

Vertiefung der Außenems

Feinbemessung der Tiefenlage zwischen Ems-km 40,7 und 74,6



Juni 2011

Bearbeiterin:

gez. Frau Ritter

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Ausgangssituation	1
2.1	Charakterisierung des Reviers.....	1
2.2	Ermittlung des maßgeblichen Bemessungsfalls	1
2.3	Schiffsabmessungen	2
2.3.1	Gegenwärtige Flottenstruktur.....	2
2.3.2	Flottenstruktur 2025	2
2.4	Wahl von Stützstellen für die Bemessung.....	3
3	Beeinflussende Parameter	3
3.1	Bezugswasserstand.....	4
3.1.1	Mittleres Tideniedrigwasser	4
3.1.2	Mindertide	4
3.2	Zuschlag für die Auswirkungsänderungen.....	5
3.3	Squat.....	5
3.3.1	Geschwindigkeit der Schiffe	5
3.3.2	Völligkeitsfaktor.....	6
3.3.3	Squat nach Icorels	6
3.4	Seegang	7
3.5	Zuschlag infolge Dichteänderung	8
3.6	Netto-Kielfreiheit und Krängung	9
3.7	Zuschlag für Ungenauigkeiten	9
3.7.1	Vorhersageprognose des Wasserstandes.....	9
3.7.2	Genauigkeit der Peilungen	10
3.7.3	Genauigkeit der Tiefgangsmessung	10
4	Ermittlung der erforderlichen Solltiefe.....	11
5	Bewertung	12
6	Fazit.....	12

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jahresgang des Salzgehaltes an der Station Knock in 2007	8
---	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionen eines Bemessungsschiffes.....	2
Tabelle 2: Stützstellen der Bemessung mit derzeitiger Solltiefe	3
Tabelle 3: MTnw für die verwendeten Pegel.....	4
Tabelle 4: Mindertide und Bezugswasserstand	5
Tabelle 5: Auswirkungsprognose einer Vertiefung (BAW, Feb. 2010).....	5
Tabelle 6: Geschwindigkeitsprofil der Fahrzeugtransporter (SOG).....	6
Tabelle 7: Zuschlag für die Berücksichtigung des Squat-Effektes.....	7
Tabelle 8: Änderung des Frischwassertiefgangs infolge der Salzgehaltsvariation	9
Tabelle 9: Netto-Kielfreiheit an den Stützstellen.....	9
Tabelle 10: Aufsummierung aller Parameter zur erforderlichen Solltiefe	11
Tabelle 11: Gegenüberstellung von Grob- und Feindimensionierung.....	12

1 Veranlassung

Im Zuge der Machbarkeitsuntersuchung zur Vertiefung der Außenems bis Emden [8] wurden die Eingangsgrößen und Ansätze der Bemessung der Fahrwassertiefen von 1989 [3] überprüft und eine Grobbemessung auf der Basis der erwarteten verkehrlichen Entwicklung für das Emdener Fahrwasser, das den unmittelbaren Ausbaubereich des angestrebten Vorhabens darstellt, durchgeführt. Eine Berücksichtigung neuerer Regelwerke zur Bemessung von Fahrwassertiefen erfolgte auf dieser Ebene nicht.

Im Rahmen der technischen Detailplanung ist nunmehr die Durchführung einer Feinbemessung erforderlich. Für die Feindimensionierung wurde die Standardwerke GLQ [9] und PIANC [5] herangezogen.

Die Eingangsgrößen der unterschiedlichen Parameter wurden für nautische Kenngrößen aus der Machbarkeitsuntersuchung [8] übertragen. Die hydrologischen Parameter wurden aus aktuellen Zeitreihen entwickelt.

2 Ausgangssituation

2.1 Charakterisierung des Reviers

Das Emsrevier zwischen dem Leichterplatz (Ems-km 74,3) und dem Emdener Hafen (Ems-km 40,7) ist derzeit für tideabhängig verkehrende Massengutschiffe mit einem Tiefgang bis zu 35 Fuß (10,67 m) ausgebaut. Grundlage für die Unterhaltung der entsprechenden Solltiefen ist der genehmigte Nachtragsentwurf Nr. 3 für den *Ausbau des Emsfahrwassers auf 8,50 m unter SKN* vom 15.04.1970. Aufgrund des Wandels in der Schifffahrtsstruktur im Hafen Emden hin zu tideunabhängig verkehrenden Fahrzeugtransportschiffen fand 1989 [3] eine überprüfende Bemessung der Solltiefen zwischen Eemshaven und Emden statt.

Im Rahmen dieser Bemessung, die den Richtlinien der Arbeitsgruppe „Gleichwertige Unterhaltungsquerschnitte“ folgte [8], wurde sowohl ein tideabhängig verkehrendes Massengutschiff als auch ein tideunabhängig verkehrendes Fahrzeugtransportschiff untersucht. Diese Bemessung zeigte, dass die tideabhängige Fahrt nur für die Solltiefen seewärts von Ems-km 68,0 maßgebend ist. Zwischen dem Emdener Hafen und Ems-km 68,0 ergeben sich die erforderlichen Solltiefen aus der Anforderung einer tideunabhängigen Fahrt der Fahrzeugtransportschiffe. Eine tideunabhängige Fahrt ist für Autotransporter mit einem Tiefgang von bis zu 8,0 m möglich.

2.2 Ermittlung des maßgeblichen Bemessungsfalls

Ziel der Vertiefung der Außenems bis Emden ist auftragsgemäß (Land Niedersachsen) eine Verbesserung der tideunabhängigen Erreichbarkeit des Emdener Hafens für Fahrzeugtransportschiffe. Die Eingangsparameter für den Lastfall einer tideabhängigen Fahrt, die bei den bisherigen Anforderungen für den Bereich Ems-km 68,0 bis 74,6 maßgebend für die Solltiefe waren, haben sich seitdem nicht grundlegend verändert, so dass

diese Bemessung nach wie vor Gültigkeit besitzt. Es wurden bereits seinerzeit alle Parameter berücksichtigt, die auch nach aktuellem Bemessungsstandard zu berücksichtigen wären.

Einlaufende Fahrzeugtransportschiffe müssen vor dem Emspier drehen. Dafür steht ihnen ein Zeitfenster von 1h nach Tnw bis 3h vor Tnw zur Verfügung. Unterstellt wird, dass ein einlaufendes Schiff den Hafen immer so ansteuern wird, dass ein Drehmanöver möglich ist. Der Wasserstand ist dann schon im Minimum um etwa einen Meter gegenüber MTnw angestiegen; das heißt ein einlaufendes Schiff stellt nicht den maßgeblichen Lastfall dar.

Auslaufende Fahrzeugtransportschiffe verkehren bis zu einem bestimmten Tiefgang tideunabhängig, da sie bereits in Fahrtrichtung gedreht sind. Bei der Abfahrt dieser Schiffe wird der niedrigste, mögliche Wasserstand erreicht (Tnw). Ein auslaufendes, tideunabhängig verkehrendes Fahrzeugtransportschiff stellt damit den maßgeblichen Bemessungsfall dar.

2.3 Schiffsabmessungen

2.3.1 Gegenwärtige Flottenstruktur

Mit den derzeit vorgehaltenen Solltiefen können Schiffe mit einem realisierten Tiefgang von bis zu 8,0 m den Hafen Emden tideunabhängig erreichen. Dieses Ergebnis wurde auch im Rahmen der Untersuchungen zur Bestimmung der Zielvariante mit einem Tidemodell [6] nochmals verifiziert. Der Tiefgang bezieht sich auf Frischwasser; im Salzwasser entspricht das einem Tiefgang von etwa 7,8 m.

2.3.2 Flottenstruktur 2025

Ein Schiff, das bei der zukünftigen Tiefenlage der Sohle des Emders Fahrwassers (Haupteingriffsbereich der Zielvariante) den Hafen Emden tideunabhängig erreichen kann, wurde von der Firma Planco Consulting GmbH mit dem gleichen Tidemodell bestimmt.

Im Tidemodell sind alle hydrologischen und schiffsspezifischen Parameter berücksichtigt, die auch in der vorliegenden Feindimensionierung Berücksichtigung gefunden haben.

Gemäß Planco [7] besteht aufgrund der Wartezeitakzeptanz (Abwanderungsverhalten) der Bedarf, zukünftig Schiffe mit einem realisierten Tiefgang von bis zu 8,7 m bezogen auf Frischwasser die tideunabhängige Erreichbarkeit des Hafens Emden zu ermöglichen. Für ein entsprechendes Schiff werden die Dimensionen nach Tabelle 1 definiert [7].

Tabelle 1: Dimensionen des Bemessungsschiffes

Parameter	
Länge	199,3 m
Breite	32,24 m
Konstruktionstiefgang (in Salzwasser)	8,77 m
Klasse in dead weight tons	15.000 – 20.000

2.4 Wahl von Stützstellen für die Bemessung

Als Stützstellen für die Bemessungen werden Punkte im Revier herangezogen, an denen im Ist-Zustand markante Änderungen in der Solltiefe vorhanden sind, Wasserstände aufgezeichnet werden (Pegel) bzw. für die Variation bestimmte Parameter vorgegeben sind.

In Tabelle 2 sind diese Stützstellen mit Kilometerangabe [Ems-km] sowie die derzeitige Solltiefe aufgeführt.

Tabelle 2: Stützstellen der Bemessung mit derzeitiger Solltiefe

Stützstelle	Ems-km	derzeitige Solltiefe [m NHN]	Besonderheit
Hafeneinfahrt Emden	40,77	-10,48	Startpunkt Bemessung
Wybelsum	45,00	-10,43	Niveausprung; Änderung der Geschwindigkeit
		-10,53	
Knock	50,85	-10,45	Pegel
Gatjebogen	52,00	-10,44	Niveausprung; Änderung in UKC
		-10,84	
Paapsand	60,00	-10,72	Änderung der Geschwindigkeit und der UKC
Dukegat	65,90	-10,63	Pegel
Emshörn	68,00	-10,60	Niveausprung
		-11,60	
Übergang Trasse Eemshaven	74,62	-11,56	Niveausprung, Endpunkt der Bemessung
		-14,02	

3 Beeinflussende Parameter

Das erforderliche Tiefenmaß wird durch diverse feste und variable Parameter beeinflusst. Neben den hydrodynamischen Kenngrößen

- Bemessungswasserstand
- Mindertide
- Strömungsgeschwindigkeit
- Seegang
- Salzgehaltsänderung
- Bemessungszeitpunkt der Revierfahrt
- evtl. Änderungen durch den Ausbau

fließen die schiffsdynamischen Kenngrößen

- Schiffsabmessungen und –auslastung
- Völligkeitsfaktor
- Schiffsgeschwindigkeit (durchs Wasser bzw. über Grund)
- Netto-Kiel-Freiheit
- Krängung
- Squat

in die Ermittlung der erforderlichen Solltiefe mit ein. Zusätzlich sind Unwägbarkeiten wie

- Vorhersage des Wasserstandes
- Peilungengenauigkeiten
- Ungenauigkeit bei der Tiefgangsmessung an Bord
- Mindertiefen und Baggertoleranzen

zu berücksichtigen.

3.1 Bezugswasserstand

Im Rahmen der Bemessung wurden ausgewählte, sich gegenseitig beeinflussende Parameter variiert, um zu ermitteln welcher Zeitpunkt für die Revierfahrt als der kritischste Fall einzustufen ist. Dabei hat sich gezeigt, dass als Bezugswasserstand für die tideunabhängige Fahrt das Mittlere Tideniedrigwasser MTnw unter Berücksichtigung einer Mindertide anzusetzen ist.

3.1.1 Mittleres Tideniedrigwasser

Zur Festlegung des Bezugshorizontes wurden das 5- und das 10-jährige Mittlere Tideniedrigwasser bestimmt. Diese unterscheiden sich nur marginal. Der Unterschied wird in Richtung See geringer; für den Pegel Emden Neue Seeschleuse beträgt er 2 cm. Die Mittelwerte sind in Tabelle 3 angegeben. Für die weitere Bemessung wurde das zehnjährige MTnw der Jahre 2001-2010 gewählt.

Tabelle 3: MTnw für die verwendeten Pegel

Pegel	MTnw (2001/10) [mNHN]	MTnw (2006/10) [mNHN]
Emden, Seeschleuse	-1,76	-1,78
Knock	-1,58	-1,57
Dukegat	-1,40	-1,39
Emshörn	-1,30	-1,30

3.1.2 Mindertide

Zur Gewährleistung einer tideunabhängigen Fahrt muss eine Passage des Schiffes an jedem Punkt im Revier zum Zeitpunkt des Tnw möglich sein. Eine tideunabhängige Fahrt wird unterstellt, wenn bei 80 % aller Tiden einer Zeitreihe (hier 2001 bis 2010) eine ausreichende Wassertiefe zur Passage vorhanden ist.

In Tabelle 4 sind die berücksichtigte Mindertide sowie der sich ergebende Bezugswasserstand für die weitere Bemessung aufgeführt.

Tabelle 4: Mindertide und Bezugswasserstand

Pegel	Mindertide (2010/10) [m]	Bezugswasserstand [mNHN]
Emden, Seeschleuse	-0,34	-2,10
Knock	-0,33	-1,91
Dukegat	-0,32	-1,72
Emshörn	-0,32	-1,62

Für die Bemessung wird vereinfachend angenommen, dass sich der Bezugswasserstand zwischen den jeweiligen Pegeln linear verhält.

3.2 Zuschlag für die Auswirkungsänderungen

Die Prognosen der BAW [1] gehen von minimalen Auswirkungen auf den Parameter Tideniedrigwasser aus. Die simulierten Änderungen (um -1 cm) liegen im Bereich der Modellgenauigkeit und Nachweisgrenze (vgl. Tabelle 5). Ein Zuschlag für die Auswirkungsänderungen wird daher vernachlässigt.

Tabelle 5: Auswirkungsprognose einer Vertiefung (BAW, Feb. 2010)

Ems-Abschnitt [Ems-km]	Änderung Tnw [cm]	Änderung Thw [cm]
14 – 40	< ± 1	- 1
40 – 53	< + 1	± 1
53 – 74,6	< + 1	< - 1

3.3 Squat

Der Squat beschreibt die Absenkung des Wasserstandes in unmittelbarer Umgebung eines fahrenden Schiffes in Abhängigkeit von dessen Geschwindigkeit. Dieses Phänomen kann durch unterschiedliche empirische Formeln beschrieben werden. Auf der Basis von Naturmessungen im Mai 2007 im Ems-Revier wird der Squat-Effekt durch die Formel nach ICORELS mit einem Vorfaktor von 2,0 repräsentativ beschrieben [2, 8]. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde für den Bereich des Emders Fahrwassers zusätzlich der Ansatz von Barrass II untersucht.

3.3.1 Geschwindigkeit der Schiffe

Die Geschwindigkeit der im Revier verkehrenden Schiffe ist vom Ort abhängig. Von See kommend drosseln die Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit etappenweise, dabei fahren die Massengutschiffe mit einer geringeren Geschwindigkeit ins Revier ein als die Fahrzeugtransportschiffe; ab etwa Ems-km 74 ist das Geschwindigkeitsprofil vergleichbar. Es wird angenommen, dass die Geschwindigkeit über Grund (SOG) der Geschwindigkeit durchs Wasser (v_w) entspricht. Für die Feindimensionierung wird das Geschwindigkeitsprofil der Autotransporter wie in Tabelle 6 aufgeführt verwendet.

Das angegebene Geschwindigkeitsprofil ist für eine Fahrt zum Zeitpunkt T_{nw} repräsentativ; bei einer zeitversetzten Fahrt kann aufgrund höherer Wasserstände schneller gefahren werden.

Tabelle 6: Geschwindigkeitsprofil der Fahrzeugtransporter (SOG)

Stützstelle [Ems-km]	Geschwindigkeit [kn]	Geschwindigkeit [km/h]
113	16	29,632
84	16	29,632
74	12	22,224
68	12	22,224
60	8	14,816
52	8	14,816
45	6	11,112
40	beschleunigend auf 6	9,260

Das Geschwindigkeitsmodell variiert im Vergleich zur Bemessung von Nagel [3] nur geringfügig. Da hier die auslaufende Schifffahrt betrachtet wird, ist davon auszugehen, dass die Schiffe zunächst Fahrt aufnehmen müssen. Vom Emden Hafen bis zu Ems-km 45 wird daher eine Startgeschwindigkeit von 5 kn beschleunigend auf 6 kn angesetzt. Bis Ems-km 68 nehmen die Schiffe vermehrt Fahrt auf, sodass bereits zwischen Ems-km 68 und 74 eine Geschwindigkeit von 12 kn angenommen wird.

Bei der Passage eines beliebigen Punktes im Revier zum Zeitpunkt T_{nw} verlaufen die Strömungsrichtung des Wassers noch bis zur Kenterung in Richtung See; das heißt die Schiffsgeschwindigkeit durchs Wassers ist für auslaufende Schiffe geringer als die Geschwindigkeit über Grund. Da aber angenommen wird, dass die Geschwindigkeit durchs Wasser der Geschwindigkeit über Grund entspricht, führt dies zu einem höheren Squat und stellt somit den ungünstigsten Fall dar.

3.3.2 Völligkeitsfaktor

Der Völligkeitsfaktor c_B beschreibt das Verhältnis eines beliebig geformten Körpers zum Volumen des umschreibenden Quaders. Er ist folglich abhängig von der Schiffsform unter Wasser. Für ein Fahrzeugtransportschiff mit den in Kapitel 2.1.1 genannten Abmessungen wird ein Völligkeitsfaktor von $c_B = 0,61$ angenommen [5].

3.3.3 Squat nach Icorels

Der Squat nach Icorels für nicht eingeschränkte Flachwasser ist abhängig von der Dimension des Schiffes sowie dessen Geschwindigkeit und wird durch Formel 1 beschrieben.

$$S_{q, Icorels} = 2,0 \cdot \frac{c_B \cdot B \cdot T_k}{L_{zL}} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (1)$$

mit F_{nh} Froudezahl $F_{nh} = \frac{v_W}{\sqrt{g \cdot h}}$

- c_B Völligkeitsfaktor nach Kapitel 3.3.2 [-]
- B Breite des Schiffes [m]
- T_k Konstruktionstiefgang des Schiffes in Seewasser [m]
- L_{zL} Länge des Schiffes zwischen den Loten [m]
- v_W Geschwindigkeit des Schiffes durchs Wasser [m/s]
- g Erdbeschleunigung ($\approx 9,81$ m/s)
- h ungestörte Wassertiefe [m] mit $h \approx 1,15 \cdot T_a$
- T_a Abladetiefgang des Schiffes in Seewasser [m]

Die Squatermittlung nach Icorels mit dem Vorfaktor 2,0 wird für den gesamten Bereich seawärts des Emders Hafens angewendet.

Mit den Ansätzen ergibt sich der Zuschlag für die Berücksichtigung des Squat nach Icorels für die Stützstellen wie in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Zuschlag für die Berücksichtigung des Squat-Effektes

Stützstelle	Ems-km	Zuschlag für Squat nach Icorels [m]
Hafeneinfahrt Emden	40,77	0,12
Wybelsum	45,00	0,12
		0,18
Knock	50,85	0,18
Gatjebogen	52,00	0,18
		0,34
Paapsand	60,00	0,34
Dukegat	65,90	0,34
Emshörn	68,00	0,34
		0,89
Übergang Trasse Eemshaven	74,62	0,89
		0,89

Für die einzelnen Stationen im Bereich des Emders Fahrwassers unterscheiden sich die errechneten Squat-Werte unter Verwendung der beiden Ansätze im Bereich weniger Zentimeter, wobei der Unterschied Richtung See immer weiter zunimmt.

3.4 Seegang

Infolge von Naturmessungen im Herbst 2009 wurden in Abhängigkeit des Wasserstandes und der Windrichtung und -geschwindigkeit signifikante Wellenhöhen im Bereich des Emders

Fahrwassers und bei Paapsand aufgezeichnet. Bei Wasserständen um ± 0 mNHN wurden Wellenhöhen von rund 20 cm bzw. 30 cm ermittelt [4]. Da der Seegang vom Wasserstand abhängig ist, kann für den Zeitraum um Niedrigwasser von einem geringeren Seegang ausgegangen werden.

Stärkerer Seegang geht mit erhöhten Wasserständen einher und stellt damit für die vorliegende Berechnung nicht den repräsentativen Lastfall im Ems-Abschnitt zwischen Ems-km 40,7 und 74,6 dar.

3.5 Zuschlag infolge Dichteänderung

Der tatsächliche Tiefgang eines Schiffes ist abhängig von der Dichte des zu durchfahrenden Wassers. In Frischwasser ist der Tiefgang aufgrund der geringeren Dichte des Wassers höher als im Salzwasser. Im tidebeeinflussten Ems-Revier nimmt der Salzgehalt von See kommend Richtung Emden ab. Der Salzgehalt variiert sowohl mit der Tide als auch mit dem Oberwasserabfluss. In Abbildung 1 ist für die Station Knock beispielhaft der Verlauf des Salzgehaltes für das Jahr 2007 dargestellt. Im abflussreichen Winterhalbjahr sind die Salzgehalte deutlich niedriger als im Sommerhalbjahr.

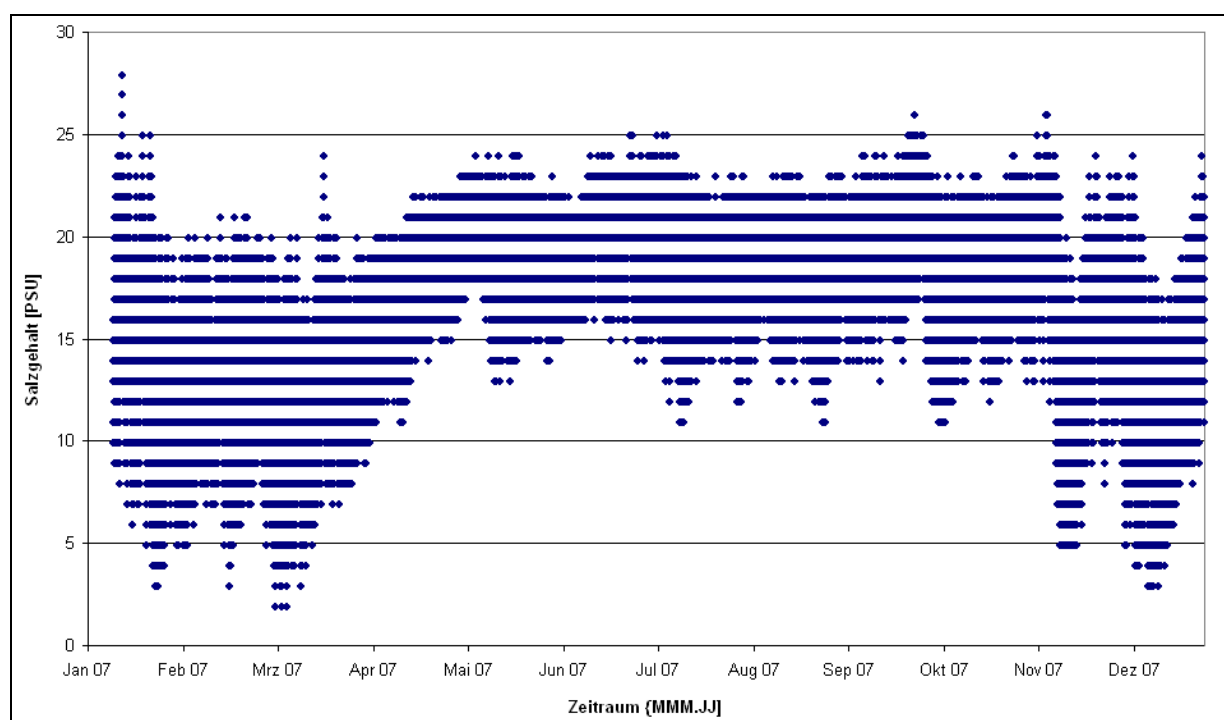


Abbildung 1: Jahresgang des Salzgehaltes an der Station Knock in 2007 [NLWKN Gewässergüte]

In die Berechnung fließt die Tiefgangsänderung infolge der Dichteänderung analog zu den Vorgaben der Projektgruppe „Machbarkeitsuntersuchung zum Ausbau der Außenems“ ein. Der Tabelle 8 sind die prozentuellen und tatsächlichen Tiefgangsänderungen bezogen auf den Frischwassertiefgang zu entnehmen.

Tabelle 8: Änderung des Frischwassertiefgangs infolge der Salzgehaltsvariation

Stützstelle [Ems-km]	Tiefgangsänderung [%]	Tiefgangsänderung [m]
106,0	-1,81	-0,16
88,8	-1,70	-0,15
74,3	-1,59	-0,14
57,0	-1,46	-0,12
50,9	-1,30	-0,11
40,7	-0,88	-0,08

Für das Bemessungsschiff mit einem Abladetiefgang in Frischwasser von 8,7 m bedeutet die Veränderung der Dichte eine Verringerung der erforderlichen Wassertiefe um bis zu 16 cm.

3.6 Netto-Kielfreiheit und Krängung

Die Netto-Kielfreiheit gibt den Mindestabstand zwischen dem ruhig liegenden Schiff und der Sohle an, der unter Berücksichtigung der Effekte von Squat, Krängung, Messungenauigkeiten und dichteabhängiger Tiefgangsänderung noch zusätzlich vorhanden sein muss. Die Netto-Kielfreiheit ist abhängig von der Sohlstruktur und bei sandigen Böden höher als bei Schlick.

Durch den Einfluss von Wind oder bei Durchfahren von Kurven, gerät ein Schiff in leichte Seitenlage. Der Parameter Krängung berücksichtigt diesen Effekt.

Für die vorliegende Bemessung wurden die Angaben aus der Machbarkeitsstudie übernommen. Diese sind in Tabelle 9 wiedergegeben.

Tabelle 9: Netto-Kielfreiheit an den Stützstellen

Stützstelle [Ems-km]	Netto-Kielfreiheit [m]	Krängung
113	1,2	0,15 m in gesamten Revier
84	von 1,2 fallend auf 0,6	
74	0,6	
60	von 0,6 fallend auf 0,3	
52	0,3	
40	0,3	

3.7 Zuschlag für Ungenauigkeiten

Unter diesem Punkt werden verschiedene Parameter berücksichtigt, deren zeitgleiches Auftreten nach Angabe der Arbeitsgruppe GLQ [9] statistisch nicht wahrscheinlich ist. Die Werte dieser Parameter werden daher als Standardabweichung berücksichtigt.

3.7.1 Vorhersageprognose des Wasserstandes

Der Wasserstand wird für die deutsche Küste vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) prognostiziert. Das BSH gibt die Prognose des Scheitelwasserstandes

als Differenz bezogen auf den mittleren Scheitelwasserstand in Dezimetern an. Die Prognose kann jedoch bis zu einige Dezimeter von dem tatsächlich eintretenden Wasserstand abweichen. Der Schifffahrt stehen neben den Prognosen des BSH die Echtzeit-Pegeldaten zur Verfügung, sodass auf Abweichungen von der Prognose durch verzögerte bzw. frühzeitigere Fahrt reagiert werden kann. Nach GLQ [9] kann daher für diesen Faktor ein Zuschlag von ± 10 cm angesetzt werden.

3.7.2 Genauigkeit der Peilungen

Von der Seevermessung werden regelmäßig Verkehrssicherungspeilungen in der Fahrinne durchgeführt. Die Genauigkeit dieser Messungen wird von vielen Faktoren beeinflusst. Gerade im Bereich des Fluid Muds und bei einem groben Pegelnetz können Fehler auftauchen. Die Peilungengenauigkeit wird von der Seevermessung für die Ems mit 0,18 bis 0,24 m angegeben, wobei sie Richtung See zunimmt.

3.7.3 Genauigkeit der Tiefgangsmessung

Zur Bestimmung des Tiefgangs von Schiffen gibt es unterschiedliche Bemessungsansätze, die jedoch alle Ungenauigkeiten bergen. Für die Tiefgangsmessung wird ein Zuschlag von 15 cm berücksichtigt.

4 Ermittlung der erforderlichen Solltiefe

Die erforderliche Solltiefe ergibt sich aus der Aussummierung der in Kapitel 3 beschriebenen Parameter. Tabelle 10 gibt das Ergebnis der Bemessung wieder. Ein Längsschnitt ist Anlage 1 zu entnehmen.

Tabelle 10: Aufsummierung aller Parameter zur Bestimmung der erforderlichen Solltiefe

Stützstelle	Ems-km	Bezugswasser-stand [mNHN]	Frischwassertiefgang [m]	Zuschlag für Squat [m]	Minderung für Dichteänderung [m]	Krägung [m]	Netto-Kielfreiheit [m]	Zuschlag für Ungenauigkeiten [m]	Solltiefe [mNHN]
Hafeneinfahrt Emden	40,7	-2,09	8,70	0,12	-0,08	0,15	0,3	0,26	-11,54
Wybelsum	45,0	-2,02	8,70	0,12	-0,09	0,15	0,3	0,26	-11,46
		-2,02	8,70	0,18	-0,09	0,15	0,3	0,26	-11,52
Knock	50,8	-1,91	8,70	0,18	-0,11	0,15	0,3	0,27	-11,40
Gatjebogen	52,0	-1,90	8,70	0,18	-0,11	0,15	0,3	0,27	-11,39
		-1,90	8,70	0,34	-0,11	0,15	0,6	0,27	-11,85
Paapsand	60,0	-1,79	8,70	0,34	-0,12	0,15	0,6	0,28	-11,74
Dukegat	65,9	-1,72	8,70	0,34	-0,13	0,15	0,6	0,29	-11,67
Emshörn	68,0	-1,70	8,70	0,34	-0,13	0,15	0,6	0,29	-11,65
		-1,70	8,70	0,89	-0,13	0,15	0,6	0,29	-12,20
Übergang Trasse Eemshaven	74,6	-1,63	8,70	0,89	-0,14	0,15	0,6	0,30	-12,13

Die erforderlichen Solltiefen aus der Feindimensionierung liegen im Bereich des Emders Fahrwassers bis zum Gatjebogen 0,94 – 1,06 m unter den Werten der derzeit zu unterhaltenden Solltiefe.

Am Gatjebogen bei Ems-km 52,0 machen die neu errechnete sowie die derzeitige Solltiefe einen Sprung von 46 cm bzw. 40 cm. Dieser ist die Folge Änderung der Parameter Geschwindigkeit und Netto-Kielfreiheit.

Richtung See nimmt die erforderliche Solltiefe zwischen Ems-km 52,0 – 68,0 aufgrund des ansteigenden MTnw und des zunehmenden Salzgehaltes linear ab. Die Differenz zwischen Ist-Zustand und berechneter Solltiefe beträgt zwischen 1,01 bis 1,05 Meter.

Ab Ems-km 68,0 bis zum Anschluss der niederländischen Trasse liegen die errechneten Solltiefen gut 60 cm unterhalb der Ist-Solltiefen. Der Übergang zur niederländischen Trasse erfolgt bei Ems-km 74,6 mit einem Niveausprung in der zukünftigen Solltiefe von rund zwei Metern.

5 Bewertung

Ein Vergleich der Solltiefen der Grobdimensionierung und der nun durchgeführten Feindimensionierung gibt Tabelle 11.

Tabelle 11: Gegenüberstellung von Grob- und Feindimensionierung

Abschnitt [Ems-km]	Solltiefe aus Grobbemessung [mNHN]	Solltiefe aus Feinbemessung [mNHN]	Delta [cm]
40,7 – 52,0	-11,48 bis -11,34	-11,54 bis -11,39	6 bis 5
52,0 – 68,0	-11,34 bis -11,10	-11,85 bis -11,65	51 bis 55
68,0 – 74,6	-11,60 bis -11,52	-12,20 bis -12,13	60 bis 61

Im Bereich des Emders Fahrwassers liegen die Solltiefen aus der Feindimensionierung zwischen 5 - 6 cm unterhalb der Werte aus der Grobdimensionierung. Dieser Unterschied liegt in einem Maß, dass unter der Berücksichtigung der Qualitätsanforderungen an eine Feindimensionierung im Toleranzbereich liegt.

Der Abschnitt weiter stromab in Richtung See zwischen Ems-km 52,0 und 74,6 wurde im Rahmen der Grobdimensionierung nicht näher betrachtet, dadurch lassen sich die Unterschiede zu den Werten der Feindimensionierung von 50 – 60 cm erklären. In diesem Bereich sind überwiegend natürliche Übertiefen vorhanden, so dass nur vereinzelt Mindertiefen mit entsprechend geringfügigen Baggerungen ausgeglichen werden müssen, um die berechnete Solltiefe herzustellen.

6 Fazit

In der Feindimensionierung wurden die Solltiefen bestimmt, die zu gewährleisten sind, um gemäß der Planco-Analyse [7] einem Schiff mit 8,70 m Tiefgang in Frischwasser die tideunabhängige Fahrt für 80 % aller Tiden bis nach Emden zu ermöglichen.

Als Bedarf für den Ausbau der Außenems wurde von der Hafenwirtschaft seinerzeit die tideunabhängige Fahrt für Schiffe mit mindestens einem Meter mehr Tiefgang als bisher postuliert. Für mittlere Tideverhältnisse, das heißt bei etwa 50 % alle Tiden, können Schiffe mit dem entsprechenden Tiefgang (also etwa 9,0 m Frischwassertiefgang) die Ems bis Emden tideunabhängig befahren. Für durchschnittliche Verhältnisse wird dieser Forderung damit Rechnung getragen.

Literaturverzeichnis

[1] BAW (Feb. 2010): Erste Ergebnisse zur Veränderung der Hydrodynamik bei mittleren Tideverhältnissen. Präsentation, unveröffentlicht.

[2] Härting, A.; Reinking, J. (2007): Squat von Seeschiffen in der Außenems. Gutachterlicher Bericht über Naturmessungen im Bereich km 40 bis km 75, unveröffentlicht.

[3] IMS Ingenieurgesellschaft (2010): Erfassung der schiffserzeugten Wellen- und Strömungsbelastungen – Bereitstellung von Seegangparametern für die Bundesanstalt für Wasserbau. UVU zur geplanten Vertiefung der Außenems bis Emden, Bericht Nr. 90141-01.

[4] Nagel, J. (1989): Untersuchung zur Ausbautiefe der Ems zwischen Leichterplatz und Emden. Bericht an BmV, unveröffentlicht.

[5] PIANC (1997): Seehafenzufahrten, Ein Leitfaden zur Bemessung – Übersetzung –. Schlussbericht der gemeinsamen PIANC-IAPH-Arbeitsgruppe II -30 in Zusammenarbeit mit IMPA und IALA. Beilage zum Bulletin Nr. 95 (1997).

[6] PLANCO Consulting GmbH (2007): Nutzen-Kosten-Untersuchung einer Vertiefung der Außenems. Endbericht, unveröffentlicht.

[7] PLANCO Consulting GmbH (2011): Neuberechnung der Nutzen-Kosten-Untersuchung einer Vertiefung der Außenems. Endbericht, unveröffentlicht.

[8] WSD NW (2008): Machbarkeitsuntersuchung für das Vorhaben, Vertiefung der Außenems bis Emden. Projektgruppe Machbarkeitsuntersuchung zum Ausbau der Außenems, unveröffentlicht.

[9] WSD NW & WSD N (1985): Grundlagen zur Ermittlung gleichwertiger Unterhaltungsquerschnitte für die Fahrrinnen der Seeschiffahrtsstraßen Ems, Jade, Weser und Elbe. Teil A, Untersuchungen zur Ausbautiefe. Arbeitsgruppe Gleichwertige Unterhaltungsquerschnitte. unveröffentlicht.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 – Trassierung der Solltiefe im Längsschnitt	I
--	---

Anlage 1 – Trassierung der Solltiefe im Längsschnitt

