

Sandersatzmaßnahmen vor der Westküste der Insel Sylt

Vergleich unterschiedlicher Einbringungstechniken
des Sandes aus naturschutzfachlicher Sicht

Auftraggeber:

Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz
Schleswig-Holstein
Husum

März 2022

Auftraggeber: Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz
Schleswig-Holstein
Husum

Titel: Sandersatzmaßnahmen vor der Westküste der Insel Sylt
Vergleich unterschiedlicher Einbringungstechniken des Sandes
aus naturschutzfachlicher Sicht

Auftragnehmer: BIOCONSULT Schuchardt & Scholle GbR

Auf der Muggenburg 30
28217 Bremen
Telefon +49 421 6207108
Telefax +49 421 6207109

Klenkendorf 5
27442 Gnarrenburg
Telefon +49 4764 921050
Telefax +49 4764 921052

Lerchenstraße 22
24103 Kiel
Telefon +49 431 53036338

Internet www.bioconsult.de
eMail info@bioconsult.de

Bearbeiter: Dr. Sandra Jaklin

Datum: 30.03.2022

Inhalt

1. Anlass und Aufgabenstellung	5
2. Beschreibung der Sandersatzmaßnahmen und Einbringungstechniken.....	6
2.1 Verklappen (bottom dumping) – Split-Hopperbagger.....	9
2.2 Verklappen (bottom dumping) – Bodenluken-Hopperbagger.....	10
2.3 Versprühen – Rainbowing.....	10
2.4 Tiefes Verspülen – Diffuser.....	11
3. Annahmen für den Vergleich	12
4. Betrachtung der Einbringungstechniken unter naturschutzfachlichen Aspekten	13
5. Fazit	18
Literatur.....	19

Abbildungen und Tabellen

Abb. 1:	Einbringungstechniken: a) Direktes Verklappen, b) Rainbowing, c) Spülrohrleitungen.....	8
Abb. 2:	Darstellung der Funktionsweise eines Split-Hopperbaggers.....	9
Abb. 3:	Hopperbagger mit Bodenklappen.	10
Abb. 4:	Einbringung von Sand in den Vorstrand-/Strandbereich durch einen Hopperbagger mittels Rainbow-Verfahren.....	11
Tab. 1:	Vergleich der Auswirkungen auf verschiedene Schutzgüter zwischen den unterschiedlichen Einbringungstechniken.....	17

1. Anlass und Aufgabenstellung

Der Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN.SH) führt zum Erhalt der Sylter Westküste regelmäßig sogenannte Sandersatzmaßnahmen durch. Entsprechend des jährlichen Bedarfs werden hierbei unterschiedlich große Mengen an Seesand aus der planfestgestellten Entnahmestelle Westerland III, die westlich der Insel Sylt in der Nordsee verortet ist, in den Vorstrandbereich und den Strandbereich eingebracht.

Die Durchführung der Küstenschutzmaßnahmen bedarf einer natur- und küstenschutzrechtlichen Genehmigung, die vom LKN.SH als Vorhabenträger zu beantragen ist. Diese Genehmigung wird für die Sandersatzmaßnahmen an der Westküste von Sylt für die Jahre nach 2022 neu beantragt.

Im Zuge der Bearbeitung der Antragsunterlagen haben sich neue Fragestellungen bezüglich der unterschiedlichen Techniken/Verfahren zum Einbringen des Sandes bei Sandersatzmaßnahmen ergeben. Daher wurde das Büro BioConsult Schuchardt & Scholle GbR im Juni 2021 beauftragt, einen methodischen Vergleich unter naturschutzfachlichen Aspekten durchzuführen und hierbei unterschiedliche Einbringungstechniken, die bei Strand- und Vorstrandaufspülungen vor Sylt prinzipiell angewendet werden können, vergleichend in ihren Auswirkungen auf die marine Umwelt zu bewerten.

2. Beschreibung der Sandersatzmaßnahmen und Einbringungstechniken

Sandersatzmaßnahmen

Die Bezeichnung „Sandersatzmaßnahme“ umfasst sowohl das Platzieren/Ablagern von Sand im Strandbereich als auch seeseitig der Küstenlinie (Vorstrand).

Strandaufspülungen, im Englischen *beach nourishment*, sind ein Verfahren, um durch die Ablagerung von Sediment auf dem vorhandenen Strandbereich, im angrenzenden Eulitoral bis ins obere Sublitoral, die Verluste von Strandbereichen durch Erosion auszugleichen und die Küstenabschnitte inkl. der Dünen durch die Vergrößerung eines Sandreservoirs zu schützen. Damit einhergehend wird der Strandbereich oftmals vergrößert und somit die touristische Nutzung verbessert. Bei erhöhten Wasserständen wird der Sand aus den geschaffenen Sanddepots und Vordünen in den Vorstrandbereich bzw. das Eulitoral umgelagert.

Vorstrandaufspülungen, im Englischen *shoreface nourishment*, sind ein Verfahren, um durch die Ablagerung von Sediment im Vorstrandbereich die Erosion der Strandbereiche zu mindern. Hierfür wird zumeist Sediment auf der seeseitigen Schulter des Vorstrandriffes abgelagert und dieses hierdurch gestärkt. Der eingebrachte Sand verändert das morphologische Profil und wirkt als Wellenbrecher. Hierdurch wird die Wellenenergie vor Erreichen des Strandes reduziert, die Belastung des Strandes durch die auftreffenden Wellen gesenkt und der Küstenabtrag reduziert.

Einbringungstechniken

Die Einbringung des Sandes in die Ablagerungsfläche kann für beide Sandersatzmaßnahmen durch unterschiedliche Techniken erfolgen. Hierbei können in ihrer grundsätzlichen Technik vier Verfahren angewendet werden, von denen drei in Abb. 1 schematisch dargestellt sind.

- a) Verklappen durch einen Hopperbagger (bottom dumping)
- b) Versprühen durch einen Hopperbagger (rainbowing)
- c) Tiefes Verspülen mittels Rohrs und Diffusers am Bug
- d) Verspülen durch einen Hopperbagger über Spüleleitungen (pipeline discharge)

Alle Techniken erfordern den Einsatz eines Hopperbaggers¹, also eines selbstfahrenden Laderaumsaugbaggerschiffes, mit dem der Sand aus dem Entnahmebereich gelöst und durch einen Saug- oder Schneidkopf oder eine Pipeline in den Laderaum gepumpt wird. Das hierbei mit in den Laderaum gepumpte Wasser wird durch einen Überlauf abgelassen, sodass ein wassergesättigtes Sedimentgemisch im Laderaum verbleibt. Für die überwiegend mittel- bis grobsandigen Sedimente im

¹ Das „bottom dumping“ kann auch durch eine Kombination aus einem stationären Baggerschiff an der Entnahmestelle und der Umlagerung auf Klappschuten erfolgen, die den Sand in den Vorstrand einbringen. Da vor Sylt aber bisher nur Hopperbagger zum Einsatz kamen, wird hierauf fokussiert.

Entnahmefeld Westerland III, ist von einem Verhältnis von 70:30 Sediment-Wasser im Laderaum auszugehen.

Die Sedimententnahme im Entnahmefeld Westerland III soll bis zum Auslaufen der Genehmigung 2030 mittels Stechkopfbagger durchgeführt werden (gem. Planfeststellungsbeschluss W 7813 PFV I 2008-008-III vom 11.02.2010). Aufgrund der geringen Wassertiefe im Vorstrandbereich von Sylt, können nur kleinere Schiffe mit einem geringen Tiefgang und entsprechend auch einer geringen Laderaumkapazität zum Einsatz kommen. Moderne Hopperbagger können zwischen verschiedenen Einbringungstechniken wechseln. Grundsätzlich erfolgt beim Verklappen eine direkte Einbringung über den Hopperbagger (nur Vorstrand), beim Rainbowing findet die direkte Entleerung in einem Bogen über den Bug statt (Vorstrand/Strand), beim Diffuser-Verfahren (Vorstrand) wird das Sediment über ein am Bug befindliches Rohr mit Diffuser verspült und beim indirekten Verspülen wird die Distanz zwischen Hopperbagger und Strand durch Spüleleitungen überbrückt.

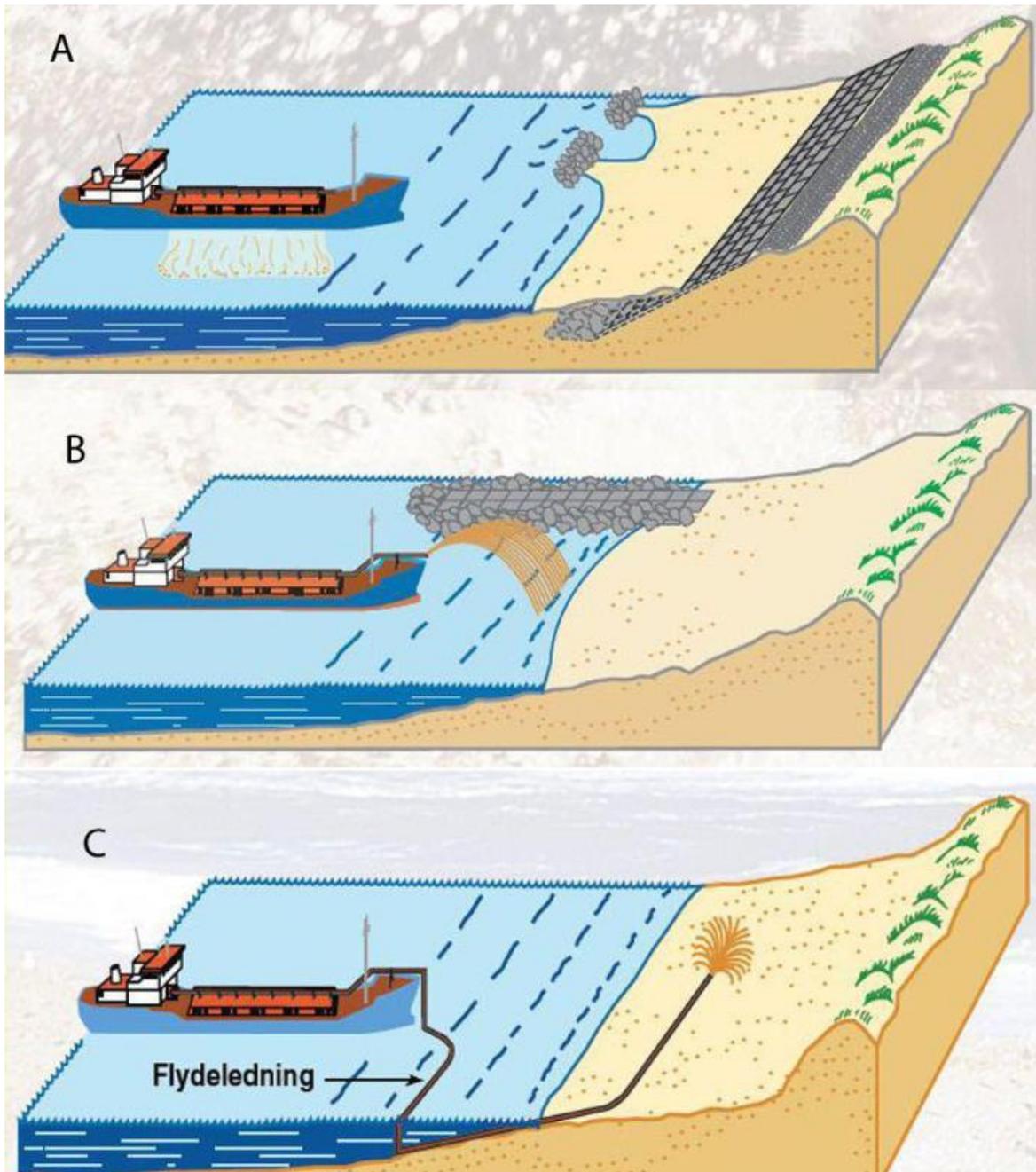


Abb. 1: Einbringungstechniken: a) Direktes Verklappen, b) Rainbowing, c) Spülrohrleitungen.
 Quelle: Graphik aus KYSTDIREKTORATET (2012)
 Das Diffuser-Verfahren ist nicht dargestellt

Strandaufspülungen werden an den Inseln und entlang der Küsten von den Niederlanden, Deutschland und Dänemark mittels Spülrohrleitungen und/oder Rainbow-Verfahrens durchgeführt. Aufgrund der touristischen Nutzung (es werden vorzugsweise nur kleine Bereiche des Strandes gesperrt) und der Strandbreite in Kombination mit der geringen Wassertiefe im Vorstrandbereich, kommen auf Sylt nur Aufspülungen mittels Spülrohrleitungen in Frage. Für die Anwendung des Rainbow-Verfahrens ist die Distanz zwischen Baggerschiff und Strand zu groß (s.u.) und die touristische Nutzung zu stark bzw. der Strand zu schmal. Daher verbleibt für den Strandbereich als einzige Methode eine

Ablagerung des Sandes mittels Hopperbagger und Spüleleitungen. Ein Vergleich unterschiedlicher Einbringungstechniken entfällt damit.

Die folgenden Kapitel befassen sich daher nur mit den Techniken und Auswirkungen bei Vorstrandaufspülungen. Es werden drei der o.g. Einbringungstechniken betrachtet, die vor der Westküste Sylts eingesetzt werden können: 1) Verklappen (bottom dumping), 2) Versprühen (Rainbowing) und 3) Tiefes Verspülen mittels Diffuser über den Bug. Beim direkten Verklappen (bottom dumping) werden zwei unterschiedliche Methoden betrachtet: Zum einen das Einbringen mittels Split-Hopperbagger und zum anderen über im Schiffsboden partiell vorhandene Bodenluken. Die Techniken werden im Folgenden kurz beschrieben.

2.1 Verklappen (bottom dumping) - Split-Hopperbagger

Das direkte Verklappen durch Entladen des Hopperbaggers stellt die schnellste Einbringungstechnik dar. Vor Sylt kommen für die Vorstrandaufspülungen kleinere Spezialschiffe zum Einsatz. Zumeist wird ein kleinerer Split-Hopperbagger (Spalt-Hopperbagger) mit einem Laderaumvolumen von ca. 1.000 m³ verwendet. Ein Split-Hopperbagger kann seinen Laderaumboden zu den Seiten entlang der gesamten Kiellinie öffnen (Abb. 2). Für die Verklappung wird die Ablagerungsstelle angefahren und das Sediment aus dem Laderaum des Baggerschiffes direkt nach unten in das Wasser entlassen. Zumeist ist es hierfür bei gröberen Sedimenten nicht nötig, das Sediment mit Druckwasser über Düsen im Laderaum zu verflüssigen. Die räumliche Genauigkeit der Ablagerung ist hoch, da das Sediment sehr genau in die Fläche eingebracht werden kann. Die Entladezeit beträgt ca. 10 Minuten.



Abb. 2: Darstellung der Funktionsweise eines Split-Hopperbaggers.
Graphik: <https://mavideniz.com.tr/our-production/vessels-boats/dredger-barge/split-hopper-barge/>

2.2 Verklappen (bottom dumping) - Bodenluken-Hopperbagger

Das Verklappen durch einen Hopperbagger mit Bodenluken kann als eine Variante des bottom dumping angesehen werden. Statt das Sediment in einem Schwung aus dem Hopperbagger zu entlassen, werden am Hopperbagger die partiellen 1-2 m² großen Schiffsbodenklappen geöffnet und die Ladung in den Vorstrand eingebracht. Sofern nötig, wird das Sediment mit Hilfe von Druckwasser über Pumpen im Laderaum verflüssigt. Im Gegensatz zum Split-Hopperbagger, ist der Einsatz eines Hopperbaggers mit Bodenluken auf etwas größere Wassertiefen angewiesen, da die Luken nach unten öffnen. Nach Informationen von Herrn Hahlbrock (Hahlbrock Marine Technologies HMT, mdl.), ist ein solcher Hopperbagger für Vorstrandaufspülungen bei Sylt aufgrund der geringen Wassertiefen im Riffbereich nur bedingt einzusetzen. Hierfür müsste die Position des Sandersatzkörpers seewärts verlagert werden, wodurch kein Anschluss an die Riffkappe erfolgen könnte. Die räumliche Genauigkeit der Ablagerung ist hoch, da das Sediment sehr genau in die Fläche eingebracht werden kann. Die Entladezeit ist aufgrund der kleineren Auslässe länger als bei einem Split-Hopperbagger und kann mit ca. 20 Minuten angesetzt werden.



Abb. 3: Hopperbagger mit Bodenklappen.

Graphik: aus Hegemann Dredging - Laderaumsaugbagger Hegemann I (hegemann-gruppe.de)LKN.SH (2020)

2.3 Versprühen - Rainbowing

Die Einbringung mittels Rainbow-Verfahren findet oftmals in Vorstrandbereichen statt, die zu flach sind, um den Laderaum eines Hopperbaggers zu öffnen. Die Technik kann aber auch problemlos in tieferen Bereichen angewendet werden. Bei der Einbringung mittels Rainbow-Verfahren wird das

Baggergut direkt über den Schiffsbug des Hopperbaggers auf den Strand oder in den Vorstrandbereich eingebracht. Das Einbringen geschieht über starke Düsen, die das Sediment-Wassergemisch in einer bogenförmigen Fontäne über einen Schlauch mit Düse entlassen (Abb. 4). Die Reichweite der Fontäne hängt von der Durchflussmenge, der Leistungsfähigkeit der Pumpen und der Konzentration des Sediment-Wasser-Gemisches ab. Bei kleineren Hopperbaggern sind Reichweiten zwischen 30-50 m üblich (Reichweite entspricht ca. der Schiffslänge). Die Stärke der Pumpen variiert zumeist mit der Größe des Baggers. Kleinere Düsen mit einem geringeren Durchfluss können das Sediment-Wassergemisch über weitere Entfernungen bis maximal bei 150 m auswerfen (<https://www.iadc-dredging.com/subject/techniques/rainbowing/>). Für das Versprühen muss das Sediment-Wasser-Gemisch im Laderaum über Druckwasser verflüssigt werden. Die Positionierung des Sedimentes ist aufgrund des Auffächerns der des Strahls ungenau. Die Entladezeit kann für kleinere Hopperbagger mit ca. 60 Minuten angesetzt werden (Herr Hahlbrock, HMT, mdl.).



Abb. 4: Einbringung von Sand in den Vorstrand-/Strandbereich durch einen Hopperbagger mittels Rainbow-Verfahren. Foto: KYSTDIREKTORATET (2012), Strandaufspülung Westküste Dänemark

2.4 Tiefes Verspülen - Diffuser

Das Sediment kann auch über ein Rohr am Bug des Schiffes direkt in das Wasser verspült werden, statt wie beim Rainbowing in einem hohen Bogen entlassen zu werden. Das Verspülen geschieht über ein Rohr mit Diffuser. Der Diffuser ist eine Vorrichtung unterschiedlichster Bauart, die sich zum Ende hin verbreitert und das Sediment über die Seiten entlässt (z.B. bell diffuser) oder über eine Platte (z.B. impingement plate) verspült. Auf diese Weise wird der hohe Druck im Rohr genommen und eine Kolkbildung am Meeresboden durch das Auftreffen des Sedimentes verhindert. Die Positionierung des Sedimentes ist genauer als beim Rainbowing, aber aufgrund des langsamen Verspülens mit erhöhter Sedimentdrift einhergehend. Da auch hierfür das Sediment-Wasser-Gemisch im Laderaum verflüssigt werden muss, ist die Entladezeit wie beim Rainbowing mit ca. 60 Minuten anzusetzen (Herr Hahlbrock, HMT, mdl.).

3. Annahmen für den Vergleich

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, kann die technische Ausrüstung und Kapazität eines Hopperbaggers sehr variieren. Welcher Bagger letztlich zum Einsatz kommt, wird im Vorfeld der Maßnahme nicht festgelegt und hängt von der ausführenden Firma ab. Um die Effekte unterschiedlicher Techniken vergleichen zu können, wurden daher gleiche Ausgangsbedingungen gesetzt, die von der realen Umsetzung aber abweichen können.

Die Setzungen erfolgten anhand der Baggerschiffe und Sandmengen, die in vorangegangenen Vorstrandaufspülungen vor Sylt stattfanden. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Hopperbagger mit einem Laderaumvolumen von 1.000 m³,
- Umlagerung von sandigem Material, das überwiegend aus den Fraktionen Mittelsand und Grobsand besteht,
- Aufspülarbeiten werden entsprechend der aktuellen Genehmigung für die Sandentnahme im Entnahmefeld Westerland III für den Zeitraum Mitte April bis Mitte Oktober angesetzt,
- Der jährliche Sandersatz beträgt für die Westküste von Sylt im Mittel ca. 1,0 Mio. m³/Jahr. Das Verhältnis zwischen Strand- zu Vorstrandaufspülung ist variabel und hängt von den vorangegangenen Erosionsvorgängen ab. Wir setzen für den Vergleich ein Verhältnis von 50:50 an, sodass 500.000 m³ in den Vorstrand verbracht werden.

4. Betrachtung der Einbringungstechniken unter naturschutzfachlichen Aspekten

Die grundsätzlichen Effekte von Verklappung/Sedimentumlagerung auf die Umwelt sind vielfach beschrieben (z.B. BFG & WSA WILHELMSHAVEN 2003, BIOCONSULT 2003, 2017a, b, BIOCONSULT & UNIVERSITÄT BREMEN 1998, ESSINK 1999, LEUCHS et al. 1996, NEWELL et al. 1998) und wurden anhand von faunistischen Erhebungen, optimalerweise im Vorher-Nachher-Vergleich erhoben. Die meisten Untersuchungen wurden im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen in Seeschiffahrtsstraßen durchgeführt; ein kleinerer Teil nur fokussiert auf die Untersuchungen von Sandersatzmaßnahmen an Küsten (z.B. ASMFC 2002, LEEWIS et al. 2012, MENN et al. 2003, VAN DALFSEN & ESSINK 1999).

Die Literatur behandelt v.a. die Effekte des direkten Verklappens durch einen Hopperbagger (bottom dump). Zu den Effekten des Rainbowing- bzw. dem Diffuser-Verfahren liegen uns trotz intensiver Literaturrecherche keine Informationen vor.

Reviews zu den Effekten des Verklappens zeigen unabhängig von der Einbringungstechnik, dass die Auswirkungen auf die marine Umwelt von 1) der Art und Menge des Verklappungsmaterials, 2) dem Zeitpunkt und der Intensität (Menge und Frequenz), 3) den hydrographischen Randbedingungen und 4) dem ökologischen Status im Verklappungsbereich abhängen (z.B. BOLAM et al. 2006, NIGHTINGALE & SIMENSTAD 2001, OSPAR 2008). BOLAM et al. (2006) verweisen in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit eine gebietspezifische Betrachtung vorzunehmen. Insofern sind Vergleiche von Auswirkungen zwischen einzelnen Ablagerungstechniken nur sehr eingeschränkt möglich, wenn sie sich auf unterschiedliche Verklappungsintensitäten beziehen und/oder in nicht vergleichbaren Umweltbedingungen durchgeführt wurden.

Aufgrund fehlender Informationen zu den spezifischen Einbringungstechniken und der eingeschränkten Vergleichbarkeit der vorliegenden Studien, erfolgt der hier durchzuführende Vergleich v.a. durch eine fachliche Einschätzung. In den folgenden Abschnitten wird schutzgutbasiert anhand bekannter genereller Auswirkungen eine fachliche Einschätzung für die unterschiedlichen Techniken vorgenommen. Da sich weder Menge noch Ablagerungsort unterscheiden, ergeben sich für den Vergleich in erster Linie Unterschiede über die Wirkfaktoren, die von der Entleerungstechnik beeinflusst werden. Hierzu gehören die Entwicklung einer Trübungswolke, die Überdeckung mit Sediment sowie Störungen, die mit der Dauer des Entleerungsvorganges zusammenhängen. Auf diese Wirkfaktoren wird in den folgenden Textabschnitten fokussiert.

Die textlichen Ausführungen zu jedem Schutzgut sind in Tab. 1 anhand von einfachen Kategorien (gering, mittel und hoch) gegenübergestellt. Die verwendeten Kategorien sind hierbei nicht als grundsätzliche Bewertung eines Wirkfaktors zu verstehen, sondern bewerten die Auswirkungen nur relativ zu den anderen Techniken.

Schutzgut Wasser

Der Sand wird seeseitig des Riffkammes in ca. 300-500 m Entfernung von Strand abgelagert. Die Sinkgeschwindigkeit des Baggerguts bis zum Meeresboden ist von der Korngröße, der Dichte des Wassers, dem Volumen des Baggerguts und der jeweils aktuellen Tideströmung abhängig.

Ausgehend von der Sedimentzusammensetzung im Entnahmefeld Westerland III ist grundsätzlich davon auszugehen, dass ein Großteil des grobkörnigen Sedimentes während des Entleerungsvorgangs am Einbringungsort oder in unmittelbarer Nähe sedimentieren wird. Ein Großteil des Feinsedimentes durch den Überlauf des Hopperbaggers zurück in das Wasser gespült. Der im Hopperbagger verbleibende feinkörnige Anteil des Materials wird während des Entleerungsprozesses unmittelbar durch die Strömungen wegtransportiert und bildet hierbei eine Trübungswolke aus. In der anschließenden passiven Diffusion breitet sich die Schwebstoffwolke aus.

Bei einem Split-Hopperbagger wird der gesamte Laderaum innerhalb kurzer Zeit (10 min.) entleert, sodass aufgrund der geringen Wassertiefen (max. -8 m) eine Sortierung des Materials während des Sinkvorganges eingeschränkt ist und das Material mehr oder weniger als Kollektiv sinkt. Entsprechend werden vergleichsweise wenig feine Partikel in die passive Diffusion eintreten und die Intensität der Trübungswolke ist gering. Im Gegensatz dazu kann beim Versprühen mittels Rainbowing bereits in der Luft (in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit) eine Sortierung in Sedimentpartikel vorgenommen werden, da das Sediment während des Versprühens auf eine Breite von ca. 5-6 m auffächert (Herr Hahlbrock, , HMT, mdl.). Nach dem Auftreffen der Partikel auf der Wasseroberfläche findet durch die unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeiten eine weitere Sortierung der Partikel statt. Durch die deutlichere Trennung der Kornfraktionen ist die Chance für kleinere Partikel mit den starken Gezeitenströmungen erfasst zu werden höher und die Trübungswolke entsprechend stärker ausgebildet. Diese beiden Szenarien stellen hinsichtlich der Trübungserhöhung die beiden Endpunkte der betrachteten Techniken dar (Tab. 1). Für den Hopperbagger mit Bodenluken ist von einer etwas höheren Trübung als beim Split-Hopperbagger auszugehen, da das Sediment in kleineren Portionen aus dem Laderaum entlassen wird, was die Möglichkeit einer Sortierung und Diffusion der feinen Partikel erhöht. Das Verspülen mittels Diffuser wird wahrscheinlich zu einer höheren Trübung als bei einem Entlassen über Bodenluken führen, aber zu einer geringeren als beim Rainbowing, da die Diffusion in der Luft entfällt. Insgesamt ist aufgrund der überwiegend mittel- bis grobsandigen Sedimente aus dem Entnahmefeld Westerland III nur von einer kurzfristigen und kleinräumigen Trübungswolke auszugehen.

Eine erhöhte Trübung kann sich beeinträchtigend auf die Schutzgüter Phytoplankton, Makrozoobenthos und Fische auswirken, wobei aber die unterschiedlichen Einbringungstechniken entsprechend der Intensität der Trübungswolke zu bewerten sind. Daher wird der Faktor Trübung bei diesen Schutzgütern nicht weiter betrachtet. Da Trübung der einzig relevante Wirkfaktor für Phytoplankton ist, entfällt eine gesonderte Betrachtung dieses Schutzgutes.

Schutzgut Mensch

Entlang des Weststrandes befinden sich eine Reihe von touristisch stark frequentierten Stränden, sodass v.a. eine vielfältige, naturbezogene Erholungsfunktion für Insulaner und Gäste besteht, die durch das Baggerschiff selbst (visuelle oder akustische Störung) oder die Aufwirbelung von Sediment

(Trübung, Veränderung der Wasserqualität) während des Entladeprozesses in den Riffbereich beeinträchtigt sein kann.

Eine Veränderung der Wasser- (Bade-)qualität ist aufgrund von insgesamt geringer Trübungserhöhung und der Entfernung zwischen Ablagerungsbereichen und den Badestellen nicht zu befürchten. Dies ist auch für das Rainbowing-Verfahren anzunehmen. Lediglich die längere Verweildauer des Baggerschiffes beim Rainbowing bzw. Diffuser-Verfahren kann gegenüber den direkten Verklappungen (6-fach längere Entleerungszeit gegenüber Split-Hopperbagger) aufgrund der längeren visuellen Störung negativer bewertet werden. Erfahrungsgemäß geht von den Baggerschiffen allerdings sogar eine gewisse Attraktion aus.

Schutzgut Makrozoobenthos

Durch die Ablagerung der Sedimente kommt es zu einer Überdeckung mit Sediment, die zu einer erhöhten Mortalität der benthischen Wirbellosen führen kann (ESSINK 1999). Die Mortalitätsrate ist abhängig von der Art und Menge des Sedimentes sowie der Mobilität der Arten und Lebensstadien (BIJKERK 1988, HENDRICK et al. 2016, MAURER et al. 1986). Die Erfassungen der benthischen Wirbellosenfauna im Vorstrandbereich von Sylt zeigten, dass viele der dort lebenden Arten mobile Substratfresser sind, die als vergleichsweise unempfindlich gegenüber Sedimentüberdeckung anzusehen sind (BIOCONSULT 2021b). Sensitive Arten der Aufwuchsf fauna, die sich als Filtrierer/Suspensionsfresser ernähren, fehlten nahezu. Das Regenerationspotenzial von Makrozoobenthos in dynamischen Küstenbereichen ist hoch und wurde für Sylt mit ca. 2 Jahren für eine nahezu vollständige Regeneration nach einer Vorstrandaufspülung prognostiziert (BIOCONSULT 2021b). Einzelne Arten können aber länger brauchen (BIOCONSULT 2021b, VAN DALFSEN & ESSINK 2001).

In den Vorstrandbereich sollen in der Summe ca. 240 m³/m eingebracht werden. Eine derartig hohe Überdeckung können nur die wenigsten Arten durchwandern, sodass von einer nahezu vollständigen Entsiedelung in den Aufspülbereichen auszugehen ist. Pro Umlauf werden aber nur 1.000 m³ Baggergut eingebracht, sodass sich theoretisch in Abhängigkeit der Mächtigkeit der abgelagerten Sedimentschicht die Auswirkungen für einige sehr mobile Arten (z.B. *Nephtys* spp., *Scolelepis squamata*, *Ophelia borealis*, *Donax vittatus*, *Fabulia fabula*) zwischen den Einbringungsmethoden unterscheiden können. Durch den Split-Hopperbagger und auch den Hopperbagger mit Bodenluken wird das Sediment räumlich konzentriert innerhalb kurzer Zeit abgeladen, sodass bei jeder Entladung von einer hohen Mortalität des Makrozoobenthos auszugehen ist. Durch das Rainbowing-Verfahren wird der Sand deutlich langsamer eingebracht und die passive Diffusion ist höher, wodurch die abgelagerte Menge pro Fläche geringer ist. Zum einen besteht hierdurch für sehr mobile Arten (einige Crustacea) theoretisch eine bessere Chance aus dem Aufspülbereich zu fliehen. Zum anderen zeigten Laborexperimente, dass einige auch vor Sylt vorkommende Arten wie z.B. *Limecola balthica*, *Ensis leei* oder *Nephtys* spp., in der Lage sind, Sedimentüberdeckungen von 50 cm zu überstehen (BIJKERK 1988). Sofern diese Schichtdicke während des Rainbowing nicht überschritten wird, könnten sich einige Arten wieder an die Oberfläche bewegen bevor der nächste Umlauf erfolgt. Hierdurch sind für das Rainbow- und wahrscheinlich auch das Diffuser-Verfahren etwas geringere Auswirkungen als für die direkte Verklappung anzunehmen (Tab. 1). Diese Annahmen sind aber rein theoretisch und können nicht durch Untersuchungsergebnisse belegt werden. Letztlich ist aufgrund der pro Meter aufzuspülenden Gesamtmenge insgesamt von einer hohen Mortalität bei allen Einbringungstechniken auszugehen.

Schutzgut Fische

Die Fischgemeinschaft in der Brandungszone setzt sich aus wenigen Arten zusammen und weist eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität in der Abundanz auf (z.B. COUPERUS et al. 2020, GIBSON et al. 1996, WILBER et al. 2003a, WILBER et al. 2003b). Der Brandungszone kommt v.a. eine Bedeutung für juvenile Lebensstadien zu (z.B. BROWNE & MCLACHLAN 1990, LAYMAN 2000, LAZZARI et al. 1999). Daneben nutzen Fische die Brandungszone als Nahrungsgrund und Rückzugsraum vor Prädatoren (OLDS et al. 2017). Über die Auswirkungen von Vorstrandaufspülungen auf Fische liegen wenig Untersuchungen vor; diese beschreiben v.a. kurzfristige und geringe Veränderungen (ASMFC 2002, WILBER et al. 2003b).

Für Fische sind wie für zuvor für das Makrozoobenthos beschrieben, geringe Unterschiede in den Auswirkungen zwischen den Einbringungstechniken vorstellbar. Diese ergeben sich durch den unterschiedlichen Zeitbedarf pro Entleerung sowie die unterschiedliche Schichtdicke des aufgespülten Sandes. Die Ablagerung mittels Split-Hopperbagger und auch beim Hopperbagger mit Bodenluken wird zu einer etwas höheren Mortalität von juvenilen und wenig schwimmstarken Fischen führen, da aufgrund des schnellen und geballten Abladens des Baggergutes die Fluchtmöglichkeiten der Fische eingeschränkt sind. Im Gegensatz dazu können durch das Einbringen mittels Rainbow die Fische durch den Aufprall der Partikel auf die Wasseroberfläche vorzeitig aufgescheucht werden und ggf. aus dem Aufspülbereich fliehen. Durch das langsamere und diffusere Absinken der Partikel sind die Fluchtmöglichkeiten theoretisch besser als beim Split- und Bodenluken-Hopperbagger und daher die Auswirkungen potenziell geringer (Tab. 1).

Schutzgut Vögel

Die Vorstrandbereiche werden ganzjährig v.a. von Möwen und Seeschwalben als Nahrungsraum genutzt. Beide Artengruppen werden als wenig störanfällig gegenüber den visuellen und akustischen Störungen durch Schiffe angesehen. Seetaucher reagieren empfindlicher auf Störungen; ihr Vorkommen im Gebiet ist aber saisonal und liegt hauptsächlich außerhalb der genehmigten Spülzeiträume sowie seeseits des Vorstrandes. Die Hauptkonzentrationsgebiete mausernder Arten wie Brandgans und Eiderente befinden sich außerhalb des Vorhabengebietes. Details zum Auftreten von Rastvögeln sind BIOCONSULT (2021a) zu entnehmen.

Grundsätzlich besteht für Rastvögel und auch Mauserbestände die Möglichkeit, während des Entleerungsvorganges den gestörten Bereich entweder schwimmend oder fliegend zu verlassen und in angrenzende ungestörte Bereiche auszuweichen. Im Rahmen der insgesamt nur kurzfristigen und geringen Auswirkungen auf das Schutzgut Vögel (BIOCONSULT 2021a, c), ergeben sich Unterschiede der Auswirkungen zwischen den Einbringungstechniken nur durch die Dauer der Entleerungszeit. Dementsprechend ist der Einsatz eines Split-Hopperbaggers oder eines Hopperbaggers mit Bodenluken aufgrund der kürzeren Störzeit vor Ort etwas positiver zu bewerten als das Einbringen mittels Rainbwing oder Diffuser.

Schutzgut marine Säuger

Im Küstennahbereich können v.a. die drei heimischen Meeressäugerarten Schweinswal, Seehund und Kegelrobbe regelmäßig vorkommen. Das Gebiet fungiert für marine Säuger v.a. als Streif- und Jagdgebiet. Die Liege- und Wurfplätze der Kegelrobben und Seehunde befinden sich weit außerhalb

der Aufspülbereiche. Das Hauptverbreitungsgebiet der Schweinswale liegt weiter seewärts. Details zum Auftreten mariner Säuger sind BIOCONSULT (2021a) zu entnehmen.

Eine Störung mariner Säuger ergibt sich durch visuelle und akustische Störungen des Baggerschiffes, sodass Unterschiede in den insgesamt kurzfristigen und geringen Auswirkungen (BIOCONSULT 2021a, c) v.a. durch die Dauer des Entleerungsvorganges zustande kommen. Dementsprechend ist der Einsatz eines Split-Hopperbaggers oder eines Hopperbaggers mit Bodenluken aufgrund der kürzeren Störzeit vor Ort etwas positiver zu bewerten als das Einbringen mittels Rainbowing oder Diffuser.

Tab. 1: Vergleich der Auswirkungen auf verschiedene Schutzgüter zwischen den unterschiedlichen Einbringungstechniken.

Die gewählten Kategorien (gering, mittel, hoch) sind nicht als generelle Bewertung der Auswirkungen zu verstehen, sondern bezeichnen die Schwere der Auswirkungen nur relativ zu den anderen Einbringungsmethoden.

Parameter	Verklappen		Versprühen	Verspülen
	Split-Hopper	Bodenluken	Rainbowing	Diffuser
Technisch				
räumliche Genauigkeit der Ablagerung	hoch	hoch	gering	mittel
Dauer Entladevorgang [min]	10	20	60	60
Lärmintensität	unbekannt, sehr abhängig vom Baggerschiff (v.a. Schraubengeräusche wichtig)			
Ökologisch				
Verdriftung des Sedimentes	gering	gering-mittel	mittel-hoch	mittel
Intensität der Trübungswolke	gering	gering-mittel	mittel-hoch	mittel
Veränderung der Badequalität für den Menschen	gering	mittel	hoch	hoch
Visuelle Störung der Erholungsfunktion für den Menschen	gering	mittel	hoch	hoch
Mortalität des Benthos durch Überdeckung	hoch	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch
Mortalität von Fischen durch Überdeckung	hoch	hoch	mittel	mittel
Visuelle und akustische Störung rastender Vögel	gering	mittel	hoch	hoch
Visuelle und akustische Störung mariner Säuger	gering	mittel	hoch	hoch

5. Fazit

Eine Bewertung der Auswirkungen unterschiedlicher Einbringungstechniken von Baggergut in den Vorstrandbereich auf die marine Umwelt wurde als fachliche Einschätzung vorgenommen. Für das hier zu betrachtende Rainbow-Verfahren und das Diffuser-Verfahren lagen für die hier betrachteten Schutzgüter keine Untersuchungen der Auswirkungen vor.

Es ist davon auszugehen, dass sich die betrachteten Einbringungsmethoden hinsichtlich der Verdriftung des Sedimentes beim Entleerungsvorgang und damit einhergehend bei der Ausbildung einer Trübungswolke unterscheiden. Die relativ geringsten negativen Auswirkungen werden hierbei für eine Einbringung mittels Split-Hopperbagger und die höchsten für das Rainboring-Verfahren angenommen. Der Wirkfaktor Trübungserhöhung beeinträchtigt potenziell auch die physiologische Leistungsfähigkeit oder den Nahrungserwerb weiterer biologischer Schutzgüter. Durch die kürzere Entleerungszeit, die ein Split-Hopperbagger mit 10 Minuten gegenüber dem Rainbow- oder Diffuser-Verfahren mit 60 Minuten benötigt, verringern sich auch visuelle und akustische Störungen für erholungssuchende Menschen am Strand sowie nahrungssuchende oder rastende Vögel und marine Säuger im Vorstrandbereich. Die Mortalität benthischer Wirbelloser und weniger schwimmstarker, demersaler Fische ist beim Verklappungsprozess durch einen Split-Hopperbagger und auch beim Hopperbagger mit Bodenluken dagegen wahrscheinlich höher als bei den anderen (langsamer und diffuser entleerenden) Methoden, da das Sediment in kurzer Zeit (geringe Fluchtmöglichkeit) und hoher Sedimentschicht (hohe Mortalität durch Überdeckung) eingebracht wird.

In der Summe ist die Einbringung des Sandes in den Vorstrandbereich mittels Split-Hopperbagger unter naturschutzfachlichen Aspekten als die relativ verträglichste Methode anzusehen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass sich alle betrachteten Techniken insgesamt nur wenig in der Intensität der Auswirkungen unterscheiden.

Literatur

- ASMFC (Atlantic States Marine Fisheries Commission), 2002: Beach nourishment: A review of the biological and physical impacts. - ASMFC Habitat Management Series # 7, November 2002 174 S.
- BFG & WSA WILHELMSHAVEN, 2003: Bagger- und Klappstellenuntersuchungen in der Jade. - (Bericht 1349) Bundesanstalt für Gewässerkunde & Wasser- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven, Koblenz, Wilhelmshaven: 104 S. u. Anlagen.
- BIJKERK, R., 1988: Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogte sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek. - Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, NL Haren: 72 S.
- BIOCONSULT, 2003: Baggergutumlagerung im Fedderwarder Priel: Monitoring der Wirbellosenfauna 2003. - (unveröff. Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Hafenamtes Jade-Weser, Brake) Bremen: 31 S.
- BIOCONSULT, 2017a: Die Fischfauna auf der Umlagerungsstelle Tonne E3 nördlich von Scharhörn. Bestandsentwicklung 2005-2016. - Gutachten im Auftrag der Hamburg Port Authority 87 S.
- BIOCONSULT, 2017b: Monitoring möglicher Auswirkungen auf das Benthos durch Baggergutverbringung auf die Umlagerungsstelle "Tetenbüllspeiker Loch" - Abschlussbericht. - (Gutachten im Auftrag des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig Holstein) 54 S.
- BIOCONSULT, 2021a: Sandersatzmaßnahmen vor der Westküste der Insel Sylt. Auswirkungsprognose gemäß GÜBAK. - (Bericht i. A. des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum) 46 S.
- BIOCONSULT, 2021b: Sandersatzmaßnahmen vor der Westküste der Insel Sylt. Benthologische Untersuchungen 2020. - (Bericht i. A. des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum) 42 S. +Anhang.
- BIOCONSULT, 2021c: Sandersatzmaßnahmen vor der Westküste der Insel Sylt. MSRL-Fachbeitrag Vorstrandaufspülung. - (Bericht i. A. des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum) 42 S.
- BIOCONSULT & UNIVERSITÄT BREMEN, 1998: Faunistische Erhebungen im Bereich der WSV-Klappstellen in der Außenweser. - unveröff. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Koblenz, 172 S. u. Anhang.
- BOLAM, S. G., H. L. REES, P. SOMERFIELD, R. SMITH, K. R. CLARKE, R. M. WARWICK, M. ATKINS & E. GARNACHO, 2006: Ecological consequences of dredged material disposal in the marine environment: A holistic assessment of activities around the England and Wales coastline. - Marine Pollution Bulletin 52: 415-426.
- BROWNE, A. C. & A. MCLACHLAN, 1990: Ecology of Sandy Shores. - Elsevier, Amsterdam: 328 S.
- COUPERUS, B., S. SAKINAN & D. BURGGRAAF, 2020: Small pelagic fish and zooplankton in the Dutch coastal surf zone during the EGS-II survey in 2017-2018. - Wageningen Marine Research report C060/20 54.
- ESSINK, K., 1999: Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. - Journal of Coastal Conversation 5: 69-80.
- GIBSON, R. N., L. ROBB, M. T. BURROWS & A. D. ANSELL, 1996: Tidal, diel and longer term changes in the distribution of fishes on a Scottish sandy beach. - Mar. Ecol. Prog. Ser. 130: 1-17.
- HENDRICK, V. J., Z. L. HUTCHISON & K. S. LAST, 2016: Sediment burial intolerance of marine macroinvertebrates. - PLoS ONE 11(2): e0149114. doi:10.1371/journal.pone.0149114.
- KYSTDIREKTORATET, 2012: Vi beskytter Vestkysten – Kystfodring 2012. Informationsbrochure vedr. Kystdirektoratets sandfodringsindsats for 2012. - Online über <http://omkystdirektoratet.kyst.dk/kystfodringen-langs-den-jyske-vestkyst-2012.html> 7 S.
- LAYMAN, C. A., 2000: Fish assemblage structure of the shallow ocean surf-zone on the eastern shore of Virginia barrier islands. - Coast. Shelf Sci. 51: 201–213.

- LAZZARI, M. A., S. SHERMAN, C. S. BROWN, J. KING, B. J. JOULE, S. B. CHENOWETH & R. W. LANGTON, 1999: Seasonal and annual variations in abundance and species composition of two nearshore fish communities in Maine. - *Estuaries* 22: 636–647.
- LEEWEIS, L., P. M. VAN BODEGOM, J. ROZEMA & G. M. JANSSEN, 2012: Does beach nourishment have long-term effects on intertidal macroinvertebrate species abundance? - *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 113: 172-181.
- LEUCHS, H., S. NEHRING, R. HAGENDORFF, I. KRÖNCKE & J. STECHER, 1996: Dauerklappstelle Brunsbüttel: Auswirkungen auf das Makrozoobenthos. - *Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz* 11: 11.
- LKN.SH (Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein), 2020: Küstenschutzbauwerk. Vorstrandaufspülung Sylt - technischer Erläuterungsbericht, Husum. - 14 S.
- MAURER, D., R. T. KECK, J. C. TINSMAN, W. A. LEATHEM, C. WETHE, C. LORD & T. M. CHURCH, 1986: Vertical migration and mortality of marine benthos in dredged material: a synthesis. - *Int Rev Gesamten Hydrobiol* 71: 49 –63.
- MENN, I., C. JUNGHANS & K. REISE, 2003: Buried alive: effects of beach nourishment on the infauna of an erosive shore in the North Sea. - *Senckenbergiana marit.* 32: 125-145.
- NEWELL, R. C., L. J. SEIDERER & D. R. HITCHCOCK, 1998: The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed. - *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 1998 3: 127-178.
- NIGHTINGALE, B. & C. SIMENSTAD, 2001: Dredging activities: marine issues. - Bericht erstellt im Auftrag des Washington Department of Fish and Wildlife; Washington Department of Ecology University of Washington, School of Aquatic and Fishery Sciences: 119 S.
- OLDS, A. D., E. VARGAS-FONSECA, R. M. CONNOLLY, B. L. GILBY, C. M. HUIJBERS, A. GLENN, C. A. HYNDES, C. A. LAYMAN, A. K. WHITFIELD & T. A. SCHLACHER, 2017: The ecology of fish in the surf zones of ocean beaches: A global review. - *Fish and Fisheries* 1-12. <https://doi.org/10.1111/faf.12237>.
- OSPAR, 2008: Literature Review on the Impacts of Dredged Sediment Disposal at Sea. - *Biodiversity Series* 54 S.
- VAN DALFSEN, J. A. & K. ESSINK, 2001: Benthic Community Response to Sand Dredging and Shoreface Nourishment in Dutch Coastal Waters. - *Senckenberiana maritima* 31 (2): 329-332.
- VAN DALFSEN, A. & K. ESSINK, 1999: RIACON: risk analysis of coastal nourishment techniques in the Netherlands. - *Senckenbergiana marit.* 29: 51-53.
- WILBER, D. H., D. G. CLARKE, M. BURLAS, H. RUBEN & W. J. WILL, 2003a: Spatial and temporal variability in surf zone fish assemblages on the northern coast of New Jersey. . - *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 56: 291–304.
- WILBER, D. H., D. G. CLARKE, G. L. RAY & M. BURLAS, 2003b: Response of surf zone fish to beach nourishment operations on the northern coast of New Jersey, USA. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 250: 231-246.