

Rostock, 15.03.2024

Rev. 00

TNU-UBU-HRO

**Sedimentgutachten
zum Vorhaben
Errichtung und Betrieb Offshore Windpark Gennaker**

Auftraggeber: OWP Gennaker GmbH
Stephanitorsbollwerk 3
28217 Bremen
Herr A. Iffländer

TÜV-Auftrags-Nr.: 924UVU002

Umfang der Unterlagen 27 Seiten

Auftragnehmer: TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co.KG
Trelleborger Str. 15
18107 Rostock

Herr Dr. M. Mossbauer
Herr Dipl.-Ing. R. Kacan
Frau Dr. D. Hildebrandt
Herr Prof. Dr. L. Brüggemann

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung.....	4
2.	Regionale Einordnung des Vorhabens und Datengrundlagen.....	7
3.	Meeresgeologische Verhältnisse	9
4.	Sedimenthaushalt und -dynamik im Vorhabengebiet	17
5.	Auswirkungen des Vorhabens auf die Sedimentdynamik.....	22
6.	Auswirkungen des Vorhabens auf den Sedimenthaushalt	24
7.	Verzeichnis der verwendeten Unterlagen.....	26

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Eingesetzte Sensorik (VBW, 2016), (VBW, 2022)	9
Tab. 2:	Korngrößen und organischer Gehalt der Sedimente des Vorhabengebietes; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung (IfAÖ, 2022), (IfAÖ, 2024)	12

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Eckpunkte des Vorhabengebietes OWP Gennaker und einzelne Teilflächen (in grau) (OWP Gennaker GmbH, 2024)	5
Abb. 2:	Layout OWP Gennaker (OWP Gennaker GmbH, 2024)	6
Abb. 3:	Überblick über die Untersuchungsfläche für die Vermessungen im Jahr 2022 (VBW, 2022)	8
Abb. 4:	Normalprofil der pleistozänen und postglazialen Ablagerungen auf der Darßer Schwelle (Lemke, W., 1998)	10
Abb. 5:	Sedimenttypen und Habitatcharakterisierung im Bereich des OWP Gennaker (IfAÖ, 2024)	11
Abb. 6:	Tiefenverhältnisse im Vorhabengebiet (VBW, 2022)	12
Abb. 7:	Sedimentmächtigkeiten über dem Geschiebemergel im Vorhabengebiet (Tauber, F.; Lemke, W., 1995) (Anmerkung: Zur Orientierung wurden der OWP Baltic I und dessen Energieableitung markiert.)	14
Abb. 8:	Lageskizze der Seismogrammbeispiele Nr. 7, 9, 10 (VBW, 2016)	15
Abb. 9:	Rinnenstruktur im Nordosten des Vorhabengebietes (Nr. 9) (VBW, 2016)	15
Abb. 10:	Rinnenstruktur im mittleren Süden des Vorhabengebietes (Nr. 10) (VBW, 2016)	16
Abb. 11:	Rinnenstruktur im mittleren Norden des Vorhabengebietes (Nr. 7) (VBW, 2016)	16
Abb. 12:	Indikatoren für die Richtung des Sedimenttransports (Lemke, W., 1994)	18
Abb. 13:	Endpunkte der Strömungsvektoren, Strömungsrose und Wahrscheinlichkeit von Sedimentumlagerungen nördlich Darßer Ort (Gitterpunkt 31-36) (Heise, B., 2002)	21
Abb. 14:	Prinzipskizze zur An- und Umströmung eines zylindrischen Unterwasser- Bauwerks	22
Abb. 15:	Momentaufnahme der Strömungsvektoren um eine Monopile-Gründung (Elsamprojekt, 1999)	23
Abb. 16:	Auskolkungen um eine ungeschützte Monopile-Gründung in Sandböden	24

1. Veranlassung

Die OWP Gennaker GmbH besitzt seit dem 15.05. 2019 eine Baugenehmigung nach § 4 Bundes Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zur Errichtung und zum Betrieb des OWP Gennaker im Wind Vorranggebiet „Darß“. Diese umfasst 103 OWEA, 2 baugliche USP sowie die parkinternen Seekabel. Die Genehmigung des Vorhabens basiert auf der zum Antragszeitpunkt größtmöglichen Turbine der Firma Siemens Wind Power SWT 8.0 154 mit einer Leistung von max. 8,4 MW inkl. Power Boost. Dieser Turbinentyp stand zum Zeitpunkt des Genehmigungsantrags an der Schwelle zur Markteinführung.

Durch unverschuldete Verzögerungen und Umsetzungshemmnisse war die Verfügbarkeit dieses Anlagentyps zum geplanten Errichtungszeitpunkt nicht mehr gewährleistet. Daher musste die Trägerin des Vorhabens für die im Mai 2019 erteilte Genehmigung mit Antrag vom 28.06.2022 ein Änderungsverfahren gem. § 16 BImSchG (wesentliche Änderung) für die weiterentwickelte Turbinenversion, hier die SG 167 DD, durchführen. Die Änderungsgenehmigung für das modifizierte Konzept ist Anfang 2024 erteilt worden.

Im Verlaufe sich zuspitzender multipler Krisen im Winter 2022 / 2023 nahmen generelle, d.h. auch internationale Marktverwerfungen, Inflation und krisenbedingte Engpässe stark zu. Die Folge war ein signifikanter Kosten- und Zinsanstieg, der sich auf das Projekt Gennaker auswirkte und, auch bedingt durch weitere Faktoren, zu einer Verschiebung der Inbetriebnahme auf das Jahr 2028 (Base Case) oder alternativ 2029 führte. Aufgrund der Systematik im BImSchG ist ein erneutes Genehmigungsverfahren unvermeidbar. Vor diesem Hintergrund erfolgte die hier vorgelegte Aktualisierung des Sedimentgutachtens aus dem Jahr 2022 (TNU, 2022).

Der OWP Gennaker ist im Seegebiet der westlichen Ostsee auf ca. 44,2 km² mit 63 Windenergieanlagen (OWEA) geplant. Das Areal des geplanten Windparks liegt innerhalb der 12-sm-Zone (Küstenmeer bzw. Territorialgewässer) der Bundesrepublik Deutschland vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns, nördlich der Halbinsel Darß (ca. 10 km nördlich Darßer Ort; ca. 15 km nördlich Zingst / Prerow) sowie westlich der Inseln Hiddensee (Abstand: ca. 24 km) bzw. Rügen. Es umschließt den bereits in Betrieb befindlichen OWP Baltic I.

Aufgrund der Berücksichtigung bereits vorhandener bzw. geplanter baulicher Strukturen innerhalb der Vorrangfläche für Windenergie (Kabeltrassen, Windpark EnBW Baltic 1) unterteilt sich die Vorhabenfläche in die drei Teilflächen A, B und C, die elektrotechnisch durch Kabel miteinander verbunden werden (⇒ Abb. 1, Abb. 2). Die Teilflächen haben zusammen eine Größe von ca. 44,2 km² (Teilfläche A: 33,7 km², Teilfläche B: 2,4 km², Teilfläche C: 8,1 km²) (OWP Gennaker GmbH, 2024).

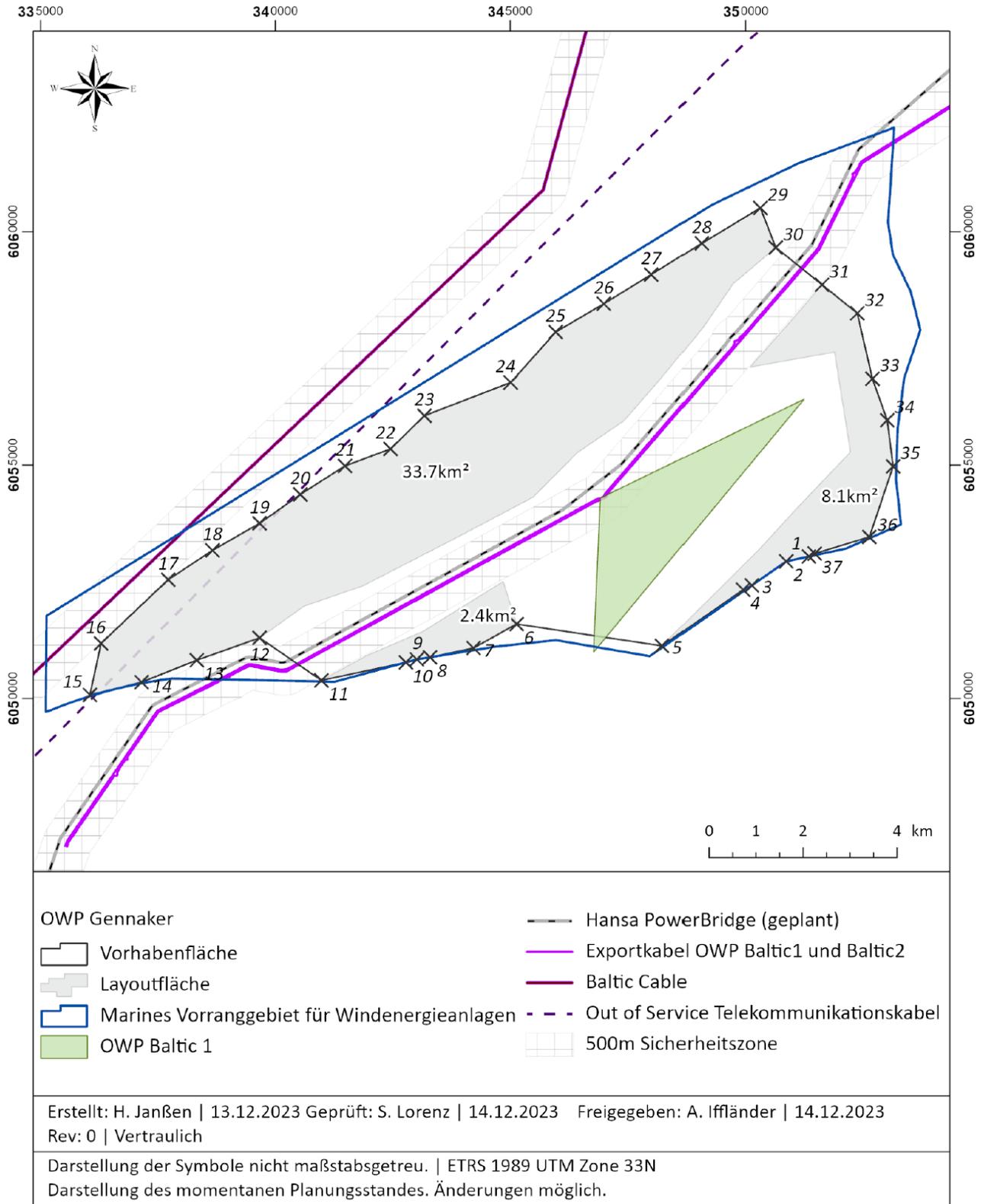


Abb. 1: Eckpunkte des Vorhabengebietes OWP Gennaker und einzelne Teilflächen (in grau) (OWP Gennaker GmbH, 2024)

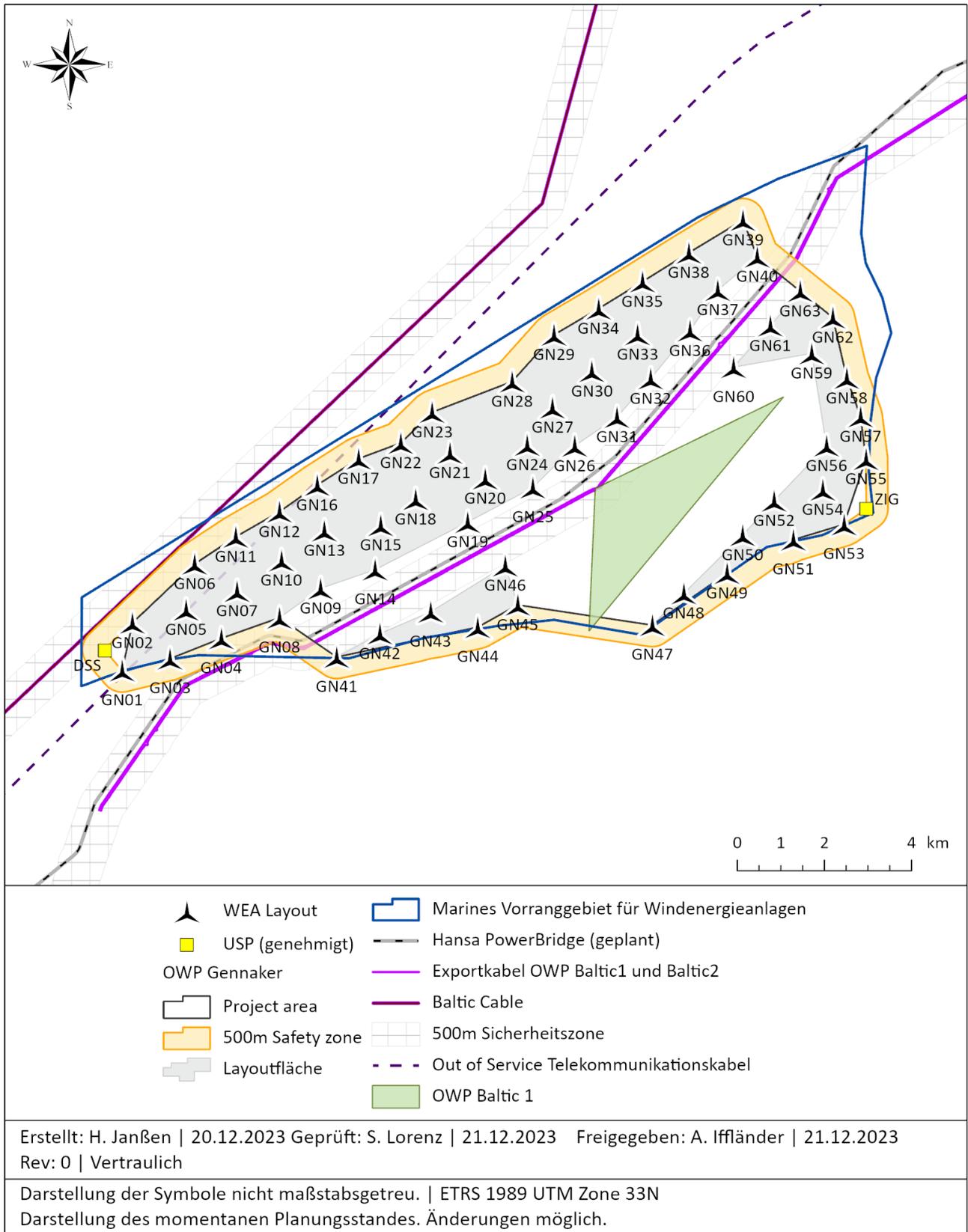


Abb. 2: Layout OWP Gennaker (OWP Gennaker GmbH, 2024)

Der Vorhabenträger beauftragte die TÜV NORD Umweltschutz Rostock GmbH & Co. KG mit der Erarbeitung des maringeologisch-/sedimentologischen Fachgutachtens.

Auswirkungen des Vorhabens auf den Meeresboden wie

- Flächen- und Funktionsverluste,
- Veränderungen der Sedimentstrukturen und der Sedimentdynamik und
- Veränderungen des Reliefs (Auskolkungen)

resultieren vor allem aus der Errichtung der OWEA (Durchmesser der Monopile-Gründung: [maximal 9 m](#)).

Zur Darstellung des Istzustands des Meeresbodens im Vorhabengebiet dienen nachfolgend besonders die [in der Vergangenheit](#) durchgeführten Untersuchungen und daraus abgeleitete Karten zum geologischen Untergrund sowie Ergebnisse von Vermessungsarbeiten und Baugrunduntersuchungen zum Vorhaben.

2. Regionale Einordnung des Vorhabens und Datengrundlagen

Der geplante Offshore-Windpark Gennaker liegt in der westlichen Ostsee und berührt, von Ost nach West, folgende regionale Einheiten: Falster-Rügen-Sandplatte, Darßer Schwelle und Mecklenburger Bucht. Das Vorhabengebiet liegt auf 3 Teilflächen eines im Landesraumentwicklungsprogramm des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LEP) ausgewiesenen Marinen Vorranggebietes für Windenergieanlagen auf See. Er ist ausschließlich in der 12-sm-Zone der Bundesrepublik Deutschland vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns lokalisiert.

Im vorliegenden Gutachten wird u. a. auf die Ergebnisse magnetischer und seismischer Aufnahmen aus dem Zeitraum 2013 bis 2016 (VBW, 2016) [sowie auf Vermessungen im Jahr 2022 \(VBW, 2022\) des Vermessungsbüros Weigt \(VBW\) \(⇒Abb. 3\) zurückgegriffen.](#)

[Die von den Messschiffen „MS Barents-See“ in den Jahren 2013, 2015 und 2016 sowie „MS Seabed Explorer“ im Jahr 2022 eingesetzten Geräte bzw. Gerätesysteme werden in Tab. 1 zusammengefasst.](#)

Des Weiteren flossen Informationen aus dem Fachgutachten "Benthos" in die Betrachtungen mit ein [\(IfAÖ, 2024\).](#)

Darüber hinaus wurde das gesamte Gebiet der westlichen Ostsee in den vergangenen 60 Jahren in mehreren Etappen intensiv meeresgeologisch untersucht. Die Arbeiten wurden mit Hilfe von Bodengreifern, Stechröhren, Tauchern (Sondierung), Echoloten, Side-Scan-Sonaren und seismischen Systemen ausgeführt. Im Ergebnis dieser Forschungen entstanden zahlreiche Karten zur Sedimentverteilung am Meeresboden sowie Darstellungen der Schichtmächtigkeiten und der sedimentpetrographischen und sedimentphysikalischen Eigenschaften der anstehenden Sedimente.

Beispielhaft werden hier angeführt:

- Meeresbodenkarte des Seegebietes Darßer Ort–Hiddensee, Maßstab 1:200.000 (Kolp, O., 1954),
- Meeresbodenkarte der westlichen Ostsee, Maßstab 1:300.000 (Kolp, O., 1965),
- Sedimente der Mecklenburger Bucht, Maßstab 1:100.000 (Lange; Schmedemann, 1985),
- Reliefkarte der Mecklenburger Bucht, Maßstab 1:100.000 (Lange; Schmedemann, 1986),
- Akustik der Sedimente der Darßer Schwelle, Maßstab 1:35.000 (Jäger, 1989) und

- Meeresbodensedimente in der westlichen Ostsee, Blatt Darß, Maßstab 1:100.000 (Tauber, F.; Lemke, W., 1995).

Weitere wissenschaftliche Arbeiten, insbesondere Dissertationen und Habilschriften, liefern ein umfangreiches Datenmaterial zur geologischen Entwicklung sowie zur Sedimentpetrographie und Sedimentdynamik des Vorhabensgebietes, z. B.:

- Lagerungsverhältnisse spät- und postglazialer Sedimente im Arkonabecken (Neumann, G., 1981),
- Geologische Untersuchungen an spätglazialen und holozänen Sedimenten der Lübecker und Mecklenburger Bucht (Lange, D., 1984),
- Petrophysikalische Untersuchungen an spätglazialen und holozänen Sedimenten der Lübecker und Mecklenburger Bucht (Lange, D.; Jäger, W., 1982),
- Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkonabecken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Litorinatransgression (Lemke, W., 1998),
- Regionalisierung der sedimentären Fazies der südwestlichen Ostsee (Bobertz, B., 2000),
- Strömungsschwankungen am Meeresboden zwischen Mecklenburger Bucht und Arkonabecken nach Modellierungsergebnissen und mögliche Auswirkungen auf die Sedimentation (Heise, B., 2002) und
- Untersuchungen zur Mobilität natürlicher und anthropogener Sedimente in der Mecklenburger Bucht (Bohling, B., 2003).

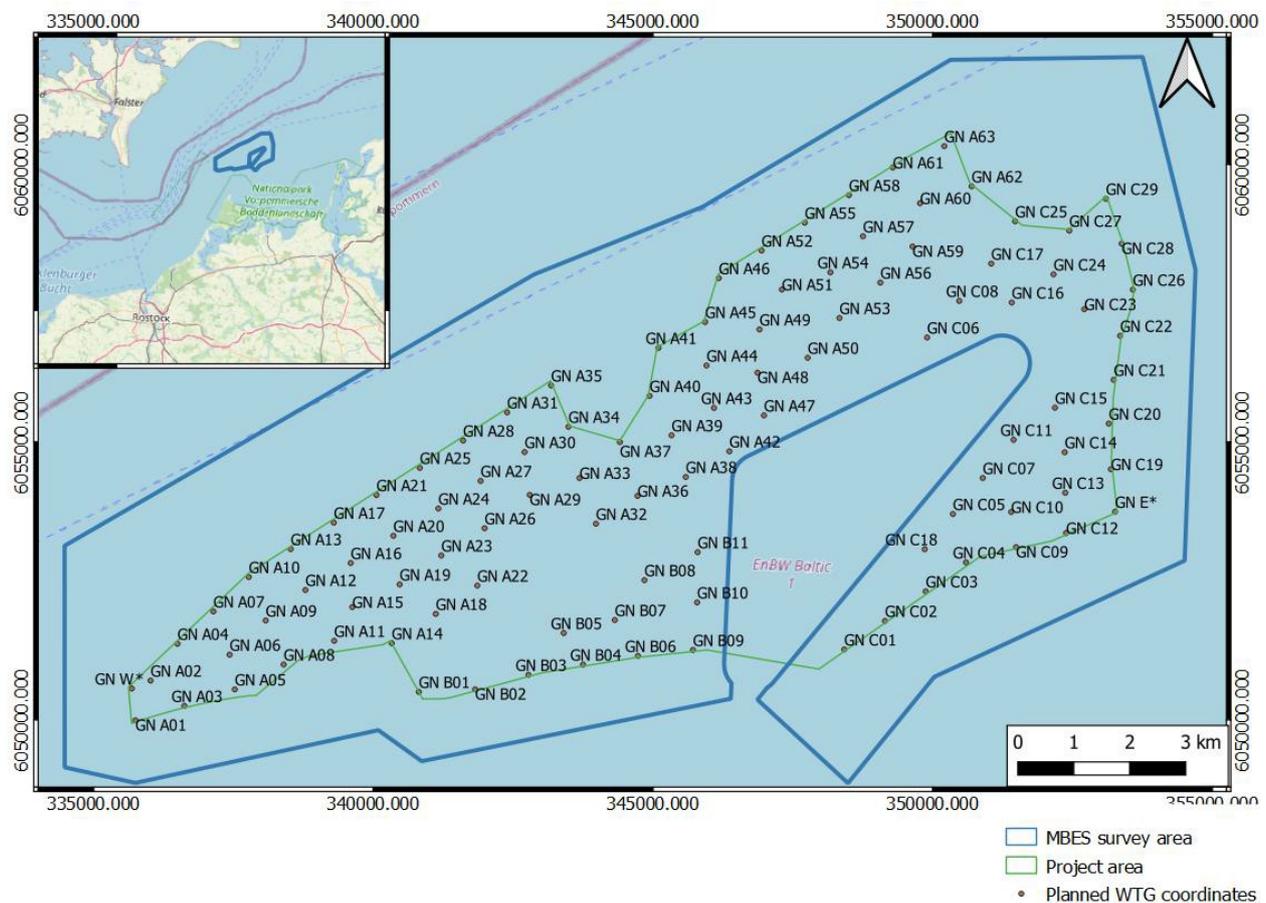


Abb. 3: Überblick über die Untersuchungsfläche für die Vermessungen im Jahr 2022 (VBW, 2022)

Tab. 1: Eingesetzte Sensorik (VBW, 2016), (VBW, 2022)

Typ	Ausrüstung
Primäre Positionierung	Septentrio AsteRX
Sekundäre Positionierung	C-NAV3050
Gyro & MRU System (primär)	iXblue Hydrins
Gyro & MRU System (sekundär)	iXblue Octans3000
Multibeam echosounder	Kongsberg EM2040 (Dual Head)
Schallgeschwindigkeitssonde (primär)	Valeport Swift SVP
Schallgeschwindigkeitssonde (sekundär)	Sea & Sun Technology CTD48M
Primäre Positionierung (2015)	Fugro MarineSTAR 9205 G2 - PDGNSS
Sekundäre Positionierung (2015)	Fugro MarineSTAR 8200 HP - PDGNSS
Kompass & Bewegungssensor (2015)	IXSEA Octans III
Fächerecholot (2013)	RESON SeaBat 8101
Positionierungssoftware	RESON PDS2000
Datenaufzeichnung	RESON PDS2000
Fächerecholot (2015)	R2Sonic - Sonic 2024
Positionierungssoftware	Hypack - Hysweep
Datenaufzeichnung	Hypack - Hysweep
Datenprozessierung	CARIS - HIPS
Sidescan Sonar	EdgeTech 4200HF (300/600)
Positionierungssoftware	PDS2000 (2013) / Hypack 2014 (2015)
Datenaufzeichnung	EdgeTech Discover
Datenprozessierung	SonarWiz 5
Magnetik	Geometrics G882
Positionierungssoftware	PDS2000 (2013) / Hypack 2014 (2015)
Datenaufzeichnung	MagLog
Datenprozessierung	Geosoft Oasis montaj UXO Marine
Seismik	GeoPulse Boomer + AAE Streamer (8-fach)
Positionierungssoftware	PDS2000 (2013) / Hypack 2014 (2015)
Datenaufzeichnung	NWC 145
Datenprozessierung	NWC View

3. Meeresgeologische Verhältnisse

Die Reliefformen des Meeresbodens und die Lagerungsverhältnisse der quartären Sedimente im Vorhabengebiet wurden durch die spätglazialen Eisvorstöße und den anschließenden Eisabbau wesentlich geprägt. Des Weiteren spielte das Wechselspiel von Transgression und Regression im Holozän während der einzelnen Entwicklungsphasen der westlichen Ostsee eine entscheidende Rolle bei der Ausbildung der morphologischen Strukturen und der Sedimentfazies.

Demzufolge lässt sich für das Untersuchungsgebiet folgende generelle pleistozäne/holozäne Schichtenfolge ableiten:

- Das Liegende bilden zwei bis drei glaziale Geschiebemergellagen, die von Sanden getrennt werden (Grundmoränen bzw. Endmoränenbildungen).
- Im Hangenden schließen sich über Grobsand spätglaziale Tone in Wechsellagerungen mit Schluff und Feinsandlagen (Beckensedimente als Produkte der Abschmelzprozesse) an.
- Darüber folgen Schluffe, Sande und Torfe (ufernahe Bildungen limnischer Gewässer).
- Den Abschluss am heutigen Meeresboden bilden holozäne, subrezente und rezente Sande oder Schlicke je nach Becken- oder Schwellencharakter des jeweiligen Gebietes.

Lemke (1998) entwickelte für die regionale Einheit Darßer Schwelle ein „Normalprofil“ (⇒Abb. 4).

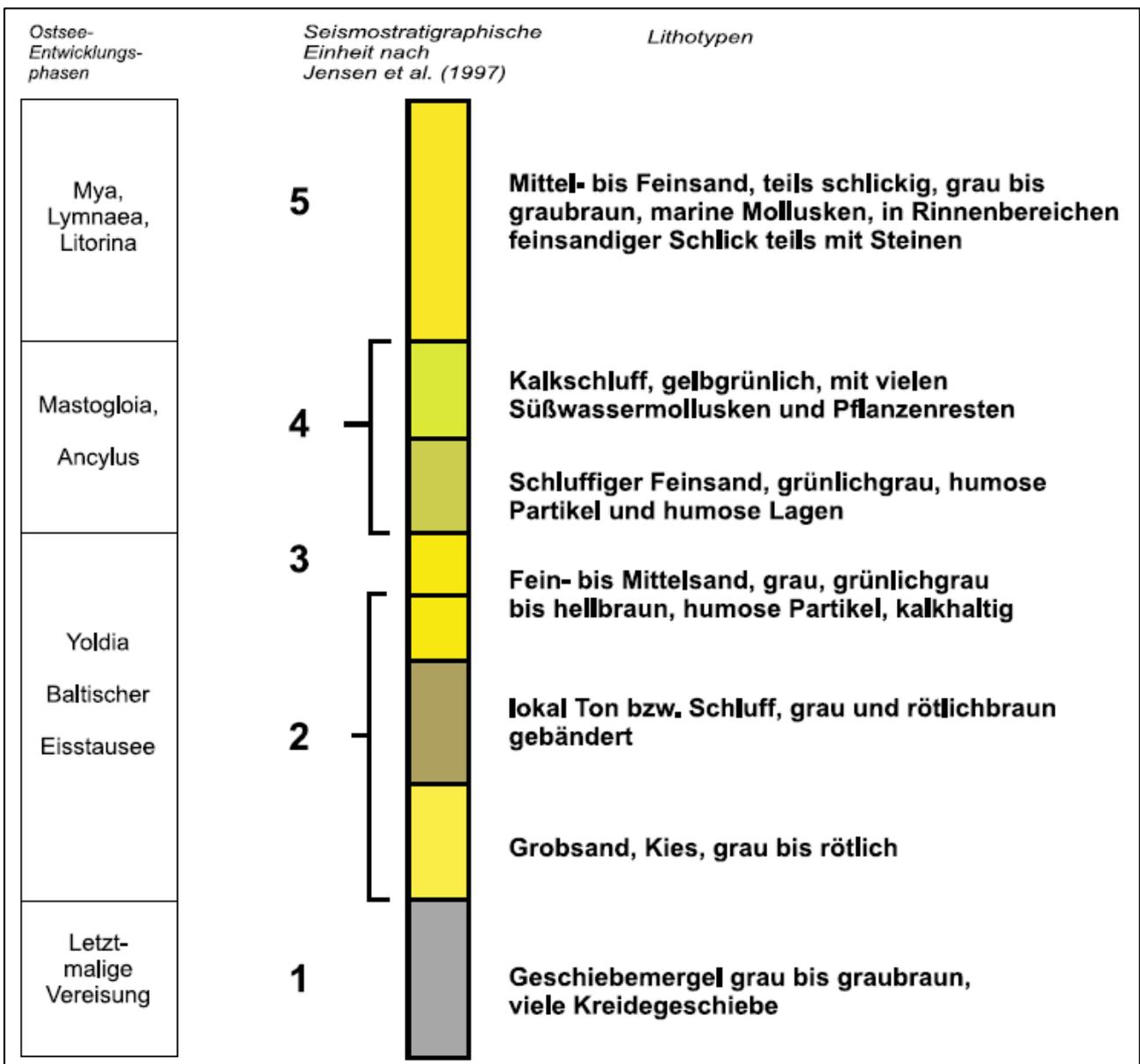


Abb. 4: Normalprofil der pleistozänen und postglazialen Ablagerungen auf der Darßer Schwelle (Lemke, W., 1998)

Das Vorhabengebiet für die Aufstellung der 63 OWEA liegt im Bereich der Falster-Rügen-Sandplatte auf bzw. am Ostrand der Darßer Schwelle. Die Seevermessungen weisen das Areal weitgehend als eben und strukturlos mit von SW nach NO zunehmenden Wassertiefen im Bereich von etwa 12,5 m und 20 m (VBW, 2022) aus (⇒Abb. 6).

Im gesamten Vorhabengebiet dominiert Feinsand (Korngrößen: 0,1-0,2 mm) das Korngrößenspektrum der Sedimente, welches von Süden nach Norden mit der Wassertiefe zunehmende Anteile der Nebenfraktion „sehr feiner Sand“ (0,05-0,1 mm) enthält (Kolp, O., 1954) (VBW, 2016), (IfAÖ, 2024)).

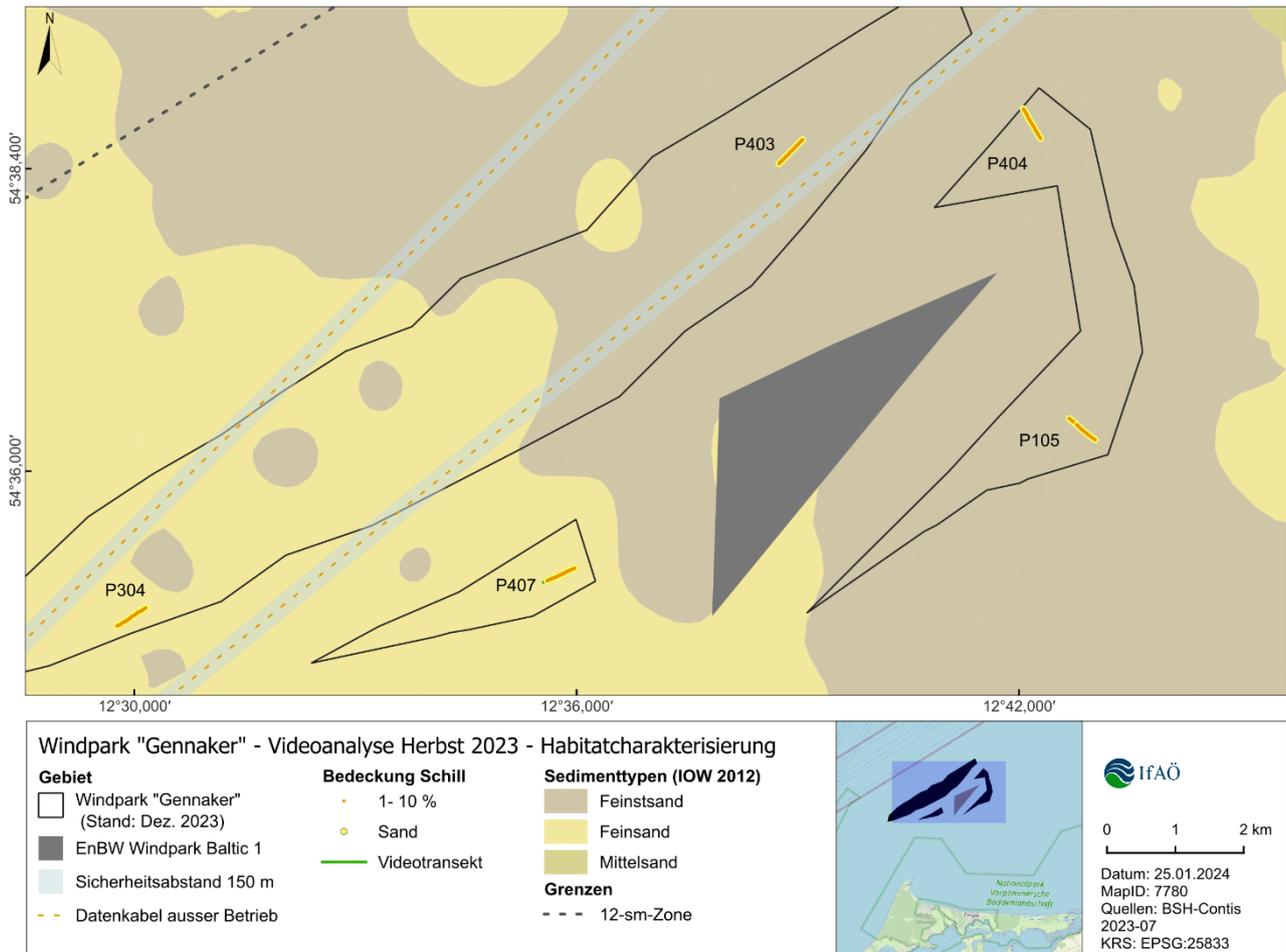


Abb. 5: Sedimenttypen und Habitatcharakterisierung im Bereich des OWP Gennaker (IfAÖ, 2024)

Im Rahmen der Benthosuntersuchungen im Herbst 2023 stellte Feinsand (0,063-0,20 mm) die größte Sedimentfraktion im Projektgebiet. Der Anteil an Mittelsand (0,20-0,63 mm) nahm von Südwest nach Nordost deutlich ab (⇒Abb. 5). Zugleich nahm der Anteil an Schluff/Ton (<0,063 mm) von Südwest nach Nordost zu. Der Schluffgehalt schwankte zwischen 1,04 und 10,56 % (⇒Tab. 2). Hinsichtlich des organischen Gehaltes variierten die Werte zwischen 0,26 und 1,64 %. Mit Ausnahme einer Messstelle wurden im Herbst 2023 Werte unter 1 % nachgewiesen (Mittel: 0,61 ± 0,31 %) (IfAÖ, 2024).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigten die Korngrößenverteilungen aus früheren Arbeiten (IfAÖ, 2022), bei denen als Hauptfraktion ebenfalls Feinsand und als Nebenfraktionen Grob-

schluff und Mittelsand mit unterschiedlichen Kornanteilen ausgewiesen wurden. Auch die Glühverluste (**Anteil an organischem Material im Sediment**) lagen für dieses Gebiet bei früheren Untersuchungen im Mittel deutlich unter 1 %.

Zwischenjährliche bzw. saisonale Unterschiede der Untersuchungsbefunde, z. B. zum Median der Korngrößen (⇒ Tab. 2), spiegeln einerseits kleinräumige Abweichungen bei der Probenahme, aber vor allem eine relativ hohe Sedimentdynamik mit Umlagerungen der Feinkornanteile wider.

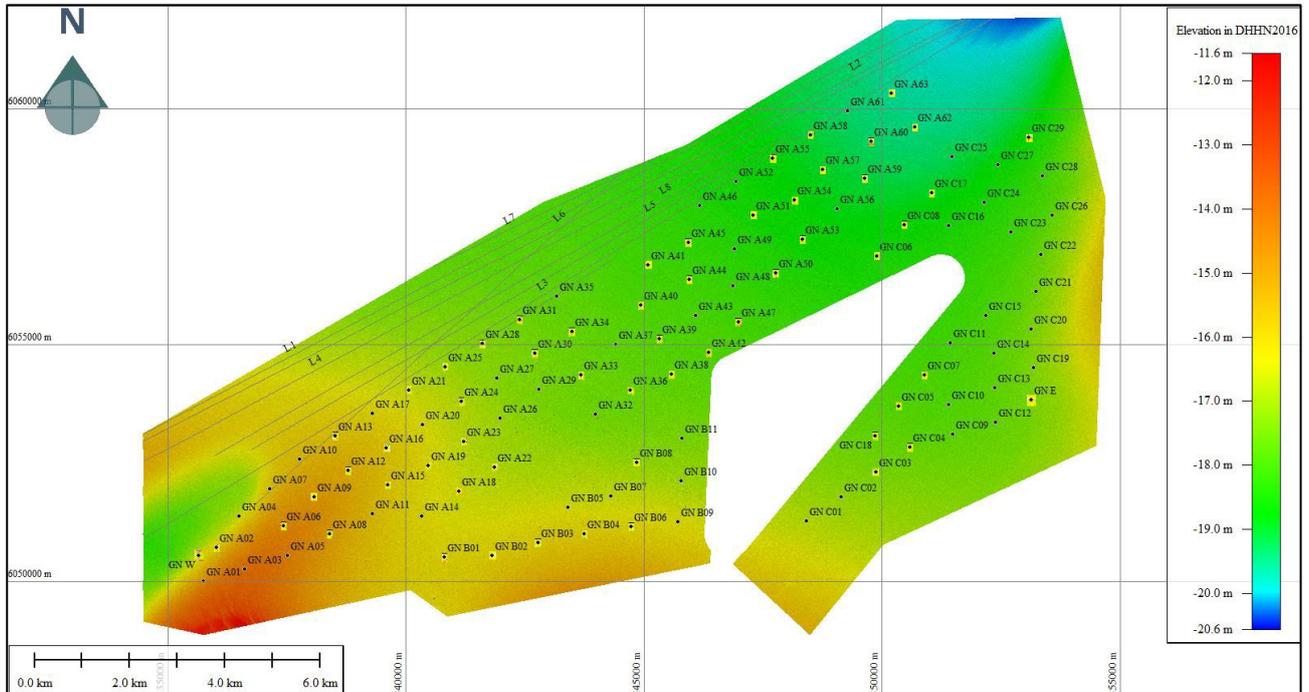


Abb. 6: Tiefenverhältnisse im Vorhabengebiet (VBW, 2022)

Tab. 2: Korngrößen und organischer Gehalt der Sedimente des Vorhabengebietes; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung (IfaÖ, 2022), (IfaÖ, 2024)

Zeit der Probennahme	Korngrößenmedian [mm]			org. Gehalt [%]			Schluffgehalt [%]		
	MW ± SD	Min	Max	MW ± SD	Min	Max	MW ± SD	Min	Max
Frühjahr 2015	0,13 ± 0,03	0,09	0,17	0,69 ± 0,27	0,26	1,17	4,43 ± 2,13	1,51	8,59
Herbst 2015	0,13 ± 0,03	0,09	0,17	0,76 ± 0,26	0,29	1,36	4,54 ± 2,02	1,46	9,68
Herbst 2023	0,13 ± 0,03	0,09	0,17	0,61 ± 0,31	0,29	1,64	4,02 ± 2,45	1,04	10,56

Ergebnisse unterschiedlicher Untersuchungen wiesen überwiegend Sandflächen mit strömungsbedingten Rippelstrukturen (Kammabstand im Bereich von ca. 10-20 m) aus (VBW, 2016), (VBW, 2022), (Heise, B., 2002).

Im Vorhabengebiet wurden mittels Side-Scan-Sonar-(SSS)-Aufnahmen insgesamt 208 Einzelobjekte vermutlich anthropogenen Ursprungs, Schleppspuren der Fischerei sowie Anzeichen von Kabelverläufen auf dem Meeresboden detektiert. Magnetische Anomalien sind vermutlich teilweise auf das Vorhandensein von Seekabeln zurückzuführen (VBW, 2016).

Vereinzelt wurden an der Sedimentoberfläche instabile, d. h. mit der Bodenströmung verdriftbare Miesmuschelkonglomerate mit einem Bedeckungsgrad von bis zu 10 % beobachtet. Die Sedimentoberfläche war nicht mit Makrophyten bewachsen. Vereinzelt wurden Driftalgen angetroffen, die teilweise mit den Muschelkonglomeraten assoziiert waren (IfaÖ, 2024).

Nach Untersuchungsergebnissen des Projektes DYNAS (Harff, J., 2003) zeigen die Sande im Vorhabengebiet zumeist eine sehr gute Sortierung. Sie sind nach (Kolp, O., 1954) im Vergleich zu Ostseeablagerungen relativ hoch mit Schwermineralen angereichert, deren Gehalte zwischen 0,25 % und 1,5 % liegen. Dies lässt darauf schließen, dass die am Meeresboden anstehenden Sande Abstrahlungsprodukte der glazialen Geschiebemergeloberflächen darstellen.

Die Mächtigkeit der am Meeresboden anstehenden Sande und der darunter lagernden Sedimente ist aus früheren Untersuchungen an zahlreichen Vibrations-Stechrohr-Kernen ableitbar.

Die daraus resultierenden früheren Untersuchungsergebnisse können vermutlich generell auf große Teile der drei Windparkteilareale übertragen werden, auch wenn sich lokal die Mächtigkeiten der jeweiligen Schichten in Abhängigkeit vom pleistozänen und kretazischen Relief ändern. Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass sowohl die Quartärbasis wie auch die Pleistozänoberfläche von Süden nach Norden wahrscheinlich leicht abfallen.

Die Auswertung der vorhandenen Unterlagen lässt für Gründungsarbeiten durch Rammen überwiegend auf unproblematische Baugrundverhältnisse schließen. Im Bereich zwischen den erbohrten Mergelhorizonten ist mit Stein- bzw. Blockhindernissen zu rechnen. Zu berücksichtigen ist, dass die Sedimentmächtigkeiten über dem Geschiebemergel stark variieren, nach (Tauber, F.; Lemke, W., 1995) zwischen <10 m und >35 m (⇒Abb. 7). Neben der sandigen Fazies können westlich des Plantagenetgrundes vor dem Zingst, aber eng begrenzt auch auf der Darßer Schwelle, gebänderte Tone als spätglaziale Staubeckenbildungen in Mächtigkeiten bis zu mehreren Metern auftreten (Lemke, 1998).

Mit der flachseismischen Aufnahme des Vorhabengebietes wurde über 153 parallele Profile im Abstand von 70 m eine Messtiefe von etwa 30 m bis >50 m unterhalb des Meeresbodens erreicht. Dabei wurden markante Rinnenstrukturen detektiert, deren Deckschicht durch besonders mächtige Feinsand- und vermutete Torfablagerungen gekennzeichnet sind. Drei besonders ausgeprägte Rinnen (Seismogrammbeispiele Nr. 9, 10, 11), lokalisiert im äußersten Nordosten (⇒Abb. 9), im mittleren Südosten (⇒Abb. 10) sowie im Nordwesten (⇒Abb. 11) des Vorhabengebietes (⇒Abb. 8) wurden beim OWP-Layout berücksichtigt, d. h., in ihrem Bereich sind keine OWEA vorgesehen. Als Füllsedimente der Rinnen werden von VBW (2016) im oberen Bereich sandiges, tonig-schluffiges und z. T. torfiges Material vermutet. Maskierungseffekte durch wahrscheinlich Gasblasen weisen auf signifikante Anteile organischen Materials in den verfüllten Rinnenstrukturen, besonders im mittleren nordwestlichen Teil des Vorhabengebietes, hin (VBW, 2016).

Die in den Abb. 9 bis Abb. 11 kartierten Einheiten sind (VBW, 2016):

- Schicht A – Deckschicht Feinsand
- Schicht B – vorwiegend Sand
- Schicht C – Sand, Schluff, Geschiebemergel, sehr inhomogen
- Schicht D – Kreideablagerungen
- Schicht F – Rinnenfüllung, z. T. tonig bzw. laminiert
- Schicht G – Rinne mit z. T. weichen Verfüllsedimenten

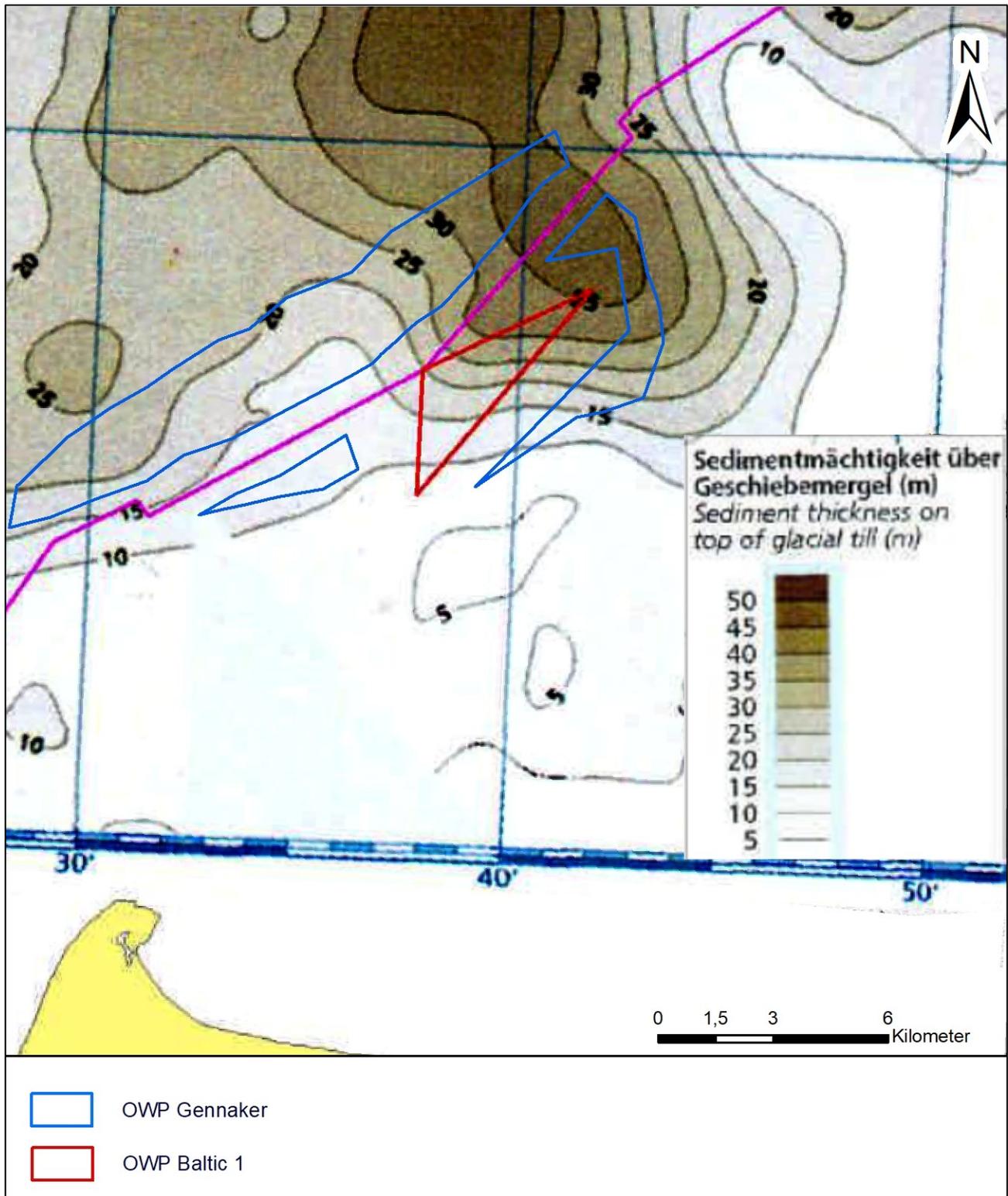


Abb. 7: Sedimentmächtigkeiten über dem Geschiebemergel im Vorhabengebiet (Tauber, F.; Lemke, W., 1995) (Anmerkung: Zur Orientierung wurden der OWP Baltic I und dessen Energieableitung markiert.)

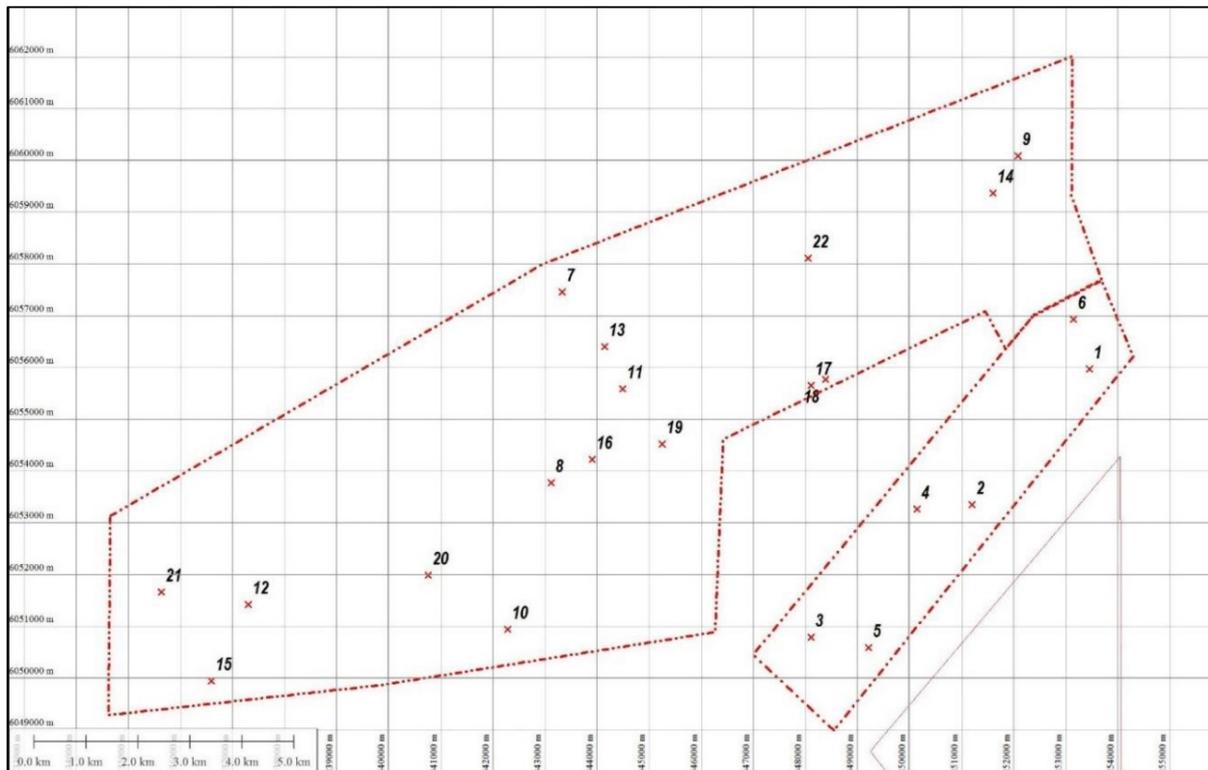


Abb. 8: Lageskizze der Seismogrammbeispiele Nr. 7, 9, 10 (VBW, 2016)

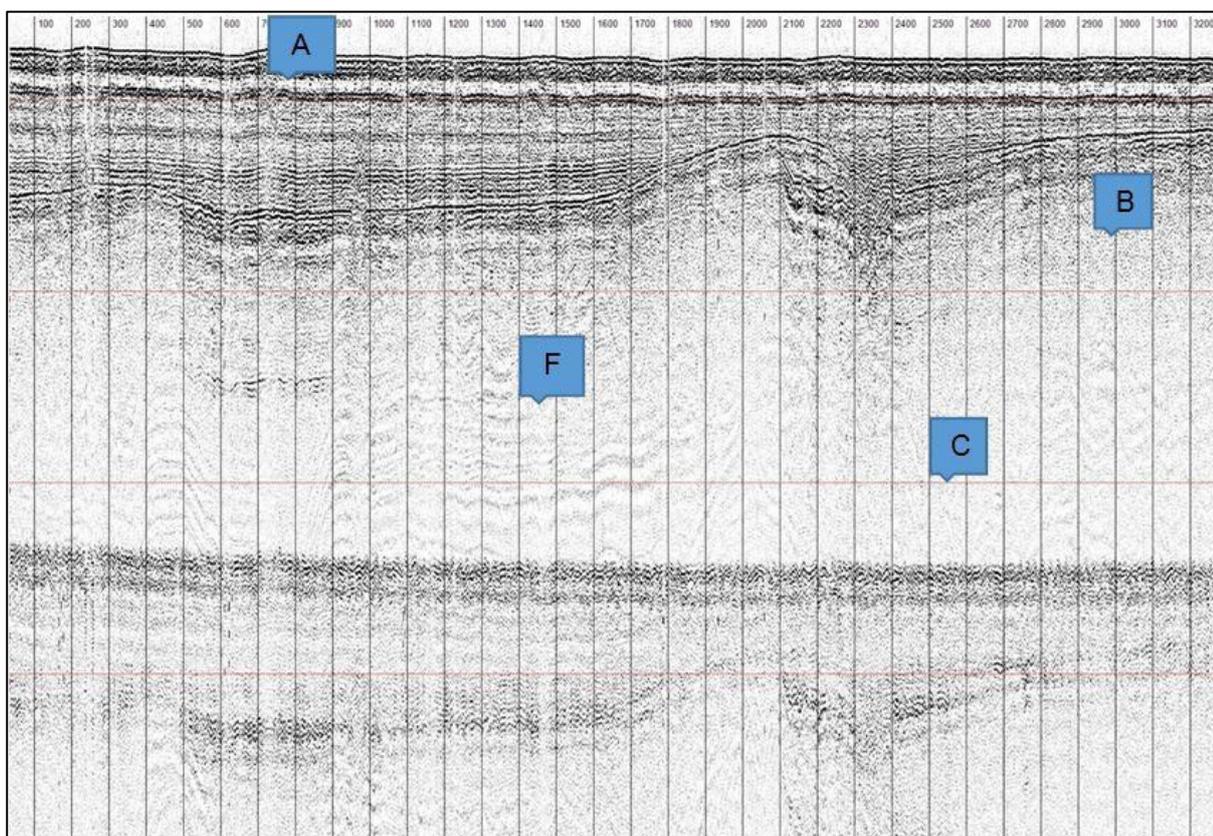


Abb. 9: Rinnenstruktur im Nordosten des Vorhabengebietes (Nr. 9) (VBW, 2016)

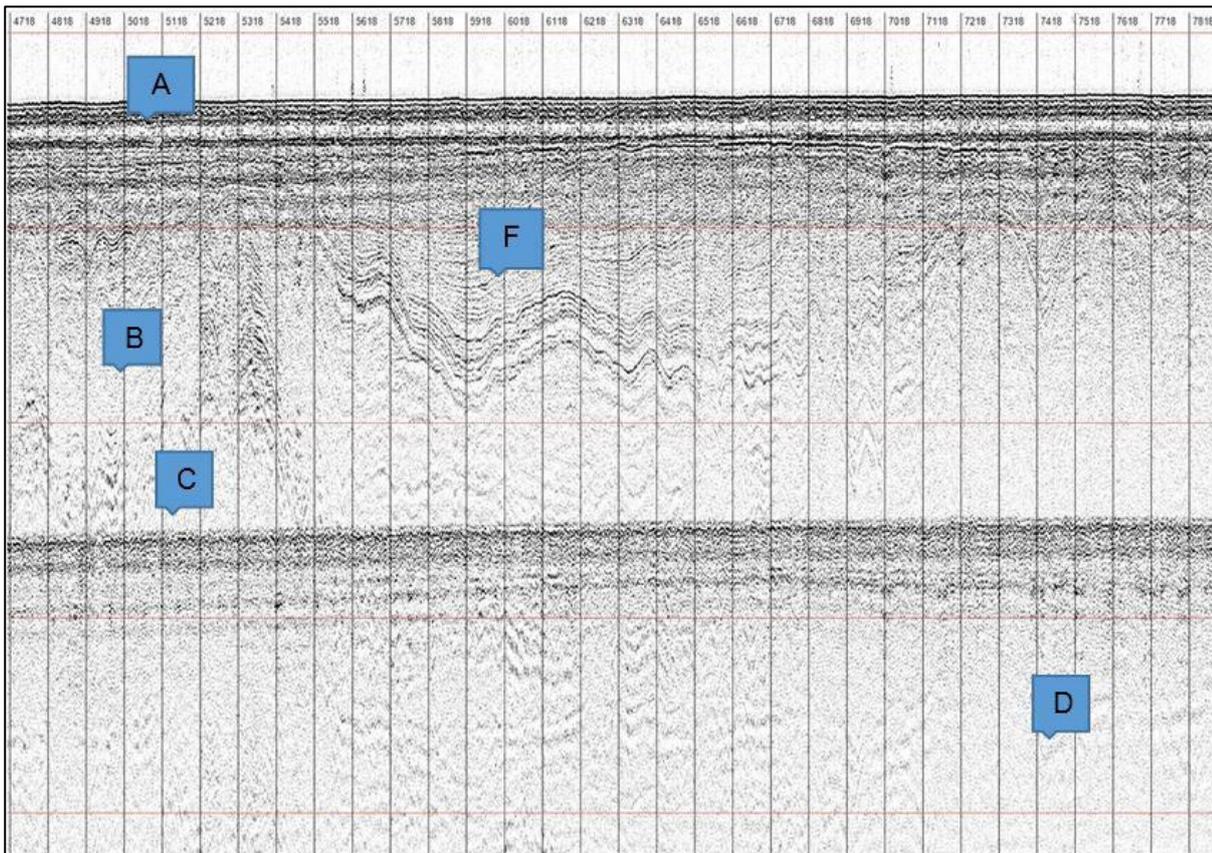


Abb. 10: Rinnenstruktur im mittleren Süden des Vorhabengebietes (Nr. 10) (VBW, 2016)

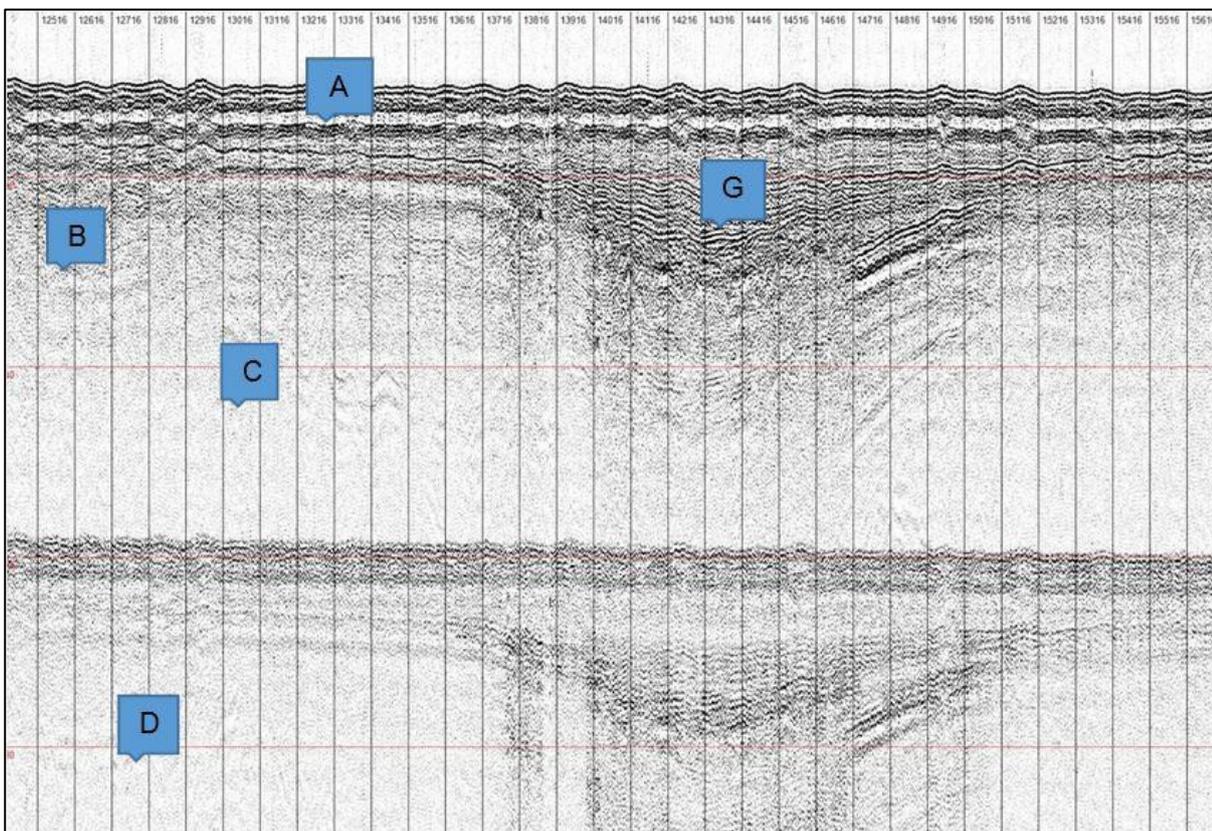


Abb. 11: Rinnenstruktur im mittleren Norden des Vorhabengebietes (Nr. 7) (VBW, 2016)

4. Sedimenthaushalt und -dynamik im Vorhabengebiet

Der vom Vorhaben betroffene Meeresboden besteht überwiegend aus klastischen Sedimenten.

Die Oberflächensedimente werden in sedimentdynamische Prozesse einbezogen, wobei zwischen Abrasionsgebieten (Sedimentabtrag) und Akkumulationsräumen (Sedimentanreicherung) zu differenzieren ist.

Entscheidend für den Sedimenthaushalt sind die sedimentpetrographischen Eigenschaften der Ablagerungen (Korngrößenverteilung, Porosität, Korndichte) und die Art und Intensität der Sedimenttransportsysteme. Der Transport wird allgemein als eine Folge gleichzeitig, nebeneinander und nacheinander ablaufender lokaler Erosions-, Transport- und Sedimentationsvorgänge erklärt. Dabei können Sedimente über weite Strecken transportiert werden, sowohl durch Resuspension in die Wassersäule und erneuter Deposition als auch – bei rolligem Material wie Sanden – durch sohnlahen Transport.

Nachfolgend soll ausschließlich die Dynamik klastischer Sedimente, vor allem von Fein- und Mittelsanden, in Folge lateraler Transportprozesse betrachtet werden. Die Relevanz dieser Betrachtung aus Sicht des Vorhabens ergibt sich sowohl für das OWP-interne Leitungsnetz (Freilegen bzw. Über-sanden der Kabel) als auch für den Windpark (Auskolkungen, Umverteilung von Sedimenten im Windpark-Areal).

Die im Vorhabengebiet vorherrschenden Westwindlagen, die deutliche Volumen- und teilweise Querschnittsverengung im Bereich der Darßer Schwelle und der in Höhe des Darßer Ortes eine markante Richtungsänderung aufweisende Küstenverlauf bestimmen die Transportvorgänge sandigen Abrasionsmaterials im Seegebiet (Neumann, G., 1981).

Besonders deutlich werden diese statistisch überwiegend nach (Nord-)Osten setzenden Transportprozesse im Bereich von Darßer Ort und Prerowbank, einem Flachwassergebiet mit Wassertiefen von maximal 10 m. Rippelstrukturen westlich der Prerowbank bis in Wassertiefen von >6 m und die rasch voranschreitende Hakenbildung [an der Küste vor Darßer Ort](#) sind ein Indiz für diese intensiven Sedimentverfrachtungen (⇒Abb. 12).

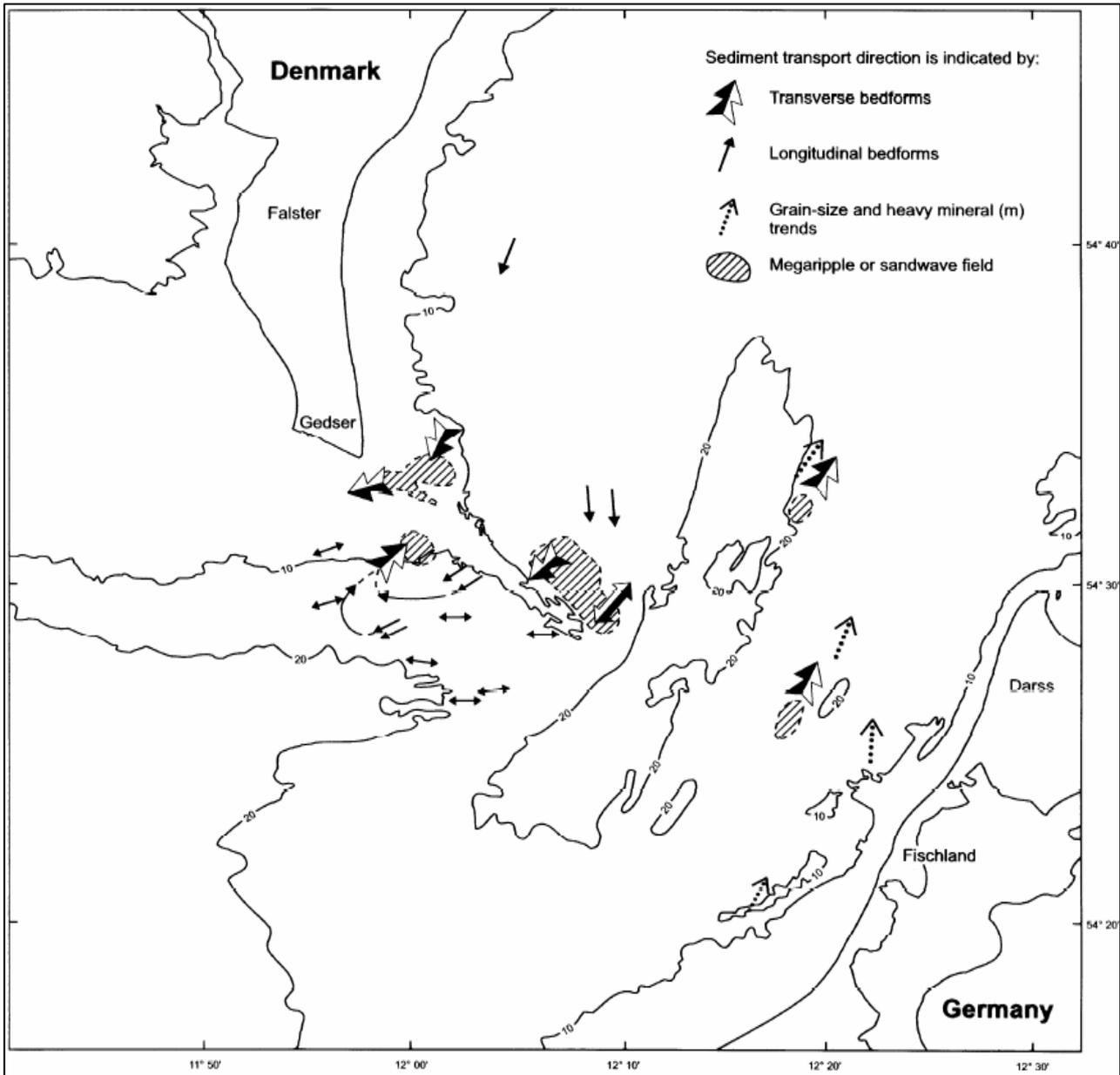


Abb. 12: Indikatoren für die Richtung des Sedimenttransports (Lemke, W., 1994)

Den Zusammenhang zwischen Wind, Strömung und den durch Erosion erzeugten Schwebstoffkonzentrationen im Wasserkörper des DYNAS-Untersuchungsgebietes vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns zeigten Leipe & Bahlo (2003). Bei Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 15 cm/s über dem Meeresboden kam es nicht zu signifikanten Erhöhungen der Konzentrationen partikulären Materials im Wasser (SPM: 1-2 mg/l). Erhöhten sich jedoch die Strömungsgeschwindigkeiten über diesen experimentell an „event-samplern“ ermittelten Schwellenwert von 15 cm/s hinaus, nahm die SPM-Konzentration durch Resuspension der Oberflächensedimente auf Werte zwischen 6 mg/l und 9 mg/l zu. Steigen die Strömungsgeschwindigkeiten, wie an der Darßer Schwelle in einigen Messungen beobachtet, auf Werte ≥ 40 cm/s an, werden Sedimente mit Korngrößen bis zu etwa 0,1 mm, d. h. Fein- und Mittelsande, bewegt.

Die Sedimentdynamik wurde für ein Untersuchungsgebiet zwischen der Mecklenburger Bucht und dem Arkonabecken an Hand eines dafür angepassten komplexen Rechenmodells abgeschätzt (Bobertz, B., 2000), (Heise, B., 2002).

Grundlage dafür bildeten

- Strömungsdaten in Bodennähe (geliefert durch Läufe eines hydrodynamischen Ostseemodells des Instituts für Ostseeforschung, Warnemünde / IOW) (Heise, B., 2002), (Bobertz, B., 2000),
- Messdaten zum Wind an der Station „Darßer Schwelle“ (Zeitraum vom 01.10.1996 bis zum 30.09.1997),
- Informationen zur Korngrößenverteilung der im Untersuchungsgebiet anstehenden Sedimente (Medianwerte, Sortierung) (Lemke, W.; Kuijpers, A.; Hoffmann, G.; Milkert, D.; Atzler, R., 1994) (Tauber, F.; Lemke, W., 1995) und die
- Bathymetrie des Untersuchungsgebietes.

Die Berechnungen erfolgten für repräsentative Gitterpunkte des gerasterten Seegebietes. Als Modelljahr diente der Zeitraum vom 01.10.1996 bis zum 30.09.1997. Die Ergebnisse schließen Angaben zur Wahrscheinlichkeit der Erosion der am jeweiligen Ort anstehenden Sedimente ein. Dazu wurden für die betreffenden Sedimente kritische Schubspannungen für einen Transport berechnet, diese Schubspannungen in entsprechende Freistromgeschwindigkeiten des Wassers transformiert und letztere dann mit den aus dem hydrodynamischen Modell abgeschätzten Strömungsgeschwindigkeiten korreliert.

Für das Modelljahr 1996/97 wurde die Anzahl von Tagen abgeschätzt, an denen am jeweiligen Gitterpunkt Sedimenttransport eintreten könnte. Die Ergebnisse der Modellierung für einige typische Punkte des Untersuchungsgebietes sollen hier wiedergegeben werden (Bobertz, B., 2000), (Heise, B., 2002). Der mit U beschriftete rote Kreis in Abb. 13 charakterisiert die minimale Freistromgeschwindigkeit, die nötig ist, um Sedimentkörner mit Größen kleiner oder gleich dem Median erodieren zu können. Der graue Ring (Medianwert \pm Sortierung) umfasst dabei etwa zwei Drittel der Masse aller Sedimentkörner im Oberflächenbereich des jeweils analysierten Gitterpunkts. Liegen Freistromgeschwindigkeiten episodisch innerhalb bzw. sogar außerhalb des grauen Ringes, ist mit Sedimenttransport in der durch die Strömungsrose aufgezeigten Richtung zu rechnen.

Es wurde ein typischer bzw. vorhabenrelevanter Gitterpunkt ausgewählt (Heise, B., 2002), Gitterpunkt 31-36 (nördlich Darßer Ort) (\Rightarrow Abb. 13).

Die Ergebnisse der Auswertungen an den Gitterpunkten zeigen, dass im Modelljahr (01.10.1996 bis 30.09.1997) sehr unterschiedliche Strömungsrichtungen und Strömungsgeschwindigkeiten in den regionalen Einheiten vorherrschten.

In der Umgebung der Windparkfläche nordöstlich vom Darßer Ort (Knotenpunkt 31-36) dominiert eine nahezu symmetrisch-bidirektionale Strömung in nordöstliche bzw. südwestliche Richtung. Die im Vorhabengebiet am Meeresboden anstehenden gut bis sehr gut sortierten Feinsande können auf Grund der abgeleiteten Strömungsgeschwindigkeiten transportiert werden, vor allem in nordöstlicher Richtung (resultierende Transportrichtung), episodenhaft im Frühjahr auch in Richtung Südwesten.

Die Modellierungsergebnisse von Heise (2002) und Bobertz (2000) bestätigen die von Lemke u. a. (1994) aus geologischen, sedimentpetrographischen und bathymetrischen Daten abgeleiteten generellen Transportrichtungen der Oberflächensedimente im Bereich der Darßer Schwelle und auf der Falster-Rügen-Sandplatte. Zusammenfassend lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Das Vorhabengebiet des Offshore-Windparks Gennaker liegt in einem sedimentdynamisch aktiven Areal. Der resultierende Sedimenttransport erfolgt nach Ostnordosten. Auf Grund der Wassertiefen und der Lagestabilität der gut bis sehr gut sortierten Feinsande sind keine hohen Umlagerungsraten zu erwarten. Diese Aussage wird durch die Side-Scan-Sonar-Bilder von der Meeresbodenoberfläche gestützt. Im Vorhabengebiet konnten zwar Strömungsrippel am Meeresboden nachgewiesen werden, diese hatten allerdings nur eine geringe lokale Ausdehnung.

Die Rippelhöhen waren niedrig, so dass auf relativ geringe Strömungsgeschwindigkeiten zu schließen ist.

Das Vorhabengebiet wird nicht von den markanten regional typischen Groß- oder Riesenrippelsystemen berührt. Diese besonderen Mobilitätsstrukturen verlaufen weiter südlich im Bereich der Prerowbank und östlich vom Vorhabengebiet (⇒Abb. 12).

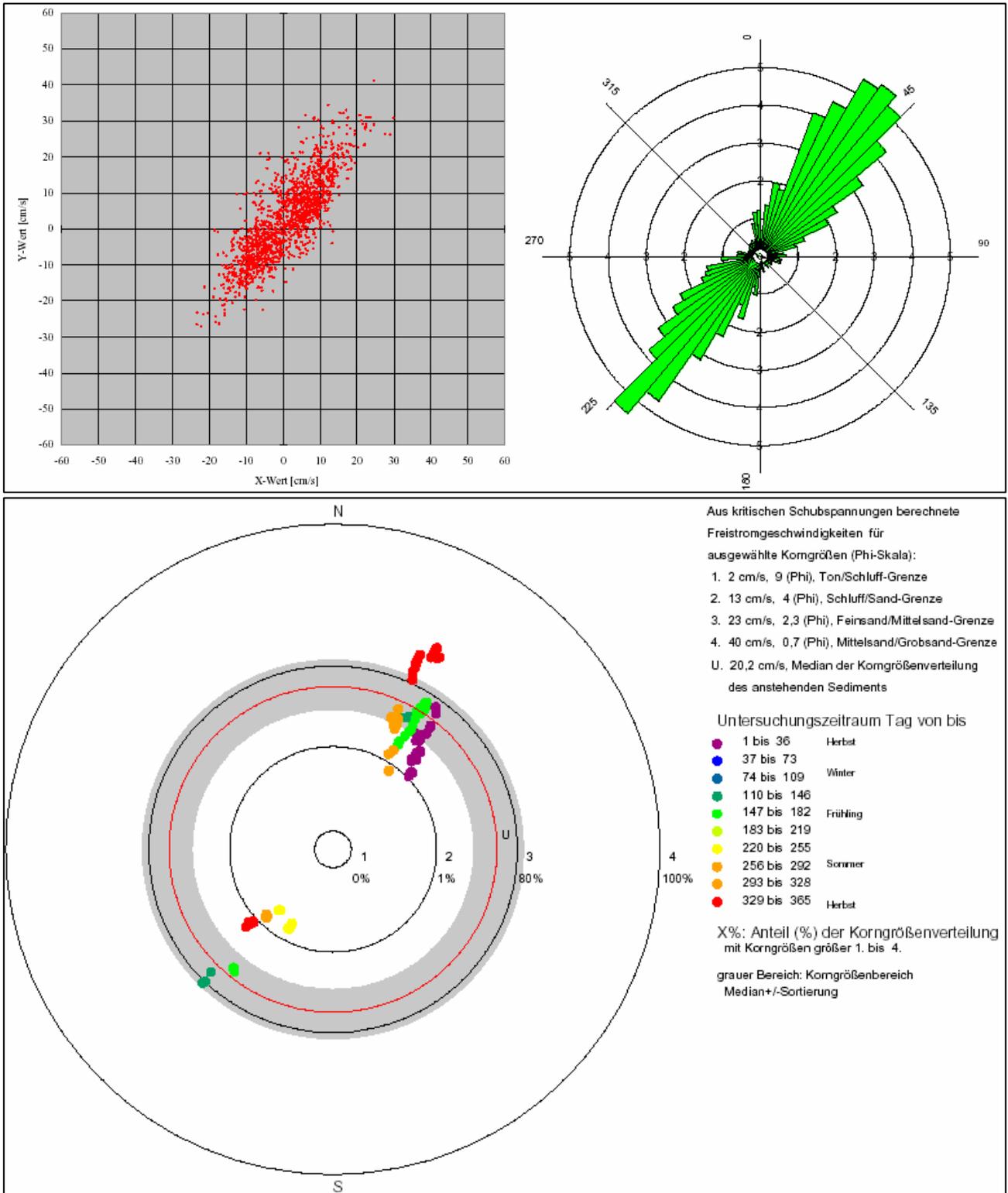


Abb. 13: Endpunkte der Strömungsvektoren, Strömungsrose und Wahrscheinlichkeit von Sedimentumlagerungen nördlich Darßer Ort (Gitterpunkt 31-36) (Heise, B., 2002)

5. Auswirkungen des Vorhabens auf die Sedimentdynamik

Beim Anströmen der Gründungen von OWEA kommt es zu Stromscherungen und Reibungen an den Bauwerken. Dadurch werden kleinskalige Wirbel generiert, die verdriften und von der mittleren Strömung wieder „aufgesogen“ werden. Der durch Einzelanlagen hydrodynamisch nachweisbar gestörte Bereich hängt in seinem Umfang vom Bauwerk sowie von der Stärke, Richtung und Charakteristik der Anströmung ab. Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten konzentrieren sich auf die unmittelbare Umgebung der Anlagen. Überlagerungen und Wechselwirkungen mit abstromig gelegenen Anlagen sind schwach und nur durch Modellrechnungen, nicht durch Messungen erfassbar (⇒Abb. 14).

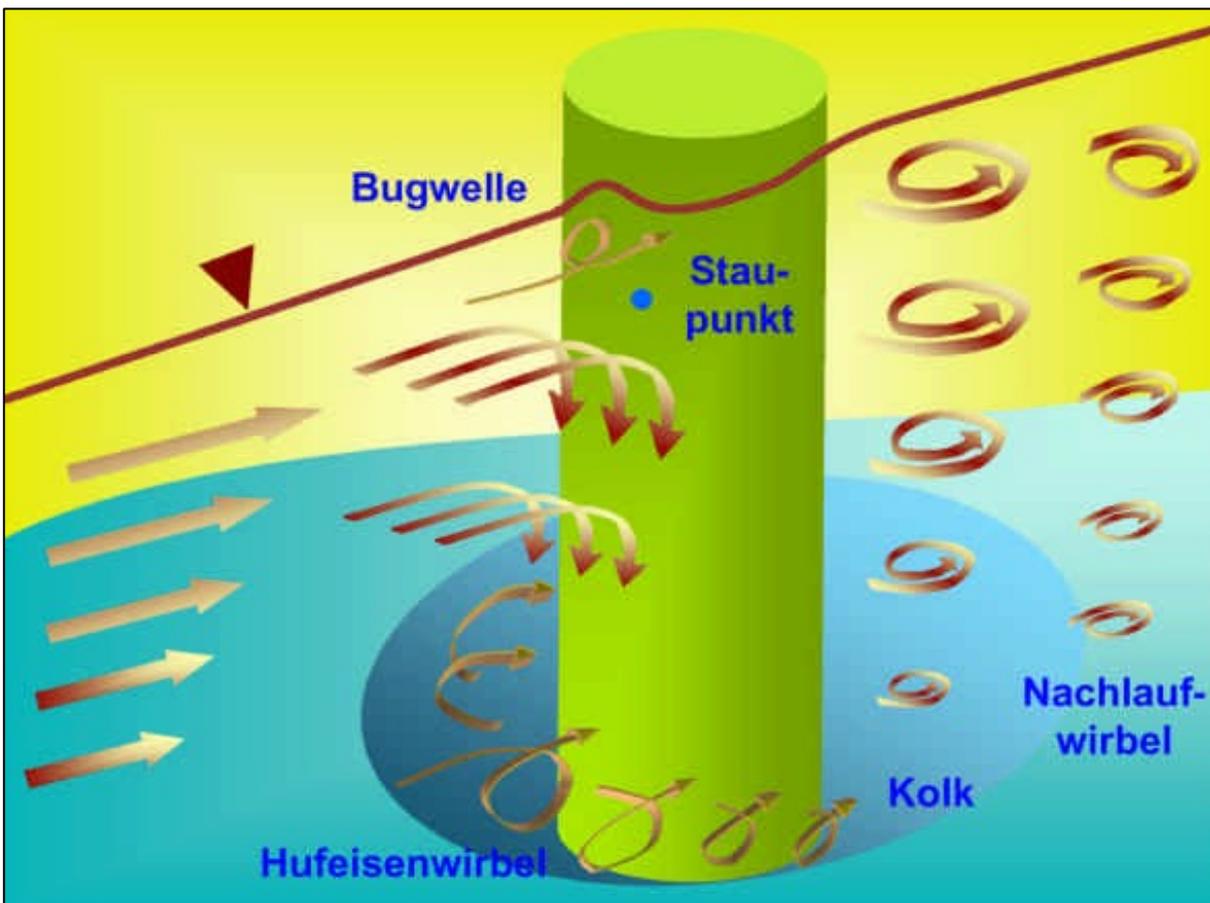


Abb. 14: Prinzipskizze zur An- und Umströmung eines zylindrischen Unterwasser-Bauwerks

Auf der Basis von kleinskaligen Simulationsmodellrechnungen prognostizierte Einflüsse eines Windparks auf die horizontale Strömungsgeschwindigkeit zeigen i. d. R. deutliche tiefenabhängige Unterschiede. Die verschiedenen Wirkbereiche solcher Unterschiede um einzelne Gründungen zwischen Ist- und Planungsstand sind besonders in Bodennähe i. d. R. gering und hängen überdies von der Lage der jeweiligen OWEA im Windpark ab. Die Zunahme der Horizontalgeschwindigkeiten um OWEA der Ostsee kann in der Größenordnung von etwa 3-30 mm/s liegen.

Die vom Windpark ausgehenden Änderungen des Turbulenzfeldes bleiben auf die unmittelbare Umgebung des Windparks und vor allem der einzelnen Anlagen beschränkt. Lokal prognostizierte Veränderungen betreffen nur die unmittelbare Umgebung des Windparks und liegen darüber hinaus unterhalb technisch erfassbarer Größenordnungen. Fern- und Langzeitwirkungen lokaler Strömungsunterschiede sind nicht zu erwarten (Duwe, K.; Buckmann, K., 2024).

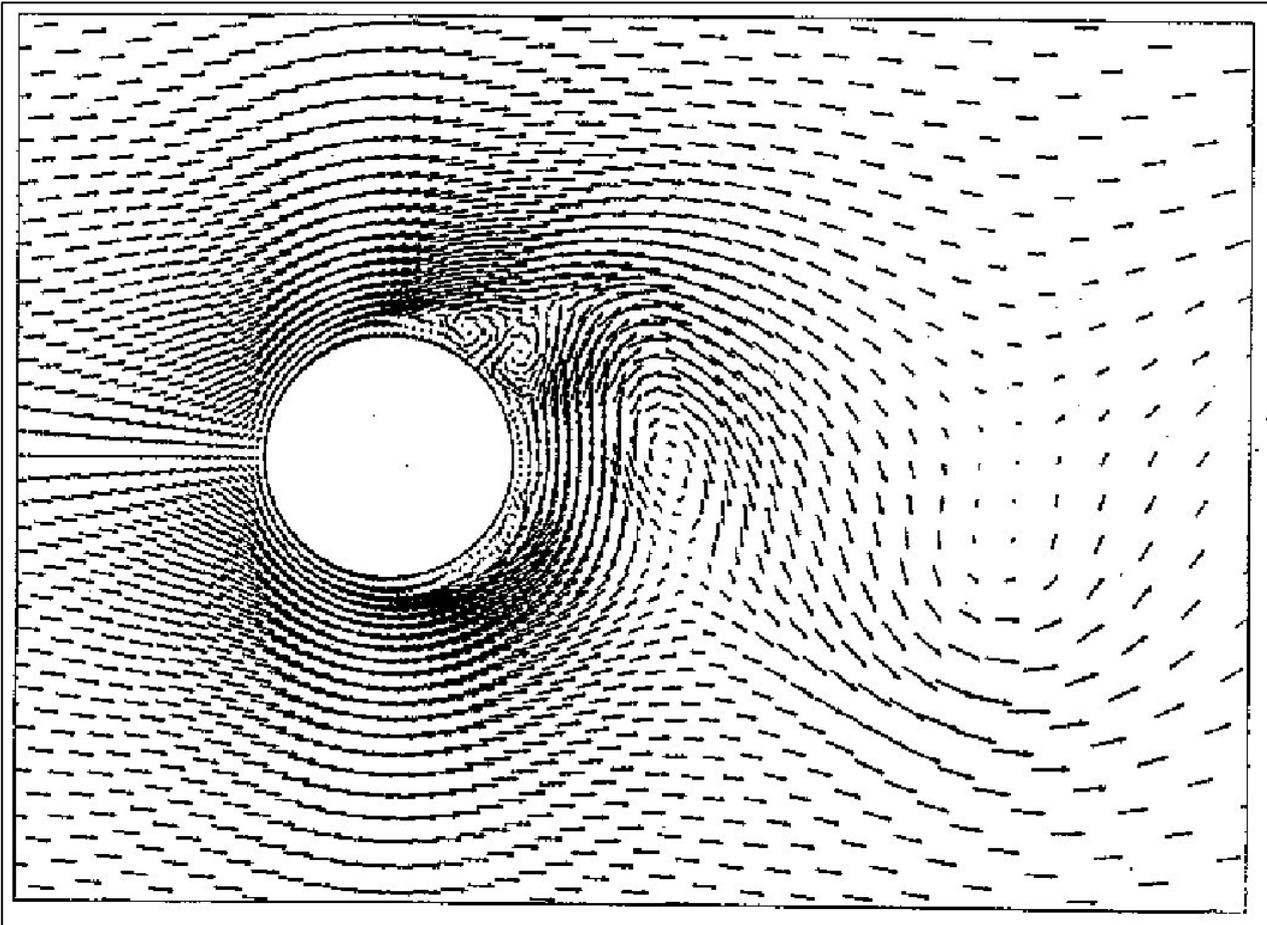


Abb. 15: Momentaufnahme der Strömungsvektoren um eine Monopile-Gründung (Elsamprojekt, 1999)

Durch die kleinskaligen Veränderungen des Strömungsfeldes (\Rightarrow Abb. 15) und insbesondere durch die Entstehung von Wirbeln kommt es im unmittelbaren Umfeld der Anlagen zu Auskolkungen am Meeresboden (\Rightarrow Abb. 16). Die Ausdehnung der Kolkungsstrukturen ist dabei abhängig von der Strömungsintensität, der Beschaffenheit des Meeresbodens und von der Beschaffenheit des Bauwerkes. Man geht bei Prognosen zum Umfang solcher Auskolkungen oft davon aus, dass der Durchmesser der konischen Vertiefung um ein OWEA-Monopile-Fundament in Hauptströmungsrichtung etwa beim Fünffachen von dessen Durchmesser liegt (De Vos, L, 2008).

Die Einbringung eines Kolkschutzes in Form von Steinschüttungen um die Fundamente der Windenergieanlagen ist vorgesehen, um Erosionen bzw. Auskolkung am Standort zu vermeiden.

Mit großräumigen Auswirkungen auf die Sedimentdynamik durch die Anlagen des Windparks ist nicht zu rechnen, da Veränderungen des Strömungsfeldes auf die unmittelbare Umgebung der Anlagen beschränkt bleiben.

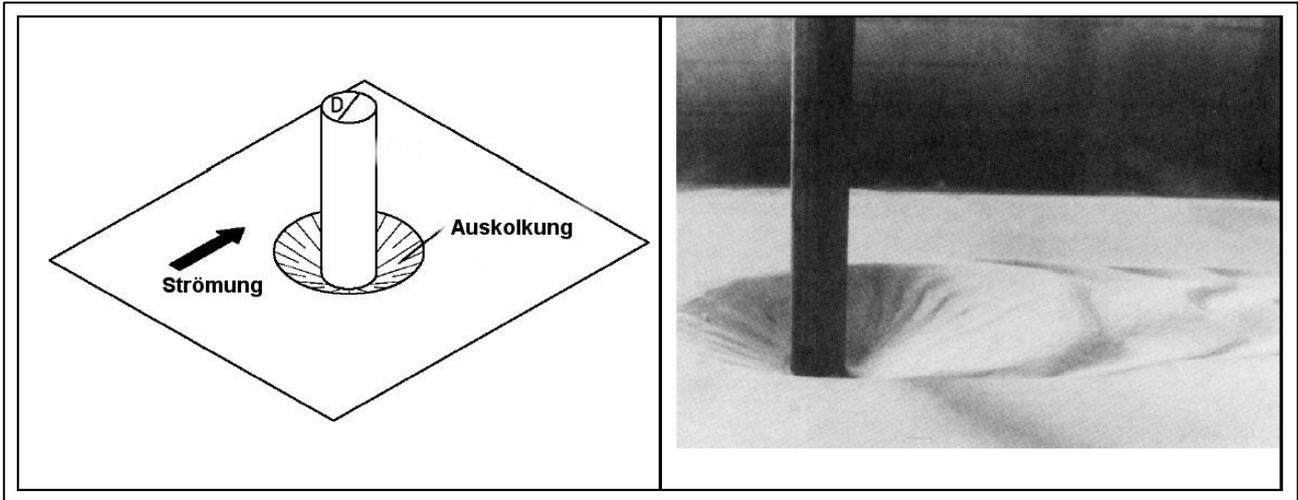


Abb. 16: Auskolkungen um eine ungeschützte Monopile-Gründung in Sandböden

6. Auswirkungen des Vorhabens auf den Sedimenthaushalt

Auf der Grundlage des gegenwärtigen Planungsstandes wird davon ausgegangen, dass unter Berücksichtigung der Wassertiefen im Vorhabengebiet (12,5 m bis ca. 20 m) und der o. g. Ergebnisse geologisch-geotechnischer Untersuchungen die 63 OWEA des Windparks Gennaker auf Monopiles gegründet werden. Die durch Rammen in den Meeresboden eingebrachten Monopiles haben nach Planungsstand für die geplanten Anlagen einen Durchmesser von maximal 9 m. Die dadurch dauerhaft durch Versiegelung mit Hartsubstrat in Anspruch genommene Fläche des Meeresbodens läge demnach insgesamt bei ca. 4.008 m², d. h. bei einem Bruchteil (ca. 0,009 %) des Vorhabengebietes (ca. 44,2 km²).

Die erforderliche Fläche für das Ausbringen eines Kolkschutzes kann wie folgt abgeschätzt werden: Der potenziell bei Annahme von 1:5-Böschungswinkeln von bis zu etwa 3,2 m tiefen Kolkungen dauerhaft betroffene Bereich des Meeresbodens umfasst nach o. g. Schätzung zum Verhältnis zwischen Monopile- und Kolkdurchmesser etwa 82.367 m² (0,19 % der Vorhabenfläche). Hier erfolgt durch den Kolkschutz ein dauerhafter Substratwechsel von Sand- zu Hartsubstrat bzw. ohne Kolkschutz würden hier Teile des Sediments um- bzw. ausgelagert. Ein stabiles sedimentdynamisches Gleichgewicht zwischen Abrasion und Deposition würde sich ohne Kolkschutz hier innerhalb etwa eines Jahres einstellen.

Da der Schluff- und Tonanteil der Oberflächensedimente gering ist, kommt es bei den Gründungsarbeiten (Rammen von Monopiles) kaum zu Sedimentaufwirbelungen und -umlagerungen.

Die Innerparkverkabelung in Offshore Windparks wird i. d. R. auf eine Tiefe von 0,6 bis 1,0 m unterhalb des Meeresbodens eingespült, wobei die spezielle Morphologie des Meeresbodens berücksichtigt wird, um ein Freispülen der Kabel im Laufe der Jahre zu verhindern.

Die Kabel werden durch ein selbstfahrendes oder gezogenes ROV (Remotely Operated Vehicle), einem Trencher eingebracht. Damit beschränkt sich der Bodenkontakt auf das Schwert mit einer Breite von etwa 50 cm und die Ketten des ROV mit einer Breite von insgesamt 2 m. Dies führt zu einer Beeinflussung des Bodens auf einer Breite von 2,5 m. Mit der Länge der Innerparkverkabelung von maximal 130 km ist damit temporär eine Sedimentfläche von ca. 0,33 km² der Vorhabenfläche betroffen (rund 0,75 % der Fläche).

Auf den regionalen Sedimenthaushalt der Darßer Schwelle bzw. der Falster-Rügen-Sandplatte haben die baubedingten Veränderungen durch Sedimentumlagerungen und Gewässertrübungen beim Einspülen der OWP-internen Seekabel nur geringe temporäre Auswirkungen.

Dr. M. Mossbauer

Dipl.-Ing. R. Kacan

Sachverständige der TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co. KG

7. Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- Bobertz, B. (2000). Regionalisierung der sedimentären Fazies der südwestlichen Ostsee. Dissertation. Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.
- Bohling, B. (2003). Untersuchungen zur Mobilität natürlicher und anthropogener Sedimente in der Mecklenburger Bucht. Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. 159 S.
- De Vos, L. (2008). Optimisation of Scour Protection Design for Monopiles and Quantification of Wave Run-up, Doktorarbeit, Universität Gent.
- Duwe, K.; Buckmann, K. (2024). Untersuchung der Hydrodynamik im Bereich des geplanten Offshore Windparks „Gennaker“. Studie im Auftrag der OWP Gennaker GmbH, Revision Nr. 3 der gleichnamigen Studie K. DUWE et al. 2016 vom 31.01.2024.
- Elsamprojekt. (1999). Horns Rev Wind Power Plant – Environmental impact assessment of hydrography. (nach MELVILLE, B. & S. COLEMAN (2000): Bridge Scour. Water Resources Publications, LLC.).
- Harff, J. (2003). Projekt DYNAS - Dynamik natürlicher und anthropogener Sedimentation. Vorhaben: Sedimentationsprozesse in der Mecklenburger Bucht – Abschlussbericht (Meilenstein 6). IOW Warnemünde, 135 S.
- Heise, B. (2002). Strömungsschwankungen am Meeresboden zwischen Mecklenburger Bucht und Arkonabecken nach Modellierungsergebnissen und mögliche Auswirkungen auf die Sedimentation. Diplomarbeit, Greifswald.
- IfAÖ. (2022). IfAÖ. (2022). - Institut für Angewandte Ökosystemforschung: Fachgutachten "Benthos" für das Offshore-Windparkprojekt "Gennaker".
- IfAÖ. (2024). - Institut für Angewandte Ökosystemforschung: Fachgutachten "Benthos" für das Offshore-Windparkprojekt "Gennaker", 4. Jahr der Basisaufnahme, Betrachtungszeitraum Herbst 2023/Frühjahr 2024 (in Erstellung).
- Jäger. (1989). Akustik der Sedimente der Darßer Schwelle, Karte Maßstab 1:35.000.
- Kolp, O. (1954). Meeresbodenkarte des Seegebietes Darßer Ort – Hiddensee, Warnemünde 1954.
- Kolp, O. (1965). Paläogeographische Ergebnisse der Kartierung des Meeresgrundes der westlichen Ostsee zwischen Fehmarn und Arkona. Beiträge zur Meereskunde, Berlin 12/14, 19-65.
- Lange, D. (1984). Geologische Untersuchungen an spätglazialen und holozänen Sedimenten der Lübecker und Mecklenburger Bucht. Unveröffentlichte Dissertation (B). Institut für Meereskunde, Warnemünde, 166 S.
- Lange, D.; Jäger, W. (1982). Petrophysikalische Untersuchungen an Sedimenten der Darßer Schwelle. Forschungsbericht, SHD.
- Lange; Schmedemann. (1985). Sedimente der Mecklenburger Bucht, Karte Maßstab 1:100.000.
- Lange; Schmedemann. (1986). Reliefkarte der Mecklenburger Bucht, Karte Maßstab 1:100.000.

Leipe, T; Bahlo, R. (2003). Ergebnisse des Eventsamplereinsatzes. In: Harff, J. (Koordinator): Projekt: DYNAS - Dynamik natürlichen und anthropogener Sedimentation; Vorhaben: Sedimentationsprozesse in der Mecklenburger Bucht. Abschlußbericht (Meilenstein 6). S. 74-77.

Lemke, W. (1994). Spät- und postglaziale Sedimente der westlichen Ostsee. Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, Berlin 22 (1/2), 275-286.

Lemke, W. (1998). Sedimentation und paläogeographische Entwicklung im westlichen Ostseeraum (Mecklenburger Bucht bis Arkonabecken) vom Ende der Weichselvereisung bis zur Litorinatransgression. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswal.

Lemke, W.; Kuijpers, A.; Hoffmann, G.; Milkert, D.; Atzler, R. (1994). The Darss Sill, hydrographic threshold in the southwestern Baltic: Late Quaternary geology and recent sediment dynamics. Continental Shelf Research 14 (7/8), 847-870.

Neumann, G. (1981). Lagerungsverhältnisse spät- und postglazialer Sedimente im Arkona-Becken. Unveröffentlichte Dissertation (A), Universität Rostock, 164 S.

OWP Gennaker GmbH. (2024). Projektbeschreibung – Vorhaben: Offshore-Windpark Gennaker.

Tauber, F.; Lemke, W. (1995). Map of sediment distribution in the western Baltic Sea (1:100,000), sheet „Darß“. Deutsche Hydrographische Zeitschrift 47 (3), 171-178.

TNU. (2022). TÜV NORD Umweltschutz - Sedimentgutachten zum Vorhaben Errichtung und Betrieb des Offshore-Windparks "Gennaker". Rostock.

VBW. (2016). Vermessungsbüro Weigt - Geophysikalische Untersuchung, Projekt: Offshore-Windpark "Gennaker", Endbericht, DEU_VBW_P15082501_OWP_GEN_Rev01, 22.06.2016, 170 S.

VBW. (2022). Vermessungsbüro Weigt - Offshore Wind Farm Geennaker Bathymetry Survey 2022 - final report.