



# Geotechnik



## **BAUGRUNDGUTACHTEN**

**gültig als**

**HAUPTUNTERSUCHUNG**

<b>Projekt-Nr.:</b>	<b>08/2044</b>
<b>Bauvorhaben:</b>	<b>Sassnitz - Mukran</b>
<b>Objekt:</b>	<b>Erweiterung Fährhafen Ausbau Liegeplatz 9</b>
<b>Auftraggeber:</b>	<b>Fährhafen Sassnitz GmbH Im Fährhafen 18546 Sassnitz / Neu Mukran</b>
<b>Bearbeiter:</b>	<b>Dipl.-Ing. (FH) E. Struck Dipl.-Ing. H. Chamier</b>

**Stralsund, 18. Juli 2008**

## Inhalt

1.	Unterlagenverzeichnis .....	4
2.	Anlagenverzeichnis .....	5
3.	Bauvorhaben.....	5
4.	Baugrundverhältnisse .....	6
4.1	Baugelände .....	6
4.2	Geologische Situation .....	6
4.3	Baugrunderkundung .....	6
4.4	Schichtenaufbau des Baugrundes .....	7
4.4.1	Wasserbereich .....	8
4.4.2	Landbereich .....	8
4.5	Art und Umfang der bodenmechanischen Laboruntersuchungen .....	9
4.6	Baugrundeigenschaften .....	9
4.7	Chemische Baugrundeigenschaften .....	11
5.	Grundwasserverhältnisse und Wassereigenschaften .....	12
5.1	Allgemeines .....	12
5.2	Wasserstände während der Aufschlussarbeiten.....	12
5.3	Wassereigenschaften .....	12
6.	Schlussfolgerungen, Empfehlungen, Hinweise.....	14
6.1	Gründungsart und –tiefe .....	14
6.1.1	Kaianlage – Spundwand / Stahlrohrrammpfahl, Bohrpfahl und Verankerung .....	14
6.1.2	Erweiterte Hafenfläche - Auffüllungen .....	15
6.2	Berechnungsgrundlagen / Charakteristische Berechnungswerte .....	16
6.2.1	Charakteristische Berechnungswerte .....	16
6.2.2	Spundwandverankerung .....	17
6.2.3	Tragfähigkeit von Verdrängungspfählen (Rammpfähle: Stahlrohr, Stahlrammpfähle, Stahlbetonrammpfähle) .....	19
6.2.4	Tragfähigkeit von Bohrpfählen .....	20

6.3	Rammarbeiten, Bohrbarkeit des Baugrundes.....	21
6.4	Erdarbeiten .....	22
7.	Qualitätssicherung .....	23
8.	Chemische Untersuchung von Bodenproben .....	23
8.1.	Durchgeführte Arbeiten.....	23
8.2	Ergebnisse der Untersuchungen .....	24
8.3.	Bewertung der Ergebnisse.....	25
8.3.1	Bewertungsgrundlagen .....	25
8.3.2	Bewertung der Ergebnisse der chemischen Analytik.....	25
8.3.3	Gefahrenbewertung .....	25
9.	Zusammenfassung .....	26

## **1.           Unterlagenverzeichnis**

- U 1           Ingenieurvertrag vom 30. Mai 2008
- U 2           Übersichtslageplan, Vorplanung, Erweiterung Fährhafen Sassnitz, Ausbau Liegeplatz 9, erstellt vom Büro Merkel Consult am 14. März 2008
- U 3           Lageplan, hydrographische Vermessung des Fährhafens Sassnitz vom September 2006, erstellt von der Geo Ingenieurservice GmbH am 18. September 2006
- U 4           Lage- und Höhenplan, Sassnitz- Mukran, Erweiterung Fährhafen, Ausbau Liegeplatz 9, übergeben vom Büro Merkel Ingenieur Consult per E- mail am 24. Juni 2008
- U 5           Baubeschreibung, erstellt vom Büro Merkel Ingenieur Consult am 18. März 2008
- U 6           Bodenproben und Schichtenverzeichnisse der Bohrungen LB 1/9, WB 1/9 bis WB 6/9 ausgeführt von der Vormann & Partner Bohrgesellschaft mbH im Juni 2008
- U 7           Ergebnisse der Drucksondierungen (CPT) L 1 und L 2 ausgeführt von v.g. Bohrgesellschaft am 12. Juni 2008
- U 8           Ergebnisse der Drucksondierungen (WCPT) 1b, 2 bis 7 ausgeführt von der FUGRO Consult GmbH vom 11. Juni bis 13. Juni 2008
- U 9           Lage- und höhenmäßige Einmessung der Aufschlusspunkte, ausgeführt von der Geo Ingenieurservice Nord-Ost GmbH &Co. KG
- U 10          Chemische Analytik der untersuchten Wasserproben (WB 9/2 und WB 9/6) und Seewasserproben, erstellt von der IUL Vorpommern GmbH am 25. Juni 2008

U 11 Chemische Analytik der untersuchten Bodenproben, erstellt von der IUL Vorpommern GmbH am 11. Juli 2008

## **2. Anlagenverzeichnis**

A 1	1 Blatt	Lage- und Aufschlussplan
A 2	4 Blatt	Profilzeichnungen
A 3	3 Blatt	idealisierte Baugrundschnitte
A 4	18 Blatt	Laborprüfbericht Nr. 1
A 5	8 Blatt	Prüfbericht, chemische Analytik der Wasserproben, Prüfberichte Nr.026503, 026203, 026504, 026505, 026506
A 6	12 Blatt	Prüfbericht, chemische Analytik der Bodenproben, Prüfberichte Nr.026691, 026692
A 7	1 Blatt	Zusammenstellung der Analysenergebnisse (Boden)

## **3. Bauvorhaben**

Die Fährhafen Sassnitz GmbH plant eine Erweiterung des Fährhafens Sassnitz- Mukran. Im Rahmen der Baumaßnahme ist eine flächenhafte westliche Landerweiterung (Auffüllung) des derzeitigen Hafenbeckens geplant. Den westlichen Abschluss bildet die ca. 200 m lange Kai-mauer (Liegeplatz 9) in Verlängerung des vorhandenen Liegeplatzes 8. Die Kaikante des Liegeplatzes soll als Kombination aus Stahlrohren und verankerten Spundwandelementen (Larsen 23) hergestellt werden. Als Verankerung der Spundwand sind 7-Litzen 0,6“, Ischebeck Titan 103/78 oder GEWI D 0 63,5 mit einer Ankerneigung von 40° geplant. Die Oberkante des Betonholmes der Spundwand liegt auf +3,50 m NN. Für die Gründung der Kaiplatte mit der ufernah verlaufenden Kranbahn sind Bohrpfähle vorgesehen.

Das Bauwerk wird in die geotechnische Kategorie 2 gemäß DIN 4020 eingeordnet.

Die künftige Hafensohle liegt zunächst auf dem Niveau -10,50 m NN. Als Berechnungstiefe ist eine Tiefe von - 12,5 m NN anzusetzen. Die Auffüllung der Hafenerweiterungsfläche erfolgt bis auf das Niveau + 3,50 m NN.

#### **4. Baugrundverhältnisse**

##### **4.1 Baugelände**

Das Areal der Erweiterung liegt im direkten Anschluss zum Liegplatz 8 und dem nordöstlichen, derzeit unbefestigten Uferbereich. Die Wassertiefen des Hafenbeckens liegen gemäß dem vorliegenden Peilplan zwischen ca. 2 m und 10 m (U 3). Die Geländehöhen des angrenzenden Geländes liegen auf dem Niveau zwischen ca. 3,5 m NN und +3,2 m NN.

##### **4.2 Geologische Situation**

Der Fährhafen Mukran liegt im Bereich der Nordrügen-Usedomer Staffel des Pommerschen Stadiums der Weichsel-Kaltzeit. Es steht verbreitet Geschiebemergel an, der jedoch eine intensive Verschuppung mit kreidiger Schreiekreide und glazifluviatilen Sanden aufweist.

##### **4.3 Baugrunderkundung**

Zur Erkundung des Land / Uferbereiches wurden eine Bohrung (LB 1) bis 23,50 m Tiefe und zwei Drucksondierungen (CPT L 1 und CPT L 2) ausgeführt. Die CPT L 1 musste auf Grund von Hindernissen in einer Tiefe von 8 m abgebrochen und zweimal versetzt werden. Die CPT L 1b wurde bis 23,50 m unter OK Gelände geführt.

Im Wasser wurden 6 Bohrungen (WB 9/1 bis WB 9/6) abgeteuft. Die Bohrtiefen betragen zwischen 16,0 m und 18,8 m ab der Gewässersohle, die Endteufe liegt zwischen -24,9 m HN und -27,5 m HN. Des Weiteren waren 5 Drucksondierungen geplant (WCPT 1 bis WCPT 5). Auf Grund von Hindernissen wurde die WCPT 1 in 7 m Tiefe abgebrochen und zweimal versetzt (WCPT 6, WCPT 7). Die Sondierungen wurden bis zur Auslastung der Drucksonde bis in Tiefen von 7,0 m bis 15,8 m unterhalb der Gewässersohle, d.h. bis auf das Niveau zwischen -13,7 m NN und -23,3 m NN abgeteuft.

Die Lage der Aufschlüsse ist dem Lageplan der Anlage 1 zu entnehmen.

Eine Zusammenstellung der Koordinaten und Höhen gibt die Tabelle 1. Die SOLL-Lage der Bohrungen und Drucksondierungen wurde mittels GPS durchgeführt. Die IST-Einmessung wurde nach Abschluss der Bohrungen und Drucksondierungen durchgeführt (U 9).

**Tabelle 1: Koordinaten und Höhen der Ansatzpunkte der Bohrungen und Sondierungen**

Aufschluss	Lage	Rechtswert	Hochwert	Höhe Ansatzpunkt [m Pegelhöhe]	Höhe Ansatzpunkt [m NN]
WB 9/1	Wasser	5408825,15	6040903,90	5,01	+0,01
WB 9/2	Wasser	5408847,57	6040845,99	4,98	-0,02
WB 9/3	Wasser	5408872,28	6040839,25	4,99	-0,01
WB 9/4	Wasser	5408894,70	6040781,35	5,01	+0,01
WB 9/5	Wasser	5408919,41	6040774,61	5,03	+0,03
WB 9/6	Wasser	5408822,24	6040880,73	5,01	+0,01
WCPT 1	Wasser	5408824,00	6040878,31	4,82	-0,18
WCPT 2	Wasser	5408848,72	6040871,58	5,00	0,00
WCPT 3	Wasser	5408871,14	6040813,67	4,92	-0,08
WCPT 4	Wasser	5408895,85	6040806,93	4,93	-0,07
WCPT 5	Wasser	5408918,27	6040749,03	4,97	-0,03
WCPT 6	Wasser	5408848,66	6040852,97	5,00	0,00
WCPT 7	Wasser	5408918,27	6040854,07	5,01	+0,01
CPT L 1	Land	5408848,67	6040877,16		+3,54
CPT L 2	Land	5408841,68	6040804,44		+3,53

#### 4.4 Schichtenaufbau des Baugrundes

Der höhengerechten Darstellung der Bohrprofile in der Anlage 2 liegen die Schichtenverzeichnisse des Bohrunternehmens zu Grunde, die von uns durch Ansprache der aus den einzelnen Bodenschichten entnommenen Bodenproben und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Laborversuche überarbeitet wurden. Als Anlage 3 sind idealisierte Baugrundlängsschnitte dargestellt.

Der Schichtenaufbau lässt sich nach den vorliegenden Ergebnissen wie folgt beschreiben:

#### 4.4.1 Wasserbereich

Ab der Gewässersohle stehen zunächst überwiegend Fein- und Mittelsande an. In WB 9/3 und WB 9/2 wurde ab der Gewässersohle eine etwa 3,50 m mächtige Kiesschicht angetroffen, die offensichtlich in Ost – West – Richtung rinnenartig verläuft. Unterhalb der Kiesschicht folgen auch hier Sande. Die erkundeten Schichtmächtigkeiten betragen zwischen ca. 6,0 m (WB 9/4) und 15,0 m (WB 9/1). Die Schichtunterkante liegt auf dem Niveau zwischen ca. -16,4 m NN und ca. -21 m NN.

Die Sande werden von Geschiebemergel unterlagert. Der Geschiebemergel wurde bis in Tiefen zwischen -21,7 m NN und -26,5 m NN erkundet. In WB 9/1 und WB 9/3 wurde dieser nicht durchteuft. Bei den Bohrungen WB 9/2, WB 9/4, WB 9/5 und WB 9/6 folgen unterhalb des Geschiebemergels Sande, lokal sandiger Schluff (WB 9/6).

#### 4.4.2 Landbereich

Im ufernahen Bereich wurden ab der Geländeoberfläche zunächst Sande bis in Tiefen von 8 m bis 8,4 m angetroffen. Offensichtlich handelt es sich um aufgespülte bzw. aufgeschüttete Sande, die von einer geringmächtigen sandigen Muddeschicht unterlagert werden. Die Mudde besitzt Schichtmächtigkeiten von 0,20 m bis 0,50 m. Die Schichtunterkante liegt auf dem Niveau zwischen ca. -4,5 m NN und -5,3 m NN. In weiterer Tiefe folgen mächtige Sande, die in LB 1 bis 23,50 m unter OK Gelände nicht durchteuft wurden. Aus dem Diagramm der CPT 1b kann abgeleitet werden, dass hier ab ca. -15,4 m NN ein Geschiebemergel mit zwischengelagerter Sandschicht folgt. Diese wurde bis ca. -20 m NN nicht durchteuft.



#### 4.5 Art und Umfang der bodenmechanischen Laboruntersuchungen

Während der Aufschlussarbeiten wurden gestörte und ungestörte Bodenproben entnommen. An ausgewählten Proben wurden anschließend die nachfolgend aufgeführten Laborversuche durchgeführt:

- Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN 18123
- Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121 T. 1
- Bestimmung der Dichte des Bodens nach DIN 18125 T. 1
- Bestimmung des Glühverlusts nach DIN 18128
- Einaxialer Druckversuch nach DIN 18136

Die Ergebnisse der Laborversuche sind im Laborprüfbericht in Anlage 4 dargestellt.

#### 4.6 Baugrundeigenschaften

Auf die maßgebenden Eigenschaften der jeweiligen Baugrundsichten wird nachfolgend gesondert eingegangen. Die Einzelergebnisse der durchgeführten Laboruntersuchungen sind der Anlage 4 zu entnehmen. Ergebnisse vorliegender Altaufschlüsse sind im Folgenden berücksichtigt. Die Klassifizierung der Böden erfolgt nach DIN 4022/4023, die Zuordnung zu den Bodengruppen nach DIN 18 196 und die Einordnung der Frostempfindlichkeit in Anlehnung an die ZTVE-StB 94/97.

Nachfolgend angegebenen Schicht Nr. sind identisch mit der Darstellung der Anlage 3.

##### *Sand                      Schicht 1a, 1b, 1c*

Bei den Sanden handelt es sich um Fein- und Mittelsande mit wechselnden grobsandigen, lokal auch schluffigen Anteilen. Besonders in den oberen Schichtmetern sind grobsandige und kiesige Anteile vorhanden. Die ermittelten Ungleichförmigkeiten ( $U = d_{60}/d_{10}$ ) betragen zwischen 2,3 und 2,8. Entsprechend der DIN 18196 erfolgt die Zuordnung zu den Bodengruppen SE, SU, seltener SW, SU\*.

Im oberen Schichtbereich, d.h. ab der Gewässersohle, besitzen diese Sande eine lockere Lagerung (Schicht 1a,  $I_D \leq 0,3$ ). Die Schichtunterkante liegt i.a. auf dem Niveau zwischen -11 m NN und -14,5 m NN. In östliche Richtung fällt dieser Schichthorizont auf ca. -16 m NN ab (WCPT-5). In weiterer Tiefe folgende Sande sind mitteldicht gelagert (Schicht 1b,  $0,3 \leq I_D \leq 0,5$ ). Die Schichtmächtigkeit der mitteldicht gelagerten Sande beträgt ca. 1 m bis 3 m. Im Landbereich besitzen die unterhalb der Mudde anstehenden Sande (etwa der oberer Schichtmeter) ebenfalls eine mitteldichte Lagerung. Mit zunehmender Tiefe ist eine mitteldichte bis dichte Lagerung der Sande vorhanden (Schicht 1c,  $0,5 \leq I_D \leq 0,6$ ).

#### *Kies                      Schicht 1d*

In WB 9/2 und WB 9/3 steht ab der Gewässer eine ca. 3 m mächtige Kiesschicht mit schwach feinsandigen bis schwach grobsandigen Anteilen an. Aus einer Mischprobe dieser Schicht (WB 9/2) wurde eine Ungleichförmigkeit  $U = 49,8$  ermittelt. Der Kiesanteil ( $d > 2 \text{ mm}$ ) beträgt 75,2%, der Anteil an Steinen ( $d > 600 \text{ mm}$ ) ca. 3%. Es erfolgt die Zuordnung zur Bodengruppe Gl. Der Kies wird als mitteldicht gelagert beurteilt.

#### *Geschiebemergel      Schicht 2*

Bei dem Geschiebemergel handelt es sich um einen feinkörnigen bis gemischtkörnigen Boden, der überwiegend als stark sandiger Schluff und stark schluffiger Sand, mit schwach kiesigen und tonigen Anteilen spezifiziert wurde. Die Körnungslinien weisen einen Tonanteil  $d < 0,002 \text{ mm}$  von 26,8% und 27% auf. Der Kiesanteil beträgt  $< 5\%$ .

Die ermittelten Klassifikationskennwerte des Geschiebemergels sind in der folgenden Tabelle 2 zusammengestellt.

**Tabelle 2                      Klassifikationskennwerte des Geschiebemergels**

Dichte $\rho_n$ (t/m <sup>3</sup> )	2,209 – 2,177
Porenzahl $e$ (-)	0,285 – 0,446
Nat. Wassergehalt $w$ (%)	6,3 – 14,0

Versuche zur Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit des Geschiebemergels ergaben undränierte Scherfestigkeiten zwischen  $C_U = 142 \text{ kN/m}^2$  und  $206 \text{ kN/m}^2$

Entsprechend der DIN 18196 erfolgt die Zuordnung zu den Bodengruppen SU\*-ST\*, TL. Der bei den Drucksondierungen gemessene Spitzendruck beträgt i.a. zwischen  $q_c = 2,5$  bis  $3,5 \text{ MN/m}^2$ , d.h. der Geschiebemergel besitzt eine steife Zustandsform.

Der Geschiebemergel ist durch eingelagerte Steine und Gerölle ( $d > 600 \text{ mm}$ ) sowie zwischengelagerte Sandschichten gekennzeichnet.

#### *Auffüllung (Landbereich)      Schicht 3, 3a*

Bei der Auffüllung handelt es sich um Fein- und Mittelsande mit grobsandigen und kiesigen Anteilen der Bodengruppe [SE]. Aus einer Einzelprobe wurde eine Ungleichförmigkeit  $U = 2,2$  ermittelt. Diese Sande besitzen bis ca. 5 m Tiefe eine dichte Lagerung ( $I_D > 0,6$ ). Die Schichtunterkante liegt bei -1,7 m NN bzw. -2,4 m NN. In weiterer Tiefe folgende Sande sind locker gelagert ( $I_D \leq 0,3$ ). Offensichtlich erfolgte keine durchgehende Verdichtung der als Geländeauffüllung aufgetragenen Sande.

#### *Mudde (Schicht 4)*

Die geringmächtige Muddeschicht (F) besitzt einen sandigen Charakter. Auf Grund der überlagernden mächtigen Auffüllung kann davon ausgegangen werden, dass diese organische Schicht vorbelastet ist.

### 4.7              Chemische Baugrundeigenschaften

An zwei ausgewählten Bodenproben wurden chemische Analysen hinsichtlich ihrer Aggressivität gegen Stahl und Beton durchgeführt. Die Ergebnisse der Bewertung nach DVGW-Arbeitsblatt GW 9 bzw. der DIN 50 929 Tl. 3 sind der Anlage 6 zu entnehmen.

Außerdem wurden chemische Untersuchungen an ausgewählten Bodenproben hinsichtlich ihrer Verwertbarkeit durchgeführt. Auf die Ergebnisse wird unter Punkt 8 detailliert eingegangen.

## 5. Grundwasserverhältnisse und Wassereigenschaften

### 5.1 Allgemeines

Die Pegel-Null-Festlegung für Sassnitz ist: PN = HN -5,14 m. Entsprechend U 5 gelten im Bereich Sassnitz folgende Wasserstandhauptzahlen:

	<u>m HN</u>	<u>Pegel</u>	
HHW	+1,98 m	712 cm	31.12.1904
HW	+1,23 m	637 cm	
MHW	+0,86 m	600 cm	
MW	-0,10 m	504 cm	
MNW	-0,98 m	416 cm	
NW	-1,50 m	364 cm	
NNW	-1,57 m	357 cm	22.12.1932

### 5.2 Wasserstände während der Aufschlussarbeiten

Bei der im Juni 2008 ausgeführten Landbohrung (LB 1) wurde nach Beendigung der Bohrarbeiten der Wasserstand 2,58 m unter OK Gelände gemessen. Bezogen auf das Höhensystem liegt dieser bei -0,05 m NN. Der Wasserstand entspricht etwa dem Wasserspiegel des offenen Gewässers.

### 5.3 Wassereigenschaften

Zur Beurteilung der Betonaggressivität und der Stahlkorrosivität wurden zwei Wasserproben aus den Bohrungen WB 9/2 und WB 9/6 sowie zwei Wasserproben des Seewassers untersucht.

Nach DIN 4030 ist das Wasser gegenüber Beton schwach angreifend. Mit zunehmendem Meerwasseranteil (witterungs- und strömungsbedingte Salzgehaltsschwankungen) wäre das Wasser als „stark angreifend“ einzustufen. Bei lokalen Aufkonzentrierungsmöglichkeiten z.B. im Spritzwasser-/Wasserlinienbereich sowie in Verbindung mit Frosteinwirkung ist sogar eine Erhöhung des Angriffsgrades bis „sehr stark angreifend“ möglich.

Die Ergebnisse Korrosionswahrscheinlichkeit für niedrig- und unlegierte Stähle nach DIN 50929 T 3 sind nachfolgend zusammengestellt:

	<u>WB 9/2, WB 9/6</u>	<u>Seewasser</u>
- Unterwasserbereich:		
Mulden- und Lochkorrosion	hoch	mittel
Flächenkorrosion	mittel	gering
- Wasser/Luftbereich:		
Mulden- und Lochkorrosion	hoch	hoch
Flächenkorrosion	mittel	mittel
- Güte von Deckschichten auf Feuerverzinkten stählen:		
Mulden- und Lochkorrosion	gut	gut
Flächenkorrosion	nicht ausreichend	befriedigend

Einzelergebnisse sind der Anlage 5 zu entnehmen.

## 6. Schlussfolgerungen, Empfehlungen, Hinweise

### 6.1 Gründungsart und –tiefe

#### 6.1.1 Kaianlage – Spundwand / Stahlrohrrammpfahl, Bohrpfahl und Verankerung

Die Herstellung einer verankerten Spundwand mit Stahlrohrrammpfählen als künftige Kaianlage wird als zweckmäßig angesehen.

Voraussetzung für eine vertikale Belastung ist eine Mindesteindeinbindelänge der Profile von 5 m in die tragfähigen mitteldichten bzw. mitteldicht bis dicht gelagerten Sande (Schicht 1a, 1b) bzw. den anstehenden Geschiebemergel (Schicht 2).

Die Ordinaten / Mindestabsetztiefen der Spundwandelemente, Stahlrohrrammpfähle und Bohrpfähle bei v.g. erforderlicher Einbindung sind für die jeweiligen Aufschlüsse in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3 Mindestabsetztiefen (Mindestordinaten)**

<b>Bohrung</b>	<b>Mindestordinate</b>
WB 9/1	-17,50 m NN
WCPT-2	-17,50 m NN
WB 9/3	-17,50m NN
WCPT-4	-17,50 m NN
WB 9/5	-18,50 m NN
WB 9/6	-18,00 m NN
WCPT-7	-18,00 m NN
WB 9/2	-18,00 m NN
WCPT-3	-18,00 m NN
WB 9/4	-18,50 m NN
WCPT-5	-21,00 m NN

Die Anlage 3 enthält idealisierte Baugrundlängsschnitte als Grundlage für die Bemessung der Spundwandkonstruktion. Die Darstellung der stark markierten Strich / Punktlinie erfolgte unter Berücksichtigung der in der obigen Tabelle angegebenen Mindestordinaten, sowie einer idealisierten ungünstigen vertikalen Schichtausbreitung.

Die Bemessung von Spundwänden ist auf Grundlage der charakteristischen Bodenkennwerte in Verbindung mit den angegebenen Berechnungswerten gemäß den Angaben der EAU vorzunehmen. Als Erddruckansatz ist der einfache Erddruck zu nutzen.

Die endgültigen Pfahl- und Ankerkräfte einer Rückverankerung müssen durch entsprechende Probelastungen bzw. Ankerprüfungen ermittelt werden. Die Angaben der o.g. Normen und der DIN 1054 sind zu beachten.

#### 6.1.2           Erweiterte Hafenfläche - Auffüllungen

Bei Spülungen bzw. Verklappungen von Sanden wird ohne zusätzliche Verdichtung erfahrungsgemäß eine lockere bis mitteldichte Lagerungsdichte ( $I_D \leq 0,3$ ) erreicht. Oberhalb des Wasserspiegels werden meist durch das Einspülen bereits mitteldichte Lagerungsverhältnisse erreicht.

Es ist im Rahmen der Planung festzulegen, welche Anforderungen an den Füllboden gestellt werden. Sollten zum Erreichen dieser Qualitätsforderungen zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden, sind deren Auswirkungen (z.B. Nachverdichtungserddruck) in der weiteren Planung zu berücksichtigen.

Beim Aufspülen des Geländes und der Hinterfüllung der Ufereinfassung, sind die Hinweise E 81 und E 73 der EAU 2004 zu beachten.

Die Nutzbarkeit der erweiterten Hafenfläche wird weitestgehend von den oberen 2 - 3 m der aufgefüllten Sande bestimmt. Oberhalb des Wasserspiegels kann von mitteldichten Lagerungsverhältnissen bei gespülten Sanden ausgegangen werden.

Für künftige Lager- und Verkehrsflächen ist eine ausreichende Tragfähigkeit gegeben. Bei Flachgründungen für eventuelle Hochbauten wird, in Abhängigkeit der auftretenden Belastung, ggf. eine tief wirkende Nachverdichtung unumgänglich.

## 6.2 Berechnungsgrundlagen / Charakteristische Berechnungswerte

### 6.2.1 Charakteristische Berechnungswerte

Für die Bemessung der Spundwand werden nachfolgend charakteristische Werte angegeben. Die in den Tabellen angegebenen Schichtnummern entsprechen den Darstellungen der idealisierten Baugrundschnitte der Anlage 3.

**Tabelle 4 Charakteristische Werte / Spundwandbemessung**

Schicht		Bodengruppe	Lagerung / Konsistenz	$\gamma_k$	$\gamma'_k$	$\varphi'_k$	$c'_k$	$E_{s,k}^{(3)}$
Nr.	Bodenart	DIN 18 196	$I_D / I_c$	(KN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	( <sup>0</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(MN/m <sup>2</sup> )
1	Sand	SE, SU seltener SU*	locker	16,5	9	28	0	10
1a	Sand	SE, SU seltener SU*	mitteldicht	17,5	9,5	31	0	20
1b	Sand	SE, SU seltener SU*	mitteldicht - dicht	18,0	10	34	0	30
1c	Sand	SE, SU seltener SU*	dicht	18	10	36	0	40
1d	Kies	GI	mitteldicht	18,5	11	35	0	35
2	Geschiebemergel	SU*, ST*, TL	steif	22	12	30	11	45 <sup>1)</sup> 60 <sup>2)</sup>
3	vorh. Auffüllung	[SE]	dicht	18	10	34	0	35
3a	vorh. Auffüllung	[SE]	locker	16,5	9	30	0	18
4	Mudde, sandig	F	vorbelastet	15	3	18	3	1

<sup>1)</sup> bis -20 m NN

<sup>2)</sup> ab -20 m NN

<sup>3)</sup> gilt für Setzungsberechnungen



Für verwendete schluffarme Sande der geplanten Auffüllung (Spülsande) können nachfolgend angegebenen Berechnungswerte zu Grunde gelegt werden:

unter Wasser

(lockere Lagerung)

$$\gamma_k = 17,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_k' = 9,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi_k' = 30^\circ$$

$$E_{s,k} = 15 \text{ MN/m}^2$$

oberhalb der Wasserlinie ( $D_{Pr} \geq 98\%$ )

(mitteldichte Lagerung)

$$\gamma_k = 17,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_k' = 9,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi_k' = 32^\circ$$

$$E_{s,k} = 30 \text{ MN/m}^2$$

Die angegebenen  $E_{s,k}$ -werte gelten für Setzungsberechnungen.

## 6.2.2 Spundwandverankerung

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die charakteristischen Werte der Pfahlmantelreibung ( $q_{s1,k}$ ) für die Vorbemessung der Spundwandverankerung mittels Verpressanker/Verpresspfähle angegeben. Die tatsächliche Tragfähigkeit der Ankerpfähle ist durch Probelastungen zu bestimmen. Die für in natürlicher Lagerung anstehenden Aufschüttungen bzw. die Auffüllungen (Schüttgut / Spülgut) angegebenen Werte dürfen nur Auffüllungen unterhalb der tief liegenden Gleitfuge in Ansatz gebracht werden.

**Tabelle 5** Charakteristische Werte der Mantelreibung  $q_{s1}$ , für Anker und Verpresspfähle bezogen auf die umrissene Mantelfläche des Querschnittes

Nr.	Schicht Bodenart	Bodengruppe DIN 18 196	Lagerungsdichte/ Konsistenz	$q_{s1,k}$ (kN/m <sup>2</sup> ) Verpressanker	$q_{s1,k}$ (kN/m <sup>2</sup> ) Verpresspfähle
1	Sand	SE, SU seltener SU*	Locker	25	20
1a	Sand	SE, SU seltener SU*	Mitteldicht	70	45
1b	Sand	SE, SU seltener SU*	Mitteldicht - dicht	120	100
1c	Sand	SE, SU seltener SU*	Dicht	150	130
1d	Kies	GI	Mitteldicht	120	100
2	Geschie- bemergel	SU*, ST*, TL	Steif	200 <sup>1)</sup>	50
3	Vorh. Auf- füllung	[SE]	Dicht	80	55
3a	Vorh. Auf- füllung	[SE]	Locker	25	20
4	Mudde, sandig	F	Weich	0	0

<sup>1)</sup> mit Nachpressen

### 6.2.3 Tragfähigkeit von Verdrängungspfählen (Ramppfähle: Stahlrohr, Stahlrammpfähle, Stahlbetonrammpfähle)

In der nachfolgenden Tabelle 6 sind die charakteristischen Werte der Pfahlmantelreibung ( $q_{s1,k}$ ) und des Spitzenwiderstandes ( $q_{b1,k}$ ) angegeben.

**Tabelle 6 Charakteristische Werte der Mantelreibung  $q_{s1,k}$  und des Spitzenwiderstandes  $q_{b1,k}$  für Rammpfähle (Stahlprofil)**

Nr.	Schicht Bodenart	Bodengruppe DIN 18 196	Lagerungsdichte/ Konsistenz	$q_{s1,k}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{b1,k}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	Sand	SE, SU seltener SU*	locker	25	---
1a	Sand	SE, SU seltener SU*	mitteldicht	70	---
1b	Sand	SE, SU seltener SU*	mitteldicht - dicht	120	3000
1c	Sand	SE, SU seltener SU*	dicht	150	6000
1d	Kies	GI	mitteldicht	120	4000
2	Geschiebemergel	SU*, ST*, TL	steif	20	2000
3	vorh. Auffüllung	[SE]	dicht	80	4500
3a	vorh. Auffüllung	[SE]	locker	25	---
4	Mudde, sandig	F	weich	0	---

Die in der Tabelle angegebenen Werte des Spitzenwiderstandes gelten auch für die Ermittlung der Grenztragfähigkeit der Spundwand. Der angegebene Spitzenwiderstand ist mit dem Faktor 0,7 zu belegen, der den geringeren Spitzenwiderstand von offenen Stahlprofilen berücksichtigt. Die wirksame Aufstandsfläche ist nach Weissenbach in Abhängigkeit vom Winkel zwischen der Spundwandachse und dem Steg ( $\alpha_f$ ) zu

$$F_s = \chi \cdot h \cdot b$$

zu ermitteln.

Ein Ansatz des Mantelreibungswertes sollte erst unterhalb des theoretischen Einspannpunktes erfolgen.

#### 6.2.4 Tragfähigkeit von Bohrpfählen

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die charakteristischen Werte der Pfahlmantelreibung ( $q_{s1,k}$ ) und des Spitzenwiderstandes ( $q_{b1,k}$ ) angegeben.

**Tabelle 7 Charakteristische Werte der Mantelreibung  $q_{s1,k}$  und des Spitzenwiderstandes  $q_{b1,k}$  für Bohrpfähle**

Schicht		Bodengruppe	Lagerungsdichte/	$q_{s1,k}$	$q_{b1,k}$ (kN/m <sup>2</sup> )		
Nr.	Bodenart	DIN 18 196	Konsistenz	(kN/m <sup>2</sup> )	0,02	0,0	0,1 <sup>1)</sup>
1	Sand	SE, SU seltener SU*	locker	10	---	---	---
1a	Sand	SE, SU seltener SU*	mitteldicht	25	---	---	---
1b	Sand	SE, SU seltener SU*	mitteldicht - dicht	40	---	---	---
1c	Sand	SE, SU seltener SU*	dicht	50	1050	1350	3000
1d	Kies	GE	mitteldicht	40	700	900	2000
2	Geschiebe- mergel	SU*, ST*, TL	steif	40	350	450	800
3	vorh. Auffül- lung	[SE]	dicht	50	1050	1350	3000
3a	vorh. Auffül- lung	[SE]	locker	20	---	---	---
4	Mudde, san- dig	F	weich	---	---	---	---

<sup>1)</sup> bezogene Pfahlkopfsetzungen

Bei Pfahlgründungen unmittelbar hinter der wasserseitigen Spundwand ist bei den statischen Berechnungen der, aus der Durchbiegung der Pfähle resultierende erhöhte Erddruck sowie die reduzierende Erddruckwirkung infolge der Erddruckabschirmung durch die Pfähle im Zusammenhang zu betrachten.

### 6.3 Rammarbeiten, Bohrbarkeit des Baugrundes

Die Klassifizierung der Schwere der Rammung soll der Wahl des Einbringverfahrens und der Abschätzung erforderlicher Einbringhilfen, als besondere Leistung gemäß ATV Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten (DIN 18304) dienen. Die Beurteilung der Rammbarkeit erfolgt in Anlehnung an das Grundbautaschenbuch (Verfasser: Drees).

Zur Beurteilung der Bohrbarkeit sind die Bodenklassen nach DIN 18301 zusammengestellt

**Tabelle 8 Einstufung der Rammbarkeit und Bohrbarkeit**

Nr.	Schicht Bodenart	Bodengruppe DIN 18 196	Rammung	Bodenklassen DIN 18301
1	Sand	SE, SU seltener SU*	leicht	BN 1 BN 2
1a	Sand	SE, SU seltener SU*	leicht bis mittel- schwer	BN 1 BN 2
1b	Sand	SE, SU seltener SU*	mittelschwer bis schwer	BN 1 BN 2
1c	Sand	SE, SU seltener SU*	schwer	BN 1 BN 2
1d	Kies	GI	schwer	BN 1 - BS 2
2	Geschiebemergel	SU*, ST*, TL	schwer bis schwerste	BB 2 – BS 1/3
3	Vorh. Auffüllung	[SE]	mittelschwer bis schwer	BN 1
3a	Vorh. Auffüllung	[SE]	leicht	BN 1
4	Mudde, sandig	F	leicht	BO 1

Besondere Erschwernisse können sich durch Kies-, Geröll- und Steineinlagerungen ergeben.

Sollten Einbringhilfen, wie z.B. Vorbohren oder Spülhilfen, verwendet werden, so sind die entsprechenden Auswirkungen auf die Bodenkennwerte und damit die Statik zu berücksichtigen. Sollte man sich für Vorbohren entscheiden, so sind die Bohrungen nur bis zwei Meter oberhalb der geplanten Absetztiefe auszuführen. In diesem Fall können die Spitzendruckwerte voll angesetzt werden. Für die Mantelreibung wären über die gesamte vorgebohrte Länge die Kennwerte für lockere Sande (Schicht 1) anzusetzen. Gleiches gilt für das Einbringen der Wand in Einstellgräben.

#### 6.4 Erdarbeiten

In der folgenden Tabelle 9 erfolgt die Klassifizierung der anstehenden Böden für Erdarbeiten.

Für die Planung der Nassbaggerarbeiten ist die Einordnung der Bodenschichten entsprechend ihrem Zustand beim Bearbeiten gemäß DIN 18 311 in Tabelle 9 zu nutzen.

**Tabelle 9 Klassifizierung der Böden für Erdarbeiten**

Nr.	Bodenart	Bodengruppe DIN 18 196	Bodenklasse DIN 18 300	Bodenklasse DIN 18 311	Frostempfindlich- keitsklasse ZTVE-StB 94/97
1,1a,1b,1c,1d	Sand	SE, SU seltener SU*	3 4	NB 1 NB 2	1 - 2 3
1d	Kies	GI	4 bis 5	NB 5	1
2	Geschiebemergel	SU*, ST*, TL	4 bis 5	BOB 2	3
3, 3a	vorh. Auffüllung	[SE]	3	NB 1	1
4	Mudde, sandig	F	3	BOB 2	3

## **7. Qualitätssicherung**

In Rahmen der Qualitätssicherung der Bauarbeiten sind für die eingebrachten Sande (geplante Auffüllungen) Nachweise zur Korngrößenverteilung und des Anteiles organischer Anteile ( $v_{gl}$ ) zu erbringen. Die erzielte Lagerungsdichte der Auffüllungen ist durch zusätzliche Drucksondierungen bzw. Rammsondierungen zu ermitteln.

## **8. Chemische Untersuchung von Bodenproben**

### **8.1. Durchgeführte Arbeiten**

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte während der Aufschlussarbeiten durch das Bohrunternehmen. Die Probenauswahl und Mischprobenherstellung erfolgte durch Mitarbeiter unseres Hauses gemäß der Vorgaben des Auftraggebers.

Insgesamt wurden 2 Mischproben aus den Proben der Bohrungen WB 2/9 und WB 4/9 hergestellt, die entsprechend dem Aufgabenrahmen die Teufenlagen bis 1 unter Gewässersohle abdecken.

Aus den Prüfberichten der Anlage 6 sowie aus Anlage 7 ist die Herkunft der Bodenproben rückzuverfolgen.

Die entnommenen Bodenproben wurden durch den Mitarbeiter unseres Hauses organoleptisch angesprochen und in das Analytik-Labor versandt.

Die chemischen Analysen wurden durch die IUL Vorpommern GmbH, Greifswald, durchgeführt. Die vollständige Anschrift des Laboratoriums und die der Analytik zugrunde liegenden Einheitsverfahren können dem Prüfbericht der Anlage 6 entnommen werden.

Der Analytikumfang für die einzelnen Bodenproben und die Analysenergebnisse sind tabellarisch in der Anlage 7 zusammengestellt. Die Prüfberichte des chemischen Labors sind der Anlage 6 zu entnehmen.

Die Analytik umfasst sowohl Bodengesamtgehalte als auch Eluationsversuche. Feststoffgehalte wurden an beiden Proben auch am Fein- und Feinstkorn ( $< 2 \text{ mm}$  bzw.  $< 20 \text{ }\mu\text{m}$ ) für Schwermetalle untersucht.

## 8.2 Ergebnisse der Untersuchungen

Die Ergebnisse der chemischen Analytik an ausgewählten Bodenproben auf relevante Parameter sind in den Tabellen der Anlage 7 zusammengestellt und o.g. Prüf- und Orientierungswerten gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Analysen keinen Hinweis auf eine Kontamination des Untergrundes liefern. Dies bestätigt die organoleptischen Eindrücke während der Aufschlussarbeiten. Sämtliche Feststoffanalysen sind in den Z 0-Bereich der LAGA einzuordnen.

In den beiden Proben wurden entsprechend den Forderungen der HABAK-WSV auch Untersuchungen an der Fraktion  $< 20 \text{ }\mu\text{m}$  durchgeführt, die ein wesentlich höheres Rückhaltevermögen gegenüber den meisten Schadstoffen aufweist, als die größeren Fraktionen. Auch in diesen Analysen wurden keine Auffälligkeiten, die auf eine Kontamination hindeuten, festgestellt. Die Schwermetallgehalte sind erwartungsgemäß höher als die, die in der Gesamtfraktion nachgewiesen wurden, liegen aber im normalen Bereich. Sämtliche Parameter liegen unter dem Richtwert (RW) der vorgenannten Richtlinie.

Bei den Eluatanalysen wurden einige Überschreitungen der Richtwerte nur für die ostseetypischen Parameter Chlorid und Sulfat des Z 1.2-Wertes in beiden Proben festgestellt.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Aufschlüssen nur um punktuelle Aufschlüsse handelt und das Vorhandensein kleinerer kontaminierter Bereiche, die mit den Aufschlüssen nicht erfasst wurden, nicht ausgeschlossen werden können.



### 8.3. Bewertung der Ergebnisse

#### 8.3.1 Bewertungsgrundlagen

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der chemischen Analysen bewertet.

Für eine abfalltechnische Betrachtung und Einordnung der Ergebnisse werden gemäß Aufgabenrahmen die in der LAGA-Richtlinie aufgeführten Z-Werte herangezogen.

Weiterhin sind die Vergleichswerte der HABAK-WSV als Vergleichswerte in den Tabellen enthalten. Die Vergleichswerte der HABAK-WSV sind bei einer Umlagerung der Sedimente im Gewässer anzuwenden.

#### 8.3.2 Bewertung der Ergebnisse der chemischen Analytik

Die Ergebnisse der Untersuchungen aus den Bodenproben der Bohrungen zeigen, dass keine anthropogenen Einflüsse vorliegen, die hinsichtlich der Schadstoffgehalte zu einer Beeinträchtigung der Qualität des Schutzgutes Boden oder gar Kontamination geführt haben.

Die erhöhten Chlorid- und Sulfatgehalte im Eluat sind hinsichtlich der Toxizität als nicht kritisch zu bewerten. Beide Werte stellen kein grundsätzliches Ausschlusskriterium für eine Verwertung der Böden dar im marinen Bereich dar. Hier ist eine Einzelfallregelung mit der unteren Wasserbehörde des geplanten Verwertungsstandortes herbeizuführen.

#### 8.3.3 Gefahrenbewertung

Im Rahmen der Erkundungen wurden lediglich in einer Probe Verunreinigungen des Untergrundes durch Schadstoffe nachgewiesen. Eine Exposition des Schutzgutes Grundwasser ist bei den angetroffenen Schadstoffgehalten ausgeschlossen.

Auch kann eine Gefährdung des Schutzgutes Mensch, z.B. während der Bauarbeiten (Erdbau), ausgeschlossen werden.

## **9. Zusammenfassung**

Die Fährhafen Sassnitz GmbH plant eine Erweiterung des Fährhafens Sassnitz- Mukran. Im Rahmen der Baumaßnahme ist eine flächenhafte westliche Landerweiterung (Auffüllung) des derzeitigen Hafenbeckens geplant. Den westlichen Abschluss bildet die ca. 200 m lange Kai-mauer (Liegeplatz 9) in Verlängerung des vorhandenen Liegeplatzes 8. Die Kaikante des Liegeplatzes soll als Kombination aus Stahlrohren und verankerten Spundwandelementen (Larsen 23) hergestellt werden. Für die Gründung der Kaiplatte mit der ufernah verlaufenden Kranbahn sind Bohrpfähle vorgesehen.

Die künftige Hafensohle liegt zunächst auf dem Niveau -10,50 m NN, eine rechnerische Bagertief auf - 12,5 m NN ist anzusetzen. Die Auffüllung der Hafenerweiterungsfläche erfolgt bis auf das Niveau + 3,50 m NN.

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden Bohrungen und Drucksondierungen im Land- und Wasserbereich durchgeführt.

Ab der Gewässersohle stehen zunächst überwiegend Fein- und Mittelsande, lokal auch Kiese an. Die Schichtunterkante liegt auf dem Niveau zwischen ca. -16,4 m NN und ca. -21 m NN. Die Sande werden von Geschiebemergel unterlagert. Der Geschiebemergel wurde bis in Tiefen zwischen -21,7 m NN und -26,5 m NN erkundet. In WB 9/1, WB 9/3 wurde dieser nicht durchteuft. Bei den Bohrungen WB 9/2, WB 9/4 WB 9/5 und WB 9/6 folgen unterhalb des Geschiebemergels Sande, lokal sandiger Schluff (WB 9/6).

Im ufernahen Bereich wurden ab der Geländeoberfläche zunächst Sande bis in Tiefen von 8 m bis 8,40 m angetroffen. Offensichtlich handelt es sich um aufgespülte bzw. aufgeschüttete Sande, die von einer geringmächtigen sandigen Muddeschicht unterlagert werden. Die Schichtunterkante liegt auf dem Niveau zwischen ca. -4,5 m NN und -5,3 m NN. In weiterer Tiefe folgen mächtige Sande, die in LB 1 bis 23,50 m unter OK Gelände nicht durchteuft wurden. Aus dem Diagramm der CPT 1b kann abgeleitet werden, dass hier ab ca. -15,4 m NN ein Geschiebemergel mit zwischengelagerter Sandschicht folgt. Diese wurde bis ca. -20 m NN nicht durchteuft.

Gegen die Anordnung einer verankerten Spundwand als künftige Kaianlage bestehen grundsätzlich keine Einwände. Voraussetzung für eine vertikale Belastung der Spundwandelemente ist eine Mindesteinbindelänge von 5 m in die tragfähigen mitteldicht gelagerten Sande bzw. anstehenden Geschiebemergel.

Im Gutachten sind charakteristische Werte der anstehenden Böden, der Pfahlmantelreibung und des Spitzendruckes für die Bemessung der Spundwand und der Verankerung sowie der Verdrängungspfähle und Bohrpfähle angegeben.

Beim Aufspülen des Geländes und der Hinterfüllung der Ufereinfassung sind die Hinweise der E 81 und E 73 der EAU 2004 zu beachten.

Bei Spülungen bzw. Verklappungen schluffarmer, enggestufter Sande werden erfahrungsgemäß lockere bis mitteldichte Lagerungsverhältnisse erreicht. Oberhalb des Wasserspiegels werden meist durch das Einspülen bereits mitteldichte Lagerungsverhältnisse erreicht. Für künftige Fahr- und Lagerflächen sind Sande mit v.g. Lagerungsverhältnissen ausreichend tragfähig.

Die chemischen Analysen an zwei Bodenproben aus dem Bereich der Gewässersohle ergaben keine auffälligen Gehalte. Eine uneingeschränkte Wiederverwertung, zumindest im marinen Bereich ist möglich.

BAUGRUND STRALSUND

i.A.

Dipl.-Ing. H. Chamier

Dipl.-Ing. (FH) E. Struck