Die Bestände befinden sich außerhalb „sicherer biologischer Grenzen“ (SRU, 2004).

Die Bestände nehmen bei weiter andauerndem Fischereidruck immer weiter ab, was zur Folge hat, dass die Ressource Fisch in Zukunft wirtschaftlich nicht mehr lukrativ sein wird. Es ist allerdings fragwürdig, ob aus der industriellen Fischerei eine Bedrohung für die Arten resultiert, da Fische eine hohe Reproduktionsrate haben, solange es genug Individuen für das Überleben der Art gibt. Außerdem ist die Nordsee ein offenes System, in dem es durch Wanderung und Verdriften immer Neuzugänge zu verzeichnen gibt.

Fraglich ist aber nach wie vor, ob es durch die intensive Befischung nicht zu einer Verschiebung der Artenzusammensetzung im Ökosystem kommt.

Zum Problem sind allerdings die hohe Fangkapazität und der hohe Anteil an Beifang geworden. Aufgrund engmaschiger Netze werden viele Jungfische gefangen, die sich dadurch nicht mehr vermehren können.

Ein weiterer Nachteil des hohen Fischereidrucks ist die Tatsache, dass die Fische immer kleiner werden. Viele Tiere werden in jungem Alter nach dem ersten Abbläichen gefangen. Fische werden aber mit zunehmendem Alter fruchtbarer und produzieren größere Nachkommen. Es gibt daher derzeit keine natürliche Altersstruktur.

Auch die nicht kommerziellen Zielarten geraten als Beifang in die Netze. Sie sind entweder wenig lukrativ oder können nicht vermarktet werden. Der Anteil des Beifangs liegt in der Nordsee bei 20 bis 30 %. Die Tiere werden oft verletzt, nahezu 100 % sterben und dienen den benthischen Lebewesen und den Vögeln als Nahrungsquelle. Dieser Effekt kann sowohl eine Verschiebung der Seevögelpopulationen als auch der Benthospopulationen zur Folge haben. So wuchsen zum Beispiel die Bestände der Heringsmöwe durch die Fischerei exponentiell an. Am Meeresboden bewirkt das Fischen mit Baumkurren, dass sensible Organismen beeinträchtigt werden und absterben zugunsten der Opportunisten, wie dem Seestern und dem Einsiedlerkrebs.

Es bleibt also festzuhalten, dass die Fischerei massiv in die Nahrungskette eingreift.

(3.2) Die Auswirkungen und Beeinträchtigungen durch die Schifffahrt

Die Schifffahrtswege der Nordsee sind die vielbefahrensten Wasserwege weltweit. Ein stetiger Anstieg des Seeverkehrs ist aufgrund sinkender Transportkosten und wachsender Leistungsfähigkeit bereits zu verzeichnen und auch zu erwarten. (SRU, 2004)

Die sechs größten und wichtigsten Häfen Europas liegen an der Nordsee. In Deutschland sind das zum einen der Hamburger Hafen und der Hafen von Bremen. Besonders in der Elbezufahrt herrscht aufgrund der Zufahrten zum Nord-Ostsee-Kanal und zum Hamburger Hafen ein hohes Verkehrsaufkommen.

Eine Gefährdung für das Ökosystem der Nordsee geht vor allem vom Transport von umweltschädlichen Stoffen aus. Sowohl Ladung als auch Treibstoff können Mineralöl, Bunkeröl oder Chemikalien sein, die das Meer bei Kontamination negativ beeinflussen. 95 % der Schiffe haben einen Dieselmotor, der entweder mit schwerem Heizöl oder Bunkeröl betrieben wird. Der wirtschaftliche Vorteil dieser Rückstandsöle, die zum Beispiel als Abfallprodukt aus Raffinerien hervorgehen, ist groß. Der Schwefelanteil dieser Öle liegt bei etwa 3% und daher ist die Schifffahrt in vielen Regionen der Hauptemittent für Schwefeldioxid. Die Emissionen breiten sich aufgrund ihrer Verweilzeit von einigen Tagen über mehrere 100 km² aus und führen zu Eutrophierung und Versauerung der Nordsee.

Weitere umweltschädliche Stoffe sind FCKW und Halone, beide werden an Bord als Kühl- und Löschmittel eingesetzt und schädigen bekanntermaßen die Ozonschicht. 50% der verwendeten FCKWs werden an Bord von z.B. Kühlschiffen freigesetzt. (BRENK IN: LOZÁN, 2003)

Der Antifouling-Anstrich auf Schiffesrümpfen und Unterwasserflächen zählt ebenfalls zu den umweltschädlichen Substanzen. Das in älteren Anstrichen enthaltene TBT (Tributylzinn) ist eine organische Verbindung, die als Biozid den Bewuchs von Algen, Muscheln und Krebsen an Schiffen verhindert. Es konnte aber auch ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Eintrag von TBT und der Schädigung von Meeresbewohnern festgestellt werden. Weichtiere sind direkt durch die immunsuppressive Wirkung betroffen. Meeressäuger weisen ebenfalls erhöhte Werte auf (WATERMANN ET AL., IN: LOZÁN, 2003). Heute ist die Verwendung von TBT verboten.

Die Schifffahrt hat aber auch indirekt Auswirkungen auf das nordseespezifische Artenspektrum, indem gebietsfremde Arten im Ballastwasser unabsichtlich eingeschleppt werden. Die exotischen Arten können als Konkurrenten, Fressfeinde oder Parasiten heimische Arten schädigen und sogar verdrängen. Durch schnellere Schiffe und ein höheres Verkehrsaufkommen hat die Zahl der eingeschleppten Arten seit 1970 stark zugenommen. 80 dieser Arten haben sich bereits in der Nordsee etabliert, so auch die chinesische Wollhandkrabbe (*Eriocheir sinensis*) (SRU, 2004).

Der Schiffsverkehr ist neben den Bohrplattformen ebenso eine der Hauptquellen des Öleintrags, entweder unfallbedingt oder durch illegales Einleiten. Durchschnittlich gibt es im deutschen Teil der Nordsee 21 Schiffsunfälle pro Jahr (GREENPEACE E.V, 2004).

Es entsteht so eine gravierende aber auch lokal begrenzte Schädigung der Meeresumwelt, deren Ausmaß von kurzzeitig auftretendem Absterben einiger Individuen bis hin zu jahrzehntelangen Auswirkungen auf das Ökosystem variiert. Es ist abhängig von Art, Menge und Ausmaß des Öleintrags. Generell ist festzuhalten, dass exponierte Felsküsten

aufgrund ihrer hydrodynamischen Verhältnisse und Artenzusammensetzung weniger verletzlich sind als Weichbodenküsten.

Im Pelagial sind vor allem die Organismen betroffen, die dicht unter der Wasseroberfläche und somit nah am Ölteppich leben. Diese gehören hauptsächlich zum Plankton und stehen an erster Stelle der Nahrungskette. Es wurde beobachtet, dass das Phytoplankton weniger empfindlich reagiert als das Zooplankton. Kurzzeitig kommt es zu einem Zusammenbruch des Letzteren und zu einem Anstieg des Ersteren. Die Fischbestände erleiden wenig Schaden, da sie in tiefere oder gar andere Gebiete ausweichen können. Lediglich Jungtiere und Fischeier, die dicht an der Oberfläche treiben, und bodenlebende Fische, die in Kontakt mit ölverschmutztem Sediment kommen, sind gefährdet.

Im Benthos der Sandküsten kann es zu einer Verschiebung des Artenspektrums kommen, da das Öl lange im Sediment verweilt und die Bodenorganismen dauerhaft schädigt. Dies hat zur Folge, dass den Fischen, Vögeln und Meeressäugern eine wichtige Nahrungsquelle fehlt.

Vögel sind besonders anfällig bei Ölverschmutzungen. Sie werden indirekt durch die Schädigung des Lebensraums und direkt durch den Kontakt mit Öl beeinträchtigt. Letzterer ist sehr problematisch, da das Gefieder verölt wird und die Tiere beim Putzen die Schadstoffe aufnehmen und daran zugrunde gehen (REINEKING & FLEET, IN: LOZÁN, 2003).

Wale sind insgesamt weniger betroffen, da das Öl weder an ihrem Körper haftet noch in größeren Mengen aufgenommen wird. Robben sind weitaus mehr gefährdet, da das Öl sich in ihrem Pelz festsetzen kann und so vom Tier aufgenommen wird. Der Organismus wird dadurch stark belastet und das Tier kann letztlich verenden (REINEKING & FLEET, IN: LOZÁN, 2003).

Eine weitere Beeinträchtigung durch die Schifffahrt ist die Abfall- und Abwasserentsorgung auf See, auf die allerdings im nächsten Kapitel näher eingegangen wird (BRENK IN: LOZÁN, 2003).

(3.3) Beeinträchtigung durch die Abfallentsorgung in der Nordsee

An Land und auf See fallen durch diverse Aktivitäten große Mengen an Abfall an, die teilweise in der Nordsee verklappt wurden und heute auch noch verklappt werden. Durch das Einbringen von Klärschlamm, industriellen Abfällen und Baggergut gelangen große Mengen an organischen und anorganischen Schadstoffen ins Meer. Allerdings spielt diese Art der Abfallentsorgung in der Nordsee keine große Rolle mehr, da das Verklappen von Klärschlamm sowie die Seeverbrennung verboten wurden und auch Industrieabfälle nicht mehr eingebracht werden dürfen. Seit 2004 gilt auch ein generelles Versenkungsverbot für Schiffe und Flugzeuge (LOZÁN, 2003).

Erlaubt ist nur noch die küstennahe Verklappung von Baggergut. Dieses stammt hauptsächlich aus Flussmündungen und Häfen und weist eine gewisse Belastung mit Schwermetallen auf (SRU 2004).

Negative Effekte sind die Bedeckung und Abtötung der Bodenorganismen, sowie ein veränderter Sedimenttyp (LOZÁN, 2003).

(3.4) Rohstoffgewinnung in der Nordsee

Eine weitere wirtschaftliche Nutzung neben der Fischerei und der Schifffahrt ist die Rohstoffgewinnung (SRU, 2004). Die mächtige Sedimentschicht des Meeresbodens der Nordsee ist ein gutes Speichergestein für Energierohstoffe wie Erdöl und Erdgas. Die Nordsee ist Europas jüngstes und größtes Ölfeld. (LOZÁN, 2003)

Die Rohstoffförderung begann in den 1960er Jahren und erfolgt über Tiefbohrungen. In den 1990er Jahren war ein Anstieg der Fördermenge und der Anzahl der Bohranlagen zu verzeichnen. Allerdings ist der deutsche Anteil an der Gesamtfördermenge verschwindend gering (SRU, 2004).

Tiefbohrungen bergen jedoch ein großes Verschmutzungsrisiko. Zum einen durch verunreinigtes Bohrklein und zum anderen durch ölverschmutztes Produktionswasser.

Die umweltschädlichen Auswirkungen von unfallbedingten Öleinträgen durch die Seeschifffahrt wurden bereits in Kapitel 2.2 erläutert und können annähernd auf die Einträge durch Bohrplattformen übertragen werden.

Weitere begehrte Rohstoffe sind Sand und Kies, die unter anderem für den Küstenschutz und in der Bauindustrie verwendet werden. Negative Auswirkungen der Sedimententnahme bestehen besonders für die Benthoslebensgemeinschaften und die Sedimentzusammensetzung am Meeresboden. Es ist ein Rückgang der benthischen Biomassen um 80% zu erwarten, deren Regeneration je nach Organismus wenige Monate bis einige Jahre andauern kann. Durch Saugbagger werden große Mengen an Sediment in der Nordsee abgebaut. Dadurch werden viele Bodenlebewesen mittransportiert, die zum Beispiel anderen Tieren wie Vögeln und Meeressäugern als Nahrungsquelle dienen. Des Weiteren werden Aufzuchtspplätze für Fische zerstört.

Durch die Entnahme von mehreren hundert Tonnen Sediment entstehen Vertiefungen im Meeresboden und es kommt zu einer massiven Trübung des Wasserkörpers infolge von Baggerarbeiten. Das aufgewirbelte Material wird je nach Korngröße und Strömung verlagert.

(3.5) Offshore Windenergie inklusive Service-Leistungen

Infolge des globalen Klimawandels ist das langfristige Ziel, Treibhausgasemissionen zu senken. Dies soll durch die Verringerung der fossilen Energieträger und die Erhöhung der sogenannten erneuerbaren Energien am Gesamtstromaufkommen erfolgen. Die Windenergie zählt an Land bereits zu den wichtigsten erneuerbaren Energien und soll nun auch auf See eingesetzt werden, da hier konstante und hohe Windgeschwindigkeiten herrschen.

Der Planungsschwerpunkt liegt hierbei im küstenfernen Bereich der AWZ. Es sind bereits 13 der 27 beantragten Windparks durch das BSH genehmigt.

Bei der Planung muss jedoch auf andere Nutzungsansprüche entsprechend Rücksicht genommen werden. Daher ist die Planung der Offshore- Windparks bisher mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die ökologischen Auswirkungen der Windenergieanlagen wurden umfangreich diskutiert und so weit wie möglich erforscht. Sie lassen sich unterteilen in die Auswirkungen und Beeinträchtigungen die während der Bauphase entstehen und solche, die während des

Betriebs auftreten. Ähnlich wie im allgemeinen Teil über die Nordseeökologie wird auch hier eine gedankliche Trennung des Ökosystems vorgenommen.

Da in der AWZ in Wassertiefen von etwa 15 bis 50 m mit einem zusätzlichen Tidenhub von maximal 4,5 m Windenergieanlagen geplant sind, müssen dementsprechend die Gründungsbauwerke für die WEA ausgewählt werden. Grundsätzlich kommen hier Monopiles, Tripods, Jackets und Schwergewichtsgründungen in Frage.

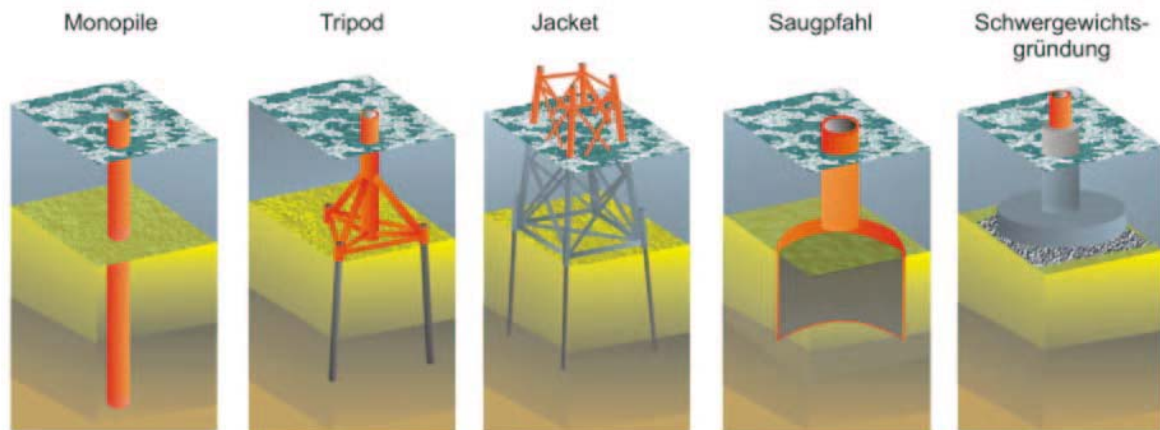


Abb. 9: Gründungsstrukturen von WEA (Quelle: GIGAWIND, 2003, S.32)

Der *Monopile* besteht aus einem freistehendem Stahlrohr das etwa 20 m in den Meeresgrund gerammt wird. Er ist allerdings nur in Wassertiefen bis zu 25 m einsetzbar. Vorteil ist sein geringer Flächenverbrauch von etwa 20 m², je nach Pfeilerdurchmesser.

Im Vergleich dazu wird bei einer *Tripod*gründung ein Stahlrohr durch eine Dreibein-Konstruktion abgestützt. Über Hülsen an den Tripodbeinen werden Pfähle in den Untergrund gerammt (LESNY et al, 2002). Dieses Gründungselement eignet sich für größere Wassertiefen von etwa 20 bis 80 m. Wie auch beim Monopile sind keine Vorarbeiten am Meeresboden nötig, jedoch nehmen die Stahlmassen mit zunehmender Tiefe sehr stark zu (RICHWIEN ET AL, 2001 in: GIGAWIND 2004).

Bewährte Gründungsfundamente im Offshorebereich mit größeren Wassertiefen sind sogenannte *Jackets*, die ein aus Stahlrohren gebildetes räumliches Fachwerk bilden. Verankert ist dieses durch Pfeiler, die an den unteren Eckpunkten in den Untergrund gerammt werden. Der Vorfertigungsgrad ist wie beim Tripod sehr hoch.

Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Gründungselementen, die weit in den Meeresboden gerammt werden, besteht die *Schwergewichtsgründung* aus einem Schwimmkasten, der durch Ballast am Standort abgesenkt wird. Fundamente dieser Art sind bereits von Windmühlen an Land bekannt (LESNY & RICHWIEN, 2004). Der Untergrund muss bereits ab der Gewässersohle tragfähig sein, wofür es einiger Vorarbeiten bedarf. Mit zunehmender Tiefe nehmen die Massen jedoch überproportional zu, so dass dieser Gründungstyp eher in flacheren Gewässern eingesetzt wird.

Als Alternative besteht noch die Möglichkeit der Gründung über Saugrohre. Diese bestehen aus einem oben geschlossenen Stahlzylinder als Flachfundament, Pfahl oder Anker, entweder als einzelne Gründung oder als aufgelöste Struktur. Die Installation erfolgt über zwei Phasen. Zunächst wird die Anlage am Standort abgesetzt, wo sie in den Untergrund einsinkt. Anschließend wird das im Rohr befindliche Wasser abgepumpt, wobei ein

Unterdruck erzeugt wird, der umliegendes Sediment in das Stahlrohr „einsaugt“ (LESNY et al, 2005).

Die *Saugrohrgründung* stellt eine gute Alternative zu a) konventionellen Flachgründungen dar, weil sie tiefer in den Untergrund eingebracht wird und so eine höhere Tragfähigkeit gewährleistet, sowie zu b) Pfahlgründungen, weil sie nahezu erschütterungsfrei in den Untergrund eingebracht werden kann (LESNY et al, 2005).

Fundament-Typ	Anzahl Gründungselemente	Einzelfläche [m²]	Gesamtfläche [m²]
Monopile	1	ca. 20	ca. 20
Dreibein-Tiefgründung	3	ca. 30	ca. 90
Dreibein-Flachgründung	3	ca. 100	ca. 300
Brunnengründung	1	ca. 1.500	ca. 1.500
Flachgründung	1	ca. 1.250	ca. 1.250

Tab. 2: Flächenbedarf der Gründungen (Quelle: GEO mbH, S.23)

Bei der Bemessung der Gründungen von Offshore- Windenergieanlagen müssen bodenmechanische Prozesse, die während des Betriebs auftreten können, berücksichtigt werden (LESNY & RICHWIEN, 2005).

Auswirkungen auf die Abiotik

Die Auswirkungen der WEA auf die umgebende Abiotik lassen sich zeitlich in zwei Bereiche aufteilen. Zum einen in die Einwirkungen, die während der Bauphase auftreten und nur temporär begrenzt sind. Zum anderen in die Einwirkungen die während der Betriebsphase, also dauerhaft auftreten.

Es muss auch zwischen dem küstenfernen Bereich der AWZ und dem Wattenmeer unterschieden werden. In der AWZ sind die eigentlichen Windparks lokalisiert während durch das Wattenmeer nur die Netzkabel führen. Die drei geplanten Kabeltrassen verlaufen in Niedersachsen über Norderney, in Schleswig-Holstein über Büsum und Sylt und queren auf nicht unerheblicher Länge das Wattenmeer.

In Schleswig-Holstein leiten die Windparks „Butendiek“ und „DanTysk“ ihren Strom über die Trasse Sylt, während die Windparks „Amrumbank West“, „Nordsee Ost“, „Sandbank 24“ und „Nördlicher Grund“ den Kabelkorridor bei Büsum nutzen.

Die niedersächsischen Windparks „Borkum West“, „Borkum Riffgrund“, „Hochseewindpark Nordsee“, Globaltech I“ und voraussichtlich auch „Bard Offshore I) werden über Norderney ans Netz angebunden.

Hier besteht jedoch ein großer Interessenkonflikt zwischen den Vorhabensträgern und dem Naturschutz, speziell dem niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Nationalpark Wattenmeer und den Natura 2000- Gebieten.

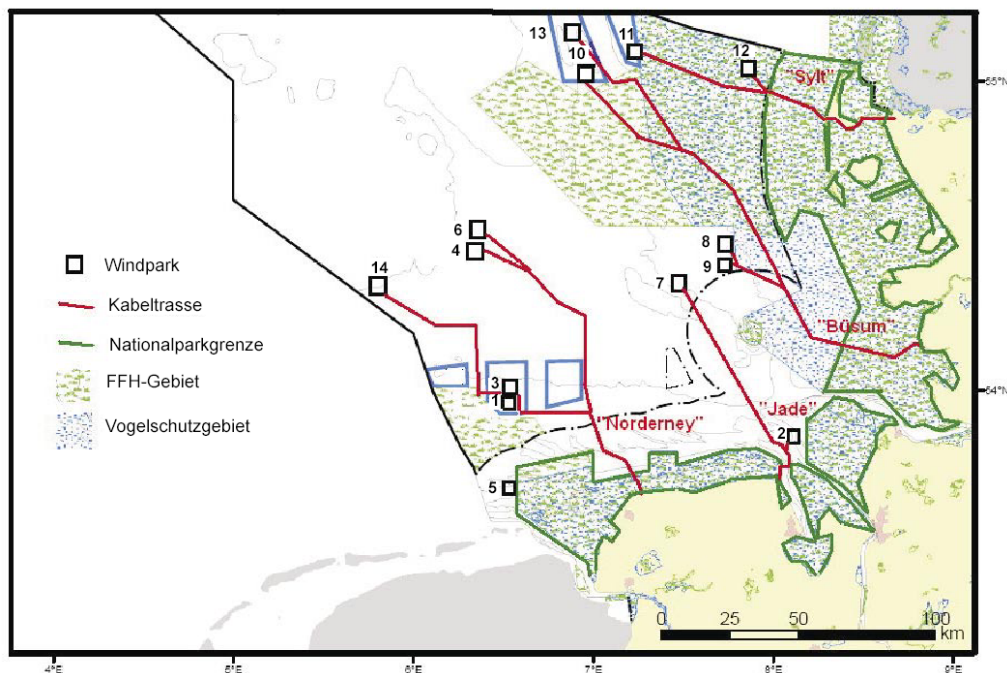


Abb.10: Kabeltrassen zur Netzanbindung der Offshore-Windparks in der AWZ (Quelle: WWF DEUTSCHLAND, 2006,S.20)

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist eine Querung der Nationalparks äußerst problematisch, da weder Verlegung noch Betrieb mit den Schutzziele und Bestimmungen des europäischen Naturschutzrechts zu vereinbaren sind. Die natürliche Dynamik und Ungestörtheit wäre nicht mehr gewährleistet und führe zu einem Werteverlust des sensiblen Lebensraums.

Rechtlich gesehen ist eine Neuverlegung von Kabeln im Nationalpark laut § 6 des niedersächsischen Wattenmeer-Nationalpark-Gesetz und § 5 des schleswig-holsteinischen Nationalparkgesetz verboten.

In der Bauphase und bei der Installation der WEA kommt es hauptsächlich zu Erschütterungen des Meeresbodens während die Gründungselemente in den Untergrund gerammt werden. Es kann jedoch nicht abgeschätzt werden, in wie weit sich die Erschütterungen negativ auf die Umgebung auswirken.

Ein weiterer baubedingter Effekt ist die Trübung und Sedimentation infolge von Sediment- und Schwebstoffaufwirbelung während des Einbringens der Gründungsfundamente in den Untergrund. Möglich sind Trübungsfahnen, die eine Beeinträchtigung für den Meeresboden darstellen (LENHART ET AL. 2006).

Das Ausmaß ist abhängig von der angewandten Technik, der Strömungsrichtung und -geschwindigkeit sowie der Sedimentzusammensetzung. Es kann zu einer kleinräumigen Trennung der Korngrößenfraktionen kommen, da Sande im näheren Umfeld resedimentieren, die Feinkornfraktion aber länger in Suspension verbleibt und weiter verdriftet wird. Berechnungen der dänischen Offshore-Projekte HornsRev und Rødsand zufolge werden pro Monopile-Anlage von 3,5 m Durchmesser etwa 1000 m³ bzw. 2300 t Sediment verlagert. Die Mächtigkeit der daraus entstehenden Überlagerung liegt im Millimeter- bis Zentimeter-Bereich im Umkreis von wenigen Dezimetern um den Pile (BIO/CONSULT, 1999 in: GEO mbH, 2003). Im Laufe der Zeit wird diese Ablagerung aber durch die natürliche Strömung und Bioturbation wieder ausgeglichen.

Beim Verlegen von Seekabeln kann es ebenfalls zur Umlagerung von Sediment und zum Ausbilden von Trübfahnen kommen, da im Verlegebereich etwa 400 m³ Sediment pro km bis in Tiefen von 1 m in Suspension gebracht wird, um die Kabel einsinken zu lassen. Infolge der Aufwirbelung kommt es auch hier zu einer Veränderung der Sedimentstruktur, da feines Material weiter als gröberes verdriftet wird. Es bleibt im Verlegebereich eine Vertiefung von wenigen Dezimetern auf einer Breite von 50 bis 80 cm, deren Ausgleich Monate andauert.

Allgemein lässt sich sagen, dass sich die baubedingten Auswirkungen der WEA allenfalls auf das nähere Umfeld der Anlagen beschränken und von temporärem Charakter sind. Sie beschränken sich zeitlich nur auf die unmittelbare Bauphase, also den Zeitraum von Mai bis September, und einen kurzen Zeitraum im Anschluss. Es sind demnach also keine negativen Effekte auf das Sediment und die Bodenbeschaffenheit zu erwarten.

Die Auswirkungen, die während der Betriebsphase auftreten sind wesentlich umfangreicher als die baubedingten. Sie wirken stetig über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten auf die Umgebung ein und werden teils empirisch, teils über numerische Simulationen abgeschätzt.

Hydrodynamisch-numerische Modelle werden zur quantitativen Erfassung der Einwirkungen auf die Meeresströmung verwendet, zum Beispiel von MITTENDORF & ZIELKE (2002). Die Beeinflussung der Strömung durch WEA ist, je nach den standorteigenen Strömungs- und Bathymetrieverhältnissen regional unterschiedlich stark. Es wurden zwei Phänomene untersucht:

- (1) Die Strömungsgeschwindigkeit erhöht sich, relativ zum Umfeld, unmittelbar seitlich der einzelnen Anlagen. Es bilden sich Ablösewirbel an der Pfeilerrückseite.
- (2) Im gesamten Bereich des Windparks reduziert sich die Meeresströmung weiträumig, da die Anlagen einen erhöhten Strömungswiderstand bieten (MITTENDORF & ZIELKE, 2002).

Die bremsende Wirkung der WEA auf die Meeresströmung (2) beträgt nur wenige Prozente (MITTENDORF ET AL, 2001) und ein Kumulationseffekt kann weitgehend ausgeschlossen werden, da die Anlagen zu weit auseinander stehen (GEO mbH, 2003). MAYERLE zeigte in PROJEKTIERUNGSGESELLSCHAFT FÜR REGENERATIVE ENERGIESYSTEME MBH (2002), dass sich der Einfluss der Windenergieanlagen nur auf den Nahbereich der Windparks beschränkt.

Des weiteren ist ein Zusammenhang zwischen Strömung und Sedimentation erkennbar. Veränderte Strömungsverhältnisse führen zu einer Änderung der Sedimentbewegung am Seegrund. Durch erhöhte Strömung kommt es zu Erosion und sogenannter Kolkbildung, bei reduzierter Strömung zu Sedimentation.

Diese Auswirkungen sind aber eher lokal einzuordnen, eine Veränderung der Küstdynamik infolge abweichender Strömungsverhältnisse ist auszuschließen, da das betrachtete Gebiet der AWZ zu weit von der Küste entfernt liegt.

In Bezug auf Veränderung der Wellenhöhe im Leebereich der WEA wird ebenfalls eine Verringerung prognostiziert. Sie beträgt jedoch weniger als 3,5% (DHI, 1999 in: GEO mbH, 2003) und ist nach wenigen Kilometern bereits ausgeglichen.

Bewertung der Eingriffsempfindlichkeit des Bestands (Übertrag aus Kapitel 4):					mittel - hoch
	Einzelwirkungen	Ausdehnung	Dauer	Intensität	Bewertung
	Sauerstoffzehrung	lokal	temporär	gering	vernachlässigbar
	Schiffsemissionen	lokal	temporär	sehr gering	vernachlässigbar
	Hydrographie großr.	regional	permanent	sehr gering	vernachlässigbar
	Hydrographie kleinr.	kleinräumig	permanent	durch Minderung gering	vernachlässigbar
	Beschichtungen	keine	keine	keine	vernachlässigbar
	Unterhaltungsmaßn.	lokal	temporär	durch Minderung gering	vernachlässigbar
	Störfälle	lokal-regional	temporär	aufgrund der Wahrscheinlichkeit gering	gering
	Rückbau	lokal	temporär	durch Minderung gering	vernachlässigbar
Signifikanz der Auswirkungen für den Bestand:					gering

Tab. 3: Bewertung der Vorhabensauswirkungen auf die Hydrographie (Quelle: GEO mbH, 2003, S. 130)

Die Errichtung von Bauwerken in strömenden Gewässern verändert das Strömungsfeld und es tritt unter Umständen ein erhöhter Sedimenttransport im Bereich des Bauwerks auf (UNGRUH & ZIELKE, 2004). Der Zusammenhang von Strömung und Sedimentbewegung wurde bereits angesprochen, jedoch nur im Hinblick auf die Meeresströmung. In Bezug auf den Meeresboden sind diese Auswirkungen ebenfalls von Bedeutung, speziell die erodierende und auskolkende Wirkung von erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten.

Beim Umströmen von Bauwerken, hier eine als Zylinder idealisierte WEA, kommt es zur Bildung eines Wirbelsystems das sich in zwei Bereiche teilt. Im Frontalbereich (1) des Pfeilers wird die Strömung verlangsamt und Druck aufgebaut. Dieser Staudruck wird durch ein Abströmen in Bereiche niederen Drucks abgebaut. Diese befinden sich zum einen an der Wasseroberfläche, zum anderen im bodennahen Bereich. Am sogenannten Staupunkt trennt sich die Strömung in eine aufwärtsgerichtete, die eine Bugwelle zur Folge hat und eine abwärtsgerichtete. Letztere bildet Hufeisenwirbel mit horizontaler Achse aus, die Sediment aufnehmen und verlagern können.

An der Pfeilerrückseite (2) bilden sich Nachlaufwirbel mit vertikaler Achse, die sich stromabwärts bewegen und aufgewirbeltes Sediment aus dem Bereich der WEA abtransportieren. Auf diese Weise bilden sich lokale Kolke am Gründungsfundament.

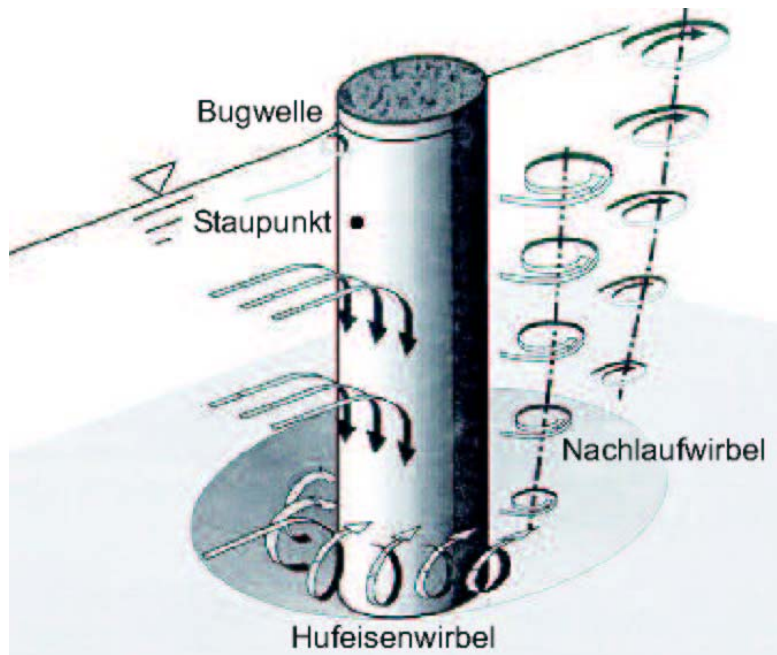


Abb. 11: Wirbelbildung an WEA nach MELVILLE & COLEMAN (2002) (Quelle: UNGRUH, ZIELKE, 2003, S. 3)

Ein flächenhafter Sedimentverlust im gesamten Bereich der Anlage wird als globaler Kolk bezeichnet. Letzterer entsteht durch Verflüssigungsprozesse an der Sohle infolge von Turbulenzen im Bauwerksbereich. Die Ausbreitung von globalen Kolken ist abhängig von der Art und Anordnung der Gründungselemente.

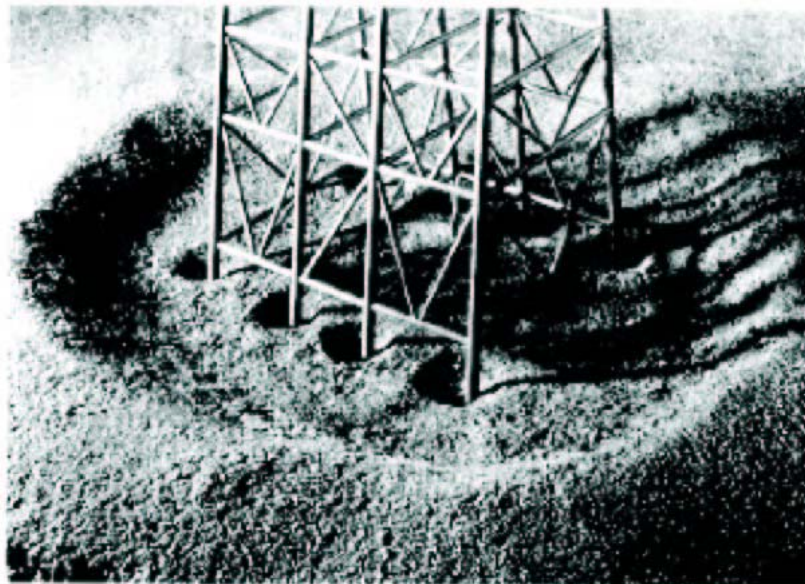


Abb. 12: Lokale und globale Kolkbildung an einem Offshorebauwerk (Quelle: WHITEHOUSE, 1998 in: UNGRUH, ZIELKE, 2003, S. 6)

In Bezug auf das betrachtete Gebiet ist die Entwicklungsgeschwindigkeit des Kolks wichtig, da es sich um ein tidales Gebiet handelt und auf Grund wechselnder Strömungsrichtungen ein Gleichgewichtszustand verhindert werden könnte (UNGRUH, ZIELKE, 2004).

Im Gegensatz dazu wurde ermittelt, dass Wellen kaum einen Einfluß auf die Kolktafe haben (LESNY, RICHWIEN, 2004). Die Kolkberechnung wird aus dem Zusammenhang zwischen Kolktafe und Kennwerte bezüglich dem Verhältnis von Bauwerksbreite zu Wassertiefe, der Intensität der Strömung, der Sedimentgröße, dem Grundriss und der Anordnung des Bauwerks, sowie der Zeit bestimmt (GIGAWIND, 2004). Diese ist im Prinzip empirisch berechenbar, es ergeben sich allerdings Probleme, da die Gleichungen nur in einem bestimmten Parameterbereich anwendbar sind und auch wegen Maßstabsproblemen nicht auf die Realität übertragbar sind. Zudem ist eine Vielzahl von Gründungselementen nicht erfassbar. Wodurch zurzeit keine verlässlichen Aussagen über die Kolktafe bei WEA getroffen werden können.

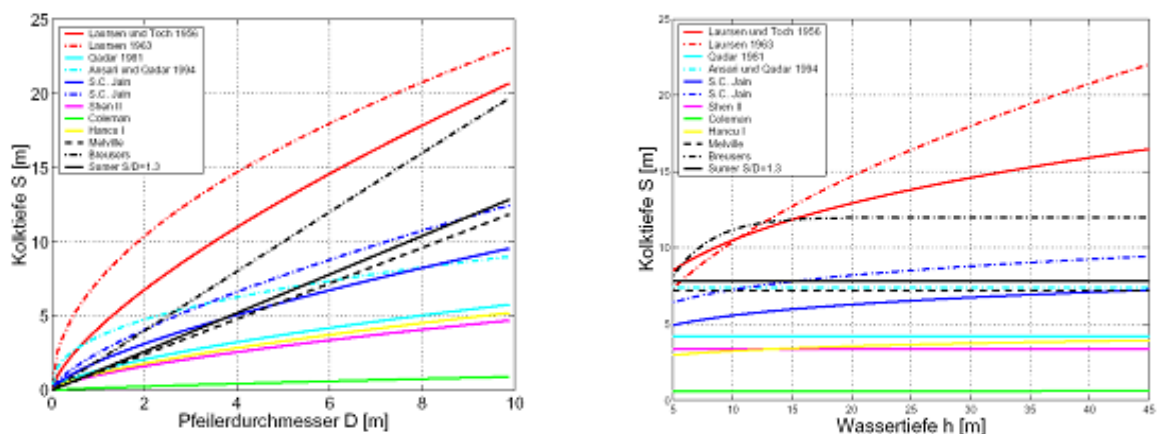


Abb. 13: Abhängigkeit der Kolktafe vom Pfeilerdurchmesser D (für $h=30\text{m}$) und von der Wassertiefe h (für $D=6\text{m}$) (Quelle: UNGRUH & ZIELKE, 2004, S. 29)

Autor	Jahr	Ermittelte Kolktafe [m]	
Laursen & Toch	1956	14,59	
Laursen	1963	17,98	MAX.
Qadar	1981	4,19	
Ansari & Qadar	1994	7,37	
Jain	1981	6,74	
Jain	1981	8,79	
Shen II	1969	3,36	
Coleman	1971	0,60	MIN.
Hancu I	1971	3,73	
Melville & Coleman	2000	7,20	
Breusers et al.	1977	12,00	
Sumer	1992	7,80	

Tab. 4: Vergleich verschiedener Berechnungsergebnisse für ein Beispiel (Quelle: UNGRUH & ZIELKE, 2004, S. 31)

Die Erosion des Meeresbodens beeinflusst wesentlich die Bemessung und Planung der Gründungselemente. Ihr Einfluss auf die Tragfähigkeit von Pfahl- sowie insbesondere Schwergewichtsgründungen muss in jedem Fall berücksichtigt werden. Eine nachträgliche Sanierung ist kaum noch möglich (LESNY & RICHWIEN, 2002).

Zur Sicherung des Sediments im Gründungsbereich kann nicht auf bewährte Kolkenschutzmaßnahmen, wie z.B. aus dem Flussbau zurückgegriffen werden, da der Tideeinfluss eine dauerhafte Umwandlung des Kolks verursacht (UNGRUH & ZIELKE, 2004).

Generell werden Kolkschutzverfahren nach zwei Funktionen gegliedert. Dies ist zum einen die Verminderung des Sedimenttransports, sowohl am Baugrund wie durch Absenken der Strömungsgeschwindigkeit, zum anderen die Erhöhung der Bauwerksresistenz.

Beim ersten Verfahren werden Steinschüttungen am Fundament vorgenommen oder Sandsäcke bzw. -matten angebracht, wodurch jedoch die Gefahr der Kontakterosion im Übergangsbereich zwischen Baugrund und Kolkchutz entsteht. Um Sedimentverlust zu verhindern, bieten sich Mineralkorn- oder Kunststofffilter in Form von Matten an. Diese sind sehr anpassungsfähig und eine gute Form der Kolkssicherung.

Künstliche Gräser als stehende oder hängende Installation vermindern die Strömungsgeschwindigkeit und beugen so der Kolkbildung vor.

Im Gegensatz dazu sind bauwerksintegrierte Kolkschutzsysteme, wie Kolkschutzklappen oder -schürzen, fest mit dem Bauwerk verbunden und können bereits vorab montiert werden. Sie verbessern neben der Kolkminderung die Anpassungsfähigkeit des Fundaments an wechselnde und ungleiche Untergründe.

Für die Bemessung von Kolkschutzsystemen ist vorerst erfahrungsgemäß eine Fläche mit dem sechsfachen Durchmesser des eigentlichen Fundaments anzunehmen, diese kann gegebenenfalls reduziert werden.

Fundamente und Kolkchutz haben je nach Gründungsart einen mehr oder weniger großen Flächenverbrauch. Der darunterliegende Meeresboden wird dauerhaft versiegelt und bedeutet für viele Lebewesen einen Verlust des Lebensraums. Jedoch ist diese Fläche im Vergleich zur Gesamtfläche des Windparks eher als gering einzuschätzen (Vgl. Tab. Flächenverbrauch).

Weitere Auswirkungen der WEA auf die Umgebung sind auch eher geringen Ausmaßes. So tritt Bodenverdichtung nur durch mechanische Belastung ein, die pro Anlage kleinräumig und gering ist.

Des Weiteren hat auch eine geringfügige Sedimenterwärmung im Bereich von ableitenden Seekabeln keine Beeinträchtigung zur Folge. Die Temperaturerhöhung hat zwar eine beschleunigende Wirkung auf die geochemischen Abbauprozesse, der Anteil der organischen Substanz im Sediment ist aber in der AWZ zu gering. In küstennahen Bereichen, vor allem aber im Wattenmeer kann es aufgrund eines höheren Anteils an organischen Stoffen zu Problemen kommen. Diese Beeinträchtigung kann aber durch ein tieferes Einspülen der Kabel umgangen werden.

Das Fischereiverbot im Gesamtgebiet des Windparks ist als positiv zu bewerten, da unter Normalbedingungen der Meeresboden durch die Schleppnetze stark beansprucht wird.

Abschließend ist zusammenzufassen, dass Auswirkungen der WEA auf den Meeresboden und die Hydrologie nur im Nahbereich der Anlagen festzustellen sind. Eine strömungsbedingte Umschichtung ist zu erwarten, aber mit entsprechenden Maßnahmen entgegenzuwirken. Demnach treten keine erheblichen Veränderungen für Sediment und Bodenbeschaffenheit auf.

Bewertung der Eingriffsempfindlichkeit des Bestands:					mittel
	Einzelwirkungen	Ausdehnung	Dauer	Intensität	Bewertung
	Erschütterung	kleinräumig	temporär	hoch	<i>gering</i>
	Sedimentierung nach Trübung	lokal	temporär	gering	<i>vernachlässigbar</i>
	Nähr-, u. Schadstoffe	lokal	temporär	gering	<i>vernachlässigbar</i>
	Kolkung	kleinräumig	permanent	durch Minderung gering	<i>vernachlässigbar</i>
	Versiegelung	kleinräumig	permanent	hoch	<i>mittel</i>
	Verdichtung	kleinräumig	temporär	mittel	<i>gering</i>
	Erwärmung	kleinräumig	permanent	gering	<i>vernachlässigbar</i>
	Fischereiverbot	lokal	permanent	hoch	<i>positiv</i>
	Wartungsabfälle	lokal	permanent	gering	<i>gering</i>
	Rückbau	kleinräumig	temporär	mittel	<i>gering</i>
Signifikanz der Auswirkungen für den Bestand:					gering

Tab. 5: Bewertung der Vorhabensauswirkungen auf Boden/Sediment (Quelle: GEO mbH 2003, S. 127)

Auswirkungen auf Fauna und Flora

Während der Bauphase kommt es durch das Aufwirbeln von Sediment zu Trübefahren, welche sich negativ auf die Photosyntheseleistung des Phytoplanktons auswirken. Da die Nordsee aber allgemein eine gewisse Trübung aufweist, ist diese Auswirkung eher als gering einzuschätzen, zumal sie nur temporär auftritt. Durch das Aufwirbeln von Sediment werden andererseits auch Nähr- und Schadstoffe freigesetzt, die zur Eutrophierung der Nordsee beitragen oder von den planktonischen und benthischen Organismen aufgenommen werden und so ihren Weg durch die Nahrungskette nehmen (GEO MBH, 2003). Da die Schadstoffe aber ausreichend verdünnt werden, ist laut BOCKELMANN (2000) kein nachhaltiger Schaden zu erwarten.

Durch das aufgewirbelte Sediment werden die benthischen Lebewesen im näheren Umfeld durch Überdeckung geschädigt. Die Beeinträchtigung erfolgt aber erst ab einer gewissen Schichtdicke, die die Organismen nicht mehr durchkriechen können. Da das Sedimentationsgebiet vergleichsweise groß ist, ist keine große Mächtigkeit zu erwarten. Das Benthos wird vor allem durch den Bau der Fundamente zerstört oder erfährt einen Verlust an Lebensraum (BOCKELMANN, 2000).

Bei der Bewertung ist miteinzubeziehen, dass die Lebensgemeinschaften bereits an stark variierende Umstände angepasst sind und die Beeinträchtigungen binnen weniger Fortpflanzungsperioden ausgleichen können (GEO MBH, 2003).

Die Auswirkungen auf den Fischbestand bestehen kurzfristig in einem verringerten Nahrungsangebot, da die unteren Trophiestufen beeinträchtigt wurden. Durch die

Sedimentumlagerung und einhergehende Trübung kommt es zu einer visuellen Beeinträchtigung und zur Schädigung des Fischlaichs am Meeresboden. Fische sind generell wenig beeinträchtigt aufgrund ihrer Mobilität. Langfristige Beeinträchtigungen sind daher nicht zu erwarten.

Vögel sind dagegen weitaus sensibler. Sie reagieren von Art zu Art verschieden auf derartige Hindernisse. Die Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen von Offshore-Windparks sind aufgrund mangelnder Erprobung jedoch lückenhaft. Während der Bauphase werden Vögel vorübergehend in ihrem Lebensraum massiv gestört und verdrängt. GARTHE & HÜPPOP (2004) haben anhand von verschiedenen Faktoren einen Sensitivitätsindex entwickelt, der die Vulnerabilität verschiedener Vogelarten gegenüber Windparks abschätzt.

Die Meeressäuger werden durch die Geräuschkulisse ebenfalls gestört und temporär vertrieben. Ihre Rückkehr nach Beendigung der Bauphase ist zu erwarten.

Die Betriebsauswirkungen sind dagegen von Dauer und müssen vorher genau bedacht werden.

Die Beeinträchtigung von Plankton und Benthos ist vergleichsweise gering. Der Schattenwurf durch die Anlagen ist dank veränderlichem Sonnenstand nicht permanent. Auch die Schädigung durch Schadstoffe, die bei Wartungsarbeiten auftreten, ist aufgrund der schnellen Verdünnung gering. Die Belastung durch toxische Verbindungen wird durch Verbote von giftigen Anstrichen verhindert (BOCKELMANN, 2000).

Durch die Installation der Anlagen wird zwangsläufig der Lebensraum verändert. Dies kann jedoch auch positive Auswirkungen haben, da auf dem sandigen Untergrund der Nordsee Hartsubstrat Mangelware ist und neue Besiedlungsfläche schafft. Es können sich sessile Organismen ansiedeln, die sonst auf sandigem Boden nicht verbreitet sind. Durch das generelle Fischereiverbot in Windparks wird nicht zuletzt die Bodenfauna geschützt (GEO MBH, 2003).

Auch auf Fische können sich Windparks positiv auswirken. Das eingebrachte Hartsubstrat kann die Funktion eines künstlichen Riffs übernehmen. Diese ziehen Fische an und bieten ihnen Versteckmöglichkeiten. Über die Auswirkungen des Infraschalls durch Schwingungen der Anlagen, sowie der elektro-magnetischen Felder ist bislang wenig bekannt. Langfristige Negativeffekte auf Fische konnten noch nicht nachgewiesen werden (GEO MBH, 2003).

Bei Vögeln könnte sich ein langfristiger Habitatverlust aufgrund der befürchteten Scheuchwirkung der Windkraftanlagen einstellen. Viele Vögel könnten das Gebiet meiden, weil sie sich durch die vertikalen Strukturen, die Rotorbewegungen und –geräusche, gestört fühlen (BOCKELMANN, 2000).

Durch die Veränderung in der Nahrungskette kann es auch zu einer Veränderung des Nahrungsangebots für fischfressende Vögel und Enten kommen (BOCKELMANN, 2000).

Der Vogelzug wird voraussichtlich nur gering beeinträchtigt. 75% aller Vögel reagieren nicht panisch und überfliegen den Windpark. Das Kollisionsrisiko ist geringer als bei anderen künstlichen Hindernissen, wobei es nachts zu deutlich mehr Kollisionen kommt als am Tag. Die Befeuerung der Anlagen zieht Vögel an und begünstigt den Vogelschlag (BOCKELMANN, 2000).

Auch die Meeressäuger reagieren mit Fluchtaktivität auf den Schattenwurf und die Geräusche während der Wartungsarbeiten. Dadurch verkleinert sich bei Robben und Walen

der Lebensraum allerdings nur geringfügig, da sie einen einigermaßen großen Aktionsradius haben. Schwerwiegender wirkt sich die Scheuchwirkung auf küstennahe Robbenaufzuchtspplätze und Gebiete, in den Mutter-Kalb-Gruppen sich aufhalten, aus. Die Beeinträchtigung durch Schall wird auch als eher gering eingeschätzt. Zwar sind Wale besonders hörempfindlich und abhängig von ihrem akustischen Sinn, können aber nach kurzer Zeit eine gewisse Toleranz gegenüber permanenten Geräuschen entwickeln (KELLERMANN, 2004).

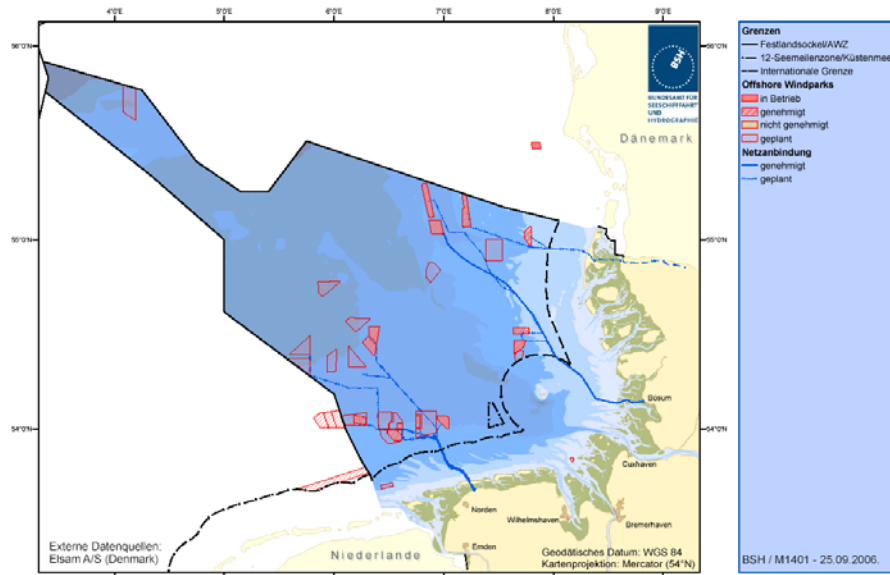


Abb. 14: Pilotprojekte Offshore- Windenergie und Netzanbindungen (www.bsh.de)

(3.6) Verlegung von Kabeln und Pipelines

In den letzten Jahrzehnten wurde eine enorme Zunahme beim Transport von Energie und Informationen über Seekabel und Pipelines verzeichnet und ist auch in Zukunft zu erwarten. Gerade durch den Ausbau der geplanten Offshore-Windparks und deren Anbindung an das nationale Stromnetz ist von einer starken Zunahme der Seekabel auszugehen. Im Gegensatz dazu wird die Zahl der Ölpipelines in naher Zukunft nicht wesentlich ansteigen, da die Ölförderung aufgrund Ressourcenknappheit sinken wird.

Die Umweltauswirkungen von Kabeltrassen und Ölpipelines sind offensichtlich. Die drei geplanten Kabeltrassen für die Netzanbindung der Offshore-Windparks verlaufen in Niedersachsen über Norderney, in Schleswig-Holstein über Büsum und Sylt und queren auf nicht unerheblicher Länge das Wattenmeer.

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist eine Querung der Nationalparks äußerst problematisch, da weder Verlegung noch Betrieb mit den Schutzziele und Bestimmungen des europäischen Naturschutzrechts zu vereinbaren sind. Die natürliche Dynamik und Ungestörtheit wäre nicht mehr gewährleistet und würde zu einem Werteverlust des sensiblen Lebensraums führen.

Beim Verlegen von Seekabeln kann es zur Umlagerung von Sediment und zum Ausbilden von Trübefahnen kommen, da im Verlegebereich etwa 400 m³ Sediment pro km bis in Tiefen von 1 m in Suspension gebracht werden, um die Kabel einsinken zu lassen. Infolge der Aufwirbelung kommt es auch hier zu einer Veränderung der Sedimentstruktur, da feines Material weiter verdriftet wird als gröberes. Es bleibt im

Verlegebereich eine Vertiefung von wenigen Dezimetern auf einer Breite von 50 bis 80 cm deren Ausgleich Monate andauert. Zum anderen werden benthische Lebewesen beim Einspülen aus ihrem Lebensraum gerissen und von resedimentiertem Material bedeckt. Des weiteren kommt es zu einer geringfügigen Sedimenterwärmung im Bereich von ableitenden Seekabeln, die aber kaum eine Beeinträchtigung zur Folge hat. Die Temperaturerhöhung hat zwar eine beschleunigende Wirkung auf die geochemischen Abbauprozesse, der Anteil der organischen Substanz im Sediment ist aber in der AWZ zu gering. In küstennahen Bereichen, vor allem aber im Wattenmeer, kann es aufgrund eines höheren Anteils an organischen Stoffen zu Problemen kommen. Diese Beeinträchtigung kann aber durch ein tieferes Einspülen der Kabel umgangen werden.

(3.7) Küstenschutz

Die beschleunigte Transgression und eine Zunahme in Intensität und Häufigkeit von Sturmfluten sind nachweislich auf den globalen Klimawandel zurückzuführen (www.hamburger-bildungsserver.de).

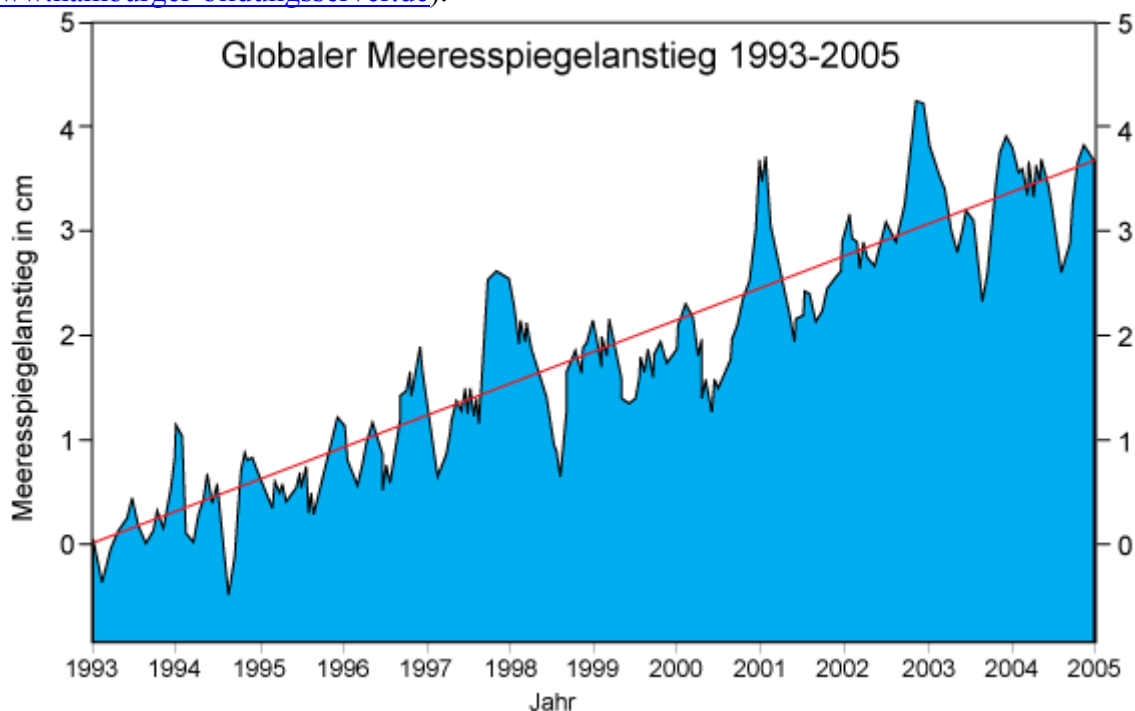


Abb. 15: Globaler Meeresspiegelanstieg bis 2005 (www.hamburger-bildungsserver.de)

Nicht zuletzt deshalb werden immer größere Anforderungen an den Küstenschutz gestellt. In den vergangenen Jahren wurden insbesondere die Ökosysteme der Küsten durch den Küstenschutz stark beeinträchtigt.

Zu nennen sind hier unter anderem der Rückgang der Salzwiesen infolge von Eindeichungen sowie eine veränderte Sedimentdynamik durch Buhnen. In Deutschland sind circa 25% der Küste durch solche Maßnahmen geschützt.

Eine weitere Möglichkeit, die Küste zu schützen ist das Vorspülen von Sand, wie es zum Beispiel auf Sylt, Langeoog, Norderney und Borkum praktiziert wird. Zu diesen Zwecken werden Sand- und Kiesvorkommen in der südlichen Nordsee genutzt. Die negativen

Auswirkungen der Sedimententnahme für den Küstenschutz wurden bereits in Kapitel 2.4 erläutert.

Es ist anzumerken, dass Natur- und Küstenschutz oftmals schlecht miteinander zu vereinbaren sind.

(3.8) Tourismus

Naturschutz und Tourismus können dagegen eng und auch wechselseitig miteinander verbunden werden. Eine intakte Natur ist ein Anziehungsfaktor für Touristen, die aber wiederum eine Belastung für den Naturhaushalt darstellen können.

An der deutschen Nordsee ist der Tourismus ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Die Küstenregion sowie das angrenzende Wattenmeer werden stark in Anspruch genommen. Als direkte und indirekte Folgen für die Umwelt sind viele Faktoren zu berücksichtigen. Die touristische Entwicklung einer Küstenregion erfordert den Ausbau der Infrastruktur, was große Flächen in Anspruch nimmt. Der erhöhte Reiseverkehr trägt maßgeblich zur Erhöhung des Stickoxidgehalts der Atmosphäre und so indirekt zur Eutrophierung bei. In touristischen Ballungsgebieten kommt es zu enormen Mengen an Abfällen und Abwässern, die entsorgt werden müssen.

Durch diverse Erholungsaktivitäten werden Tier- und Pflanzenwelt gestört. So begünstigt zum Beispiel eine Zerstörung der Vegetation durch Trittschäden indirekt die Erosion und Ausblasung von Sand in Dünengebieten. Vögel reagieren sehr sensibel und werden von ihren Rast-, Nahrungs- und Brutplätzen verscheucht.

(3.9) Militär

In den deutschen Hoheitsgewässern sowie der anschließenden AWZ befinden sich ausgedehnte Gebiete, die militärisch genutzt werden. Besonders die Schiessgebiete bedecken eine beträchtliche Fläche. Des Weiteren gibt es in der AWZ westlich und nordwestlich von Helgoland zwei U-Boot-Tauchgebiete und ein Torpedoübungsgebiet. Auch innerhalb der 12-Seemeilen-Zone um Helgoland befinden sich militärische Nutzungsgebiete. Diese sind eher kleinräumig und von Torpedoübungen und Mienenlegern/-jägern beansprucht. Vor Sylt und der ostfriesischen Küste befinden sich dazu noch ehemalige Munitionsversenkungsgebiete. Die Nutzungsaktivitäten der Bundeswehr wirken sich schädigend aus auf Luft, Boden und Wasser aus, da sie u.a. Lärm, Abgas, Abfälle und Strahlung produzieren. Umweltschädliche Auswirkungen treten beim Bau, bei Erprobungen, sowie während des Betriebs und der Instandhaltung und auch bei der Vernichtung von Waffen auf. Auch von Manövern auf Flug- und Übungsplätzen im Bereich der Nordsee und beim Transport von Munition und umweltschädlichen Stoffen kann eine Gefährdung auftreten (LENIUS, www.uni-muenster.de).

Seit dem Zweiten Weltkrieg wurden große Mengen an Kampfmitteln in der Nordsee verklappt. Darunter fallen sowohl bleihaltige Munition als auch chemische Kampfstoffe, die am Meeresboden eine Gefahr für die Umwelt darstellen.

Eine weitere Belastung durch militärische Nutzung resultiert aus den Tiefflügen. Beeinträchtigungen sind hier vor allem durch die Schadstoffemissionen der Flugzeuge und

der davon ausgehende Lärm. Allgemein reagieren Tiere häufig panisch und flüchten. Rastende Vögel sind besonders betroffen, da sie auf die Scheuchwirkung mit geringerem Bruterfolg reagieren (LENIUS, www.uni-muenster.de).

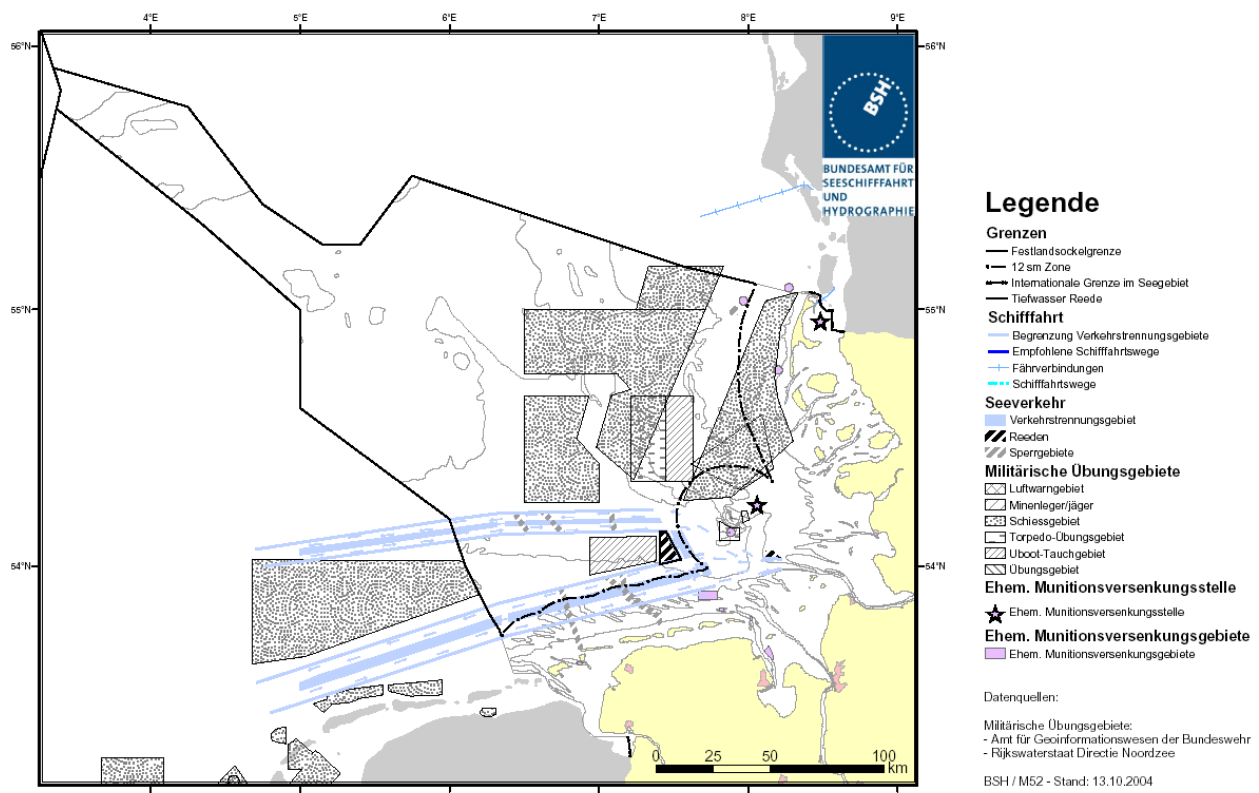


Abb. 16: Militärische Nutzungsgebiete in der deutschen Nordsee (Quelle: BSH)

(3.10) Landwirtschaft

Durch die Intensivierung der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten erhöhte sich auch der Düngemiteleinsatz. Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphat werden durch Niederschläge leicht aus dem Boden ausgewaschen und über die großen deutschen Flüsse in die Nordsee transportiert. Dabei muss nachdrücklich auf die Größe des Nordsee-Einzugsgebiets hingewiesen werden. Die Nährstoffeinträge beschränken sich also nicht nur auf die küstennahe Landwirtschaft.

Wie bereits im allgemeinen Ökologieteil erläutert, benötigen die Organismen des Phytoplanktons Nährstoffe für ihr Wachstum. Kommt es aber durch steigende Einträge zu einer Überdüngung, dann sind Nitrat und Phosphat nicht mehr limitierende Faktoren und das Wachstum des Phytoplanktons, die Algenblüte, läuft weiter. Die Primärproduktion hat sich seit den 1960er Jahren verdoppelt. Es herrscht also eine Überproduktion an Plankton, das irgendwann abstirbt und Bodenorganismen und Bakterien als Nahrung dient. Diese verbrauchen aber bei der Umsetzung von Detritus große Mengen an Sauerstoff. In Bodennähe kann die Sauerstoffkonzentration drastisch zurückgehen, sodass viele Bodenorganismen bedroht sind.

Eine Folge des erhöhten Nährstoffeintrags ist die Massenvermehrung der Flagellaten, zum Beispiel *Phaeocystis sp.*, die nach ihrem Absterben nicht verwertet werden und durch Wind und Wellen große Schaumberge an den Küsten auftürmen.

Das Wachstum von toxischen Algen bedroht vor allem die Muschelfischerei und Marikultur. Im Wattenmeer führt ein Überangebot organischer Substanz zu sogenannten schwarzen Flecken, die auftreten wenn nicht genug Sauerstoff vorhanden ist, um die organische Substanz abzubauen.

Die Belastung durch Nährstoffe ist in küstennahen und in Flussmündungsbereichen besonders hoch.

Es bleibt festzuhalten, dass die Algenblüte wie auch die schwarzen Flecken natürliche Prozesse der Nordsee und des Wattenmeers sind, die durch anthropogene Eingriffe, in diesem Fall durch Überdüngung, zu Problemen geworden sind.

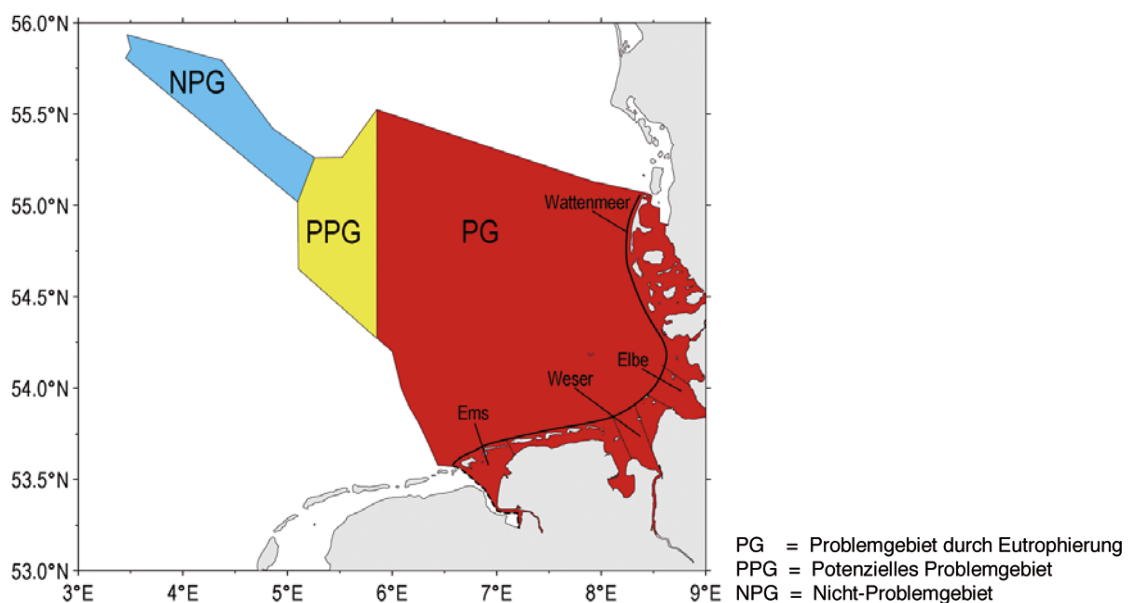


Abb. 17: Eutrophierungszustand der Deutschen Bucht (Quelle: <http://www.env-it.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=7684>)

(3.11) Marikultur

Trotz stagnierender Fischerei und zunehmender Überfischung steigt die Nachfrage an Fischereiprodukten. Daraus hat sich die Marikultur als wachsender und vielversprechender Wirtschaftszweig entwickelt. Dabei werden vorwiegend Fische, wie Lachs, Forelle, Stein- und Heilbutt und Muscheln, zum Beispiel Miesmuscheln und Austern, in Aquakultur gezüchtet.

An der Nordsee sind die Küsten aufgrund ihrer Wind- und Strömungsverhältnisse eher ungeeignet. Es bietet sich aber dank fortschreitender Entwicklung in der Offshore-Windenergiegewinnung eine neue Nutzungsform in küstenfernen Gebieten. Auf diese Weise werden Marikultur (=marine Aquakultur) und Energiegewinnung aneinander gekoppelt. Voraussetzung ist die natürliche Ansiedlung oder das Ausbringen von Brut von marinen Organismen auf künstlich in die offene See eingebrachte Strukturen wie z. B. Ölplattformen

oder die Trägerstrukturen von Wandkraftanlagen. Es findet keine zusätzliche Fütterung statt und vor allem werden keine Hygienemaßnahmen vorgenommen, da es sich bei Offshore-Windparks um völlig offene Systeme handelt. Nahrungsaufnahme und Exkrementabgabe unterliegen den Naturbedingungen vor Ort.

Für die südliche Nordsee sind folgende Spezies von wirtschaftlichen und ökologischen Interesse:

- Makroalgen Laminaria und Palmaria, Verwendung in der Nahrungsmittel-, Textil- und Farben- sowie in der kosmetischen und pharmazeutischen Industrie
- Miesmuschel Mytilus edulis als Nahrungsmittel
- Auster Ostrea edulis bzw Ostrea gigas als Nahrungsmittel
- Schwämme für Verwendung in der pharmazeutischen Industrie
- Hummer Homarus vulgaris zur Wiederansiedlung stark dezimierter Bestände

Die Umweltprobleme die durch herkömmliche Marikultur ausgehen können, sind vor allem eine Zunahme des Nährstoffeintrags durch Futtermittel, die indirekt zur Eutrophierung führt. Des weiteren sind die Zuchtkäfige Brutstätten für Krankheitserreger und Parasiten, die speziell bei gebietsfremden Arten ein hygienisches Risiko für das natürliche Ökosystem darstellen können. Aus dem Einsatz von Antibiotika resultiert vielfache eine erhöhte Antibiotikaresistenz der Mikroorganismen.

Positiv anzumerken ist, dass ein allgemeiner Rückgang der von Aqua- und Marikulturen ausgehenden Belastungen zu verzeichnen ist (SRU, 2004).

(3.12) Straßenverkehr an Land

Die Ausbreitung von Handel, Industrie und Gewerbe setzt eine gute Infrastruktur voraus. Diese ist in den deutschen Küstenbereichen nahe der großen Häfen wie Hamburg und Bremen besonders umfangreich ausgebaut. Der Weitertransport der umgeschlagenen Güter erfolgt zu einem beträchtlichen Anteil auf der Straße. Da bereits erwähnt wurde, dass der Seeverkehr in Zukunft weiter expandieren wird, ist auch eine Zunahme des Straßen-(Güter)Verkehrs zu erwarten, da die Waren im Hafen noch nicht am Zielort angekommen sind. Die Folgen sind zunehmender Flächenverbrauch und Flächenversiegelung. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist die Zerschneidung von Lebensräumen ein gravierendes Problem. Die neu geschaffenen Barrieren stellen für viele Tiere eine erhebliche Beeinträchtigung dar, da die verbleibenden Lebensräume meist zu klein sind und möglicherweise Nahrungs- und Brutplätze abschneiden. (www.umweltbundesamt.at).

Die Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs sind ebenfalls nicht zu verachten und wurden in der Öffentlichkeit bereits vielfach diskutiert. Hauptemissionen von Kraftfahrzeugen sind Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickoxide (NO_x) sowie Partikel aus Dieselmotoren. Des weiteren entsteht durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern N₂O, ein weiteres Treibhausgas, welches den Klimawandel indirekt antreibt. (www.umweltbundesamt.de).

Die Stickstoffverbindungen tragen über die Atmosphäre zur Eutrophierung der umliegenden Gewässer und der Nordsee bei.

(3.13) Schutzgebiete

Der Küstenbereich der deutschen Nordsee wird durch drei große Nationalparks geschützt, das Niedersächsische, das Hamburger und das Schleswig-Holsteinische Wattenmeer. Der Niedersächsische Nationalpark wurde 1986 gegründet und umfasst auf einer Größe von 236.330 ha neunzehn ehemalige Naturschutzgebiete zwischen Emden und Cuxhaven. Der Nationalpark umfasst die Naturräume „Ostfriesische Inseln und Watten“ und „Ostfriesische Seemarschen“ (BIBELRIETHER, 1997).

Der Nationalpark Hamburger Wattenmeer besteht seit 1990 und umfasst auf einer Fläche von 11.700 ha zwei ehemalige Naturschutzgebiete. Er befindet sich im Bereich der Elbmündung und repräsentiert den Naturraum Elbmarschen (BIBELRIETHER, 1997).

1985 wurde der Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer gegründet. „Der 285.000 ha große Nationalpark schließt sieben frühere Naturschutzgebiete (...) ein“ (BIBELRIETHER, 1997, S.77). Er umfasst die gesamte Schleswig-Holsteinische Nordseeküste mit Ausnahme der Inseln Nordstrand, Pellworm, Amrum, Föhr und Sylt, sowie der bewohnten Halligen.

Innerhalb der AWZ gibt es drei Natura 2000 Schutzgebiete, die nach FFH-Richtlinien ausgewiesen werden sollen und ein Vogelschutzgebiet.

Die Natura 2000 Schutzgebiete umfassen die Gebiete „Doggerbank“, „Borkum Riffgrund“ und „Sylter Außenriff“.

Der Bereich „Doggerbank“ umfasst ein Gebiet von 169.895,35 ha Größe in dem der FFH - Lebensraumtyp „Sandbank“ und die FFH – Arten Schweinswal und Seehund verbreitet sind.

Der „Borkum Riffgrund“ umfasst auf einer Größe von 62.548,16 ha die FFH – Lebensraumtypen „Sandbank“ und „Riff“ und die FFH – Arten Schweinswal, Seehund, Kegelrobbe und Finte.

Im Bereich des „Sylter Außenriffs“ sind auf einer Fläche von 513.428,39 ha die beiden FFH – Lebensraumtypen „Sandbänke“ und „Riffe“ und die FFH – Arten Schweinswal, Seehund, Kegelrobbe, Finte (*Allosa fallax*) und Flussneunauge (*Lampetra fluviatilis*) verbreitet.

Das EU - Vogelschutzgebiet „SPA Östliche Deutsche Bucht“ umfasst 313.512,76 ha mit den Verbreitungsschwerpunkten von Seetauchern, Brandseeschwalben, Küsten- und Flusseeschwalben sowie Zwerg- und Sturmmöwen. Es wurde ebenfalls die Nahrungsgebiete der Brutvögel wie Dreizehenmöwe, Trottellume und Basstölpel berücksichtigt. (www.habitatmare.de/de/downloads/erlaeuterungstexte/Erlaeuterung_Nordsee.pdf).

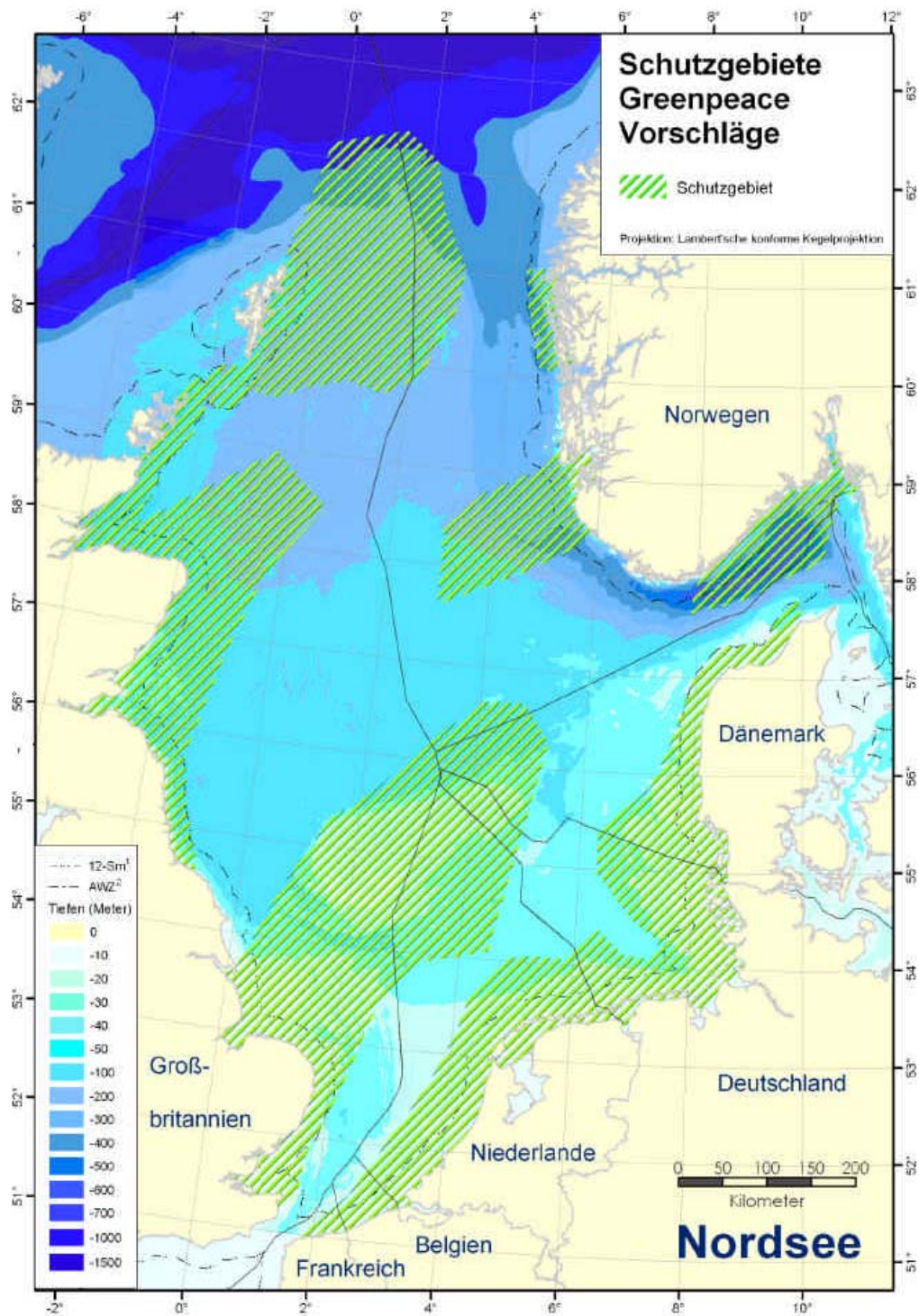


Abb. 19: Durch Greenpeace vorgeschlagene Schutzgebiete (www.greenpeace.de)

(3.14) Fazit:

Der untenstehenden Tabelle ist zu entnehmen, dass fast alle Nutzungen eine negative bis neutrale Auswirkung auf die Ökologie der Nordsee haben. Allein die Nutzung durch Schutzgebiete hat einen positiven Einfluss auf die Meeresumwelt.

Auswirkungen der Nutzungen auf Fauna und Flora der Nordsee + positive Auswirkung - Beeinträchtigung o neutrale Wirkung	Plankton	Benthos	Fische	Vögel	Meeressäuger
Fischerei	o	-	- -	o	-
Schifffahrt	-	-	-	o	o
Abfallentsorgung	-	-	-	-	-
Rohstoffgewinnung	-/o	-	-/o	o	-/o
Offshore-Windenergie	o	+/-	+	-/o	-/o
Kabel/ Pipelines	-/o	-	o	o	o
Küstenschutz	o	o	o	o	o
Tourismus	o	o	o	-	-/o
Militär	-/o	-/o	-/o	-	-
Landwirtschaft	- -	- -	- -	-/o	-/o
Marikultur	o	o	o	o	o
Straßenverkehr	-/o	-/o	-/o	o	o
Schutzgebiete	o	o	+	++	++

Tabelle 5: Auswirkungen der Nutzungen auf Fauna und Flora der Nordsee

(4) Literatur

- BIBELRIETHER, H., BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (1997): Studie über bestehende und potentielle Nationalparke in Deutschland. Angewandte Landschaftsökologie (10). LV Druck im Landwirtschaftsverlag GmbH. Münster-Hiltrup.
- BMU (2005): Klimaschutz - Die größte umweltpolitische Herausforderung der Menschheit, www.bmu.de/klimaschutz , Download
- BOCKELMANN, F.-D. [MITW.] (2000): Abschlußbericht zum Kompaktpraktikum Offshore-Windkraftanlagen : naturräumliche Situation, Eingriffsabschätzung, Klärungsbedarf und Planungsoptionen, aufgezeigt am Beispiel des westlichen deutschen Seegebietes und Küstenraumes. Universität Oldenburg.
- DIF, G. & Y VALLIER (1981):Meeresvögel- Merkmale, Ernährung, Fortpflanzung, Wanderung und Verbreitung der wichtigsten Arten aus aller Welt. Belser Verlag. Stuttgart.
- ELSAMPROJEKT (1999): Horns Rev Wind Power Plant – Environmental impact assessment of hydrography.
- FIGGE, K. (1981): Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht. Karte 1: 250 000, Nr. 2900, Dt. Hydrogr. Inst., Hamburg.
- FLEMMING, B.W. ET AL (2002): Naturraum Wattenmeer. In: Akademie der Geowissenschaften zu Hannover. Veröffentl. 20(2002). S. 150-159.
- GARTHE, S. & HÜPPOP, O. (2004): Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. In: Journal of Applied Ecology 2004 (41).S. 724-734.
- GIGAWIND (2001): Jahresbericht 2001. www.gigawind.de , Download
- GIGAWIND (2004): Bau- und Umwelttechnische Aspekte von Off-shore Windenergieanlagen – Abschlussbericht 2000-2003. www.gigawind.de, Download
- GEO GESELLSCHAFT FÜR ENERGIE UND ÖKOLOGIE mbH (2000): Unterlagen zur Einleitung eines Antragsverfahrens auf Genehmigung des Offshore-Windparks DanTysk nach Seeanlagenverordnung an das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.
- GEO GESELLSCHAFT FÜR ENERGIE UND ÖKOLOGIE mbH (2003): Umweltverträglichkeitsstudie zum Offshore-Windpark DanTysk - UVP-Bericht -Zusammenfassung – August 2003.
- GERHARD, F.(Hrsg.) (1981): Naturraum Wattenmeer, Wien.
- GREENPEACE E.V (2004): Mehr Meer- Ein Vorschlag für Meeresschutzgebiete für Nord- und Ostsee. <http://www.greenpeace.de> ,Download (05.10.2006)
- KELLERMANN, A. (2004): Marine Warmblüter in Nord- und Ostsee: Grundlagen zur Bewertung von Windkraftanlagen im Offshore-Bereich.

- KNUST, R.; DAHLHOFF, P.; GABRIEL, J.; HEUERS, J.; HÜPPOP, O. & H. WENDELN; UMWELTBUNDESAMT (HRSG) (2003): Untersuchungen zur Vermeidung und Verminderung von Belastungen der Meeresumwelt durch Offshore - Windenergieanlagen im küstenfernen Bereich der Nord- und Ostsee.
- HOYME, H., MITTENDORF, K. & W. ZIELKE (2001): Beeinflussung der Meeresströmung durch Windparks. Symposium Offshore-Windenergie Bau und umwelttechnische Aspekte, Hannover.
- LANDESAMT FÜR DEN NATIONALPARK SCHLESWIG-HOLSTEINISCHES WATTENMEER; UMWELTBUNDESAMT (1998): Umweltatlas Wattenmeer. Ulmer. Stuttgart.
- LENHART H., B. BURKHARD & W. WINDHORST (2006): Ökologische Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte als Folge der Baumaßnahmen von Offshore Windkraftanlagen. - EcoSys. S. 90-106.
- LENIUS, T. Ökologie und Militär- Truppenübungsplatz als Biotop? Informationsstelle Wissenschaft & Frieden Dossier Nr. 19, <http://www.uni-muenster.de/PeaCon/wuf/wf-95/9511504m.htm> , (05.10.2006)
- LESNY, K. & K. RICHWIEN (2002): Gründungstechnische Randbedingungen für den Bau von Offshore-Windenergieanlagen in der Deutschen Bucht. In Bauingenieur 77 (2002), S. 431-438.
- LESNY, K. & W. RICHWIEN (2004): Windfarmen in der Nordsee – Fundamente für Windmühlen auf hoher See. In: Essener Unikate - Berichte aus Forschung und Lehre, Ingenieurwissenschaften, Heft 23, Universität Duisburg-Essen, S. 60-69.
- LESNY, K. & W. RICHWIEN (2004): Kann man Kolke an Offshore-Windenergieanlagen berechnen? www.uni-essen.de, Download
- LESNY, K., FUNKE, G. & K. JAKUBIEC (2005): Saugrohrgründungen für Offshore-Windenergieanlagen – dargestellt am Beispiel der Hexafix-Gründungsstrebenstruktur. HTG-Kongress 2005. Bremen, S. 285-296
- LESNY, K. & W. RICHWIEN (2005): Bemessung von Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen. In: Tagungsband zum HTG-Kongress 2005, Bremen, S. 253-264
- LOHMANN, M. (1993): Pflanzen und Tiere der Küste- Bestimmen auf einen Blick. BLV-Verlagsgesellschaft. München.
- LÓZAN ET AL (1990): Warnsignale aus der Nordsee. Paul Parey. Hamburg
- LOZÁN, J. L. ET AL (1994): Warnsignale aus dem Wattenmeer. Blackwell Wissenschafts-Verlag. Berlin.
- LÓZAN ET AL (2003): Warnsignale aus Nordsee und Wattenmeer – Eine aktuelle Umweltbilanz. Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg.

- LUCKE, K. (2000): Möglicher Einfluss von Offshorewindenergienutzung auf Marine Lebewesen. Workshop Offshorewindenergienutzung – Technik, Naturschutz, Planung. DEWI. Wilhelmshaven.
- MELVILLE, B. & S. COLEMAN (2000): Bridge Scour. Water Resources Publications, LLC.
- MITTENDORF, K. & W. ZIELKE (2003): Untersuchung der Wirkung von Offshore-Windenergie-Parks auf die Meeresströmung.
- MÖLLER CHRISTENSEN, J. (1977): Die Fische der Nordsee. Kosmos-Feldführer. Franck'sche Verlagshandlung. Stuttgart.
- MUUS, B.J. & P. DAHSTRÖM (1991): Meeresfische der Ostsee, der Nordsee, des Atlantik-Biologie, Fang, wirtschaftliche Bedeutung. BLV-Bestimmungsbuch. 6.Aufl. BLV-Verlagsgesellschaft mbH. München.
- PETHICK, J. (1984): An Introduction to Coastal Geomorphology. Edward Arnold. London.
- PROJEKTIERUNGSGESELLSCHAFT FÜR REGENERATIVE ENERGIESYSTEME MBH (2002): Gutachten zum Offshore-Windpark SANDBANK 24 – Untersuchung der Auswirkungen durch den Betrieb – November 2002.
- RACHOR, E. & P. NEHMER (2002). Benthologische Arbeiten zur ökologischen Bewertung von Lebensgemeinschaften und Charakterarten von Sandbänken und Riffen in der Nordsee, Statusseminar des Bundesamtes für Naturschutz zur Auswahl von NATURA 2000 Meeresschutzgebieten, Vilm/Rügen, 16.-19.9.2002.
- REINECK, H.-E. (1978): Die Watten der deutschen Nordseeküste. Die Küste, H.32
- RICHWIEN, W.; LESNY, K.; & J. WIEMANN, (2001): Gründungskonzepte für Offshore-Windenergieanlagen. Symposium Offshore-Windenergie, Bau- und umwelttechnische Aspekte, 25.06.2001. Hannover.
- SCHWARZ, C. (1996): Neue Befunde zur Verbreitung und Dimension pleistozäner Rinnensysteme auf dem deutschen Nordseeschelf. In: Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Heft 146. Deutsche Beiträge zur Quartärforschung in der südlichen Nordsee, E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. S. 233-244
- SINDOWSKI, H.K. (1970): Das Quartär im Untergrund der Deutschen Bucht (Nordsee). Eiszeitalter und Gegenwart: Jahrbuch der Deutschen Quartärvereinigung, Band 21, Hohenlohe'sche Buchhandlung Ferd. Rau, Württemberg. S. 33-46.
- SRU, DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (2004): Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee – Sondergutachten. Nomos Verlagsgesellschaft. Baden-Baden.
- STREIF, H. (2002): Nordsee und Küstenlandschaft – Beispiel einer dynamischen Landschaftsentwicklung. Veröffentlicht von der Akademie der Geowissenschaften Hannover e.V. www.geoakademie.de/PDF/Heft20/Streif.pdf, Download
- UNGRUH, G. & W. ZIELKE (2004): Kolkberechnung an Offshore-Bauwerken: a state of the art review. www.gigawind.de, Download

UTHOFF, D. (1983): Konfliktfeld Nordsee: Nutzungen, Nutzungsansprüche & Nutzungskonflikte. In: Geographische Rundschau 35 (6). S. 282-291.

WHITEHOUSE, R. (1998): Sour at marine structures – A manual for practical applications. Thomas Telford.

WWF DEUTSCHLAND Hrsg.(2006): Wie umweltverträglich ist die Netzanbindung von Offshore-Windparks? Bewertung der Konzepte und Anträge für die Kabelanbindung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee. www.thema-energie.de, Download

<http://www.env-it.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=7684>

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/raumordnung/auswirkungen1/zerschneidungen/>, Download, (28.09.2006)

<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/emissionen/schadstoffe/nemmis/kw/emin2o.htm> , Download, (28.09.2006)

<http://www.habitatmare.de/de/downloads> , Download (29.09.2006)

<http://hamburger-bildungsserver.de> , Download (05.10.2006)