

ERLÄUTERUNGSBERICHT BAGGERGUTVERBRINGUNGSKONZEPT

Auftraggeber: **Hanse- und Universitätsstadt Rostock**
Hafen- und Seemannsamt
Warnowufer 60a
18057 Rostock

Vorhaben: **Umgestaltung Werftbecken Warnemünde**
Maritimer Gewerbepark für nachhaltige Energietechnologien
Projekt 5:
HERSTELLUNG DER VORSTELLFLÄCHE UND
NASSBAGGERUNG

Phase: **Entwurfs- und Genehmigungsplanung**

IL - Auftrags-Nr.: **2017-0282**

Rostock, 22.11.2024


Torsten Retzlaff
Geschäftsführender Direktor


i. V. Tobias Günzl
Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung Baggergutverbringungskonzept	7
2	Projektziele / Projektgrundlagen	8
2.1	Projektziele und Projekthistorie	8
2.2	Örtliche Gegebenheiten und Bestand	9
2.3	Lokale geologische und hydrogeologische Situation.....	10
2.4	Wasserstandsschwankungen/-strömungen im Hafenbecken	12
2.5	Geotechnische Eigenschaften der Böden im Baggerbereich	13
2.5.1	Sedimente (umgelagertes Baggergut und Sedimentauflage)	13
2.5.2	Geschiebemergel.....	14
2.6	Kennzeichnung durch das Vorhaben direkt betroffener Wasserkörper	15
2.6.1	Grundwasserkörper	15
2.6.2	Oberflächenwasserkörper.....	16
2.7	Kampfmittelbelastung	16
3	Situation Bestand	17
4	Schaffung einer maritimen Vorstellfläche	18
4.1	Zielstellung zur Nutzung der Vorstellfläche	18
4.2	Alternativen zur Errichtung der maritimen Vorstellfläche.....	18
4.3	Varianten zur Umsetzung von Alternative A und B	19
4.4	Vergleich der technischen Machbarkeit Alternative A und B	20
4.5	Vergleich der wirtschaftlichen Kriterien der Alternativen A und B.....	21
4.6	Umweltfachlicher Vergleich der Alternativen A und B	22
4.7	Schlussfolgerung.....	23
5	Alternative A: Maßnahmen zur dauerhaften Einkapselung der belasteten Sedimente im Hafenbeckenbereich während der Nutzung der Vorstellfläche.....	24
5.1	Spundwände Verfüllbereich - Endzustand	24
5.2	Flächenbau Verfüllbereich - Endzustand	25
5.3	Bewertung des End-Zustandes der eingekapselten Sedimente	25
5.3.1	Schadstoffbindung und -transport	25
5.3.1.1.	Oberflächengewässer.....	25
5.3.1.2.	Grundwasserkörper	26
5.3.1.3.	Schwebstoffe	29
5.3.2	Bewertung einzelner Wirkungspfade.....	29

5.3.2.1.	Wirkungspfad Sediment – Mensch.....	29
5.3.2.2.	Wirkungspfad Sediment – Oberflächengewässer – (Mensch).....	29
5.3.2.3.	Wirkungspfad Sediment – Grundwasser – (Mensch).....	30
5.3.2.4.	Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier – (Mensch).....	30
5.3.3	Schlussfolgerung	30
5.4	Setzungen während der Nutzung der Vorstellfläche	30
6	Alternative A: Variantenuntersuchung zur Nassbaggertechnologie und Sedimentumlagerung.....	32
6.1	Vorbemerkungen.....	32
6.2	Vorsondierungen vor dem Beginn der Nassbaggerung	33
6.3	Nassbaggertechnik zur Aufnahme der Sedimente	33
6.3.1	Variante A: Aufnahme der Sedimente mittels geschlossenem Greifer	34
6.3.2	Variante B: Aufnahme der Sedimente mit Hilfe von Saugbaggern	36
6.4	Reinigung der Sedimentbaggerfläche vor Geschiebemergelbaggerung	36
6.5	Baggerung und Verbringung vom Geschiebemergel	37
6.6	Untersuchung zur Technologie für den Transport und die Umlagerung der Sedimente	39
6.6.1	Vorbemerkungen	39
6.6.2	Variante 1: Baggerung und schiffsseitige Verbringung in den Verfüllbereich	39
6.6.3	Variante 2: Baggerung und Schiff-Schiff-Umlagerung in den Verfüllbereich	40
6.6.4	Variante 3: Hydraulisch gestützte Umlagerung	41
6.6.5	Variantenvergleich	44
6.7	Bewertung der Folgekosten.....	46
6.8	Schlussfolgerung.....	47
7	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen zur Nassbaggerung	48
7.1	Vorbemerkungen.....	48
7.2	Aufnahme von Sedimenten außerhalb des Werftbeckenbereiches.....	50
7.3	Gewässerschutzmaßnahmen während der Baumaßnahme	51
7.4	Abbruchkriterien für die Sedimentumlagerung im Werftbeckenbereich	52
8	Durchführung der Konsolidierungsmaßnahmen der umgelagerten Sedimente	53
8.1	Allgemeines.....	53
8.2	Verbringung des Rohwassers aus der Konsolidierung.....	53
8.2.1	Setzungszeiten und Wassermengen	53
8.2.2	Chemische Zusammensetzung des Porenwassers	53
8.2.3	Ableitung des gesammelten Rohwassers	53
8.2.4	Wasserrechtliche Erlaubnis	54
8.2.5	Reinigung des Rohwassers vor der Einleitung.....	54

8.2.6	Einleitwerte.....	56
8.2.7	Überwachungsprogramm	58
8.2.8	Vorgehen bei Störfällen	58
9	Ermittlung der Nassbaggermengen	59
9.1	Nassbaggergut Mudde	59
9.2	Nassbaggerung Geschiebemergel	59
10	Transfer- und Wirkungspfade während der Nassbaggerung und der bauzeitlichen Verbringung der Sedimente.....	60
10.1	Bewertung der vorhandenen Situation der Sedimente im Werftbecken	60
10.1.1	Vorliegende Unterlagen.....	60
10.1.2	Schadstoffbindung und -transport	60
10.1.3	Bewertung der Sedimente für eine Umlagerung.....	61
10.1.3.1.	<i>Vorbemerkungen</i>	<i>61</i>
10.1.3.2.	<i>Mudde, Hafenschlick (Sedimentauflage).....</i>	<i>62</i>
10.1.3.3.	<i>Mudde, Hafenschlick (umgelagertes Baggergut Dockgrube)</i>	<i>62</i>
10.1.3.4.	<i>Geschiebemergel.....</i>	<i>63</i>
10.1.3.5.	<i>Bewertung der geochemischen Eigenschaften</i>	<i>63</i>
10.1.4	Bewertung einzelner Wirkungspfade	66
10.1.4.1.	<i>Wirkungspfad Sediment – Mensch.....</i>	<i>66</i>
10.1.4.2.	<i>Wirkungspfad Sediment – Oberflächengewässer – (Mensch).....</i>	<i>66</i>
10.1.4.3.	<i>Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier – (Mensch).....</i>	<i>66</i>
10.2	Bewertung der Nassbaggerung und bauzeitlichen Verbringung der Sedimente....	67
10.2.1	Vorliegende Unterlagen.....	67
10.2.2	Schadstoffbindung und -transport	67
10.2.3	Porenwasser während der Bauausführung.....	69
10.2.3.1.	<i>Mengen</i>	<i>69</i>
10.2.3.2.	<i>Frachten</i>	<i>70</i>
10.2.3.3.	<i>Frachten</i>	<i>71</i>
10.2.4	Bewertung einzelner Wirkungspfade	73
10.2.4.1.	<i>Wirkungspfad Sediment (Schwebstoffe) – Mensch.....</i>	<i>73</i>
10.2.4.2.	<i>Wirkungspfad Porenwasser – Oberflächengewässer – (Mensch).....</i>	<i>73</i>
10.2.4.3.	<i>Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier – (Mensch).....</i>	<i>73</i>
11	Durchführung der Monitoringprogramme für den Gewässerschutz.....	74
11.1	Durchführung des Monitoringprogramms für das Oberflächenwasser	74
11.2	Durchführung des Monitoringprogramms für das Grundwasser	77
12	Quellenverzeichnis.....	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtlageplan Gebietsentwicklung	9
Abbildung 2: Dockgrube (Kontur in rot) mit Peildaten Hafenbecken	10
Abbildung 3: Messdaten Pegel Warnemünde im Beobachtungszeitraum 19.09.2018 bis 10.03.2023	13
Abbildung 4: Kornverteilungsband Mudde/Hafenschlick	14
Abbildung 5: Kornverteilungsband Geschiebemergel	15
Abbildung 6: Ablaufschema der Alternativen- und Variantenprüfung	20
Abbildung 7: Draufsicht Spundwandkasten mit Dichtwänden	25
Abbildung 8: Messdaten Pegel Warnemünde (blau) und Grundwasserleiter 1 im Beobachtungszeitraum 19. September 2018 bis 10. März 2023	27
Abbildung 9: Messdaten Pegel Warnemünde (blau) und Grundwasserleiter 2 (rot) im Beobachtungszeitraum März 2021 bis Februar 2022	29
Abbildung 10: Muddemächtigkeiten im Vorhabengebiet	32
Abbildung 11: Geschlossener Greifer für Nassbaggermaßnahmen, horizontal (Bild links) schließend	34
Abbildung 12: Schnitt Bestand Liegeplätze P11/P12 (hoher Pfahlrost und überbaute Böschung)	35
Abbildung 13: Lageplan Nassbaggerung – Mudde/Schluff	35
Abbildung 14: Laderaumsaugbagger, schematisch	36
Abbildung 15: Geotube im Wasserbau	37
Abbildung 16: Lageplan Nassbaggerung – Geschiebemergel (erste Ausbaustufe Liegeplatz P11)	38
Abbildung 17: beispielhafter Hydraulikbagger (Backhoe) mit Schutenbeladung	38
Abbildung 18: Beispiel einer möglichen Baggereinheit der Fa. Hojmarine	39
Abbildung 19: Prinzipdarstellung Variante 1: Baggerung und Transport in Verfüllbereich	40
Abbildung 20: Muddebaggerung mit Greifer auf Materialponton mit Pumpen (© Heinrich Hirdes)	42
Abbildung 21: Beispielhafter Schubleichter mit Pumpeninstallation (© Heinrich Hirdes)	43
Abbildung 22: Luftbild des Hafenbeckens mit Lageeinordnung der bauzeitlichen Sicherung (rot)	48
Abbildung 23: Schlickvorhang im Projekt Vuosari, Finnland (Quelle: CEDA, IADC (2018))	49
Abbildung 24: Strömungsdiagramm einer Druckluftsperrre	49
Abbildung 25: Lageplanausschnitt Nassbaggerungen (Bereich außerhalb Hafenbecken - rot)	50
Abbildung 26: Übergabeschacht Porenwasser, Wasserreinigungsanlage und Einleitstelle	54
Abbildung 27: Lageplan – Anordnung der Messpunkte	74
Abbildung 28: Lageplan – Grundwassermonitoringpegel (GWMP) Vorstellfläche	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lithostratigraphischer Schichtenaufbau in der unmittelbaren Umgebung.....	11
Tabelle 2: Hauptzahlen des Wasserstands am Pegel Warnemünde für den Zeitraum 01.11.2010 bis 31.10.2020 (Quelle: Geoportal MV)	12
Tabelle 3: Vergleichende Bewertung der Alternativen, Betrachtungsteil A – technische Machbarkeit..	21
Tabelle 4: Vergleichende Bewertung der Varianten, Betrachtungsteil A – technologische Machbarkeit	44
Tabelle 5: Vergleichende Bewertung der Varianten, Betrachtungsteil B – Wirtschaftlichkeit	45
Tabelle 6: Übernahme der umweltfachlichen Ergebnisse der Betrachtungen aus beigefügtem Dokument „umweltfachlicher Alternativenvergleich“, Tabelle 60	45
Tabelle 7: Vergleichende Bewertung der Varianten, Zusammenfassung	47
Tabelle 8: Einleitzielwerte für abzuleitendes Porenwasser aus der Konsolidierung	57
Tabelle 9: Volumenermittlung Nassbaggergut Mudde	59
Tabelle 10: Volumenermittlung Nassbaggerung Geschiebemergel.....	59
Tabelle 11: Zusammenstellung der Minimal- und Maximalkonzentrationen der Leitparameter in der Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) in den Bohrungen 2018 (WB) und den Linerproben 2021 (DG) im Bereich des Wertbeckens außerhalb der Dockgrube	62
Tabelle 12: Konzentrationen der Leitparameter in der Sedimentauflage in den Bohrungen 2018 (WB) im Randbereich und den Linerproben 2021 (DG) innerhalb der Dockgrube	62
Tabelle 13: Vergleich der Maximalkonzentrationen der untersuchten Parameter in der Sedimentauflage der Werftbeckens (ohne Dockgrube) mit den Konzentrationsgrenzen nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/LAGA (2021)	64
Tabelle 14: Vergleich der Maximalkonzentrationen der untersuchten Parameter in der Sedimentauflage der Dockgrube mit den Konzentrationsgrenzen nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/LAGA (2021).....	65
Tabelle 15: prognostizierter Schadstoffeintrag ins Werftbecken über gelöste Stoffe	70

1 Zusammenfassung Baggergutverbringungskonzept

Das vorliegende Baggergutverbringungskonzept ist Teil der Planungsmaßnahme zur Umgestaltung des Werftbeckens Warnemünde zu einem **maritimen Gewerbepark für nachhaltige Energietechnologien**.

In dem Baggergutverbringungskonzept werden folgende Alternativen zur Herstellung einer maritimen Vorstellfläche am Ende des Werftbeckens miteinander verglichen.

- (1) **Alternative A** – Errichtung der Vorstellfläche unter Verwendung der belasteten Sedimente des Werftbeckens als Verfüllmaterial.
- (2) **Alternative B** – Errichtung der Vorstellfläche mit einer Sandauffüllung / landseitige Entsorgung der belasteten Sedimente aus dem Werftbecken.

Im Rahmen der umweltfachlichen Untersuchung beider Alternativen kann geschlussfolgert werden, dass beide Vorgehensweisen **machbare Lösungen** darstellen. Unter Berücksichtigung der geplanten Schutz- und Minderungsmaßnahmen, der kontinuierlichen Überwachung im Rahmen von Grundwasser- und Oberflächenwasser-Monitoring und der grundsätzlich positiven Wirkungen durch die land- und wasserseitige Altlastensanierung ist die **Genehmigungsfähigkeit beider Alternativen gegeben**.

Die vorhandenen schadstoffhaltigen Sedimente im Werftbecken werden bei der Umsetzung der Baumaßnahmen dauerhaft vor Ort gesichert, die Wasserqualität der Warnow signifikant verbessert und die Umsetzung der Projektziele sichergestellt.

Die Mehrkosten der Alternative B gegenüber der Alternative A betragen ca. 36 Mio. € (netto). Diese signifikant höheren Baukosten der Alternative B übersteigen das vorhandene Budget des Auftraggebers zur Projektrealisierung. Somit wird die Umsetzung der Alternative B auftraggeberseitig ausgeschlossen.

2 Projektziele / Projektgrundlagen

2.1 Projektziele und Projekthistorie

Der Planungsbeginn zur Umgestaltung des Werftbeckens Warnemünde erfolgte mit der Entwicklungskonzeption im Jahr 2016.

Die Bürgerschaft der Hanse- und Universitätsstadt Rostock (HRO) hat am 05.04.2017 mit dem Beschluss 2017/BV/2515 auf Grundlage des vorgelegten Entwicklungskonzeptes entschieden, „die Flächen um das Werftbecken Warnemünde als Mehrzweckhafen (Mischnutzung für Gewerbe und Kreuzfahrttourismus) zu entwickeln und die Planungs- und Genehmigungsverfahren für die Umnutzung und Wiederbelebung des Gewerbe- und Hafenareals an diesem herausragenden Standort durchzuführen“.

Gegenstand des im Jahr 2018 eingereichten Planfeststellungsantrages zur Umgestaltung des Werftbeckens Warnemünde waren der Neubau der Hafenanlagen (Liegeplätze P09, P10, P11 und P12), die Entwicklung der angrenzenden Flächen für die öffentlich-maritime und gewerbliche Nutzung der Liegeplätze sowie für die Kreuzschifffahrt, ein Konzept zur Baggerung und Verbringung anthropogen schadstoffbelasteter und unbelasteter Werftsedimente sowie die landseitige Altlastensanierung. Vor dem Hintergrund von gescheiterten Verhandlungen zur Flächenübernahme mit den ehemaligen MV-Werften, dem in den zur Planfeststellung eingereichten Unterlagen dargestellten Maßnahmenumfang sowie den Gesamtinvestitionskosten, wurde seitens der HRO entschieden, den Antrag auf Planfeststellung am 16.07.2020 zurückzuziehen.

Ziel der nunmehr verfolgten planerischen Maßnahmen ist die **Umgestaltung des Werftbeckens Warnemünde** sowie der unmittelbar angrenzenden Landflächen und damit die Entwicklung eines **maritimen Gewerbeparks für nachhaltige Energietechnologien**.

Im Rahmen der Energiewende nehmen die Offshore-Energieerzeugung und die damit in Zusammenhang stehende Forschungsarbeit eine zentrale Rolle in der Gestaltung der Zukunftsfähigkeit Deutschlands ein. Vor diesem Hintergrund sollen im Vorhabengebiet die infrastrukturellen Voraussetzungen für Betriebs- und Logistikzentren der Offshore-Windenergietechnik und Offshore-Windenergieanlagen-Wartung, als Forschungsstandort sowie als multifunktionaler Betriebshafen entwickelt werden. Dabei ordnet sich das Vorhaben in die maritime Umgebungsnutzung (z.B. Marinearsenal/Warnowwerft, Hafenbetrieb, Kreuzfahrtterminals P7/8) ein.

Die im Werftbecken anzutreffenden Sedimente und die angrenzenden Landflächen sind insbesondere durch die intensiven Vornutzungen, einschließlich der durch Bombenangriffe im 2. Weltkrieg verursachten Schäden, bereichsweise mit anorganischen und organischen Schadstoffen befrachtet.

Die Erkundung der anthropogenen Schadstoffgehalte und der Schadstoffverteilung im Werftbecken erfolgte seit den 90er Jahren im Rahmen umfangreicher Untersuchungen. Die jeweiligen Untersuchungen kamen zum Ergebnis, dass Handlungsbedarf im Sinne von Sanierungsmaßnahmen für die kontaminierten Sedimente im Werftbecken im Hinblick auf eine Beeinträchtigung des Oberflächengewässers der Unterwarnow bei Beibehaltung des Ist-Zustandes nicht besteht. Die Gutachter kamen ferner zum Schluss, dass die Auswirkungen späterer Ausbau- oder Instandhaltungsmaßnahmen auf eine Remobilisierung und Verlagerung von belastetem Sedimentmaterial und die Auswirkungen im Hinblick auf die

Bewirtschaftungsziele gemäß §§ 27 bis 31 und § 44 WHG und das Verschlechterungsverbot gesondert geprüft werden müssen.

Ein Ziel der Maßnahmen besteht darin, einen Austrag von schadstoffbelasteten Sedimenten aus dem Hafenbecken in die Unterwarnow sicher und dauerhaft zu unterbinden und damit einen wesentlichen Beitrag zur dauerhaften Umsetzung des Verbesserungsgebotes im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie in der Unterwarnow zu leisten.

Aus den o.g. Entwicklungszielen des Vorhabensgebietes wurde ein Ausbautentwurf gemäß der nachstehenden Abbildung 1 / Zeichnungsnummer „WB LP 00 0003 0 P - LP Gebietsentwicklung Hafeninfrastruktur“ erarbeitet.

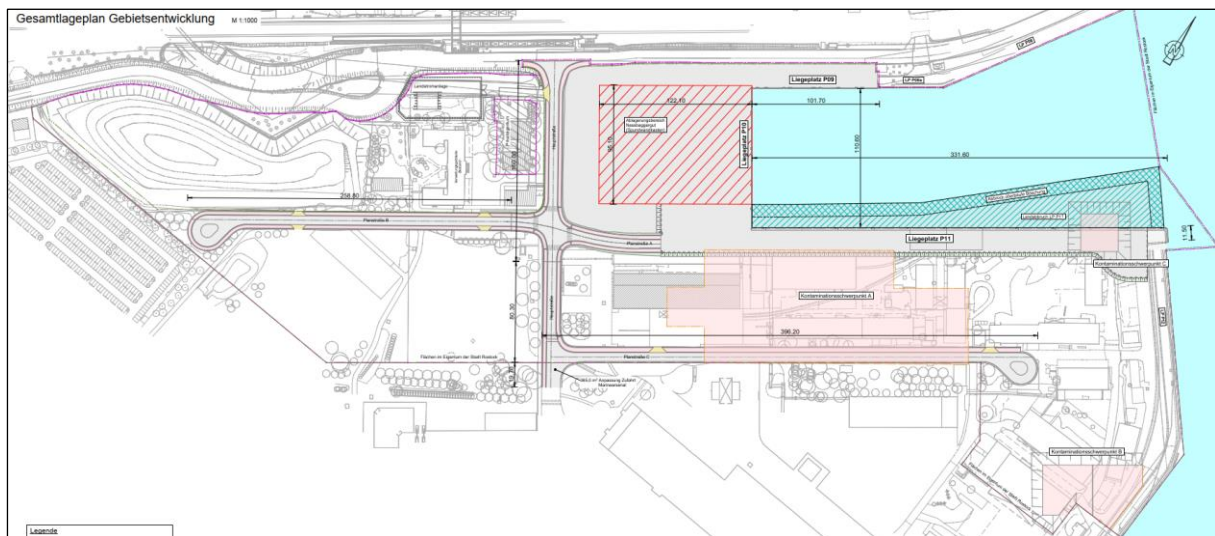


Abbildung 1: Gesamtlageplan Gebietsentwicklung

2.2 Örtliche Gegebenheiten und Bestand

Das Vorhabengebiet zur Erneuerung der Liegeplätze P09 bis P11 und zur landseitigen Gewerbegebieterschließung umfasst Teile des ehemaligen Werftareals in Rostock-Warnemünde sowie die unmittelbar angrenzenden Wasserfläche im Werftbecken. Es liegt außerhalb von Schutzgebieten und die landseitigen Flächen sind nach jahrzehntelanger Nutzung als Werft- und Industriestandort infolge der weitgehenden Nutzungsaufgabe als Industriebrache einzustufen.

Die Liegeplätze im Projektgebiet – P09, P10, P11 und P12 – sind derzeit aufgrund unzureichender Standsicherheit gesperrt. Die nördlich angrenzenden Liegeplätze (P8a, P8 und P7) werden insbesondere in der Kreuzfahrtsaison genutzt.

Das wasserseitige Vorhabengebiet ist Teil der Unterwarnow, die dem Küstengewässer zuzuordnen ist und im Hafengebiet der Hanse- und Universitätsstadt Rostock (HRO) liegt. Es grenzt im Osten an den Seekanal Rostock an und ist außerhalb der Bundeswasserstraße Warnow gelegen.

Im Werftbecken befindet sich die ehemalige Dockgrube des Schwimmdocks (Schwimmdock I) aus dem historischen Werftbetrieb. Die Dockgrube wurde im Zuge vergangener Hafenbaumaßnahmen mit Sedimenten aus Nassbaggerungen teilweise verfüllt.

Die Baugrundsichtung im Werftbecken zeichnet sich durch Seesedimente (Hafenschlick/Mudde) über Geschiebemergel aus. Im Bereich der Dockgrube liegen die Sedimente teilweise auch auf anstehenden Sanden. Unterhalb der Sande steht dann wiederum der Geschiebemergel an. Weitere Erläuterungen zu den geologischen und hydrogeologischen Standortverhältnissen sind dem Abschnitt 2.3 zu entnehmen.

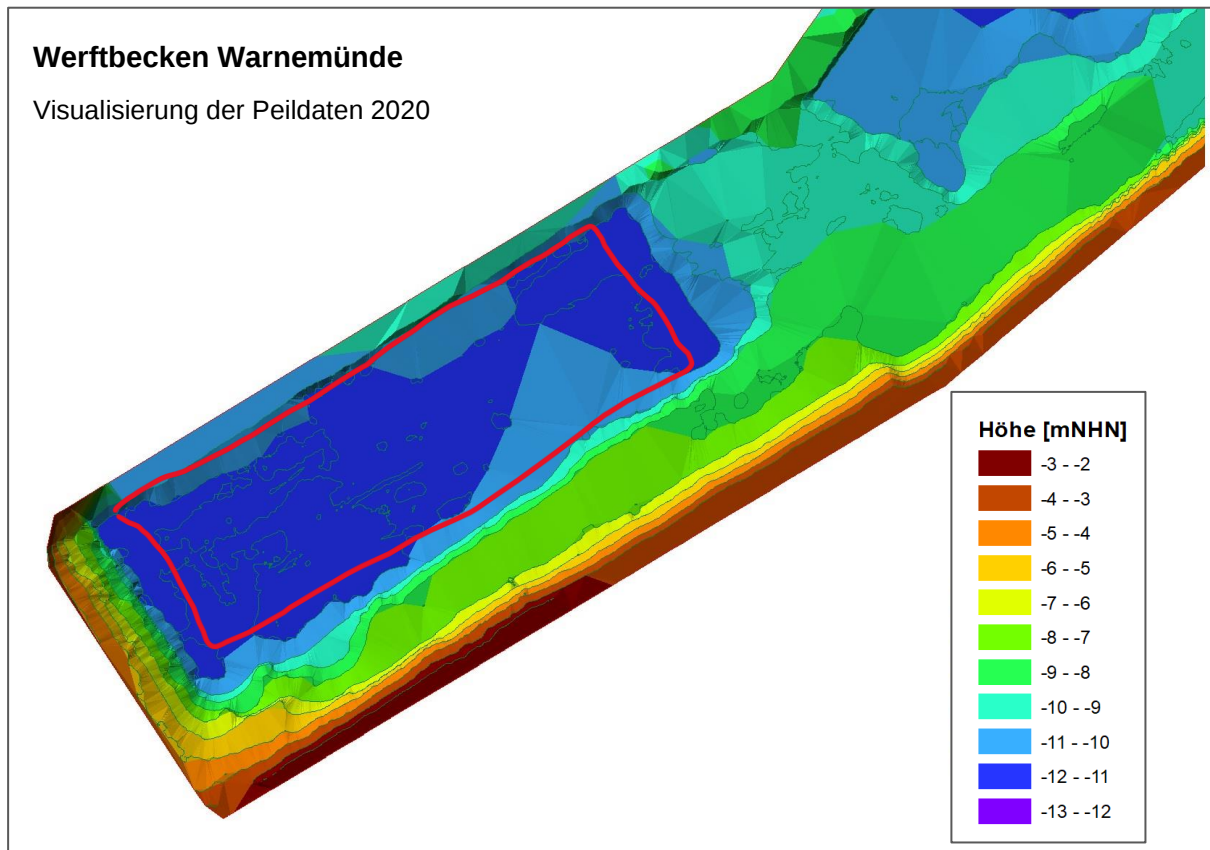


Abbildung 2: Dockgrube (Kontur in rot) mit Peildaten Hafenbecken

Die Dockgrube wurde bereits in der Vergangenheit umfangreich planerisch betrachtet. Das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU-MM) hatte im Zuge der erlassenen Genehmigung vom 29.03.2011 bereits die Auflage formuliert, dass „nach Konsolidierung der Teil des Werftbeckens im schadstoffbelasteten Bereich der Dockgrube durch Einspundung und Versiegelung zu sichern ist“.

2.3 Lokale geologische und hydrogeologische Situation

Nach den umfangreichen Standortuntersuchungen ist eine genaue Beschreibung der lokalen geologischen und hydrogeologischen Situation im Bereich und in der unmittelbaren Umgebung des Werftbeckens möglich. Somit kann ein, die Gesamtsituation hinreichend genau erfassendes, konzeptionelles Standortmodell erarbeitet werden.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich der Grundmoräne des Mecklenburger Vorstoßes der Weichsel-Eiszeit, wurde aber durch Ausläufer des Warnowtals (ehemalige Schmelzwasserrinne) überprägt.

Die generalisierte Schichtenfolge in der unmittelbaren Umgebung des Werftbeckens zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Lithostratigraphischer Schichtenaufbau in der unmittelbaren Umgebung

Zeitliche Einordnung		Genese	Grundwasserleiter	Geotechnische Schichtenfolge aus Baugrundgutachten ¹
Quartär	Holozän	anthropogene Auffüllungen	1	Nr. 1 - Auffüllungen
		holozäne Sande		Nr. 2 - holozäne Bildungen
		organische Bildungen		
	Pleistozän	Geschiebemergel des Pommer-schen Stadiums der Weichsel-Kaltzeit, teilw. zu Geschiebelehm verwittert (GWGL 1)		Nr. 3a - Geschiebemergel, Geschiebelehm
		Vorschüttbildungen des Pommer-schen Stadiums bzw. Nachschüttbildungen des Brandenburger Stadiums der Weichsel-Kaltzeit	2	Nr. 2 - Feinsande
		Geschiebemergel des Brandenburger Stadiums der Weichsel-Kaltzeit (GWGL 2)		Nr. 3b - Geschiebemergel
		glazifluviatile Ablagerungen, Vorschüttbildungen des Brandenburger Stadiums der Weichsel-Eiszeit	3	Nr. 4 - Feinsand
		Geschiebemergel der Saale-Kaltzeit (GWGL 3)		Nr. 3b - Geschiebemergel

Im Werftbecken selbst ist die in der Tabelle 1 dargestellte Schichtenfolge nicht vollständig ausgebildet.

An der Basis des Hafenbeckens stehen verbreitet Auffüllungen (umgelagerte Gewässersedimente) und natürliche organische Sedimente (Mudde und Torfe) über den pleistozänen Sanden und Geschiebemergel an.

Die umgelagerten Gewässersedimente und natürlichen organischen Sedimente werden nachfolgend unter dem Begriff "Sedimentauflage" (Mudde, Hafenschlick) zusammengefasst und bewertet.

Die Auffüllungen und die holozänen, lokal auch pleistozänen Decksande bilden im Planungsgebiet den ersten, nicht abgedeckten Grundwasserleiter (Grundwasserleiter 1, GWL 1).

Die organischen Böden sind nicht flächig ausgebildet und stellen so keinen wirksamen Grundwassergeringleiter dar.

¹ Die Schichtnummierungen entsprechen grundsätzlich denen der Baugrund- und Gründungsgutachten für das Vorhaben.

Der unter den oben beschriebenen Ablagerungen anstehende, weitgehend flächig und in Mächtigkeiten von ca. 6 bis 10 m ausgebildete obere Geschiebemergel der Weichsel-Kaltzeit, stellt im Untersuchungsgebiet den ersten Grundwassergeringleiter (GWGL 1) dar.

Der obere Geschiebemergel bildet im Planungsgebiet eine relativ sichere Abdeckung für die unterhalb in Tiefen von ca. 14 m unter GOK (ca. -13 m NHN bis -14 m NHN) anstehenden glazifluvialen Sande. Diese glazifluvialen Sande bilden im Untersuchungsgebiet den abgedeckten Grundwasserleiter 2 (GWL 2).

Im Bereich der Dockgrube im nördlichen Teil des Werftbeckens wurde der obere Geschiebemergel ausgeräumt, so dass hier die sichere Abdeckung fehlt.

Unterhalb des Geschiebemergels des Brandenburger Stadiums der Weichselkaltzeit (GWGL 2) wurden bei Bohrungen Sande aufgeschlossen, die den Grundwasserleiter 3 (GWL 3) bilden.

2.4 Wasserstandsschwankungen/-strömungen im Hafenbecken

Der Wasserstand im Hafenbecken korrespondiert in natürlicher Weise ohne nennenswerte Phasen- und Amplitudenverschiebungen mit dem Wasserstand der Unterwarnow.

In Tabelle 2 sind die Hauptzahlen des Wasserstandes für den Pegel Warnemünde (Stations-Nr.: 9640015) aufgeführt, der ca. 850 m östlich des Werftbeckens auf der gegenüberliegenden Seite des Seekanals Rostock liegt.

Tabelle 2: Hauptzahlen des Wasserstands am Pegel Warnemünde für den Zeitraum 01.11.2010 bis 31.10.2020 (Quelle: Geoportal MV)

NW ² (29.11.2018)	MNW	MW	MHW	HW (02.01.2019)
[m NHN]	[m NHN]	[m NHN]	[m NHN]	[m NHN]
-1,12	-0,91	0,09	+1,19	+1,69

Im Beobachtungszeitraum 21. September 2018 bis 10. März 2023 wurden auf dem angrenzenden Werftgelände kontinuierlich die Grundwasserstände erfasst. Die in diesem Zusammenhang und für diesen Zeitraum ausgewerteten Daten für den Pegel Warnemünde sind in der nachfolgenden Abbildung 3 grafisch dargestellt.

– ² NW – Niedrigwasserstand, MNW – mittlerer Niedrigwasserstand, MW – Mittelwasserstand
MHW – mittlerer Hochwasserstand, HW – Hochwasserstand

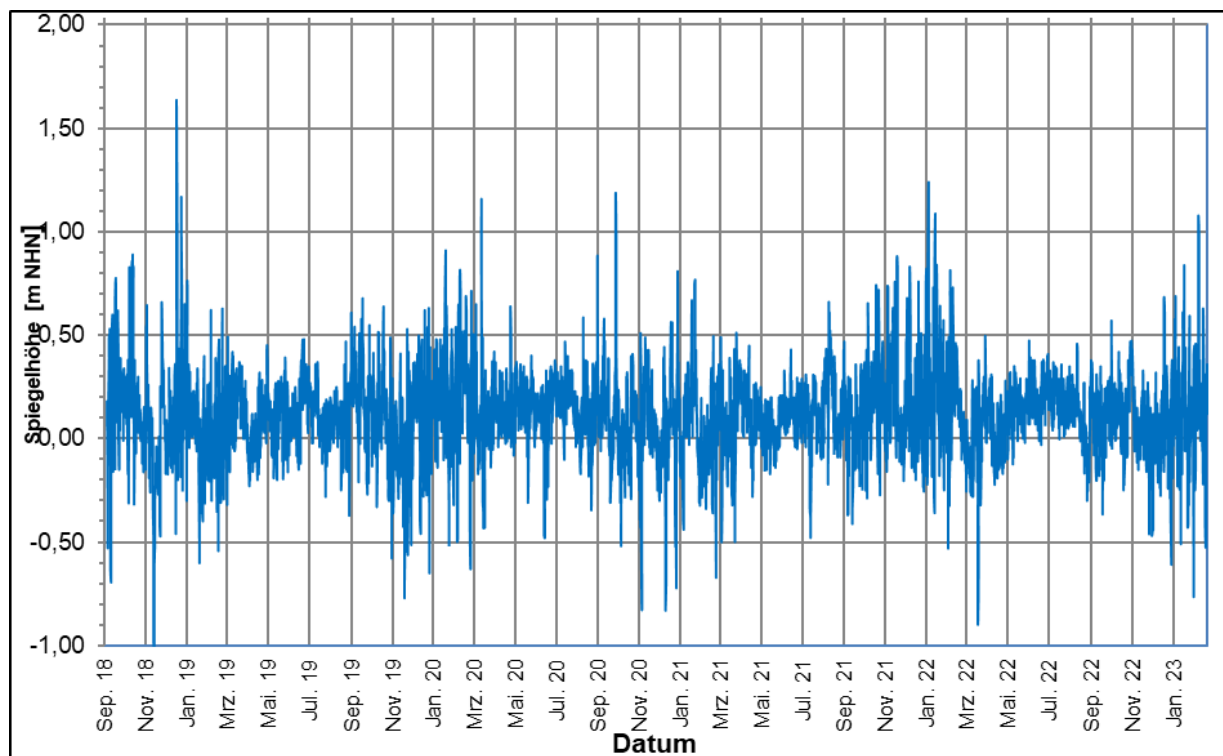


Abbildung 3: Messdaten Pegel Warnemünde im Beobachtungszeitraum 19.09.2018 bis 10.03.2023

Im o. g. Beobachtungszeitraum wurde ein Mittelwasserstand (MW) von + 0,12 m NHN gemessen.

Das Hafenbecken unterliegt bei Normalwasserständen keiner natürlichen Strömung. Zu sehr geringen Strömungsvorgängen kann es allenfalls bei Hochwasserereignissen (sowohl Eintreten des Hochwassers als auch bei nachfolgendem Absunk) kommen.

Grundsätzlich kann nur in diesen Extremsituationen eine horizontale Strömung zu einem horizontalen Transport gelöster Schadstoffe und Schwebstoffe führen.

2.5 Geotechnische Eigenschaften der Böden im Baggerbereich

Die Sedimente und Böden, die im Rahmen der Baggerung aus dem Werftbeckenbereich entnommen und verbracht werden sollen, umfassen umgelagertes Baggergut (Mudde) im Bereich der Dockgrube als Teil des Werftbeckens, organogene/organische Seesedimente (hier und nachstehend als Mudden oder Hafenschlick benannt) als Sedimentauflage auf dem anstehenden Geschiebemergel sowie den Geschiebemergel selbst.

Sie werden in folgende Homogenbereiche eingeteilt (nach DIN 18311-Nassbaggerarbeiten):

- Mudde (Bezeichnung gemäß DIN 18196)
- Geschiebemergel.

2.5.1 Sedimente (umgelagertes Baggergut und Sedimentauflage)

Bei den organischen Sedimenten (Mudden oder Schlick) handelt es sich um Gewässersedimente mit Anteilen pflanzlicher und tierischer Substanz. Aufgrund des Sauerstoffmangels ist die Mineralisierung stark gehemmt. Mudden sind aufgrund deren Genese sehr feinkörnig und befinden sich in natürlicher Lagerung in einem breiartigen, z.T. auch flüssigen / schlammigen

Zustand. Die im Gewässerbereich angetroffenen organischen Sedimente sind vermutlich nach früheren Baggerungsmaßnahmen sedimentiert, daher sehr jung und überwiegend mechanisch unvorbelastet.

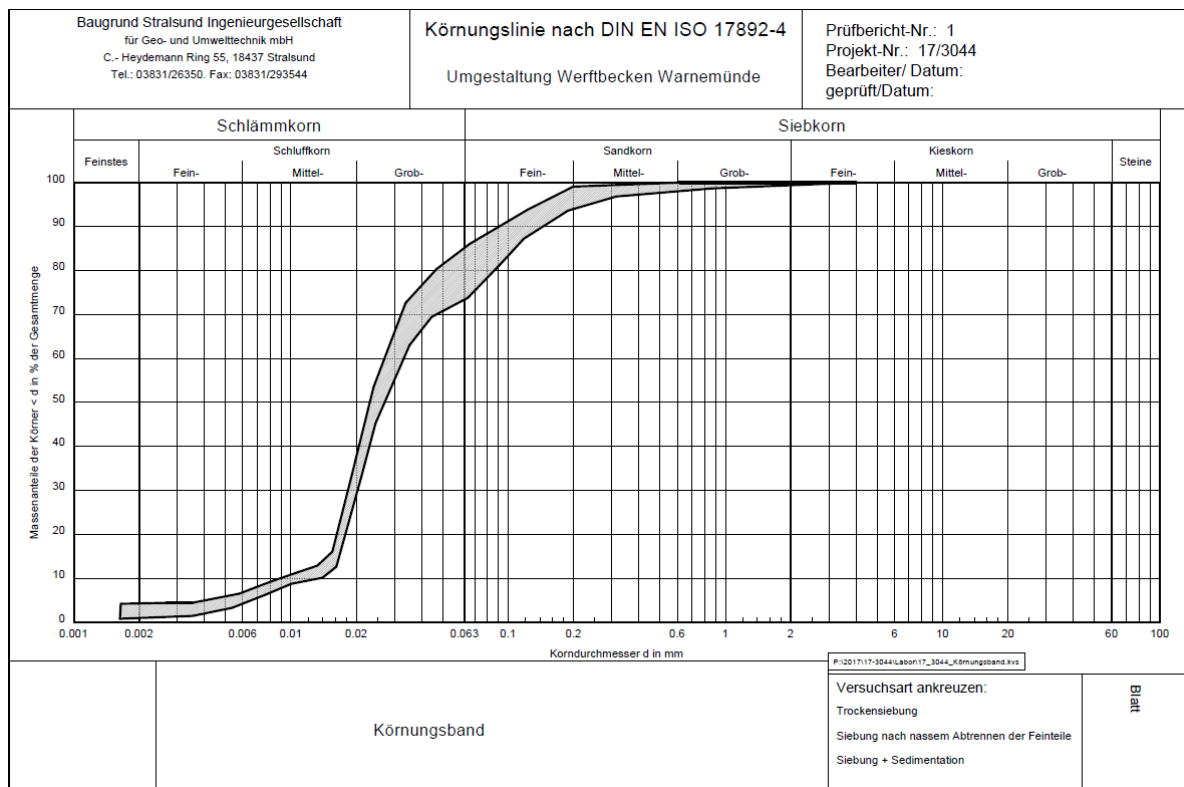


Abbildung 4: Kornverteilungsband Mudde/Hafenschlick

In der Abbildung 4 wurde die Kornverteilung von drei Proben aus den Untersuchungen 2021 exemplarisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Feinstkornanteil ($< 0,002$ mm) bei max. ca. 5 % liegt, der Schluffanteil (0,002 mm bis 0,063 mm) bei i. M. ca. 75 % und der Sandanteil i. M. bei 20 %.

Der organische Anteil in den Proben wurde zwischen 2 und 24 % ermittelt. Bei einem Anteil von 5 bis 30% handelt es sich um organo-mineralische Mudde. Bei einem organischen Anteil von weniger als 5 % ist das Sediment als organischer Schluff einzustufen. Auf eine diesbezügliche Unterscheidung wird im Weiteren verzichtet, da diese Unterscheidung für das vorliegende Konzept und die geplanten Arbeiten nicht relevant ist.

2.5.2 Geschiebemergel

Der obere Geschiebemergel, der bereichsweise gebaggert werden soll, weist entsprechend der granulometrischen Untersuchung als Hauptbestandteil Sand auf. Er wurde als stark schluffiger, schwach toniger Sand erkundet. Teilweise sind Steinlagen vorhanden.

Der obere Geschiebemergel ist in den ersten 1 – 3 m in steifer und weich bis steifer Konsistenz erkundet worden. Darunter wurde der Geschiebemergel überwiegend in halbfester, teils auch fester Konsistenz erbahrt.

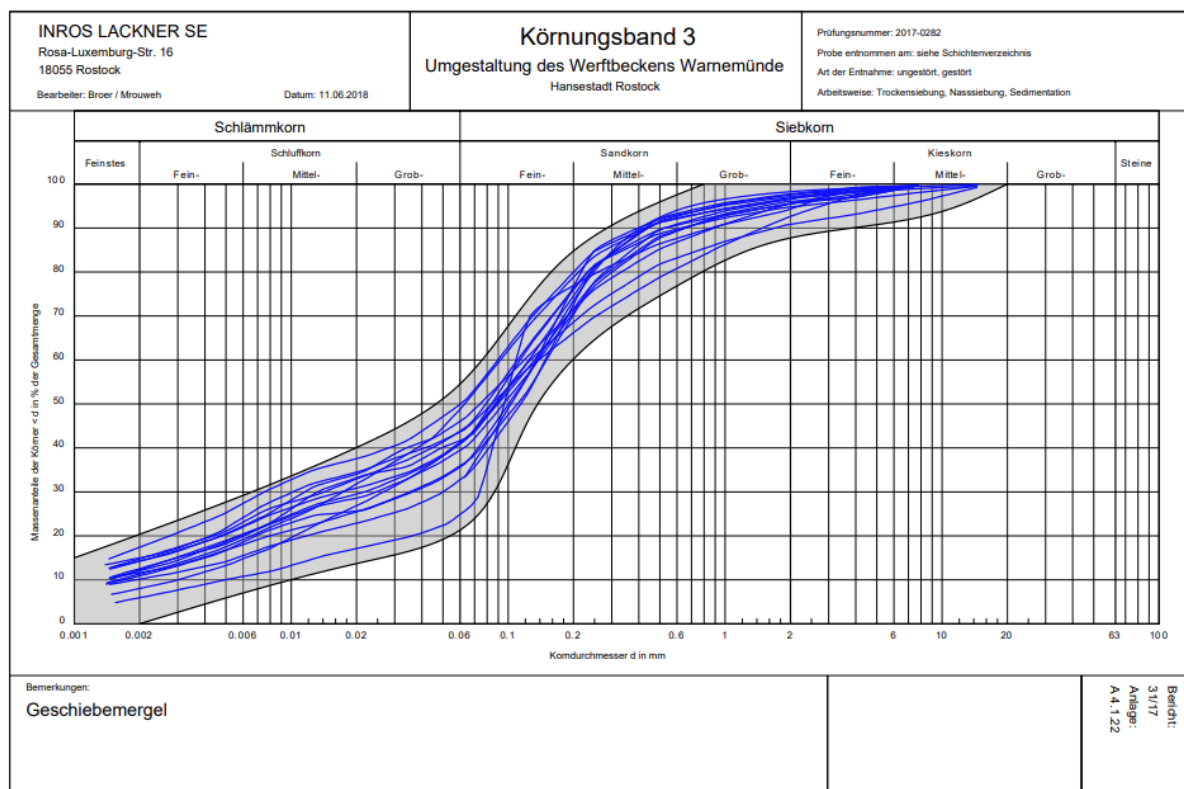


Abbildung 5: Kornverteilungsband Geschiebemergel

In der Abbildung 5 Kornverteilungsband Geschiebemergel

wurde die Kornverteilung von Proben aus den Untersuchungen 2018 exemplarisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Feinstkornanteil ($< 0,002 \text{ mm}$) i. M. bei ca. 10 % liegt, der Schluffanteil ($0,002 \text{ mm}$ bis $0,063 \text{ mm}$) i. M. bei ca. 30 %. und der Sandanteil i. M. bei 60 %.

2.6 Kennzeichnung durch das Vorhaben direkt betroffener Wasserkörper

2.6.1 Grundwasserkörper

Das Vorhaben befindet sich im Einzugsgebiet des regionalen Grundwasserkörpers mit der Bezeichnung WP_WA_10 "Warnow". Beim Grundwasserkörper Warnow handelt es sich laut Wasserkörpersteckbrief um einen „Grundwasserkörper und -gruppen in Hauptgrundwasserleitern“. Das Einzugsgebiet beträgt $365,135 \text{ km}^2$. Der Grundwasserkörper wird zur Trinkwassergewinnung genutzt (BFG 2023a). Er gehört der Flussgebietseinheit (FGE) „Warnow/Peene“ an.

Aus dem Wasserkörpersteckbrief für den 3. Bewirtschaftungszeitraum (von 2022 bis 2027) ist zu entnehmen, dass sich der Grundwasserkörper in einem mengenmäßig „guten“ sowie chemisch „schlechten“ Zustand befindet. Eine ausführliche Zustandsbeschreibung des Wasserkörpers kann dem Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie entnommen werden.

Des Weiteren umfasst der Betrachtungsraum für die Umgestaltung des Werftbeckens in Warnemünde zu einem maritimen Gewerbepark für nachhaltige Energietechnologien nach aktuellem Kenntnisstand keine Vorrang- sowie Vorbehaltsgebiete zur Trinkwassergewinnung

und befindet sich außerhalb von Wasserschutzgebietsgrenzen, wodurch eine Beeinträchtigung von Wasserschutzgebieten durch das Vorhaben ausgeschlossen werden kann (KPU M-V, Abfrage: 06/2023).

2.6.2 Oberflächenwasserkörper

Bei dem betroffenen Wasserkörper handelt es sich um den Oberflächenwasserkörper WP 05 "Unterwarnow". Dieser entspricht laut Wasserkörpersteckbrief zum 3. Bewirtschaftungszeitraum (2021 bis 2027) einem erheblich veränderten, ca. 12,886 km² großem Küstengewässer, welches im Norden in die südliche Mecklenburger Bucht mündet.

Die Unterwarnow gehört zur Flussgebietseinheit (FGE) „Warnow / Peene“ und wird laut Wasserkörpersteckbrief als „mesohalines inneres Küstengewässer der Ostsee (LAWA-Typcode: B2) ausgewiesen (BfG 2023c). Ihr ökologisches Potenzial wurde für den 3. Bewirtschaftungszeitraum (2022 bis 2027) als „schlecht“ und ihr chemischer Zustand als „nicht gut“ angegeben. Eine ausführliche Zustandsbeschreibung des Wasserkörpers kann dem Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie entnommen werden.

Die Unterwarnow weist im Bereich des Werftbeckens eine Schadstoffbelastung ihrer Sedimente auf. Die vorliegende Situation hinsichtlich der Schadstoffbelastung der Sedimente im Hafenbecken wird hierbei ausführlich in Abschnitt 10.1.3 beschrieben.

2.7 Kampfmittelbelastung

Im Rahmen der Planungen erfolgte eine Betrachtung zu einer möglichen wasserseitigen Kampfmittelbelastung. Entsprechend der erfolgten Bagger- und Ausbaumaßnahmen innerhalb des Werftbeckens kann jedoch mit dem Schreiben des Munitionsbergungsdienstes M-V vom 26.09.2017 davon ausgegangen werden, dass innerhalb der Wasserflächen nicht mit einer Kampfmittelbelastung zu rechnen ist.

Entgegen der Einschätzung zu den Wasserflächen stellen die Landflächen im Vorhabengebiet Kampfmittelverdachtsflächen dar. Im Zuge der Nassbaggermaßnahmen werden auch bisherige landseitige Flächen am Liegeplatz P11 zukünftig in Wasserflächen umgewandelt. In diesen Flächen treffen die Festlegungen des Munitionsbergungsdienstes M-V vom 26.04.2023 zu. Diese sind detailliert im Erläuterungsbericht zur Maßnahme „Werftbecken Warnemünde“ dargestellt. Auf eine Wiederholung wird an dieser Stelle verzichtet.

3 Situation Bestand

Die vorhandene Situation im und außerhalb des Werftbeckenbereiches ist durch die jahrzehntelange industrielle Nutzung geprägt. Durch den Fähr- und Schiffsverkehr in Verbindung mit der landseitigen Werftnutzung besteht eine hohe wasserseitige Belastung der Sedimente im Werftbecken.

Bei dem Bau des unmittelbar angrenzenden Kreuzfahrtliegeplatzes P8 in 2008 und 2011 wurden dort vorgefundene belastete Sedimente zusätzlich in die im Werftbecken vorhandene Dockgrube umgelagert.

Eine schiffsseitige Nutzung des Hafenbeckens kann eine Aufwirbelung von Sedimenten verursachen, die dann in den Wasserkörper der Warnow verfrachtet werden können bzw. sich im Seekanalbereich vor dem Hafenbecken ablagern.

Im Zuge einer längerfristigen Lagesicherung der belasteten Sedimente wurde geprüft, diese durch eine Abdeckung zu sichern und so deren temporäre Mobilisierung zu verhindern.

Um das zu erreichen, müssten Sandschichten verstärkt mit einem Geotextil dünnlagig ohne Grundbrüche auf die Sedimente aufgebracht werden. Zum Abschluss wäre ein gegenüber schiffsstrahlinduzierten Strömungen standsicherer weiterer Kolkschutz notwendig.

Hierzu ist zu schlussfolgern, dass so ein notwendiger Schutz, aufgebracht auf die weichen umgelagerten Sedimente, nicht baulich sicher mit der verfügbaren Technik zu erstellen ist.

Somit ist ausschließlich die Entnahme der belasteten Sedimente bei einer notwendigen dauerhaften Sanierung im Ist Zustand des Werftbeckenbereiches möglich.

4 Schaffung einer maritimen Vorstellfläche

4.1 Zielstellung zur Nutzung der Vorstellfläche

Die zukünftigen Unternehmen im maritimen Gewerbepark und die Kreuzschifffahrt an den Liegeplätzen P7 und P8 der Mittelmole benötigen zur Abbildung ihrer Betriebsprozesse ausreichende Vorstellflächen mit unmittelbarer Anbindung an die Liegeplätze P9, P10 und P11 des Werftbeckens. Hier erfolgt das Abstellen von Fahrzeugen, die Montage von maritimen Strukturen bei der seeseitigen Anlandung und Verschiffung oder auch die Zwischenlagerung von Gütern vor oder nach deren Seetransport. Aus diesem Grund ist die Vorstellfläche des LP P10 mit ca. 1 ha Größe für diese Zwecke bedarfsgerecht dimensioniert worden.

Die Fläche wird für die Nutzungen aus dem maritimen Gewerbepark für nachhaltige Energietechnologien heraus als Hafennutzungsfläche benötigt. Durch die geplante Bebauung im Gewerbegebiet stehen weitere geeignete Hafennutzungsflächen im unmittelbaren Bereich nicht zur Verfügung.

Die Vorstellfläche dient mit ihrer Lage und der öffentlichen Zugänglichkeit ebenfalls die Kreuzfahrtnutzung auf der Mittelmole in Warnemünde.

4.2 Alternativen zur Errichtung der maritimen Vorstellfläche

Die Errichtung der Vorstellfläche kann grundsätzlich in zwei Alternativen erfolgen:

- (1) **Alternative A** – Errichtung der Vorstellfläche unter Verwendung der belasteten Sedimente des Werftbeckens als Verfüllmaterial.
- (2) **Alternative B** – Errichtung der Vorstellfläche mit einer Sandauffüllung / landseitige Entsorgung der belasteten Sedimente aus dem Werftbecken.

Bei der **Alternative A** müssen nach der Baggerung der Sedimente (Erläuterungen siehe Kapitel 6.4) diese gemäß Kapitel 6, 7 und 8 umgelagert und konsolidiert werden.

Bei der **Alternative B** müssen nach der Baggerung der Sedimente diese auf eine landseitige Zwischenlagerfläche umgelagert und entwässert und von dort landseitig entsorgt werden.

Eine landseitige Entsorgung muss gemäß den Kriterien des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG, Stand: 03/2023) erfolgen. Aufgrund der gesonderten Beurteilungskriterien nach KrWG sind die Teilmengen zu differenzieren und jeweilig gesondert einzustufen.

Grundsätzlich ist in der Alternative B zu beachten, dass die Lagerflächen für die Aufbereitung der Sedimente gemäß Forderung des StALU-MM³ nicht hochwasserbeeinflusst sein dürfen. Außerhalb des Vorhabengebietes sind in einem wirtschaftlich und technologisch sinnvollem Abstand keine entsprechenden Flächen verfügbar. Eine naheliegende technische Lösung stellt daher die temporäre Schaffung von hochwassersicheren Behandlungsflächen innerhalb des Vorhabensgebietes dar. Das verursacht zusätzliche Kosten in der Alternative B.

Bei der Baggerung der belasteten Sedimente, auch aus dem Bereich der späteren Vorstellfläche (nur bei Alternative B), erhöhen sich diese Baggervolumina auf ca. 114.000 m³.

³ Forderung StALU-MM vom 11.07.2023 gemäß Mail Frau Blumenthal zur Stellungnahme Sanierungsplan Altlasten

Der Transportweg dieser Sedimente nach der Baggerung aus dem Werftbeckenbereich ist wie folgt:

- Aufnahme aus der Transportschute und Ablagerung auf der landseitigen Zwischenlagerfläche mittels geschlossener Greifer (Gerät gemäß 6.4),
- Lagerung der Sedimente auf einer hochwasserfreien Baufläche bis zum Zustand einer Transportfähigkeit / Behandlung und Einleitung des Porenwassers,
- Transport der Sedimente mittels LKW und auslaufgeschützten und abgedeckten Containern (max. 10 m³ je LKW) zur Deponierung (z.B. IAG Ihlenberg), Deponieklassen I bis DK III,
- Rückbau der landseitigen Zwischenlagerfläche.

Die Vorstellfläche wird nach erfolgter Nassbaggerung und Errichtung der Querwand LP P10 mittels hafentypischer Sandaufspülung und einer Oberflächenbefestigung für die Nutzung als Vorstellfläche fertiggestellt. Die Sandverfüllung des Vorstellflächenbereiches wird durch Einspülen von seeseitigen Sandlieferungen aus kommerziellen Kiesgewinnungsstätten in der Ostsee realisiert.

4.3 Varianten zur Umsetzung von Alternative A und B

Für die **Umsetzung der Alternative A** „Errichtung der Vorstellfläche unter Verwendung der belasteten Sedimente des Werftbeckens als Verfüllmaterial“ werden folgende technische Varianten als prinzipiell möglich untersucht:

- Entnahme der Sedimente mit geschlossenem Greifer oder Saugbagger (siehe Kapitel 6.3- 6.5)
- Transport und Umlagerung mit Baggerung und schiffsseitige Verbringung; Baggerung und Schiff-Schiff Umlagerung und hydraulisch gestützter Umlagerung (siehe Kapitel 6.7 Variante 1-3)

Für die **Umsetzung der Alternative B** „Errichtung der Vorstellfläche mit einer Sandauffüllung / landseitige Entsorgung der belasteten Sedimente“ werden folgende technische Varianten als prinzipiell möglich untersucht:

- Entnahme der Sedimente mit geschlossenem Greifer oder Saugbagger (siehe Kapitel 6.3- 6.5)

Landseitig erfolgt dann die Zwischenlagerung (auf einer entsprechend vorzubereitenden, hochwasserfreien Baustelleneinrichtungsfläche) und Deponierung dieser Sedimente.

Als Übersicht ist die Prüfung der Alternativen mit ihren technischen Varianten in Abbildung 6 zusammengefasst.

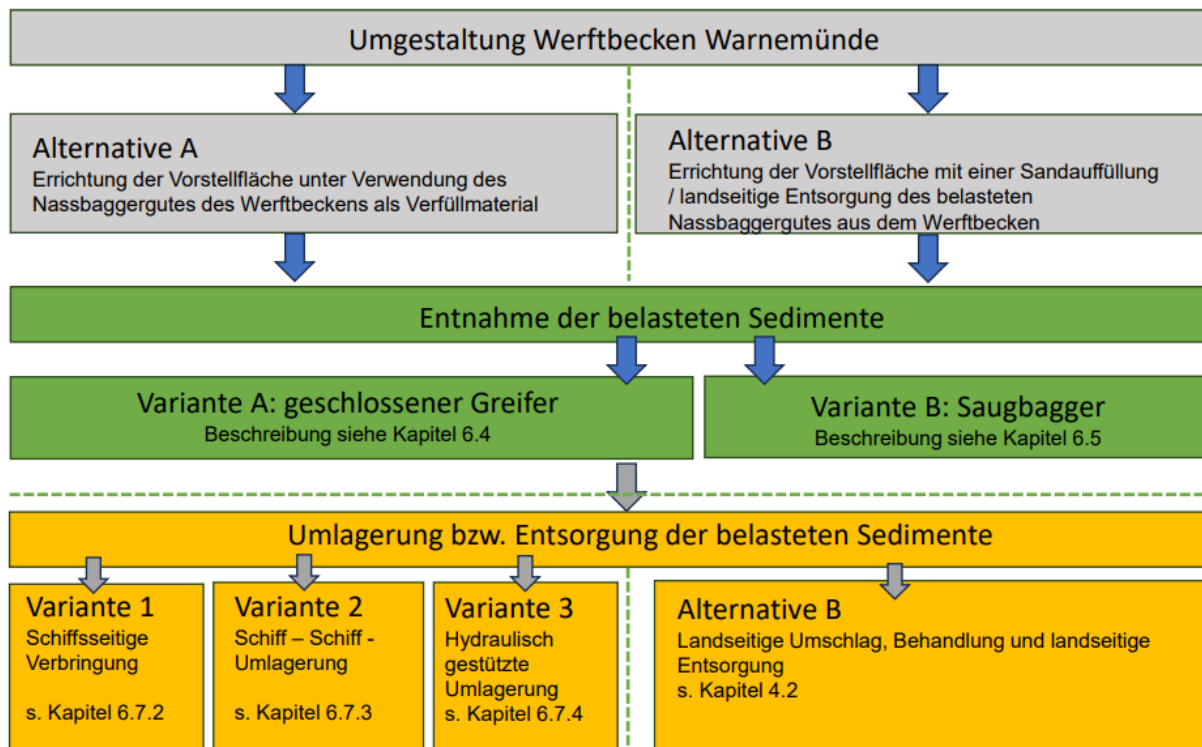


Abbildung 6: Ablaufschema der Alternativen- und Variantenprüfung

4.4 Vergleich der technischen Machbarkeit Alternative A und B

Beide Alternativen sind technisch im Rahmen der allgemein anerkannten Regeln der Technik erprobt und umsetzbar. Für beide Alternativen wird gleichermaßen die Entnahme der Sedimente vom Gewässergrund notwendig, so dass hier keine Unterschiede in der technischen Ausführung vorliegen.

Mit der weiteren Verwendung der Sedimente in Alternative A zur Errichtung der Vorstellfläche bzw. deren Entsorgung in Alternative B unterscheiden sich die beiden Alternativen wie folgt:

Bedarf an Baustelleneinrichtungsflächen:

In der Alternative B werden im Vergleich zu A zusätzliche, hochwasserfreie Zwischenlagerflächen für die landseitige Aufbereitung zur Deponierung der belasteten Sedimente im Baubereich der landseitigen Altlastensanierung und der geplanten Erschließungsmaßnahmen für den maritimen Gewerbepark notwendig. Dieses stellt zusätzliche Herausforderungen und Kosten an die verbindliche Fertigstellung der Gewerbeflächen für den Baustart der konkreten Unternehmensansiedlungen.

Bautechnologische Verfahrenssicherheit

Der Abtransport der belasteten Sedimente in Alternative B zur landseitigen Deponierung und die Verwendung von Sanden aus den seeseitigen Kieslagerstätten zur Errichtung der Vorstellflächen ist bautechnologisch mit einfachen wasser- und landseitigen Gerätschaften und Technologien durchführbar. Beide Prozesse der landseitigen Verbringung und der Auffüllung der Vorstellfläche mit externen Sanden können parallel und damit verfahrenssicher umgesetzt werden.

In der Alternative A führt insbesondere die Umlagerung der Sedimente in den Vorstellbereich als auch die aufwendigen und technologisch anspruchsvollen Konsolidierungsmaßnahmen zu zusätzlichen Herausforderungen und auch Abhängigkeiten bei der Herstellung der Vorstellfläche.

Risiken aus abweichenden örtlichen Gegebenheiten und Beständen

Für die notwendige Sandverrieselung zur Konsolidierung der Sedimente bei der Alternative A sind entsprechende Teilscherfestigkeiten der umgelagerten Sedimente notwendig. Sollten diese nach dem Umlagerungsprozess zu gering sein, kommt es zu Grundbrüchen, welche mit technologischen Zusatzaufwendungen wie zusätzlichen Abdeckungen oder auch dem Verrieseln von kleinsten Sandmengen zu begegnen ist. Weitere Risiken von bauzeitlichen Verlängerungen bestehen darin, wenn die Umlagerung der Sedimente z.B. auf Grund von unzulässigen Trübungen unterbrochen werden muss (siehe Kapitel 10).

Tabelle 3: Vergleichende Bewertung der Alternativen, Betrachtungsteil A – technische Machbarkeit

Wertungskriterium	Alternative A	Alternative B
Bedarf an (hochwasserfreien) Baustelleneinrichtungsflächen	++	--
Bautechnologische Verfahrenssicherheit	-	+
Risiken aus abweichenden örtlichen Gegebenheiten und Beständen	-	-
Ergebnis	+/-	+/-

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass die Alternative B „Errichtung der Vorstellfläche mit einer Sandauffüllung / landseitige Entsorgung des belasteten Sedimente“ in der technischen Machbarkeit gleichwertig der Alternative A „Errichtung der Vorstellfläche unter Verwendung der belasteten Sedimente des Werftbeckens als Verfüllmaterial“ beurteilt wird.

4.5 Vergleich der wirtschaftlichen Kriterien der Alternativen A und B

Der Vergleich der Baukosten beider Alternativen ergibt sich wie folgt:

Alternative A – Sedimentauffüllung	Alternative B – Sandauffüllung / landseitige Entsorgung	Mehr- bzw. Minderkosten der Alternative B gegenüber der Alternative A (€ netto)
Herstellung Dichtwände für Hafenbeckenverfüllung für Kapselung & Konsolidierungsmaßnahmen notwendig.	Herstellung Dichtwände für Hafenbeckenverfüllung in dieser Variante nicht enthalten, da hier keine Kapselung notwendig.	- 3.487.000,00

Alternative A – Sedimentauffüllung	Alternative B – Sandauffüllung / landseitige Entsorgung	Mehr- bzw. Minderkosten der Alternative B gegenüber der Alternative A (€ netto)
Keine landseitigen Lagerflächen notwendig.	Schaffung einer Hochwasserfreien Baufläche zur Entwässerung des Baggermaterials und Vorbereitung Transport mittels Flächenaufhöhung, 90.000 m ² x 1,50 m x 40 EUR /m ³ (An- und Abtransport)	+ 5.400.000,00
Mudde innerhalb des Hafenbeckens verbleibend und wird mit Nassbaggermassen überschüttet.	zusätzliche Nassbaggerung von 40.000 m ³ Mudde innerhalb des Hafenbeckens.	+ 1.149.000,00
keine Kosten für Entsorgung kontaminierter Mudde, sondern Verbringung in den Spundwandkasten des Hafenbeckens.	zusätzliche Kosten für die Behandlung und Entsorgung von 114.000 m ³ kontaminierter Mudde.	+ 30.258.000,00
Verfüllung im Hafenbecken mit Ostseekies oberhalb der eingebrachten Muddemassen	Zusätzliche Kosten für die Verfüllung des freiwerdenden Volumens im Hafenbecken (115.900 m ³ Ostseekies).	+ 2.319.000,00
Gesamtkostenvergleich Mehr- bzw. Minderkosten der Alternative B gegenüber der Alternative A (€ netto)		+35.639.000,00 € (netto)

Die Mehrkosten der Alternative B (Sandauffüllung/landseitige Entsorgung) gegenüber der Alternative A (Sedimentauffüllung) betragen ca. 36 Mio. € (netto).

Damit übersteigen die Baukosten der Alternative B das vorhandene Budget zur Projektrealisierung signifikant. Eine Umsetzung der Alternative B wird deshalb bauherrenseitig ausgeschlossen.

4.6 Umweltfachlicher Vergleich der Alternativen A und B

Der umweltplanerische Vergleich der Alternativen A und B wurde in dem beigefügten separaten Dokument geführt. Die Ergebnisse der Unterlage „umweltfachlicher Alternativenvergleich zur Nassbaggergutverbringung“ wurde im Kapitel 7.2 wie folgt zusammengefasst:

*„Unter Berücksichtigung aller nach jetzigem Kenntnisstand absehbaren Aspekte stellen sowohl die Alternative A als auch die Alternative B **machbare Lösungen** dar. Zulassungsschwierigkeiten könnten sich für beide Alternativen auf Grund von Konflikten mit der WRRL ergeben. Unter Berücksichtigung der geplanten Schutz- und Minderungsmaßnahmen sowie der kontinuierlichen Überwachung im Rahmen von Grundwasser- und Oberflächenwasser-Monitoring sowie der grundsätzlich positiven Wirkungen durch die land- und wasserseitige Altlastensanierung ist nach gutachterlicher Einschätzung **eine Genehmigungsfähigkeit beider Alternativen gegeben**.*

Das baubedingte Gefährdungsrisiko wird für die Alternative B als minimal höher eingeschätzt als für die Alternative A. Entscheidender Vorteil der Alternative B gegenüber der Alternative A

stellt die Entkopplung des schad- und nährstoffbelasteten Nassbaggergutes vom Wasserkörper der Unterwarnow durch sachgemäße Entsorgung auf einer Deponie der Klasse III dar. Damit ist das langfristige Gefährdungspotenzial des Grundwassers und der Unterwarnow durch die Alternative B als geringer zu bewerten.

Hinsichtlich der Umweltbelange wird somit der Alternative B vor der Alternative A der Vorzug gewährt.“

4.7 Schlussfolgerung

Beide Alternativen stellen eine machbare und genehmigungsfähige Lösung dar.

Bei der Alternative A wird das Baggergut vor Ort gemäß dem Grundgedanken des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, die Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern, wieder einer unmittelbaren Verwendung zur Landgewinnung zugeführt und der Fremdbodenbedarf dabei deutlich reduziert. Ebenso reduziert sich maßgebend das Transportaufkommen für die Bauprozesse bei der Alternative A. Bautechnisch nachteilig sind in der Alternative A die Mehraufwendungen für die auszuführenden Dichtungs- und Konsolidierungsmaßnahmen (Spundwand und Abdeckung).

Durch die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebene sichere und dauerhafte Einkapselung der schadstoffbefrachteten Sedimente wird eine vollständige Unterbindung von Schadstoffausträgen aus der Einkapselung in die Grundwasserleiter und das Werftbecken/Unterwarnow in der Alternative A technisch sichergestellt. Dabei erfolgt der Nachweis der Wirksamkeit der Einkapselung über die Gesamtnutzungsdauer mithilfe eines geeigneten Monitorings.

Die Alternative B erfordert eine externe Verbringung der Sedimente, hat jedoch den Vorteil, dass die Sedimente dauerhaft aus dem Bereich herausgenommen werden.

Aus umweltplanerischer Sicht sind die Unterschiede zwischen den Alternativen nicht gravierend. Bei der Bevorzugung der Alternative B im Fazit handelt es sich um eine Tendenz.

Auf Grund der Wirtschaftlichkeit in Zusammenhang mit der beschriebenen technischen Gleichwertigkeit der **Alternative A** hinsichtlich der möglichen Verwendung der anstehenden Sedimente für den Bau der maritimen Vorstellfläche wird die Alternative A zur Durchführung empfohlen.

5 Alternative A: Maßnahmen zur dauerhaften Einkapselung der belasteten Sedimente im Hafenbeckenbereich während der Nutzung der Vorstellfläche

5.1 Spundwände Verfüllbereich - Endzustand

Bei der Erstellung der maritimen Vorstellfläche mit den umgelagerten Sedimenten ist die vollständige Dichtheit und Dauerhaftigkeit der Einkapselung sicherzustellen. Hierfür wird der gesamte Bereich der Sedimentverbringung mit neuen und gedichteten Spundwänden umfasst, welche in den unterliegenden Mergel einbinden. Dieser Geschiebemergel stellt die durchgehende hydraulische Abdichtung nach unten dar.

Zum Schutz gegen das Eindringen von Niederschlags- und Oberflächenwasser wird die Fläche durch eine Oberflächendichtung mit einem aus Asphalt bestehenden Flächenaufbau dauerhaft gedichtet.

Die neue gedichtete Spundwand wird vor die vorhandenen Uferwände der jetzigen Liegeplätze P09, P10 und P11 gestellt und bindet an den neuen Liegeplatz P10 an. Im Süden erfolgt der Anschluss der Einkapselung an den neuen Liegeplatz P11.

Der neue Liegeplatz P10 wird um ca. 120 m in östliche Richtung angeordnet für die Gestaltung der Vorstellfläche (siehe Abbildung 7).

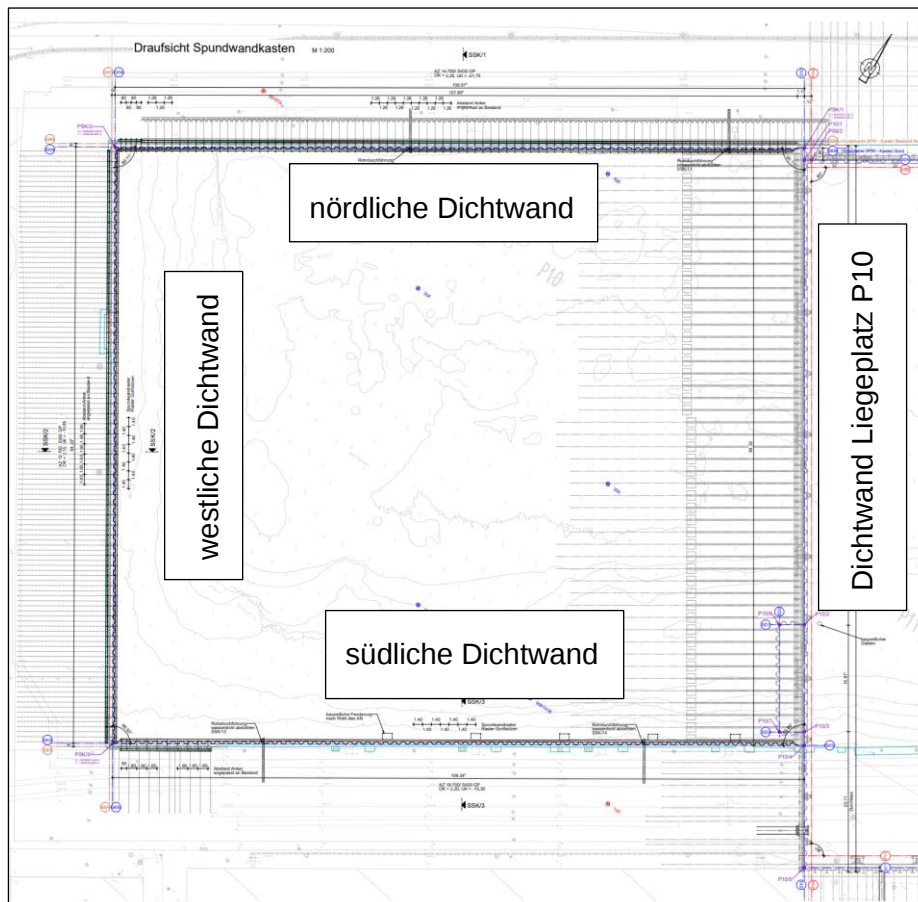


Abbildung 7: Draufsicht Spundwandkasten mit Dichtwänden

Die neuen Umfassungswände des Umlagerungsbereiches werden auf Grund der belasteten Sedimente mit einer bituminösen Schlossdichtung des Spundwandherstellers - Beltan Plus (o.glw.) wie folgt errichtet:

- Verwendung von ARECLOR – Stahlspundwänden (o. glw.)
- Verwendung der ARCELOR Schlossdichtung Typ Beltan Plus (o.glw.)

Details zur Ausführung der Dichtwände sind dem Erläuterungsbericht „Technologie zur Sedimentumlagerung und -konsolidierung“ der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zu entnehmen.

5.2 Flächenbau Verfüllbereich - Endzustand

Auf die auskonsolidierte Verfüllungsfläche des Liegeplatzes P10 bzw. der kaimnahen Flächenbereiche wird eine Befestigung mit einer zulässigen Verkehrslast von 20 kN/m² in Asphaltbauweise ausgeführt.

Die die Dichtwand querenden Regenwasserkanäle werden dauerhaft wasserdicht durch die Dichtwand geführt.

Die Asphaltbefestigung wird in seiner flächenhaften Ausdehnung bis über die neuen Dichtwände hinausgeführt. Die Stahlspundwände werden in einem Bentonit-Streifen eingebunden, welcher die Dichtwirkung zwischen den gedichteten Stahlspundwänden und der oberen Asphaltabdeckung sicherstellt.

Für die Fläche ist innerhalb des Nutzungszeitraumes mit Kriechsetzungen bis ca. 20 cm zu rechnen. Deshalb muss eine regelmäßige Funktionskontrolle des Flächenaufbaus hinsichtlich seiner Dichtwirkung erfolgen. Die Regenwasserkanäle sind regelmäßig mittels TV-Inspektion auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen.

Bei starken Differenzsetzungen und Pfützenbildung sind Höhenanpassungen des Oberflächenaufbaues durchzuführen.

Details zur Ausführung des Flächenbaues und der Anschluss an die vertikalen Dichtwände sind dem Erläuterungsbericht „Technologie zur Sedimentumlagerung und -konsolidierung“ der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zu entnehmen.

5.3 Bewertung des End-Zustandes der eingekapselten Sedimente

5.3.1 Schadstoffbindung und -transport

5.3.1.1 Oberflächengewässer

Durch den Einbau der Schlossdichtung als umlaufendes Sicherungselement des Verfüllbereiches besteht nach der Umlagerung der z. T. schadstoffbelasteten Mudden keine hydraulische Verbindung zwischen der Verbringungsstelle und dem angrenzenden Werftbecken bzw. Wasser- und Grundwasserkörper.

Darüber hinaus wird der Wasserstand in der Einkapselung so eingestellt, dass sich kein horizontaler hydraulischer Gradient einstellen kann, der von der Verbringungsstelle in Richtung Werftbecken gerichtet ist. Dem wird u. a. entgegengewirkt durch:

1. die Fassung, Ableitung und Reinigung des ausgepressten Porenwassers während der Konsolidierungsphase durch zunächst vertikale Drainagen, deren Wasser in geeigneten horizontalen Systemen erfasst und der Wiedereinleitung mit eventueller Reinigung zugeführt wird und
2. das Aufbringen einer dichtenden, im Gefälle hergestellten Asphaltabdeckung nach Abschluss der Konsolidierungsphase (siehe Abschnitt 5.2.) und damit der Unterbindung des Niederschlagszutrittes und der damit verbundenen Neubildung von Inventarwasser in der Einkapselung.

Vor diesem Hintergrund sind nach der Umlagerung Emissionen im Sinne einer Verfrachtung gelöster Schadstoffe von der Verbringungsstelle heraus ins Werftbecken ausgeschlossen. Der potentielle Expositionspfad über aus der Einkapselung austretendes Wasser wird vollständig und sicher unterbrochen.

Das Verschlechterungsverbot und die Bewirtschaftungsziele gemäß § 27 od. § 44 WHG oder der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) werden somit eingehalten.

5.3.1.2. Grundwasserkörper

Gemäß dem nachfolgenden Auszug aus § 47, Satz 1 WHG ist das Grundwasser u. a. so zu bewirtschaften, dass

1. eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustands vermieden wird;
2. alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden.

Grundwasserleiter 1

Der Grundwasserleiter 1 (oberer nicht abgedeckter Grundwasserleiter) steht mit dem Oberflächenwasser in hydraulischer Verbindung. Insofern gelten hier grundsätzlich die Aussagen aus 4.2.2.1. Der Schadstofftransport aus der Einkapselung wird sicher und vollständig durch die gedichteten Spundwände unterbunden.

Darüber hinaus ist der natürliche Fließgradient von der Landseite in Richtung Unterwarnow gerichtet (siehe Abbildung 8), so dass Schadstoffmigrationen hier ohnehin nicht erfolgen würden. Untersuchungen im Rahmen des Gesamtprojektes haben gezeigt, dass sich dieser Gradient selbst im Hochwasserfall nicht umkehrt, sondern höchstens abgeflacht wird.

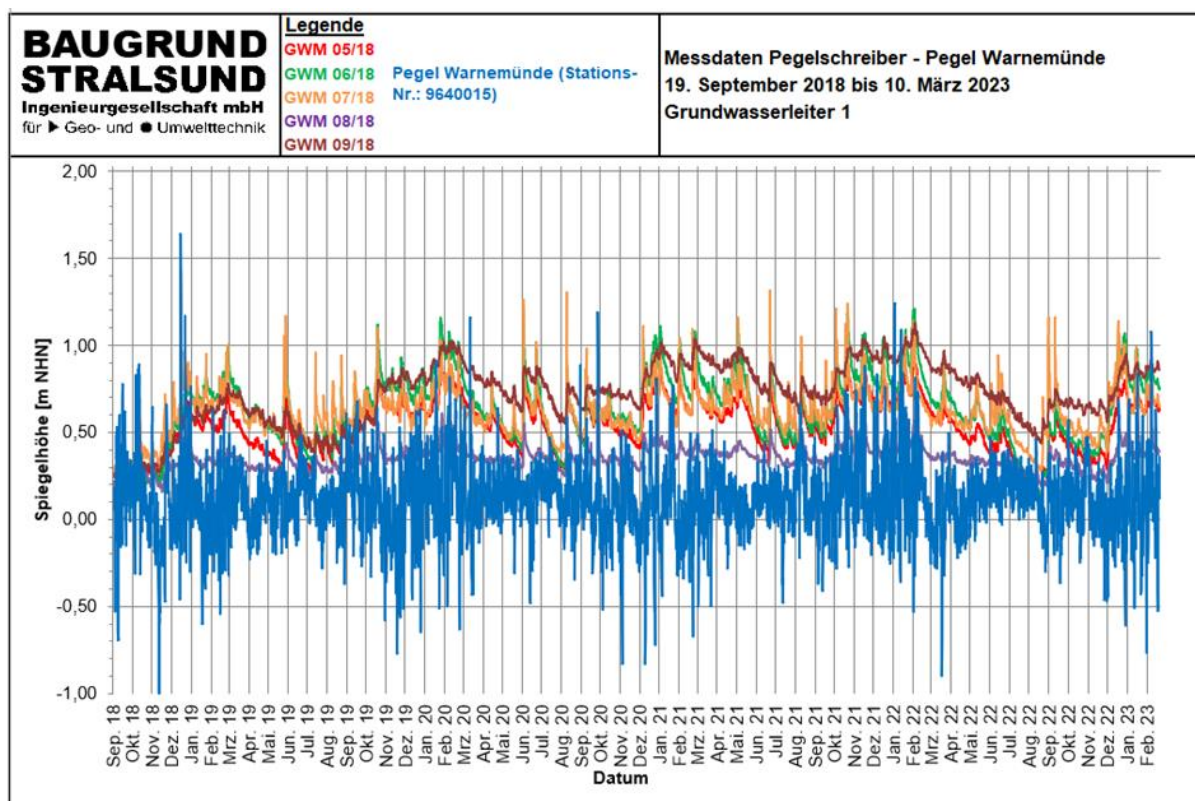


Abbildung 8: Messdaten Pegel Warnemünde (blau) und Grundwasserleiter 1 im Beobachtungszeitraum 19. September 2018 bis 10. März 2023

Durch den Einbau einer Dichtwand mit hochwertiger Schlossdichtung wird im Bereich der angrenzenden Uferbereiche die horizontale Durchlässigkeit deutlich verringert und dadurch in diesem Bereich der Abstrom von Stau- und oberflächennahem Grundwasser über den Grundwasserleiter 1 in das Hafenbecken praktisch unterbunden. Dadurch kommt es vor dem abgedichteten Unterbringungsbereich landseitig theoretisch zu einem Grundwasseraufstau und einer lateralen Umströmung.

Unterirdische Bauwerke, wie gedichtete Spundwände, die in die gesättigte Bodenzone hineinreichen und damit unterhalb des Grundwasserspiegels liegen, können grundsätzlich den Grundwasserspiegel beeinflussen. Im Falle einer nicht parallel zum Bauwerk verlaufenden Grundwasserströmung stellt das Bauwerk eine Barriere im Grundwasser dar, die einen Aufstau an der Anstromseite und eine Absenkung an der Abstromseite bewirken kann. Hier ist die Wechselwirkung zwischen dem geplanten Bauwerk und dem Grundwasser sowie die Auswirkung auf den Grundwasserspiegel zu untersuchen und zu beschreiben.

Wegen der deutlichen Vereinfachung der Bemessung wird das hydraulische Modell auf ein zweidimensionales Strömungsmodell reduziert, welches das Bauwerk in seinem Querschnitt untersucht. Strömungsberechnungen auf Grundlage von FE-Modellen führen in der Regel zu deutlich geringeren Aufstauhöhen, die auch in der Praxis gemessenen Werten besser entsprechen. Wegen der mit den konservativen analytischen Verfahren ermittelten geringen Aufstauhöhen wurden in dieser Planungsphase auf diese Modellierungen verzichtet. Außerdem wurde die Tatsache, dass der natürliche Abstrom bereits durch die Kaiwände gestört ist, nicht berücksichtigt, so dass die Ergebnisse deutlich auf der sicheren Seite liegen.

Da für das konkrete Bauwerk keine Unterströmung möglich ist, soll zur Berechnung des Grundwasseraufstaus das Verfahren von Schneider angenommen werden. Bei diesem Verfahren wird ausschließlich eine seitliche Umströmung angesetzt. Die rechnerische Aufstauhöhe ergibt sich wie folgt:

$$\Delta h_{\text{um}} = i \times \cos \vartheta \times \sqrt{(t^2 - y^2)}$$

i	Grundwassergefälle
ϑ	Auftreffwinkel des Grundwassers
t	halbe Bauwerksbreite
y = 0 m	Koordinaten-Nullpunkt (Bauwerksmitte)

Aufgrund der geringen Ausdehnung des abgedichteten Bereiches und des geringen Grundwassergradienten im Grundwasserleiter 1 (siehe Beschreibung der Hydrogeologie im Abschnitt 2.3) kommt es zu Aufstauerscheinungen im Bereich weniger Zentimeter und damit zu keinen relevanten Änderungen im grundsätzlichen Abflussgeschehen im Planungsgebiet.

Beeinflussungen in Form einer eventuellen Schadstoffmobilisierung bzw. eines eventuellen Schadstofftransportes sind hier nicht zu besorgen.

Grundwasserleiter 2

Der Grundwasserleiter 2 (erster, abgedeckter Grundwasserleiter, GWL 2) ist nachweislich hydraulisch durch eine Geschiebemergelschicht sowohl vom ersten Grundwasserleiter (GWL 1) als auch weitgehend vom Oberflächenwasser der Warnow getrennt.

Schadstofftransporte vom ersten, nachgewiesenermaßen belasteten Grundwasserleiter, in den darunterliegenden abgedeckten GWL 2 konnten landseitig im Bereich des ehem. Werftgeländes bisher nicht nachgewiesen werden. Insofern wird der Transport von gelösten Schadstoffen über den Wasserpfad in den abgedeckten Grundwasserleiter (GWL 2) hier durch die mächtige Geschiebemergelschicht unterbunden.

Im Bereich der Dockgrube im westlichen Teil des Wertbeckens wurde der Geschiebemergel ausgeräumt und fehlt hier als trennendes Element zwischen dem Oberflächenwasser der Warnow und dem GWL 2. Eine vertikale Schadstoffmigration in den GWL 2 kann hier nicht sicher ausgeschlossen werden.

Um für diesen nicht sicher auszuschließenden Fall einen horizontalen Weitertransport der eventuell in den Aquifer gelangten Schadstoffe im GWL 2 sicher zu unterbinden, werden die Spundwände der Einkapselung sicher in den flächig ausgebildeten Geschiebemergelhorizont unterhalb des GWL 2 eingebunden.

Die Grundwasserstände im GWL 2 wurden im Untersuchungsgebiet bislang in der Messstelle GWM 11 auf dem ehem. Werftgelände ermittelt. Die Messwerte sind in der nachfolgenden Abbildung 9 graphisch aufgetragen.

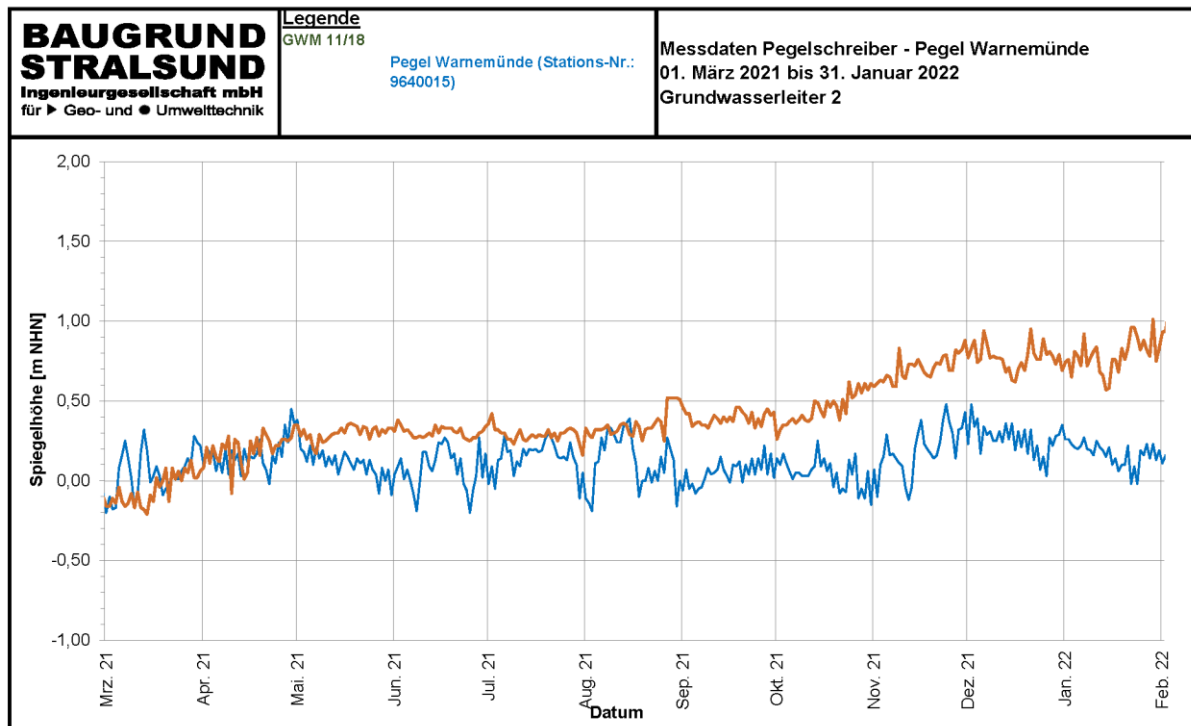


Abbildung 9: Messdaten Pegel Warnemünde (blau) und Grundwasserleiter 2 (rot) im Beobachtungszeitraum März 2021 bis Februar 2022

Eine unmittelbare Beeinflussung des Grundwasserstandes im Grundwasserleiter 2 vom Wasserstand im Werftbecken ist nach den Messdaten nicht zu erkennen. Unabhängig davon ist ein geringer vertikaler Gradient in Richtung Grundwasserleiter 2 zu erkennen, der unter hydraulischen Aspekten einen Stofftransport vom Oberflächenwasser des Werftbeckens ins Grundwasser des Grundwasserleiters 2 ermöglichen würde.

5.3.1.3. Schwebstoffe

Nach der erfolgten Umlagerung und der Aufbringung einer Konsolidierungsauflast erfolgt keinerlei Schwebstoffbildung mehr. Insofern sind die Schwebstoffe für einen eventuellen Schadstofftransport und eine damit verbundene Gefährdung von Schutzgütern nicht zu betrachten.

5.3.2 Bewertung einzelner Wirkungspfade

5.3.2.1. Wirkungspfad Sediment – Mensch

Eine Schädigung des Sedimentes ist durch den Eintrag von Schadstoffen erfolgt. Die schadstoffhaltigen Sedimente werden nach der Umlagerung abgedeckt. Ein direkter Kontakt mit den Sedimenten sowie eine Verwehung von schadstoffhaltigen Feinkornanteilen wird dadurch vollständig und langfristig unterbunden und dadurch der Kontakt kontaminiertes Sediment-Mensch bereits nach der Fertigstellung der Überschüttung unterbunden. Durch die Unterbindung des Expositionspfades ist eine Schutzgutgefährdung hier nicht zu besorgen.

5.3.2.2. Wirkungspfad Sediment – Oberflächengewässer – (Mensch)

Das teilweise schadstoffbefrachtete Sediment stellt die Quelle für den möglichen Schadstofftransport in das Schutzgut Oberflächenwasser dar. Hier erfolgt die dauerhafte und sichere Unterbindung des Expositionspfades durch den Einbau einer gedichteten Spundwand sowie

die Minimierung eines nach außen gerichteten horizontalen Fließgradienten durch die Oberflächenabdichtung. Durch die Unterbindung des Expositionspfades ist eine Schutzgutgefährdung auch hier nicht zu besorgen.

5.3.2.3. *Wirkungspfad Sediment – Grundwasser – (Mensch)*

Das teilweise schadstoffbefrachtete Sediment stellt auch hier die Quelle für den möglichen Schadstofftransport in das Schutzgut Grundwasser dar. Die Befrachtung des Schutzgutes "oberer, nicht abgedeckter Grundwasserleiter" würde hier über den horizontalen Transport aus der Einkapselung in den Aquifer erfolgen. Hier erfolgt, analog zum Oberflächenwasser, die dauerhafte und sichere Unterbindung des Expositionspfades durch den Einbau einer gedichteten Spundwand sowie die Minimierung eines nach außen gerichteten horizontalen Fließgradienten durch die Oberflächenabdichtung.

Die Schadstoffbefrachtung und damit eine Gefährdung des ersten abgedeckten Grundwasserleiters (GWL 2) würde über einen vertikalen Austritt kontaminierten Wassers in den unteren Leiter und den weiteren horizontalen Stofftransport in Abstromrichtung erfolgen.

Durch die Einbindung der gedichteten Spundwand in den flächig unterhalb des GWL 2 anstehenden Geschiebemergel erfolgt eine hydraulische Trennung und damit eine sichere Unterbindung des Expositionspfades. Gleichzeitig kann der maximal nur geringe vorhandene vertikale Fließgradient als positiv bei der Bewertung der Gefährdungssituation des Grundwasserleiters betrachtet werden.

Durch die Unterbindung der Expositionspfade bei gleichzeitig fehlender bzw. minimaler Fließgradienten ist eine Schutzgutgefährdung ebenfalls hier nicht zu besorgen.

5.3.2.4. *Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier – (Mensch)*

Für das Schutzgut Sediment –Pflanze/Tier spielen grundsätzlich sowohl gelöste Schadstoffe im Sediment als auch Schwebstoffe eine Rolle. Teilweise schadstoffbelastetes Sediment als Transportquelle ist in der Verbringungsstelle vorhanden. Schwebstoffe als Transfermedium können nach dem Aufbringen der Abdeckung ausgeschlossen werden, da keine Schwebstoffbildung mehr erfolgt. Für den Wasserpfad gelten die oben ausgeführten Aussagen analog. Durch die Unterbindung des Expositionspfades ist eine Schutzgutgefährdung hier nicht zu besorgen.

5.3.3 **Schlussfolgerung**

In der Verbringungsstelle werden sich nach Fertigstellung weiterhin Sedimente befinden, die teilweise mit organischen und anorganischen Schadstoffen befrachtet sind. Grundsätzlich stellen diese Sedimente damit eine Quelle für den Schadstofftransport über verschiedene Expositionspfade und damit eine mögliche Schutzgutgefährdung da. Durch die sichere und dauerhafte Unterbindung aller möglichen Expositionspfade wird eine Gefährdung von Schutzgütern unterbunden und ausgeschlossen.

5.4 **Setzungen während der Nutzung der Vorstellfläche**

Die nutzbare Überbauung von Flächen, in denen weiche organische Böden in großer Mächtigkeit im Untergrund anstehen, gehört heute, insbesondere im Verkehrswegebau, zu als Regelbauweise praktizierten Verfahren. Zur Nutzbarmachung und Setzungsbeschleunigung dieser Flächen erfolgt in der Regel eine Auflastschüttung, die dann für den Flächenaufbau als

Planum genutzt wird. Auch Überschüttungen, die die Setzungen weiterhin beschleunigen und einen Teil der Restsetzungen vorwegnehmen, können eingesetzt werden. Auch Vertikaldräns unterschiedlicher Ausführung können zur Setzungsbeschleunigung eingesetzt werden, Einflüsse auf das Setzungsmaß haben diese nicht.

Die Aufbringung nicht flexibel gebundener Abdichtungssysteme (z.B. Asphalt) und die Herstellung endgültiger Anschlüsse und Leitungen erfolgt erst zu einem Zeitpunkt, an dem die zwangsläufig auftretenden Restsetzungen ein tolerierbares Maß erreicht haben. Grundsätzlich werden hier flexible Systeme bei den Anschlüssen an die Spundwand und den Leitungsanschlüssen verwendet. Die Asphaltdichtung wird mit hochzugfesten Geotextilien bewehrt, um die Gefahr von Rissbildungen infolge von Setzungsunterschieden weiter zu minimieren.

Trotz der bereits vorliegenden Erfahrungen bestehen wegen der großen Inhomogenitäten der organischen Böden Restrisiken bei der Berechnung von Setzungsmaßen und -abläufen. Aus diesem Grund werden nach dem Aufbringen der Auflastschüttung Setzungsmessungen in Verbindung mit Porenwasserdruckmessungen durchgeführt. Aus den hier gewonnenen Messergebnissen können die Berechnungen überprüft und ggfs. modifiziert werden, so dass ein Aufbau der endgültigen Oberflächenabdichtung erst nach den nachgewiesenen Setzungs- und Konsolidierungszielen erfolgt.

6.2 Vorsondierungen vor dem Beginn der Nassbaggerung

Siehe auch: technischer Erläuterungsbericht, Abschnitt 5.2.5.2.

Historisch bedingt ist innerhalb des geplanten Nassbaggerbereiches im Warnemünder Werftbecken (ca. 120 Jahre industrielle Nutzung) mit einer Vielzahl von Störkörpern und Baggerhindernissen zu rechnen.

Um eine effiziente und sichere Nassbaggerung zu ermöglichen, erfolgt vor der Ausschreibung der Bauleistungen eine ferromagnetische Voruntersuchung, um mögliche Störkörper und sonstigen metallischen Unrat im Werftbecken zu lokalisieren, einzuschätzen und ggf. im Vorhinein zu bergen. Zur Sicherstellung einer störungs- und unterbrechungsfreien Baggergutförderung ist, abhängig von der gewählten Baggertechnologie, ein unterschiedlicher Grad der Vorreinigung erforderlich.

Die Vorsondierungen werden mit Sonden und einer damit verbundenen Sensorik von einem Ponton durchgeführt. Hier werden Position und Eigenschaften von metallischen Objekten bestimmt.

Die angetroffenen metallischen Gegenstände auf der Hafensohle werden mittels Magnetberäumung oder auch den Einsatz eines Polypgreifers geborgen. Da die potenziellen Störkörper gewichtsbedingt innerhalb der Muddeschichten (auf dem tragfähigen Mergelhorizont) liegen, sind mit der Bergung / Entnahme Aufwirbelungen und folglich Mobilisierungen verbunden.

Vor der Bergung der Hindernisse wird der Blasenschleier am Ende des Werftbeckens installiert und in Betrieb genommen.

Mit diesem Verfahren werden ausschließlich metallische Störobjekte für die anschließende Beräumung geortet. Weitere Störkörper wie bspw. alte Tampen, Netze, Holzreste oder auch Beton lassen sich nur eingeschränkt im Vorfeld der Nassbaggerung erkunden und beseitigen.

Für den Umgang mit diesen verbleibenden Störkörpern wird eine flexible Baggertechnik benötigt. So sind bevorzugt mechanische Entnahmeverfahren (mit Greifern) gegenüber hydraulischen Verfahren (mit Pumpen) in Anwendung zu bringen, um eine Baggerung der Sedimente ohne die fortlaufende Beschädigung der Technik zu ermöglichen.

6.3 Nassbaggertechnik zur Aufnahme der Sedimente

Die Aufnahme von Sedimenten ist grundsätzlich mit

- Variante A: mechanischer Baggertechnik und
- Variante B: hydraulischer Baggertechnik

möglich. Beide Techniken laden und transportieren Bodenmaterial an die Wasseroberfläche.

Die mechanischen Baggertechniken stellen baupraktisch bewährte, störungsarme und grundsätzlich auch weitgehend verwirbelungsarme, also auch umweltschonende Verfahrensweisen dar. Weiterhin bleibt das vorhandene Bodengefüge weitgehend bestehen, was hinsichtlich der ohnehin geringen Scherfestigkeiten insbesondere für den geplanten Wiedereinbau des Bodenmaterials von Vorteil ist.

Bei dem Einsatz hydraulischer Baggertechnik wird unter Zusatz von Wasser das Sediment gefördert und prozessbedingt vollständig zerschnitten und homogenisiert. Dieser Prozess der Homogenisierung und der Zerstörung des Bodengefüges steht einer späteren Verwendung

zur Schaffung der maritimen Vorstellfläche entgegen. Des Weiteren steht der Verwendung dieser Technik das Vorhandensein von zu erwartenden Störhindernissen (siehe Abschnitt 6.2) im Werftbeckenbereich sowie der eingeschränkte Manövrierraum im Hafenbecken (Baggerung in Fahrt) entgegen.

6.3.1 Variante A: Aufnahme der Sedimente mittels geschlossenem Greifer

Für die Aufnahme der schadstoffbelasteten Sedimente ist der Einsatz von einer schwimmenden Einheit mit leistungsfähigem Nassbaggergerät geeignet. Durch den Einsatz eines geschlossenen Greifers kann dabei möglichst verwirbelungsarm und verlustfrei sowie mit einem möglichst geringen Wassergehalt gebaggert werden. Ein entsprechender Greifer ist in Abbildung 11 dargestellt. Der Greifer soll als horizontal schließender Greifer eingesetzt werden. Dieser ist leistungsmäßig grundsätzlich nicht in der Lage, den anstehenden Geschiebemergel zu baggern, so dass eine Separierung des Baggermaterials bereits an der anstehenden Schichtgrenze stattfinden wird.

Die Baggerung der Sedimente kann damit so erfolgen, dass der gebaggerte Hafenschlick / Mudde das Grabgefäß nahezu komplett ausfüllt und dem Baggergut kein zusätzliches Wasser zugeführt wird.



Abbildung 11: Geschlossener Greifer für Nassbaggermaßnahmen, horizontal (Bild links) schließend

Die Verladung des Nassbaggergutes vom Baggergerät erfolgt auf schwimmende Einheiten.

Im Zuge der Baggerung kann es eingeschränkt zu einer Vermischung mit dem Wasser kommen, so dass mit einem Auflockerungsfaktor von 20% zu rechnen ist.

Im Bereich der ehemaligen Dockgrube ist eine Baggerung voraussichtlich bis auf eine Tiefe von ca. -15 m NHN notwendig.

Die vorhandene südliche Kaikonstruktion der bestehenden Liegeplätze P11/P12 ist als hoher Pfahlrost ausgebildet und nicht mehr standfähig. Unterhalb des Pfahlrostes befindet sich bis zur hinteren Spundwand eine Böschung unterhalb des Wasserspiegels. Der Kaieinschnitt des neuen Liegeplatzes P11 erfolgt ca. 20 – 50 m landseitig der hinteren Bestandsspundwand. Der Bereich der überbauten Böschung ist gemäß geotechnischem Bericht als nichtbindiger Bereich mit Muddeinlagerungen gekennzeichnet. Diese Sedimente sind nach dem wasserseitigen Abbruch der Betonkonstruktion des hohen Pfahlrostes ebenfalls mittels des Einsatzes geschlossener Greifer aufzunehmen.

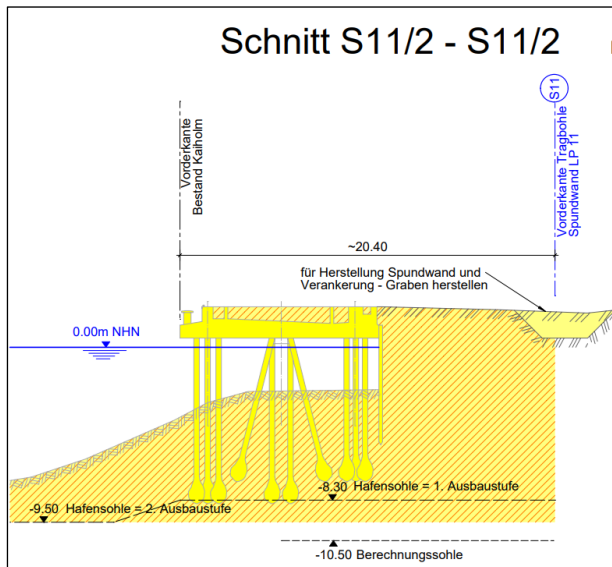


Abbildung 12: Schnitt Bestand Liegeplätze P11/P12 (hoher Pfahlrost und überbaute Böschung)

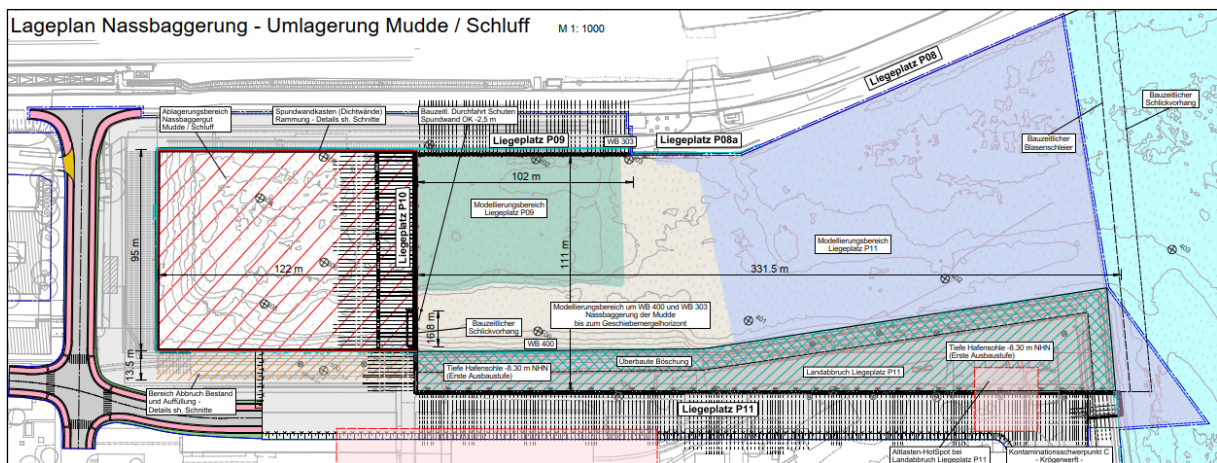


Abbildung 13: Lageplan Nassbaggerung – Mudde/Schluff

6.3.2 Variante B: Aufnahme der Sedimente mit Hilfe von Saugbaggern

Beim Einsatz eines Laderaumsaugbagger (Hopper) zur Sedimententnahme nach Abbildung 14 wäre eine Schiffslänge von mind. 80 m notwendig.

Neben den im Abschnitt 6.3 beschriebenen Nachteilen der hydraulischen Baggergutförderung kann der Einsatz eines „fahrenden Schiffes“ in dieser Größe zur kontinuierlichen Baggerung navigatorisch im Hafenbecken nicht sicher gewährleistet werden.

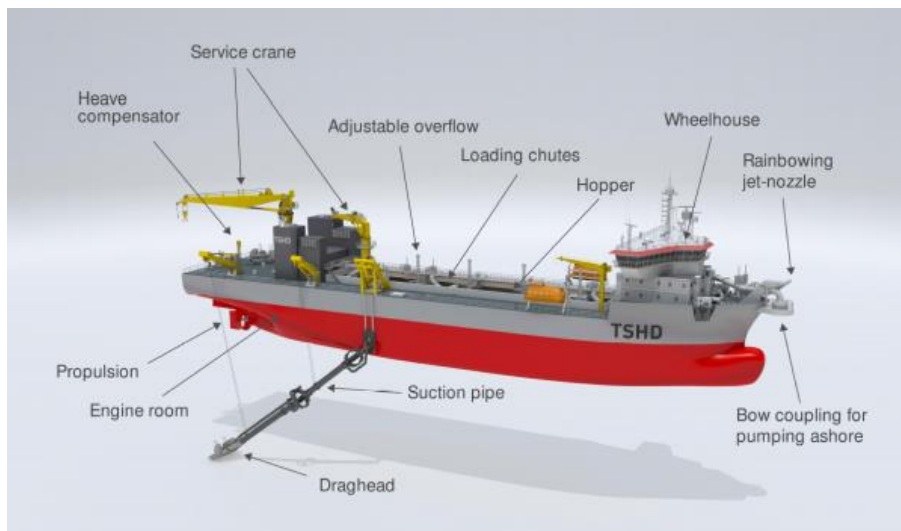


Abbildung 14: Laderaumsaugbagger, schematisch

6.4 Reinigung der Sedimentbaggerfläche vor Geschiebemergelbaggerung

Nach Ende der mechanischen Nassbaggerung sind die verbliebenen Restmengen an Schlick über dem Mergelhorizont durch Peilungen mit zwei unterschiedlichen Frequenzen (15 kHz und min. 210 kHz) zu erfassen, um dem Geräteführer des Gerätes für die Restschlickberäumung die Daten für das digitale Geländemodell zu liefern.

Vor Beginn der Restschlickberäumung werden mind. 3 Eluatproben im Baggerbereich genommen und labortechnisch untersucht.

Die Restschlickberäumung erfolgt mit einer **mobilen Baggerpumpe**, die am Stiel des zuvor eingesetzten Hydraulikbaggers montiert wird. Diese muss im Sichtgerät des Hydraulikbaggers konfiguriert und kalibriert sein. Die Daten der Bewegung des Saugkopfes sind vollständig zu erfassen. Damit wird nachgewiesen, dass die gesamte Baggerfläche bearbeitet wurde.

Das Aggregat zum Betrieb der mobilen Baggerpumpe befindet sich an Deck des Baggerpontons, welcher sich auf Pfählen in der Baggerfläche positioniert. Die Funktionsweise ist identisch mit einem Saugbagger. Der gebaggerte Restschlick wird über flexible Spülrohrleitungen in einen Geotube (geotextiler Schlauch z.B. $\varnothing$ 3,5 m, Länge 35 m) eingespült. Der Befüllvorgang des Geotubes wird im Laderaum einer Spaltklappschute ausgeführt, um eine Fixierung während des Spülvorgangs zu sichern. Geotubes werden von den führenden Geotextilherstellern vorkonfektioniert. Sie verfügen über einen Befüllstutzen und einen Auslassstutzen. Durch die Poren des Geotextils sowie den Auslassstutzen erfolgt die Abgabe des Begleitwassers des Saugvorgangs. Aus dem Laderaum der Schute gelangt überschüssiges Begleitwasser in das Hafenbecken zurück. Ist der Geotube mit Restschlick befüllt, werden die Ein- und Auslassstut-

zen verschlossen und die Schute kann zur vorgesehenen Verbringstelle im Bereich der Ablagerungsfläche verholt werden. Dort wird sie positioniert und der Geotube durch Öffnung des Laderaums der Spaltklappschute zielgenau eingebaut.



Abbildung 15: Geotube im Wasserbau

Beim Befüllen des Geotubes ist auf niedrige Drücke zu achten. Zweckmäßigerweise wird unmittelbar vor dem Befüllstutzen ein Überdruckventil angeordnet, um die Zerstörung des Geotubes durch Überdruck zu verhindern.

Nach Abschluss der Restschlickberäumung wird nochmals eine Peilung mit zwei unterschiedlichen Frequenzen durchgeführt. Damit und mit den Bewegungsdaten des Saugkopfes wird der Qualitätsnachweis erbracht.

Einer nachträglichen Vertikaldrainage in der Ablagerungsfläche steht ein Geotube nicht entgegen. Dieser wird von den Stichern des Vertikaldraingeräts problemlos durchstoßen und der Inhalt des Geotubes wird so auch drainiert.

6.5 Baggerung und Verbringung vom Geschiebemergel

Im Hafenbecken ist eine Mindesttiefe von -9,50 m NHN herzustellen. Die Herstellung von Liegeplatz P11 erfolgt in dieser ersten Ausbaustufe auf eine Tiefe von -8,30 m NHN.

Das Baggergut Geschiebemergel wurde im geotechnischen Bericht nach GÜBAK im Wesentlichen in die Fälle 1 und 2 ($c \leq R1$ bzw. $R1 < c \leq R2$) eingestuft. Gemäß den vorliegenden Untersuchungsergebnissen des Nassbaggergutes werden die Richtwerte R2 nach GÜBAK in einer Probe überschritten. Nach ingenieurtechnischer Einschätzung ist davon auszugehen, dass die Überschreitung der Richtwerte mit hoher Wahrscheinlichkeit durch eine vertikale Verschleppung der überlagernden Mudde (Konsistenz: flüssig, breiig, teils weich) in den oberen Geschiebemergelhorizont während der Bohrungen verursacht wurde.

Rechtzeitig vor Beginn der Maßnahme werden in diesen Bereichen weitere Probenahmen und chemische Analysen mit Tiefenstaffelung erfolgen.

Die Nassbaggerung von Geschiebemergel im Vorhabengebiet wird mittels ausreichend leistungsfähiger schwimmender Gerätetechnik durchgeführt.

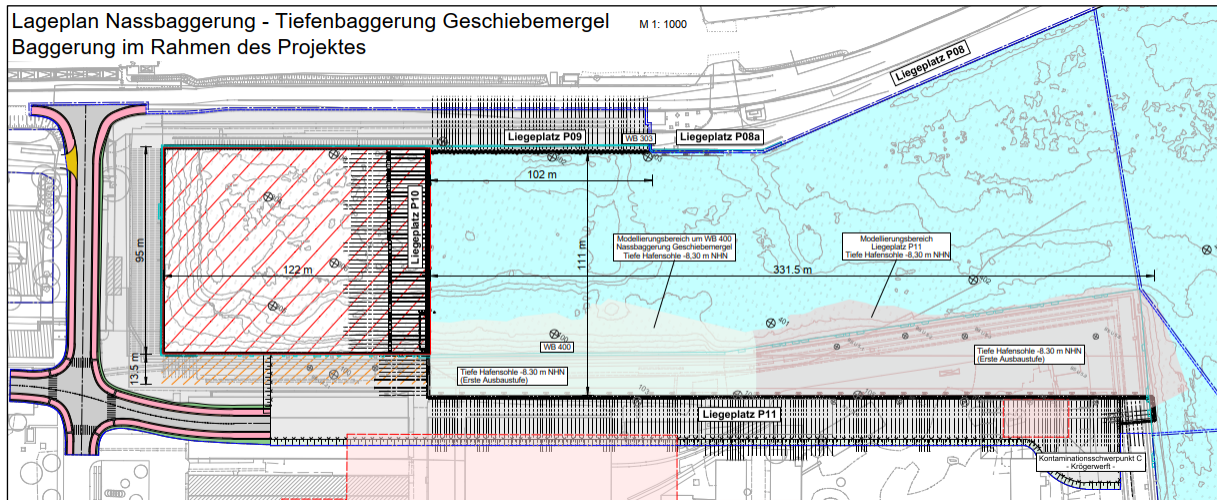


Abbildung 16: Lageplan Nassbaggerung – Geschiebemergel (erste Ausbaustufe Liegeplatz P11)



Abbildung 17: beispielhafter Hydraulikbagger (Backhoe) mit Schutenbeladung

Das Material wird vom Hydraulikbagger auf Klappschuten geladen. Die Klappschuten übernehmen den Transport des Materials zur Verbringungsstelle sowie die dortige Verbringung.

Auf Basis dieser Beurteilung hat das WSA Ostsee bereits im Zuge des Vorhabens „Umbau Werftbecken Warnemünde“ einen positiven Zwischenbescheid zum Antrag auf Verklappgenehmigung mit Datum vom 20.11.2018 erteilt. Dieser Bescheid ist zeitlich unbegrenzt gültig und wurde auf Anfrage am 05.01.2022 nochmals schriftlich durch das WSA bestätigt. Entsprechend ist geplant, den verklappfähigen Anteil des Geschiebemergels auf die zugelassene Umlagerungsfläche KS 552a des WSA zu verbringen. Die Klappstelle befindet sich ca. 8 sm nordöstlich von Warnemünde und hat eine planfestgestellte Gesamtgröße von 610 ha.

6.6 Untersuchung zur Technologie für den Transport und die Umlagerung der Sedimente

6.6.1 Vorbemerkungen

Die Durchführung der Baggerung der Mudden ist grundsätzlich in verschiedenen Technologien ausführbar. Im Folgenden wird daher zunächst eine Variantenbetrachtung durchgeführt. Zielstellung der Diskussion ist, eine optimale Lösung im Hinblick auf die grundsätzlichen Anforderungskriterien:

- Technologische Machbarkeit
- Wirtschaftlichkeit

zu finden und eine sinnvolle Vorzugsvariante zu ermitteln.

Der Vergleich der umweltfachlichen Auswirkungen der Baggertechnologien zur Sediment Umlagerung erfolgt in einer gesonderten Unterlage "Umweltfachlicher Alternativenvergleich zur Nassbaggergutverbringung".

6.6.2 Variante 1: Baggerung und schiffsseitige Verbringung in den Verfüllbereich

Der Transport des entnommenen Baggergutes in den Verfüllbereich erfolgt mittels Schiffseinheiten. Hierzu wird am neu zu errichtenden Liegeplatz P10 bauzeitlich eine minimal bemessene Durchfahrtsöffnung hergestellt.

Aufgrund der Geometrie des Verfüllbereiches und der notwendigen Manövrierbarkeit können nur Einheiten bis ca. 50 m Länge und 9,50 m Breite eingesetzt werden. Die am Markt verfügbaren Einheiten dieser Größenordnung verfügen über ein Ladevolumen von ca. 300 – 400 m³ und max. 3 m Tiefgang (beladen).

In der Variante 1 ergibt sich die Notwendigkeit der Errichtung einer temporären Durchfahrtsöffnung für das sichere Einfahren der Schiffseinheiten in der Spundwand des LP P10.

Um einen Austrag von Schwebstoffen durch die Durchfahrtsöffnung zu unterbinden, wird diese mit einem **Schlickvorhang** gesichert. Dieser wird wasserseitig an der Spundwand befestigt (Länge ca. 20 m). Die Wirkweise des Schlickvorhanges ist in Kapitel 7 beschrieben.

Der schiffsseitige Transport des Materials kann durch eine selbstfahrende Baggereinheit oder Transportschuten je nach Technologie des AN durchgeführt werden. Die Verladung des Nassbaggergutes in den geschlossenen Laderaum der Transporteinheit erfolgt mit geschlossenem Greifer bspw. analog Abbildung 18.



Abbildung 18: Beispiel einer möglichen Baggereinheit der Fa. Hojmarine

Die Transporteinheit nutzt die Durchfahrtsöffnung an der Spundwand Liegeplatz P10 und positioniert sich im Verfüllbereich. Der Einbau aus dem Laderaum der Transporteinheit wird mittels der installierten Baggertechnik im Verfüllbereich durchgeführt. Dabei wird das Material aus dem Laderaum kontrolliert auf der Hafensohle mittels geschlossener Greifer oder alternativ mit einem Fallrohr abgesetzt.

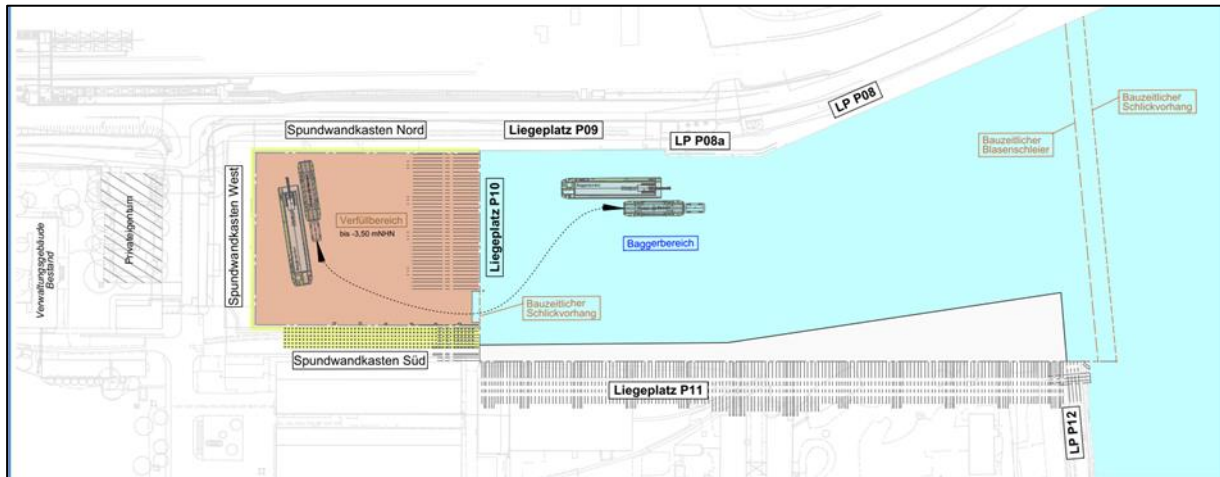


Abbildung 19: Prinzipdarstellung Variante 1: Baggerung und Transport in Verfüllbereich

Mit dieser Absetztechnologie erfolgt im Schutze der Spundwand und des Schlickvorhangs an der Durchfahrtsöffnung eine minimierte Wasser- und Schwebstoffmobilisierung innerhalb des Verfüllbereiches.

6.6.3 Variante 2: Baggerung und Schiff-Schiff-Umlagerung in den Verfüllbereich

In der Variante 2 hat die Spundwand keine Durchfahrtsöffnung, so dass der Transport des entnommenen Baggergutes über die neu zu errichtende Spundwand am Liegeplatz P10 erfolgt.

Die Entnahme der umzulagernden Sedimente erfolgt im Hafenbecken mittels einer Baggereinheit. Diese verlädt das Nassbaggergut im Hafenbecken in eine beigestellte Transportschute. Für eine Prozessoptimierung sind mind. zwei Transportschuten im Hafenbecken notwendig.

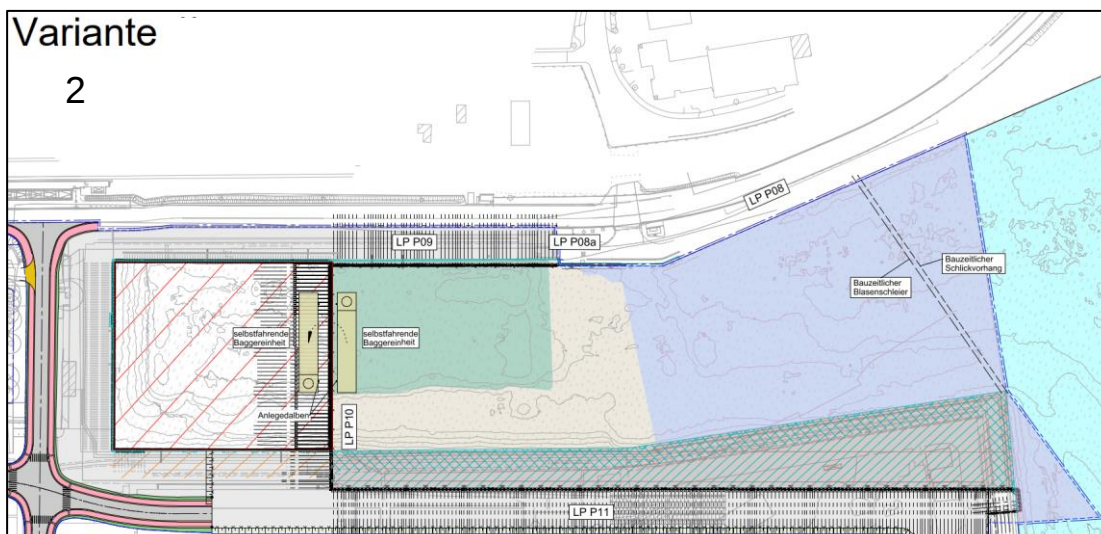


Abbildung 20: Prinzipdarstellung Variante 2: Baggerung und Verladung durch Baggereinheiten mit Laderaum

Die Transportschuten fahren an einen bauzeitig einzurichtenden Verladeliegeplatz entlang der neu errichteten Spundwand Liegeplatz P10. Des Weiteren sind Zusatzdalben beidseitig der Spundwand zum Anlegen Transportschuten notwendig.

Die Dalben auf der Seite der Teilverfüllung sind in mind. 5 m Entfernung zur Spundwand herzustellen damit der Schiffskörper durch die Anker der Spundwand nicht beschädigt wird.

Entlang des provisorischen Liegeplatzes erfolgt in dieser Variante eine Schiff-Schiff Verladung. Hierzu sind Krantechniken auf mind. einer Einheit erforderlich, welche die Verladung über den Schiffsabstand von mind. 6 m (Abstand Außenkante der Verladeeinheiten) transportieren kann.

Innerhalb des Verfüllbereiches erfolgt dann die Verteilung des Baggergutes mit weiteren Schiffseinheiten.

Bei der Maßnahme entstehen im Vergleich zu Variante 1 erhebliche Zusatzkosten, da die schwimmenden Einheiten in dem Verfüllbereich ca. 3 Monate ohne Leistung auf die Fertigstellung der Spundwand warten müssen und zum Schluss mittels eines entsprechend leistungsfähigen Schwimmkranes wieder zurückzusetzen sind. Als problematisch ist die Verfügbarkeit von der Schwimmkrantechnik im geplanten Bauzeitraum zu bewerten.

6.6.4 Variante 3: Hydraulisch gestützte Umlagerung

Alternativ zur mechanischen Baggerung kann die Umlagerung der Sedimente auch hydraulisch realisiert werden.

Eine solche Anwendung wurde bereits in verschiedenen Wasserbauprojekten praktiziert. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt eine entsprechende Anwendung.

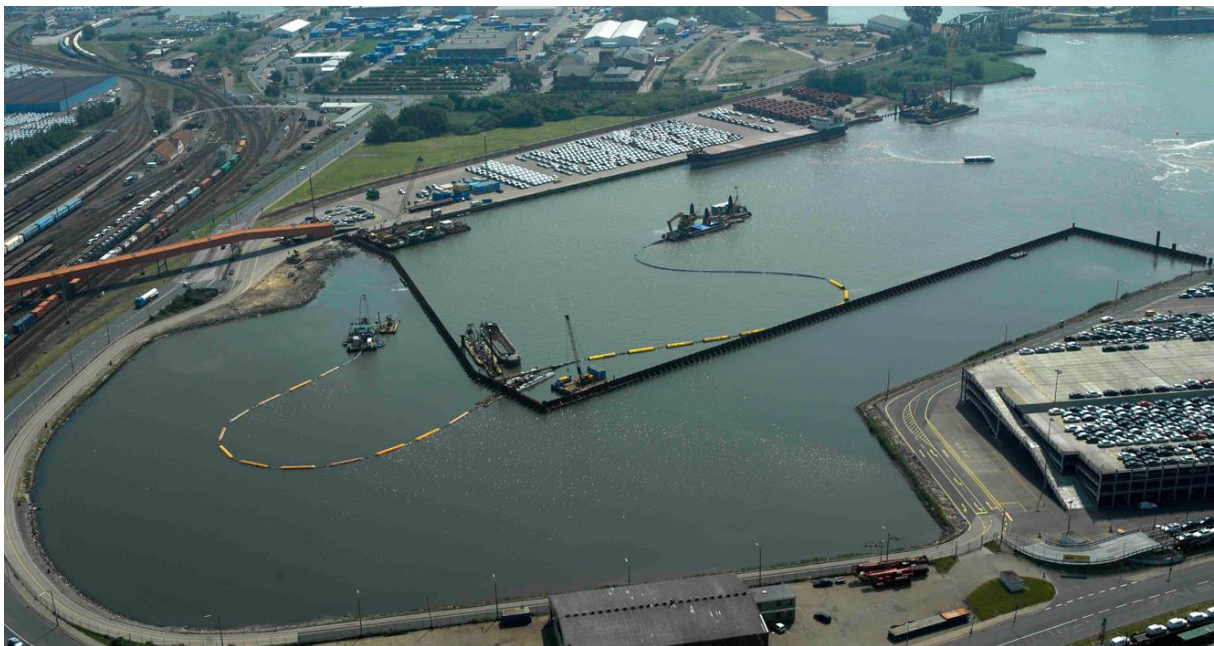


Abbildung 21: Anwendung hydraulisch gestützte Umlagerung in Bremerhaven (© Heinrich Hirdes)

Der Vorteil dieser Variante ist, dass mit dieser Einrichtung die Spundwand vor Beginn der Verbringungsmaßnahmen geschlossen wird, so dass Trübungsfahren im Hafenbecken verhindert werden. Jedoch muss das Wasser, welches im Verfüllbereich verdrängt wird, auch übergeleitet werden. Im Beispiel Bremerhaven wurde dies über eine seitliche Öffnung am weit entfernten Hafenbeckenrand getätigt.

Analog zu den mechanischen Varianten 1 und 2 erfolgt die Baggerung in dieser Variante mit einem geschlossenen Greifer (siehe Abbildung 11) auf ein beigestellten Materialponton. Der Materialponton ist mit dem Pumpenponton (z.B. Schubleichter) gekoppelt bzw. die Pumpen werden direkt auf dem Materialponton installiert.

Der Förderprozess kann bspw. durch Dickstoff- oder auch modifizierte Betonpumpen erfolgen. In jedem Falle handelt es sich bei der Technologie um eine vorhabensspezifische Speziallösung. Das geförderte Baggergut wird über Schwimmrohrleitungen in den Verfüllbereich gepumpt und hier weitgehend kontrolliert eingebaut.

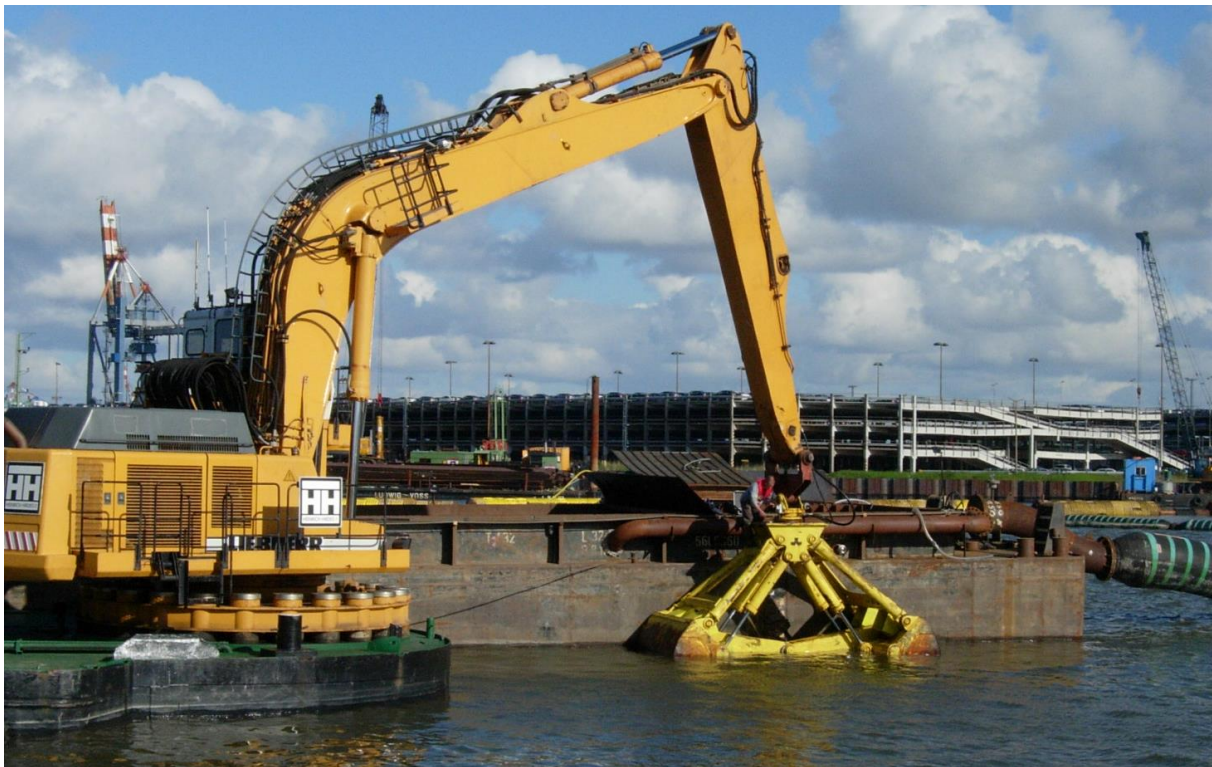


Abbildung 20: Muddebaggerung mit Greifer auf Materialponton mit Pumpen (© Heinrich Hirdes)

Die Dickstoffpumpen, die nach dem Verdrängungsprinzip von Betonpumpen arbeiten, drücken den Schlack ohne Zugabe von Wasser in die angekoppelte Schwimmrohrleitung. Durch diese erfolgt der Transport des Baggergutes innerhalb des Abtragbereiches bis zur Spundwand.

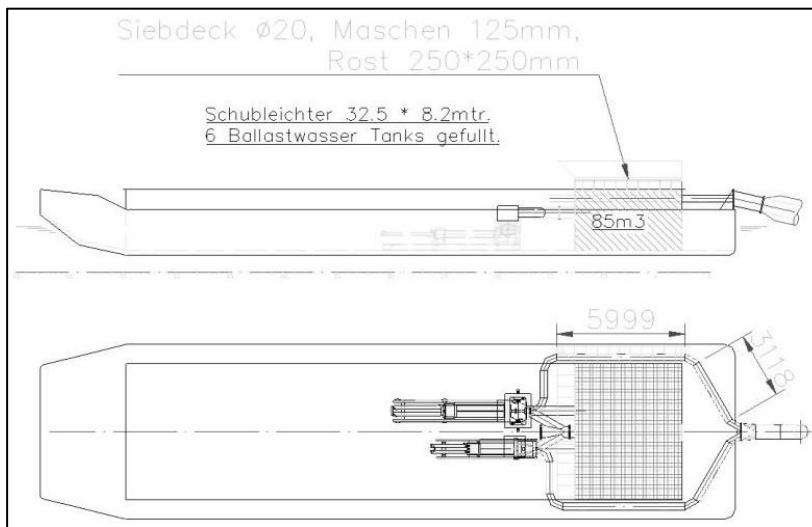


Abbildung 21: Beispielhafter Schubleichter mit Pumpeninstallation (© Heinrich Hirdes)

Die Ausführung der Pumpen bedingt ein reines, störfreies Baggergut, da ansonsten die Pumpen blockieren bzw. beschädigt werden.

Über die Spundwand am Liegeplatz P10 wird die Schwimmrohrleitung mit Hilfe eines Überbrückungspontons herübergeführt.

Am Ende der Schwimmrohrleitung befindet sich ein Einbauponton, das über hydraulische Ankerwinden positioniert wird und den Schlick durch ein in der Tiefe verstellbares Einbaurohr in der Auftragsfläche lagenweise bis zu einem Niveau von -3,50 m NHN einbaut.

Der Einbauponton ist nach Abschluss der Verfüllarbeiten mittels schwimmender Krantechnik wieder aus dem Verfüllbereich herauszuheben.

Es ist mit Baggerhindernissen zu rechnen. An der Pumptechnik ist dadurch mit massiven technischen Schäden durch verbleibende Hindernisse trotz Beräumung (siehe Kapitel 6.2) zu rechnen. Unter den gegebenen Randbedingungen stellt die Variante keine gesicherte Technologie zur Sedimentumlagerung dar.

Zusätzlich zu den Problemen des Transportes der Sedimente wird durch die verursachte Homogenisierung des Baggergutes beim Pumpen dieses vollständig im Gefüge zerstört. Durch die in Kapitel 8 beschriebene Verrieselung kann es zu vermehrten Grundbrüchen kommen, welche den Erfolg der notwendigen Konsolidierung dieser Sedimente gefährden.

6.6.5 Variantenvergleich

Die erläuterten Varianten 1 – 3 für die Umlagerung der Mudden / organischen Materialien aus dem Hafenbecken in den Verfüllbereich werden nachfolgend einer vergleichenden Bewertung unterzogen.

Für die Bewertung werden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

Betrachtungsteil A: Technologische Machbarkeit

- Technologische Qualität der Sicherung und Dauerhaftigkeit
- Technologische Sicherheit (Störanfälligkeit im Verfahren)
- prozessbedingte Verschlechterung der bodenmechanischen Eigenschaften

Betrachtungsteil B: Wirtschaftlichkeit

- Einsatz und Vorhaltung von Baggergerät und Spezialtechnik
- Auswirkungen auf die Kosten der Spundwandkonstruktion
- Aufwand für Vorberäumung von Störkörpern u.ä.

Die Bewertung erfolgt anhand der v.g. Kriterien vergleichend in einem Stufensystem:

- = negativ
- 0 = neutral
- + = positiv

Die nachfolgenden Tabelle 4 und Tabelle 5 stellen die vergleichende Bewertung der Varianten dar. Die Betrachtungen der umweltseitigen Auswirkungen der Varianten wurden separat geführt.

Tabelle 4: Vergleichende Bewertung der Varianten, Betrachtungsteil A – technologische Machbarkeit

Wertungskriterium	Variante 1 Baggerung und schiffs- seitige Verbringung	Variante 2 Baggerung und Schiff- Schiff-Umlagerung	Variante 3 Hydraulisch gestützte Umlagerung
technologische Qualität der Siche- rung und Dauerhaf- tigkeit	+ Variante technologisch erprobt	0 erheblicher Aufwand in Schwimmtechnik, Schütt- verluste	- erheblicher Aufwand in Schwimmtechnik
technologische Si- cherheit (Störanfäl- ligkeit im Prozess)	+ Variante technologisch erprobt	+ Variante technologisch erprobt	- technologisch höchst an- fällig
prozessbedingte Verschlechterung der bodenmechani- schen Eigenschaf- ten	+ kontrolliertes Absetzen	- unkontrollierter Einbau	- erhebliche bodenmecha- nische Verschlechterung durch Pumpenförderung

Wertungskriterium	Variante 1 Baggerung und schiffs- seitige Verbringung	Variante 2 Baggerung und Schiff- Schiff-Umlagerung	Variante 3 Hydraulisch gestützte Umlagerung
Zwischenfazit A	+	0	-- ⁴

Tabelle 5: Vergleichende Bewertung der Varianten, Betrachtungsteil B – Wirtschaftlichkeit

Wertungskriterium	Variante 1 Baggerung und schiffs- seitige Verbringung	Variante 2 Baggerung und Schiff- Schiff-Umlagerung	Variante 3 Hydraulisch gestützte Umlagerung
Einsatz und Vorhaltung von Baggergerät und Spezialtechnik	+ Einsatz nur einer Einheit	- Einsatz mehrerer Einheiten	- Einsatz mehrerer Einheiten, Sonderanfertigungen der Pontonlösung
Auswirkungen auf die Kosten der Spundwandkonstruktion	0 Durchfahrtsöffnung erforderlich	- zusätzlicher bauzeitlicher Liegeplatz	- zusätzlicher bauzeitlicher Liegeplatz
zusätzlicher Aufwand für Vorberäumung Störkörper	+ geringer Grad der Vorberäumung	+ geringer Grad der Vorberäumung	- sehr kleinteilige Vorberäumung
Zwischenfazit B	+	0	-

Tabelle 6: Übernahme der umweltfachlichen Ergebnisse der Betrachtungen aus beigefügtem Dokument „umweltfachlicher Alternativenvergleich“, Tabelle 60⁵

Wertungskriterium	Variante 1: schiffseitige Verbringung	Variante 2: Schiff zu Schiff	Variante 3: hydraulische Umlagerung
Sedimentverluste	sehr geringes Risiko +	geringes Risiko +/-	sehr geringes Risiko +
Volumenverdrängungswasser	Zunächst ungefiltert, aber Schutz durch Schlickvorhang +/-	Vollständig gefiltert +	Vollständig gefiltert +
Spundwand	Bauzeitliche Durchfahrt mit Schlickvorhang +/-	Geschlossen +	Geschlossen +
Flächenbedarf	-	+	+
Umweltseitiger Vorzug	+/-	+	+

⁴ Die Variante ist technologisch höchst störanfällig, zerstört das Bodengefüge für eine Konsolidierung, und stellt eine aufwändige Sonderlösung dar.

⁵ Gemäß beigefügtem Dokument „umweltfachlicher Alternativenvergleich zur Nassbaggergutverbringung, Tabelle 60 (Kapitel 3.3), geänderte Skalenbewertung beachten

6.7 Bewertung der Folgekosten

In beiden Alternativen A und B ist zu berücksichtigen, dass eine dauerhafte Kapselung des Baggergutes bzw. die Sandverfüllung der Vorstellfläche Folgekosten im Rahmen der Bauwerksunterhaltung der Kaianlage Liegeplatz P 10 und Umschließungswände hat. Grundsätzlich sind die Überwachungsmaßnahmen mit den entsprechenden Auflagen für Kaibauwerke in der DIN 1076 geregelt. Entsprechende Folgemaßnahmen sind für die Kaianlagen üblicherweise zu berücksichtigen:

1. Regelmäßige Bauwerksinspektionen

Nach DIN 1076 sind die Bauwerke in regelmäßigen Abständen zu prüfen und der Bauzustand ist festzustellen. Die Hauptprüfung erfolgt in einem Zeitintervall von 6 Jahren. Sollten Bauwerksschäden festgestellt werden, so sind diese durch geeignete Sanierungsmaßnahmen zu beseitigen.

2. Maßnahmen bei Erreichen der Lebensdauer

Sollten die Bauwerke zur Eingrenzung des Baggergutes das Ende der Lebensdauer erreicht haben, so ist die Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit durch geeignete Maßnahmen des Hafenbaus wieder herzustellen. Bspw. ist die Spundwand am Liegeplatz P 10 durch eine wasserseitige Vorrammung zu ersetzen. Gleiches kann für die Umschließungswände durch eine zusätzliche Dichtebene im Nachgang realisiert werden. Bei der Alternative A ist dabei zu berücksichtigen, dass infolge der Konsolidierung und Verbesserung der aktiven Bodenbelastungen die Aufwendungen einer Sanierung in ca. 80 Jahren nahezu identisch zu den Aufwendungen der Alternative B werden.

Das Hafen- und Seemannsamt kommt dieser Unterhaltungspflicht nach.

6.8 Schlussfolgerung

Nachfolgend werden die Bewertungskriterien zusammengefasst

Tabelle 7: Vergleichende Bewertung der Varianten, Zusammenfassung

Wertungskriterium	Variante 1 Baggerung und schiffs- seitige Verbringung	Variante 2 Baggerung und Schiff- Schiff-Umlagerung	Variante 3 Hydraulisch gestützte Umlagerung
Betrachtungsteil A - Technologische Machbarkeit	+	0	-
Betrachtungsteil B - Wirtschaftlichkeit	+	0	-
Betrachtungsteil C – Umweltplanerische Betrachtung	+/-	+	+
Endbetrachtung	Platz 1	Platz 2	Platz 3

Im Ergebnis des Vergleiches der Varianten zur Umlagerung und dem Einbau der belasteten Sedimente der Alternative A – „Errichtung der Vorstellfläche unter Verwendung der belasteten Sedimente des Werftbeckens als Verfüllmaterial“ ist die Variante 1 zur Bauausführung zu empfehlen.

7 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen zur Nassbaggerung

7.1 Vorbemerkungen

Das Werftbecken Warnemünde ist lagemäßig ein geschlossenes Hafenbecken, welches im nordöstlichen Bereich in den Seekanal mit den angrenzenden Liegeplätzen, insb. Liegeplatz P08 übergeht.

Als Vermeidungs- und Minderungsmaßnahme ist für die Bauzeit der Nassbaggerung eine Absperrung des Hafenbeckens gemäß Abbildung 22 vorgesehen, um Sedimentverfrachtungen und daraus resultierende Gewässertrübungen sowie mögliche Schad- und Nährstofftransporte in den angrenzenden Seekanal zu vermeiden und Verschlechterungen im Wasserkörper zu minimieren.



Abbildung 22: Luftbild des Hafenbeckens mit Lageeinordnung der bauzeitlichen Sicherung (rot)

Hierzu sind unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten grundsätzlich folgende technische Maßnahmen möglich, welche nachfolgend diskutiert und gewertet werden:

- Ausführung Schlickvorhang
- Ausführung Blasenschleier (Druckluftsperr)
- Ausführung Kombination Schlickvorhang und Blasenschleier
- Ausführung Schlickvorhang Durchfahrtsöffnung in den Verbringungs Bereich der Sedimente

Der Einsatz eines Schlickvorhanges mit dieser Zielstellung ist im Rahmen der Verbringung von belasteten Sedimenten aus dem Seekanal in die ehemalige Dockgrube der Neptunwerft erprobt und konnte anhand von Messprogrammen innerhalb und außerhalb dieser Dockgrube nachgewiesen werden (Maßnahme: Seekanalvertiefung; Bauherr: WSA Ostsee). Bei der Ausbildung des Schlickvorhanges wird dessen Funktionsweise auch bei Hochwasserereignissen und stärkerem Wellengang sichergestellt.

Die Wirksamkeit eines Schlickvorhangs zur Verhinderung von Trübungsfahnen zeigt exemplarisch Abbildung 23.



Abbildung 23: Schlickvorhang im Projekt Vuosari, Finnland (Quelle: CEDA, IADC (2018))

Beim Blasenschleier wird durch austretende Luft eine vertikale Strömung erzeugt, die sich an der Wasseroberfläche in zwei entgegengesetzte Strömungen umwandeln wird. Die Strömung gemäß Abbildung 24 stellt eine physikalische Barriere dar, die den Wasseraustausch verhindert.

Weiterer positiver Nebeneffekt eines Blasenschleiers ist der aktive Sauerstoffeintrag in den Wasserkörper.

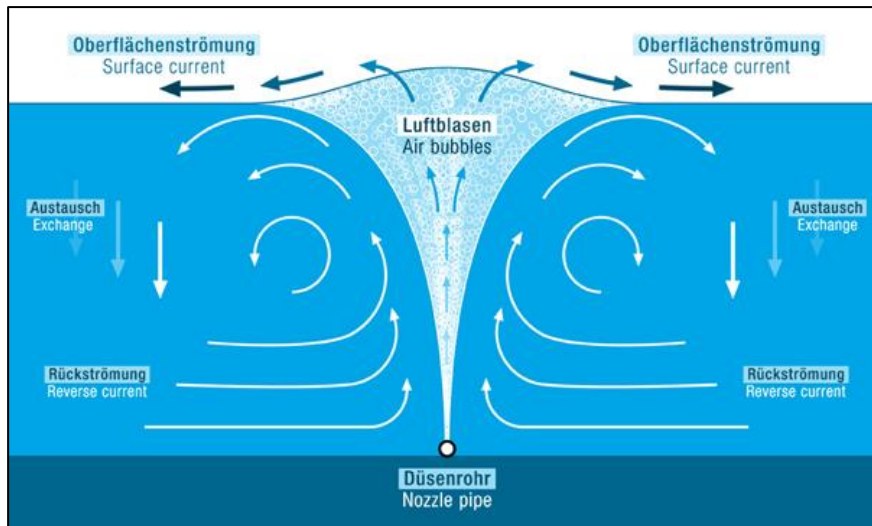


Abbildung 24: Strömungsdiagramm einer Druckluftsperrung

Für die erfolgreiche Anwendung von Druckluftsperrungen sind umfangreiche Projekte u.a. im Seehafen Kiel bekannt.

Für diese Projekt wurde der kombinierte Einsatz eines Blasenschleiers mit einem Schlickvorhang zur Sicherstellung höchster Ansprüche an die Abriegelung des Werftbeckens gewählt.

Details zur Ausführung des Schlickvorhanges und des Blasenschleiers sind dem Erläuterungsbericht „Technologie zur Sedimentumlagerung und -konsolidierung“ der Entwurfs- und Genehmigungsplanung“ zu entnehmen.

7.2 Aufnahme von Sedimenten außerhalb des Werftbeckenbereiches

Außerhalb des Hafenbeckens und der beschriebenen Absperrung mittels Blasenschleier und Schlickvorhang sind kleine Baggerungen gemäß Lageplan (siehe Abbildung 25) erforderlich. Diese sind notwendig, um die Zufahrtstiefe zu den Liegeplätzen herzustellen und alle bekannten Sedimentbelastungen im Werftbeckenbereich zu beseitigen. Gemäß Massenmodell handelt es sich hierbei mengenmäßig um ca. 1.500 m³, also einen eher untergeordneten Anteil der gesamten Baggerungen. Somit beträgt der Anteil von der Muddebaggerung (63.680 m³) ca. 4 %.

Das zu baggernde Material selbst ist qualitativ betrachtet insgesamt deutlich geringer belastet als das Material innerhalb des Werftbeckens. In seiner Genese und Belastung entspricht das Material dem Baggergut aus der Seekanalvertiefung.

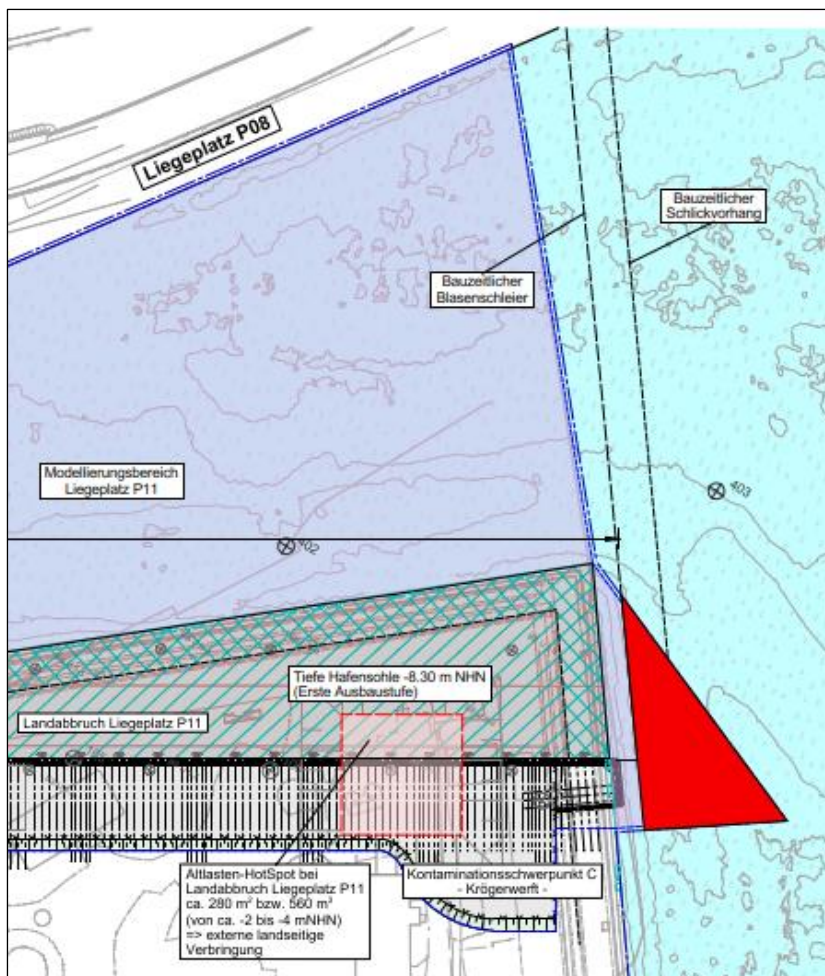


Abbildung 25: Lageplanausschnitt Nassbaggerungen (Bereich außerhalb Hafenbecken - rot)

Entsprechend der planfestgestellten Maßnahme zur Seekanalvertiefung und der vergleichbaren Randbedingungen des Baggergutes ist vorgesehen, dass die Baggerung in derselben Baggertechnologie ausgeführt wird, wie bei der Seekanalvertiefung. Dies bedeutet u.a., dass der Einsatz eines geschlossenen Greifers in der bereits gewählten Baggertechnologie erfolgen wird.

7.3 Gewässerschutzmaßnahmen während der Baumaßnahme

Zur Vermeidung von baubedingten negativen Auswirkungen auf Oberflächengewässer werden prospektive bzw. vorbeugende Gewässerschutzmaßnahmen vorgesehen und vor Beginn der Nassbagger- und Abbrucharbeiten installiert und durchgeführt bzw. sind durch die ausführenden Unternehmen zu erfüllen und nachzuweisen.

Der Zeitraum der notwendigen Abbrucharbeiten sowie Nassbaggerarbeiten ist im Rahmen der Planung zu prüfen. Wenn möglich sollten diese Arbeiten in einem Zeitraum geringer biologischer Aktivität (Mitte Oktober bis Mitte März) durchgeführt werden.

Des Weiteren sind die folgenden Maßnahmen zum Gewässerschutz vorgesehen:

- nach Abschluss der Muddebaggerung und vor Beginn der Geschiebemergelbaggerung wird für einen Zeitraum von mind. 14 Tagen keine Baggerbewegungen im Hafenbecken erfolgen, um eine Sedimentation im Hafenbecken zu ermöglichen.
- Verwendung immissionsarmer Gerätetechnik, z.B. Betrieb der Gerätschaft mit biologisch abbaubarem Hydrauliköl
- Verwendung immissionsarmer Abbruchverfahren mit möglichst geringem Eintrag von Abbruchsegmenten und Abbruchmaterialien in Gewässer, z.B. Sägeschnitt und Heben der Abbruchsegmente der Kaiplatte
- Vorhalten von Gerätschaften für ggf. Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebes, z.B. Ölsperren
- Installation Schlickvorhang und Blasenschleier im Werftbecken vor Beginn der Arbeiten⁶
- Installation Schlickvorhang an der Durchfahrtsöffnung LP P10 zum Verfüllbereich
- fachgerechter Transport von Nassbaggergut sowie Abbruchmaterialien und -segmenten
- fachgerechte Separierung und Zwischenlagerung von Nassbaggergut sowie Abbruchmaterialien
- fachgerechte Entsorgung bzw. Wiederverwertung der Abbruchsegmente und -materialien.
- regelmäßige Unterweisung des Baustellenpersonals zur Beachtung der umweltrechtlichen Gesetze und Verordnungen, sowie Verwaltungsvorschriften und Technischen Regeln
- Kontrolle und Durchsetzung der Maßnahmen, z.B. durch örtliche Bauüberwachung und Baubegleitungen, z.B. abfallrechtliche und geotechnische Fachbaubegleitungen.

Zum durchzuführenden Monitoringprogramm des Oberflächengewässers wird auf Abschnitt 11 verwiesen.

⁶ Es ist zu beachten, dass der Schlickvorhang nach Installation und während der Durchführung der Baggermaßnahmen nicht geöffnet werden darf. Die Baggerung außerhalb des Hafenbeckens ist zeitlich möglichst vor der Hauptbaggerung einzuordnen. Insbesondere sind Schiffspassagen des Schlickvorhanges durch Betankungen o.ä. nicht zulässig.

7.4 Abbruchkriterien für die Sedimentumlagerung im Werftbeckenbereich

Gemäß Baggergutverbringungskonzept Abschnitt 11.1 „Durchführung des Monitoringprogramms für das Oberflächenwasser“ wird im Rahmen eines Monitoringprogramms die hydrologische und chemische Wasserbeschaffenheit baubegleitend überwacht.

Leitparameter zur unmittelbaren Steuerung der Arbeiten sind die Vor-Ort-Parameter, die permanent gemessen werden, insbesondere die Trübung.

Die Messpunkte M01 und M06 kennzeichnen dabei die Wasserbeschaffenheit innerhalb des durch einen Blasenschleier und Schlickvorhang abgeschotteten Umlagerungsbereich des Werftbeckens. Die Messpunkte M02-M05 beurteilen die Wasserbeschaffenheit des freien Oberflächenwassers in Nähe zum abgeschotteten Werftbecken.

Sollten im Rahmen des Monitoringprogramms eine Überschreitung zulässiger Grenzwerte im freien Oberflächenwasserbereiches der Warnow festgestellt werden, sind die laufenden Baumaßnahmen zu unterbrechen und geeignet Minderungsmaßnahmen zur Einhaltung der zulässigen Grenzwerte zu ergreifen.

Diese dann zu ergreifenden Minderungsmaßnahmen sind im Vorfeld der Wiederaufnahme der Baumaßnahmen mit der zuständigen Wasserbehörde abzustimmen und zu genehmigen.

Als Grenzwert der Trübung für die vorgesehenen Permanentmessungen mittels Seaguards und den Handmessungen mit einer Multiparametersonde zum Abbruch der Baumaßnahmen werden folgende Werte vorgesehen:

Unterwarnow: 15 NTU

Die Arbeiten sind bei Überschreitung eines Grenzwertes zunächst für zwei Stunden zu unterbrechen. Über die Fortsetzung der Arbeiten ist dann auf Grundlage der weiteren zeitlichen Messwertentwicklung, auch unter Berücksichtigung der Witterungsbedingungen, zu entscheiden.

Bei einer Überschreitung der zulässigen chemischen Grenzwerte nach Untersuchung von entnommenen Wasserprobender in einem Labor werden ebenfalls nach deren Kenntnisnahme die Bauarbeiten unterbrochen und Minderungsmaßnahmen im Rahmen der Sedimentumlagerung mit der Wasserbehörde vor Wiederaufnahme der Baumaßnahmen abgestimmt.

8 Durchführung der Konsolidierungsmaßnahmen der umgelagerten Sedimente

8.1 Allgemeines

Durch die Auflast (Einbau der Weichschichten und die Verfüllung) im teilverfüllten Bereich des Hafenbeckens und die zukünftigen Verkehrslasten werden umfangreiche Setzungen in den aufgelagerten und den aufgefüllten Weichschichten auftreten.

Daher ist es technisch notwendig, die Fläche der Teilverfüllung mittels Sandüberschüttung und Drainagen zu konsolidieren. Dieses ermöglicht eine zukünftige Flächenbefestigung, Versiegelung (Asphaltierung) und Nutzung der Fläche als Vorstellfläche.

Ziel der Auflastschüttung ist das Erreichen der weitgehenden Konsolidierung der umgelagerten und vorhandenen Sedimente bei einer zukünftigen Verkehrslast von 20 kN/m² durch die weitgehende Vorwegnahme der Primär- und Sekundärsetzungen.

Die Durchführung der Konsolidierung ist im Erläuterungsbericht „Technologie zur Sedimentumlagerung und -konsolidierung“ beschrieben. Es wird an dieser Stelle darauf verwiesen.

8.2 Verbringung des Rohwassers aus der Konsolidierung

8.2.1 Setzungszeiten und Wassermengen

Nach den Konsolidierungsberechnungen ist eine 95 % -ige Konsolidierung der Mudde für die vorgesehene Flächenlast nach ca. 375 Tagen = 54 Wochen erreicht.

Das in den abgelagerten Sedimenten enthaltene Porenwasser wird im Zuge der Konsolidierung in diesem Zeitraum ausgepresst und gesammelt. Die Wassermengen, die bei Konsolidierungen anfallen, sind vom Ablauf der Verfüllung (Auflasten) sowie dem Zeitpunkt des Einbaus der Vertikaldrainagen und der Überschüttung abhängig.

Für den Beginn der Konsolidierung und als Grundlage für die Bemessung einer Wasserreinigungsanlage wurde eine anfallende Wassermenge von ca. 755 m³/d bzw. ca. 31,5 m³/h (= Q_{max}) errechnet. Die anfallenden Wassermengen werden mit der Zeit abnehmen.

8.2.2 Chemische Zusammensetzung des Porenwassers

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen und die ermittelte Schad- und Nährstoffbelastung der umzulagernden Sedimente werden ausführlich im Kapitel 10.1 beschrieben.

Das Porenwasser, welches im Rahmen der Konsolidierungsmaßnahmen austreten wird, enthält ebenfalls Verunreinigungen durch die aufgeführten Schadstoffe. Ergebnisse der Porenwasseruntersuchungen können Kapitel 10.1.3 entnommen werden.

8.2.3 Ableitung des gesammelten Rohwassers

Die anfallenden Wassermengen, insbesondere zu Beginn der Konsolidierung, sind zu hoch, um einen laufenden Abtransport des gesammelten Rohwassers durchzuführen.

Das gesammelte Rohwasser soll daher unter Einhaltung der im Kapitel 8.2.6 vorgeschlagenen Einleitwerte nach erfolgter Reinigung als Direkteinleitung unmittelbar hinter der Spundwand in das Hafenbecken eingeleitet werden (s. Abbildung 26).

Vor der Einleitung ist das Rohwasser zunächst über eine mobile Wasserreinigungsanlage zu leiten (s. Kapitel 8.2.5), um ggf. erhöhte Stoffkonzentrationen, die sich durch die Umlagerungs- und Setzungsprozesse eingestellt haben, gemäß den festgelegten Einleitwerten abreinigen zu können und damit die Einhaltung der Einleitwerte zu gewährleisten.

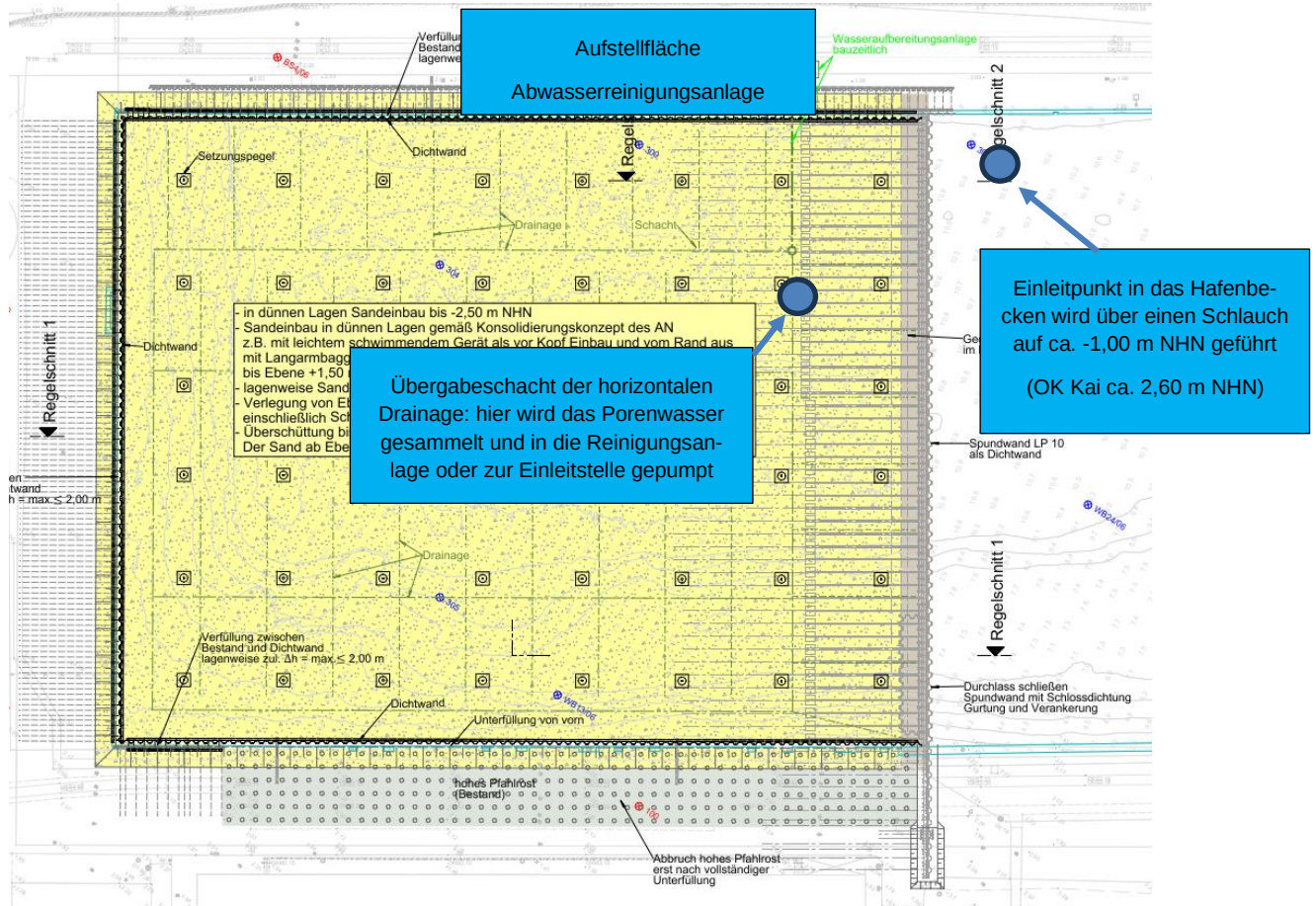


Abbildung 26: Übergabeschacht Porenwasser, Wasserreinigungsanlage und Einleitstelle

Bei einer mehrfach gemessenen Unterschreitung der Einleitwerte im Rohwasser im Übergabeschacht im Laufe der Konsolidierungsphase und einer positiven Prognose der Schad- und Nährstoffentwicklung im Rohwasser, kann die Wasserreinigungsanlage in Abstimmung mit der zuständigen Wasserbehörde ggfs. außer Betrieb genommen und das gesammelte Wasser ohne Reinigung direkt ins Hafenbecken eingeleitet werden.

8.2.4 Wasserrechtliche Erlaubnis

Die im Rahmen der Maßnahme notwendige wasserrechtliche Erlaubnis (gemäß § 8 i. V. m. § 9 Abs. 1 Nr. 4 WHG) zur Einleitung des Rohwassers wird gesondert beantragt.

8.2.5 Reinigung des Rohwassers vor der Einleitung

Die on-site Reinigung des Rohwassers über eine mobile Wasserreinigungsanlage im Rahmen der Baumaßnahme wird funktional ausgeschrieben. Die Anlagenkomponenten sind unter Einhaltung der nachfolgend vorgegebenen allgemeinen Randbedingungen durch die bauausfüh-

rende Firma so zu dimensionieren, aufeinander abzustimmen und zu betreiben, dass das ausgeschriebene Durchsatz- bzw. Fördervolumen sichergestellt und die zulässigen Konzentrationen für eine Direkteinleitung eingehalten werden.

Die Wasserreinigungsanlage wird für einen Durchsatz bis zu max. 35 m³/h ausgelegt. Die Anlage ist durch die bauausführende Firma so zu konzipieren, dass die Durchsatzkapazität der Anlage bedarfsabhängig erweitert bzw. bei rückläufigem Porenwasseranfall im Laufe der Konsolidierungsphase reduziert werden kann.

Anlagenleistung und Betriebszeit

- maximale Durchsatzleistung: 35 m³/h
- Durchsatzleistung von 31,5 m³/h bzw. 755 m³/d im Regelbetrieb

Anlagensicherheit und Anlagenausrüstung

- witterungsgeschützte Aufstellung der Anlagenkomponenten in einem oder mehreren Containern
- Wintersicherung der Anlagen und Ablaufleitung beim Betrieb der Anlagen in Wintermonaten
- Ausrüstung der Anlage nach Industriestandard
- Einsatz von Standardkomponenten als Anlagenbauteile (sofern verfügbar)
- Beschilderung aller Anlagenkomponenten (Behälter, Maschinen, Armaturen, Leitungen) im Container

Personaleinsatz und Überwachung durch die bauausführende Firma

- Betreuung der Anlage sowie regelmäßige Kontrolle und Wartung der Einrichtungen an sämtlichen Betriebstagen einschl. Wochenenden und Feiertagen
- Überwachung der Einleitung und der Einhaltung der Einleitwerte entsprechend den Festlegungen in der wasserrechtlichen Erlaubnis

Verfahrenstechnik

Auf Grundlage des angetroffenen Schad- und Nährstoffspektrums wird folgende Grundkonfiguration abgeleitet

1. Vorlagebehälter und Rückspülbehälter als Oxydationsbecken und zum Absetzen von Feststoffanteilen
2. Sand-/Kiesfilter als Mehrschichtfilter für Enteisung
3. Belüftung
4. Flockung/Fällung
5. Filtration, Sedimentation oder Flotation
6. in Reihe geschaltete Wasseraktivkohlefilter mit mindestens einem Wasseraktivkohlefilter als Sicherheitsfilter

Der Bodensatz in den Vorlage- und Rückspülbehältern wird mittels Saugwagen aus dem Container abgeführt und entsorgt. Der bei Einsatz einer Flockung/Fällung anfallende Filterkuchen wird ebenfalls entsorgt.

Vor Beginn des regulären Reinigungsbetriebs ist eine Probephase vorgesehen, in welcher die Reinigungsleistung der Anlage durch den AN nachzuweisen ist und die erforderlichen Einstellungen und Programmierungen an der Anlage vorgenommen werden.

Dazu soll das zur Einleitung kommende Rohwasser sowie das gereinigte Wasser (Reinwasser) im Sinne eines Probetriebs in den ersten 3 Betriebstagen jeweils täglich beprobt und auf die im Kapitel 8.2.6 aufgeführten Einleitwerte überprüft werden.

Während des Probetriebs kann ein zweiter in Reihe geschalteter Sicherheitsfilter zum Einsatz kommen. Der zweite Sicherheitsfilter kann nach Vorlage der ersten Analysenergebnisse und dem Nachweis der Funktionalität der Anlage während des Regelbetriebs wieder außer Betrieb genommen werden.

Nach dem Probetrieb und dem Nachweis der Funktionalität der Reinigungsanlage erfolgt die weitere Überwachung wie im Kapitel 8.2.7 beschrieben.

8.2.6 Einleitwerte

In der folgenden Tabelle 8 sind die mittleren Schad- und Nährstoffgehalte aus der Porenwasseruntersuchung 2023 zusammengestellt und den Einleitzielwerten für Parameter gemäß OGewV, Anlage 8, Tabelle 2, Spalte 7 gegenübergestellt. Bei Fehlen von vorgegeben ZHK-Werten für einzelne Stoffe wurden die überwiegend human- und ökotoxikologisch abgeleiteten Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA Tabellen, Anhang 2, Teil 1 (anorganische Parameter) und Anhang 2, Teil 2 (organische Parameter) bzw. der Abwasserverordnung – AbwV herangezogen. Hieraus wurden mögliche Einleitzielwerte vorgeschlagen. Die endgültige Festlegung der Einleitzielwerte obliegt den Behörden im Rahmen der Erteilung der Einleitgenehmigung.

Tabelle 8: Einleitzielwerte für abzuleitendes Porenwasser aus der Konsolidierung

Parameter	Ein- heit	Porenwasseruntersuchungen 2023			OGewV ZHK-UQN Anlage 8, Spalte 7	GFS * LAWA 2016	Anhang 1 Abwasser- verordnung - AbwV	Einleitziel- werte
		Min.	Max.	Mittel- wert				
pH-Wert		7,6	7,9	7,8	----- ***	-----	-----	6,5 - 9,5
Nährstoffe								
Gesamtposphor	mg/l	1,3	11,0	4,2	0,018	-----	1	1
Stickstoff, gesamt	mg/l	13,0	32,0	21,8	0,25	-----	13	13
Ammonium-N	mg/l	9,2	33,0	18,6	-----	-----	10	10
Schwermetalle								
Blei	µg/l	< 1,0	1,7	1,2	14	1,2	-----	14
Cadmium	µg/l	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,45	0,3	-----	0,45
Kupfer	µg/l	9,2	22,0	12,0	-----	5,4	-----	5,4
Nickel	µg/l	1,2	1,7	1,4	34	7	-----	34
Quecksilber	µg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,07	0,1	-----	0,07
Zink	µg/l	< 1,0	3,0	1,6	-----	60	-----	60
Industrielle Schadstoffe								
Naphthalin	µg/l	< 0,005	0,170	0,074	130	2	-----	130
Anthracen	µg/l	< 0,005	0,031	0,019	0,1	0,1	-----	0,1
Fluoranthren	µg/l	0,1	0,300	0,174	0,12	0,1	-----	0,12
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,027	0,01	-----	0,027
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	< 0,005	0,01	0,006	0,017	0,03	-----	0,017
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	< 0,005	0,022	0,090	0,017		-----	0,017
Benzo(g,h,i)perylene	µg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,00082	0,002	-----	0,00082
Summe PAK15 ohne Naphthalin	µg/l	0,190	0,603	0,418	-----	0,2	-----	0,2
Summe PCB 6	µg/l	< 0,005	0,063	0,021	k. A.	0,01	-----	0,01
Diflufenican	µg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-----	-----	-----	-----
Triclosan	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	-----	-----	0,02
Tributylzinn	µg/l	<0,017	0,150	0,0523	0,0015	0,0002	-----	0,0015
BDE inkl. BG	µg/l	0,0357	0,0392	0,0495	0,014	-----	-----	0,014

* GFS – Geringfügigkeitsschwellenwerte nach LAWA (2016), Tabellen Anhang 2 Teil 1 - Anorganische Parameter und Anhang 2 Teil 2 Organische Parameter

8.2.7 Überwachungsprogramm

Die Einhaltung der Einleitwerte gemäß der noch zu beantragenden und zu erteilenden wasserrechtlichen Erlaubnis (Kapitel 8.2.4) wird durch regelmäßige Beprobungen entsprechend den abschließenden Vorgaben in der wasserrechtlichen Erlaubnis kontrolliert.

Die Beprobung des Rohwassers soll am Übergabeschacht und die des eingeleiteten Reinwassers an der Übergabestelle erfolgen. Die Wasserproben werden jeweils auf den Parameterumfang der Einleitwerte gemäß Kapitel 8.2.6 untersucht.

Die Probenahmen und die chemischen Untersuchungen der entnommenen Wasserproben erfolgen sowohl im Rahmen der Eigen- als auch der Fremdüberwachung durch ein für diese Leistungen akkreditiertes Labor.

Die Probenahmen zur Überwachung der Einleitwerte sollen wie folgt durchgeführt werden.

- I. *Eigenüberwachung durch die bauausführende Firma während des Betriebs der Wasserreinigungsanlage:*
 - a.) Beprobung des Rohwassers im Übergabeschacht und des Reinwassers an der Einleitstelle jeweils 3 Werktage in Folge im Rahmen des Probebetriebs und bei jeder neuen Inbetriebnahme, z. B. nach einem durch Störfall bedingten Stillstand (Kapitel 8.2.8).
 - b.) Beprobung des Rohwassers im Übergabeschacht an einem Werktag je Woche und des Reinwassers an der Einleitstelle an zwei Werktagen je Woche im Regelbetrieb von $Q_{\max}$ (755 m³/d) bis $\geq 50\%$ $Q_{\max}$.
 - c.) Beprobung des Rohwassers im Übergabeschacht und des Reinwassers an der Einleitstelle jeweils an einem Werktag je Woche im Regelbetrieb ab $< 50\%$ $Q_{\max}$.
- II. *Fremdüberwachung durch den Bauherrn während des Betriebs der Wasserreinigungsanlage:*
 - d.) Beprobung des Rohwassers im Übergabeschacht und des Reinwassers an der Einleitstelle jeweils 3 Werktage in Folge im Rahmen des Probebetriebs und bei jeder neuen Inbetriebnahme, z. B. nach einem durch Störfall bedingten Stillstand (Kapitel 8.2.8).
 - e.) Beprobung des Rohwassers im Übergabeschacht und des Reinwassers an der Einleitstelle jeweils an einem Werktag je Monat im Regelbetrieb unabhängig von der anfallenden Wassermenge.
- III. *Eigenüberwachung durch den Bauherrn ohne Betrieb einer Wasserreinigungsanlage:*
 - f.) Beprobung des Rohwassers im Übergabeschacht an einem Werktag je Woche.

8.2.8 Vorgehen bei Störfällen

Bei Überschreitungen der Einleitwerte im Reinwasser bzw. bei Feststellung anderer Auffälligkeiten (Geruch, Trübung) wird die Einleitung ins Hafenbecken durch den Bauherrn oder einen von ihm benannten Verantwortlichen sofort gestoppt und die zuständige Wasserbehörde informiert.

Nach abgeschlossener Ursachenanalyse und Behebung der Ursache durch den Anlagenbetreiber wird die zuständige Wasserbehörde erneut unter Übersendung der ermittelten Ursache und der getroffenen Maßnahmen informiert und die Aufbereitungsanlage wieder in Betrieb genommen.

9 Ermittlung der Nassbaggermengen

Auf Basis der vorliegenden Planungsgrundlagen erfolgte die folgende Volumenermittlung für die Nassbaggerung und Umlagerung des Materials. Eine detaillierte Volumenermittlung ist den Nassbaggerplänen zu entnehmen.

9.1 Nassbaggergut Mudde

Im Zuge der Baggerung kann es eingeschränkt zu einer Vermischung mit dem Wasser kommen, so dass bei der Mudde mit einem Auflockerungsfaktor von 20% zu rechnen ist.

Tabelle 9: Volumenermittlung Nassbaggergut Mudde

Volumenermittlung Nassbaggergut Mudde	
Nassbaggerarbeiten	Mudde [m³] inkl. 20% Auflockerung
Modellierungsbereiche wasserseitig	
Modellierungsbereich LP P09	25.550
Modellierungsbereich um WB 400 und WB 303	10.220
Modellierungsbereich LP P11	12.630
Summe	48.400
Modellierungsbereich landseitig LP P11 der Nassbaggerung	
Überbaute Böschung 10m Breite (Annahme 30cm Muddeschicht)	1.600
Landabbruch LP P11 bis zur GM-Schicht	12.000
Summe	13.600
Gesamtsumme	62.000

9.2 Nassbaggerung Geschiebemergel

Bei der Tiefenbaggerung des Geschiebemergels ist mit einem Auflockerungsfaktor von 45% zu rechnen.

Tabelle 10: Volumenermittlung Nassbaggerung Geschiebemergel

Volumenermittlung Tiefenbaggerung Geschiebemergel	
Nassbaggerarbeiten	Geschiebemergel [m³] inkl. 45% Auflockerung
Modellierungsbereiche	
1. WB 400 (auf -8,30 mNHN)	4.120
2. Liegeplatz 11 (auf -8,30 mNHN)	1.400
3. nach Landabbruch (bis ca. -4,00 mNHN) auf -8,30 mNHN	66.180
Summe	71.700

10 Transfer- und Wirkungspfade während der Nassbaggerung und der bauzeitlichen Verbringung der Sedimente

10.1 Bewertung der vorhandenen Situation der Sedimente im Werftbecken

10.1.1 Vorliegende Unterlagen

Die Nutzungsgeschichte des Werftbeckens war insbesondere als Reparaturbereich eng verbunden mit der gewerblichen Entwicklung auf dem Werftgelände. Seit den Untersuchungen in den 1990er Jahren sind auch wasserseitig nutzungsbedingte anthropogene Schadstoffbelastungen in der oberflächlichen Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) bekannt.

Für eine Bewertung der Schadstoffbelastungen der umgelagerten bzw. anstehenden Sedimente im Bereich des Wertbeckens stehen eine Reihe von Unterlagen zur Verfügung, die in "Umgestaltung Werftbecken Rostock-Warnemünde; Altlastensanierung und Mehrzweckliegeplatz P11, 2. Untersuchungskampagne, Baugrund Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH, 08. November 2021" aufgeführt sind. Insofern soll hier auf eine Wiederholung verzichtet werden.

Eine zusammenfassende Bewertung der Situation unter Berücksichtigung der bislang vorliegenden Daten sowie Hinweise auf die vorliegenden Untersuchungsberichte enthält der Bericht „Aktualisierte Gefährdungsabschätzung Werftbecken“⁷.

10.1.2 Schadstoffbindung und -transport

Mit der Ablagerung der Sedimente kann eine Einlagerung von Schadstoffen erfolgen, denn Stoffe, die in die Gewässer eingetragen werden, reichern sich in den bereits vorhandenen und entstehenden Sedimenten auf Grund des Rückhaltevermögens der organischen Substanz und des Feinkorns an.

Die im Sediment gebundenen Schadstoffe können unter bestimmten Bedingungen wieder mobilisiert werden, so dass das Sediment als Schadstoffquelle eine Gefahr für die Gewässerqualität, das aquatische Biosystem und in letzter Konsequenz für die menschliche Gesundheit bedeuten kann.

Der Stofftransport vom Sedimentkörper in das Oberflächengewässer – z.B. die Freisetzung von im Sedimentporenwasser gelösten Schadstoffen wie Schwermetallen – wird durch die physikalischen Eigenschaften ebenso gesteuert wie durch die chemischen Eigenschaften des Sediments.

Eine Remobilisierung kann erstens Folge strömungsmechanischer Effekte sein. In diesem Fall wird das abgelagerte Sediment durch verstärkte Strömungskräfte aufgewirbelt und weiter transportiert, wodurch es bisher nicht kontaminierte Bereiche erreichen kann. Die veränderten Strömungsverhältnisse können natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein (wasserbauliche Eingriffe, Schiffsverkehr). Zweitens können Schadstoffe, die an Sediment-Partikel gebunden sind, mit den Partikeln von benthischen Organismen aufgenommen werden und so in die Nahrungskette gelangen. Drittens kann insbesondere an der Sediment-Wasser-Grenzfläche eine chemische Remobilisierung stattfinden.

⁷ Hanse- und Universitätsstadt Rostock, Umgestaltung Werftbecken Warnemünde, „Aktualisierte Gefährdungsabschätzung Werftbecken“, BAUGRUND Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH, Stralsund, 15. Februar 2022

Handlungsbedarf in Bezug auf kontaminierte Sedimente entsteht in der Regel erstens, wenn durch Remobilisierung aus sehr stark kontaminierten Sedimentflächen eine Beeinträchtigung des Gewässers zu erwarten ist (Sanierungsmaßnahmen), zweitens, wenn Schifffahrtswege oder Hafenanlagen vergrößert, vertieft oder neu angelegt werden (Ausbaumaßnahmen), oder drittens, wenn im Rahmen der Instandhaltung von Schifffahrtswegen oder Hafenanlagen Sedimente umgelagert werden müssen (Instandhaltungsmaßnahmen).

10.1.3 Bewertung der Sedimente für eine Umlagerung

10.1.3.1. Vorbemerkungen

Die Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) im untersuchten Bereich des Werftbeckens weist nach den Unterlagen eine unterschiedliche anthropogene Schadstoffbefrachtung auf. Bereiche mit deutlich erhöhten Schadstoffbelastungen wurden bislang nicht erkundet. Gleichwohl ergeben sich tendenzielle und lokale Unterschiede in der Höhe der jeweiligen Schadstoffkonzentrationen und der Verteilung der Schadstoffe.

Leitparameter im Hinblick auf die Beurteilung der Schadstoffbelastung der Sedimente sind nach den vorliegenden Untersuchungen:

- Quecksilber
- Zink
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (Σ PAK (EPA))
- polychlorierte Biphenyle (PCB)
- organische Zinnverbindungen, vorrangig mit dem Einzelparameter Tributylzinn (TBT)

Weitere Parameter wie Cadmium, Blei, Kupfer oder Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) wurden vereinzelt mit erhöhten Schadstoffkonzentrationen nachgewiesen. Diese Parameter treten in der Häufigkeit erhöhter Schadstoffkonzentrationen und der Belastungshöhe hinter den o.g. Leitparametern zurück. Darüber hinaus decken sich die vereinzelt erhöhten Belastungen der genannten Parameter mit erhöhten Belastungen eines oder mehrerer Leitparameter.

Die Konzentrationen der Organochlorpestizide, basierend auf den Bestimmungen von 5 Isomeren (α -, β -, γ -, δ -, ϵ) des Einzelparameters HCH, also einschließlich des γ -HCH bzw. Lindans, lagen in der überwiegenden Zahl der Proben unterhalb bzw. im Bereich der Bestimmungsgrenze und damit im unbedenklichen Bereich.

10.1.3.2. Mudde, Hafenschlick (Sedimentauflage)

In der nachfolgenden Tabelle 11 sind die gemessenen Minimal- und Maximalkonzentrationen der Leitparameter im Bereich des Werftbeckens ohne Berücksichtigung der Untersuchungen im Bereich der Dockgrube zusammengestellt.

Tabelle 11: Zusammenstellung der Minimal- und Maximalkonzentrationen der Leitparameter in der Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) in den Bohrungen 2018 (WB) und den Linerproben 2021 (DG) im Bereich des Wertbeckens außerhalb der Dockgrube

Bodenart		Mudde, Hafenschlick		
Parameter	Einheit	Feststoffkonzentration		
		Minimum	Maximum	Mittelwert
Quecksilber	mg/kg TS	0,37	88	13,1
Σ PAK (EPA) ¹⁾	mg/kg TS	0,603	891,4	56,4
Σ PCB	mg/kg TS	0,17	13,07	1,7
Zinnorganika (TBT)	mg/kg TS	0,67	30	7,0
Zinnorganika ²⁾	mg/kg TS	0,82	55,2	12,0
HCH ³⁾	mg/kg TS	0,0067	0,11	0,05

¹⁾ Σ 16 PAK EPA ²⁾ Σ 5-Einzelparame-ter ³⁾ Organochlorpestizide Σ 5-Isomere α-, β-, γ-, δ-, ε-HCH

10.1.3.3. Mudde, Hafenschlick (umgelagertes Baggergut Dockgrube)

Die Gegenüberstellung der Minimal- und Maximalkonzentrationen in der Tabelle 12 verdeutlicht, dass im oberen Ablagerungsbereich (0,0 bis 1,0 m) innerhalb der Dockgrube zwar erhöhte Konzentrationen bei den Leitparametern Quecksilber, ΣPAK, PCB und Zinnorganika gemessen wurden, jedoch die Schadstoffkonzentrationen überwiegend deutlich geringer ausfallen als im Randbereich der Dockgrube und auch gegenüber den Belastungen in den umliegenden Bereichen in Richtung Liegeplatzes P11 und westlich der Dockgrube.

Tabelle 12: Konzentrationen der Leitparameter in der Sedimentauflage in den Bohrungen 2018 (WB) im Randbereich und den Linerproben 2021 (DG) innerhalb der Dockgrube

Bodenart		Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) in WB300 bis WB302, WB304 und WB306 innerhalb und im Randbereich Dockgrube max. Entnahmetiefe 0,0 – 3,0			Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) in DG 1 bis DG 8 innerhalb Dockgrube Entnahmetiefe 0,0 – 1,0 m		
Parameter	Einheit	Feststoffkonzentration			Feststoffkonzentration		
		Minimum	Maximum	Mittelwert	Minimum	Maximum	Mittelwert
Quecksilber	mg/kg TS	2,6	8,5	4,3	1,1	2,9	1,9
Σ PAK (EPA) ¹⁾	mg/kg TS	7,25	30,58	15,1	1,48	39,96	10,9
Σ PCB	mg/kg TS	0,44	1,83	1,1	0,22	1,83	0,7
Zinnorganika (TBT)	mg/kg TS	1,2	32	9,5	0,91	6,9	2,1

Bodenart		Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) in WB300 bis WB302, WB304 und WB306 innerhalb und im Randbereich Dockgrube max. Entnahmetiefe 0,0 – 3,0			Sedimentauflage (Mudde, Hafenschlick) in DG 1 bis DG 8 innerhalb Dockgrube Entnahmetiefe 0,0 – 1,0 m		
Zinnorganika ²⁾	mg/kg TS	2,22	57,4	17,2	1,53	57,4	11,8
HCH ³⁾	mg/kg TS	0,08	0,46	0,3	0,010	0,46	0,2

¹⁾ Σ 16 PAK EPA ²⁾ Σ 5-Einzelparameter ³⁾ Organochlorpestizide Σ 5-Isomere α -, β -, γ -, δ -, ϵ -HCH

10.1.3.4. Geschiebemergel

Das potentielle Baggergut Geschiebemergel wurde nach den Ergebnissen der Untersuchungen 2018 nach GÜBAK im Wesentlichen in die Fälle 1 und 2 ($c \leq R1$ bzw. $R1 < c \leq R2$) eingestuft. Gemäß den vorliegenden Untersuchungsergebnissen des Nassbaggergutes werden die Richtwerte R2 nach GÜBAK in einer Probe überschritten. Es ist davon auszugehen, dass die Überschreitung der Richtwerte mit hoher Wahrscheinlichkeit durch eine vertikale Verschleppung der überlagernden Mudde in den oberen Geschiebemergelhorizont während der Bohrungen verursacht wurde.

Rechtzeitig vor Beginn der Maßnahme werden in diesen Bereichen weitere Probenahmen und chemische Analysen mit Tiefenstaffelung erfolgen.

10.1.3.5. Bewertung der geochemischen Eigenschaften

Gemäß § 2, Absatz 12 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG, Stand: 03/2023) fallen Sedimente, die zum Zweck der Bewirtschaftung von Gewässern, der Unterhaltung oder des Ausbaus von Wasserstraßen sowie der Vorbeugung gegen Überschwemmungen oder der Abschwächung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren oder zur Landgewinnung innerhalb von Oberflächengewässern umgelagert werden nicht unter das KrWG, sofern die Sedimente nachweislich nicht gefährlich sind.

Gefährliche Sedimente aus Gewässern wiederum fallen unter das KrWG und sind nach den Regeln dieses Gesetzes in dafür zugelassenen Anlagen zu entsorgen. Eine Umlagerung, wie in diesem Maßnahmenkonzept beschrieben, wäre für solche Sedimente nicht zulässig.

Insofern gilt es zu prüfen, inwieweit die gemessenen Schadstoffkonzentrationen in der Sedimentauflage eine Einstufung als gefährlich oder nicht gefährlich bedingen. Dafür werden zunächst die gemessenen Maximalwerte der Einzelparameter den Konzentrationsgrenzen nach Anhang III der EU-Abfall-RahmenRL gegenübergestellt. Bei einer Überschreitung dieser Grenzen gilt die Einstufung gefährlich.

Die nationale Umsetzung dazu ist im LAGA-Merkblatt „Technische Hinweise zur Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit“, Stand 09. Februar 2021 erläutert.

Tabelle 13: Vergleich der Maximalkonzentrationen der untersuchten Parameter in der Sedimentauflage der Werftbeckens (ohne Dockgrube) mit den Konzentrationsgrenzen nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/LAGA (2021)

Schadstoffkonzentrationen		Maximum	Konzentrationsgrenze nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/ LAGA 2021/ mg/kg
Bodenart		Mudde, Hafenschlick	Mudde, Hafenschlick
Parameter	Einheit	Feststoffkonzentration	
Arsen	mg/kg TS	14	1.000
Blei	mg/kg TS	710	2.500
Cadmium	mg/kg TS	1,8	1.000
Chrom (VI)	mg/kg TS	70	1.000
Kupfer	mg/kg TS	250	2.500
Nickel	mg/kg TS	30	1.000
Quecksilber	mg/kg TS	88	1.000
Zink	mg/kg TS	3.000	2.500 ¹⁾
MKW-Index (C10-C40)	mg/kg TS	2.100	1.000 ²⁾ 2.500
Σ PAK (EPA)	mg/kg TS	891	1.000 ³⁾
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	14	50
Σ PCB	mg/kg TS	13,07	50
Zinnorganika (TBT)	mg/kg TS	30	2.500
Zinnorganika	mg/kg TS	55	2.500
HCH, incl. Lindan	mg/kg TS	0,11	50

zu ¹⁾: Die Konzentrationsgrenze von 2.500 mg/kg für den Parameter Zink wird nur in einer Probe (WBW HRO/P4B/WB400/0,5-1,0/21) von 57 Gesamtproben überschritten.

zu ²⁾: **Die Konzentrationsgrenze von 1.000 mg/kg für den Parameter MKW wird in 5 Proben der insgesamt 57 Gesamtproben überschritten.**

Die aufgeführte Konzentrationsgrenze von 2.500 mg/kg bezieht sich auf die gefahrenrelevante Eigenschaft HP 14 „ökotoxisch“ und ausschließlich auf die Kompartimente aquatische Umwelt (Oberflächengewässer) sowie Ozonschicht und berücksichtigt die Gefahren für die aquatische Umwelt (Oberflächengewässer). Danach wird in den Sedimenten die anzuwendende Konzentrationsgrenze zur Beurteilung der Gefährlichkeit von 2.500 mg/kg nicht überschritten.

zu ³⁾: PAK-haltige Abfälle sind nach länderspezifischen Regelungen zu prüfen und zu bewerten. Hier kann der „Vollzugshinweise zur Entsorgung von Bitumen, Teer und bitumen- bzw. teerhaltigen Abfällen, auch die Asbest enthalten“ des Ministeriums für Wirtschaft, Bau und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern vom 27.07.2016 herangezogen werden.

Für Baggergut oder Gleisschotter die unter dem gleichen AVV-Hauptschlüssel (17 05) wie Boden und Steine aufgelistet sind, gilt demnach der Feststoffwert von 100 mg/kg nicht.

Weiter heißt es im Vollzugshinweis: „Für die Einstufung aller übrigen Abfallarten können die o.a. Hinweise des BMU zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung herangezogen werden. Hier wird ein Grenzwert für PAK (EPA) von 0,1 % (= 1000 mg/kg in der Trockensubstanz) vorgeschlagen.

Danach ist davon auszugehen, dass in diesem Fall für Baggergut und damit für die Sedimentauflage eine Konzentrationsgrenze für gefährlichen Abfall von 1.000 mg/kg PAK anzusetzen ist, die in den Sedimenten nicht überschritten wird.

Unter Berücksichtigung der Ausführungen und der herangezogenen Dokumente sind die Sedimente des Werftbeckens im Falle einer Umlagerung als nicht gefährlich einzustufen. Die einmalige Überschreitung beim Parameter Zink kann unter Berücksichtigung der Anzahl der Proben als Ausreißer betrachtet werden.

Tabelle 14: Vergleich der Maximalkonzentrationen der untersuchten Parameter in der Sedimentauflage der Dockgrube mit den Konzentrationsgrenzen nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/LAGA (2021)

Schadstoffkonzentrationen		Maximum	Konzentrationsgrenze nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/LAGA (2021)/ mg/kg
		Mudde, Hafenschlick	Mudde, Hafenschlick
Parameter	Einheit	Feststoffkonzentration	
Arsen	mg/kg TS	24	1.000
Blei	mg/kg TS	140	2.500
Cadmium	mg/kg TS	0,99	1.000
Chrom	mg/kg TS	46	1.000
Kupfer	mg/kg TS	340	2.500
Nickel	mg/kg TS	22	1.000
Quecksilber	mg/kg TS	8,5	1.000
Zink	mg/kg TS	850	2.500
MKW-Index (C10-C40)	mg/kg TS	640	1.000 2.500
Σ PAK (EPA)	mg/kg TS	39,96	1.000
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	1,8	50
Σ PCB	mg/kg TS	1,83	50
Zinnorganika (TBT)	mg/kg TS	32	2.500
Zinnorganika	mg/kg TS	57	2.500
HCH incl. Lindan	mg/kg TS	0,46	50

In den Proben aus der Sedimentauflage der Dockgrube werden die Konzentrationsgrenzen nach Anhang III der Abfall-RahmenRL/LAGA (2021) nicht überschritten. Die Sedimente sind demnach als nicht gefährlich einzustufen.

10.1.4 Bewertung einzelner Wirkungspfade

10.1.4.1. Wirkungspfad Sediment – Mensch

Im Bereich des Hafenbeckens ist ein direkter Kontakt mit schadstoffbelasteten Sedimenten bei der jetzigen Lagerung nach menschlichem Ermessen nicht zu erwarten. Vor diesem Hintergrund ist der **direkte Wirkungspfad Sediment – Mensch** nicht relevant.

10.1.4.2. Wirkungspfad Sediment – Oberflächengewässer – (Mensch)

Auf dem Wege der Diffusion können Schadstoffe in das Seewasser gelangen. Bei einer Aufwirbelung des Sediments, z.B. durch Schiffsverkehr, können im Sediment enthaltene lösliche Schadstoffe in Lösung gehen und entweder in Lösung transportiert werden oder sich an Schwebstoffen anlagern und mit diesen transportiert werden. Eine Gefahr durch die Verlagerung von aus dem Sediment gelösten Schadstoffen in das Wasser wurde auf Grundlage der vorgenommenen Porenwasser- und Hafenwasser mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Anhand der Porenwasseruntersuchungen wurde eine geringe Löslichkeit der im Sediment enthaltenen Schadstoffe testiert.

Das deckt sich auch mit den Eigenschaften der organischen Schadstoffe. Die Leitparameter PAK, PCB und TBT besitzen eine hohe Persistenz, so dass ein wesentlicher Stoffabbau innerhalb weniger Jahre nicht wahrscheinlich ist. Darüber hinaus weisen die Schadstoffe ohnehin eine geringe Wasserlöslichkeit auf.

Die in den Sedimenten nachgewiesenen Schwermetalle weisen nach den vorliegenden Eluatuntersuchungen gleichfalls eine geringe Löslichkeit auf.

Eine Remobilisierung für den Untersuchungsbereich ist nach den Ausführungen in der Gefährdungsabschätzung vor allem durch strömungsmechanische Effekte denkbar, die natürlichen Ursprungs (z. B. Sturmflutereignisse) oder anthropogenen Ursprungs (z. B. wasserbauliche Eingriffe, Schiffsverkehr) sein können.

Die Bewertungen auf Grundlage des vorliegenden Datenbestandes kamen zum Ergebnis, dass der **Wirkungspfad Sediment – Oberflächengewässer** ohne Eingriffe in den Ist-Zustand und der damit verbundenen Remobilisierung der gebundenen Schadstoffe **nicht relevant** ist.

10.1.4.3. Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier – (Mensch)

Die im Sediment gebundenen Schadstoffe können dem Grunde nach von Pflanzen und Tieren, die im bzw. auf dem Sediment des Hafenbeckens leben (Krebse, Schnecken Würmer, Algen, Fische), ggf. über Kiemen bzw. Verdauungstrakt in den Organismus gelangen. Untersuchungsergebnisse oder darauf basierende Bewertungen liegen hierzu nicht vor.

Nach der visuellen Einschätzung der Taucher im Rahmen der Probenahmen 2021 und 2023 wurden an der Sedimentoberfläche zum Zeitpunkt der Probenahme kaum Lebewesen angetroffen. Daher wurde der **Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier** für den Untersuchungsbe- reich derzeit als **nicht relevant** angesehen.

10.2 Bewertung der Nassbaggerung und bauzeitlichen Verbringung der Sedimente

10.2.1 Vorliegende Unterlagen

Neben den bereits unter 10.1.1 aufgeführten Unterlagen liegen die Ergebnisse ergänzender Sedimentuntersuchungen aus dem Jahre 2023 vor, die im Bericht "Umgestaltung Werftbecken Warnemünde; Maritimer Gewerbepark für nachhaltige Energietechnologien, Ergänzende Erkundungen Werftbecken, Fassung 01, Baugrund Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH, 24. November 2023" dokumentiert sind. Ziel dieser ergänzenden Erkundungen waren die Untersuchung der Schad- und Nährstoffgehalte im Feinkornanteil des Sedimentes als potentiell Schwebstoff sowie im Porenwasser.

10.2.2 Schadstoffbindung und -transport

Die anstehenden Sedimente, die in den weiteren Betrachtungen als potenzielles Baggergut betrachtet werden, sind durch einen hohen bis sehr hohen Feinkornanteil und durch geringe organische Gehalte gekennzeichnet. Insofern weisen sie eine mittlere Anlagerungsneigung und damit ein mittleres Rückhaltevermögen für eine Vielzahl von Einzelstoffe und Verbindungen auf.

Die Schadstoffsituation in den zu baggernden Mudden und die relevanten Schadstoffe sowie die Ursachen der Schadstoffeinträge sind im Abschnitt 10.1.2 hinreichend beschrieben.

Bei der Bewertung der Schwebstoffemissionen sind neben dem Schadstofftransport auch weitere Auswirkungen von verstärkter Schwebstoffbildung zu berücksichtigen, wie z.B.:

- allgemeine Trübung
- erhöhte Sauerstoffzehrung
- pH-Wert-Änderung

Durch Änderungen der Randbedingungen, wie z. B. des pH-Wertes könnte es theoretisch auch zu einer Lösung und damit eines erneuten Eintrages in das Gewässer kommen. Praktisch ist dieser Effekt bei den geplanten Maßnahmen sehr unwahrscheinlich und daher nicht zu berücksichtigen.

Aus einer Reihe von Untersuchungen ist bekannt, dass bei der subaquatischen Umlagerung die Schadstoffemissionen deutlich geringer sind als bei einer Umlagerung an Land, da es bei den feinkörnigen, gering durchlässigen Böden bei der Umlagerung kaum zu einer Durchströmung des Baggergutes kommt. Insofern sind Lösungsprozesse hier kaum möglich und eine Emission durch gelöste Schadstoffe nicht zu berücksichtigen. Dieses deckt sich auch mit der Erfahrung bei bereits durchgeführten Maßnahmen.

Nicht vollständig zu vermeiden ist bei der Umlagerung die Schwebstoffbildung. In den Niederlanden wurden dazu das ALARA-Prinzip (as slow as reasonably achievable) begründet, dass eine weitreichende Begrenzung von Emissionen in angemessenem Rahmen beschreibt. Dieser Grundsatz soll auch den folgenden Betrachtungen zu Grunde liegen.

Bei der Baggerung / bei dem Lösen des Baggergutes kommt es zwangsläufig zur Störung des gewachsenen Gefüges der Ablagerung. Beim Baggern mit Greifern erfolgt diese Störung nur in der Schneidzone des Greifers und damit mit untergeordneter Schwebstoffbildung. Dabei

verbleiben die Schwebstoffe bei Wahl eines geschlossenen Greifers innerhalb des Greifers. Insofern sind die Emissionsraten gering.

Ebenso gering bzw. sogar geringer sind die Emissionsraten bei saugendem Baggern beim Aufnehmen des Baggergutes. Hier ist allerdings zunächst zu bemerken, dass damit ohne weitere Hilfsmaßnahmen (wie Aufspülen) nur breiige bis sehr weiche und tonarme Sedimente gewonnen werden können. Sind Hilfsprozesse, wie das Freispülen, bei festeren Sedimenten erforderlich, ändert sich hier bereits die Bewertung.

Die höchsten Schwebstoffemissionen an der Förderstelle sind bei blasenden Verfahren, wie dem klassischen Cutter oder bei Hydro-Injektionen, die inzwischen häufig zur Umlagerung weicher Sedimente genutzt werden, zu erwarten.

Bei der Umlagerung / bei dem Wiedereinbau entstehen bei allen Verfahren, die auf einer Lösung der Baggerungsschicht durch Saugen oder Blasen entstehen, technologiebezogen unterschiedliche Sedimentationsraten.

Bei der Umlagerung mittels Hopperbagger ist die Schwebstoffbildungsrate stark abhängig von der Fallhöhe der Sedimente. Hierauf sollte die Verfüll-Logistik ausgerichtet sein. Grundsätzlich sind aber die Bildungsraten deutlich geringer als bei den saugenden Verfahren.

Die schonendsten Einbringverfahren stellen das Einbringen wiederum mit Bagger mit geeignetem Greifer oder sogar über Verfüllrohre, ähnlich dem Contractorverfahren, dar. Hier ist aber anzumerken, dass die letztgenannte Variante einen hohen Aufwand bei sehr geringem Baufortschritt darstellt.

Letzten Endes ist eine Schwebstoffbildung bei der Baggerung nur zu minimieren, nicht vollständig zu unterbinden. Insofern kann diese Emission nicht vollständig vermieden werden. Um eine Verschlechterung des Wasserkörpers im technisch möglichen Rahmen zu vermeiden, ist der eventuelle Transport von der Baggerstelle zur Unterwarnow zunächst zu untersuchen.

Beim Baggern und Ablagern kommt es zu einer Bildung von Schwebstoffen, die als Wolke in einem geringen Umfang den Entstehungsort umschließt. Je nach Dichte und Teilchendurchmesser kommt es dann zur Neusedimentation in einem entsprechenden Zeitraum. Die Erfahrungen und Messungen des WSA Ostsee bei der Maßnahme "Seekanalvertiefung" belegen, dass es bei der Ablagerung von Sedimenten zu der vorbeschriebenen Schwebstoffbildung kommt, die durch Trübungsmessungen belegt werden. Die auffällige Trübung nimmt dann aber auch in sehr kurzen Zeiträumen bis zum Ausgangszustand wieder ab. Messungen am Entstehungsort, d.h. an der Baggerstelle, wurden durch das WSA Ostsee auf Grund von Erfahrungen bei anderen Baustellen wegen der Geringfügigkeit nicht durchgeführt.

Ein horizontaler Transport der Schwebstoffe, der als Transferpfad für den Schadstofftransport im Hafenbecken zur Unterwarnow fungieren würde und damit für die Bewertung des Schadstoffaustrages über Schwebstoffe in die Unterwarnow maßgebend ist, erfolgt nur auf Grundlage von Gewässerströmungen. Das Werftbecken stellt von sich aus, da es keiner natürlichen Strömung unterliegt, bereits eine Sedimentfalle dar. Insofern ist ein horizontaler Schweb- und Schadstofftransport auch unter Berücksichtigung des Einflusses der Baggerarbeiten und des Transports während der Umsetzung der geplanten Maßnahmen über den eindeutig begrenzten Baggerungs- und Umlagerungsbereich hinaus nicht zu erwarten.

Vor diesem Hintergrund ist eine weitere Betrachtung oder Berechnung von Schweb- und Schadstofffrachten, die aus dem Baggerungs- und Umlagerungsbereich abfließen nicht relevant.

Unabhängig davon, wird zur Begrenzung möglicher Schwebstofffahren ein Schlickvorhang mit Blasenschleier am Ausgang des Werftbeckens vorgesehen.

10.2.3 Porenwasser während der Bauausführung

Als Porenwasser wird im Weiteren das im Porenraum des Sedimentes vorhandene freie Wasser bezeichnet. Während der Bauphase der Nassbaggerung kann ein Teil dieses Wassers durch Schwerkraftentwässerung austreten und in den Wasserkörper des Hafenbeckens eingeleitet werden.

Ebenso kann Porenwasser bei der Einlagerung im Spundwandkasten durch Gravitation aus dem Sediment austreten, hier gelangt es dann aber bereits in den abgespundeten Bereich der Ablagerungsfläche.

Weiterhin tritt Porenwasser während der Konsolidierung des Sedimentes in der Ablagerungsfläche zunächst unter Eigengewicht, dann durch die Auflast der Überschüttung aus. Hier erfolgt ein Auspressen des Porenwassers aus dem Porenraum, der vergleichbar mit der Gewinnung der Porenwasserproben im Rahmen der ergänzenden Erkundungen ist.

Im Porenwasser können Schad- und Nährstoffe in gelöster Form vorhanden sein. Zur Bewertung der Auswirkungen der Porenwasserrückführung sind daher sowohl die wiedereinzuleitenden Mengen als auch die damit verbundenen Nähr- und Schadstofffrachten zu ermitteln und zu bewerten.

10.2.3.1. Mengen

Die Mengen des austretenden Porenwassers beim Baggern sind stark vom gewählten Baggerverfahren abhängig. Während bei Verfahren mit Spülen, sowohl für die Förderung als auch den Transport, Feststoff-Wassergehalte von 1:4 und darüber möglich sind, liegt dieses Verhältnis bei Baggern mit Greifgeräten, insbesondere bei geschlossenen Greifern, bei max. 1:1.

Versuche, die im Rahmen der ergänzenden Erkundungen durchgeführt wurden, belegen eine starke Bindung des Porenwassers an das Sediment. So war die Gewinnung des Porenwassers aus dem entnommenen Probenmaterial nur durch ein dreistufiges Verfahren möglich, bei dem abschließend eine Zentrifugierung zur Abtrennung des Porenwassers aus dem Sediment genutzt werden musste.

Bei einer Gesamtmenge zu baggernder organischer Sedimente von ca. 53.000 m³ werden ca. 2.000 m³ bis 212.000 m³ Wasser aus dem Hafenbecken als Prozesswasser genutzt. Je höher der Wasseranteil, umso stärker fällt der Verdünnungseffekt aus.

Bei den Absetzversuchen im Labor im Rahmen der Erkundungen wurde ein durchschnittlicher Wasseraustritt unter Schwerkraft von 0,25 %/h festgestellt. In den weiteren Betrachtungen wird beim gewählten Baggerverfahren mit geschlossenem Greifer ein Porenwasseraustritt von 3 % während des Baggerns zugrunde gelegt. Danach würden während des Baggerns ca. 1.600 m³ Porenwasser austreten.

10.2.3.2. Frachten

Bei der Baggerung kommt es nach den Erfahrungen anderer Projekte zu keinen nennenswerten Lösungsprozessen von überwiegend an die organische Matrix und das Feinstkorn gebundenen Schadstoffen ins Wasser. Im Wesentlichen stammen gelöste Schadstoffe aus dem Porenwasser des Sedimentes, die dann im Rahmen der Baggerung mit dem Prozesswasser vermischt werden. Im Sinne einer worst-case-Analyse sollen für die Frachtenberechnung der gelösten Schadstoffe die vorhandenen Analysenergebnisse aus dem Porenwasser genutzt werden.

Danach werden im Rahmen der Baggerung die in Tabelle 15 zusammengestellten Mengen als gelöste Schad- und Nährstoffe als Maximalmengen im gelösten Zustand in das Hafenbecken eingetragen:

Tabelle 15: prognostizierter Schadstoffeintrag ins Werftbecken über gelöste Stoffe

Parameter	Einheit	Porenwasser- untersuchung 2023 Mittelwert	Eintrag über Porenwasser (kg)	bezogen auf Werftbecken- volumen	Werftbecken-was- ser-untersuchung 2023 Mittelwert	Verschlechterung in %
Gesamtphosphor	mg/l	4,225	6,69	0,0185	0,0140	13,24
Phosphat-ortho-P	mg/l	3,65	5,73	0,0159	0,0295	53,85
Stickstoff, ges.	mg/l	21,75	34,55	0,0958	0,812	11,79
Nitrat-N	mg/l	0,027	0,0430	0,0001	0,023	0,525
Ammonium-N	mg/l	18,6	29,53	0,0819	0,0962	85,05
Sulfat	mg/l	653	1.039,6	2,882	--	--
Arsen	µg/l		0,038	0,0909		--
Blei	µg/l	1,2	0,002	0,0044	1,1	1,5
Cadmium	µg/l	< 0,3	0,0005	0,0013	<0,3	0,16
Chrom	µg/l	<2,5	0,0040	0,0110	--	--
Kupfer	µg/l	12,0	0,0205	0,0567	1,6	1,25
Nickel	µg/l	1,4	0,0022	0,0062	<1,0	0,22
Quecksilber	µg/l	< 0,05	0,0001	0,0002	<0,05	0,15
Zink	µg/l	1,6	0,0032	0,0088	11,65	0,03

Naphthalin	µg/l	0,074	0,0015	0,0042	0,0143	10,41
Summe PAK15 ohne Naphthalin	µg/l	0,418	0,0007	0,0020	<0005	--
Summe PCB 6	µg/l	0,021	0,0001	0,00001	<0,005	--
Diflufenican	µg/l	< 0,05	0,0001	0,0002	<0,0005	--
Triclosan	µg/l	< 0,01	0,00003	0,00004	<0,001	--
Tributylzinn	µg/l	0,0523	0,0001	0,0002	<0017	--
BDE inkl. BG	µg/l	0,0495	0,0001	0,0002	0,0178	0,433

Den absoluten und relativen Schadstofffrachten wurden die aktuellen Ergebnisse der chemischen Analyse des Werftbeckenwassers gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass insgesamt nur ein geringer absoluter Schadstoffeintrag erfolgt. Bei den Nährstoffeinträgen muss hier ein signifikanter Eintrag festgestellt werden. Eine direkte prozentuale Verschlechterung konnte rechnerisch nur für einige Stoffe ermittelt werden, da hier Ergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze zu falschen Ergebnissen führen.

Bei der Bewertung dieser Angaben ist weiterhin zu berücksichtigen, dass hier kein zusätzlicher Eintrag in das Werftbecken erfolgt, sondern nur bereits vorhandene, überwiegend bereits gelöste Schadstoffe in einem Kreislauf umgelagert werden.

10.2.4 Schwebstoffe

Neben dem Porenwasser kann der Schadstoffaustrag und –transport auch über Schwebstoffe erfolgen. Schwebstoffe sind fein- und feinstkörnige Bestandteile des Sedimentes, die bei Bewegungen, z.B. Aufwirbelungen, auf Grund ihres Durchmessers und/oder ihrer Korndichte nicht sofort absinken. Wegen ihres hohen Stoffbindepotentials weisen sie meist höhere Schad- und Nährstoffgehalte auf als das Gesamtsediment.

10.2.3.3. Frachten

Allgemein gilt für Unterwasserbaggerungen ein Grenzwert von 30 mg/l für die Schwebstoffbildung. Dieser wird auch hier zugrunde gelegt und ist während der Bauausführung regelmäßig zu messen.

Bei den oben beschriebenen Randbedingungen ist von einer Gesamtschwebstofffracht von 48 kg auszugehen. Bei der Frachtenberechnung wurde davon ausgegangen, dass an der Schwebstoffbildung nahezu ausschließlich das Feinkorn beteiligt ist, welches bekanntermaßen ein deutlich höheres Schadstoffbindevermögen aufweist. Insofern werden die in den ergänzenden Erkundungen in 2023 direkt in der Fraktion <63 µm ermittelten Schadstoffgehalte genutzt.

Danach sind in der vorgenannten Schwebstoffmenge folgende Schadstoffmengen und Nährstofffrachten enthalten:

Stickstoff, ges.: 0,48 kg
Ammonium-N: 0,01 kg

Phosphor:	0,18 kg
Blei:	0,01 kg
Cadmium:	0,0001 kg
Kupfer:	0,011 kg
Zink:	0,048 kg
Nickel:	0,0048 kg
Quecksilber:	0,00028 kg
Naphthalin:	0,0005 kg
PAK (16):	0,0011 kg
PCB (6):	0,00008 kg
Tributylzinn:	0,791 kg
Summe BDE:	0,0015 kg

Auch bei diesen Frachtmengen ist zu berücksichtigen, dass diese nicht dem Werftbecken zugeführt werden, sondern hier bereits vorhanden sind und lediglich durch die Baggerung kurzzeitig mobilisiert werden. Der Großteil dieser Schwebstoffe sedimentiert in kurzer Zeit. Ein horizontaler Abtransport dieser Schwebstoffe in Richtung Unterwarnow erfolgt wegen des fehlenden Fließgefälles nicht. Zusätzlich werden zur Sicherung gegen diesen Austrag technische Maßnahmen (Schlickvorhang, Blasenschleier) vorgesehen. Der grundsätzliche Schwebstofftransport und die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen wird durch geeignete Monitoringmaßnahmen überwacht.

Zur grundsätzlichen Bewertung der Schwebstofffracht ist diese im Folgenden dem Gesamtschadstoffinventar gegenübergestellt, das im vorhandenen organischen Baggergut gebunden ist.

	Schwebstoffanteil	Gesamtschadstoffinventar
Stickstoff, ges	0,48 kg	113.307 kg
Ammonium-N	0,01 kg	14.339 kg
Phosphor	0,18 kg	41.050 kg
Blei	0,01 kg	16.441 kg
Cadmium	0,0001 kg	2.400 kg
Kupfer	0,011 kg	3.403 kg
Zink	0,048	175.928 kg
Nickel	0,0048 kg	2.875 kg
Quecksilber	0,00028 kg	2.415 kg
PAK	0,0011 kg	1.040 kg
PCB	0,0008 kg	215,3 kg
Tributylzinn	0,791 kg	42,0 kg

Summe BDE	0,0015	0,626 kg
-----------	--------	----------

10.2.4 Bewertung einzelner Wirkungspfade

10.2.4.1. Wirkungspfad Sediment (Schwebstoffe) – Mensch

Im Bereich des Hafenbeckens ist ein direkter Kontakt mit schadstoffbelasteten Sedimenten in Form von mobilisierten Schwebstoffen nach menschlichem Ermessen nicht zu erwarten. Vor diesem Hintergrund ist der **direkte Wirkungspfad Sediment – Mensch nicht** relevant.

10.2.4.2. Wirkungspfad Porenwasser – Oberflächengewässer – (Mensch)

Während der Baggerungsmaßnahmen sind geringfügige Schadstoffmobilisierungen (siehe 10.2.3.2) in das Hafenwasser durch gelöste Schadstoffe in das Hafenbecken nicht auszuschließen. Im Bereich des Hafenbeckens ist ein direkter Kontakt bzw. die Aufnahme von Hafenbeckenwasser durch das Schutzgut Mensch nach menschlichem Ermessen nicht zu erwarten. Vor diesem Hintergrund ist der **direkte Wirkungspfad Sediment – Mensch nicht** relevant.

10.2.4.3. Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier – (Mensch)

Die im Schwebstoff gebundenen Schadstoffe bzw. die im Porenwasser gelösten können dem Grunde nach von Pflanzen und Tieren, die im bzw. auf dem Sediment des Hafenbeckens leben (Krebse, Schnecken Würmer, Algen, Fische), ggf. über Kiemen bzw. Verdauungstrakt in den Organismus gelangen. Untersuchungsergebnisse oder darauf basierende Bewertungen liegen hierzu nicht vor.

Nach der visuellen Einschätzung der Taucher im Rahmen der Probenahmen 2021 und 2023 wurden an der Sedimentoberfläche zum Zeitpunkt der Probenahme kaum Lebewesen angetroffen. Daher wurde der **Wirkungspfad Sediment – Pflanze/Tier** für den Untersuchungsbe- reich derzeit als **nicht relevant** angesehen.

11 Durchführung der Monitoringprogramme für den Gewässerschutz

11.1 Durchführung des Monitoringprogramms für das Oberflächenwasser

Die Nassbaggerarbeiten der belasteten Sedimente und deren Umlagerung in den späteren Vorstellflächenbereich werden durch ein Monitoringprogramm der hydrologischen und chemischen Wasserbeschaffenheit baubegleitend überwacht.

Das Monitoringprogramm hat zum Ziel festzustellen, dass durch die Arbeiten keine Verschlechterung im Gewässerzustand (z.B. überhöhte Sauerstoffzehrung oder Gewässereintrübung) eintritt und es ebenfalls zu keinen erhöhten Schad- und Nährstofffreisetzungen kommt.

Das vorgesehene Monitoringprogramm orientiert sich nach Art und Umfang an das Monitoring zur Baggerung und dem Einbau der kontaminierten Sedimente aus der Seekanalvertiefung in die ehem. Dockgrube der Neptunwerft 2022 / 2023.

Im Werftbeckenbereich wird eine Messstation angeordnet. Die Lage dieser Messstation variiert bauzeitig und ist den örtlichen Nassbaggerarbeiten anzupassen. Außerhalb des Werftbeckenbereiches und der Sicherung mittels Schlickvorhang und Blasenschleier werden ebenfalls vier Messstationen angeordnet. Zum Vergleich dieser Messdaten werden ebenfalls die Daten der Landesmessstelle im Breitling ausgewertet und verglichen.

Der Messpunkt M01 wird nach dem Ende der Sedimentbaggerung unmittelbar in den Bereich der dann ehemaligen Durchfahrtsöffnung verlegt.

Weiterhin wird während der Zeit der Durchfahrtsöffnung eine zusätzliche temporäre Messstelle M06 – siehe Abschnitt 6.4 aus dem Technologiekonzept) - angeordnet.

Die Darstellung der Anordnung der Messstationen erfolgt in Abbildung 27.

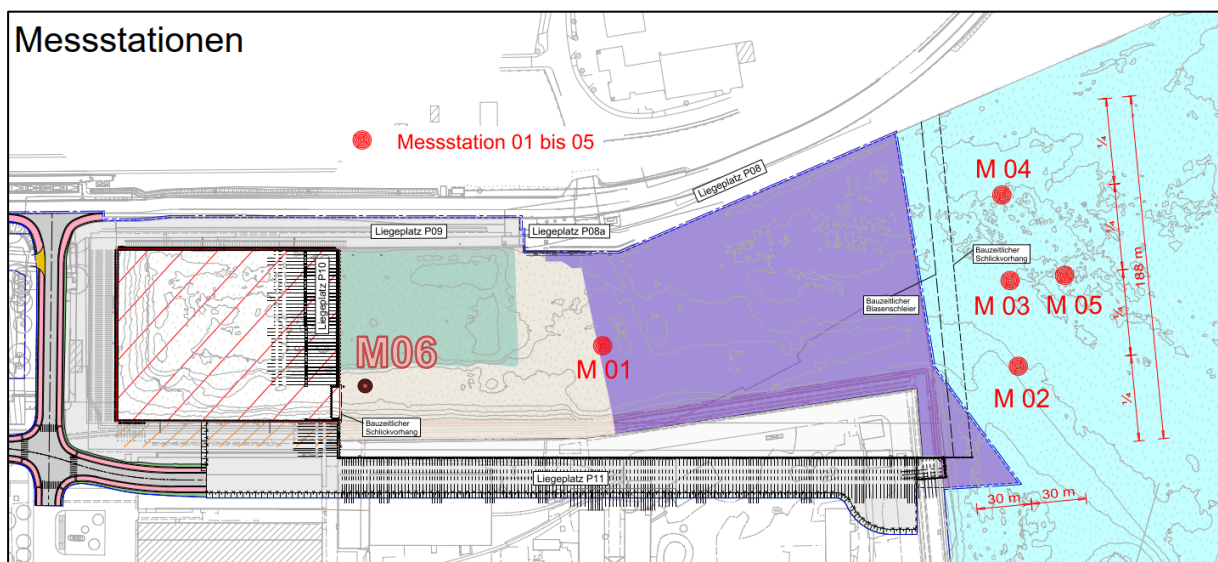


Abbildung 27: Lageplan – Anordnung der Messpunkte

An jeder Messstation wird eine stationäre Messkette mit jeweils zwei Messgeräten, den Seaguards, angeordnet. Die Seaguards sind jeweils eineinhalb Meter unter der Wasseroberfläche

sowie einen Meter über dem Gewässerboden angeordnet und beinhalten Messsonden, welche folgende Gewässerparameter als Dauermessung erfassen:

- Trübung, Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Strömungsrichtung und –geschwindigkeit

Zusätzlich zu den Seaguards werden Messungen per Hand mit einer Multiparametersonde zur Erstellung eines Tiefenprofils sich verändernder Parameter zur Wasserbeschaffenheit an den einzelnen Messstationen durchgeführt:

- Trübung, Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff

Weiterhin ist es vorgesehen an jeder Messstation Wasserproben zu entnehmen, um die chemische Wasserbeschaffenheit zu erfassen. Die Probenentnahme erfolgt hier einen Meter unter der Wasseroberfläche sowie einen Meter über Grund mit Hilfe eines Ruttner-Schöpfers.

Folgende Untersuchung dieser entnommenen Wasserproben ist geplant:

- Schadstoffe in Hinblick auf die Umlagerung der belasteten Sedimente: Schwermetalle Zink, Quecksilber und Nickel sowie Polychlorierte Biphenyle (PCB), Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Tributylzinn (TBT).
- Parameter des Grundmessprogrammes zur Güteüberwachung der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns: Chlorid, Salzgehalt, Leitfähigkeit, Sauerstoff, Sauerstoffsättigung, pH-Wert, Orthophosphat-P, Gesamt-Phosphor, Nitrat-N, Nitrit-N, Ammonium-N, Gesamt-Stickstoff, Orthosilikat-Si.

Die Probenahmen und Analysen erfolgen nach der Richtlinie zur Probenahme und Probenbearbeitung – Schwebstoffe- des Umweltbundesamtes.

Die Durchführung der Messzyklen ist wie folgt geplant:

Seaguards Permanentmessungen:

- Ab 1 Monat vor Beginn der Nassbaggerarbeiten der belasteten Sedimente
- bis 1 Monat nach Umlagerung der belasteten Sedimente und dem Schließen der Zufahrtsöffnung in den Verfüllungsbereich

Multiparametersonde und Wasserprobenentnahme (Ruttner-Schöpfer)

- 2 x in dem Monat vor Beginn der Nassbaggerarbeiten der belasteten Sedimente
- 1 x pro Woche während der Arbeiten
- 2 x in dem Monat nach der Umlagerung der belasteten Sedimente und dem Schließen der Zufahrtsöffnung in den Verfüllungsbereich

Über den Umfang des geplanten Monitoringprogrammes bedarf es einer gesonderten Abstimmung mit den zuständigen Fach- und Genehmigungsbehörden.

Parameter	Untersuchungsumfang	
Nährstoffe	Gesamt-Phosphor, Ortho-Phosphat-Phosphor, Gesamt-Stickstoff, Nitrat-Stickstoff	In der Wasserphase gelöst vorkommend
nach der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) definierte prioritäre Stoffe	Hauptschwerpunkt ist auf Stoffe mit nach dem 3. Bewirtschaftungszeitraum (BWZ) vorliegender Überschreitung der Umweltqualitätsnorm	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden sowie in der Wasserphase gelöst vorkommend

Parameter	Untersuchungsumfang	
	zu legen (Bromierte Diphenylether (BDE) und Quecksilber und Quecksilberverbindungen)	
nach der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) definierte flussgebietsspezifische Schadstoffe	Hauptschwerpunkt ist auf Stoffe mit nach dem 3. Bewirtschaftungszeitraum (BWZ) vorliegender Überschreitung der Umweltqualitätsnorm zu legen (Diflufenican und Triclosan)	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden sowie in der Wasserphase gelöst vorkommend
Schwermetalle	Zn, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden vorkommend
PCB	28, 52, 100, 118, 138, 153, 180	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden vorkommend (einzeln als auch in Summe)
EPA-PAK	16 EPA-PAK	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden vorkommend (einzeln als auch in Summe)
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)		An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden vorkommend
Organozinnverbindungen	Tributylzinn (TBT)	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden vorkommend
Organochlorpestizide	HCH-Isomere, HCB, DDX, Pentachlorbenzol	An Schwebstoffen in der Wasserphase gebunden vorkommend
Anteil abfiltrierbarer Stoffe (Seston)		In der Wasserphase
Chlorid		In der Wasserphase gelöst
Salzgehalt		In der Wasserphase
Sauerstoffgehalt		In der Wasserphase
pH-Wert		In der Wasserphase
Temperatur		In der Wasserphase
Trübung		In der Wasserphase

11.2 Durchführung des Monitoringprogramms für das Grundwasser

Durch ein weiteres Monitoringprogramm soll nachgewiesen werden, dass es durch die Umlagerung und Konsolidierung zu keinem Schadstoffeintrag ins Grundwasser kommt.

Dazu werden landseitig südlich, westlich und nördlich der geplanten Vorstellfläche drei Grundwassermonitoringpegel (GWMP) als Doppelmessstellen errichtet (Abbildung 28: Lageplan – Grundwassermonitoringpegel (GWMP) Vorstellfläche

). Die Grundwassermessstellen werden jeweils getrennt im Grundwasserleiter 1 und Grundwasserleiter 2 verfiltert.

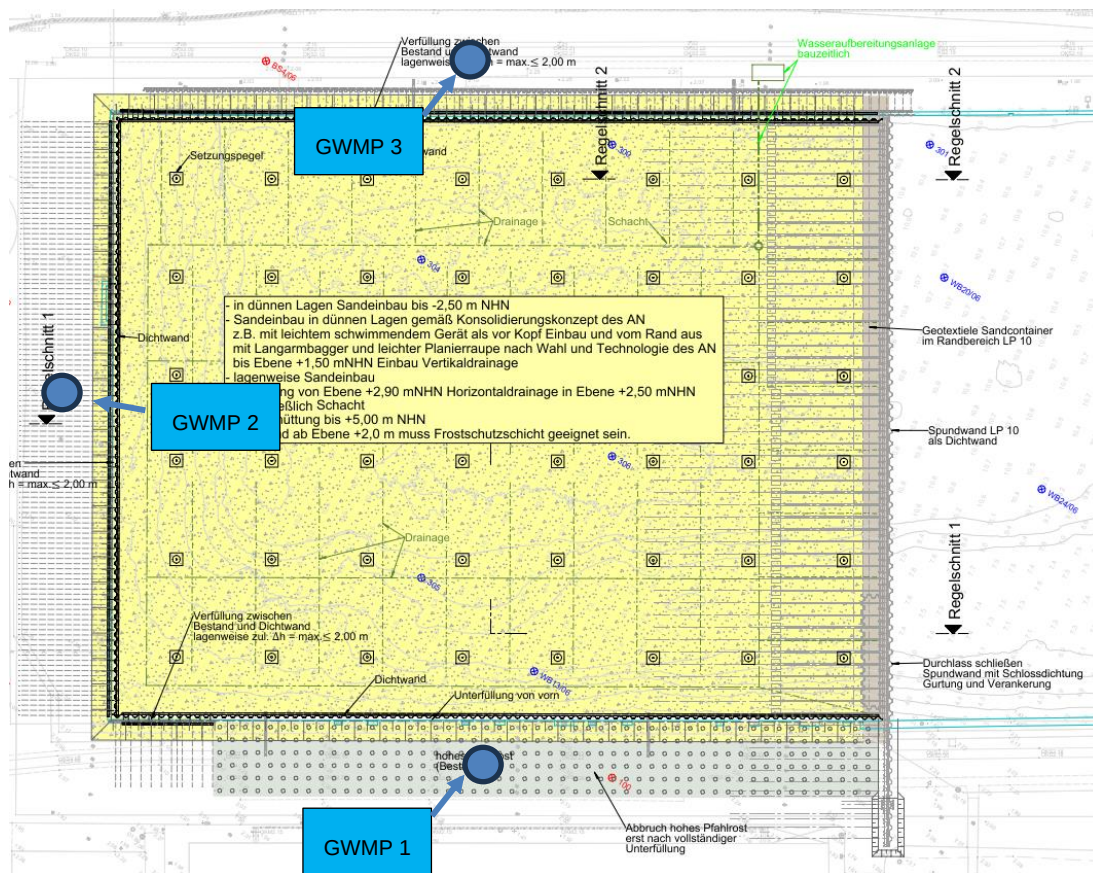


Abbildung 28: Lageplan – Grundwassermonitoringpegel (GWMP) Vorstellfläche

Jeder Monitoringpegel wird mit einem Datenlogger zur Permanentmessung der Grundwasserstände ausgerüstet. Während der Überwachungszeit werden die Messdaten stündlich erfasst und aufgezeichnet. Im Rahmen der Beprobung der Grundwassermessstellen werden die aufgezeichneten Daten ausgelesen und ausgewertet.

Folgende Untersuchungen der entnommenen Wasserproben sind geplant:

- Vor Ort Parameter: pH-Wert, Temperatur, Sauerstoff, Leitfähigkeit, Redoxspannung
- Schadstoffe in Hinblick die Umlagerung der belasteten Sedimente: Schwermetalle Zink, Quecksilber und Nickel sowie Polychlorierte Biphenyle (PCB), Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Tributylzinn (TBT)

Die Probenahmen sind wie folgt geplant:

1. Nullbeprobung vor der Umlagerung:
 - 2 Wochen nach Errichtung der Messpegel, spätestens jedoch 3 Monate vor Beginn der Umlagerung
2. Nullbeprobung vor der Umlagerung:
 - eine Woche vor Beginn der Umlagerung
3. Beprobungen während der Konsolidierungsphase
 - quartalsweise
4. Beprobung nach der Konsolidierungsphase
 - 2 x quartalsweise

Für das Grundwassermonitoring ist das Ende der Konsolidierungsphase erreicht, wenn eine 95 % -ige Konsolidierung der Mudde lt. Konsolidierungsberechnung und messtechnischer Begleitung erreicht ist.

12 Quellenverzeichnis

- BFG (2023a). BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Wasserkörpersteckbrief zum Grundwasserkörper Warnow (DE_GB_DEMV_WP_WA_10) zum 2. Bewirtschaftungsraum (2016 bis 2021), abgerufen am 20. Juni 2023, von https://geoportal.bafg.de/birt_viewer/frameset__report=GW_WKSB.rptdesign&__navigationbar=false¶m_wasserkoeper=DE_GB_DEMV_WP_WA_10
- BFG (2023b). BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Wasserkörpersteckbrief zum Gewässer Warnow (DE_GB_DEMV_WP_WA_10) zum 3. Bewirtschaftungszeitraum (2022 bis 2027), abgerufen am 20. Juni 2023, von https://geoportal.bafg.de/birt_viewer/frameset__report=GW_WKSB_21P1.rptdesign¶m_wasserkoeper=DEGB_DEMV_WP_WA_9_16
- BFG (2023c). BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Wasserkörpersteckbrief zum Gewässer Unterwarnow (DECW_DEMV_WP-05) zum 2. Bewirtschaftungszeitraum (2016 bis 2021), abgerufen am 20. Juni 2023, von https://geoportal.bafg.de/birt_viewer/frameset__report=CW_WKSB.rptdesign&__navigationbar=false¶m_CW=DE_CW_DEMV_WP_05
- BFG (2023d). BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Wasserkörpersteckbrief zum Gewässer Unterwarnow (DECW_DEMV_WP-05) zum 3. Bewirtschaftungszeitraum (2022 bis 2027), abgerufen am 20. Juni 2023, von https://geoportal.bafg.de/birt_viewer/frameset__report=CW_WKSB_21P1.rptdesign¶m_wasserkoeper=DECW_DEMV_WP_05
- FIS (2023a). FACHINFORMATIONSSYSTEME WASSER MECKLENBURG-VORPOMMERN, Wasserkörpersteckbrief zum Grundwasserkörper Warnow zum 3. Bewirtschaftungszeitraum (WP_WA_9_16), abgerufen am 20. Juni 2023, von https://fis-wasser-mv.de/charts/steckbriefe/gw/gw_wk.php?gw=WP_WA_9_16
- FIS (2023b). FACHINFORMATIONSSYSTEME WASSER MECKLENBURG-VORPOMMERN, Zustand und Risikoabschätzung Zielerreichung des Grundwasserkörpers Warnow (WP_WA_9_16), abgerufen am 20. Juni 2023, von <https://fis-wasser-mv.de/kvwmap/index.php>
- FIS (2023b). FACHINFORMATIONSSYSTEME WASSER MECKLENBURG-VORPOMMERN, Wasserkörpersteckbrief zum Gewässer Unterwarnow zum 3. Bewirtschaftungszeitraum (DECW_DEMV_WP-05), abgerufen am 20. Juni 2023, von https://fis-wasser-mv.de/charts/steckbriefe/cw/cw_wk.php?kg=WP_05
- FIS (2023d). FACHINFORMATIONSSYSTEME WASSER MECKLENBURG-VORPOMMERN, BP Anhang 5.2 zur Ermittlung der Zielerreichung der betroffenen Gewässerkörper, abgerufen am 20. Juni 2023, von https://fis-wasser-mv.de/charts/steckbriefe/neu/bp_anhang/5_2/