



Knabe Beratende Ingenieure GmbH  
Gasstraße 18, Haus 4  
22761 Hamburg  
Betreuer: Dr.-Ing Eckard Schmidt

## Diplomarbeit

Analyse der Belastung auf Kajen, Böschungen und Sohlen  
bei Anlegemanövern von Schiffen mit großer Leistung  
und unter Einsatz von Bugstrahlruder

cand.-ing. Lena Bruderreck  
Matr.-Nr. 0421924

Hamburg, März 2010

Fachbereich D: Bauingenieurwesen, Maschinenbau, Sicherheitstechnik  
Abteilung: Bauingenieurwesen  
Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen (IGAW)  
Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau  
Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff





## Versicherung der selbständigen Erarbeitung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Diplomarbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

---

Ort, Datum

---

Lena Bruderreck





## Diplomaufgabe für Frau cand.-ing. Lena Bruderreck

### Analyse der Belastung auf Kajen, Böschungen und Sohlen bei Anlegemanövern von Schiffen mit großer Leistung und unter Einsatz von Bugstrahlruder

Der Umschlag von Containern im Schiffsverkehr hat in den letzten Jahren weltweit zugenommen. Der Hauptantrieb dieser Schiffe erfolgt durch den Heckpropeller. Eine bessere Manövrierfähigkeit wird durch das Querstrahlruder (Bugstrahlruder) bewirkt. In den letzten Jahren werden Anlegemanöver in Häfen zunehmend unter Einsatz von Querstrahlrudern durchgeführt. Mit dem Anstieg der Schiffsgößen haben auch die Antriebsleistungen der Schiffe, sowohl für den Hauptantrieb (Heckpropeller) als auch für das Querstrahlruder zugenommen. Der von den Schiffsantrieben erzeugte Strahl trifft auf Hafenstrukturen wie Kajen, Böschungen und Sohlen. Diese Strukturen sind zu sichern, damit die Funktionsfähigkeit und die Standsicherheiten nicht gefährdet werden.

Bei der Strahlerzeugung durch ein Querstrahlruder werden folgenden Zonen unterschieden:

- Kernzone,
- Zone der ungestörten Strahlausbreitung,
- Zone in der die Strahlausbreitung durch Wasserspiegel, Sohle und Kaiwand beeinflusst wird (s.a. Abbildung 1 und 2).

Bei der Ermittlung der induzierten Geschwindigkeit liegen im Augenblick zwei ähnliche aber gleichwohl unterschiedliche Ansätze vor. In Deutschland wird als Kenngröße der Durchmesser des Propellers angesetzt, im internationalen Bereich teilweise der sogenannte „eingeschnürte“ Querschnitt. Entscheidend für die Ermittlung der induzierten Geschwindigkeit ist die Wahl mit welcher Leistung sich ein Schiff während der Manöver im Hafen bewegt.

Die maßgebenden Normen sind das BAW Mitteilungsblatt Nr.87 „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ und die Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, EAU 2004. Im internationalen Bereich sind die guidelines der PIANC (Permanent International Association of Navigation Congress) maßgebend. Hier ist der report der Working Group 22: Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls (PIANC, 1997, Supplement to Bulletin 96, 38pp) zu nennen.

Diese guidelines werden im Augenblick überarbeitet. Von der PIANC wurde dazu die Arbeitsgruppe PIANC MarCom WG 48 eingesetzt. Von dieser Working Group wird im Augenblick die „Guidelines for berthing structures, related to bow thrusters“ erstellt. Der Bericht wird für das Frühjahr 2010 erwartet.

Im Rahmen der Diplomarbeit sind die maßgebenden Normen zu sichten und die unterschiedlichen Ansätze aufzuzeigen und zu vergleichen. Auch sind aktuelle Forschungsergebnisse zu berücksichtigen, insbesondere die Arbeiten von Schokking „Bowthruster –induced damage“ (2002) und von Roubos (2006).

Zudem sollen vorliegende Pilotcards ergänzt und ausgewertet werden. In den Häfen haben die Schiffsführer sog. Pilotcards zu erstellen. Dort sind die maßgebenden Daten bei Anlegemanövern aufgezeichnet. Nachfolgend sind sie mit den Angaben in den vorliegenden Empfehlungen zu vergleichen. Abweichungen oder Übereinstimmungen sind zu bewerten.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll die oben beschriebene Problematik aufgegriffen werden und die Analysen sollen in enger Abstimmung mit dem Ingenieurbüro Knabe Beratende Ingenieure GmbH, Hamburg und der Bergischen Universität durchgeführt werden. Ansprechpartner bei dem Ingenieurbüro Knabe und externer Betreuer ist Dr.-Ing. Eckhard Schmidt. Hierbei sind die folgenden Fragestellungen besonders zu bearbeiten:

## **Aufgabenteil 1: Grundlagen und Literaturstudium**

### **Aufgabenteil 1.1: Erfassung und Klärung der Aufgabenstellung**

In einem ersten Schritt soll die Aufgabenstellung in Abstimmung mit dem Büro Knabe und dem Lehrstuhl erfasst und offene Fragen geklärt werden. Hierzu sind die in der Aufgabenstellung genannten Daten (pilotcards) auf Vollständigkeit und Brauchbarkeit zu überprüfen. Eine mündliche Abstimmung ist nach ca. zwei Wochen vorzunehmen und zu protokollieren.

### **Aufgabenteil 1.2: Sichtung und Bewertung der vorliegenden Berichte und weitergehendes Literaturstudium**

Um sich in die gestellte Thematik einzuarbeiten sollen folgende Unterlagen zuerst studiert werden:

1. PIANC Guideline (1997)
2. EAU 2004
3. BAW Mitteilungen 87 (2004)
4. Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten und Aufsätze (seit 2004)

Anschließend soll eine weitergehende Literaturstudie vorgenommen werden und die neueren, seit etwa 2004/2005 in den Fachzeitschriften veröffentlichten Beiträge, soweit vorhanden, verfolgt und kommentiert werden.

## **Aufgabenteil 2: Hydrodynamische Analyse des Strahlantriebs und der daraus folgenden Belastung**

### **Aufgabenteil 2.1: Kurzdarstellung zur allgemeinen Hydrodynamik des Strahls (Jet)**

Hier soll auf der Grundlage von Lehrbüchern zur Strömungsmechanik und ergänzenden Fachveröffentlichungen die Generierung, Ausbreitung und der Impulsfluss des Strahls dargelegt werden. Zudem sind sowohl der Einfluss der Antriebsleistung als auch die Wirkung auf die bautechnischen Anlagen (Wände, Sohle, Hindernisse, etc.) darzustellen. Weiterhin sind die Einflüsse auf und durch die Berandung und den Schiffskörper zu diskutieren.

### **Aufgabenteil 2.2: Bemessungsgrundlagen für Deckwerke**

Hier sollen die allgemeinen Grundlagenformeln zur Bemessung von Deckwerken im Wasserbau diskutiert werden. Insbesondere sollen die Kräfte am einzelnen Stein und an einem Stein im Verbund dargestellt werden. Zudem sind die Einflüsse unterschiedlicher Steindichten, Steingrößen und gegebenenfalls die Art und Weise des Einbringens und der Lagerung zu untersuchen. Zusätzlich sind Überlegungen anzustellen, welche Möglichkeiten der nachträglichen Stabilisierung des Deckwerkes gegeben sind und mit welchen Mitteln eine solche Verstärkung erreicht werden könnte.

### **Aufgabenteil 2.3: Ergänzung und Analyse der PilotCards**

In Abhängigkeit der Ergebnisse unter Punkt 1 sind die PilotCards auszuwerten. Hierbei ist insbesondere zu klären, ob die dort aufgeführten Informationen aus betrieblicher oder entwurfstechnischer Sicht verwendbare Hinweise enthalten. Soweit dies nicht der Fall ist soll versucht werden entsprechende Merkmale aufzulisten, die für solche Zwecke verwendet werden könnten. Zudem ist diese Frage mit Vertretern des Hafens Hamburg oder Bremen zu diskutieren (gegebenenfalls per Fragebogenaktion).

### **Aufgabenteil 2.4:**

#### **Diskussion der Einzelergebnisse und zum Leistungsansatz**

In diesem Aufgabenteil soll der in den Richtlinien verwendete Ansatz (Leistungsansatz) ausführlicher diskutiert werden und mit den oben genannten Einzelergebnissen in Zusammenhang gebracht werden.

## **Aufgabenteil 3: Zusätzliche Dokumentation**

### **Aufgabenteil 3.1: Zusammenfassung und Ausblick**

Die schriftliche Ausarbeitung soll mit einer ausführlichen Zusammenfassung und einem Ausblick auf mögliche oder notwendige weitergehende Bearbeitungen schließen. Die Zusammenfassung soll zudem in sich und für sich alleine eine hinreichende Darstellung der Problematik und der erzielten Ergebnisse beinhalten. Die Zusammenfassung sollte eine Form aufweisen, die als Grundlage für einen Fachbeitrag zum Beispiel in der Hansa oder der Bulletin verwendet werden könnte und darf 10 Seiten nicht überschreiten.

### **Aufgabenteil 3.2: Präsentation**

Es ist eine kurze Präsentation zu erstellen und bei Abgabe der schriftlichen Arbeit vorzulegen. Die Präsentation sollte geeignet sein für sich alleine eine hinreichende Darstellung der Problematik und der erzielten Ergebnisse zu geben. Die Präsentation sollte eine Form aufweisen, die als Grundlage für einen Fachbeitrag auf einer Fachtagung verwendet werden könnte und darf 15 Folien nicht überschreiten.

**Hinweise zur Bearbeitung:**

Die Kandidatin soll mit der Bearbeitung dieser Diplomaufgabe zeigen, dass sie eine komplexe Aufgabenstellung im Bauingenieurwesen (Wasserbau) selbständig nach wissenschaftlichen Methoden fundiert bearbeiten kann. Dabei soll sie eine kritische Diskussion der Teilergebnisse führen und diese mit der Fachliteratur vergleichen. Die Darstellungen sind mit entsprechenden Grafiken und Diagrammen zu unterstützen. Die Bearbeitung dieser Diplomaufgabe soll in einer „klassischen“ schriftlichen Ausarbeitung (3-fach) zum Abschluss gebracht werden und ist in enger Kooperation mit den Betreuern Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff sowie Dr. E. Schmidt von Knabe Beratende Ingenieure durchzuführen.

Aufgestellt:

Dr.-Ing. E. Schmidt  
Hamburg, 16.12.2009

Wir wünschen der Kandidatin bei der Bearbeitung dieser Aufgabe viel Erfolg.

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff)

(Dipl.-Ing. D. Heinz)

Wuppertal, 17.12.2009

**Anlagen**

Abbildung 1 und Abbildung 2



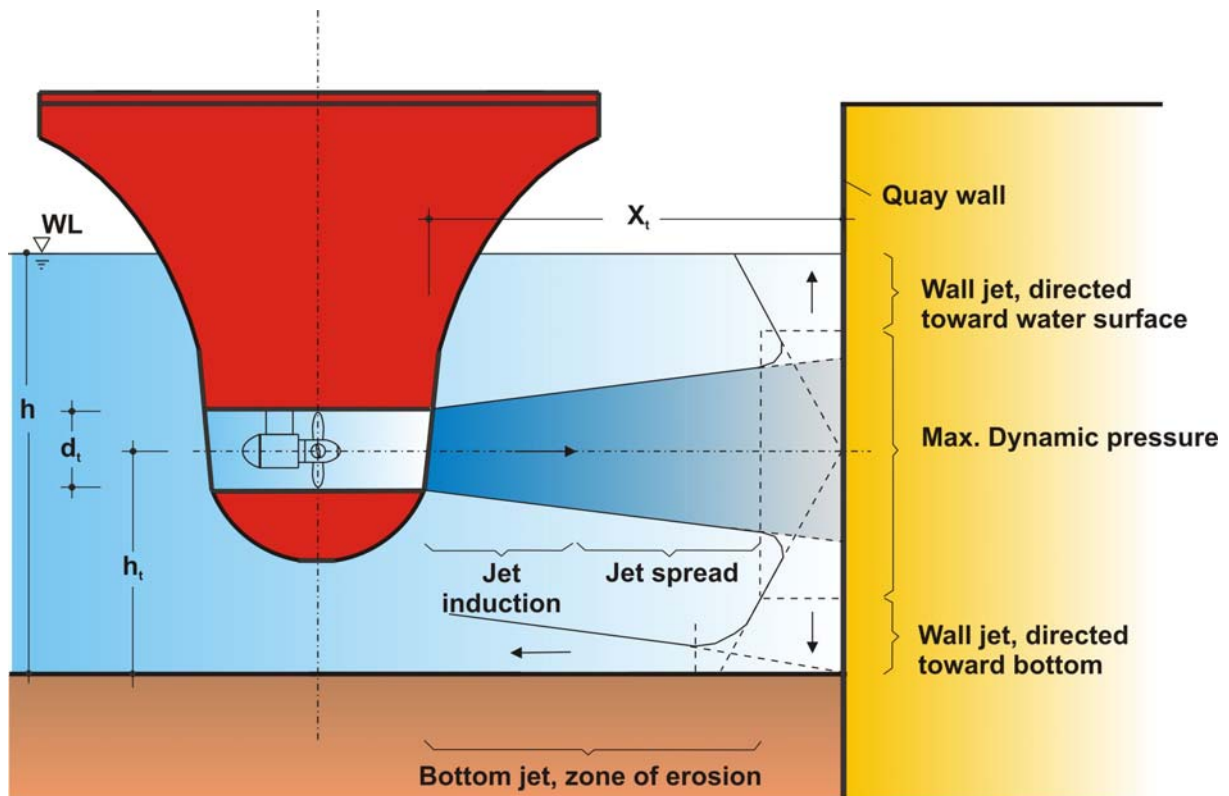


Abb. 1: Strahlausbreitung

Beim Querstrahlruder wird der auf die Kaje treffende Strahl in Richtung Wasseroberfläche und Hafensohle umgelenkt.

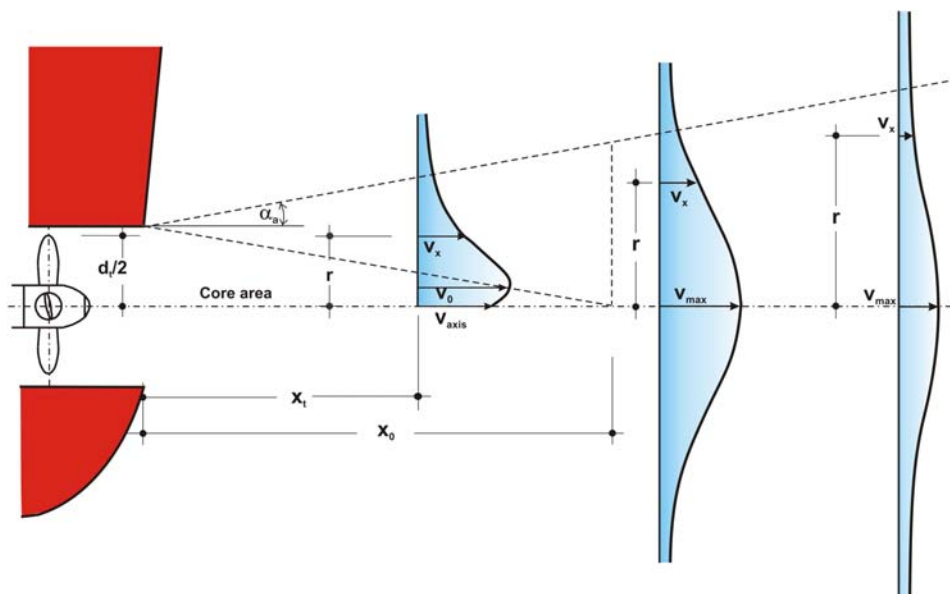


Abb2.: Ausbreitung des Propellerstrahles im Bereich der Kernzone



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Symbole und Abkürzungen .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Allgemeines zum Hafenaufbau .....</b>	<b>3</b>
2.1 Kaimauern .....	3
2.2 Böschungen und Sohlen.....	5
2.3 Deckwerkskomponenten .....	6
2.3.1 Wasserbausteine .....	6
2.3.2 Verguss, Filter-, Trennlagen und Dichtungssysteme.....	8
2.4 Hohlraumgehalt .....	9
2.5 Bauweisen der Deckschicht.....	9
2.5.1 Durchlässige Deckschicht aus losen Wasserbausteinen .....	10
2.5.2 Durchlässige Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen....	10
2.5.3 Durchlässige Deckschicht aus vollvergossenen Wasserbausteinen ...	11
2.6 Deckschichtdicken .....	12
<b>3 Schiffsbedingte Strahlerzeugung .....</b>	<b>13</b>
3.1 Propeller .....	13
3.2 Propellerstrahl.....	16
3.2.1 Induzierte Anfangsgeschwindigkeit .....	17
3.2.2 Geschwindigkeitsverteilung im Strahl .....	23
3.2.3 Standardsituationen der Strahlausbreitung .....	27
3.2.4 Strahlerzeugung eines Bugstrahlruders .....	30
<b>4 Bemessung und Schutzmaßnahmen.....</b>	<b>36</b>
4.1 Belastung der Kaimauern .....	36
4.2 Belastung der Böschungen und Sohlen .....	37
4.2.1 Bemessungsrelevante Kräfte.....	39

4.2.2	Gleichgewicht am einzelnen Stein.....	42
4.2.3	Gleichgewicht am Stein im Verbund.....	45
4.3	Schutzmaßnahmen gegen Kolke.....	47
4.3.1	Kolkzuschlag.....	48
4.3.2	Lockere Steinschüttung .....	48
4.3.3	Verbundsystem.....	50
4.3.4	Unterwasserbetonsohle .....	50
4.3.5	Strahlumlenker.....	51
4.3.6	Mindestabmessungen der Schutzmaßnahmen .....	53
4.4	Bemessung der erforderlichen Steingröße und der Kolktiefe .....	54
4.5	Kaimauern und Umgang mit Kolken im Hamburger Hafen.....	57
<b>5</b>	<b>Beeinflussung des Propellerstrahls .....</b>	<b>60</b>
5.1	Ansätze für Leistungen und Umdrehungen .....	60
5.2	Analyse der Ansätze für die Leistung und die Umdrehungen anhand von <i>PilotCards</i> .....	63
5.3	Auswertung und Diskussion der Ansätze für Leistung und Umdrehungen.....	72
<b>6</b>	<b>Bemessung am Beispiel der Emma Maersk.....</b>	<b>80</b>
6.1	Induzierte Anfangsgeschwindigkeit: .....	81
6.2	Maximale Geschwindigkeiten in den Zonen der Strahlentwicklung.....	82
6.3	Maximale Sohlgeschwindigkeit.....	84
6.4	Erforderlicher Steindurchmesser .....	85
6.5	Kolktiefe .....	87
6.6	Mindestabmessungen.....	88
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>89</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>96</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>103</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Offene Senkkästen [BRINKMANN, 2005] .....	3
Abb. 2.2:	Blockbauweise [BRINKMANN, 2005].....	3
Abb. 2.3:	Einfach verankerte Spundwände [BRINKMANN, 2005] .....	4
Abb. 2.4:	Mehrfach verankerte Spundwände [BRINKMANN, 2005] .....	4
Abb. 2.5:	Pfahlkonstruktionen mit landseitiger Spundwand [BRINKMANN, 2005].....	5
Abb. 2.6:	Pfahlkonstruktionen mit wasserseitiger Spundwand [BRINKMANN, 2005].....	5
Abb. 2.7:	Definition der Bemessungswerte $G_{50}$ beispielhaft für eine LMB <sub>5/40</sub> Klasse [MAR, 2008].....	7
Abb. 2.8:	Zusammenhang zwischen Durchmesser $D$ und nominalen Durchmesser $D_n$ [KAYSER, 2006].....	8
Abb. 2.9:	Deckschicht aus losen Wasserbausteinen [MAR, 2008] .....	10
Abb. 2.10:	Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen [MAR, 2008] .....	10
Abb. 2.11:	Deckschicht aus vollvergossenen Wasserbausteinen [MAR, 2008] .....	11
Abb. 2.12:	Empfohlene Deckschichtdicken (lose Wasserbausteine) für Böschung und Sohle unter Beachtung der Böden [MAR, 2008] ..	12
Abb. 3.1 a/b:	Bugstrahlruder [SCHOTTEL, 2010] .....	14
Abb. 3.2:	Fixed Pitch Propeller (FPP) [KAMOME, 2010] .....	15
Abb. 3.3:	Controllable Pitch Propeller (CPP) [SCHOTTEL, 2010] .....	15
Abb. 3.4:	Zonen der Strahlentwicklung [Schmidt, 1998] .....	16
Abb. 3.5:	Der Propeller als idealer Druckbeschleuniger.....	18
Abb. 3.6:	Darstellung des eingeschnürten Strahlquerschnitts $D_0$ .....	22
Abb. 3.7:	Geschwindigkeitsverteilung im Strahl nach der Theorie von ALBERTSON ET AL. [1948], in [SCHMIDT, 1998] .....	23

Abb. 3.8:	<i>Standardsituation 1</i> [GBB, 2004] .....	27
Abb. 3.9:	<i>Standardsituation 2</i> [GBB, 2004] .....	28
Abb. 3.10:	<i>Standardsituation 3</i> [GBB, 2004] .....	29
Abb. 3.11:	<i>Standardsituation 4</i> [GBB, 2004] .....	29
Abb. 3.12:	Propellerstrahlzonen eines Bugstrahlruders beim Auftreffen auf eine Kaimauer nach SCHMIDT [1998] .....	32
Abb. 4.1:	Kolk vor der Kaimauer infolge der Belastung aus dem Bugstrahlruder [SCHMIDT, 1998] .....	36
Abb. 4.2:	Belastung der Böschung infolge des Propellerstrahls .....	38
Abb. 4.3:	Kräfte am einzelnen Stein an der Sohle .....	42
Abb. 4.4:	Kräfte am einzelnen Stein mit Böschungsneigung $\beta$ .....	43
Abb. 4.5:	Kräfte am Stein im Verbund an der Sohle .....	46
Abb. 4.6:	Kräfte am Stein im Verbund mit Böschungsneigung $\beta$ .....	46
Abb. 4.7:	Mindestabmessungen für einen <i>Strahlumlenker</i> nach RÖMISCH [2001] .....	51
Abb. 4.8:	Mindestabmessungen von Befestigungen vor einer Kaimauer [EAU, 2004] .....	53
Abb. 4.9:	Kolktiefe $T_k$ infolge Hecktantrieb [SCHMIDT, 1998] .....	57
Abb. 4.10:	<i>Hamburger Querschnitt</i> (Beispiel: <i>Burchardkai</i> ) [HPA, 2009] .....	58
Abb. 5.1:	<i>PilotCard</i> der <i>Emma Mærsk</i> [SCHMIDT, 2010] .....	64
Abb. 5.2:	Vergleich <i>Full ahead</i> und PIANC [2008] .....	66
Abb. 5.3:	Vergleich <i>Full ahead</i> und PIANC [1997] .....	66
Abb. 5.4:	Vergleich <i>Half ahead</i> und PIANC [2008] .....	67
Abb. 5.5:	Vergleich <i>Half ahead</i> und PIANC [1997] .....	67
Abb. 5.6:	Vergleich <i>Half ahead</i> und EAU [1996] .....	68
Abb. 5.7:	Vergleich <i>Slow ahead</i> und PIANC [2008] .....	69
Abb. 5.8:	Vergleich <i>Slow ahead</i> und PIANC [1997] .....	69
Abb. 5.9:	Vergleich <i>Slow ahead</i> und EAU [1996] .....	69
Abb. 5.10:	Vergleich <i>Dead slow ahead</i> und PIANC [2008] .....	70

Abb. 5.11:	Vergleich <i>Dead slow ahead</i> und PIANC [1997] .....	70
Abb. 5.12:	Vergleich <i>Dead slow ahead</i> und EAU [1996] .....	71
Abb. 5.13:	Überblick über die Analyseergebnisse für die einzelnen Manöver .....	76
Abb. 5.14:	Übersicht über die Ermittlung der jeweiligen Leistungen aus den Umdrehungen nach unterschiedlichen Exponenten $i = 1, 2, 3$ am Beispiel der <i>Empfehlungen für Hafenanmanöver</i> .....	79
Abb. 6.2:	Heck der <i>Emma Mærsk</i> [SHIPMARINE, 2010] .....	80
Abb. 6.1:	<i>Emma Mærsk</i> [CAPTAIN, 2010] .....	81
Abb. 6.3:	Abnahme von $v_{\max}$ in Zone 2 und 3.....	83
Abb. 7.1:	Ausschnitt aus der <i>PilotCard</i> der <i>Emma Mærsk</i> .....	92

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	50 % - Werte für Standard Steinklassen loser Deckschichten [MAR, 2008] .....	7
Tab. 2.2:	Hohlraumgehalt von Deckschichten in Abhängigkeit vom Einbauverfahren [MAR, 2008] .....	9
Tab. 4.1:	Strahlteilungsverhältnis $C_\alpha$ und Kolkreduktionsfaktor $C_{SL}$ .....	51
Tab. 5.1:	Übersicht der Ansätze von Leistungen und Umdrehungen nach den EAU [1996], der PIANC [1997] und der PIANC [2008] (in % zu den maximalen) .....	62
Tab. 5.2:	Berechnung der prozentualen Anteile der Umdrehungen bezogen auf die maximalen Umdrehungen für die <i>Emma Mærsk</i> .....	65
Tab. 5.3:	Analyseergebnis im Vergleich zu den Ansätzen für die Umdrehungen der .....	72
Tab. 5.4:	Überprüfung des Zusammenhangs $P [\%] = (n [\%])^3$ anhand der Leistungs- und Umdrehungsansätze von EAU [1996], PIANC [1997] und PIANC [2008] .....	75
Tab. 5.5:	Ermittlung des Exponenten für den Zusammenhang zwischen Umdrehungen und Leistung nach PIANC [2008] .....	77
Tab. 5.6:	Analyseergebnisse (für unterschiedliche Exponenten $i = 1,2,3$ ) im Vergleich zu den Leistungsansätzen nach den EAU [1996] der PIANC [1997] und der PIANC [2008] .....	78
Tab. 7.1:	Ansätze für die Anzahl der Umdrehungen pro Minute [EAU, 1996; PIANC, 1997 und PIANC, 2008] und Ergebnisse der Analyse .....	91
Tab. 7.2:	Ansätze für die Leistung [EAU, 1996; PIANC, 1997 und PIANC, 2008] .....	91



Tab. 7.3: Analyseergebnisse für unterschiedliche Exponenten  $i = 1,2,3$   
im Vergleich zu den Leistungsansätzen nach den EAU [1996]  
der PIANC [1997] und der PIANC [2008] ..... 94

## Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bezeichnung	Dimension
$A_D$	angeströmte Fläche	[m <sup>2</sup> ]
$C_P$	Faktor für Rohrgeometrie und Austrittsquerschnitt	[-]
$c$	Konstante der Geschwindigkeitsfunktion	[-]
$c_D$	Anströmbeiwert	[-]
$c_M$	Beschleunigungsbeiwert	[-]
$d_{85}$	maßgebendes Korn der Hafensohle	[m]
$d_{erf}$	erforderlicher Durchmesser	[m]
$D$	Propellerdurchmesser	[m]
$D_B$	Propellerdurchmesser des Bugstrahlruders	[m]
$D_0$	eingeschnürter Durchmesser	[m]
$F_D$	Schubkraft	[kN]
$F_L$	Lifkraft	[kN]
$F_S$	Beschleunigungskraft	[kN]
$F_R$	Reibungskraft	[kN]
$f_P$	Faktor zur einsetzbaren Maschinenleistung	[-]
$G$	Eigengewicht der Steinschüttung	[kN]
$h_{Matt}$	Höhe der Matte	[m]
$J$	Propellerfortschrittsgrad $= \frac{v_A}{n * D}$	[-]
$k_T$	Schubbeiwert des Propellers	[-]
$k_{T,DP}$	Schubbeiwert des Propellers	[-]
$L$	Abstand zwischen Propeller und Kaimauer	[m]
$n$	Umdrehungen des Propellers	[U/min]

$n_{max}$	maximale Umdrehungen des Propellers	[U/min]
$P$	Propellerleistung	[kW]
$P_{max}$	maximale Propellerleistung	[U/min]
$P_S$	Konstruktionssteigung	[m]
$\frac{P_S}{D}$	Konstruktionssteigungsverhältnis	[-]
$T$	Schubkraft hinter dem Propeller	[N]
$T_K$	Kolktiefe	[m]
$V$	Volumen des Steinelementes	[m <sup>3</sup> ]
$v_A$	Anströmungsgeschwindigkeit des Propellers	[m/s]
$v_0$	induzierte Anfangsgeschwindigkeit	[m/s]
$v_x$	Geschwindigkeit an beliebigem Punkt im Strahl	[m/s]
$v_{x,max}$	Zentralgeschwindigkeit (Achsgeschwindigkeit)	[m/s]
$v_{max,So}$	maximale Sohlgeschwindigkeit	[m/s]
$\alpha^*$	Einbettungsziffer	[-]
$\beta$	Böschungsneigung	[°]
$\gamma_W$	Wichte des Wassers	[kN/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_S$	Wichte des Steines	[kN/m <sup>3</sup> ]
$\Delta\gamma$	Anteil der Wichte	[kN/m <sup>3</sup> ]
$\varphi$	Reibungswinkel	[°]
$\frac{dv}{dt}$	Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
$\rho_W$	Dichte des Wassers	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\zeta_s'$	Rohdichte der Matte	[t/m <sup>3</sup> ]

# 1 Einleitung

Der weltweite Zuwachs von Umschlagmengen im Schiffsverkehr in den letzten Jahren hat eine Vergrößerung der Schiffe zur Folge. Damit verbunden ist die Zunahme der Antriebsleistung für den Heckpropeller und das Bugstrahlruder. Besonders bei den An- und Ablegemanövern kommt es aufgrund dessen zu hochturbulenten Strahlerscheinungen, die erosionsintensiv sind. Der Propellerstrahl trifft auf die Kajen (im Folgenden als Kaimauern bezeichnet), die Böschungen und die Sohlen, deren Standsicherheit im Hinblick auf die Belastung zu gewährleisten ist.

Zur Einführung in die Thematik wird Allgemeines zum Kaimauerbau und der Herstellung von Böschungen aufgeführt. Es erfolgt die Darstellung der schiffsbedingten Strahlerzeugung. Übliche Propellertypen werden vorgestellt und die Zonen der Strahlentwicklung (Strahlinduktion, Strahlausbreitung und Strahlerosion) ausführlich betrachtet und erläutert.

Die Belastung infolge des Propellerstrahls und die Bemessung der Schutzmaßnahmen ist Gegenstand des darauffolgenden Abschnittes. Dargestellt wird der Unterschied zwischen den wirkenden Kräften auf einzelne Steine und auf Steine im Verbund. Die Ansätze zur Ermittlung der erforderlichen Steingröße und der Tiefe eines Kolks infolge der Belastung durch den Propellerstrahl werden aufgezeigt und erläutert. Die Bemessung der Steingrößen an der Böschung und der Sohle ist maßgeblich von der maximal auftretenden Strömungsgeschwindigkeit abhängig.

Die Ermittlung der Geschwindigkeiten im Propellerstrahl erfolgt über die induzierte Anfangsgeschwindigkeit. Diese ist entscheidend vom Propellerdurchmesser und der Leistung bzw. den Umdrehungen der Maschine abhängig. Der Ansatz des Propellerdurchmessers ist anhand der eindeutig definierten Abmessungen unproblematisch. Für den Ansatz der Leistung ist maßgebend, mit welcher tatsächlichen Leistung (in [%] von der maximalen) sich ein Schiff während eines Manövers im Hafen fortbewegt. Entsprechendes gilt für den Ansatz der Umdrehungen.

Zwischen den vorhandenen Leistungs- und Umdrehungsansätzen nach den EAU [2004], der PIANC [1997] sowie der PIANC [2008] bestehen Abweichungen. Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die unterschiedlichen Ansätze zu überprüfen und zu

bewerten. Hierfür wird eine Analyse von sogenannten *PilotCards* durchgeführt, sodass den theoretischen Ansätzen Ergebnisse aus realen Daten gegenübergestellt werden können.

Im Anschluss wird ein Berechnungsbeispiel durchgeführt. Mit den Eingangsdaten der *Emma Mærsk*, eines der derzeit weltgrößten Containerschiffe, werden die Geschwindigkeiten im Propellerstrahl nach den unterschiedlichen Ansätzen der Umdrehungen und der Leistungen berechnet. Es erfolgt die Ermittlung der erforderlichen Steingrößen und der Kolkiefen, wobei der Einfluss der unterschiedlichen Leistungs- und Umdrehungsansätze verdeutlicht wird.

Die Diplomarbeit schließt mit einer ausführlichen Zusammenfassung, in der die Ergebnisse dargestellt und kritisch bewertet werden. Es erfolgt ein Ausblick auf notwendige und mögliche Bearbeitungsschritte.

## 2 Allgemeines zum Hafengebäude

### 2.1 Kaimauern

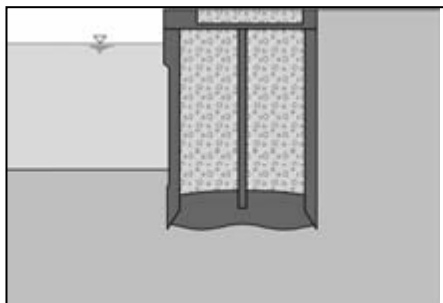
Eine Kaimauer ist ein parallel zum Ufer verlaufendes Bauwerk. Die Bauweise richtet sich nach der Belastung, den Baugrundverhältnissen, dem Geländesprung, dem Typ und der Größe der anlegenden Schiffe, den Verkehrs- und Umschlagseinrichtungen, der Verfügbarkeit von Baumaterialien, der Bauzeit und den Baukosten.

An Container- und Stückguthafen kommen Kaimauern in senkrechter Bauweise zum Einsatz. Diese Bauweise ermöglicht einen wirtschaftlichen Kran- und Containerbrückeneinsatz. Eine teilgeböschte Ausführung der Kaimauer ist zwar die wirtschaftlichste Bauweise, erschwert aber die An- und Ablegemanöver und verringert so die Umschlagsleistung der Krane. Im Folgenden werden daher nur senkrechte Bauweisen betrachtet.

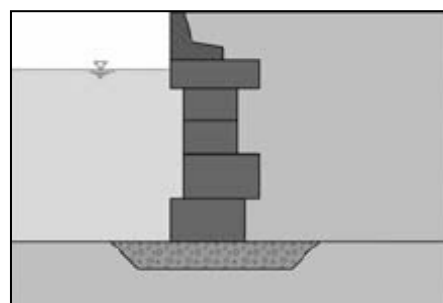
Die senkrechten Kaimauerkonstruktionen lassen sich nach BRINKMANN [2005] in folgende Bauweisen einteilen:

1. Schwergewichtskonstruktion,
2. Spundwandkonstruktion und
3. Pfahlkonstruktion.

In Abbildung 2.1 und 2.2 werden zwei unterschiedlichen Möglichkeiten, eine Schwergewichtskonstruktion auszubilden, aufgezeigt.



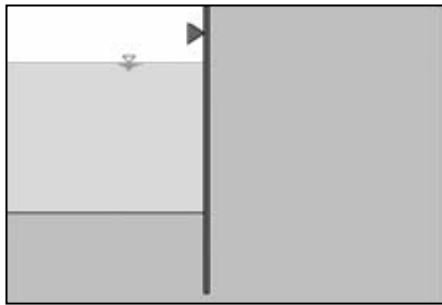
**Abb. 2.1: Offene Senkkästen**  
**[BRINKMANN, 2005]**



**Abb. 2.2: Blockbauweise**  
**[BRINKMANN, 2005]**

Die Schwergewichtskonstruktion basiert auf dem Konzept, dass die einwirkenden Kräfte durch das Eigengewicht der Mauer und der wirkenden Reibung entlang der Sohle aufgenommen werden. Der Einsatz erfolgt bevorzugt dort, wo die im Folgenden erläuterten Pfahl- und Spundwandkonstruktionen ausscheiden. Aufgrund des hohen Gewichts ist ein tragfähiger Untergrund erforderlich.

Spundwände finden als Ufereinfassung im Wasserbau häufig eine sehr zweckmäßige und ökonomische Verwendung (vgl. Abb. 2.3 und 2.4). Die Konstruktion besteht aus Stahlprofilen, die über Schlösser miteinander verbunden werden. Ihre Standsicherheit wird durch Verankerungen sowie der Einbindung in den Baugrund gewährleistet [BRINKMANN, 2005].

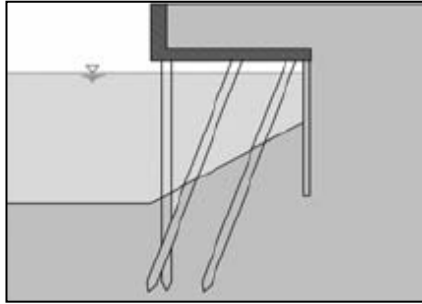


**Abb. 2.3: Einfach verankerte Spundwände**  
[BRINKMANN, 2005]

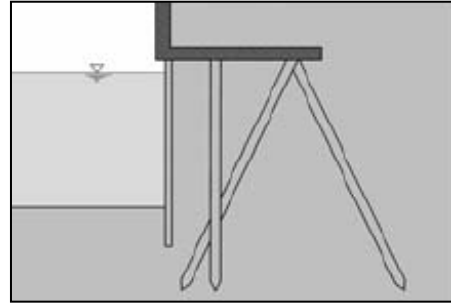


**Abb. 2.4: Mehrfach verankerte Spundwände**  
[BRINKMANN, 2005]

Bei schlechten Baugrundverhältnissen, großen Geländesprüngen oder großen Lasten eignen sich Einzelpfähle oder Pfahlgruppen als zweckmäßige und wirtschaftliche Art der Kaimauerkonstruktion (vgl. Abb. 2.5 und 2.6). Die Pfahlkonstruktion gehört zu den Tiefgründungen und wird über eine Rostplatte zu einer Gründungseinheit verbunden [BRINKMANN, 2005].



**Abb. 2.5: Pfahlkonstruktionen mit wasserseitiger Spundwand**  
[BRINKMANN, 2005]



**Abb. 2.6: Pfahlkonstruktionen mit landseitiger Spundwand**  
[BRINKMANN, 2005]

## 2.2 Böschungen und Sohlen

Sowohl auf Böschungen als auch im Bereich der Sohlen werden Steinschüttungen als Deckwerk verwendet. Früher wurden durchweg lose und heute bei hoher Belastung auch gebundene Steinschüttungen eingebaut.

Auf das Deckwerk wirken unterschiedliche Einwirkungen einzeln oder in Kombination, sodass das Deckwerk den folgenden Anforderungen genügen muss:

- schadlose Umwandlung der Wellenenergie
- Schutz gegen Erosion infolge Strömungen
- Schutz gegen Schraubenstrahl
- Verhinderung von Böschungsbrüchen
- Standsicherheit bei Absenk
- mechanischer Schutz des Gewässerbetts und ggf. einer Dichtung (gegen z. B. Ankerwurf)
- Schutz gegen chemische und biologische Einflüsse
- Schutz gegen Witterungseinflüsse
- ggf. schadloses Abführen von Grundwasser.

Die Bemessung ist letztlich von den speziellen Randbedingungen vor Ort sowie der Intensität, der Häufigkeit und der Dauer der Beanspruchung abhängig.



In den folgenden Kapiteln werden die Komponenten des Deckwerks, die Bauweisen sowie die Schichtdicken aufgezeigt.

## 2.3 Deckwerkskomponenten

Das Deckwerk setzt sich aus den folgenden Bestandteilen zusammen:

- Wasserbausteinen
- Verguss
- Filterlagen
- Trennlagen und
- Dichtungssystemen.

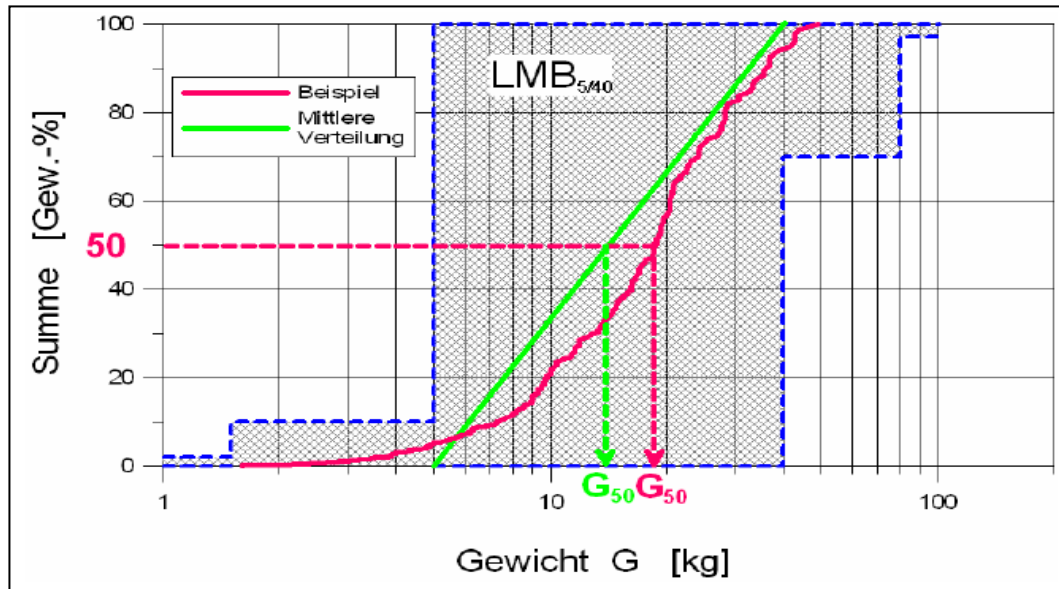
### 2.3.1 Wasserbausteine

Die Wasserbausteine sind nach DIN EN 13383 [2009] in verschiedene Standard-Steinklassen mit unterschiedlicher Widerstandsfähigkeit gegen hydraulische Einwirkungen eingeteilt. Kleinere Wasserbausteine werden über den Siebdurchmesser  $D$  (Kantenlänge des Quadratlochsieb) definiert und als  $CP_{x/y}$  Klasse bezeichnet (Coarse Particle,  $x$  untere Klassengrenze [mm],  $y$  obere Klassengrenze [mm]). Die größeren Klassen werden über ihr Gewicht  $G$  definiert und entweder in die Leichtgewichtsklasse, mit der Bezeichnung  $LM_{x/y}$  (Light Mass,  $x$  untere Klassengrenze [kg],  $y$  obere Klassengrenze [kg]) oder in die Schwergewichtsklasse  $HM_{x/y}$  (Heavy Mass untere Klassengrenze [kg],  $y$  obere Klassengrenze [kg]) einsortiert [MAR, 2008].

Nach dem GBB [2004] wird für eine Einteilung der Wert herangezogen, der von 50 % der Steinfraktionen unterschritten wird. Der Wert bezieht sich bei Gewichtsklassen ( $G_{50}$ ) auf das Gewicht und bei Größenklassen ( $D_{50}$ ) auf den Durchmesser.

Der erforderliche  $G_{50}$ - bzw.  $D_{50}$ - Wert muss eingehalten sein und zusätzlich muss die Summenlinie nach DIN EN 13383 [2009], wie in Abbildung 2.7 dargestellt, innerhalb bestimmter Grenzen liegen [MAR, 2008].

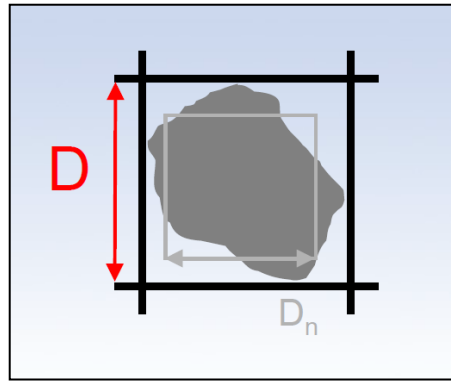
In Tabelle 2.1 werden die Werte für die Standard-Steinklassen loser Deckschichten aufgezeigt. Die Regelbauweisen unterscheiden vier verschiedene Rohdichten des Gesteins von  $\rho_S = 2.300 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_S = 2.650 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_S = 3.000 \text{ kg/m}^3$  und  $\rho_S = 3.600 \text{ kg/m}^3$ .



**Abb. 2.7:** Definition der Bemessungswerte  $G_{50}$  beispielhaft für eine  $LMB_{5/40}$  Klasse [MAR, 2008]

**Tab. 2.1:** 50 % - Werte für Standard Steinklassen loser Deckschichten [MAR, 2008]

Steinklasse	50% - Wert
CP <sub>90/250</sub>	$D_{50} = 150 \text{ mm}$
LMB <sub>5/40</sub>	$G_{50} = 14 \text{ kg}$
LMB <sub>10/60</sub>	$G_{50} = 25 \text{ kg}$



**Abb. 2.8: Zusammenhang zwischen Durchmesser  $D$  und nominalen Durchmesser  $D_n$  [KAYSER, 2006]**

Die nominale Steingröße  $D_n$  ist, wie in Abbildung 2.8 dargestellt, die Kantenlänge eines Würfels mit demselben Gewicht  $G$  und berechnet sich zu:

$$D_n = \left(\frac{G}{\rho_s}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Gl. 5-1}$$

mit

$D_n$	nominale Steingröße	[m]
$G$	Gewicht des Steins	[kg]
$\rho_s$	Dichte der Wasserbausteine	[kg/m <sup>3</sup> ].

### 2.3.2 Verguss, Filter-, Trennlagen und Dichtungssysteme

Das [MAR, 2008] empfiehlt für den Einsatz von Vergussmittel dichte, hydraulisch gebundene Vergussstoffe. Die Hinweise für die empfohlenen Vergussstoffmengen mit den Anforderungen an die Ausgangsmaterialien, die erforderlichen Prüfungen und den Einbau enthält das *Merkblatt zur Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen* [MAV, 2008].

Für den Einbau von Filter- und Trennlagen verweist das [MAR, 2008] auf das *Merkblatt zur Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen* [MAG, 1993]

sowie das *Merkblatt zur Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen* [MAK, 1989].

Die Dichtungssysteme der Regelbauweisen sind ausschließlich Oberflächenabdichtungen, sodass im [MAR, 2008] auf die *Empfehlung zur Anwendung von Oberflächenabdichtungen* [EAO, 2002] verwiesen wird.

## 2.4 Hohlraumgehalt

Das Gewicht einer Schüttung wird stark vom Hohlraumgehalt bestimmt, der im Wesentlichen vom Einbauverfahren abhängig ist. Tabelle 2.2 zeigt den Hohlraumgehalt von Deckschichten aus Wasserbausteinen in Abhängigkeit des Einbauverfahrens [MAR, 2008].

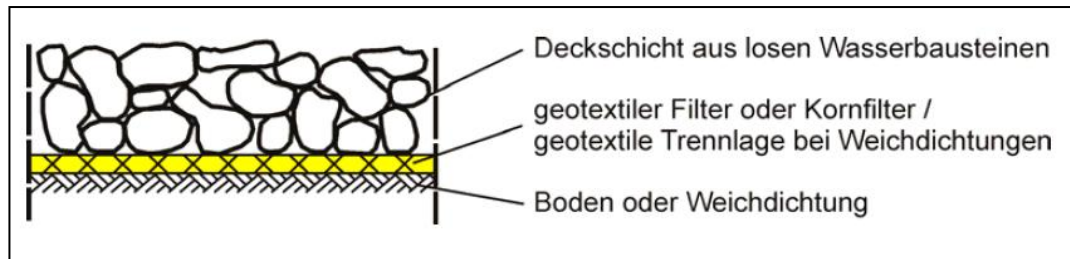
**Tab. 2.2: Hohlraumgehalt von Deckschichten in Abhängigkeit des Einbauverfahrens [MAR, 2008]**

<b>Lagerungs- dichte</b>	<b>Hohlraumgehalt n [%]</b>	<b>Einbauverfahren</b>
locker	50–55	Bei Verklappen unter Wasser
mitteldicht	45	Bei Schüttung im Trockenen bzw. bei Einbau durch Greifer/ Bagger unmittelbar auf dem Planum
dicht	30–40	Bei Nacharbeiten von Hand bzw. Andrücken mit dem Einbaugerät

## 2.5 Bauweisen der Deckschicht

Nach [MAR, 2008] ist es möglich, die Deckschichten auf drei unterschiedliche Arten einzubauen. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben und erläutert.

### 2.5.1 Durchlässige Deckschicht aus losen Wasserbausteinen

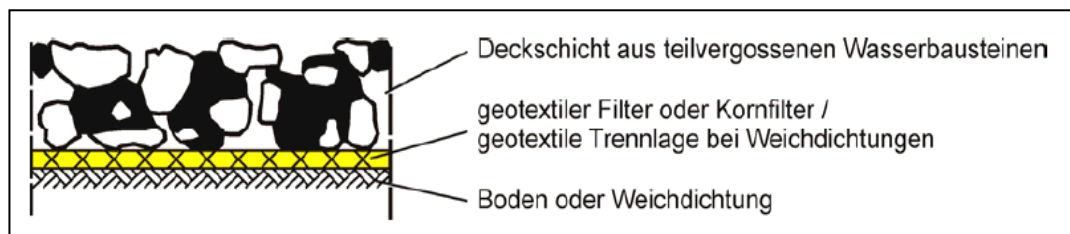


**Abb. 2.9: Deckschicht aus losen Wasserbausteinen [MAR, 2008]**

Wie in Abbildung 2.9 gezeigt besteht diese Bauweise aus geschütteten, losen Wasserbausteinen und kann auf einem geotextilen Filter oder Kornfilter angewendet werden. Die Vorteile liegen in der großen Anpassungsfähigkeit bei Untergrundverformungen sowie der Widerstandsfähigkeit gegenüber Schiffsanfahrung.

Die Größe der Einzelsteine und die Einbaudicke der Deckschicht sind maßgeblich für die Lagestabilität verantwortlich. Diese Faktoren werden von der Rohdichte und dem Hohlraumgehalt der Steinschüttung bestimmt. Bei hohen Strömungbelastungen, wie z. B. im Manövrierbereich ist diese Bauweise nicht ausreichend lagestabil [MAR, 2008].

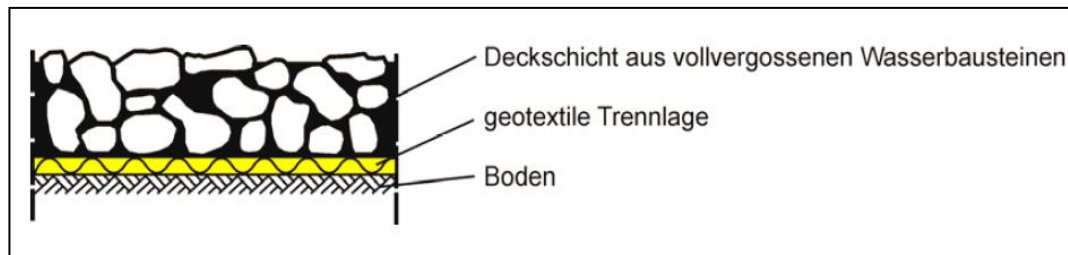
### 2.5.2 Durchlässige Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen



**Abb. 2.10: Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen [MAR, 2008]**

Eine durchlässige Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen, wie sie in Abbildung 2.10 dargestellt ist, besteht aus geschütteten Wasserbausteinen und einem Teilverguss. Die Anwendung wie die Deckschicht aus Wasserbausteinen ohne Teilverguss, auf einem dichten geotextilen Filter oder Kornfilter ist ebenso möglich. Die Flexibilität ist eingeschränkt und von der Vergussmenge abhängig. Eine Beschädigung infolge Schiffsanfahrung ist nicht auszuschließen. Lokale Fehlstellen sollen zeitnah behoben werden, um eine Ausbreitung zu verhindern [MAR, 2008].

### 2.5.3 Durchlässige Deckschicht aus vollvergossenen Wasserbausteinen



**Abb. 2.11: Deckschicht aus vollvergossenen Wasserbausteinen**  
[MAR, 2008]

Die Bauweise der Deckschicht aus vollvergossenen Wasserbausteinen besteht aus geschütteten Wasserbausteinen und einem dichten, hydraulisch gebundenen Vergussstoff (vgl. Abb. 2.11). Der Einbau darf nur auf einer entsprechenden geotextilen Trennlage erfolgen. Eine Flexibilität der Deckschicht ist nicht gegeben und die Beschädigung durch Schiffanfahrung möglich. Fehlstellen sind zu beseitigen um die Dichtigkeit wieder herzustellen [MAR, 2008].

Insbesondere bei hoher hydraulischer Belastung oder unter beengten Platzverhältnissen kann es erforderlich sein, ein vergossenes Deckwerk herzustellen. Das Steingerüst dieses Deckwerktyps muss hinsichtlich des Porenraums optimiert sein. Zum einen dürfen die Poren nicht zu groß sein, damit der Mörtel nicht durch das Deckwerk „durchfällt“. Zum anderen dürfen die Poren nicht zu klein werden, da dann der Mörtel unter diesen Umständen nicht im

erforderlichen Umfang in den Porenraum eindringen kann. Die Steinklasse CP90/250 wird für die vergossene Bauweise empfohlen.

## 2.6 Deckschichtdicken

Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	WBSt- Klasse	Empfohlene Deckschichtdicken $d_D$ [m] bei Fußseinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m)						
		Böschung			Sohle			
		Geotextil nach MAG			Kornfilter nach MAK	Geotextil nach MAG		Kornfilter nach MAK
		B1, B2, B5*	B3	B4	alle Böden	alle Böden	alle Böden	
2300	LMB <sub>10/60</sub>	0,70	0,85	0,95	0,70	0,70	0,70	
2650	LMB <sub>5/40</sub>	0,60	0,70	0,80	0,60	0,60	0,60	
3000	LMB <sub>5/40</sub>	0,55	0,60	0,70	0,55	0,60	0,55	
3600	CP <sub>90/250</sub>	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,50	



\*B5 einschließlich Weichdichtungen

**Abb. 2.12: Empfohlene Deckschichtdicken (lose Wasserbausteine) für Böschung und Sohle unter Beachtung der Böden [MAR, 2008]**

Aus den verschiedenen Steinklassen ergeben sich, abgeleitet aus den Steinlängen, die in Abbildung 2.12 aufgeführten Mindestdicken der Deckschichten  $d_D$  für lose Wasserbausteine. Hierbei wurde auf die erreichbare Einbaugenauigkeit von 5 cm gerundet. Die vorliegenden Werte sind als Mindestdicken anzusehen, die sich aus der Erfordernis eines stabilen Steingerüsts ergeben.

Die Kriterien nach GBB [2004] oder [MAR, 2008] zur Festlegung der Deckwerksdicke hinsichtlich der Mindestdicke sind weiterhin zusätzlich zu beachten [KAYSER, 2006].

## 3 Schiffsbedingte Strahlerzeugung

### 3.1 Propeller

Der Einsatz von Propellern zum Antrieb von Schiffen ist allgemein üblich. Über eine Achse wird die vom Motor generierte Drehbewegung zur Nabe des Propellers übertragen und der Propeller auf diese Weise in Bewegung gesetzt. Um die Nabe sind die Propellerblätter symmetrisch angeordnet. Der Querschnitt gleicht einem Flügel, um Kavitation zu vermeiden und den in Anlehnung an die Bernoulli Gleichung erforderlichen Vorwärtsschub zu ermöglichen. Das Prinzip ist mit der Funktionsweise eines Flugzeugsflügels vergleichbar. Dadurch, dass die obere Seite des Flügels länger ist als die untere, wird eine auftriebende Kraft hergestellt. Bei einem Propellerblatt ist die Vorderseite länger, sodass auf dieser Seite weniger hydrodynamischer Druck herrscht, als auf der Rückseite. Hieraus ergibt sich der Schub nach vorne.

#### **Fixed Pitch Propeller (FPP)**

Bei einem *Fixed Pitch Propeller (FPP)* sind die Propellerblätter fest mit der Nabe verbunden und der Anstellwinkel nicht regulierbar. Aus diesem Grund ist diese Propellerart besonders betriebssicher, robust sowie effizient und für Schiffe geeignet, die lange Strecken fahren und Ozeane durchqueren. Bedingung für den Einbau eines derartigen Propellers ist, dass die gute Anpassung an den Schiffsrumpf und den Motor. In Abbildung 3.2 ist ein *FPP* dargestellt.

#### **Controllable Pitch Propeller (CPP)**

Bei den *Controllable Pitch Propellern (CPPs)* ist es möglich, den Anstellwinkel der Propellerblätter zu variieren. Der Querschnitt des Blattes verläuft wie in Abbildung 3.3 aufgezeigt, asymmetrisch. Wenngleich der Propeller für das Manöver *Full ahead (Volle Kraft voraus)* besonders leistungsstark konstruiert wurde, erzielt er ebenfalls beim Rückwärtsfahren sehr gute Ergebnisse. Der größte Vorteil bezieht sich auf das Manövrieren des Schiffes im Hafen. Die Leistung des Motors bleibt erhalten und die Geschwindigkeit des Schiffes kann ausschließlich über den Anstellwinkel der Propellerblätter variiert werden.

Aus diesem Grund sind *CPPs* ideal für Schiffe, die mit einer hohen Frequenz in Häfen ein- und auslaufen [WÄRTSILÄ, 2010]. Es ist aber ebenso möglich, sie in

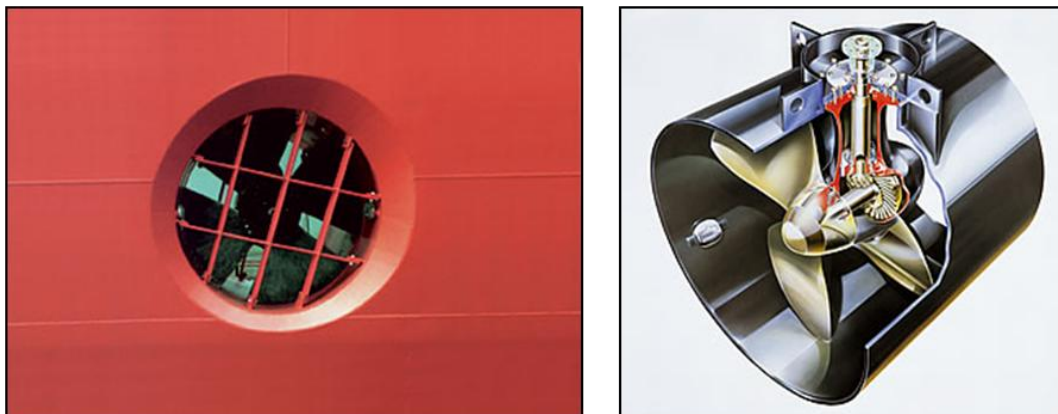


nahezu allen Schiffstypen einzusetzen, wobei das Leistungsspektrum von 600 KW bis 30.000 KW reicht. Die CPPs haben einen Durchmesser von ca. 1,5 bis 8,0 m [SCHOTTEL, 2010].

### Ummantelte Propeller

Ummantelte Propeller erzielen eine höhere Leistung bei geringen Geschwindigkeiten. Allerdings wird die Effektivität bei hohen Geschwindigkeiten verringert. Für Schlepper und andere Schiffe, die eine große Ziehkraft benötigen, ist der Einsatz derartiger Propeller ideal.

Eine besondere Form der ummantelten Propeller sind die Bugstrahlruder (Querstrahlruder). Der in Abbildung 3.1 a dargestellte, rohrförmige Durchgang durch die gesamte Schiffsbreite im vorderen Zehntel eines Schiffes, wird als Bugstrahlruder bezeichnet. Das Bugstrahlruder besteht aus einem Propeller mit horizontaler Achse, der als Impeller in einem Rohr arbeitet und zur Ausführung von Manövern aus dem Stand eingesetzt wird (vgl. Abb. 3.1 b). Der Durchmesser beträgt in der Regel 1,5 bis 2,5 m. Die Leistung des Bugstrahlers entspricht in etwa 7 bis 13 % der Leistung des Hauptmotors [PIANC, 1997]. Die Drehrichtung ist veränderbar und ermöglicht auf diese Weise das Schiff nach Back- oder Steuerbord zu bewegen. Besonders bei guten Wetterverhältnissen kann so teilweise auf den Einsatz von Schleppern verzichtet werden. Aufgrund von hydrodynamischen Effekten ist der Einsatz des Bugstrahlruders nur bis zu einer Fahrtgeschwindigkeit von fünf Knoten möglich und bei höheren Geschwindigkeiten fast vollkommen wirkungslos.



**Abb. 3.1 a/b: Bugstrahlruder [SCHOTTEL, 2010]**



**Abb. 3.2:** *Fixed Pitch Propeller (FPP)* [KAMOME, 2010]



**Abb. 3.3:** *Controllable Pitch Propeller (CPP)* [SCHOTTEL, 2010]

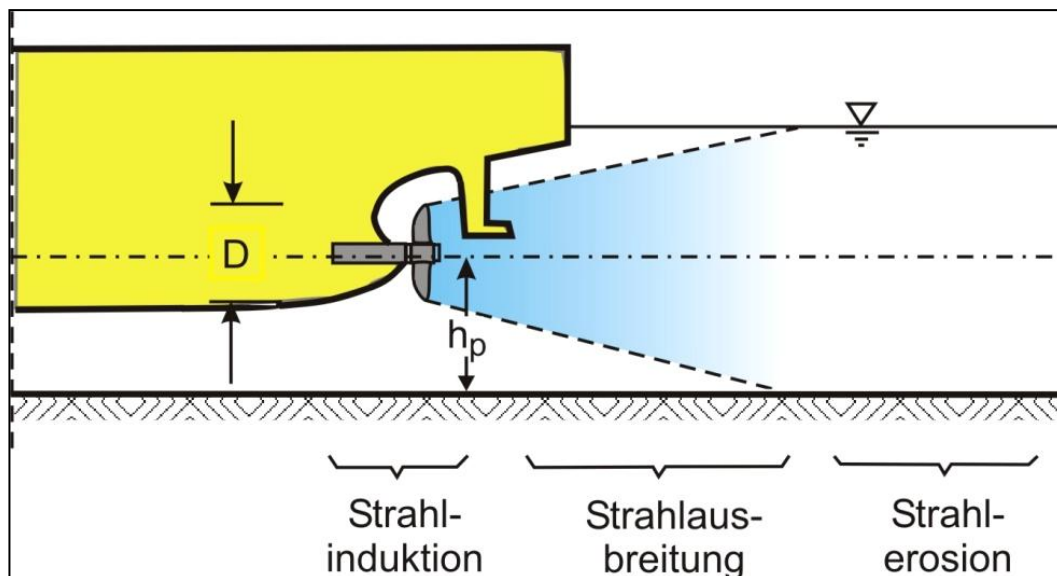
### 3.2 Propellerstrahl

In Häfen legen die großen Containerschiffe heutzutage vermehrt mit eigener Kraft an der Kaimauer ab- bzw. an. Aufgrund dieser Manöver, die unter Einsatz der Heckschraube und des Bugstrahlruders durchgeführt werden, kommt es zur Ausbildung von hochturbulenten Strahlerscheinungen. Diese werden im Folgenden erläutert.

In einem Propellerstrahl lassen sich drei typische Zonen der Strahlentwicklung unterscheiden:

- Strahlinduktion
- Strahlausbreitung und
- Strahlerosion.

In Abbildung 3.4 werden diese Zonen anhand der Heckschraube dargestellt.



**Abb. 3.4: Zonen der Strahlentwicklung [Schmidt, 1998]**

Die Strahlinduktion erfolgt über die Rotation des Propellers mit dem Durchmesser  $D$  und der Höhe  $h_p$  (Abstand zwischen Propellerachse und Sohle). Diese Parameter sind in Abbildung 3.4 aufgezeigt. Aufgrund der Umdrehungen des Propellers wird der Strahl induziert, sodass ein Impuls entsteht, der über seine gesamte Lauflänge erhalten bleibt. Die Wasserpartikel werden beschleunigt und

erhalten auf diese Weise eine Geschwindigkeit in axialer, radialer und tangentialer Richtung.

Durch intensiv turbulente Austausch- und Vermischungsprozesse, mit dem umliegenden Wasser weitet sich der Strahl über seine Länge auf. Der Strahldurchmesser vergrößert sich und die Zentralgeschwindigkeit (Achsgeschwindigkeit)  $v_{x,max}$  nimmt mit zunehmendem Abstand zum Propeller ab.

Sobald die Strahlausbreitung durch beispielsweise die Sohle behindert wird, erfolgt die Strahlerosion.

### 3.2.1 Induzierte Anfangsgeschwindigkeit

Die maßgebende Größe im Bereich der Strahlinduktion ist die induzierte Anfangsgeschwindigkeit. Sie bestimmt die Geschwindigkeiten im gesamten Propellerstrahl. Die Belastung auf die Hafenstrukturen (Kaimauern, Böschungen und Sohlen) lassen sich aus dieser Größe ermitteln.

In der einfachen Strahlentheorie des Propellers wird der Propeller als idealer Druckbeschleuniger angenommen (vgl. Abb. 3.5). Für den erzeugten Schub  $T$ , unter Anwendung der Bernoulli'schen Gleichung, ergibt sich nach RÖMISCH [1993] für den Bereich vor und hinter einem freien Propeller:

$$T = \rho_W * v_0 * \frac{\pi * D^2}{4} * \left( v_A + \frac{v_0}{2} \right) \quad \text{Gl. 3-1}$$

mit

$T$	Schubkraft hinter dem Propeller	[N]
$\rho_W$	Dichte des Wassers	[kg/m <sup>3</sup> ]
$v_0$	erzeugte Strahlgeschwindigkeit hinter dem Propeller (= induzierte Anfangsgeschwindigkeit)	[m/s]
$D$	Propellerdurchmesser	[m]
$v_A$	Anströmungsgeschwindigkeit des Propellers	[m/s].

Weiterhin gilt nach der schiffbaulichen Propellerbemessung:

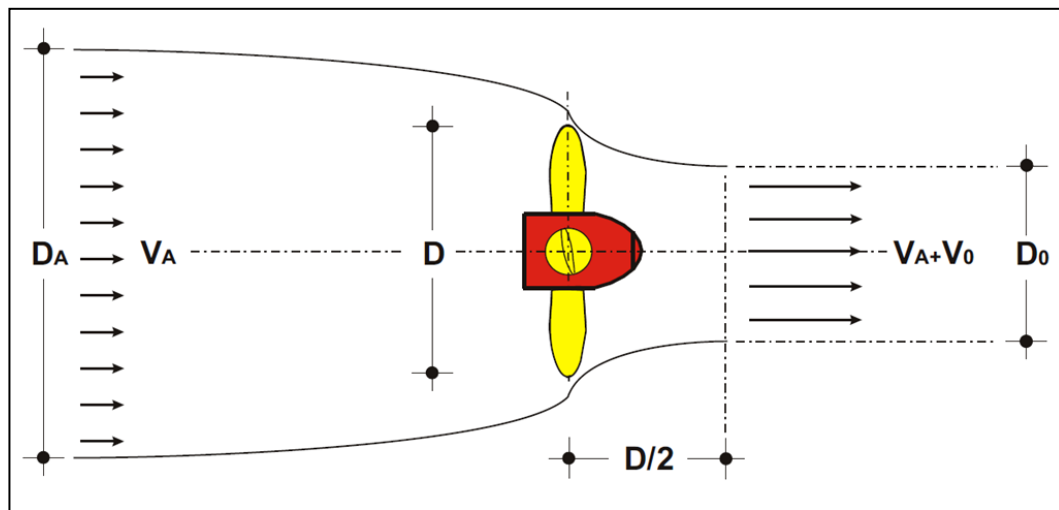
$$T = \rho_W * n^2 * D^4 * k_T \quad \text{Gl. 3-2}$$

mit

$n$  Umdrehungen des Propellers [U/min]

$k_T$  Schubbeiwert des Propellers, = 0,25 bis 0,5 [-].

Abbildung 3.5 zeigt den Propeller als idealen Druckbeschleuniger mit der Anströmungsgeschwindigkeit  $v_A$ . Dargestellt wird die Veränderung der Geschwindigkeit von  $v_A$  zu  $v_A + v_0$  beim Durchströmen durch den Propeller.



**Abb. 3.5: Der Propeller als idealer Druckbeschleuniger**

Durch das Gleichsetzen der Gleichungen 3-1 und 3-2 ergibt sich für den Manöverzustand  $v_A = 0$  (Schiff fährt aus dem Stand an) die erzeugte Strahlgeschwindigkeit hinter einem Propeller, die als induzierte Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  bezeichnet wird:

$$v_0 = 1,6 * n * D * \sqrt{k_T}. \quad \text{Gl. 3-3}$$

Für einen mittleren Schubbeiwert von  $k_T = 0,35$  folgt nach den EAU [2004] für  $v_0$ :

$$v_0 = 0,95 * n * D. \quad \text{Gl. 3-4}$$

In Abhängigkeit der Propellerleistung gilt nach den EAU [2004] der folgende Ansatz:

$$v_0 = C_p * \left( \frac{P}{\rho_W * D^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Gl. 3-5}$$

mit

$C_p$  Faktor für Rohrgeometrie und den Austrittsquerschnitt [-]

$P$  Propellerleistung [kW].

Es liegen unterschiedliche, aus Modellversuchen entwickelte, Ansätze zur Bestimmung von  $C_p$  vor. Nach RÖMISCH [1993] gilt  $C_p = 1,48$  für einen freien Propeller bzw.  $C_p = 1,17$  für einen ummantelten Propeller. In NIELSON [2005] wird  $C_p$  mit einem mittleren Wert von 1,37 angenommen.

### Unterscheidung freier und ummantelter Propeller

Nach Gleichung 3-5 ist es möglich über den Faktor  $C_p$  zwischen einem freien und einem ummantelten Propeller zu unterscheiden. Im GBB [2004] geschieht dies, anhand des Faktors  $C_p$  und der Berechnung des Schubbeiwertes.

Für einen freien Propeller berechnet sich  $v_0$  nach dem GBB [2004], analog zu Gleichung 3-3 mit einem zusätzlichen Faktor  $f_N$ , welcher die einzusetzende Propellerdrehzahl berücksichtigt, zu:

$$v_0 = 1,6 * f_N * n * D * \sqrt{k_T} \quad \text{Gl. 3-6}$$

mit

$f_N$  Faktor für die einsetzbare Propellerdrehzahl [-].

Die Begrenzung des Schubbeiwertes  $k_T$  (für den Bereich  $0 < P_S/D < 1,4$ ) erfolgt über den folgenden Ansatz:

$$k_T = 0,55 * \frac{P_S}{D} \quad \text{Gl. 3-7}$$

mit

$$P_S \quad \text{Konstruktionssteigung} \quad [\text{m}]$$

$$\frac{P_S}{D} \quad \text{Konstruktionssteigungsverhältnis} \quad [-].$$

Analog zu Gleichung 3-5 berechnet sich  $v_0$ , bei Kenntnis der Leistung  $P$  zu:

$$v_0 = C_P * \left( \frac{P * f_P}{\rho_W * D^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Gl. 3-8}$$

mit

$$C_P = 1,5 \text{ (für einen freien Propeller)} \quad [-]$$

$$P \quad \text{Propellerleistung} \quad [\text{kW}]$$

$$f_P \quad \text{Faktor zur einsetzbaren Maschinenleistung} \quad [-].$$

Für einen ummantelten Propeller gilt unter Berücksichtigung der Leistung  $P$  die Gleichung 3-8 mit  $C_P = 1,2$  bis  $1,4$ . Bei Kenntnis der Umdrehungen  $n$  gilt Gleichung 3-6, unter Berücksichtigung eines Faktors von  $\sqrt{0,5}$  und dem Schubbeiwert nach Gleichung 3-10, sodass für  $v_0$  folgt:

$$v_0 = 1,6 * \sqrt{0,5} * f_N * n_{Nenn} * D * \sqrt{k_{T,DP}} \quad \text{Gl. 3-9}$$

mit

$$k_{T,DP} \quad \text{Schubbeiwert des Propellers} \quad [-].$$

Als obere Grenze von  $k_{T,DP}$  kann für  $0 < P_S < 1,8$  die folgende Abschätzung nach GBB [2004] erfolgen:

$$k_{T,DP} = 0,67 * \frac{P_S}{D} \quad \text{Gl. 3-10}$$

### **Einfluss der Schiffsgeschwindigkeit**

Bewegt sich das Schiff mit einer bestimmten Geschwindigkeit, wirkt auf den Propeller, wie in Abbildung 3.5 dargestellt, die Geschwindigkeit  $v_A$ . Die induzierte Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  verändert sich zu  $v_{0,J}$  [GBB, 2004].

Bei freien Propellern tritt, bei geringer Schiffsgeschwindigkeit  $v_A$ , eine Absenkung von  $v_{0,J}$  auf. Erhöht sich die Geschwindigkeit des Schiffes, steigt auch die Geschwindigkeit  $v_{0,J}$ , sodass für Konstruktionssteigungsverhältnisse  $\frac{P_S}{D}$  im praxisrelevanten Bereich  $v_{0,J} = v_0$  gesetzt wird. Das Ansteigen der Geschwindigkeit ist von dem Verhältnis  $\frac{P_S}{D}$  abhängig.

Durch Ermittlung des Schubbeiwertes  $K_{T,J}$ , ist es möglich die obere Grenze von  $v_{0,J}$  genauer abzuschätzen. Mit

$$K_{T,J} = 0,55 * \frac{P_S}{D} - 0,46 * J \quad \text{Gl. 3-11}$$

berechnet sich  $v_{0,J}$  bei einem freien Propellers mit beliebiger Schiffsgeschwindigkeit zu:

$$v_{0,J} = \frac{\sqrt{(J^2 + 2,55 * k_{T,J})}}{\sqrt{1,40 * \frac{P_S}{D}}} * v_0. \quad \text{Gl. 3-12}$$

Bei ummantelten Propellern wird für alle Schiffsgeschwindigkeiten  $v_{0,J} = v_0$  angenommen. Es gilt unter der Abschätzung von  $K_{T,DPJ}$  mit:

$$K_{T,DPJ} = 0,67 * \frac{P_S}{D} - 0,77 * J \quad \text{Gl. 3-13}$$

für  $v_{0,J}$  bei beliebiger Schiffsgeschwindigkeit als obere Grenze für :

$$v_{0,J} = \frac{\sqrt{(J^2 + 5,10 * K_{T,DPJ})}}{\sqrt{3,41 * \frac{P_S}{D}}} * v_0 \quad \text{Gl. 3-14}$$

mit:



$$J \quad \text{Propellerfortschrittsgrad} = \frac{v_A}{n * D} \quad [-].$$

### Internationaler Ansatz der induzierten Anfangsgeschwindigkeit

Der internationale Ansatz zur Berechnung der induzierten Anfangsgeschwindigkeit berücksichtigt, an Stelle des realen Durchmessers  $D$ , den sogenannten eingeschnürten Durchmesser  $D_0$ . Nach BLAAUW und VAN DE KAA [1978] ergibt sich der Ansatz nach Gleichung 3-5 wie folgt:

$$v_0 = 1,15 * \left( \frac{P}{\rho_w * D_0^2} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad \text{Gl. 3-15}$$

Der Maximalwert von  $v_0$  stellt sich bei Propellern ohne Düse im Abstand  $D/2$  hinter der Propellerebene am Ort der maximalen Strahlkontraktion ein (vgl. Abb. 3.6). Der Strahlquerschnitt wird an dieser Stelle als eingeschnürter Querschnitt bezeichnet und erreicht einen eingeschnürten Durchmesser von:

$$D_0 \geq \frac{D}{\sqrt{2}}. \quad \text{Gl. 3-16}$$

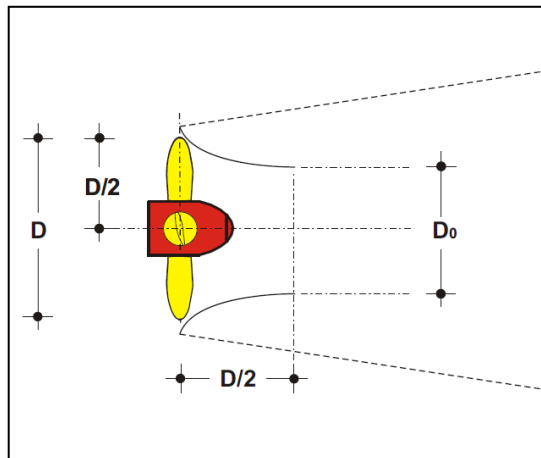
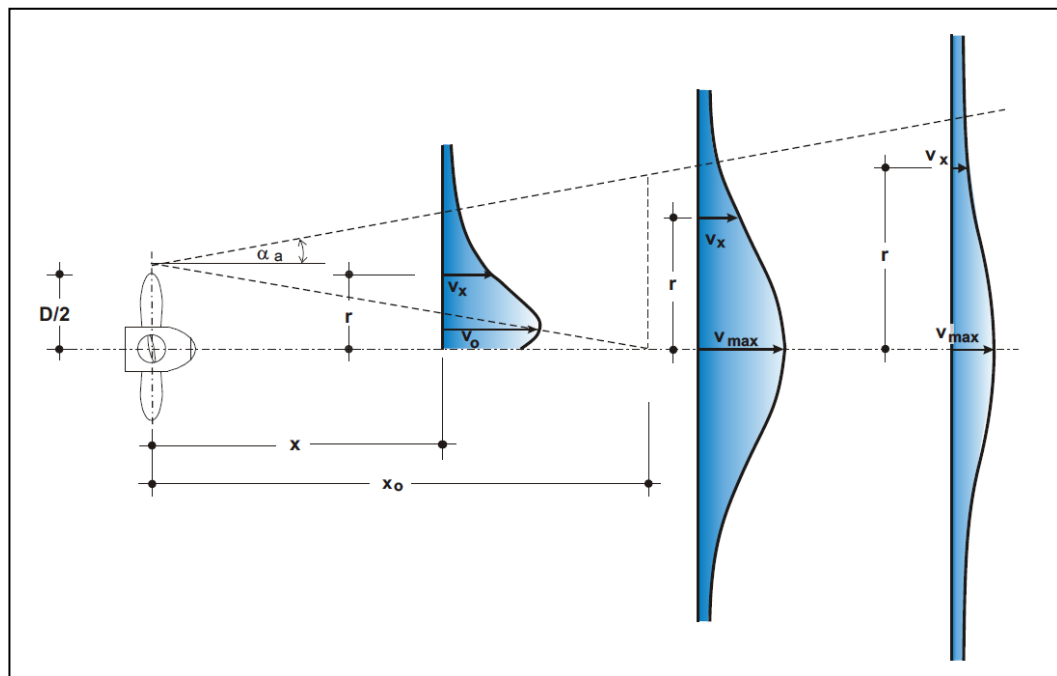


Abb. 3.6: Darstellung des eingeschnürten Strahlquerschnitts  $D_0$

### 3.2.2 Geschwindigkeitsverteilung im Strahl

Die zu Beginn dieses Kapitels genannten Zonen der Strahlentwicklung (Strahlinduktion, Strahlausbreitung und Strahlerosion) werden im Hinblick auf die Geschwindigkeitsverteilung im Strahl erläutert. Die Theorie von ALBERTSON ET AL. [1948] in BLAAUW und VAN DE KAA [1978] dient der Berechnung der Geschwindigkeit  $v_x$  an jeder beliebigen Stelle im Strahl.

Abbildung 3.7 zeigt die Geschwindigkeitsverteilungen im Strahl während der Strahlinduktion und der Strahlausbreitung.



**Abb. 3.7: Geschwindigkeitsverteilung im Strahl nach der Theorie von ALBERTSON ET AL. [1948], in [SCHMIDT, 1998]**

#### Strahlinduktion

Während der Strahlinduktion entwickelt sich der Strahl, ohne dass der äußere Teil des Propellers entlang der  $x$ -Achse einen Einfluss nimmt. In dieser sogenannten Kernzone mit  $x < x_0$ , wie in Abbildung 3.7 dargestellt, ist die maximale Geschwindigkeit entlang der  $x$ -Achse konstant und berechnet sich nach BLAAUW und VAN DE KAA [1978] zu:

$$\frac{v_{x,max}}{v_0} = 1. \quad \text{Gl. 3-17}$$

Die Größe dieser Zone wird anhand von Untersuchungen von RÖMISCH [1975] in SCHOKKING [2002] für den Heckpropeller mit  $x_0/D = 2,6$  ermittelt.

Die Berechnung der Geschwindigkeit  $v_x$  an einem beliebigen Punkt im Bereich der ungestörten Strahlausbreitung erfolgt nach BLAAUW und VAN DE KAA [1978] als:

$$\frac{v_x}{v_0} = e^{\left[ \frac{(r+cx-D_0/r)^2}{2*(cx)^2} \right]} \quad \text{Gl. 3-18}$$

mit

$v_x$       Geschwindigkeit an einem beliebigen Punkt im Strahl      [m/s]

$D_0$       eingeschnürter Durchmesser nach Gl. 3-16      [m]

$x$       Abstand vom Propeller      [m]

$r$       radialer Abstand zur x-Achse ( $r > 0$ ),      [m]

für  $r = 0$  gilt Gl. 3-17

$c$       Konstante der Geschwindigkeitsfunktion      [-].

= 0,19 (für einen freien Propeller)

= 0,17 (für einen ummantelten Propeller)

### Strahlausbreitung

Für den Bereich der Strahlausbreitung mit  $x > x_0$ , gilt nach BLAAUW und VAN DE KAA [1978] für die maximale Geschwindigkeit entlang der x-Achse:

$$\frac{v_{x,max}}{v_0} = \frac{1}{2*c_1} * \left( \frac{x}{D_0} \right)^{-1}. \quad \text{Gl. 3-19}$$

Die radiale Geschwindigkeit  $v_x$  an jedem beliebigen Punkt im Strahl kann nach BLAAUW und VAN DE KAA [1978] mithilfe der Gauß-Verteilung beschrieben werden:

$$\frac{v_x}{v_{x,max}} = e^{\left[-\frac{1}{r \cdot c_2^2} * \frac{r^2}{x^2}\right]} \quad \text{Gl. 3-20}$$

mit

$v_{max}$  maximale Geschwindigkeit nach Gl. 2-17 [m/s]

$x$  Abstand vom Propeller [m]

$r$  radialer Abstand zur x-Achse [m]

$c_1, c_2$  Konstanten [-].

Für die Konstanten  $c_1$  und  $c_2$  liegen verschiedene empirische Ansätze vor. Für die ermittelten Werte von FÜHRER, ET AL. [1977] in SCHOKKING [2002] folgt:

für  $c_1 = 0,192$

$$\frac{v_{x,max}}{v_0} = 2,6 * \left(\frac{x}{D}\right)^{-1} \quad \text{Gl. 3-21}$$

und für  $c_2 = 0,15$

$$\frac{v_x}{v_{x,max}} = e^{\left[-22,2 * \frac{r^2}{x^2}\right]} \quad \text{Gl. 3-22}$$

*Hinweis:* In Gleichung 3-21 ist der reale Durchmesser  $D$  einzusetzen, obwohl diese sich aus Gleichung 3-19 ableitet (Umrechnung nach Gl. 3-16:  $D = \sqrt{2} * D_0$ ).

### Strahlerosion

Wird die Strahlausbreitung durch den Wasserspiegel, die Sohle oder einer seitlichen Begrenzung behindert, kommt es zur Strahlerosion. In diesem Bereich berechnet sich  $v_{x,max}$  zu:

$$\frac{v_{x,max}}{v_0} = A * \left(\frac{x}{D}\right)^{-a} \quad \text{Gl. 3-23}$$

Der Parameter  $A$  berücksichtigt die Anordnung des Propellers und des Ruders.  
Für einen Heckpropeller ohne Zentralruder gilt nach Römisch [1993]:

$$A = 1,88 * e^{(-0,092 * \frac{h_P}{D})}. \quad \text{Gl. 3-24}$$

mit

$h_P$  Abstand Propellerachse zur Sohle nach Abb. 3.4 [m]

Für einen Heckpropeller mit einem Zentralruder berechnet sich  $A$  nach [RÖMISCH, 1993] zu:

$$A = 1,88 * e^{(-0,161 * \frac{h_P}{D})}. \quad \text{Gl. 3-25}$$

Der Parameter  $a$  ist von den, im Kapitel 3.2.3 dargestellten, Standardsituationen der Strahlausbreitung abhängig und liegt zwischen  $a = 0,6$  und  $a = 1,62$  [GBB, 2004]. In SCHMIDT [1998] wird zwischen  $a = 0,6$  für den Fall der seitlichen Strahlbegrenzung durch Sohle und Wasserspiegel und  $a = 0,3$  für die seitliche Strahlbegrenzung durch Sohle, Wasserspiegel und Kaiwand unterschieden.

Aus diesen Annahmen ergibt sich folgender Ansatz für die maximale Sohlgeschwindigkeit  $v_{max,So}$ :

$$\frac{v_{max,So}}{v_0} = E * \left(\frac{h_P}{D}\right)^{-1}. \quad \text{Gl. 3-26}$$

Unter Verwendung von Gleichung 3-4 zur Ermittlung der induzierten Anfangsgeschwindigkeit ergibt sich:

$$v_{max,So} = 0,95 * n * E * \frac{D^2}{h_P} \quad \text{Gl. 3-27}$$

mit

$E = 0,71$  (für ein Seeschiff mit Zentralruder) [-]  
 $E = 0,42$  (für ein Seeschiff ohne Zentralruder)  
 $E = 0,25$  (für ein Binnenschiff mit Tunnelheck<sup>1</sup> und Zwillingsruder).

---

<sup>1</sup> Das Heck von Binnenschiffen, deren Unterwasserteil sich tunnelartig wölbt, wird als Tunnelheck bezeichnet

### 3.2.3 Standardsituationen der Strahlausbreitung

Wie im vorherigen Kapitel erläutert, wird im Bereich der Strahlerosion, die Strahlausbreitung durch den Wasserspiegel, die Sohle oder einer seitlichen Begrenzung behindert. Im GBB [2004] werden die folgenden vier Standardsituationen der Strahlausbreitung unterschieden:

1. Strahlausbreitung ohne seitliche Begrenzung und ohne Strahlteilung
2. Strahlausbreitung ohne seitliche Begrenzung und mit Strahlteilung
3. Strahlausbreitung mit seitlicher Begrenzung und mit Strahlteilung und
4. Strahlausbreitung mit Begrenzung durch Prallwand und ohne Strahlteilung.

Die wesentlichen Randbedingungen der Strahlgeometrie sind demnach die Ruderanordnung des Schiffes und die Begrenzung durch die Wasseroberfläche, die Sohle oder die Kaimauer.

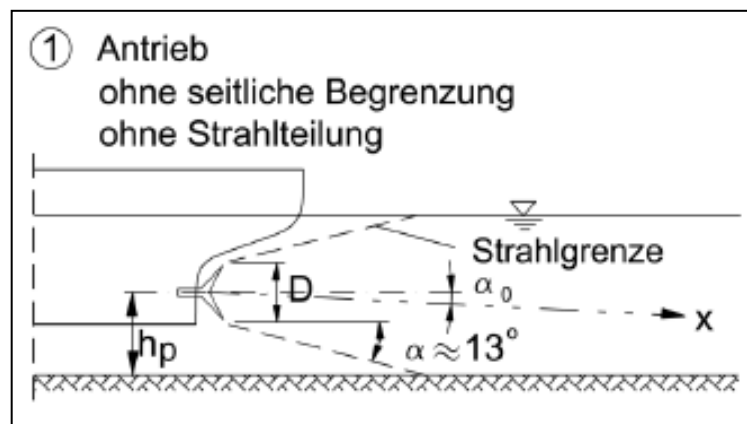


Abb. 3.8: Standardsituation 1 [GBB, 2004]

Bei der *Standardsituation 1*, wie Abbildung 3.8 zeigt, ist der Schraube kein Zentralruder nachgeordnet, sodass keine Strahlteilung stattfindet. Der Strahl kann sich zu den Seiten hin ausbreiten und wird nur durch die Wassertiefe begrenzt.

Die Zunahme des Strahlkegeldurchmessers  $d_x$  kann über den folgenden Ansatz bestimmt werden:

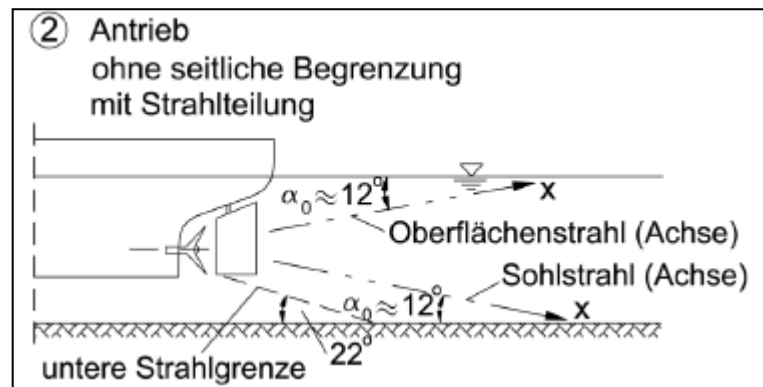
$$d_x = D + 2 * x * \tan \alpha \quad \text{Gl. 3-28}$$

mit

$x$  Entfernung von der Propellerebene [m]

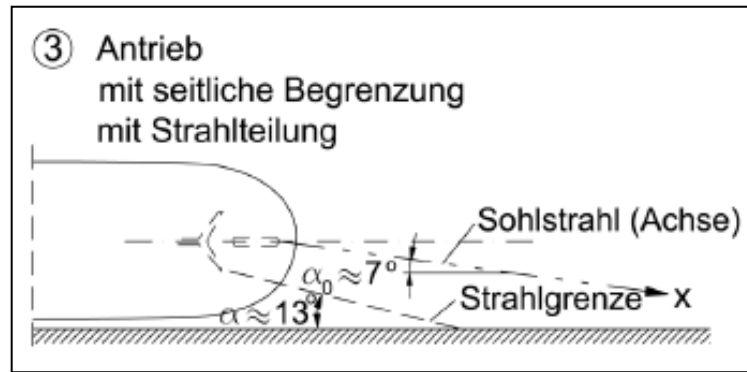
$\alpha$  äußerer Strahlbegrenzungswinkel [°].

Die Ablenkung der Strahlachse zur Sohle beträgt für einen freien Propeller  $\alpha_0 \approx 2,5^\circ$  und für einen ummantelten Propeller  $\alpha_0 \approx 0^\circ$ . Der äußere Strahlbegrenzungswinkel beträgt in allen Fällen  $\alpha = 13^\circ$  (vgl. Abb. 3.8).



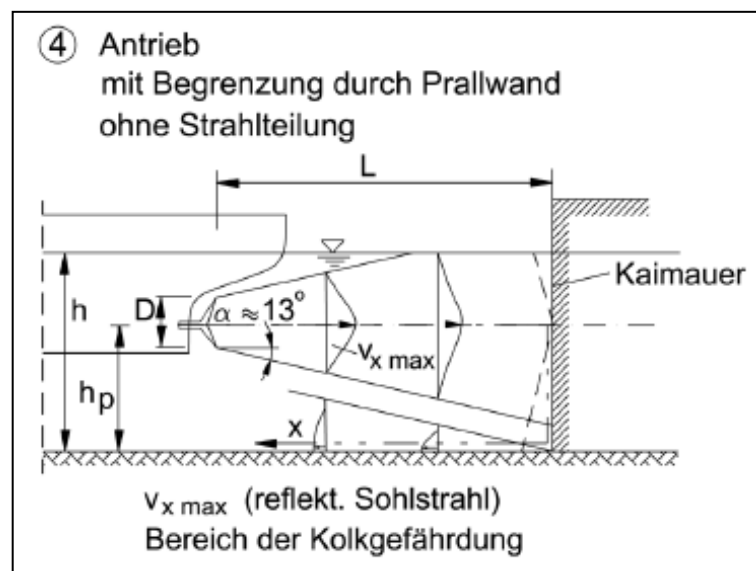
**Abb. 3.9: Standardsituation 2 [GBB, 2004]**

In Abbildung 3.9 ist die *Standardsituation 2* dargestellt. Durch ein nachgeordnetes Zentralruder wird der Strahl in einen Sohl- und einen Oberflächenstrahl aufgeteilt. Die Strahlausbreitung erfolgt mit einer Ablenkung der Strahlachsen (der beiden Teilstrahlen zur Sohle bzw. zur Wasseroberfläche) von jeweils  $\alpha_0 \approx 12^\circ$ . Der äußere Strahlbegrenzungswinkel beträgt gegen die Sohle  $\alpha \approx 13^\circ$  (vgl. Abb. 3.9)



**Abb. 3.10:** Standardsituation 3 [GBB, 2004]

Die *Standardsituation 3*, beschreibt das Ablegen von einer senkrechten Kaimauer. Hierbei findet durch das nachgeordnete Ruder eine Strahlteilung bei gleichzeitiger Strahlablenkung statt. Außerdem wird der Strahl durch die seitliche Kaimauer begrenzt. Diese Situation ist in Abbildung 3.10 (Draufsicht) dargestellt. Die Strahlausbreitung erfolgt mit einer seitlichen Ablenkung von  $\alpha_0 \approx 7,0^\circ$  (horizontal) und einem äußeren Strahlbegrenzungswinkel von ca.  $\alpha = 13^\circ$  (horizontal gegen die Kaimauer) und  $\alpha = 12^\circ$  (vertikal gegen die Sohle).



**Abb. 3.11:** Standardsituation 4 [GBB, 2004]



In Abbildung 3.11 ist die *Standardsituation 4* dargestellt. Bei einer vertikalen Begrenzung der Strahlausbreitung in Strahlrichtung findet eine Umlenkung zu den Seiten und der Sohle statt, wobei ein reflektierter Sohlstrahl entsteht. Die Strahlausbreitung erfolgt ohne Ablenkung der Strahlachse zur Sohle ( $\alpha_0 = 0^\circ$ ). Der äußere Strahlbegrenzungswinkel beträgt, ebenso wie der umgelenkte Sohlstrahl, ca.  $\alpha = 13^\circ$ .

Zwischensituationen können durch eine geeignete Parameterwahl dargestellt werden [GBB, 2004].

### 3.2.4 Strahlerzeugung eines Bugstrahlruders

Die, anhand des Heckpropellers, dargestellten theoretischen Grundlagen zur schiffsbedingten Strahlerzeugung sind auf das Bugstrahlruder übertragbar. Allerdings werden die Gleichungen, aus den vorigen Kapiteln, den Besonderheiten des Bugstrahlruders angepasst und nachfolgend erläutert.

Der Ansatz für die induzierte Anfangsgeschwindigkeit eines Bugstrahles kann aufbauend auf der vereinfachten Strahltheorie des Propellers ermittelt werden. Der installierte Propeller saugt die Flüssigkeit aus der Einlaufumgebung an und stößt sie beschleunigt als Strahl aus. Hierbei wird der Schub  $T$  erzeugt, mit dem die Steuerung des Schiffes möglich ist. Die induzierte Geschwindigkeit am Austritt des Bugstrahlruders berechnet sich nach RÖMISCH [1993] zu:

$$v_{0.B} = \left[ P_B * \frac{8}{\pi * \rho_W} * \frac{1}{(1 + \sum \zeta) * D_B^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Gl. 3-29}$$

mit

$P_B$	Leistung des Bugstrahlruders	[kW]
$1 + \sum \zeta$	= 1 bis 5, nach VOLLHEIM [1979] in RÖMISCH [1993]	[-]
$D_B$	Durchmesser der Bugstrahlruderöffnung	[m].

Nach den EAU [2004] ergibt sich für einen mittleren Wert von  $(1+\sum \zeta) \approx 2.25$  der folgende Ansatz:

$$v_{0,B} = 1,04 * \left[ \frac{P_B}{\rho_W * D_B^2} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad \text{Gl. 3-30}$$

Der Ansatz nach BLAAUW und VAN DE KAA [1978] berücksichtigt das Bugstrahlruder als einen ummantelten Propeller und berechnet die induzierte Anfangsgeschwindigkeit des Bugstrahlruders  $v_{0,B}$  mit:

$$v_{0,B} = 1,1 * \left[ \frac{P_B}{\rho_W * D_B^2} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad \text{Gl. 3-31}$$

Die Berechnung in Abhängigkeit der Leistung  $P_B$  und des Schubbeiwertes erfolgt nach dem GBB [2004] analog zu Gleichung 3-3:

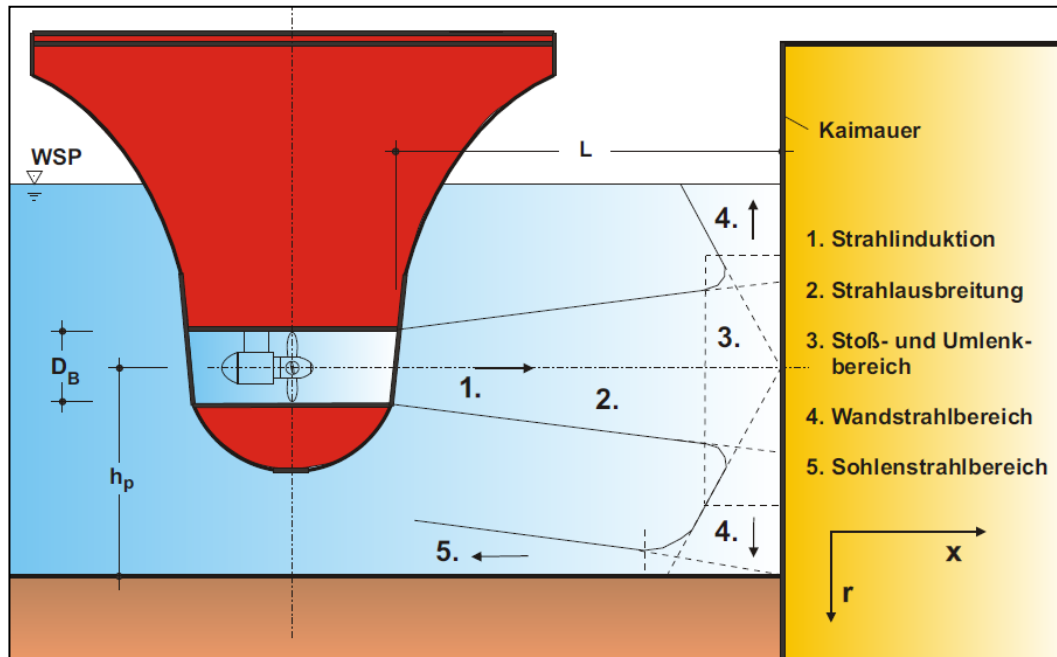
$$v_0 = 1,13 * n * D * \sqrt{k_{T,DP}}. \quad \text{Gl. 3-32}$$

### **Strahlausbreitung eines Bugstrahlruders**

Ein Bugstrahler wird hauptsächlich bei den Ab- und Anlegemanövern der Schiffe im Hafen eingesetzt. Die Begrenzung und somit die Beeinträchtigung des Propellerstrahls erfolgt durch die Kaimauer.

Der erzeugte Strahl trifft auf die Kaimauer und wird dort allseitig umgelenkt. Nach SCHMIDT [1998] ergeben sich, wie in Abbildung 3.12 dargestellt, fünf unterschiedliche Zonen der Strahlausbreitung:

1. Strahlinduktion
2. Strahlausbreitung
3. Stoß- und Umlenkbereich
4. Wandstrahlbereich und
5. Sohlenstrahlbereich.



**Abb. 3.12: Propellerstrahlzonen eines Bugstrahlruders beim Auftreffen auf eine Kaimauer nach SCHMIDT [1998]**

Die Geschwindigkeiten in den einzelnen Zonen werden maßgebend anhand des Durchmessers des Bugstrahlers  $D_B$ , dem Abstand zwischen Propeller und Kaimauer  $L$ , sowie dem Abstand von Propellerachse und Sohle  $h_p$  bestimmt (vgl. Abb. 3.12). Die Ausbreitung der Geschwindigkeiten in horizontaler Richtung wird als Fortschreiten in  $x$ -Richtung und die vertikale Ausrichtung als Fortschreiten in  $r$ -Richtung beschrieben (analog zu Abb. 3.7).

Bei der Strahlinduktion und der Strahlausbreitung hängt die Geschwindigkeitsverteilung von dem Verhältnis  $L$  zu  $D_B$  ab. Aus der grafischen Auswertung von Messdaten ergibt sich für die Abnahmecharakteristik des Propellerstrahls [SCHMIDT, 1998]:

$$\frac{v_{x,max}}{v_0} = 2,0 * \left[ \frac{L}{D_B} \right]^{-1,0} \quad \text{Gl. 3-33}$$

mit

$L$  Abstand zwischen Propeller und Kaimauer (Abb. 3.12) [m]

$D_B$  Propellerdurchmesser des Bugstrahlruders (Abb. 3.12) [m]

Unter der Annahme, dass zwischen der Strahlinduktion und der Strahlausbreitung Kontinuität herrscht, muss nach SCHMIDT [1998] die Länge der ersten Zone  $x_0 = 2,0 * D$  betragen. Im Vergleich dazu ergibt sich aus der Gleichung 3-21 für einen freien Propeller eine Länge von  $x_0 = 2,6 * D$ .

Im Stoß- und Umlenkbereich wird die kinetische Energie aus dem Strahl in Druck umgewandelt. Dieser Druck ist an dem Punkt am größten, an dem die Geschwindigkeit gleich Null ist. Nach KRAATZ [1989] in SCHOKKING [2002] findet diese Umwandlung im Bereich von  $x = 0,3 * L$  vor der Kaimauer statt.

Die Zone der Strahlausbreitung wird demnach auf  $2,0 * D < x \leq 0,7 * L$  begrenzt.

Im Wandstrahlbereich bildet sich aus dem horizontalen Strahl ein vertikaler Wandstrahl. Der Druck wandelt sich wieder in kinetische Energie (Geschwindigkeit) um. Sofern  $r_0 < r \leq 0,7 * L$  findet diese Umwandlung erneut statt, sodass die maximale Geschwindigkeit bei  $r = 0,7 * L$  erreicht wird [KRAATZ, 1989 in SCHOKKING, 2002].

Die Geschwindigkeit im Sohlenstrahlbereich ist nach Gl. 3-32 zu berechnen. In diesem Ansatz werden die Energieverluste aufgrund der Reflexion an der Wand vernachlässigt [RÖMISCH, 1975]. Die Sohlgeschwindigkeit entspricht daher der Geschwindigkeit in der freien Strahlausbreitung:

$$\frac{v_{x, \text{Sohle}}}{v_{0,B}} = 2,0 * \left[ \frac{L}{D_B} \right]^{-1,0} \quad \text{Gl. 3-34}$$

Der nach unten gerichtete Strahlenteil hat wesentliche Auswirkungen auf die Sohle und kann Auskolkungen verursachen.

Der Ansatz von BLOKLAND [1994] ermittelt für die maximale Strahlgeschwindigkeit, an der Sohle am Fuß der Kaimauer:

für  $\frac{L}{h_p} \leq 1,8$  gilt:

$$v_{max,S,K} = 1,0 * \frac{v_0 * D}{h_p} \quad \text{Gl. 3-35}$$

und für  $\frac{L}{h_p} \geq 1,8$  gilt:

$$v_{max,S,K} = 2,8 * \frac{v_0 * D}{L + h_p} \quad \text{Gl. 3-36}$$

mit

$h_p$  Abstand von Propellerachse zu Sohle [m]

$L$  Abstand der Austrittsfläche Bugstrahlruder zur Kaimauer [m].

Weiterhin gilt für die Umlenkung an der Kaimauer für die weitere Abnahme des Strahls in Abhängigkeit vom Abstand  $x_k$  von der Kaimauer nach BLOKLAND [1994]:

$$v_{max,S,xK} = \left( \frac{L * h_p}{x} \right)^{1,62} \quad \text{Gl. 3-37}$$

mit

$x$  Entfernung entlang der Strahlachse [m]

ab Düsenaustritt über Kaimauer und Sohle

$$= L + h_p + x_k$$

$x_k$  Abstand des umgelenkten Strahls auf der Sohle, [m]

ab Kaimauer.

Trifft der Strahl nicht auf eine Kaimauer, sondern auf ein geböschtes Ufer, ergibt sich aus Messungen von SCHOKKING [2002], der folgende Ansatz für die maximale axiale Strömungsgeschwindigkeit  $v_{max}$  :

für den Bereich  $\frac{x}{D} \leq 1,0$ :

$$v_{max} = v_0 \quad \text{Gl. 3-38}$$

und für  $\frac{x}{D} > 1,0$

$$v_{max} = v_0 * \left(\frac{x}{D}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad \text{Gl. 3-39}$$

Bei einem Bugstrahlruder ist die Abnahme der induzierten Anfangsgeschwindigkeit geringer als bei einem freien Propeller.

## 4 Bemessung und Schutzmaßnahmen

### 4.1 Belastung der Kaimauern

Hinsichtlich der Schäden, die aus der Belastung des Propellerstrahls entstehen, werden die Kaimauerkonstruktionen in vollwandige und offene Typen eingeteilt. In diesem Kapitel werden die vollwandigen Kaimauerkonstruktionen betrachtet. Bei dieser Art von Konstruktion liegt die Gefahr der Auskolkung am Fuß der Mauer. Die offenen Strukturen sind differenzierter zu untersuchen. Die Auskolkung um die Pfähle muss zum einen und der Kolk auf die Böschung zum anderen analysiert werden [PIANC, 2008]. Die Auswirkung des Propellerstrahls auf eine Böschung wird im folgenden Kapitel erläutert. Die Auskolkung um die Pfähle wird in dieser Arbeit nicht betrachtet.

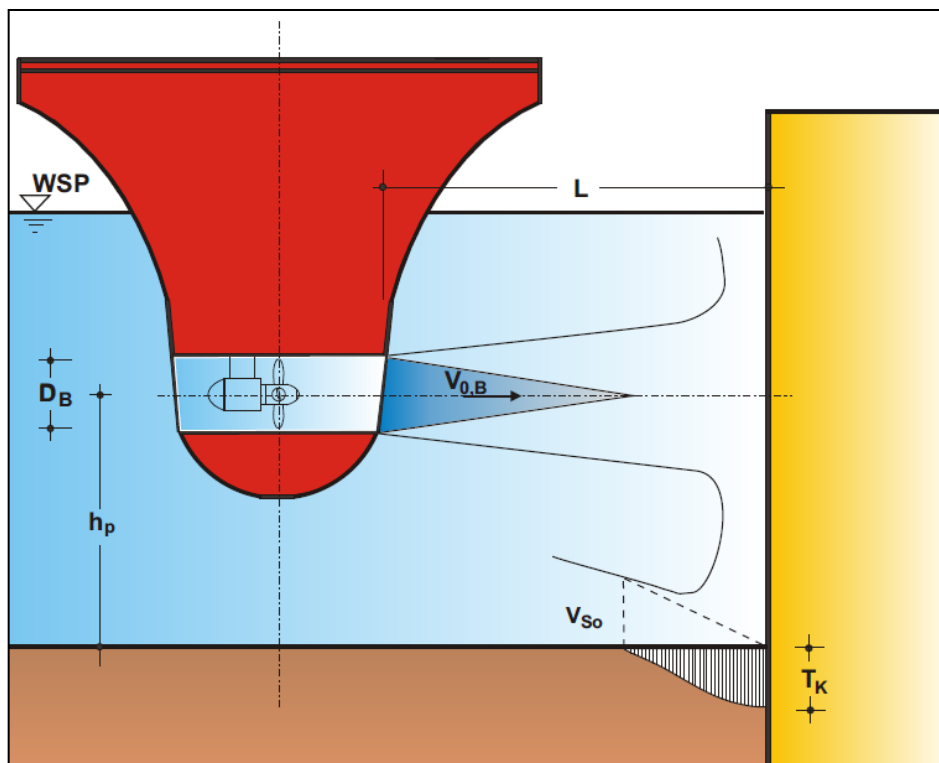


Abb. 4.1: Kolk vor der Kaimauer infolge der Belastung aus dem Bugstrahlruder [SCHMIDT, 1998]

Abbildung 4.1 stellt den Kolk am Fuß der Kaimauer dar, der sich infolge der Belastung des Bugstrahlruders einstellt. Der Propellerstrahl trifft, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, auf die Kaimauer und wird nach allen Seiten umgelenkt. Die Ablenkung zu den Seiten sowie nach oben wird nicht betrachtet. Der nach unten gerichtete Wandstrahl erreicht im Fußbereich der Mauer die Hafensohle. Dort wird er wiederum umgelenkt und kann wesentliche Auswirkungen auf die Sohle zur Folge haben. Es kann zu Auskolkungen mit der Tiefe  $T_K$  kommen. Die Standsicherheit der gesamten Kaimauer wird, aufgrund des Ausspülens bzw. der Auflockerung des stützenden Bodens vor dem Fuß der Kaimauer, gefährdet.

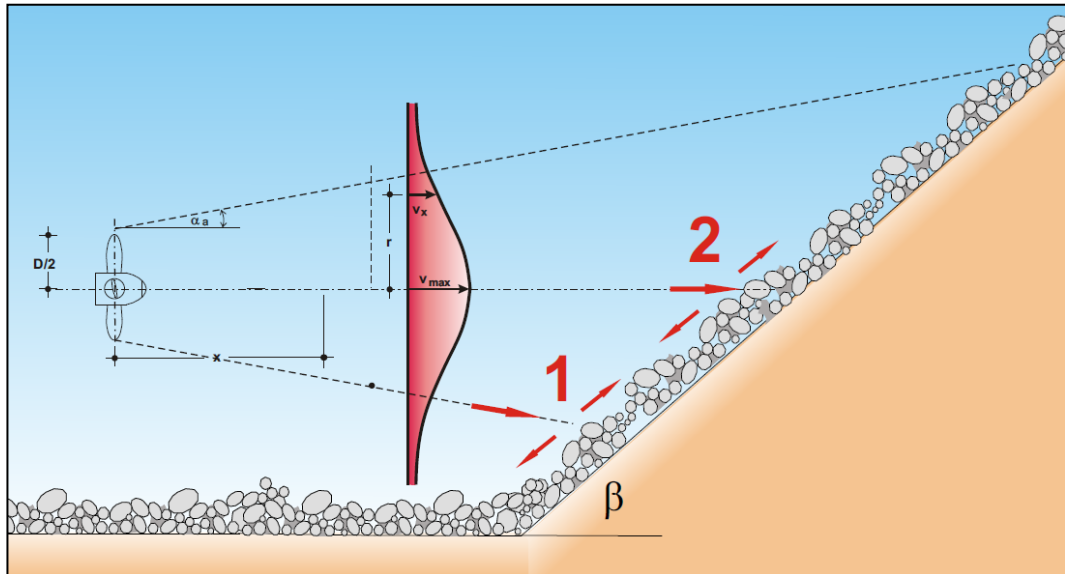
Die Belastung der Kaimauer infolge des Hauptantriebes ist vom Winkel abhängig, mit der das Ruder auf die Kaimauer zeigt. Modellversuche der *TU Dresden* zeigen, dass bereits Ruderwinkel von  $10^\circ$  den Propellerstrahl direkt zur Kaimauer richten [RÖMISCH, 1993].

## 4.2 Belastung der Böschungen und Sohlen

Die erforderliche Steingröße wird anhand der maximal auftretenden Geschwindigkeit ermittelt. An Böschungen sind als bemessungsrelevante Stellen, die in der Abbildung 4.2 dargestellten, *Punkte 1 und 2* zu untersuchen. An *Punkt 1* kann sich die maximale Geschwindigkeit einstellen, weil der Strahl zuerst an dieser Stelle auf die Böschung trifft. *Punkt 2* befindet sich auf der Achse mit der maximalen Geschwindigkeit im Strahl. Es ist demnach zu ermitteln, ob die abgebaute Geschwindigkeit auf der Achse (an *Punkt 2*) oder die Randgeschwindigkeit (*Punkt 1*), welche zuerst die Böschung erreicht, maßgebend ist.

Die Ermittlung der Geschwindigkeiten erfolgt nach der Theorie von ALBERTSON ET AL. in BLAAUW und VAN DE KAA [1978]. Anhand dieser ist die Berechnung der Geschwindigkeit  $v_x$  an jeder beliebigen Stelle im Strahl möglich. Die entsprechenden Gleichungen sind in Kapitel 3.2 dargestellt.





**Abb. 4.2: Belastung der Böschung infolge des Propellerstrahls**

Ziel der Steinschüttung ist es, die strömungsbedingten Angriffe aus dem Propellerstrahl aufzunehmen sowie Erosionen und Auskolkungen an den Böschungen zu verhindern. Dafür müssen die einwirkenden Kräfte kleiner sein als die widerstehenden.

Über den gesamten Bereich der Böschung, der von dem Propellerstrahl beeinflusst wird, bilden sich hochturbulente Strömungen aus. Im Vergleich zur Kaimauer, an der beim Umlenken und Fortschreiten des Strahls an der Wand, die Reibungsverluste vernachlässigt werden [RÖMISCH, 1975], sind die Reibungsverluste am Deckwerk zu betrachten.

Im Folgenden werden die bemessungsrelevanten Kräfte die sich infolge einer Strömung auf einen einzelnen Stein sowie auf einen Stein im Verbund ergeben, aufgezeigt. Für die Fälle an der Sohle und an der Böschung mit der Neigung  $\beta$  werden die Gleichgewichtsbedingungen formuliert.

Zu den Einwirkungen gehören die Schubkraft  $F_D$ , die aus dem Propellerstrahl resultiert, die Beschleunigungskraft  $F_S$  und die Liftkraft  $F_L$ . Als Widerstand wirken diesen Kräften das Eigengewicht der Steinschüttung  $G$  und die Reibungskraft  $F_R$  gegenüber.

Sind die einwirkenden Kräfte größer, als die widerstehenden, verursacht die böschungs- bzw. sohlparallele Schubkraft  $F_D$  ein Abgleiten oder Abschieben. Aufgrund der Liftkräfte  $F_L$  (senkrecht zur Schubspannung definiert) ist ein Abheben und Herauslösen von Abdeckelementen oder Einzelsteinen aus dem Verband möglich. Infolge der in Strömungsrichtung wirkenden Beschleunigungskräfte  $F_S$  kann es zu einem Abrutschen bzw. Abgleiten von einzelnen Steinen oder ganzen Elementen kommen [HANSEN, 1985].

#### 4.2.1 Bemessungsrelevante Kräfte

Die Schubkraft  $F_D$  auf einen Stein unter dem Einfluss strömungsbedingter Kräfte berechnet sich nach HANSEN [1985] zu:

$$F_D = c_D * \frac{\rho_W}{2} * A_D * v^2 \quad [\text{kN}] \quad \text{Gl. 4-1}$$

mit

$$c_D \quad \text{Anströmbeiwert, = 0,5} \quad [-]$$

$$\rho_W \quad \text{Dichte von Wasser} \quad [\text{t/m}^3]$$

$$A_D \quad \text{angeströmte Fläche} \quad [\text{m}^2]$$

$$v \quad \text{Strömungsgeschwindigkeit über der Sohle/Böschung} \quad [\text{m/s}].$$

Die Schubkraft  $F_D$  auf den Stein nach Gleichung 4-1 wird maßgeblich von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$ , die quadratisch in die Gleichung eingeht, und der Größe der angeströmten Fläche  $A_D$  beeinflusst. Die Schubkraft  $F_D$  wird mit steigendem  $v$  und  $A_D$  größer.

Die Beschleunigungskraft  $F_S$ , als vom Steinelement verdrängte und durch die Strömung beschleunigte Wassermenge, ergibt sich zu:

$$F_S = c_S * V * \rho_W * \frac{dv}{dt} \quad [\text{kN}] \quad \text{Gl. 4-2}$$

$$c_S \quad \text{Beschleunigungsbeiwert, = 0,5} \quad [-]$$

$$V \quad \text{Volumen des Steinelementes} \quad [\text{m}^3]$$

$\rho_W$  Dichte von Wasser [t/m<sup>3</sup>]

$\frac{dv}{dt}$  Beschleunigung [m/s<sup>2</sup>].

Die Beschleunigungskraft  $F_S$  wird nach Gleichung 4-2 vom Volumen  $V$  des Steinelementes und der Beschleunigung  $\frac{dv}{dt}$  beeinflusst. Eine Vergrößerung dieser Parameter hat einen Anstieg der Beschleunigungskraft  $F_S$  zur Folge.

Die Liftkraft  $F_L$  wird über den Ansatz in HANSEN [1985] berücksichtigt, nach dem das Verhältnis von Liftkraft zu Schubkraft ca. 0,2 beträgt:

$$F_L = F_D * 0,2. \quad [\text{kN}] \quad \text{Gl. 4-3}$$

Gleichung 4-3 entsprechend wird bei einer Vergrößerung der Schubkraft auch die Liftkraft anteilmäßig gesteigert.

Das Gewicht des Steines  $G$  berechnet sich nach HANSEN [1985] zu:

$$G = V * [(\gamma_S - \gamma_W) - \Delta\gamma] \quad [\text{kN}] \quad \text{Gl. 4-4}$$

mit

$V$  Volumen des Steinelements [m<sup>3</sup>]

$\gamma_S$  Wichte des Steines [kN/m<sup>3</sup>]

$\gamma_W$  Wichte von Wasser [kN/m<sup>3</sup>]

$\Delta\gamma$  Anteil der Wichte aufgrund der Beschleunigungskraft [kN/m<sup>3</sup>]

$$= c_M * V * \alpha^* * \frac{dv}{dt}$$

mit

$c_M$  Beschleunigungsbeiwert, = 0,5 [-]

$\alpha^*$  Einbettungsziffer [-]

= 1,0 (Oberfläche wie lose Steinschüttung)

= 0,5 (Vollvergossene Steinschüttung)

$V$       Volumen des Steinelementes       $[m^3]$

$\frac{dv}{dt}$       Beschleunigung       $[m/s^2]$ .

Bei der Berechnung des Gewichts  $G$  nach Gleichung 4-4 wird berücksichtigt, dass sich  $G$  durch die Auftriebskraft sowie die Beschleunigungskraft verringert. Dies geschieht über die Abminderung der Wichte des Steines  $\gamma_S$  mittels der Wichte von Wasser  $\gamma_W$  und dem Anteil der Wichte aufgrund der Beschleunigungskraft  $\Delta\gamma$ . Das Gewicht  $G$  vergrößert sich mit steigendem Volumen  $V$ , steigender Steinwichte  $\gamma_S$  und sinkender Beschleunigungskraft  $F_S$ .

Die Reibungskraft  $F_R$  ist vom Reibungswinkel  $\varphi$  abhängig und berechnet sich zu:

$$F_R = V * [(\gamma_S - \gamma_W)] * \tan \varphi \quad [kN] \quad \text{Gl. 4-5}$$

mit

$\varphi$       Reibungswinkel       $[^\circ]$

Umso größer nach Gleichung 4-5 der Reibungswinkel  $\varphi$ , das Volumen  $V$  und die Wichte  $\gamma_S$  werden, desto größer wird die Reibungskraft  $F_R$ .

## 4.2.2 Gleichgewicht am einzelnen Stein

In Abbildung 4.3 und 4.4 werden die bemessungsrelevanten Kräfte aus Kapitel 4.2.1 dargestellt. Im Folgenden werden die Gleichgewichtsbedingungen zuerst für einen Stein an der Sohle (Abb. 4.3) und anschließend für einen Stein an einer Böschung mit Neigung  $\beta$  (Abb. 4.4) erläutert und diskutiert.

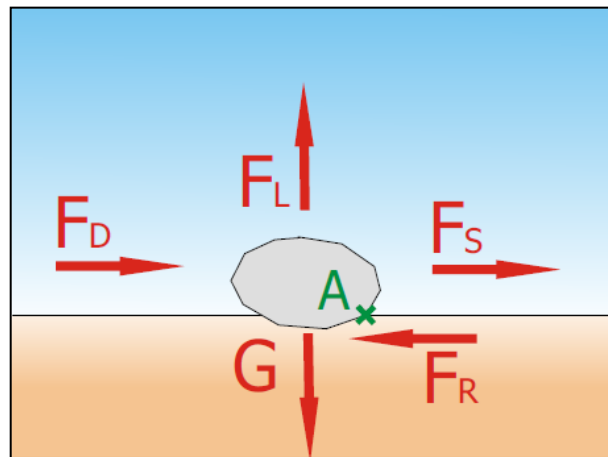


Abb. 4.3: Kräfte am einzelnen Stein an der Sohle

Bei dem Gleichgewicht der horizontalen Kräfte für einen einzelnen Stein auf dem die in Abbildung 4.3 dargestellten Kräfte angetragen sind, wirken die Schubkraft  $F_D$  und die Beschleunigungskraft  $F_L$  entgegen der aktivierten Reibkraft  $F_R$  (vgl. Abb. 4.3). Die horizontale Gleichgewichtsbedingung lautet:

$$F_D + F_S \leq F_R \quad \text{Gl. 4-6}$$

$$c_D * \frac{\rho_W}{2} * A_D * v^2 + c_S * V * \rho_W * \frac{dv}{dt} \leq V * [(\gamma_S - \gamma_W)] * \tan \varphi \quad \text{Gl. 4-7}$$

Aus Gleichung 4-7 geht hervor, dass das Gleichgewicht des Steins in horizontaler Richtung maßgeblich von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  (als Einwirkung) sowie der Steinwichte  $\gamma_S$  und dem Reibungswinkel  $\varphi$  (als Widerstände) abhängig ist. Die Abmaße des Steines in Form des Volumens  $V$  und der Anströmfläche  $A_D$  beeinflussen sowohl die einwirkende als auch die widerstehende Seite der Gleichung 4-7.

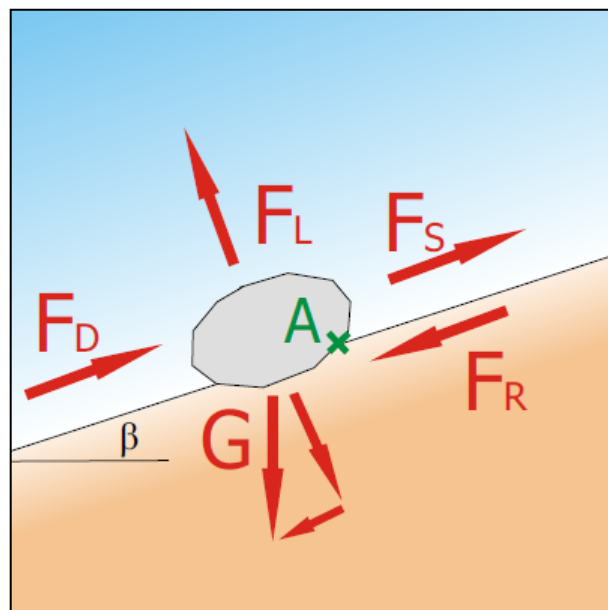
Bei der vertikalen Gleichgewichtsbetrachtung nach Abbildung 4.3 wird die Gewichtskraft  $G$  der Liftkraft  $F_L$  gegenübergestellt. Es muss gelten:

$$F_L \leq G \quad \text{Gl. 4-8}$$

$$\left( c_D * \frac{\rho_W}{2} * A_D * v^2 \right) * 0,2 \leq V * [(\gamma_S - \gamma_W) - \Delta\gamma] \quad \text{Gl. 4-9}$$

Gleichung 4-9 verdeutlicht, dass die Abmaße des Steins als Volumen  $V$  bzw. Anströmfläche  $A_D$  beide Seiten beeinflussen, sodass das Gleichgewicht entscheidend von der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  und der Steinwichte  $\gamma_S$  abhängig ist.

Für das Momentengleichgewicht wurde als Drehpunkt (A) der oberste Punkt von Übergang des Steines zur Sohle gewählt. Verglichen werden die destabilisierenden mit den stabilisierenden Momenten. Das destabilisierende Moment wird durch die angreifende Strömung mit den Kräften  $F_D$ ,  $F_S$  und  $F_L$  erzeugt. Das stabilisierende Moment resultiert aus dem Gewicht  $G$  und der Reibungskraft  $F_R$ . Die Hebelarme sind von der Lage des Punktes A und somit von der Einbindetiefe des Steins in den Boden abhängig.



**Abb. 4.4:** Kräfte am einzelnen Stein mit Böschungsneigung  $\beta$

Für einen einzelnen Stein an einer Böschung werden dieselben Kräfte als Einwirkung bzw. Widerstand betrachtet, entsprechend einem Stein an der Sohle. In Abbildung 4.4 ist die Darstellung der Kräfte gegeben. Die Schubkraft  $F_D$  wirkt ebenso wie die Beschleunigungskraft  $F_S$  und die Reibungskraft  $F_R$  parallel zur Böschung. Die Liftkraft  $F_L$  wirkt definitionsgemäß senkrecht zur Schubkraft  $F_D$  und somit senkrecht auf die Böschung. Die Gewichtskraft  $G$  wird in einen böschungsp parallelen Anteil ( $G * \sin \beta$ ) und einen Anteil senkrecht zur Böschung ( $G * \cos \beta$ ) aufgeteilt. Somit erhöht sich mit steigender Böschungsneigung  $\beta$  der böschungsp parallele Anteil der Gewichtskraft ( $G * \sin \beta$ ). Der Anteil senkrecht zur Böschung ( $G * \cos \beta$ ) wird entsprechend kleiner. Bei einer Böschungsneigung von 1:3 (18,4°) wird die Gewichtskraft gegenüber der Sohle (0°), mit dem Faktor 0,949 abgemindert. Bei einer Neigung von 18,4° beträgt der sohlp parallele Anteil 0,314 von  $G$ .

Die Gleichgewichtsbetrachtungen werden parallel sowie senkrecht zur Böschungsneigung  $\beta$ , in Anlehnung an Abbildung 4.4, durchgeführt.

Bei dem Gleichgewicht der böschungsp parallelen Kräfte wirken die Schubkraft  $F_D$  und die Beschleunigungskraft  $F_S$ , entgegen der aktivierten Reibungskraft  $F_R$  und dem böschungsp parallelen Anteil der Gewichtskraft ( $G * \sin \beta$ ) (vgl. Abb. 4.4). Die horizontale Gleichgewichtsbedingung lautet:

$$F_D + F_S \leq F_R + G * \sin \beta \quad \text{Gl. 4-10}$$

$$c_D * \frac{\rho_W}{2} * A_D * v^2 + c_S * V * \rho_W * \frac{dv}{dt} \leq V * [(\gamma_S - \gamma_W)] * \tan \varphi \quad \text{Gl. 4-11}$$

Analog zu Gleichung 4.7 geht aus Gleichung 4.11 hervor, dass das Gleichgewicht des Steines in böschungsp paralleler Richtung maßgebend von der einwirkenden Strömungsgeschwindigkeit  $v$  sowie der Steinwichte  $\gamma_S$  und dem Kraftübertragungswinkel  $\varphi$  (als Widerstände) abhängig ist. Die Abmaße des Steines in Form des Volumens  $V$  und der Anströmfläche  $A_D$  beeinflussen sowohl die einwirkende als auch die widerstehende Seite der Gleichung 4-11. Zusätzlich wirkt der böschungsp parallele Anteil der Gewichtskraft ( $G * \sin \beta$ ) nach Abbildung 4.4 auf der Seite der Widerstände als weitere Kraftgröße, die in ihrer Größe vom Gewicht  $G$  des Steines und der Neigung  $\beta$  der Böschung abhängig

ist. Für den Fall, dass die Strömung in entgegengesetzter Richtung angreift, wirkt sich diese Komponente als destabilisierender Anteil aus.

Bei der Gleichgewichtsbetrachtung senkrecht zur Böschung wird der Anteil der Gewichtskraft in dieser Richtung ( $G \cdot \cos \beta$ ) der Liftkraft  $F_L$  gegenübergestellt (vgl. Abb. 5.9), sodass gilt:

$$F_L \leq G \cdot \cos \beta \quad \text{Gl. 4-12}$$

$$\left( c_D \cdot \frac{\rho_W}{2} \cdot A_D \cdot v^2 \right) \cdot 0,2 \leq \{ V \cdot [(\gamma_S - \gamma_W) - \Delta\gamma] \} \cdot \cos \beta \quad \text{Gl. 4-13}$$

Der Vergleich der Gleichungen 4.13 und 4-9 verdeutlicht, dass die Böschungsneigung  $\beta$  sich negativ auf die widerstehende Kraft (Gewichtskraft  $G$ ) auswirkt und diese abmindert. Des Weiteren gelten die anhand Gleichung 4.9 diskutierten Zusammenhänge.

In Bezug auf das Momentengleichgewicht um den Drehpunkt (A), der hier analog zur Sohle gewählt wurde, werden die destabilisierenden Momente durch den böschungsp parallelen Anteil ( $G \cdot \sin \beta$ ) verstärkt und das stabilisierende Moment wird durch die Böschungsneigung  $\beta$  durch den Faktor ( $\cos \beta$ ) abgemindert. Die Hebelarme sind wiederum von der Lage des Punktes A abhängig.

### 4.2.3 Gleichgewicht am Stein im Verbund

In Abbildung 4.5 und 4.6 sind analog zum vorherigen Kapitel 4.2.3 die bemessungsrelevanten Kräfte an einem Stein im Verbund an der Sohle (Abb. 4.5) und an einem Stein im Verbund an einer Böschung mit der Neigung  $\beta$  (Abb. 4.6) dargestellt.

Im Wesentlichen ändert sich gegenüber Kapitel 4.2.2 die Reibungskraft  $F_R$ , die als ein entscheidender Anteil in die horizontale Gleichgewichtsbedingung sowie das Momentengleichgewicht eingeht. Als Drehpunkt A wird der Berührungspunkt zu dem anliegenden Stein gewählt. Für den Fall, dass die Einwirkungen größer sind als die Widerstände, rollt sich der Stein über diesen Punkt ab.



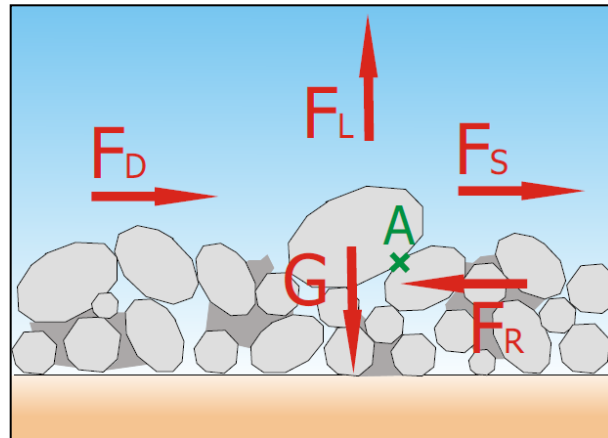


Abb. 4.5: Kräfte am Stein im Verbund an der Sohle

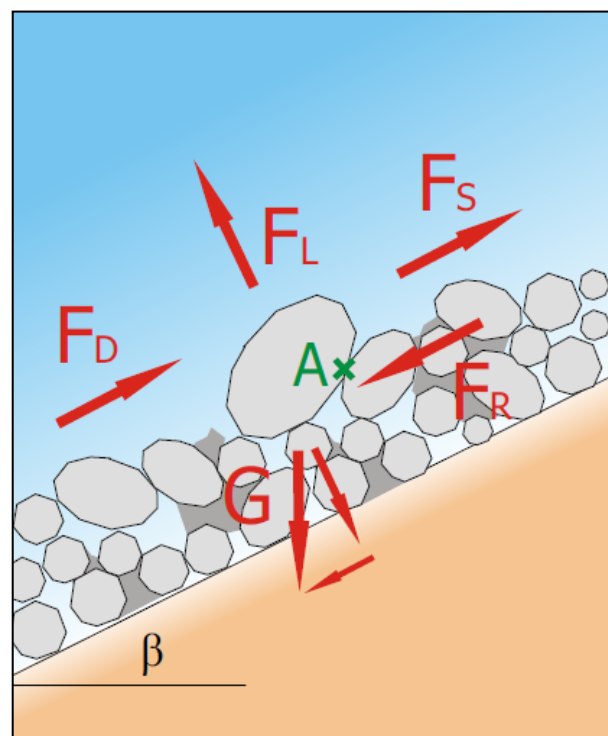


Abb. 4.6: Kräfte am Stein im Verbund mit Böschungsneigung  $\beta$

### 4.3 Schutzmaßnahmen gegen Kolke

In GATTERMANN ET AL. [2000] wird empfohlen, bei einer zu hohen Belastung infolge des Propellerstrahls, eine Absenkung der Berechnungssohle um 2 m unter die erforderliche Hafensohle vorzunehmen. Des Weiteren sollen auf weiteren 2 m reduzierte Bodenreibungswerte angenommen werden, damit die Standsicherheitskriterien erfüllt sind.

Nach den Erfahrungen von RÖMISCH [1993] lassen sich drei Erosionsschutzzonen definieren:

1. Bei Kolkstiefen bis  $T_K/D < 0,5$  und Geschwindigkeiten von  $v_0 < 6,0$  m/s wird die Kaimauer mit einem Kolkzuschlag geschützt. Das Sohlmaterial ist sehr grob (Korngrößen mit einem Durchmesser von  $d = 0,05$  bis  $0,15$  m). Die Teilverfüllung des Kolks erfolgt mit Material von  $d = 0,2$  bis  $0,25$  m.
2. Für Geschwindigkeiten, die im Bereich von  $6,0$  m/s  $< v_0 < 7,0$  m/s liegen und Kolkstiefen mit  $T_K/D = 0$  ist der Schutz der Kaimauer mit einer losen Steinschüttung mit einem erforderlichen Steindurchmesser von  $d_{erf} = 0,2$  bis  $0,85$  m vorgesehen.
3. Einen Schutz der Kaimauer mit Verbundmatten oder Sonderkonstruktionen wird für Geschwindigkeiten von  $v_0 > 7,0$  m/s und  $T_K/D = 0$  angegeben. Der Durchmesser der einzubauenden Steine liegt in diesem Fall bei  $d_{erf} > 0,65$  bis  $0,85$  m. Der Einbau von losen Steinschüttungen kommt nicht mehr infrage, da die erforderlichen Steingrößen nicht mehr zu handhaben sind.

In den EAU [2004] werden zur Abwendung von Gefährdungen an Ufereinfassungen infolge Kolkbildung die folgenden Maßnahmen empfohlen:

1. Kolkzuschlag am Bauwerk
2. Abdecken der Sohle mit Steinschüttungen in loser/vergossener Form
3. Abdecken der Sohle mit flexiblen Verbundsystemen
4. Monolithische Betonplatten, z.B. in Fährbetten
5. Strahlenkende Gestaltung von Kaimauern.

### 4.3.1 Kolkzuschlag

Eine einfache Art eine Kaimauer gegen den Angriff des Propellerstrahls zu schützen, besteht darin, die entsprechende Kolkentiefe bei der rechnerischen Gründungssohle zu berücksichtigen und als Kolkzuschlag mit in die Berechnung einzubringen. Der Kolk wird demzufolge in Kauf genommen. Als grobe Orientierung auf Grund der hohen Komplexität der Kolkprozesse berechnet sich die zu erwartende Tiefe eines Kolkes infolge eines Bugstrahlruders nach den EAU [2004] näherungsweise zu:

$$T_K = d_{85} * C_M * 3,05 * \left( \frac{v_{max,So}}{\sqrt{d_{85} * g * \Delta'}} \right)^{2,25} \quad \text{Gl. 4-14}$$

mit

$T_K$  Kolktiefe [m]

$d_{85}$  maßgebendes Korn der Hafensohle [m]

$C_M$  Beiwert [-]

= 1,0 für stationäre Strahlausbreitung,

= 0,3 für Strahlbelastung unter Anlegemanövern.

$v_{max,So}$  Sohlgeschwindigkeit nach Gl. 3-34 (Bugstrahler) [m/s]

$g$  Erdbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

$\Delta'$  relative Dichte der Steine unter Wasser  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ .

### 4.3.2 Lockere Steinschüttung

Ein häufig verwendetes Schutzsystem ist die lockere Steinschüttung. Hierbei muss eine ausreichende Stabilität gegen die Strömung aus dem Propeller und ein erosionssicherer Anschluss an das feste Bauwerk gewährleistet sein. Ebenso sollte der Einbau der Schüttsteine zwei- bis dreilagig erfolgen, damit die Sohle sicher abgedeckt ist. Die lockere Steinschüttung muss filterstabil hergestellt werden.

Damit die erforderliche Strömungsstabilität gewährleistet werden kann, muss gelten:

$$d_{erf} \geq \frac{v_{Smax,So}^2}{B^2 * g * \left( \frac{\rho_S - \rho_W}{\rho_W} \right)} \quad \text{Gl. 4-15}$$

mit

$d_{erf}$	erforderlicher Durchmesser der Befestigungssteine	[m]
$v_{max,So}$	Sohlgeschwindigkeit nach Gl. 3-27 (Heckantrieb)	[m/s]
	Sohlgeschwindigkeit nach Gl. 3-34 (Bugstrahler)	[m/s]
$B$	Stabilitätsbeiwert	[-]
	= 0,9 (für Heckpropeller ohne Zentralruder)	
	= 1,25 (für Heckpropeller mit Zentralruder)	
	= 1,20 (für Bugstrahlruder)	
$g$	Erdbeschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
$\rho_S, \rho_W$	Dichte des Schüttmaterials bzw. des Wassers	[t/m <sup>3</sup> ].

Die erforderlichen Steindurchmesser sind bis ca. 1,0 m zu handhaben, welches einer Sohlgeschwindigkeit von bis zu 5 m/s entspricht. Für höhere Geschwindigkeiten an der Sohle können Steinschüttungen im Teil- oder Vollverguss eingebaut werden. Beim Vollverguss, bei dem das gesamte Hohlraumvolumen der Schüttsteine vergossen wird, muss das Gewicht dem vorhandenen Wasserüberdruck unter der Deckschicht angepasst werden. Um eine Zerstreung der Strömungen herbeizuführen, werden die Steinspitzen hier nicht vergossen. Bei Teilverguss werden die Steine nur in ihrer Lage fixiert und die Wasserdurchlässigkeit bleibt erhalten, wobei ein Wasserüberdruck verhindert wird. Der Verguss wird mit einem Mindestporenvolumen (Wasserdurchlässigkeit) von 10 bis 20 % sowie mit einer gleichmäßigen Dicke von i. d. R. 50 bis 60 cm eingebaut. Für eine ausreichend sichere Kolkabdeckung sollten 150 bis 200 l/m<sup>2</sup> (auf 60 cm bezogen) vergossen werden. Auf diese Weise sind die Steinschüttungen bis Sohlgeschwindigkeiten von 6 bis 8 m/s stabil. Als Vergussmittel sollen gut haftende und unter Wasser einbaufähige Mörtel bzw.

Betone mit Erosionsstabilisatoren oder Kolloidalmörtel eingesetzt werden. Der Einsatz von Bitumen ist beim Vollverguss ebenfalls möglich [EAU, 2004].

### 4.3.3 Verbundsystem

Bei induzierten Strahlgeschwindigkeiten  $v_0 > 7,0$  m/s ergeben sich erforderliche Steindurchmesser von  $d_{erf} > 0,65$  bis 0,85 m. Eine Steinschüttungen kommt nicht mehr infrage. In diesen Fällen ist es sinnvoll, ein Verbundsystem oder eine andere Sonderkonstruktion einzusetzen. Ein Verbundsystem besteht aus einzelnen Grundelementen, die durch Verkopplung untereinander einen flächigen Belag darstellen. Es werden seil- oder kettenverkoppelte Betonelemente, Gabionen oder Geotextilmatten eingesetzt. Wichtig ist die flexible Verkopplung untereinander, damit die Elemente an die Kolke angepasst werden können und diese stabilisieren. Ein allgemeiner Bemessungsansatz liegt aufgrund der Vielzahl der angebotenen Systeme nicht vor [EAU, 2004]. In RÖMISCH [1993] ist der folgende Ansatz für Draht-Schotter-Matratzen dargestellt:

$$h_{Matt} \geq \frac{v_{Sohle}^2}{C^2 * B^2 * g * \left( \frac{\zeta_s - \rho_W}{\rho_W} \right)} \quad \text{Gl. 4-16}$$

mit

$C$       Beiwert für die Stabilität der Mattengröße      [-]

$B$       Stabilitätsbeiwert      [-]

= 0,9 bis 1,25 je nach Belastung [Römisch, 1993]

$\zeta_s'$       Rohdichte der Matte      [t/m<sup>3</sup>].

### 4.3.4 Unterwasserbetonsohle

Eine Unterwasserbetonsohle wird besonders bei hohen Sohlgeschwindigkeiten eingebaut, da sich die Schubspannungen auf die gesamte ebene Fläche verteilen können. Sie bietet somit für begrenzte Bereiche einen wirksamen Erosionsschutz. Allerdings kann es bei Setzungen zu Brüchen in der starren Betonsohle kommen. Die Unterwasserbetonsohle wird mit einer Dicke von 0,30

bis 1,00 m eingebaut. Die Umsetzung ist sehr kostenaufwändig und technologisch kompliziert.

#### 4.3.5 Strahlumlenker

Bei der Belastung durch ein Bugstrahlruder ist die Anordnung eines sogenannten *Strahlumlenkers* besonders effizient. Die speziell geformten Betonblöcke, die am Fuß einer vertikalen Kaimauer (Spundwand) angeordnet werden, sind mit ihren Mindestabmessungen in Abbildung 4.7 dargestellt. Durch diese Konstruktion ist es möglich, die Kolktiefe zu reduzieren.

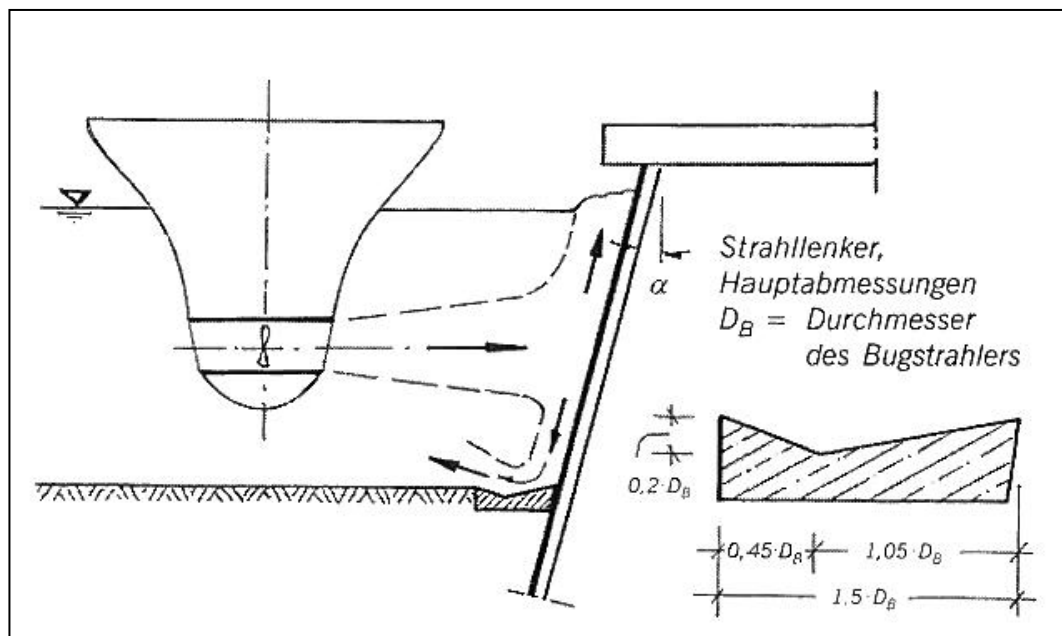


Abb. 4.7: Mindestabmessungen für einen *Strahlumlenker* nach Römisch [2001]

Die Kolktiefe  $T_{K,\alpha,m,SL}$  infolge des Propellerstrahls aus dem Bugstrahlruder mit strahlenkenden Maßnahmen berechnet sich nach den [EAU, 2004] zu:

$$T_{K,\alpha,m,SL} = C_{SL} * (1 + 0,005 * \alpha) * C_{\alpha} * T_K \quad \text{Gl. 4-17}$$

mit

$\alpha$  Neigung der Spundwand [°]

$C_{SL}$  Kolkreduktionsfaktor bei Anordnung eines Strahmlenkens, nach Tabelle 4.1 [-]

$C_{\alpha}$  Strahlteilungsverhältnis, nach Tabelle 4.1 [-]

$T_K$  Kolktiefe ohne strahlenkende Maßnahmen [m].

**Tab. 4.1: Strahlteilungsverhältnis  $C_{\alpha}$  und Kolkreduktionsfaktor  $C_{SL}$**

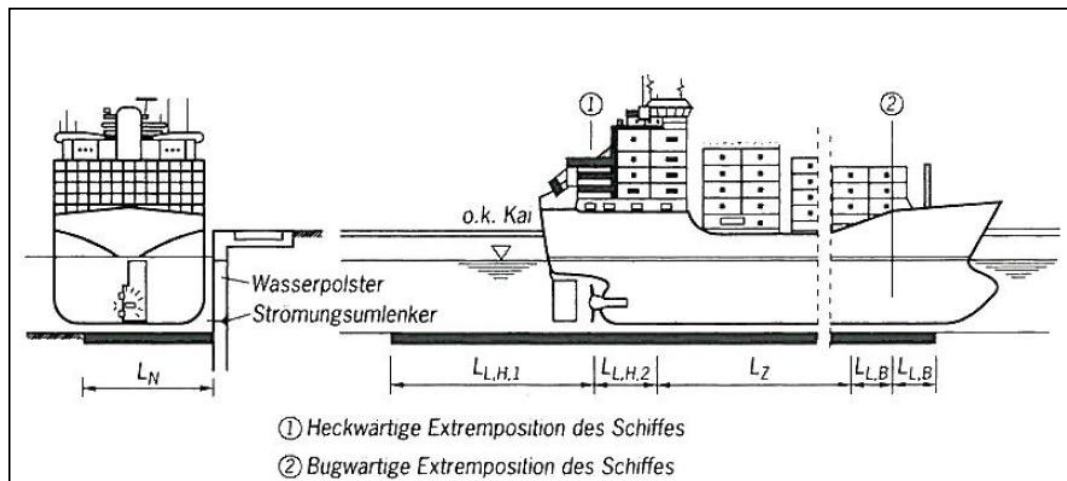
	$\alpha = 0^{\circ}$	$\alpha = 10^{\circ}$	$\alpha = 20^{\circ}$	$\alpha = 30^{\circ}$
$C_{\alpha}$	1,00	0,78	0,58	0,38
$C_{SL}$	0,25	0,20	0,10	0,05

Anhand mehrerer Tests von LINDNER [1997] und HACKMANN [1997] hat sich die Annahme bestätigt, dass sich die Kolktiefe  $T_K$  umso geringer einstellt, je größer der Wert der Neigung  $\alpha$  der Spundwand ist. Bei einer Neigung von  $5^{\circ}$  beträgt die Tiefe des Kolkes 91 % der Ursprungtiefe (bei  $0^{\circ}$ ). Wird die Neigung auf  $20^{\circ}$  vergrößert, weist der Kolk noch 64 % seiner Ursprungtiefe auf.

Beim Auftreffen auf die Uferwand wird der Strahl bei einer vertikalen Wand in gleichen Teilen nach oben und unten abgelenkt. Bei einer Neigung, entsprechend Abbildung 4.7 wird der obere Anteil des Strahls vergrößert und der untere reduziert, weshalb auch die Tiefe des Kolks abnimmt

#### 4.3.6 Mindestabmessungen der Schutzmaßnahmen

Bei der Herstellung von Befestigungen vor einer Kaimauer sind Mindestabmessungen einzuhalten. Es ist wirtschaftlich nicht umsetzbar, die Befestigungen bis an die Stellen aufzubringen, an denen sich die Strahlgeschwindigkeit komplett abgebaut hat.



**Abb. 4.8: Mindestabmessungen von Befestigungen vor einer Kaimauer [EAU, 2004]**

Die folgenden Abmessungen nach Abb. 4.8 sollen nach den EAU [2004] mindestens eingehalten werden:

Normal zum Kai:  $L_N = 3 \text{ bis } 4 * D + \Delta RS$

Längs zum Kai:  $L_{L,H,1} = 6 \text{ bis } 8 * D + \Delta RS$

$$L_{L,H,2} = 3 * D + \Delta RS$$

$$L_{L,H,3} = 3 \text{ bis } 4 * D + \Delta RS$$

mit

$\Delta RS$  Zuschlag für die Randsicherung, ca. 3 - 5 m.



Bei diesen Mindestabmessungen ist am Rand mit 70 bis 80 % der maximalen Sohlgeschwindigkeiten zu rechnen. Es muss darauf geachtet werden, dass es nicht zu Randkolken kommt, die eine Unterspülung der gesamten Konstruktion zur Folge haben können [EAU, 2004].

#### 4.4 Bemessung der erforderlichen Steingröße und der Kolktiefe

Die erforderliche Steingröße wird über die maximale Strömungsgeschwindigkeit  $v_{max}$  und aus dem Verhältnis der Dichte von Wasser  $\rho_W$  zu den Steinen unter Auftrieb  $\rho_S - \rho_W$  errechnet. Die folgenden Gleichungen unterscheiden sich anhand der empirischen Faktoren, die ebenfalls die Steingröße beeinflussen.

Nach HANSEN [1985] ergibt sich für den erforderlichen Steindurchmesser  $D_{r,0}$ :

$$D_{r,0} = \sqrt[3]{\frac{0,062 * v^6}{0,245 * 2,650}} = 0,04574 * v^2 \quad \text{Gl. 4-18}$$

mit den Faktoren

0,245 Faktor aus Reihenuntersuchung von KNISS [1977] der das Volumen  $V$  eines Steines mit  $V = 0,245 * D^3$  ermittelt hat

2,650 als Basis zugrunde gelegte Trockenrohrsichte,  
 $\rho_S = 2,650 \text{ kg/m}^3$  (für Granitsteine)

0,062 verwendete Beziehung von KNISS [1977] zwischen erforderlicher Masse eines Einzelsteins auf der Deckschicht in Bezug auf die angreifende Strömungsgeschwindigkeit:  $M = 0,062 * v^6$ .

Für die Steingröße bei weitgehend böschungsparallelem Strömungsangriff kann folgende Formel nach GBB [2004] zur groben Abschätzung verwendet werden:

$$D_{50} = C_{Isb} * C_{B\ddot{o}} * \frac{v_{max}^2}{g} * \frac{1}{\frac{\rho_S - \rho_W}{\rho_W}} \quad \text{Gl. 4-19}$$

mit

$D_{50}$  erforderliche Steingröße bei 50 % Siebdurchgang [m]

$C_{B\ddot{o}}$  Faktor zur Berücksichtigung der Böschungneigung [-]  
 $= 1/\cos\beta * [1 - (\tan^2\beta/\tan^2\varphi'_D)]^{0.5}$

mit  $\beta$  Böschungneigung [°]

$\varphi'_D$  innerer Reibungswinkel [°]

$C_{Isb}$  Faktor nach Isbach,  $\approx 0,7$  [-]

$\rho_W, \rho_S$  Wasser- und Steindichte [t/m<sup>3</sup>].

Die erforderliche Steingröße  $D_{50}$  aus der Belastung Propellerstrahls zur Gewährleistung der Sohlenstabilität ohne signifikante Kolkbildung berechnet sich nach GBB [2004] zu:

$$D_{50} \geq B_S * \frac{v_{max,So}^2}{g} * \frac{\rho_W}{\rho_S - \rho_W} \quad \text{Gl. 4-20}$$

mit

$B_S$  Beiwert bei Strahlgriff auf ebener Sohle [-]

$\approx 1,23$  für ein Schiff ohne Zentralruder und Binnenschiff mit Tunnelheck, *Standardsituationen 1 und 4* (vgl. Abb. 3.8 und Abb. 3.11) und ein Bugstrahlruder

$\approx 0,64$  für ein Schiff mit Zentralruder, *Standardsituationen 2 und 3* (vgl. Abb. 3.9 und Abb. 3.10)

$v_{max,So}$  maximale Strömungsgeschwindigkeit an der Sohle [m/s] nach Gl. 3-27

$\rho_W, \rho_S$  Wasser- und Steindichte [t/m<sup>3</sup>].

An den Binnenwasserstraßen haben Auswertungen von Messungen zum Schraubenstrahl ergeben, dass moderne Großmotorschiffe auf der freien Strecke Strahlgeschwindigkeiten in Sohlhöhe von ca. 3 m/s erzeugen. Hierbei ist mit Kolkiefen von weniger als 0,2 m zu rechnen, die lokal auftreten und akzeptiert werden können. Die Kolkiefen beziehen sich auf eingebaute lose Wasserbausteine der Klasse LMB<sub>5/40</sub> mit einer Rohdichte von 2.650 kg/m<sup>3</sup> [MAR, 2008].

Messungen mit größeren Schiffen und theoretische Berechnungen nach dem GBB [2004] ergeben Strahlgeschwindigkeiten von bis zu 5 m/s in der Nähe der Sohle, wobei die Dicke der Deckschicht in diesen Bereichen erreicht wird. An diesen Stellen ist die Bauweise durch eine größere Kanalwassertiefe oder eine teilvergossene Deckschicht anzupassen [MAR, 2008].

### Kolkiefe

Die in der nachfolgenden Abbildung 4.9 dargestellte Kolkiefe in der Sohle, die sich infolge der Propellerstrahlbelastung des Heckantriebs ergibt, berechnet sich nach RÖMISCH [1993] zu:

$$\frac{T_k}{D} = \frac{E}{B_\alpha} * \frac{v_0}{\sqrt{d * g * \left(\frac{\rho_S - \rho_W}{\rho_W}\right)}} - \frac{h_P}{D} \quad \text{Gl. 5-18}$$

mit

$D$	Propellerdurchmesser	[m]
$E$	= 0,71 (für ein Seeschiff mit Zentralruder)	[-]
	= 0,42 (für ein Seeschiff ohne Zentralruder)	
	= 0,25 (für ein Binnenschiff mit Tunnelheck und Zwillingsruder).	
$B_\alpha$	Stabilitätsbeiwert für eine Kolkböschung mit Neigung $\alpha$	[-]
	= $(1,25^2 * \cos \alpha + 1,3 * \sin \alpha)^{1/2}$	
$v_0$	induzierte Anfangsgeschwindigkeit, Gl. 3-3 bis Gl.3-5	[m/s]
$d$	Steindurchmesser	[m]
$\rho_W, \rho_S$	Wasser- und Steindichte	[t/m <sup>3</sup> ]

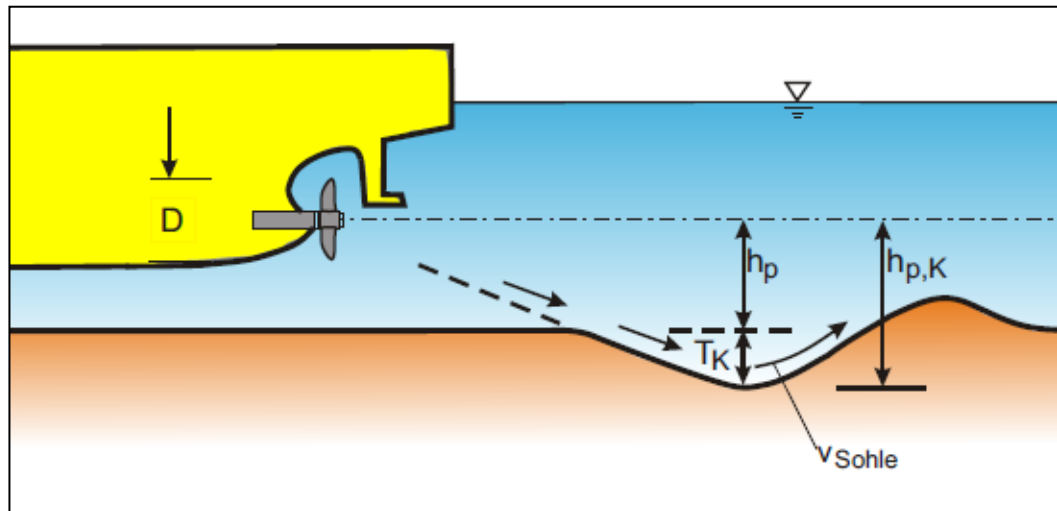


Abb. 4.9: Kolkentiefe  $T_k$  infolge Heckantrieb [SCHMIDT, 1998]

## 4.5 Kaimauern und Umgang mit Kolken im Hamburger Hafen

Im Folgenden wird ein Überblick über die Kaimauern im Hamburger Hafen gegeben und der Umgang mit der Kolkproblematik anhand des nachfolgend vorgestellten *Hamburger Querschnitts* erläutert.

Der Hamburger Hafen befindet sich in einem stetigen Wandel. Um sich den fortwährend größer werdenden Schiffen anzupassen, hat sich der Kaimauerbau kontinuierlich weiterentwickelt. Von 1990 bis 2001 haben sich die Kaimauerlängen von 236 m, beim *Fährterminal Altona* (1990) auf 800 m, beim *Containerterminal Altenwerder 1. und 2. LP* (2001) nahezu vervierfacht. Ebenso der Geländesprung, von der Tiefe der Berechnungshafensohle bis zum Kaimauerkopf, hat sich von 20,00 m (*Fährterminal Altona*) auf 28,30 m (*Containerterminal Altenwerder 1. und 2. LP*) vergrößert [Gattermann et al., 2000].

Aktuell werden die Modernisierungsarbeiten am *Burchardkai*, der mit einer Hafensohle von NN -18,80 m für Großcontainerschiffe ausgebaut wird, durchgeführt. Eine neue Kaimauer wird im Abstand von ca. 22,00 m wasserseitig vor der bestehenden Kaimauer errichtet. Die, in drei Stufen gegliederte, Ausbaustrecke beträgt ca. 1100 m [HPA, 2009].

Für die Bauweise des *Burchardkais* wurde der sogenannte *Hamburger Querschnitt* gewählt. Dieser hat sich bei der Anwendung im Hamburger Hafen bewährt und als vorteilhaft erwiesen. Die Bauweise als überbaute Böschung mit geöffneter Hauptwand ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Primär ist sie darauf bemessen den statischen Funktionen gerecht zu werden. Im Hinblick auf die Kolkproblematik erfüllt sie gleichzeitig wirksam ihre Funktion. Im Folgenden wird der Umgang mit der Kolkproblematik anhand von Abbildung 4.10 erläutert.

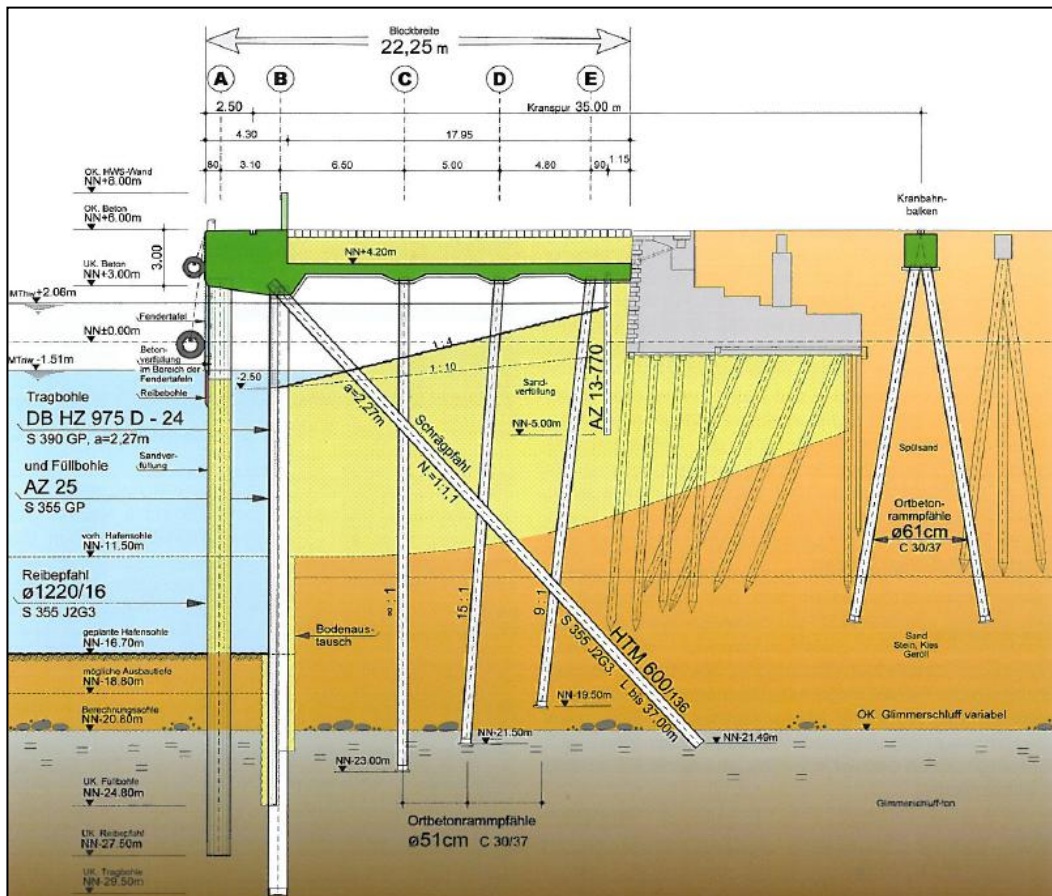


Abb. 4.10: *Hamburger Querschnitt (Beispiel: Burchardkai)* [HPA, 2009]

Zu erkennen ist als Hauptelement die Spundwand aus Tragbohlen (über die gesamte Tiefe bis NN -31,90 m) und Füllbohlen (ab Unterkante des Hohlraums bis NN -24,80 m), die abwechselnd eingerammt worden sind. Durch diese Bauweise entsteht über den Füllbohlen ein Spundwandfenster, durch das die Wellen in einen dahinter angeordneten Hohlraum gelangen. Wie in einer

Wellenkammer wird ihre Energie abgemindert. Die vorgelagerten Reiberohre wirken ebenso als Wellenbrecher reduzierend auf die Wellenenergie.

In regelmäßigen Abständen werden Wartungsarbeiten an den Kaimauern durchgeführt. Ob es zu Auskolkungen gekommen ist und sich die Sohltiefe verändert hat, wird dabei anhand von Peilmessungen ermittelt. Die auffälligen Bereiche werden überwacht und ggf. verfüllt.

## 5 Beeinflussung des Propellerstrahls

Die Geschwindigkeit im Propellerstrahl, aus dem sich die Belastungen auf die Hafenstrukturen ergeben, werden, wie anfangs in Kapitel 3 erläutert, maßgebend vom Propellerdurchmesser  $D$  und der Maschinenleistung  $P$  bzw. der Umdrehungen der Maschine  $n$  beeinflusst.

Der Ansatz für den Propellerdurchmesser  $D$  ist aufgrund der eindeutigen Abmessungen des Propellers unproblematisch. Für die Maschinenleistung  $P$  in Gleichung 3-5 bzw. die Drehzahl  $n$  in Gleichung 3-4 sind die Anteile der maximalen Leistung bzw. der maximalen Umdrehung einzusetzen, die ein Schiff aufbringt, um sich im Hafen fortzubewegen.

Zwischen den Empfehlungen für diese Leistungs- und Umdrehungsansätze sind deutliche Abweichungen, wie in der nachfolgenden Tabelle 5.1 dargestellt, erkennbar. Um die Empfehlungen besser abschätzen zu können, ist im Rahmen dieser Diplomarbeit eine umfangreiche Untersuchung anhand von realen Werten durchgeführt worden.

### 5.1 Ansätze für Leistungen und Umdrehungen

Die Ansätze der Maschinenleistung  $P$  bzw. der Umdrehungen der Maschine  $n$  richten sich nach den Manövern, die ein Schiff fahren kann. Die folgenden Manöver sind von der Maschine umsetzbar:

- *Max. installed power* (Maximale Leistung/Umdrehungen)
- *Full ahead – service speed* (Volle Kraft voraus)
- *Full ahead – manoeuvring speed* (Volle Kraft voraus – für Manöver)
- *Half ahead* (Halbe Kraft voraus)
- *Slow ahead* (Langsame Kraft voraus)
- *Dead slow ahead* (Ganz langsame Kraft voraus)

Diese Manöver beschreiben die Vorwärtsfahrt eines Schiffes. Fährt ein Schiff rückwärts gelten entsprechend die dargestellten Manöver mit *astern* (zurück) an Stelle von *ahead*.

Für die Leistung  $P$  und die Umdrehungen  $n$  gibt es nach den EAU [1996] sowie den EAU [2004] Ansätze für die Manöver *Half ahead* (ca. 65-80 % der maximalen Umdrehungen) und *Dead slow ahead* (ca. 30 % der maximalen Umdrehungen). Zwischen diesen Manövern bewegen sich die Schiffe nach praktischen Erfahrungen. Für die Bemessung von Sohlensicherungen soll unter Einbeziehung von Sicherheitsgesichtspunkten 75 % der maximalen Umdrehungen und 42 % der maximalen Leistung angesetzt werden. Nach HERING ET AL. [2000] ist ein Sicherheitsfaktor von rd. 1,15 berücksichtigt worden.

Die Ansätze nach den EAU [2004] entsprechen den Angaben von den EAU [1997], für die anhand Erfahrungen von DREWES ET AL., [1995] in RÖMISCH [2002] detailliertere Ansätze vorliegen. Aus diesem Grund wird sich im Folgenden auf die Angaben in den EAU [1997] bezogen.

Des Weiteren liegt ein Ansatz der PIANC [1997] vor, der 10% der maximalen Leistung und 46 % der maximalen Umdrehungen bei Hafenmanövern empfiehlt.

Der Faktor zwischen diesen beiden Ansätzen für die Umdrehungen beträgt 1,63. Ein Ergebnis, welches für zuverlässige Abschätzungen nach RÖMISCH [2002] nicht akzeptabel ist und daher im Entwurf der PIANC [2008] diskutiert und neu formuliert wurde. Dieser sieht, wie aus Tabelle 5.1 hervorgeht, 10 bis 20 % der maximalen Leistung und 40 bis 50 % der maximalen Umdrehungen vor.

Eine Übersicht über die Ansätze ist in der Tabelle 5.1 gegeben.



**Tab. 5.1: Übersicht der Ansätze von Leistungen und Umdrehungen nach den EAU [1996], der PIANC [1997] und der PIANC [2008] (in % zu den maximalen)**

Manöver	EAU [1996]		PIANC [1997]		PIANC [2008] <sup>2</sup>	
	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Umdrehungen [%] von $n_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$
<i>Max. installed power</i>			100	100	100	100
<i>Full ahead - service speed</i>	100	100	85-90	51-73	80-90	50-80
<i>Full ahead – manoeuvring</i>			57-63	18-25	70	50
<i>Half ahead</i>	82-87	55-65	43-48	8-11	40-60	40
<i>Slow ahead</i>	40-50	6-12,5	29-32	2-3	40-50	30
<i>Dead slow ahead</i>	30-35	3-4,3	14-16	0,3-0,4	30-40	10
<i>Empfehlung für Hafenanmanöver</i>	75	42	46	10	40-50	10-20

<sup>2</sup> Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.

## 5.2 Analyse der Ansätze für die Leistung und die Umdrehungen anhand von *PilotCards*

Die im vorherigen Kapitel dargestellte Problematik, der unterschiedlichen Ansätze für die Maschinenleistung und die Umdrehungen, wird im Folgenden anhand von sogenannten *PilotCards* analysiert. Die Untersuchung soll zeigen, welcher der in Tabelle 5.1 vorgestellten Ansätze am besten die Realität abbildet.

Die verwendeten *PilotCards* stammen aus Bremerhaven [SCHMIDT, 2010] sowie dem Hamburger Hafen [VORWERK, 2010] und sind dem laufenden Schiffsbetrieb zwischen 2002 und 2007 (vgl. Anhang 2) entnommen.

Für die Analyse wurden 23 Containerschiffe der Baujahre 1996 bis 2007 (vgl. Anhang 2) ausgewählt. Ein Überblick über die untersuchten Schiffe und die jeweilige *PilotCard* ist Anhang 1 zu entnehmen.

In einer *PilotCard* sind die spezifischen Angaben eines Schiffes (Schiffsabmessungen, Leergewicht (DWT = Deadweight tonnage) etc.) aufgelistet. Ebenso werden die Ansätze der Umdrehungen für die einzelnen Manöver (von *Full ahead* bis *Dead slow ahead* bzw. *Dead slow astern* bis *Full astern*) dargestellt. Der Hauptantrieb, auf den sich diese Manöverangaben beziehen, wird über seine Gesamtleistung und den entsprechenden maximalen Umdrehungen charakterisiert.

Abbildung 5.1 zeigt exemplarisch die *PilotCard* der *Emma Mærsk*. Der Hauptantrieb dieses Schiffes ist ein *SULZER – 14RT-FLEX 96C* der Firma *Wärtsilä*. Die Gesamtleistung beträgt 80.080 KW bei maximalen Umdrehungen von 102 U/min.

### PILOT CARD

Ship's name: **EMMA MÆRSK** Call sign: **OYGR2**  
 IMO: **9321483**

Draught forward: **10,80** M Draught aft: **11,10** M  
 Length over all: 397,71 m Breadth: 56,55 m Bulbous Bow: yes

TONNAGE		
	INTERNATIONAL	SUEZ
GROSS TONNAGE:	170794 t	N/A
NET TONNAGE:	55396 t	N/A
DEADWEIGHT:	156.900 t	-

167,00 m      230,70 m  
56,55 m

65,40 m

Stern Thruster: 2 x 1750 kW  
2 x 25 tons

Bow Thruster: 2 x 1750 kW  
2 x 25 tons

**Air Draught**

#### PROPULSION

Main Engine: SULZER - 14RT-FLEX96C		80080 kW	102 RPM
Maneuvering Engine Order	Rpm	Speed in knots	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	65	16,6	16,9
Half Ahead	50	12,8	13
Slow Ahead	35	9	9,1
Dead Slow Ahead	25	6,4	6,5
Stop	0	0	0
Dead Slow Astern	25		
Slow Astern	35		
Half Astern	50		
Full Astern	65		
		Minimum no. of consecutive starts	12
		Minimum RPM:	25
		No critical engine RPM	-

Port anchor: 14 shackles  
 Starboard anchor: 14 shackles

One 6-bladed right handed propeller.

During arrival/departure, gantry cranes must be positioned outside exposed areas, i.e. fwd or aft of the nominated berth, or - if this is not possible - at the vessel's mid ship section where the cranes are less exposed.

Port: Bremerhaven

Date: 10-Sep-2006

**Henrik L. Solmer**  
CAPTAIN

**Abb. 5.1: PilotCard der Emma Mærsk [SCHMIDT, 2010]**

Für die einzelnen Manöver von *Full ahead* bis *Dead slow ahead* bzw. *Dead slow astern* bis *Full astern* werden die angesetzten Umdrehungen angegeben. Diese Ansätze für die Umdrehungen der einzelnen Manöver sind maschinenspezifisch und basieren auf den Angaben des Herstellers. Bei Missachtung der Werte kann

die Maschine einen Schaden erleiden [Vorwerk, 2010]. Folglich ist davon auszugehen, dass die in den *PilotCards* angegebenen Werte die tatsächlich gefahrenden und damit realistischen Eingangsgrößen repräsentieren.

Bei der Analyse werden die Umdrehungen der einzelnen Manöver auf die Gesamtumdrehungen bezogen und auf diese Weise die jeweiligen prozentualen Anteile, wie in Tabelle 5.2 am Beispiel der *Emma Mærsk* gezeigt, errechnet. Bei langsam laufenden Motoren, wie sie in Containerschiffen eingesetzt werden, wird kein Getriebe zwischengeschaltet. Die Übertragung der Umdrehungen vom Motor auf den Propeller erfolgt direkt [MAN, 2008].

**Tab. 5.2: Berechnung der prozentualen Anteile der Umdrehungen bezogen auf die maximalen Umdrehungen für die *Emma Mærsk***

<i>Emma Mærsk</i>  $P_{max} = 80.080 \text{ KW}$  $n_{max} = 102 \text{ U/min}$	[U/min]	[%] von $n_{max}$
<i>Full ahead</i>	65	64
<i>Half ahead</i>	50	49
<i>Slow ahead</i>	35	34
<i>Dead slow ahead</i>	25	25
<i>Stop</i>	0	0

Analog zu Tabelle 5.2 sind im Anhang 2 die übrigen prozentualen Werte aus den 23 *PilotCards* berechnet worden. Diese Ergebnisse werden mit den Empfehlungen der EAU [1996] und der PIANC [1997] sowie der PIANC [2008] verglichen und ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Analyse sind getrennt nach Manövern in den nachfolgenden Abbildungen 5.2 bis 5.12 dargestellt

Die Abbildungen zeigen die untersuchten Schiffe (x-Achse) mit den jeweiligen errechneten Prozentwerten bezogen auf die maximalen Umdrehungen (y-Achse). Die Werte der Empfehlungen werden ebenfalls dargestellt.

### Full ahead

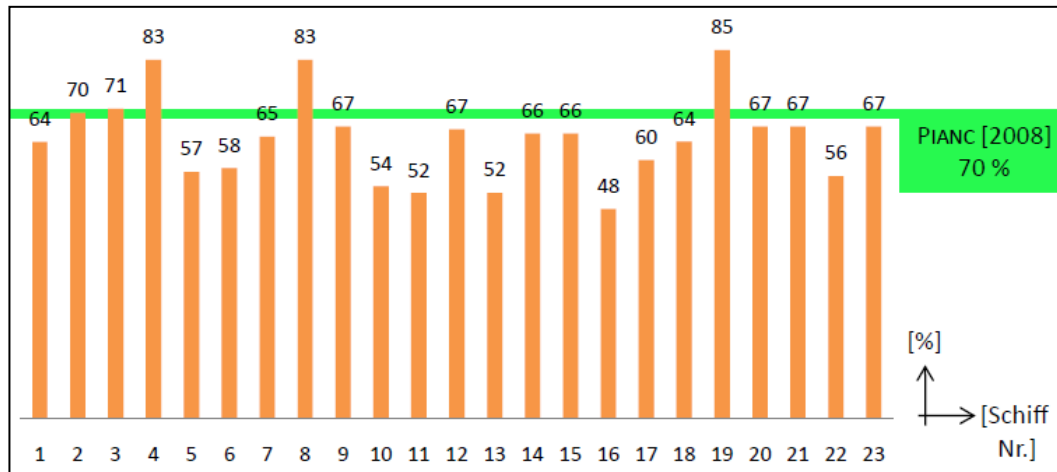


Abb. 5.2: Vergleich *Full ahead* und PIANC [2008]

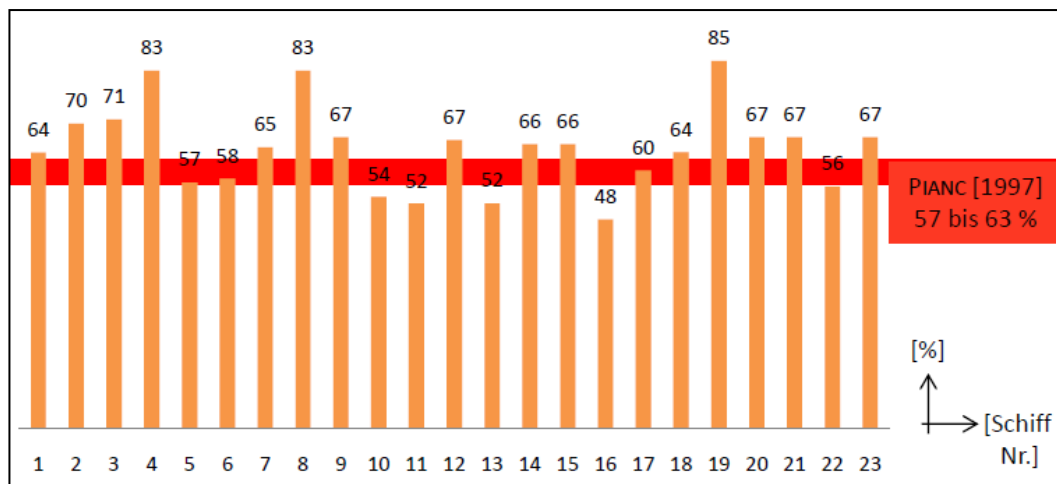


Abb. 5.3: Vergleich *Full ahead* und PIANC [1997]

Für das Manöver *Full ahead* zeigt Abbildung 5.2, dass der Wert der PIANC [2008] (70 % der maximalen Umdrehungen) von einem Schiff bestätigt wird. Vier der 23 Schiffe überschreiten und die übrigen 18 Schiffe unterschreiten die Empfehlung.

Der Ansatz der PIANC [1997] von 57 bis 63 % der maximalen Umdrehungen stimmt, wie in Abbildung 5.3 dargestellt, mit drei der 23 untersuchten Schiffe überein. Allerdings wird der Bereich von 15 der 23 untersuchten Schiffe überschritten.

Die EAU [1996] gibt keine Empfehlung für den Ansatz der Umdrehung des Manöver *Full ahead* und entzieht sich somit einer Betrachtung.

Der Wert von 85 % der maximalen Umdrehungen liegt bezüglich des Manövers *Full ahead* für alle Schiffe „auf der sicheren Seite“.

### Half ahead

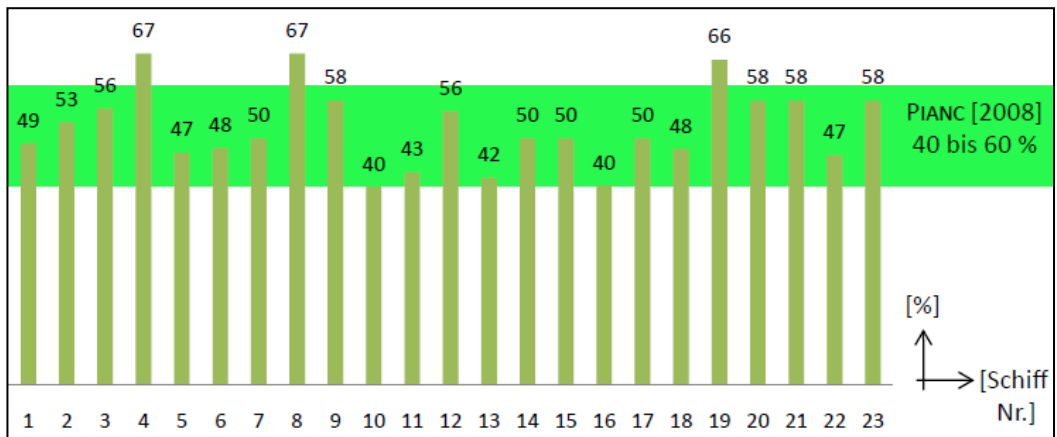


Abb. 5.4: Vergleich *Half ahead* und PIANC [2008]

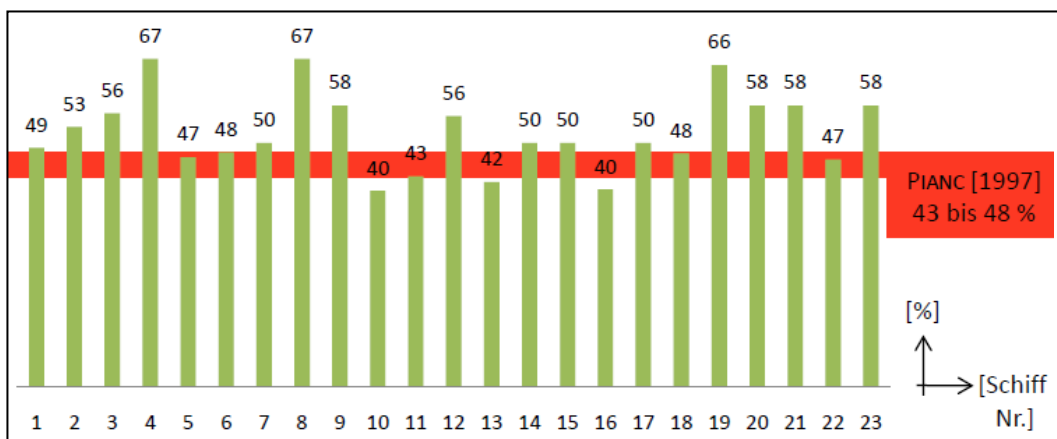
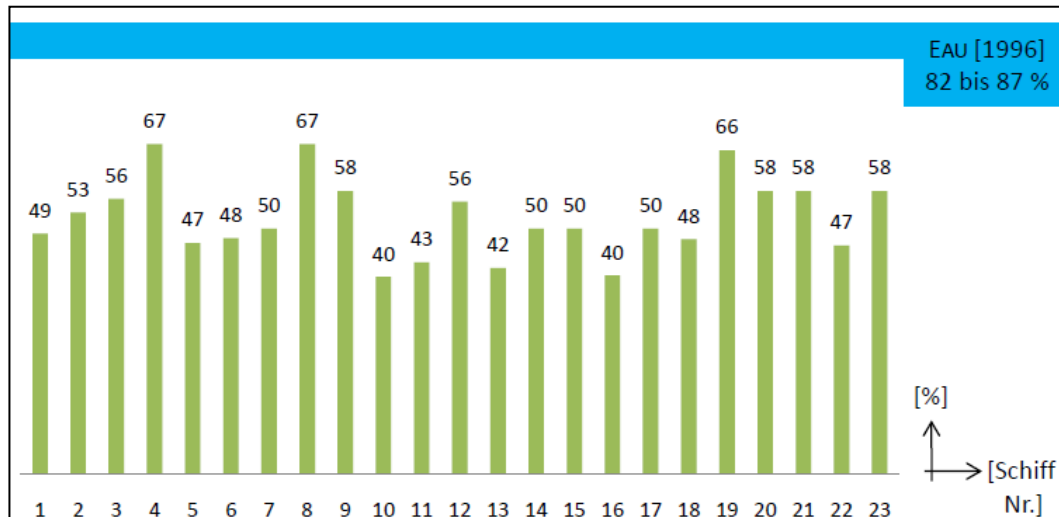


Abb. 5.5: Vergleich *Half ahead* und PIANC [1997]



**Abb. 5.6: Vergleich *Half ahead* und EAU [1996]**

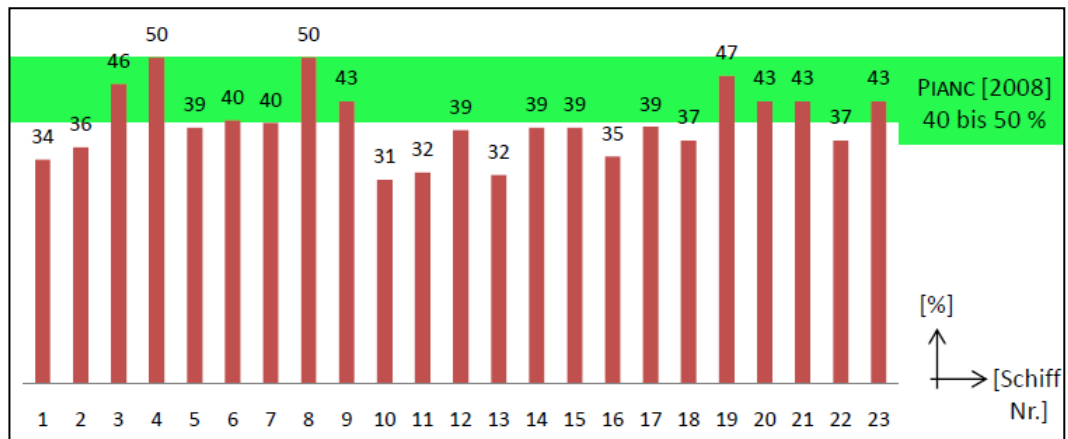
Bezüglich des Manövers *Half ahead*, zeigt der empfohlene Bereich der PIANC [2008] mit 40 bis 60 % der maximalen Umdrehungen die größte Übereinstimmung. 21 der 23 untersuchten Schiffe liegen in diesem Bereich, der von drei Schiffen mit 6 bzw. 7 % überschritten wird (vgl. Abb. 5.4).

Der Bereich der Empfehlung von PIANC [1997] mit 43 bis 48 % der maximalen Umdrehungen für das Manöver *Half ahead* ist viel enger und wird von 15 Schiffen überschritten. Fünf der 23 untersuchten Schiffe befinden sich im empfohlenen Bereich (vgl. Abb. 5.5).

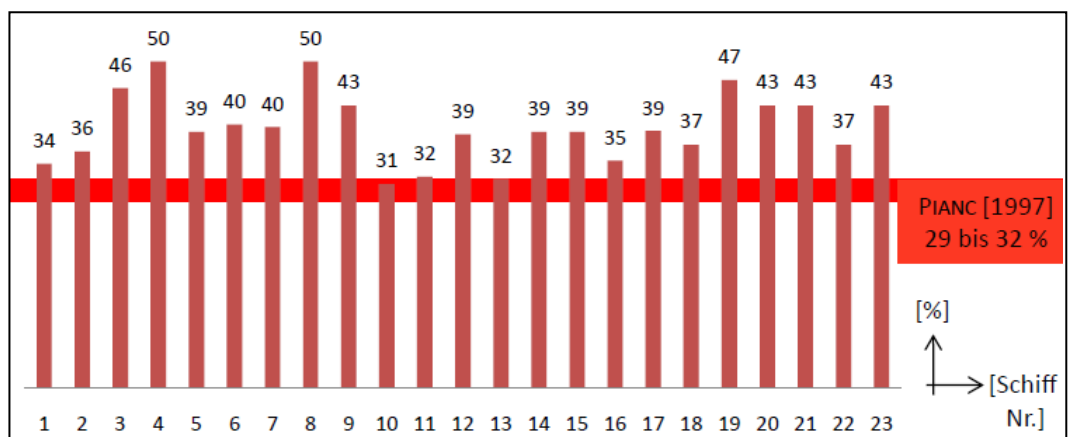
Der Ansatz von PIANC [2008] ist nach dieser Analyse ebenso für das Manöver *Half ahead* der Empfehlung von PIANC [1997] vorzuziehen.

Die Empfehlung der EAU [1996] mit 82 bis 87 % der maximalen Umdrehungen weicht von den Ergebnissen dieser Analyse ab (vgl. Abb. 5.6).

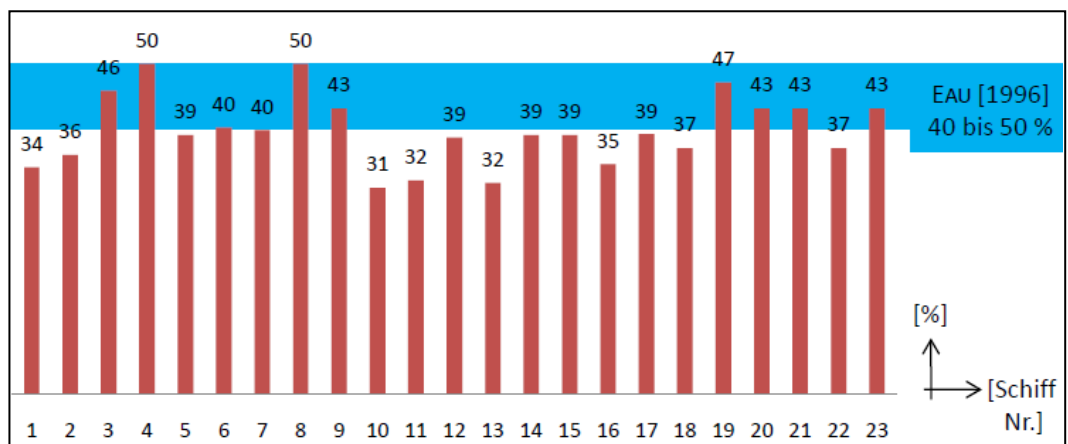
**Slow ahead**



**Abb. 5.7: Vergleich *Slow ahead* und PIANC [2008]**



**Abb. 5.8: Vergleich *Slow ahead* und PIANC [1997]**



**Abb. 5.9: Vergleich *Slow ahead* und EAU [1996]**



Für das Manöver *Slow ahead* ist nach dieser Analyse der Wert von 50 % der maximalen Umdrehungen für alle untersuchten Schiffe eine sichere Annahme (s. Abb. 5.7). Sowohl von der PIANC [2008] als auch von den EAU [1996] sind 40 % bis 50 % der maximalen Umdrehungen empfohlen. Zehn der 23 untersuchten Schiffe entsprechen dieser Empfehlung und kein Schiff überschreitet den Bereich (Abb. 5.7 und Abb. 5.9).

Der Ansatz der PIANC [1997] mit 29 bis 32 % der maximalen Umdrehungen ist, im Hinblick auf die vorliegenden Ergebnisse, tief angesetzt. Drei der 23 untersuchten Schiffe genügen dieser Empfehlung die allerdings nach Abb. 5.8. von den übrigen 20 Schiffen überschritten wird.

### Dead Slow ahead

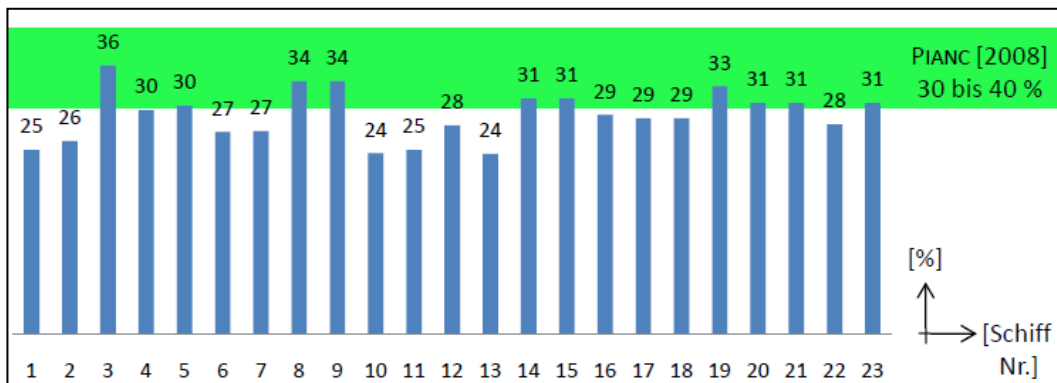


Abb. 5.10: Vergleich *Dead slow ahead* und PIANC [2008]

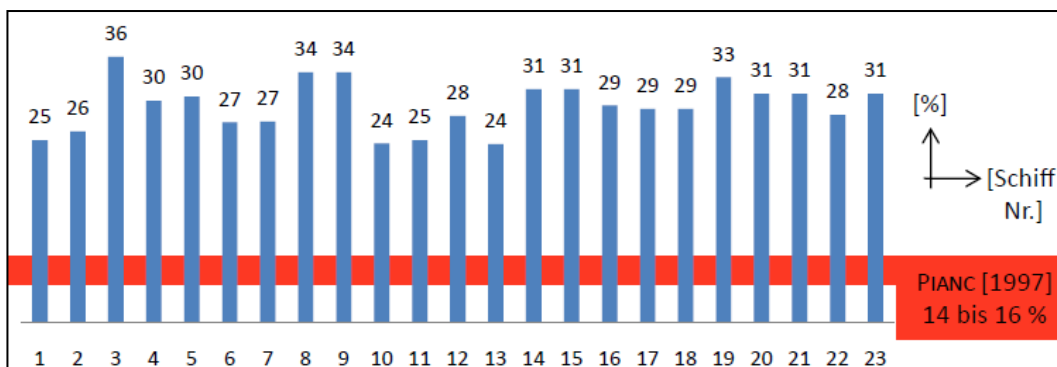
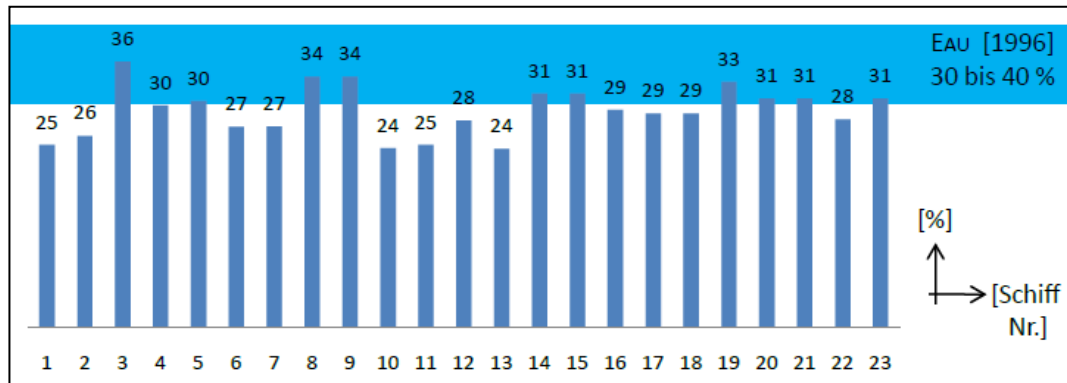


Abb. 5.11: Vergleich *Dead slow ahead* und PIANC [1997]



**Abb. 5.12: Vergleich *Dead slow ahead* und EAU [1996]**

Für das Manöver *Dead Slow ahead* ist der Ansatz der EAU [1996] mit 30 bis 35 % der maximalen Umdrehungen die realistischste Empfehlung. Zehn der 23 untersuchten Schiffe liegen im empfohlenen Bereich von den EAU [1996] und ein Schiff überschreitet den Wert mit 1 % (vgl. Abb. 5.12).

Der Ansatz nach PIANC [2008] ist nach oben hin weiter gefasst (bis 40 %) und somit sicherer. Bezüglich der minimalen Überschreitung wird dieser Ansatz als weniger zutreffend bewertet (vgl. Abb. 5.10).

Die Empfehlung der PIANC [1997] mit 14 bis 16 % der maximalen Umdrehungen für das Manöver *Dead slow ahead* liegt unter den Ergebnissen und wird von allen Werten überschritten (s. Abb. 5.11). Im Sinne einer Dimensionierung befindet sich der Ansatz weit auf der „unsicheren Seite“ und sollte daher im Hinblick auf die Ergebnisse nicht zu Einsatz kommen.

### 5.3 Auswertung und Diskussion der Ansätze für Leistung und Umdrehungen

Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 5.3 den Ansätzen für die Umdrehungen aus Tabelle 5.1 gegenübergestellt. Hervorgehoben sind die Werte, die sich aus der Analyse bestätigt haben.

**Tab. 5.3: Analyseergebnis im Vergleich zu den Ansätzen der Umdrehungen nach den EAU [1996], der PIANC [1997] und der PIANC [2008]**

	Analyseergebnis (vgl. Anhang 2)	EAU [1996]	PIANC [1997]	PIANC [2008] <sup>3</sup>
	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$
<i>Full ahead</i>	48-83		57-63	<b>70</b>
<i>Half ahead</i>	40-67	82-87	43-48	<b>40-60</b>
<i>Slow ahead</i>	31-50	<b>40-50</b>	29-32	<b>40-50</b>
<i>Dead slow ahead</i>	24-36	<b>30-35</b>	14-16	30-40
<i>Empfehlung für Hafenmanöver</i>		75	46	<b>40-50</b>

Es hat sich gezeigt, dass die prozentualen Ansätze der maximalen Umdrehungen nach der PIANC [2008] für die Manöver *Full ahead* und *Half ahead* am besten mit den Ergebnissen übereinstimmen. Im Hinblick auf das Manöver *Slow ahead* können die Empfehlung der PIANC [2008] und die der EAU [1996] angesetzt werden. Für das Manöver *Dead slow ahead* ist die Übereinstimmung bei der Empfehlung der EAU [1996] am größten.

<sup>3</sup> Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.

### **Empfehlung für Hafenmanöver**

Die EAU [1996] und die PIANC [1997] orientieren sich bei der *Empfehlung für Hafenmanöver* als obere Grenze am Manöver *Half ahead*. Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze für dieses Manöver, ergeben sich als Empfehlung 46 % der maximalen Umdrehungen nach der PIANC [1997] sowie 75 % der maximalen Umdrehungen nach den EAU [1996]. In Bezug auf die Analyseergebnisse sind 67 % der maximalen Umdrehungen bezüglich des Manövers *Half ahead* anzusetzen.

Nach VORWERK [2010] und Bunde [2010] wird im Hafengebiete maximal das Manöver *Slow ahead* gefahren. In Bezug auf die vorgenommene Analyse sind demnach 50 % der maximalen Umdrehungen für den Hafengebiete zu empfehlen.

### **Zusammenhang zwischen Umdrehungen und Leistungen**

Um eine Analyse der Leistungsansätze vorzunehmen wird der Zusammenhang zwischen Umdrehungen und Leistungen eines Propellers untersucht.

Über das Gleichsetzen von Gleichung 3-4 und 3-5 ist es möglich einen theoretischen Zusammenhang zwischen Leistung und Umdrehungen in Abhängigkeit des Durchmessers zu beschreiben. Dieser wird anhand der Daten der *Emma Mærsk* ( $P = 80.080 \text{ KW}$ ,  $n = 102 \text{ U/min}$ ,  $D = 9,6 \text{ m}$  und  $C_p = 1,48$  für einen freien Propeller) überprüft. Es ergibt sich für die Umdrehungen, unter Verwendung der Leistung:

$$n = \frac{C_p}{0,95 \cdot D} * \left( \frac{P}{\rho_W * D^2} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{1,48}{0,95 * 9,6} * \left( \frac{80080}{1,0 * 9,6^2} \right)^{\frac{1}{3}} * 60 = 92,9 \text{ U/min} \quad \text{Gl. 5-1}$$

bzw. für Leistung unter Verwendung der Umdrehungen:

$$\begin{aligned} P &= \left( \frac{0,95}{C_p} \right)^3 * \rho_W * n^3 * D^5 && \text{Gl. 5-2} \\ &= \left( \frac{0,95}{1,48} \right)^3 * 1,0 * (103/60)^3 * 9,6^5 = 105.946,98 \text{ KW} \end{aligned}$$

Auf Basis der Daten der *Emma Mærsk* ergeben sich zwischen den errechneten und den angegebenen Werten für  $n$  und  $P$ , Abweichungen von 8,92 % bzw. 24,42 %. Aus den Gleichungen 5-1 und 5-2 geht hervor, dass  $P$  und  $n$  im Verhältnis  $P \sim n^3$  zueinander stehen.

### Propellergesetz

Die Leistung kann für einen Propeller mit festen Propellerblättern (Fixed Pitch Propeller, FPP) nach dem allgemeinen Propellergesetz bestimmt werden [MAN, 2009]:

$$\frac{P}{P_{max}} = \left( \frac{n}{n_{max}} \right)^3 \quad \text{Gl. 5-3}$$

mit

$P$	Propellerleistung	[kW]
$P_{max}$	maximale Propellerleistung	[kW]
$n$	Umdrehungen	[U/min]
$n_{max}$	maximale Umdrehungen	[U/min]

Der Zusammenhang nach Gleichung 3.3 ist für die Ansätze von den EAU [1996], der PIANC [1997] sowie dem Entwurf der PIANC [2008] in Tabelle 3.1 überprüft worden. Die erläuterte Berechnung ist in Tabelle 5.4 dargestellt.

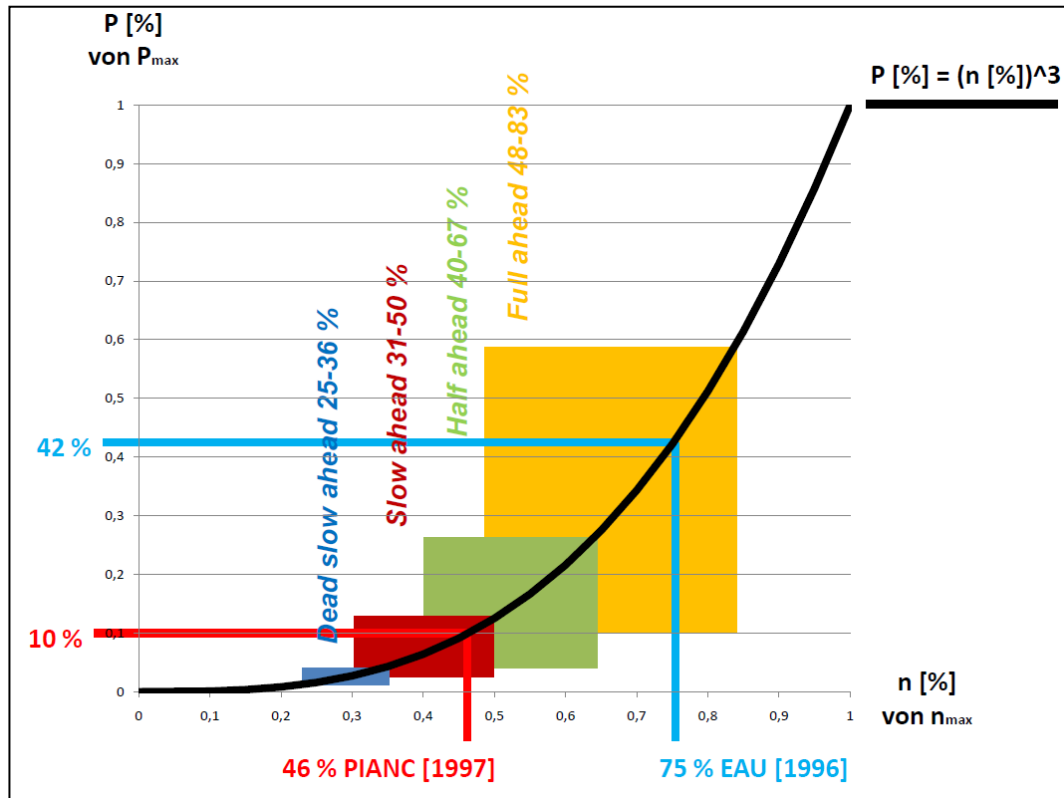
**Tab. 5.4: Überprüfung des Zusammenhangs  $P$  [%] =  $(n$  [%])<sup>3</sup> anhand der Leistungs- und Umdrehungsansätze von EAU [1996], PIANC [1997] und PIANC [2008]**

Manöver	EAU [1996]		PIANC [1997]		PIANC [2008] <sup>4</sup>	
	$(n$ [%]) <sup>3</sup>	[%] von $P_{max}$	$(n$ [%]) <sup>3</sup>	[%] von $P_{max}$	$(n$ [%]) <sup>3</sup>	[%] von $P_{max}$
<i>Max. installed power</i>			100	100	100	100
<i>Full ahead - service speed</i>	100	100	<b>0,85<sup>3</sup> = 0,61</b> 0,90 <sup>3</sup> = 0,729	<b>51</b> 73	0,80 <sup>3</sup> = 0,51 0,90 <sup>3</sup> = 0,729	50 80
<i>Full ahead – manoeuvring</i>			0,57 <sup>3</sup> = 0,185 0,63 <sup>3</sup> = 0,25	18 25	0,70 <sup>3</sup> = 0,343	50
<i>Half ahead</i>	0,82 <sup>3</sup> = 0,55 0,87 <sup>3</sup> = 0,66	55 65	0,43 <sup>3</sup> = 0,08 0,48 <sup>3</sup> = 0,11	8 11	0,40 <sup>3</sup> = 0,064 0,60 <sup>3</sup> = 0,216	40
<i>Slow ahead</i>	0,40 <sup>3</sup> = 0,06 0,50 <sup>3</sup> = 0,125	6 12,5	0,29 <sup>3</sup> = 0,02 0,32 <sup>3</sup> = 0,03	2 3	0,40 <sup>3</sup> = 0,064 0,50 <sup>3</sup> = 0,125	30
<i>Dead slow ahead</i>	0,30 <sup>3</sup> = 0,027 0,35 <sup>3</sup> = 0,043	3 4,3	0,14 <sup>3</sup> = 0,003 0,16 <sup>3</sup> = 0,004	0,3 0,4	0,30 <sup>3</sup> = 0,027 0,40 <sup>3</sup> = 0,064	10
<i>Empfehlung für Hafemanöver</i>	0,75 <sup>3</sup> = 0,42	42	0,46 <sup>3</sup> = 0,10	10	0,40 <sup>3</sup> = 0,064 0,50 <sup>3</sup> = 0,125	10-20

Für die Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] ergeben sich aus den Umdrehungen nach Gleichung 5-3, eindeutig die entsprechende Leistung. Mit der Ausnahme des Manövers *Full ahead – service speed*, der PIANC [1997]. An Stelle von 51 % der Gesamtleistung ergibt sich 61 % der Gesamtleistung. Angenommen wird, dass es sich hierbei um einen Druck- oder Übertragungsfehler handelt.

Der Zusammenhang zwischen den Leistungen und Umdrehungen sowie die Ergebnisse der Analyse sind in Abbildung 5.13 dargestellt.

<sup>4</sup> Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.



**Abb. 5.13: Überblick über die Analyseergebnisse für die einzelnen Manöver**

Für die Ansätze der PIANC [2008] bestätigt sich der oben genannte Zusammenhang nach Gleichung 5-3 nicht. Anhand von Tabelle 5.5 werden die jeweiligen Exponenten berechnet, die an Stelle des Exponenten  $i = 3$  in Gleichung 5-3, die Leistungen aus den Umdrehungen ergibt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.5 aufgeführt.

Die Spanne für den Exponenten reicht von  $i = 1,0$  bis  $2,5$ .

**Tab. 5.5: Ermittlung des Exponenten für den Zusammenhang zwischen Umdrehungen und Leistung nach PIANC [2008]**

Manöver	Umdrehungen [%] von $n_{max}$	Leistung [%] von $P_{max}$	Exponent $i = \log_n(P)$
<i>Full Ahead</i>	0,7	0,5	1,9
<i>Half Ahead</i>	0,6	0,4	1,8
	0,4	0,4	1,0
<i>Slow Ahead</i>	0,5	0,3	1,7
	0,4	0,3	1,3
<i>Dead Slow Ahead</i>	0,4	0,1	2,5
	0,3	0,1	1,9
	0,5	0,2	2,3
	0,4	0,1	2,5

Das allgemeine Propellergesetz nach Gleichung 5-3 gilt für einen sich frei drehenden Propeller, der nicht beeinflusst wird (Idealbedingungen) [BUNDE, 2010]. Bei sehr starker Beeinflussung, wie beispielsweise bei Fahren durch Eis, kann  $i = 1$  als Extrem gewählt werden. Für den Bereich dazwischen ist der Exponent den entsprechenden Bedingungen (z. B. Wind oder Strömungen ausgesetzt) anzupassen.

Somit kann die Gleichung 5-3 zu folgendem Ansatz erweitert werden:

$$\frac{P_{max}}{P} = \left(\frac{n_{max}}{n}\right)^i \quad \text{Gl. 5-4}$$

mit

- $i = 1,0$  (für Extrembedingungen, wie das Fahren durch Eis)
- $i = 3,0$  (für Idealbedingungen)

Die Umrechnung der prozentualen Ansätze Umdrehungen aus den *PilotCards* in die zugehörigen Leistungen ist nach Gleichung 5-4 möglich. Allerdings stellt sich die Frage, welcher Exponent für welches Manöver gewählt wird. Zur Eingrenzung und Einschätzung wird die Analyse für die Exponenten  $i = 1$ ,  $i = 2$  und  $i = 3$  durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.6 dargestellt.



**Tab. 5.6: Analyseergebnisse (für unterschiedliche Exponenten)  $i = 1, 2, 3$  im Vergleich zu den Leistungsansätzen nach den EAU [1996], der PIANC [1997] und der PIANC [2008]**

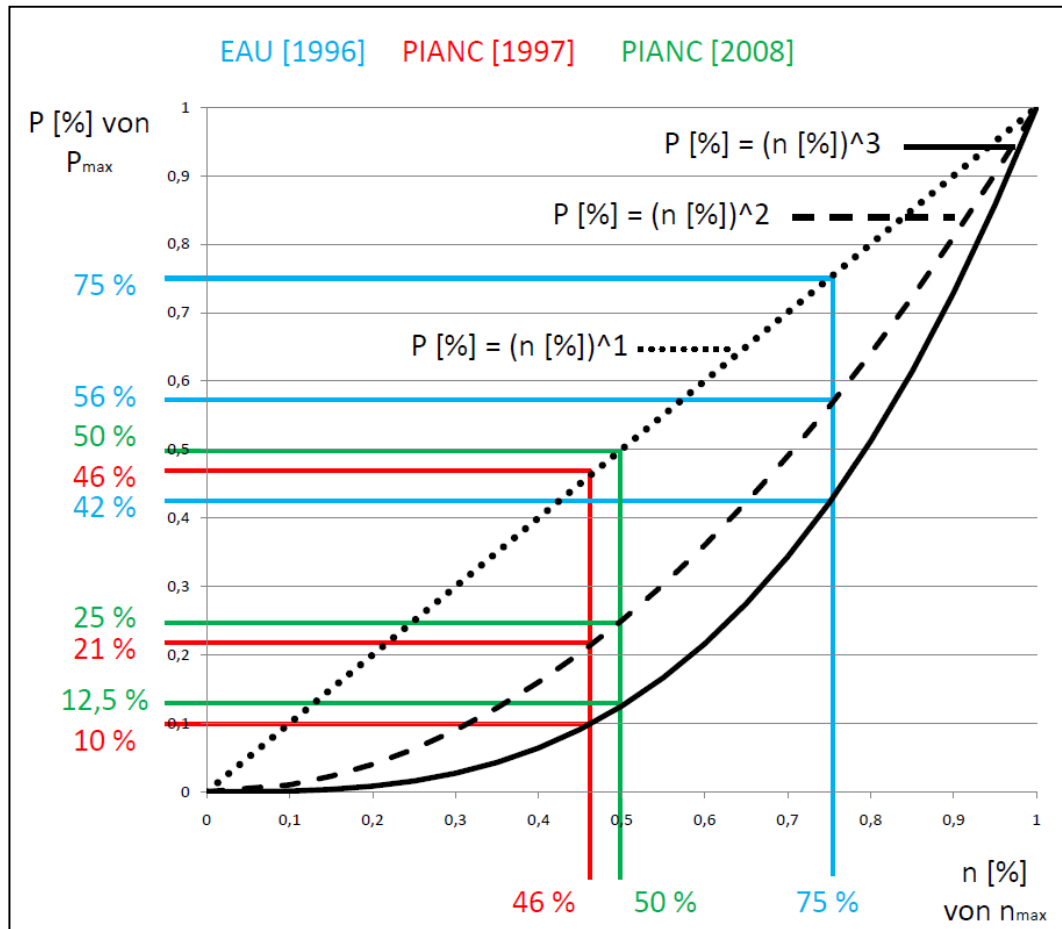
	Analyseergebnisse (Ermittlung der Leistungen nach Gl. 5-4)			EAU [1996]	PIANC [1997]	PIANC [2008] <sup>5</sup>
	mit $i = 3$	mit $i = 2$	mit $i = 1$			
Manöver	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$
<i>Full ahead</i>	11,3-61,2	<b>23,3-72,1</b>	48,3-84,9		18-25	<b>50</b>
<i>Half ahead</i>	6,5-30,5	<b>16,1-45,3</b>	40,2-67,3	55-65	8-11	<b>40</b>
<i>Slow ahead</i>	3,1-12,5	<b>9,8-25,0</b>	31,3-50,0	6-12,5	2-3	<b>30</b>
<i>Dead slow ahead</i>	1,4-3,8	<b>5,8-11,3</b>	24,0-33,7	3-4,3	0,3-0,4	<b>10</b>
Empfehlung für Hafemanöver				42	10	<b>10-20</b>

Die Analyse hat, wie in Tabelle 5.3 aufgezeigt ergeben, dass für den prozentualen Ansatz der Umdrehungen der Entwurf der PIANC [2008] die größte Übereinstimmung zeigte. In Bezug auf die Ansätze der Leistung, wird empfohlen den Exponenten  $i$ , den vorherrschenden Bedingungen anzupassen. Für eine Berechnung mit einem mittleren Wert von  $i = 2$ , zeigt Tabelle 5.6 eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Empfehlungen des Entwurfes der PIANC [2008]. Die Empfehlungen liegen außer für das Manöver *Slow ahead* in einem mittleren Bereich der Ergebnisse.

In Abbildung 5.14 ist eine Übersicht gegeben, wie am Beispiel der *Empfehlungen für Hafemanöver* aus den Umdrehungen die jeweiligen Leistungen nach unterschiedlichen Exponenten  $i = 1, 2, 3$  ermittelt werden können.

Eine ausführliche Darstellung aller Berechnungen und der Ergebnisse aus Tabelle 5.6 befindet sich in Anhang 2.

<sup>5</sup> Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.



**Abb. 5.14:** Übersicht über die Ermittlung der jeweiligen Leistungen aus den Umdrehungen nach unterschiedlichen Exponenten  $i = 1, 2, 3$  am Beispiel der *Empfehlungen für Hafenmanöver*

## 6 Bemessung am Beispiel der Emma Maersk

Die *Emma Mærsk* (Abb. 6.1) ist das Typschiff der *Emma-Mærsk-Klasse*, die aus acht baugleichen Containerschiffen der dänischen Reederei *Mærsk* besteht. Mit 11.000 TEU (twenty-foot-equivalent containers, Maß für Größe von Containerschiffen) ist sie nach der *MSC Daniela* (14.000 TEU) das größte Containerschiff der Welt. Die Länge beträgt 397,71 m und die Breite 56,40 m. Die Tragfähigkeit DWT (dead weight tonnage) der *Emma Mærsk* liegt bei 156.900 t.



**Abb. 6.1:** *Emma Mærsk* [CAPTAIN, 2010]

Der Hauptmotor (*Wärtsilä Sulzer 14RT-Flex96C*) ist ein Zweitakt Dieselmotor, des finnischen Herstellers *Wärtsilä Sulzer* und mit seinen 14 Zylindern einer der leistungsstärksten Kolbenmaschinen weltweit. Die Leistung beträgt 80.080 kW bei 102 U/min. Der Heckpropeller hat einen Durchmesser von 9,60 m.

In diesem Kapitel werden die theoretischen Ansätze dieser Diplomarbeit am Beispiel der *Emma Mærsk* auf die Anwendbarkeit in der Praxis überprüft.

## 6.1 Induzierte Anfangsgeschwindigkeit:

Die induzierte Anfangsgeschwindigkeit nach Gleichung 3.4 errechnet sich für die *Emma Mærsk* zu:

$$v_0 = 0,95 * \frac{102}{60} * 9,6 = 15,50 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-1}$$

Wird die induzierte Anfangsgeschwindigkeit nach der Leistung berechnet, ergibt sich für die induzierte Anfangsgeschwindigkeit anhand Gleichung 3-5 ein Wert von:

$$v_0 = 1,48 * \left( \frac{80.080}{1,0 * 9,6^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 14,12 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-2}$$

mit

$$C_p = 1,48 \quad (\text{für einen freien Propeller (vgl. Abb. 6.2)})$$

Für den in NIELSON [2005] angegebenen mittleren Wert von  $C_p = 1,37$  ergibt sich zu  $v_0 = 13,07 \text{ m/s}$ .



Abb. 6.2: Heck der *Emma Mærsk* [SHIPMARINE, 2010]

Der internationale Ansatz berücksichtigt den eingeschnürten Querschnitt. Dieser berechnet sich nach Gleichung 3-16 zu:

$$D_0 \geq \frac{9,6}{\sqrt{2}} = 6,79 \text{ m.} \quad \text{Gl. 6-3}$$

Mit diesem eingeschnürten Querschnitt ergibt sich eine induzierte Anfangsgeschwindigkeit nach Gleichung 3-15 von:

$$v_0 = 1,15 * \left( \frac{80.080}{1,0 * 6,79^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 13,82 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-4}$$

## 6.2 Maximale Geschwindigkeiten in den Zonen der Strahlentwicklung

Für die weitere Berechnung wird, um auf der „sicheren Seite zu liegen“, der maximale Wert von  $v_0 = 15,50 \text{ m/s}$  angenommen (nach Gleichung 6.1). Die Strahlentwicklung ist, wie in Kapitel 3.2, erläutert in unterschiedliche Zonen aufgeteilt. In der ersten Zone ist die maximale Geschwindigkeit entlang der x-Achse konstant und berechnet sich nach Gleichung 3-17 zu:

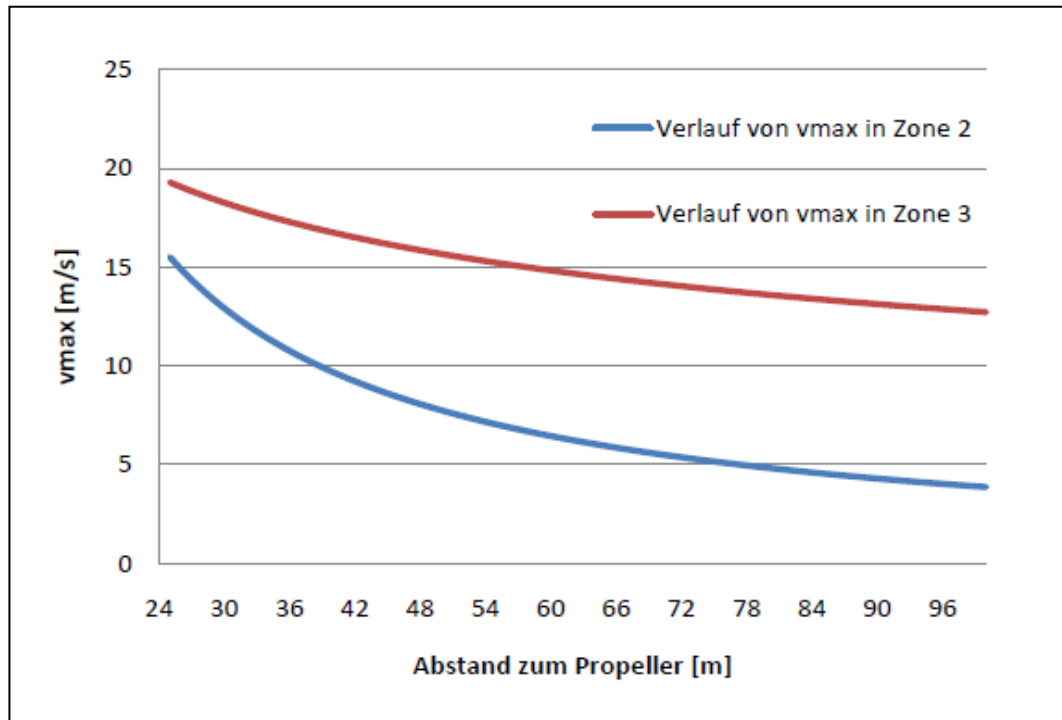
$$v_{x,max} = v_0 = 15,50 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-5}$$

Der Bereich dieser Zone beträgt  $x_0 = 2,6 * D = 2,6 * 9,6 = 24,96 \text{ m}$ .

Für den Bereich des entwickelten Strahls im Bereich der zweiten Zone mit  $x > 24,96 \text{ m}$  kann die maximale Geschwindigkeit entlang der x-Achse in Abhängigkeit von  $x$  nach Gleichung 3-21 wie folgt bestimmt werden:

$$v_{x,max} = 2,6 * \left( \frac{x}{D} \right)^{-1} * v_0 = 386,88 * x^{-1} \quad \text{Gl. 6-6}$$

Wie in der folgenden Abbildung 6.3 dargestellt, beginnt die Funktion mit dem maximalen Wert von  $v_0 = 15,50 \text{ m/s}$  bei  $x > 24,96 \text{ m}$  und nimmt mit anwachsendem Abstand  $x$  zum Propeller ab.



**Abb. 6.3: Verlauf von  $v_{\max}$  in Zone 2 und 3**

Im Hafbereich erreicht der Strahl schnell die Zone 3. Die Strahlausbreitung wird durch den Wasserspiegel, die Sohle und eine seitlichen Begrenzung behindert. Nach Gleichung 3-23 berechnet sich  $v_{x,\max}$  in diesem Bereich zu:

$$v_{x,\max} = A * \left(\frac{x}{D}\right)^{-a} * v_0 = 1,735 * \left(\frac{x}{9,6}\right)^{-0,3} = 15,50 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-7}$$

mit

$a = 0,3$  Annahme: seitliche Strahlbegrenzung durch Sohle, Wasserspiegel und Kaiwand

$A = 1,735$  nach Gl. 3-25 (Heckpropeller mit Zentralruder (vgl. Abb. 6.2))

$$A = 1,88 * e^{\left(-0,161 * \frac{h_p}{D}\right)}$$

mit

$h_p = \frac{9,60}{2} + 0 = 4,80 \text{ m}$  (Ungünstigste Annahme für Abstand Propellerachse zur Sohle, Kiel auf Grund)

Die Abnahme von  $v_{x,max}$  in der Zone 3 ist für den Fall, dass der Strahl direkt von Zone 1 in Zone 3 übergeht in Abbildung 6.3 dargestellt. Durch die seitliche Behinderung, der Sohle und des Wasserspiegels wird der Querschnitt verkleinert und die Geschwindigkeit ist gegenüber der freien Strahlausbreitung in Zone 2 erhöht.

### 6.3 Maximale Sohlgeschwindigkeit

Die maximale Sohlgeschwindigkeit berechnet sich nach Gl. 3-27 für die *Emma Mærsk* zu:

$$v_{max,So} = 0,95 * \frac{102}{60} * 0,71 * \frac{9,60^2}{4,80} = 22,02 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-8}$$

mit

$E = 0,71$  für ein Seeschiff mit Zentralruder (vgl. Abb.6.2)

$h_p = 4,80 \text{ m}$  Annahme für Abstand Propellerachse zur Sohle

Die beiden Bedingungen, dass die *Emma Mærsk* mit ihrem Kiel den Grund berührt ( $h_p = 4,80 \text{ m}$ ) und die maximalen Umdrehungen ( $n = 102 \text{ U/min}$ ) im Hafen fährt, werden nicht auftreten. Sie sollen als Extremwert nur einen theoretischen Grenzwert darstellen.

#### Auswirkungen der unterschiedlichen Umdrehungsansätze

Aus den unterschiedlichen Ansätzen für die Umdrehungen der *Empfehlung für Hafenmanöver* in der Tabelle 3.1, ergeben sich nach Gleichung 3-27 die folgenden maximalen Sohlgeschwindigkeiten:

für die EAU [1996]

$$v_{max,So} = 0,95 * \frac{0,75*102}{60} * 0,71 * \frac{9,60^2}{4,80} = 16,52 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-9}$$

für die PIANC [1997]

$$v_{max,So} = 0,95 * \frac{0,46*102}{60} * 0,71 * \frac{9,60^2}{4,80} = 10,13 \text{ m/s} \quad \text{Gl. 6-10}$$

für die PIANC [2008]

$$v_{max,So} = 0,95 * \frac{0,50 * 102}{60} * 0,71 * \frac{9,60^2}{4,80} = 11,01 \text{ m/s.} \quad \text{Gl. 6-11}$$

Die Bedeutung der Ansätze wird anhand der Ergebnisse mit Unterschieden bis 5,5 m/s verdeutlicht.

## 6.4 Erforderlicher Steindurchmesser

Für den erforderlichen Steindurchmesser  $D_{r,0}$  in HANSEN [1985] ergibt sich nach Gleichung 4-18:

$$D_{r,0} = \sqrt[3]{\frac{0,062 * v^6}{0,245 * 2,650}} = 0,04574 * v^2 \quad \text{Gl. 6-12}$$

Die Abschätzung der Steingröße bei weitgehend böschungsparallelem Strömungsangriff nach Gleichung 4-19, mit Berücksichtigung des Faktors nach ISBASH im GBB [2004], ergibt:

$$D_{50} = 0,7 * 1 * \frac{v^2}{9,81} * \frac{1}{\frac{2,650-1,0}{1,0}} = 0,0432 * v^2 \quad \text{Gl. 6-13}$$

mit  $C_{B\ddot{o}} = \frac{1}{k} = 1$

mit

$$k = \cos\beta * [1 - (\tan^2\beta / \tan^2\varphi'_D)]^{0,5} = 1$$

$$\text{mit } \beta = 0^\circ \text{ und } \varphi'_D = 35^\circ$$

Die erforderliche Steingröße  $D_{50}$  [m] infolge Propellerstrahlbelastung nach GBB [2004] berechnet sich nach Gleichung 4-20 zu:

$$D_{50} \geq 0,64 * \frac{v^2}{9,81} * \frac{1}{2,650-1} = 0,0395 * v^2 \quad \text{Gl. 6-14}$$



### Auswirkungen der unterschiedlichen Umdrehungsansätze

Der Ansatz nach HANSEN [1985] ist maßgebend und Gleichung 6.12 wird für die weiteren Berechnungen gewählt. Es ergibt sich:

für die EAU [1996]

$$D_{r,0} = \sqrt[3]{\frac{0,062 * v^6}{0,245 * 2,650}} = 0,04574 * 16,52^2 = 12,48 \text{ m} \quad \text{Gl. 6-15}$$

für die PIANC [1997]

$$D_{r,0} = \sqrt[3]{\frac{0,062 * v^6}{0,245 * 2,650}} = 0,04574 * 10,13^2 = 4,69 \text{ m} \quad \text{Gl. 6-16}$$

für die PIANC [2008]

$$D_{r,0} = \sqrt[3]{\frac{0,062 * v^6}{0,245 * 2,650}} = 0,04574 * 11,01^2 = 5,55 \text{ m} \quad \text{Gl. 6-17}$$

Die angesetzten Strömungsgeschwindigkeiten sind sehr hoch, sodass der Einsatz solcher Steingrößen in der Realität nicht umsetzbar ist. Es würde ein Einbau im Verbund gewählt werden. Dennoch zeigen die Ergebnisse die Auswirkungen der unterschiedlichen Leistungsansätze. Aufgrund der quadratisch einzusetzenden Strömungsgeschwindigkeit, werden die Unterschiede verstärkt und betragen fast 7,0 m.

## 6.5 Kolktiefe

Die in Abbildung 5.1 dargestellte Kolktiefe in der Sohle, die sich infolge der Propellerstrahlbelastung des Heckantriebs ergibt, berechnet sich nach RÖMISCH [1994] zu:

$$T_k = \left[ \frac{0,71}{1,25} * \frac{v_0}{\sqrt{0,9 * 9,81 * \left( \frac{2,650 - 1,0}{1,0} \right)}} - \frac{4,80}{9,60} \right] * 9,60 = 1,4286 * v_0 - 4,80 \quad \text{Gl. 6-18}$$

mit

$$d = 0,9 \text{ m (Annahme)}$$

$B_\alpha$  Stabilitätsbeiwert für eine Kolkböschung mit Neigung  $\alpha$

$$= (1,25^2 * \cos \alpha + 1,3 * \sin \alpha)^{1/2} = 1,25 \text{ für } \alpha = 0$$

### Auswirkungen der unterschiedlichen Umdrehungsansätze

für die EAU [1996]

$$T_K = 1,4286 * 15,5 * 0,75 - 4,80 = 11,8 \text{ m} \quad \text{Gl. 6-19}$$

für die PIANC [1997]

$$T_K = 1,4286 * 15,5 * 0,46 - 4,80 = 5,39 \text{ m} \quad \text{Gl. 6-20}$$

für die PIANC [2008]

$$T_K = 1,4286 * 15,5 * 0,5 - 4,80 = 6,27 \text{ m} \quad \text{Gl. 6-21}$$

Aufgrund der extremen Annahmen für  $h_p$  ergeben sich sehr tiefe Kolke. Die Tiefen sind um den Abstand zwischen Kiel und Sohle zu verringern. Allerdings zeigen die Ergebnisse den maßgeblichen Einfluss des Ansatzes für die Umdrehungen. Es ergeben sich Unterschiede von 6,41 m.

## 6.6 Mindestabmessungen

In Hinblick auf Kapitel 4.3.6 ergeben sich für die Mindestmaße der Befestigungen der Schutzmaßnahmen vor einer Kaimauer für den Heckpropeller ( $D = 9,6 \text{ m}$ ), die nachfolgenden Werte in Zusammenhang mit Abbildung 4.8:

Normal zum Kai:  $L_N = 3 \text{ bis } 4 * D + \Delta RS = 4 * 9,6 + 5,0 = 43,4 \text{ m}$

Längs zum Kai:  $L_{L,H,1} = 6 \text{ bis } 8 * D + \Delta RS = 8 * 9,6 + 5,0 = 81,8 \text{ m}$

$$L_{L,H,2} = 3 * D + \Delta RS = 3 * 9,6 + 5,0 = 33,8 \text{ m}$$

$$L_{L,H,3} = 3 \text{ bis } 4 * D + \Delta RS = 4 * 9,6 + 5,0 = 43,4 \text{ m}$$

mit

$$\Delta RS = 5,0 \text{ m}$$

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung der Belastungen auf Hafenbaustrukturen (Kaimauern, Böschungen und Sohlen) ist aufgrund der stetig wachsenden Containerumschlagmengen und der damit verbundenen Vergrößerung der Schiffe von großer Bedeutung. Durch die neuen Belastungssituationen werden die Hafenbaustrukturen bereits gefährdet. Daher besteht Bedarf, die Standfestigkeit der vorhandenen Konstruktionen in Hinblick auf die erhöhte Belastung zu beurteilen. Zur Lösung dieser Problematik ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Geotechnikern, Mechanikern, Bauingenieuren, Maschinen- und Schiffbauern erforderlich.

Das Bugstrahlruder im vorderen Teil des Schiffes wird vermehrt für eine bessere Manövrierfähigkeit eingesetzt. Durch den Heckpropeller erfolgt der Hauptantrieb eines Schiffes. Mit dem Anstieg der Schiffsgrößen ist ebenso eine Vergrößerung der Antriebsleistung und der Propellerdurchmesser verbunden, sodass die Belastung infolge des Propellerstrahls auf Kaimauern, Böschungen und Sohlen zunimmt.

An Kaimauern besteht am Fuß der Mauer die Gefahr der Auskolkung. Der Propellerstrahl trifft auf die Kaimauer und wird von dieser nach allen Seiten umgelenkt. Der nach unten gerichtete Wandstrahl erreicht im Fußbereich der Wand die Hafenbeckensohle und wird wiederum umgelenkt. In diesem und dem weiteren Bereich der Sohle kann es zu Kolken kommen. Bemessungsrelevant ist hier die maximale Geschwindigkeit des umgelenkten Propellerstrahls an der Sohle.

Trifft der Propellerstrahl auf eine Böschung, ist der für die Bemessung relevante Punkt zu lokalisieren und die maximale Geschwindigkeit zu ermitteln. Der Punkt, an dem der Propellerstrahl zuerst auf die Böschung trifft, oder an dem die Propellerachse die Böschung erreicht, kommt für diese Betrachtung infrage.

Aus der maximalen Strömungsgeschwindigkeit  $v_{max}$  errechnet sich die erforderliche Steingröße zum Schutz der Kaimauer oder der Böschung. Nach GBB [2004] erfolgt der Ansatz von  $v_{max}$  quadratisch und hat somit maßgeblichen Einfluss.

Die maximale Geschwindigkeit wird nach der Theorie von ALBERTSON ET AL. [1948] in BLAAUW und VAN DE KAA [1978] in Abhängigkeit der induzierten Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  errechnet.

Unter Berücksichtigung der Umdrehungen des Propellers berechnet sich  $v_0$  nach den EAU [2004]:

$$v_0 = 0,95 * n * D \quad \text{Gl. 7-1}$$

mit

$n$	Umdrehungen des Propellers	[U/min]
$D$	Propellerdurchmesser	[m].

In Abhängigkeit der Propellerleistung gilt nach den EAU [2004]:

$$v_0 = C_p * \left( \frac{P}{\rho_W * D^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Gl. 7-2}$$

mit

$C_p$	= 1,48 für einen freien Propeller	[-]
	= 1,17 für einen ummantelten Propeller.	

$P$	Propellerleistung	[kW]
$\rho_W$	Dichte des Wassers	[t/m <sup>3</sup> ]

Aus Gleichung 7-1 und 7-2 geht hervor, dass  $v_0$  maßgeblich von der Leistung bzw. den Umdrehungen beeinflusst wird. Hierbei ist entscheidend mit welcher tatsächlichen Leistung bzw. tatsächlichen Umdrehungen (in [%] von der maximalen) sich ein Schiff während eines Manövers im Hafen fortbewegt.

Die prozentualen Empfehlungen für die Leistung und die Umdrehungen nach den EAU [1996] und der PIANC [1997] sowie der PIANC [2008] sind in Tabelle 7.1 und Tabelle 7.2 dargestellt. Auffällig ist, dass die Ansätze erheblich voneinander abweichen.

**Tab. 7.1: Ansätze für die Anzahl der Umdrehungen [EAU, 1996; PIANC, 1997 und PIANC, 2008] und Ergebnisse der Analyse**

	EAU [1996]	PIANC [1997]	PIANC [2008]*	Analyseergebnis
Manöver	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$	Umdrehungen in [%] von $n_{max}$
<i>Full ahead</i>		57-63	<b>70</b>	48-83
<i>Half ahead</i>	82-87	43-48	<b>40-60</b>	40-67
<i>Slow ahead</i>	<b>40-50</b>	29-32	<b>40-50</b>	31-50
<i>Dead slow ahead</i>	<b>30-35</b>	14-16	30-40	24-36
<i>Empfehlung für Hafenmanöver</i>	75	46	<b>40-50</b>	<b>50</b>

\* Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.

**Tab. 7.2: Ansätze für die Leistung [EAU, 1996; PIANC, 1997 und PIANC, 2008]**

	EAU [1996]	PIANC [1997]	PIANC [2008]*
Manöver	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$
<i>Full ahead</i>		18-25	50
<i>Half ahead</i>	55-65	8-11	40
<i>Slow ahead</i>	6-12,5	2-3	30
<i>Dead slow ahead</i>	3-4,3	0,3-0,4	10
<i>Empfehlung für Hafenmanöver</i>	42	10	10-20

\* Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.

Es ist eine Analyse durchgeführt worden, die zeigen soll, welcher der in den Tabellen 7.1 und 7.2 vorgestellten Ansätze für  $P$  und  $n$  am besten die Realität abbildet.

Die Daten sind sogenannten *PilotCards* entnommen. *Pilotcards* enthalten die schiffsspezifischen Angaben und sind von den Schiffsführern in den Häfen zu erstellen. Abbildung 7.1 zeigt einen Ausschnitt der *PilotCard* der *Emma Mærsk*. Dargestellt ist der eingesetzte Motor mit einer Hauptleistung  $P_{max}$  von 80.080 KW und einer maximalen Drehzahl  $n_{max}$  von 102 U/min. Die Umdrehungen für die einzelnen Manöver sind ablesbar. Bei Missachtung der Werte kann die Maschine einen Schaden erleiden [Vorwerk, 2010]. Folglich ist davon auszugehen, dass die in den *PilotCards* angegebenen Werte die tatsächlich gefahrenen sind und damit reale Eingangsgrößen repräsentieren.

PROPULSION			
Main Engine: SULZER - 14RT-FLEX96C		80080 kW	102 RPM
Maneuvering Engine Order	Rpm	Speed in knots	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	65	16,6	16,9
Half Ahead	50	12,8	13
Slow Ahead	35	9	9,1
Dead Slow Ahead	25	6,4	6,5
Stop	0	0	0
Dead Slow Astern	25		
Slow Astern	35	Minimum no. of consecutive starts	12
Half Astern	50	Minimum RPM:	25
Full Astern	65	No critical engine RPM	-

**Abb. 7.1:** Ausschnitt aus der *PilotCard* der *Emma Mærsk*

Um die Ansätze mit den in Tabelle 7.1 aufgezeigten prozentualen Werten der EAU [2004] und der PIANC [1997] bzw. der PIANC [2008] zu vergleichen, werden sie in Bezug zur maximalen Umdrehung  $n_{max}$  gesetzt.

Die Analyse wurde anhand von 23 Containerschiffen der Baujahre 1996 bis 2007 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der letzten Spalte der Tabelle 7.1 aufgezeigt. In den übrigen Spalten sind die Ansätze hervorgehoben, welche durch diese Ergebnisse bestätigt werden konnten.

## Zusammenhang zwischen Leistung und Umdrehungen

Um einen Vergleich der Leistungsansätze in Tabelle 7.2 vorzunehmen, wurde der Zusammenhang zwischen Leistung und Umdrehungen untersucht.

Die Leistung kann für einen Propeller mit festen Propellerblättern (*Fixed Pitch Propeller, FPP*) nach dem allgemeinen Propellergesetz bestimmt werden [MAN, 2009]:

$$\frac{P}{P_{max}} = \left(\frac{n}{n_{max}}\right)^3 \quad \text{Gl. 7-3}$$

mit

$P_{max}$	maximale Leistung	[kW]
$P$	Leistung	[kW]
$n_{max}$	maximale Umdrehungen	[U/min]
$n$	Umdrehungen	[U/min]

Es konnte nachgewiesen werden, dass zwischen Tabelle 7.1 und 7.2 der Zusammenhang nach Gleichung 7-3 für die Empfehlungen der EAU [1996] und der PIANC [1997] besteht.

Für die Ansätze der PIANC [2008] liegt ein anderer Zusammenhang vor. Die Spanne des Exponenten  $i$  zur Berechnung der prozentualen Leistungen (Tab. 7.2) aus den prozentualen Umdrehungen (Tab. 7.1) reicht von  $i = 1,0$  bis  $2,5$ .

Das allgemeine Propellergesetz nach Gleichung 7-3 gilt für einen sich frei drehenden Propeller, der nicht beeinflusst wird (Idealbedingungen) [BUNDE, 2010]. Für den Einsatz in der Praxis ist der Exponent  $i$  anzupassen. Bei nahezu idealen Bedingungen ist Gleichung 7-3 mit  $i = 3$  ansetzbar. Wird  $i = 1$  gesetzt, so repräsentiert dies besonders erschwerende Bedingungen, wie beispielsweise das Fahren durch Eis [BUNDE, 2008]. Für den Bereich dazwischen ist der Exponent den entsprechenden Bedingungen, beispielsweise resultierend aus den vorherrschenden Wind- und Strömungsbedingungen, anzupassen.



Der allgemeine Zusammenhang zwischen Leistung und Umdrehung lautet demnach:

$$\frac{P_{max}}{P} = \left(\frac{n_{max}}{n}\right)^i \quad \text{Gl. 7-4}$$

mit

$i = 1,0$  (für Extrembedingungen)

$= 3,0$  (für Idealbedingungen)

**Tab. 7.3: Analyseergebnisse für unterschiedliche Exponenten  $i = 1, 2, 3$  im Vergleich zu den Leistungsansätzen nach den EAU [1996] der PIANC [1997] und der PIANC [2008]**

	Analyseergebnisse (Ermittlung der Leistungen nach Gl. 3-4)			EAU [1996]	PIANC [1997]	PIANC [2008]*
	mit $i = 3$	mit $i = 2$	mit $i = 1$			
Manöver	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$	Leistung in [%] von $P_{max}$
<i>Full ahead</i>	11,3-61,2	<b>23,3-72,1</b>	48,3-84,9		18-25	<b>50</b>
<i>Half ahead</i>	6,5-30,5	<b>16,1-45,3</b>	40,2-67,3	55-65	8-11	<b>40</b>
<i>Slow ahead</i>	3,1-12,5	<b>9,8-25,0</b>	31,3-50,0	6-12,5	2-3	<b>30</b>
<i>Dead slow ahead</i>	1,4-3,8	<b>5,8-11,3</b>	24,0-33,7	3-4,3	0,3-0,4	<b>10</b>
<i>Empfehlung für Hafemanöver</i>				42	10	<b>10-20</b>

\* Der Ansatz nach PIANC [2008] befindet sich noch im Entwurfsstadium und wurde auf Basis der beiden Ansätze von den EAU [1996] und der PIANC [1997] entwickelt.

Bei der Umrechnung der prozentualen Ansätze der Umdrehungen aus den *PilotCards* stellt sich die Frage, welcher Exponent für welches Manöver gewählt wird. Zur Abschätzung wird die Ermittlung der Leistung für die Exponenten  $i = 1$ ,  $i = 2$  und  $i = 3$  durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.3 dargestellt.

Die Analyse hat, wie aus Tabelle 7.1 hervorgeht, ergeben, dass für den prozentualen Ansatz der Umdrehungen der Entwurf der PIANC [2008] die größte Übereinstimmung zeigt. In Bezug auf die Ansätze der Leistung, wird empfohlen den Exponenten  $i$ , den vorherrschenden Bedingungen anzupassen. Für eine Berechnung mit einem mittleren Wert von  $i = 2$ , zeigt Tabelle 7.3 eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Empfehlungen des Entwurfes der PIANC [2008]. Die Empfehlungen liegen außer für das Manöver *Slow ahead* in einem mittleren Bereich der Ergebnisse.

Die Analyse basiert auf den Daten von 23 Containerschiffen, der Baujahre 1996 bis 2007. Die *PilotCards* stammen aus dem Hamburger Hafen und dem Bremerhaven und sind dem laufenden Schiffsbetrieb zwischen 2002 und 2007 entnommen. Um die Ergebnisse zu unterstützen könnte eine größere Anzahl von Schiffen in weiteren Häfen untersucht werden. Da eine repräsentative Auswahl von Containerschiffen getroffen wurde, wird davon angenommen, dass sich die Ergebnisse im Wesentlichen bestätigen werden und übertragbar sind.

Es ist möglich, die Ergebnisse mit denen von Containerschiffen der vorherigen Generationen zu vergleichen und zu ermitteln, ob ein Trend erkennbar ist.

Im Rahmen dieser Arbeit ist eine Möglichkeit aufgezeigt worden, einen Zusammenhang zwischen Umdrehungen und Leistungen herzustellen, der sich anhand der Empfehlungen von den EAU [1996] und der PIANC [1997] bestätigt hat. Dieser Zusammenhang zwischen Leistung und Umdrehung wurde differenzierter untersucht und mit Einführung eines Exponenten  $i$  allgemeiner gefasst. Der Bereich, in dem sich  $i$  bewegt, konnte in dieser Arbeit eingegrenzt werden. Die Frage, ob und wenn wie sich der Exponent  $i$  optimal an die Bedingungen anpassen lässt, bleibt bestehen und könnte beispielsweise anhand von Modelversuchen detaillierter betrachtet werden.

## Literaturverzeichnis

- [ALBERTSON ET.AL. 1948] *Diffusion of submerged jets*, M.L. Albertson, Y.B. Dai, R.A. Jenson, & H. Rouse, Transactions of the American Society of Civil Engineers (A.S.C.E.), Paper No 2409, Vol. 115, pp.639-664
- [BLAAUW und VAN DE KAA, 1978] *Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of manoeuvring ships*, H. G. Blaauw, und E. J., Van De Kaa, paper presented at the 7th International Harbour Congress (May 22-26, 1978) Antwerp, pp. 1-9
- [BRINKMANN, 2005] *Seehäfen – Planung und Entwurf*, Brinkmann, B., Fachhochschule Nordostniedersachsen, Standort Buxtehude, Fachbereich Bauingenieurwesen, Harburger Str. 6/7, 21614 Buxtehude, pp. 352-355
- [BLOKLAND, 1994] *Propeller jet against quay wall. Current velocity and erosion measurements*, (in Dutch) T. Blokland, Rotterdam public works, Harbour Engineering Division, report R94.038
- [DIN EN 13383, 2009] *Wasserbausteine Teil 1 und Teil 2*, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin
- [DREWES ET AL., 1995] *Propellerstrahlinduzierte Erosionen im Hafenaufbau und Möglichkeiten zum Sohlschutz für den Burchardt-Kai im Hafen Hamburg*, U. Drewes, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Dipl.-Ing. E.Schmidt, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig
- [EAU, 1997] *Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen*

- [EAU, 2004] *Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen*, 10. Auflage, pp. 261-271
- [EAO, 2002] *Empfehlung zur Anwendung von Oberflächenabdichtungen*, Mitteilungsblatt Nr. 85 der Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [FÜHRER, ET AL., 1977] *Effects of modern ship traffic on inland- and ocean-waterways and their structures*, M. Früher, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Publication of 24th International Navigation Congress (PIANC), Leningrad
- [GBB, 2004] *Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen*, Mitteilungsblatt Nr. 87, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe, pp. 59-69, 87-88, 93
- [GATTERMANN ET AL., 2000] *Innovativer Kaimauerbau im Hamburger Hafen auf der Grundlage von Erfahrungen, Messungen und Berechnungsmodellen*, Dr. J. Gattermann, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Prof. Dr. G. Maybaum, Rodatz und Partner, Beratende Ing. für Geotechnik GmbH, Braunschweig, Dr. C. Miller, Strom- und Hafenbau, Freie & Hansestadt Hamburg, Prof. Dr. W. Rodatz, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig,
- [HANSEN, 1985] *Wasserbausteine im Deckwerksbau Bemessung und Konstruktion*, Dr.-Ing. Uwe A. Hansen, Griebelstraße 26, 2240 Heide, pp. 34-40, 83

- [HACKMANN, 1997] *Einfluss geneigter Kaiwände auf das Kolkverhalten der Hafensohle infolge des Bugstrahlruders*, Studienarbeit am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig,
- [HERING ET AL, 2000] *Lastannahme für Kolkschutzbemessungen*, W. Hering, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, in *Hansa-Schiffahrt – Hafen – 137 Jahrgang – 2000 – Nr. 10*
- [HPA, 2009] *Ausbau CTB Burchardkai Liegeplatz 3 und 4, 1. Bauabschnitt*, Informationsblatt (vom 19.08.2009) der Hamburg Port Authority, Neuer Wandrahm 1-4, 20457 Hamburg,
- [KAYSER, 2006] *Zur Handhabung der neuen Norm DIN EN 13383 für Wasserbausteine und deren Umsetzung in einer Steinbemessung*, Kayser, J, *Die Binnenschiffahrt 1/2006*, Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [KNIESS, 1977] *Bemessung von Schüttstein-Deckwerken im Verkehrswasserbau, Teil 1: Lose Steinschüttungen*, Dipl.-Ing. H.-G Kniess, *Mitteilungsblatt Nr. 42 der Bundesanstalt für Wasserbau*, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [KRAATZ, 1989] *Flüssigkeitsstrahlen, Technische Hydromechanik Band 2*, W. Kraatz, VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin
- [LINDNER, 1997] *Reduktion der propellerstrahlbedingten Erosionen an Hafensohlen durch Neigung der Kaiwand und Strahlenker im Sohlbereich*, cand.-ing. Lindner, M., Diplomarbeit am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

- [MAG, 1993] *Merkblatt zur Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen*, Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [MAK, 1989] *Merkblatt zur Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen* Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [MAN, 2009] *MAN B&W S50MC-C7, Project Guide Camshaft Controlled Two stroke Engines*, MAN Diesel, Tegholmegade 41, 2450 Kopenhagen SV, Denmark
- [MAR, 2008] *Merkblatt zur Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen*, Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe, pp. 1-26
- [MAV, 2008] *Merkblatt zur Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen*, Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [NIELSEN, 2005] *Bowthruster-Induced Damage, A physical model study on bowthruster-induced flow*, Master of Science thesis, cand.-ing. B. Nielsen, TU Delft University of Hydrology, pp. 3-13
- [OEBIUS, 2000] *Charakterisierung der Einflussgrößen Schiffsumströmung und Propellerstrahl auf die Wasserstraßen*, Oebius, Technische Universität Berlin, Mitteilungsblatt Nr. 82 der Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
- [PIANC, 1997] *Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls*, Report of Working Group 22,

Supplement to Bulletin no. 96-1997, Permanent international association of navigation congresses (PIANC), pp. 23, 29

[PIANC, 2008] *Guidelines for berthing structures, related to thrusters*, Entwurf des Berichtes der PIANC MARCOM WG 48, Permanent international association of navigation congresses (PIANC), pp. 39-41

[RÖMISCH, 1975] *Der Propellerstrahl als erodierendes Element bei An- und Anlegemanövern im Hafenbecken*, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Seewirtschaft, 7, 7, pp. 431-434

[RÖMISCH, 1993] *Propellerstrahlinduzierte Erosionserscheinungen in Häfen*, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, HANSA, Schifffahrt-Schiffbau-Hafen-130. Jahrgang 1993, Nr.8, pp. 62-67

[RÖMISCH, 1994] *Propellerstrahlinduzierte Erosionserscheinungen*, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, HANSA, Schifffahrt-Schiffbau-Hafen-131. Jahrgang 1994, Nr.9

[RÖMISCH, 1997] *Bottom attacks caused by stop-manoevres of ships*, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, International seminar on renovation and improvements to existing quay structures

[RÖMISCH, 2001] *Scoring in front of quay walls caused by bow thruster and new measures for its reduction*, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig International seminar

on renovation and improvements to existing quay structures

- [RÖMISCH, 2002] *Input data of propeller induced velocities for dimensioning of bed protection near quay walls*, Prof. Dr.-Ing. habil. K. Römisch, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig Supplement to Bulletin no. 109-2002, pp. 5-10
- [SCHMIDT, 1998] *Ausbreitungsverhalten und Erosionswirkung eines Bugpropellerstrahls vor einer Kaiwand*, Dipl.-Ing. Eckhard Schmidt, Dissertation am Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Mitteilungen Heft 143/1998, pp. 2-15
- [SCHOKKING, 2002] *Bowthruster induced damage*, cand.-ing. L. A Schokking, Master of Science thesis, TU Delft University of Hydrology, pp. 21-38
- [VOLLHEIM, 1979] *Modellversuche zur Entwicklung eines Bugstrahlruders*, H. R. Vollheim, Schiffbau-forschung, Berlin 18



**sonstige Quellen (*PilotCards*, Interviews und Internet)**

- [BUNDE, 2010] *Interview*, Dipl.-Ing Jürgen Bunde, Senior Consultant, PrimeServ Hamburg, MAN Diesel SE, Rossweg 9, 20457 Hamburg
- [CAPTAIN, 2010] <http://gcaptain.com/maritime/blog/wp-content/uploads/2007/09/emma-maersk-underway.jpeg>
- [KAMOME, 2010] <http://www.kamome-propeller.co.jp/en/products/propeller/fpp/img/photo01.jpg>
- [SHIPMARINE, 2010] <http://www.nzshipmarine.com/images/Emma%20Maersk.jpg>
- [SCHOTTEL, 2010] Internetseite der Firma Schottel, <http://www.schottel.de>
- [SCHMIDT, 2010] *PilotCards* aus Bremerhaven, vgl. Anhang 1
- [WÄRTSILÄ, 2010] Internetseite der Firma Wärtsilä, <http://www.wartsila.com>
- [VORWERK, 2010] *PilotCards* aus dem Hamburger Hafen (Anhang 1), sowie *Interview*, Kapt. Klaus Vorwerk, Chairman der Hafenslotsenbürgerschaft, Hamburg, Bubendeyweg 33, Seemannshöft, 21129 Hamburg

## ANHANG

Anhang 1: *PilotCards* der untersuchten Schiffe

Anhang 2: Berechnung von  $n$  in [%] von  $n_{max}$  und  $P$  in [%] von  $P_{max}$

## 1. EMMA MÆRSK



Abb. A1.1: Emma Mærsk [A1.1]

PILOT CARD			
Ship's name:	EMMA MÆRSK	Call sign:	OYGR2
		IMO:	9321483
Draught forward:	10,80 M	Draught aft:	11,10 M
Length over all:	397,71 m	Breadth:	56,55 m
		Bulbous Bow:	yes
TONNAGE			
	INTERNATIONAL	SUEZ	
GROSS TONNAGE:	170794 t	N/A	
NET TONNAGE:	55396 t	N/A	
DEADWEIGHT:	156.900 t	-	
Stern Thruster:	Bow Thruster:		Air Draught
2 x 1750 kW	2 x 1750 kW		
2 x 25 tons	2 x 25 tons		
PROPULSION			
Main Engine: SULZER - 14RT-FLEX96C		80080 kW	102 RPM
Maneuvering Engine Order	Rpm	Speed in knots	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	65	16,6	16,9
Half Ahead	50	12,8	13
Slow Ahead	35	9	9,1
Dead Slow Ahead	25	6,4	6,5
Stop	0	0	0
Dead Slow Astern	25		
Slow Astern	35	Minimum no. of consecutive starts 12	
Half Astern	50	Minimum RPM: 25	
Full Astern	65	No critical engine RPM -	
Port anchor:	14 shackles	During arrival/departure, gantry cranes must be positioned outside exposed areas, i.e. fwd or aft of the nominated berth, or - if this is not possible - at the vessel's mid ship section where the cranes are less exposed.	
Starboard anchor:	14 shackles		
One 6-bladed right handed propeller.			
Port: Bremerhaven			
Date: 10-Sep-2006		Henrik L. Solmer CAPTAIN	

## 2. HUAL SEOUL



Abb. A1.2: Hual Seoul [A1.2]

**PILOT CARD**

**ARRIVAL**

PORT BREMERHAVEN Voy.No. 26

---

Ship's name HUAL SEOUL Date 05-Sep-07

Call sign LADO6 Deadweight 9,570 tonnes Year built 2004

Draught Fwd 7.60 m/ 24 ft 11 in. Displacement 26,340 tonnes

Draught Aft 7.70 m/ 25 ft 3 in. Freeboard 24.9 m

**SHIPS PARTICULARS**

Length overall 199.90 m Anchor chain: Port 12 shackles, Starboard 12 shackles,  
 Breadth 32.26 m Stern nil shackles,  
 Bolbous bow Yes (1 shackle = 27.5 m/ 15 fathoms)

199.9 m  
38.1 m  
31.8 m  
7 m  
61.5 m  
6.5 m  
25.0 m  
94.4 m  
44.0 m

Air draught 41.60  
49.2 m


136 ft 5 in.

Type of engine <u>B&amp;W 7S60MC</u> Maximum power <u>19,460 BHP x 105.0 RPM</u>		Speed (knots)	
Manoeuvring engine order	Rpm/pitch	Loaded	Ballast
		Full ahead	74
Half ahead	56	10.2	10.5
Slow ahead	38	6.4	6.5
Dead slow ahead	27	3.5	3.6
Dead slow astern	27	Time limit astern <u>0</u> min	
Slow astern	38	Full ahead to full astern <u>8 m 30 s</u>	
Half astern	56	Max. no. of consec. starts <u>15 times</u>	
Full astern	74	Min. RPM <u>25</u>	<u>3.2</u> knots
		Astern power <u>70</u>	% ahead

### 3. MSC CHRISTINA



Abb. A1.3: MSC Christina [A1.3]

 <b>Hanseatic Shipping (Deutschland) GmbH &amp; Co KG</b>  07.02.14.05 - Form 105B PILOTAGE INFORMATION NAVIGATION PROCEDURES & INSTRUCTIONS		Authorised by QMS
		Reviewed by HOD
		Effective Date 13.10.2004
		Revision 2
		Page 1 of 1
Vessel: MSC CHRISTINA	Call Sign: A8117	Last Port: <i>Port of</i>
Flag: LIBERIA	IMO No.: <i>9464279-9464297</i>	Cargo Type / DWT: <i>CMT.</i>
Ship Type: CONTAINER	Year Built: 1998	Agent This Port: <i>MSC</i>
DIMENSIONS: Length Overall: 242.81 mtrs LBP: 226.70 mtrs Breadth: 32.26 mtrs Fore Draught: <i>9.00 m</i> Aft Draught: <i>10.50 m</i> Air Draught: <i>44.53 m</i> Parallel Body Length at Present Draught: Freeboard: <i>9.2 m</i> Displacement: <i>43311</i> Gross/Net Tonnage: 37,579/21891 MT		
Type of Main Propulsion: SULZER 7RTA84C No Of Starts: 12 Time Limit Full Ahd. to Astern: 2.6 (mins) Propellers: No./Type: 1/FIXED RIGHT HANDED Thrusters - Bow: <i>(1300HP)</i> Stern: NIL Rudder Type: 1/FIXED RIGHT HANDED C/P: yes/no Hard Over to Hard Over: 26 [seconds] Angle for Neutral Effect:		
Mooring Ropes & Wire Details - See Form 131		
Anchor Details Shackles / Metres of Cable Available - Port: 12 Shackles / 330 mtrs Starboard: 12 Shackles / 330 mtrs		
Status of Bridge Equipment (Tick Operation Satisfactory)		
Radar 1 <input checked="" type="checkbox"/>	Radar 2 <input checked="" type="checkbox"/>	Gyro 1 <input checked="" type="checkbox"/> / error <i>+1</i>
Gyro 2 <i>/ error</i>	VHF 1 <input checked="" type="checkbox"/>	VHF 2 <input checked="" type="checkbox"/>
Sat Nav <input checked="" type="checkbox"/>	Speed Log <input checked="" type="checkbox"/>	Echo Sounder <input checked="" type="checkbox"/>
Auto Pilot <input checked="" type="checkbox"/>	Whistle <input checked="" type="checkbox"/>	Nav Lights <input checked="" type="checkbox"/>
RPM Ind. <input checked="" type="checkbox"/>	Rudder Ind. <input checked="" type="checkbox"/>	Rate of Turn Ind. <input checked="" type="checkbox"/>
Compass Error <input checked="" type="checkbox"/>		
MANOEUVRING CHARACTERISTICS		
	RPM	SPEED
Full Ahead - Sea Speed	98	23.2
Full Ahead - Manoeuvring	70	16.4
Half Ahead	55	13.0
Slow Ahead	45	10.6
Dead Slow Ahead	35	8.3
Dead Slow Astern	35	ASTERN
Slow Astern	45	POWER
Half Astern	55	75% OF
Full Astern	70	AHEAD
REMARKS: [Manoeuvring Peculiarities / Berthing Restrictions etc.] Pilot Ladder / Pilot Door available ..... PORT SIDE / STBD. SIDE / BOTH SIDES With Engine Astern Movements: <b>BOW TURNS TO STARBOARD</b>		
(ETA / Date at Pilot Station) <i>02 SEPT. 2007</i>		

## 4. MSC SHANGHAI



Abb. A1.4: MSC Shanghai [A1.4]

**ARRIVAL / DEPARTURE PILOT CARD**

Port: Bremerhaven  
Date: 3-Sep-07  
Year built: 2005

Ship's name: MSC SHANGHAI  
Call sign: ABH03 max Deadweight: 71949 tonnes  
Gross Tonnage: 65483 Net Tonnage: 37611  
Draught FWD: 13.75 m 45 ft 01 in AFT: 13.75 m 45 ft 01 in max Displacement: 95912 t

**SHIP'S PARTICULARS**

MMSI no: 636091328 IMO no: 9295373  
Length overall: 274.67 m Anchor chain: Port 13 shackles (1 shackle = 27.5 m)  
Breadth: 40.00 m Starboard 14 shackles (1 shackle = 15 fathoms)  
Bulbous bow: yes Stern N/A shackles  
MAX. RATE OF HEAVING 2,5 MIN/SHACKLE

parallel WL  
loaded: 124.70m ballast: 34.98m

**STEERING PARTICULARS**

Type of rudder: SEMIBALANCED Maximum angle: 35 ° Hard-over to hard-over (1Pp.): 25 s  
Rudder angle for neutral effect: 0.0 ° P/S Hard-over to hard-over (2Pps.): - s

Propeller: 1 fixed Direction of turn: right Controllable pitch: no  
Thruster: 2500 KW Time delay full thrust: 15S turning rate at zero speed: 14°/MIN  
Time delay rev./full thrust: 30S not effective above speed: 5 KT

Type of engine: TWO STROKE DIESEL Maximum power: 77600 hp ( 57075 kw)

	AHEAD		ASTERN
	RPM	KNOTS	RPM
DEAD SLOW	31	7.30	31
SLOW	52	12.25	52
HALF	70	16.49	70
FULL	86	20.26	78
SEA FULL	104	24.56	-

ESTIMATED SQUAD EFFECT		
CLEARANCE UNDER KEEL	SPEED	DRAFT INCREASE
2,90m	4kt	0.054m
	6kt	0.133m
	8kt	0.262m
7,25m	6kt	0.104m
	8kt	0.201m

*\*WHEN ONE (1) CYLINDER IS MISFIRING, M/E SHOULD NOT BE OPERATED ABOVE 88 RPM.*

**CHECKED IF ABOARD AND READY**

Anchors

Whistle

Radar 3cm  10cm

ARPA

Speed log  Doppler: yes / no

Water speed

Ground speed

Dual-axis

Engine telegraphs

Steering gear

Number of power units operating

Indicators: Rudder  Rpm/pitch  Rate of turn

Compass system

Constant gyro +/-

VHF

Electronic position fixing system

Type GPS/ECDIS

## 5. HYUNDAI BRAVE



Abb. A1.5: Hyundai Brave [A1.5]

<b>PILOT CARD</b> N4				Ship's Name : HYUNDAI BRAVE			
				Voy. No. :			
Port :		Arr. :		Dep. :		Date : 20 . . .	
Call sign : 3EMZ5		Flag : PANAMA		Year Built : 2007			
Gross Ton : 94,511MT		Net Ton : 51,638 MT		Deadweight : 99,123 MT			
Draft Aft : m cm		Fwd : m cm		Displacement :			
Draft 12.7				8600 TEU			
A Draft 47.5							
<b>Ship's particulars</b>							
Length overall : 339.62 m				Anchor chain : Port 14 shackles			
Breadth : 45.6 m				Stbd 13 shackles			
Depth : 24.6 m				(1 shackle : 27.5 m)			
Type of Engine : HUNDAI – WARTSILA 14RT – FLEX 96C							
Max. Power : 108,926 BHP X 102RPM							
Engine Order		RPM		Speed (knots)			
				Laden		Ballast	
Nav. Full ahead		102		28.1		29.2	
Full ahead		58		16.8		17.9	
Half ahead		48		13.3		14.2	
Slow ahead		40		10.5		11.2	
Dead slow ahead		31		7.9		8.5	
Dead slow astern		31		Maneuvering Full ahead to full astern : 11 min 07 sec			
Slow astern		40		Max. No. of consecutive starts : 30 TIMES			
Half astern		48		Min. RPM : 13.91 , Min. steering Speed : 5.5 knots			
Full astern		58					
Bow Thruster Power : 4,080 HP (3,000 KW)							
Gyro error : deg E / W							
Defective equipment :							
Function		OOW		Master		Pilot	
Name/Signature							
Date		/		/		/	

## 6. HYUNDAI COLOMBO



Abb. A1.6: Hyundai Colombo [A1.6]

<b>PILOT CARD</b> N4				Ship's Name : HYUNDAI COLOMBO			
				Voy. No. :			
Port :		Arr. :		Dep. :		Date : 20 . . .	
Call sign : 3EIN7		Flag : PANAMA		Year Built : 2007			
Gross Ton : 74,651MT		Net Ton : 43,151 MT		Deadweight : 80,107.7 M/T			
Draft Aft : m cm		Fwd : m cm		Displacement :			
<b>Ship's particulars</b>							
Length overall : 303.83 m				Anchor chain : Port 14 shackles			
Breadth : 40.0 m				Stbd 13 shackles			
Depth : 24.2 m				(1 shackle : 27.5_m)			
Type of Engine : HUNDAI B&W 12K 98MC-C							
Max. Power : 93,120 BHP X 104RPM							
Engine Order		RPM		Speed (knots)			
				Laden		Ballast	
Nav. Full ahead		103		27.27		28.48	
Full ahead		60		15.75		17.25	
Half ahead		50		13.12		14.37	
Slow ahead		42		11.02		12.07	
Dead slow ahead		28		7.35		8.05	
Dead slow astern		28		Maneuvering Full ahead to full astern : 6 min 40 sec			
Slow astern		42		Max. No. of consecutive starts : 15 TIMES			
Half astern		50		Min. RPM : 25.8 , Min. steering Speed : 6.04 knots			
Full astern		60					
Bow Thruster Power : 3,351 BHP (2,500 KW)							
Gyro error : deg E / W							
Defective equipment :							
Function		OOW		Master		Pilot	
Name/Signature							
Date		/		/		/	



## 7. MV CHAITEN



Abb. A1.7: MV Chaiten [A1.7]

**PILOT CARD**

PORT ARR. HAMBURG DATE 05.01.2007

Draught fwd 13.22 m Draught aft 13.50 m Draught amid        m

Name ***MV CHAITEN*** Call sign ***ASIX5***

Gross tonnage <b>66.280</b> t	Net tonnage <b>36.284</b> t	Moulded depth <b>24.20</b> m
Length OA <b>276.20</b> m	Breadth <b>40.00</b> m	Bulbous bow <b>Yes</b>

**ENGINE**  
Type of engine **HYUNDAI-SULZER 10RT - flex96C**  
Maximum power **54,942 KW / 74,700 PS x 100 rpm**

	rpm	loaded speed	ballast speed
Full sea speed	96.5	25.6 kts	26.0 kts
Full ahead	65	17.9 kts	17.6 kts
Half ahead	50	13.7 kts	13.5 kts
Slow ahead	40	11.0 kts	10.8 kts
Dead slow ahead	27	7.4 kts	7.3 kts
Dead slow astern	27		
Slow astern	40	Maximum number of consecutive starts <u>8</u>	
Half astern	50		
Full astern	86		

STBD ANCHOR CHAIN - 13 SHACKLES  
PORT ANCHOR CHAIN - 12 SHACKLES

STEERING			
Rudders	1	SEMI - BALANCED	type 35° maximum angle
Time hard-over to hard-over	28 sec/per one unit		14 sec/per two unit
Propeller:	1	Direction of turn: RIGHT-HANDED	Pitch: FIXED
Bow thrusters	1	Power 2.000 kW / 2.720 HP	

**CHECKED IF ABOARD AND READY**

Anchors <input checked="" type="checkbox"/>	Compass system <input checked="" type="checkbox"/>
Whistle <input checked="" type="checkbox"/>	Engine telegraphs <input checked="" type="checkbox"/>
Radar 3 cm <input checked="" type="checkbox"/> 10 cm <input checked="" type="checkbox"/>	Steering gear <input checked="" type="checkbox"/>
ARPA <input checked="" type="checkbox"/>	Number of power units <input checked="" type="checkbox"/>
Speed log <input checked="" type="checkbox"/> Doppler: yes	Rudder indicator <input checked="" type="checkbox"/>
Water speed <input checked="" type="checkbox"/>	RPM indicator <input checked="" type="checkbox"/>
Ground speed <input checked="" type="checkbox"/>	Rate of turn indicator <input checked="" type="checkbox"/>
Dual-axis <input checked="" type="checkbox"/>	
	Constant gyro error +/- 0° <input checked="" type="checkbox"/>
	VHF <input checked="" type="checkbox"/>
	Electronic pos fixing <input checked="" type="checkbox"/>
	Type <input checked="" type="checkbox"/> DGP:

PILOT'S NAME: \_\_\_\_\_

## 8. CMA CGM AEGEAN



Abb. A1.8: CMA CGM Aegean [A1.8]

PILOT CARD		DATE
<small>LES SAHRENDRE GEMER &amp; CO. Am Neuenwall 27 D-20147 Hamburg</small>		04-MAY-2007
Vessel: CMA CGM AEGEAN	Port: HAMBURG	<input checked="" type="checkbox"/> Arrival <input checked="" type="checkbox"/> Departure
SHIP'S PARTICULARS		
Call sign: ELYA 5	Displ: 47601 mt	Deadweight 35966 Year of built: 1996
Draft Fwd: 11.80 LOA 201.5 m	Draft Aft: 12.30 Anchor chain: Port 12 shackles Starboard 12 shackles	Air Draft: 43.70 Stern: NIL shackles
Breadth 32.25 m	our bow: <input checked="" type="checkbox"/> Yes / <input type="checkbox"/> No	(1 shackle = 27.5 m 15.04 fathoms)
Type of Engine: Hyundai B&W SE80	Maximum Power	MCR 25400 KW @ 104 RPM
Manoeuvring engine order	RPM/pitls	Speed (knots)
		Loaded Ballast
Full ahead	86	19 19
Half ahead	70	16 16
Slow ahead	52	12 12
Dead slow ahead	35	8 8
Dead slow astern	35	Time limit astern: no min.
Slow astern	52	Full ahead to astern: 480 seconds
Half astern	70	Max No. of consec. starts 11
Full astern	86	Minimum RPM 35 8 knots
Bow Thruster 1553 KW not effective at speeds above 5kts		
Steering hardover -hardover 113s (2 Motors) Min steerage approx 5.8 kts.		
Master: Capt. Zeljko Pulic	Pilot's Name/Signature	
Remarks: The Pilot card to be presented to the pilot upon boarding and his name & signature confirming receipt entered into the movement book.		

## 9. CMA CGM NILGAI



Abb. A1.9: CMA CGM Nilgai [A1.9]

E.K. SCHIFFFAHRT GMBH & CO. Am Sandtorlat 77 D - 20457 Hamburg		PILOT CARD		DATE	
Vessel: <b>CMA CGM NILGAI</b>		Port: <b>HAMBURG</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Arrival <input type="checkbox"/> Departure	
<b>SHIP'S PARTICULARS</b>					
Call sign: <b>ASCF3</b>	Displ: <b>67256</b> mt	Deadweight: <b>50828</b>	Year of build: <b>2003</b>		
Draft Fwd: <b>9.30m</b>	Draft Aft: <b>9.85m</b>	Air Draft: <b>47.8m</b>			
LOA: <b>260</b> m	Anchor chain:	Port: <b>13</b> shackles	Starboard: <b>12</b> shackles		
Breadth: <b>32.25</b> m	Stern: <b>NIL</b> shackles				
Bulbous bow: <input checked="" type="checkbox"/> Yes / <input type="checkbox"/> No	(1 shackle = <b>27.5</b> m)		<b>15.04</b> fathoms)		
Type of Engine: <b>HSD-MAN B&amp;W 8K90MC-C MB6</b> Maximum Power		<b>MCR 36480 KW</b>	<b>104rpm</b>	<b>NCR 32832 KW</b>	<b>100.4rpm</b>
Manoeuvring engine order		RPM/pitch	Speed (knots)		
			Loaded	Ballast	
Full ahead	70		17.8	18.7	
Half ahead	60		14.1	14.8	
Slow ahead	45		10.6	11.1	
Dead slow ahead	35		8.2	8.6	
Dead slow astern	35	Tane limit astern: <b>no</b> man			
Slow astern	45	Full ahead to astern: <b>-430</b> seconds			
Half astern	60	Max No. of consec. starts: <b>10</b>			
Full astern	70	Minimum RPM: <b>35</b>	<b>8.2</b> knots		
		Astern power: <b>approx. 70</b> %ahead			
Bow Thruster <b>1600KW</b> not effective at speeds above <b>5kts</b>		Bowthruster immersion <b>4.05M</b> , Prop immersion <b>8.10M</b>			
Steering hardover -hardover: <b>14s</b> (2 Motors) less than <b>20s</b> (1 motor)		Min steerage approx: <b>6.5kts</b>			
Turn at full man spd adv <b>0.442</b> transfer <b>0.270</b>		Propellor diam <b>7.8M</b> , RH Rudder <b>46.095</b> sq M			
Remarks: The Pilot card to be presented to the pilot upon berthing and his name & signature confirming receipt entered into the movement book.					

## 10. E.R. AMSTERDAM



Abb. A1.10: E.R. Amsterdam [A1.10]

PILOT CARD		DATE
<small>E.R. SCHIFFFAHRT GMBH &amp; CO. Am Sandtor 77 D - 22457 Hamburg</small>		10-Jan-06
Vessel: <b>E.R. AMSTERDAM</b>	Port: <b>HAMBURG</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Arrival <input type="checkbox"/> Departure
<b>SHIP'S PARTICULARS</b>		
Call sign: <b>D P M T</b>	max Displ: <b>52439 mt</b>	max Deadweight: <b>67557 mt</b> Year of built: <b>2000</b>
Draft Fwd: <b>11.50</b>	Draft Aft: <b>11.80</b>	11.6 <b>48.11</b>
<b>LOA: 277.4 m</b>	<b>Breadth: 40m</b>	
Anchor chain: Port 13 shackles Starboard 14 shackles (1shackle = 27.5m = 15.04 fathoms)		
Bulbous bow: <input checked="" type="checkbox"/> Yes / <input type="checkbox"/> No		
Type of Engine: <b>MAN B&amp;W 12K90MC</b> Maximum Power <b>MCR 54840KW @112RPM NCR 46650@94RPM-24.9K1</b>		
Manoeuvring engine order	RPM/pitch	Speed (knots)
		Loaded Ballast
Full ahead	60	16.6 17.4
Half ahead	45	11.3 12.5
Slow ahead	35	8.8 9.3
Dead slow ahead	27	7.5 8
Dead slow astern	27	Time limit astern: NO min
Slow astern	35	Full ahead to astern: 665 seconds
Half astern	45	Max No. of consec. st: 15 / 6 Eng. R. / Bridge
Full astern	60	Minimum RPM 24 5.4 knots
		Astern power approx 60 %ahead
Bow Thruster 2000KW, (2720 HP) not effective at speeds above 5kts Bowthruster immersion 5.25m Prop immersion 8.64m		
Steering hardover -hardover 10.9s (2 Motors), 26.3s (1 Motor) min Steering speed - 3.1 kts		
Master : Capt. A. Kwiatkowski		
Remarks : The Pilot card to be presented to the pilot upon boarding and his name & signature confirming receipt entered into the movement book.		

## 11. EVER DELUXE



Abb. A1.11: Ever Deluxe [A1.11]

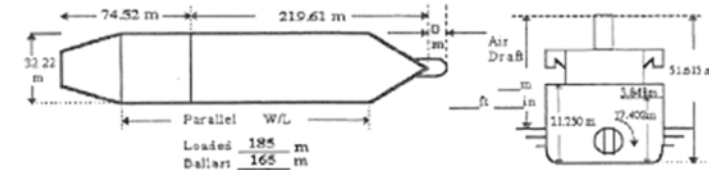
EIC: MNL07-02A  
REVISION: 0  
Date: 16 MAY 1997  
Page 1 of 1

### Pilot Card

Name of Vessel: EVER DELUXE Date: \_\_\_\_\_ Port: \_\_\_\_\_  
Call Sign: 3FBES Year Built: 1997 Gross Tonnage: 52090 Net Tonnage: 25904  
Draft Fore: \_\_\_\_\_ m ( \_\_\_\_\_ ') Draft Aft: \_\_\_\_\_ m ( \_\_\_\_\_ ')  
Displacement: \_\_\_\_\_ K/Tons Captain's Name: \_\_\_\_\_  
Deadweight: \_\_\_\_\_ K/Tons Captain's Signature: \_\_\_\_\_

### Ship's Particulars

L.O.A.: 294.13 m 965' 02" Anchor Chain: Port: 13 shackles Starboard: 13 shackles  
Breadth: 32.22 m (105' 08.7") Stern: NIL shackles  
Bulbous Bow: Yes 0 m / No (1 Shackle = 27.5 m / 15 Fathoms)



Type of Engine :	Max 66120 PS X 102 RPM		
<b>MITSUBISHI SULZER 12RTA84C-UG</b>	Power: Kw( HP)		
Maneuvering Eng Order	RPM/Pitch	Speed (Knot)	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	53	14.5	14.5
Half Ahead	44	12.5	12.0
Slow Ahead	33	9.0	9.0
Dead Slow Ahead	25	7.0	7.0
Dead Slow Astern	25	Time Limit Astern : 20' Min	
Slow Astern	33	Full Ahead to Full Astern : 5' 16" Min	
Half Astern	44	Max No. of Consecutive Starts : 15 Times	
Full Astern	53	Minimum RPM: 23.2 with 5.0 Knots	
		Astern Power : 80 % of Ahead	

### Steering Particulars

Type of Rudder: SEMI-BALANCED Max. Angle: 35 Deg  
Hard-Over to Hard-Over: 16.2 Sec. Rudder Angle for Neutral Effect: 0 Deg  
Thruster, Bow: 2000 Kw ( 2680 HP ) Stern: NIL Kw ( NIL HP )

### Checked if Aboard and Ready and Other Information:

Anchor: ( ) Whistle: ( ) Steering Gear: ( )  
Radar, 3cm: ( ) 10cm: ( ) No. of Power Units Operating: ( )  
Indicators, Rudder: ( ) RPM: ( ) Gyro Compass: ( ) Error: \_\_\_\_\_  
ARPA: ( ) Speed Log: ( )  
Doppler: Yes/No Dual-Axis: Yes/No Engine Telegraphs: ( )  
Type of Electric Positioning System: **GPS**

## 12. GOLDEN GATE BRIDGE



Abb. A1.12: Golden Gate Brigde [A1.12]

PILOT CARD		Date: SEPT 2012
1. SHIP'S NAME : GOLDEN GATE BRIDGE	2. PORT : YOKOHAMA	
3. CALL SIGN : H9HU	4. DEAD WEIGHT : 71,376	GROSS : 68,687 Net : 25,395
5. DRAFT FORE : 11.15 m / 36.6 ft	6. YEAR BUILT : July 2001	
	AFT : 11.25 m / 37.1 ft	
SHIP'S PARTICULARS		
LENGTH OVER ALL : 284.7 m ANCHOR CHAIN : PORT 12 SS/STARBOARD 12 SS (1 SS = 27.5 m/15 Fathoms)		
BREADTH : 40.0 m BULBIOUS BOW : YES		
TYPE OF ENGINE : DIESEL MAXIMUM POWER : 80,000PS(DHP) X 90 RPM		
MANEUVERING ENGINE ORDER	RPM	SPEED
FULL AHEAD	60	17.5
HALF AHEAD	50	14.5
SLOW AHEAD	35	10.5
DEAD SLOW AHEAD	25	7.5
DEAD SLOW ASTERN	25	7.5
SLOW ASTERN	32	10.5
HALF ASTERN	37	14.5
FULL ASTERN	42	17.5
TIME LIMIT ASTERN : No Limit		
FULL AHEAD TO VESSEL STOP : 13 Min. 20 Sec.		
MAX. NO. OF CONSEC. START : 10 Times		
MINIMUM RPM 25 : 7.5 Knots		
ASTERN POWER : 100%		
TYPE OF RUDDER : ORDINARY MAXIMUM ANGLE : 35 DEG. HARD OVER TO HARD OVER : 20 SEC		
RUDDER ANGLE FOR NEUTRAL EFFECT : 0 DEG (In Port)		
THRUSTER : BOW 2,000 KW (2,700 HP) STERN : NIL		
CHECKED IF ABOARD AND READY		
<input type="checkbox"/> ANCHOR		
<input type="checkbox"/> WHISTLE		
<input type="checkbox"/> RADAR/ARPA <input type="checkbox"/> X-BAND <input type="checkbox"/> S-BAND		
<input type="checkbox"/> SPEED LOG		
<input type="checkbox"/> ENGINE TELEGRAPH		
<input type="checkbox"/> STEERING GEAR		
<input type="checkbox"/> NUMBER OF POWER UNITS OPERATING		
<input type="checkbox"/> INDICATOR RUDDER		
<input type="checkbox"/> INDICATOR RPM		
<input type="checkbox"/> COMPASS SYSTEM		
<input type="checkbox"/> CONSTANT GYRO ERROR		
<input type="checkbox"/> VHF		
<input type="checkbox"/> ELECTRIC POSITIONING SYSTEM TYPE : GPS		
		 Master SATOSHI TSUTSUI

### 13. HATSU SHINE



Abb. A1.13: Hatsu Shine [A1.13]

CV-0107-1  
Revision: 1  
Page: 1 of 1  
Date: 01 Jun 2006

#### Pilot Card

Name of vessel: HATSU SHINE Date: \_\_\_\_\_ Port: \_\_\_\_\_  
 Call sign: MJKZ4 Year built: MAR 2005 Gross tonnage 75,246 Net tonnage: 39,564  
 Draft fore: \_\_\_\_\_ m ( \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ ") Draft aft: \_\_\_\_\_ m ( \_\_\_\_\_ ' \_\_\_\_\_ ")  
 Displacement: 107,537 K/Tons Captain's name: RAU, WEI-LEE  
 Deadweight: 78,693 K/Tons Captain's signature: *[Signature]*

#### Ship's Particulars

L.O.A. 300.00 m (984' 3.0") Anchor chain: Port 13.5 Shackles Starboard 13.5 Shackles  
 Breadth: 42.8 m ( 140 ' 5.0 ") Stern: NIL Shackles  
 Bulbous bow: Yes ( 9.07 m)/No (1 Shackle = 27.5m/15 fathoms)

Loaded 109.5 m on 13.53 M.W.L.  
 Ballast 58.7 m on 7.68 M.W.L.

Type of Engine: <u>MITSUBISHI SULZER</u> <u>10 RTA96C</u>		Max. Power: MCR: <u>54,900</u> kw X <u>100</u> RPM NOR: <u>49,410</u> Kw X <u>96.5</u> RPM	
Maneuvering Eng Order		Speed (Knot)	
RPM/Pitch		Loaded	Ballast
Full Ahead	52	15.0	15.0
Half Ahead	42	12.0	12.0
Slow Ahead	32	9.0	9.0
Dead Slow Ahead	24	7.0	7.0
Dead Slow Astern	24	Time Limit Astern: <u>3.5</u> Min.	
Slow Astern	32	Full Ahead to Full Astern: <u>4.2</u> Min.	
Half Astern	42	Max. No. of Consecutive Starts: <u>9</u> Times	
Full Astern	52	Minimum RPM: <u>23</u> with <u>6.4</u> Knots	
	70	Astern Power: <u>70</u> % of Ahead	

#### Steering Particulars

Type of rudder: DFT-475 (SEMI BALLANCED) Max. angle: 35 Deg.  
 Hard-over to hand-over: 28 Sec. Rudder angle for neutral effect: 0 Deg.  
 Thruster: bow: 1150 x 2 Kw ( 1542 x 2 = 3085 HP ) Stern: NIL Kw ( NIL HP )

Checked if Aboard and Ready and Other Information:  
 Anchor: (  ) whistle: (  ) Steering gear: (  )  
 Radar, 3cm: (  ) 10cm: (  ) No. of Power Units Operating: ( 3 )  
 Indicators, Rudder: (  ) RPM: (  ) Gyro Compass: (  ) Error: NIL  
 ARPA: (  ) Speed Log: (  )  
 Doppler: Yes/No Dual-Axis: Yes/No Engine Telegraphs: (  )  
 Type of Electric Positioning System: JRC DGPS

## 14. MONTE CERVANTES



Abb. A1.14: Monte Cervantes [A1.14]

NAME OF VESSEL Monte Cervantes	Form	QM - Titel	Page 1/1	Revision 0
Issued: 01.09.04	Bridge and Engine Room Procedures			
Approved: 01.11.04	QM Ship / Form	Pilot Information Card		

**Pilot Information Card**

Ship's name: MONTE CERVANTES    Call sign: DHTK    Master: *[Signature]*

OFF No. : 19996    IMO No. : 9283186    PORT OF REGISTRY: HAMBURG /GERMANY

Draught: FWD *[ ]* m    ft    AFT: *[ ]* m    ft

GROSS T. = 69.132    NET T. = 31.228

SUMMER DISPL. = 88.747 mt    SUMMER DEADWEIGHT = 64.963 mt

**Ship's Particulars**

Length overall: 272,08 m    Breadth: 40,08 m    Depth moulded : 19,46 m

**Steering Particulars**

Type of Engine: 2Stroke Diesel    Maximum Manoeuver Power: 45.765 kW (62.240 HP) at 102 RPM

Maneuvering Engine order	RPM	LOADED	BALLAST
Full Ahead Sea	98.5	23.8	24.4
Full Ahead	67	17.7	18.2
Half Ahead	51	13.7	14.3
Slow Ahead	40	10.0	10.8
Dead Slow Ahead	32	6.9	7.8
Dead Slow Astern	32	Time Limit Astern: none	
Slow Astern	40	Full Ahead to Full Astern: 13' 00"	
Half Astern	51	Max. No. of Consec. Starts: 13	
Full Astern	67	Minimum RPM: 26 min <sup>-1</sup>	
		Non effective rudder speed ~ 6.0 Kn	

Type of Rudder: Balance    Maximum Angle: 35°    Hard Over to Hard over: 24/12 sec.

Rudder Angle for neutral effect: 0°    Bow Thr. : 2000 kW (2720 HP)    Stern Thr. : 1500 kW (2040 HP)

CHECKED AND READY

Anchors (P13 / S14) <input type="checkbox"/>	Engine telegraph <input checked="" type="checkbox"/>	Echosounder <input type="checkbox"/>
Whistle <input type="checkbox"/>	Steering gear <input type="checkbox"/>	Compass system <input type="checkbox"/>
ARPA 3 cm <input type="checkbox"/> 10 cm <input type="checkbox"/>	Indicators: Rudder <input type="checkbox"/>	Constant gyro error ± <i>[ ]</i> ° <input type="checkbox"/>
AIS <input type="checkbox"/>	RPM <input type="checkbox"/>	VHF Ch: <i>[ ]</i> <input type="checkbox"/>
Speedlog <input type="checkbox"/>	ROT <input type="checkbox"/>	GPS <input type="checkbox"/>

PORT: ..... DATE: ..... RANK / SIGN: .....

PILOT SIGNATURE: .....

\\MATES\Share\Deck\QM - Forme-IMO\QM - Forme-program\Inakt\form\PIlot Card Imo.DOC



## 15. MONTE ROSA



Foto: Torsten Bätge 2009

Abb. A1.15: Monte Rosa [A1.15]

### Pilot Information Card

Ship's name: MONTE ROSA		Call sign: DGHJ	Master: Koehler,U.
OFF No.:	IMO No.: 9283215	PORT OF REGISTRY: HAMBURG /GERMANY	
Draught: FWD: 10.90 m	ft	AFT: 11.20 m	ft
GROSS T. = 69.132		NET T. = 31.228	
SUMMER DISPL. = 88.747 mt		SUMMER DEADWEIGHT = 64.888 mt	

**Ship's Particulars**

Length overall: 272,02 m    Breadth: 40,01 m    Depth moulded : 19.46 m

Type of Engine: <b>2Stroke Diesel</b>		Maximum Manoeuver Power: 45.765 kW (62.240 HP) at 102 RPM	
Maneuvering Engine order	RPM	LOADED	BALLAST
Full Ahead Sea	98.5	23.8	24.4
Full Ahead	67	17.7	18.2
Half Ahead	51	13.7	14.3
Slow Ahead	40	10.4	11.2
Dead Slow Ahead	32	7.3	8.2
Dead Slow Astern	32	Time Limit Astern: none	
Slow Astern	40	Full Ahead to Full Astern: 13' 00"	
Half Astern	51	Max. No. of Consec. Starts: 13	
Full Astern	67	Minimum RPM: 26 min <sup>-1</sup> 5.7 knts	
		Non effective rudder speed ~ 6.0 Kn	

**Steering Particulars**

Type of Rudder: **Balance**    Maximum Angle: 35°    Hard Over to Hard over: 24/12 sec.

Rudder Angle for neutral effect: 0°    Bow Thr. : 2000 kW (2720 HP)    Stern Thr. : 1500 kW (2040 HP)

**CHECKED AND READY**

Anchors (P13 / S14)	<input checked="" type="checkbox"/> Engine telegraphs	<input checked="" type="checkbox"/> Echo sounder	<input checked="" type="checkbox"/>
Whistle	<input checked="" type="checkbox"/> Steering gear	<input checked="" type="checkbox"/> Compass system	<input checked="" type="checkbox"/>
ARPA 3 cm <input checked="" type="checkbox"/> 10 cm	<input checked="" type="checkbox"/> Indicators: Rudder	<input checked="" type="checkbox"/> Constant gyro error ± 0°	<input checked="" type="checkbox"/>
AIS	<input checked="" type="checkbox"/> RPM	<input checked="" type="checkbox"/> VHF Ch: 30/08...	<input checked="" type="checkbox"/>
Speed log	<input checked="" type="checkbox"/> ROT	<input checked="" type="checkbox"/> GPS	<input checked="" type="checkbox"/>
M/E	<input checked="" type="checkbox"/> Bow thruster	<input checked="" type="checkbox"/> Stern Thruster	<input checked="" type="checkbox"/>

PORT: ARR. HAMBURG    DATE: 06 May 2007    RANK / SIGN: *S. Koehler*

PILOT SIGNATURE: *[Signature]*

## 16. NYK SIRIUS



Abb. A1.16: Nyk Sirius [A1.16]

COLUMBIA SHIPMANAGEMENT ALL SHIPS PILOT CARD		Form Code : SNA08-MB-A Issue date : 8/2004 Doc ref : OPS/S/SNA/17 Page : 1 File : NB.1 1/
SHIP'S PARTICULARS:		PORT: <u>HAMBURG</u> in/out
Name: <u>NYK SIRIUS</u>	Flag: <u>PANAMA</u>	Call sign: <u>3 F J P 8</u>
Displacement: <u>23,253</u> tonnes	Deadweight: <u>          </u> tonnes	year built: <u>1998</u>
Length OA: <u>299.9</u> (m)	Breadth: <u>40.0</u> (m)	Bulbous bow: <u>yes</u>
Draught fwd: <u>7.97</u> (m)	Draught aft: <u>10.52</u> (m)	Draught amidships: <u>7.215</u> (m)
Port anchor: <u>13</u> (shackles)	Stbd anchor: <u>13</u> (shackles); (1 shackle = 27.4m)	
Gross Tonnage = <u>76,847</u>	Net Tonnage = <u>30,006</u>	Freeboard: <u>          </u> m
<b>ENGINE:</b>		
Type: <u>MAN B&amp;W 12K90MC MARK VI</u>	Maximum power: <u>52956 kW</u>	<u>61201 hp @ 89rpm</u>
	rpm / pitch	loaded speed
full ahead	<u>43</u>	<u>11.6 kts</u>
half ahead	<u>36</u>	<u>9.8 kts</u>
slow ahead	<u>31</u>	<u>8.3 kts</u>
Dead slow ahead	<u>25</u>	<u>7 kts</u>
Dead slow astern	<u>25</u>	<u>          </u>
slow astern	<u>31</u>	<u>          </u>
half astern	<u>36</u>	<u>          </u>
full astern	<u>43</u>	<u>100 (% of full ahead power)</u>
		ballast speed
		<u>12 kts</u>
		<u>10 kts</u>
		<u>8.5 kts</u>
		<u>7 kts</u>
		Engine critical rpm: <u>NONE</u>
		Max.No of consecutive starts: <u>12</u>
		Time limit astern: <u>N/A</u> (min)
		Time full ahead to full astern: <u>320</u> (sec)
<b>STEERING:</b>		
Rudders: <u>1</u> (number)	<u>SEMI-BALANCE RUDDER</u> (type)	<u>35</u> maximum angle
Time hard-over to hard-over: <u>24</u> sec	Rudder angle for neutral effect: <u>0</u> °	
Propellers: <u>1</u> (number)	Direction of turn: <u>right</u>	Controllable pitch: <u>NO</u>
Thrusters: <u>2</u> (number)	Bow power: <u>4408hp/3240 kW</u> (kW/HP)	Stern power: <u>N/A</u>
Steering peculiarities: <u>          </u>		
<b>EQUIPMENT CHECKED &amp; READY FOR USE:</b>		
Anchors: <u>Y25</u>	Cleared away: <u>          </u>	VHF: <u>Y25</u>
X-Band radar: <u>Y25</u>	ARPA: <u>YES</u>	Flags: <u>Y25</u>
S-Band radar: <u>Y25</u>	ARPA: <u>YES</u>	Whistle: <u>Y25</u>
Speed log: <u>Y25</u>	Water/Ground: <u>          </u>	single axis / dual axis
Echo sounder: <u>Y25</u>		Engine telegraphs: <u>YES</u>
Electronic position - fixing: <u>Y25</u>	Type: <u>GPS</u>	
Compass system: <u>Y25</u>	Gyro compass error: <u>+/-0.2</u> °	
Steering gear: <u>Y25</u>	Number of power units in use: <u>2</u>	
Rudder/RPM/ROT indicators: <u>Y25</u>	Mooring winches and lines: <u>Y25</u>	
EQUIPMENT DEFECTS RELEVANT TO SAFE NAVIGATION & OTHER IMPORTANT DETAILS: <u>NOTE -</u>		
Master's Name: <u>COPT. RY DUBSEN</u>	Pilot's Name: <u>HEIN. BAHARDT MATZ</u>	Date: <u>12 JAN. 2005</u>

## 17. MV OOCL Chicago



Abb. A1.17: MV OOCL Cicago [A1.17]

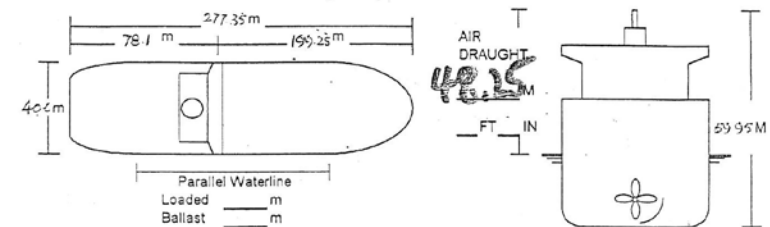
DEP. HAM

### PILOT CARD

### BRIDGE & DECK PROCEDURES

Vessel: <b>M.V. OOCL Chicago</b>	CALL SIGN : <b>YRWO2</b>	Year Built : <b>2000</b>
Lt. Displacement : <b>25,027 M/T</b>	Deadweight : <b>67,278 M/T</b>	Displacement : <b>92,313 M/T</b>
Gross Tonnage : <b>66,677</b>	Net Tonnage : <b>39,516</b>	IMO Number : <b>9199270</b>
Draught Fwd : <b>11.7</b> M. ( <u>    </u> Ft. <u>    </u> In. )	Draught Afr : <b>11.7</b> M. ( <u>    </u> Ft. <u>    </u> In. )	

SHIP'S PARTICULARS		
Length Overall : <b>277.35</b> Meters	Anchor Chain Port Side : <b>11</b> Shackles	
Breadth : <b>40.00</b> Meters	Anchor Chain Stbd Side : <b>12</b> Shackles	
Bulbous Bow : <b>YES</b>	1 Shackle : <b>27.4</b> Meters or <b>15</b> Fathoms	



TYPE OF ENGINE : <b>MAN B&amp;W</b>	MAX. POWER: <b>74,640 PS x 94 RPM</b>																																						
TYPE OF PROPELLER : <b>6 BLADES</b>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">MANOEUVRING ENGINE ORDER</th> <th rowspan="2">RPM</th> <th colspan="2">SPEED</th> </tr> <tr> <th>LOADED</th> <th>BALLAST</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Full AHEAD</td> <td>56</td> <td>14.9 Knots</td> <td>15.5 Knots</td> </tr> <tr> <td>Half AHEAD</td> <td>47</td> <td>12.5 Knots</td> <td>13.0 Knots</td> </tr> <tr> <td>Slow AHEAD</td> <td>37</td> <td>10.0 Knots</td> <td>10.3 Knots</td> </tr> <tr> <td>Dead Slow AHEAD</td> <td>27</td> <td>7.2 Knots</td> <td>7.5 Knots</td> </tr> <tr> <td>Dead Slow ASTERN</td> <td>27</td> <td colspan="2">Astern Power : 100 % Ahead</td> </tr> <tr> <td>Slow ASTERN</td> <td>37</td> <td colspan="2">Time Limit Astern : 30 Minutes</td> </tr> <tr> <td>Half ASTERN</td> <td>47</td> <td colspan="2">Full Ahead to Full Astern : 280 Seconds</td> </tr> <tr> <td>Full ASTERN</td> <td>56</td> <td colspan="2">Max. number of consec. starts : 6 Times</td> </tr> </tbody> </table>		MANOEUVRING ENGINE ORDER	RPM	SPEED		LOADED	BALLAST	Full AHEAD	56	14.9 Knots	15.5 Knots	Half AHEAD	47	12.5 Knots	13.0 Knots	Slow AHEAD	37	10.0 Knots	10.3 Knots	Dead Slow AHEAD	27	7.2 Knots	7.5 Knots	Dead Slow ASTERN	27	Astern Power : 100 % Ahead		Slow ASTERN	37	Time Limit Astern : 30 Minutes		Half ASTERN	47	Full Ahead to Full Astern : 280 Seconds		Full ASTERN	56	Max. number of consec. starts : 6 Times	
MANOEUVRING ENGINE ORDER	RPM			SPEED																																			
		LOADED	BALLAST																																				
Full AHEAD	56	14.9 Knots	15.5 Knots																																				
Half AHEAD	47	12.5 Knots	13.0 Knots																																				
Slow AHEAD	37	10.0 Knots	10.3 Knots																																				
Dead Slow AHEAD	27	7.2 Knots	7.5 Knots																																				
Dead Slow ASTERN	27	Astern Power : 100 % Ahead																																					
Slow ASTERN	37	Time Limit Astern : 30 Minutes																																					
Half ASTERN	47	Full Ahead to Full Astern : 280 Seconds																																					
Full ASTERN	56	Max. number of consec. starts : 6 Times																																					
NOTICE REQUIRED TO REDUCE FROM SEA SPEED TO FULL MANOEUVRING : <b>30</b> Minutes																																							
CRITICAL RPM : <b>90-94</b>	Min. RPM / Speed : <b>24</b> Revolutions/ <b>7.0</b> Knots																																						
TYPE OF RUDDER : <b>SEMI-BALANCED</b>	Max. Rudder Angle : <b>35</b> Degrees																																						
BOW THRUSTER : <b>2000 KW</b> or <b>2680 HP</b>	Rudder from hard-over to hard-over: <b>25</b> Seconds																																						

CL-006B

Issue No. 01/00

## 18. OOCL MALAYSIA



Abb. A1.18: OOCL Malaysia [A1.18]

E.R. SCHIFFFAHRT GMBH & CO.		PILOT CARD		DATE
Vessel: OOCL MALAYSIA		Port: <u>HAMBURG</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Arrival <input type="checkbox"/> Departure	
SHIP'S PARTICULARS				
Gross Tns: <u>66289 g.t.</u>	NRT: <u>33235 n.t.</u>	Flag: <u>LIBERIA</u>		
Call sign: <u>ELZW9</u>	Displ: <u>92773.6 mt</u>	Deadweight: <u>68071.6 mt</u>	Year of built: <u>2000</u>	
Draft Fwd: <u>13.50 m FW</u>	Draft Aft: <u>13.80 m FW</u>	Air Draft: <u>46.35 m</u>		
LOA: <u>277 m</u>	Anchor chain: Port <u>13 shackles</u>	Starboard <u>14 shackles</u>		
Breadth: <u>40 m</u>	Bow Thruster: <u>2000 Kw / 2681 Hp</u>	Stern: <u>NIL</u> shackles		
Bulbous bow: <input checked="" type="checkbox"/> Yes / <input type="checkbox"/> No	( 1 shackle = <u>27.5 m</u> <u>15.04</u> fathoms )			
Type of Engine: <u>MAN B&amp;W 12K90MC</u>	Maximum Power: <u>MCR 54840KW</u>	<u>NCR 46650kw @ 94 RPM - 23.5 Kt</u>		
Manoeuvring engine order	RPM/pitch	Speed (knots)		
		Loaded	Ballast	
Full ahead	60	16.6 kts	17.4 kts	
Half ahead	45	10.7 kts	11.9 kts	
Slow ahead	35	8.8 kts	9.3 kts	
Dead slow ahead	27	7.5 kts	8.0 kts	
Dead slow astern	27	Time limit astern:	NONE min	
Slow astern	35	Full ahead to astern:	665 seconds	
Half astern	45	Max No of consec. starts	15 / 6 ( eng. rm / bridge )	
Full astern	60	Minimum RPM	nil	
<b>CRITICAL REVOLUTIONS : NIL</b>		Astern power approx <u>60</u> % ahead		
Bow Thruster Cap. 2000KW not effective at speeds above <u>5 kts</u>		Bowthruster immersion <u>5.25M</u> , Prop immersion <u>8.64M</u>		
Steering hardover to hardover, <u>10.9 secs</u> with <u>2 steering Motors</u> . Minimum steering approx <u>3.5 kts</u> .				
Master: <u>Capt. Milorad Gotier</u>				
Remarks: The Pilot card to be presented to the pilot upon boarding and his name & signature confirming receipt entered into the movement book.				

## 19. MS TAMERLANE



Abb. A1.19: MS Tamerlane [A1.19]

Barber Slip Management Rev. 03/10

### PILOT INFORMATION CARD

VESSEL M/S TAMERLANE	PORT HAMBURG	DATE 18/12/03	VOY. NO EF 329
----------------------	--------------	---------------	----------------

**VESSEL'S DETAILS**

Call Sign L A O U 5	Year Built 2001
Displacement (Summer) 64299	Deadweight (Summer) 39400.5
Length Overall (m) 240.6	Breadth (m) 32.26
Port Anchor (shackles) 12	Starboard Anchor (shackles) 13

**DRAUGHT (m)**

Forward 7.95 m	Aft 9.30 m	Amidships 8.63 m	Air Draught
----------------	------------	------------------	-------------

Units: metres

Main Engine(s) 1	Type B&W 8L70MC	Max. Power 28480 bhp at 106 RPM	Critical RPM 25-31
Telegraph position	AHEAD		ASTERN
	RPM / PITCH	Loaded Speed (k)	Ballast Speed (k)
FULL	90	18.9	19.3
HALF	70	14.8	15.4
SLOW	50	10.7	11.4
DEAD SLOW	35	7.1	7.6

**MACHINERY**

Rudder(s) 1	Type SEMI-BALANCED SPADE	Max. Angle 35
Propeller(s) 1	Type FIXED PITCH	Dir. of Turn (Right/Left) RIGHT
Thruster(s) 2	Bow Power 1800kW (2500 hp)	Stern Power 1800kW

BRIDGE EQUIPMENT CHECKED PRIOR ARRIVAL/DEPARTURE   
(Company Check List B2/B3)

**EQUIPMENT DETAILS**

Radar 1 (State Band) KELVIN HUGES MK V X-BAND	Includes Arpa <input checked="" type="checkbox"/>
Radar 2 (State Band) KELVIN HUGES MK VI S-BAND	Includes Arpa <input checked="" type="checkbox"/>
Radar 3 (State Band) FURUNO FAR-2825 X-BAND	Includes Arpa <input checked="" type="checkbox"/>
Speed Log - Single/Dual Axis SINGLE	Water/Ground Track
Gyro Compass Error	
Electronic Position System Type 2X LEICA MX 412 DGPS	

## 20. XIN HONG KONG



Abb. A1.20: Xin Hong Kong [A1.20]

PILOT CARD SHEET 1 OF 2			
SHIP'S NAME <u>XIN HONG KONG</u>		DATE _____	
CALL SIGN <u>VRCH5</u>	BUILT <u>06<sup>TH</sup> FEB. 2007</u>		
DRAUGHT: Fore _____m	Aft _____m		
DEADWEIGHT _____ Tonnes	DISPLACEMENT _____ Tonnes		
SHIP'S PARTICULARS			
L.O.A. <u>336.668</u> m	ANCHOR CHAIN: Port <u>14</u> shackles		
BREADTH <u>45.6</u> m	Starboard <u>14</u> shackles		
BULBOUS BOW <b>Yes/No</b> (1 shackle = <u>27.5</u> m / <u>15.037</u> fathoms)			
Type of Engine <u>MAN B&amp;W 12K98MC-C</u> Maximum Power <u>mcr 93,120 hp@104rpm</u>			
Manoeuvring Engine Order	Rpm/Pitch	Speed (knots)	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	<b>70</b>	<b>18.07</b>	<b>18.96</b>
Half Ahead	<b>60</b>	<b>15.57</b>	<b>16.34</b>
Slow Ahead	<b>45</b>	<b>11.74</b>	<b>12.33</b>
Dead Slow Ahead	<b>32</b>	<b>8.38</b>	<b>8.80</b>
Dead Slow Ahead	<b>32</b>	Time Limit Astern <u>no</u> min	
Slow Astern	<b>45</b>	Full Ahead to Full Astern <u>530</u> sec	
Half Astern	<b>60</b>	Max. no. of Consec. Starts <u>13/5</u> (eng rm/bridge)	
Full Astern	<b>70</b>	Minimum RPM <u>32</u> <u>8.4</u> kts	
		Astern Power <u>Approx 70</u> % ahead	

## 21. XIN LOS ANGELES



Abb. A1.21 Xin Los Angeles [A1.21]

PILOT CARD SHEET 1 OF 2			
SHIP'S NAME <u>XIN LOS ANGELES</u>		DATE <u>22.06.2006</u>	
CALL SIGN <u>VRBX6</u>		BUILT <u>22<sup>ND</sup> JUNE 2006</u>	
DRAUGHT: Fore <u>13.7</u> m		Aft <u>13.7</u> m	
DEADWEIGHT <u>88,000</u> Tonnes		DISPLACEMENT <u>174,374</u> Tonnes	
SHIP'S PARTICULARS			
L.O.A. <u>336.7</u> m		ANCHOR CHAIN: Port <u>14</u> shackles	
BREADTH <u>45.6</u> m		Starboard <u>14</u> shackles	
BULBOUS BOW <u>Yes/No</u> (1 shackle = <u>27.5</u> m / <u>15.037</u> fathoms)			
Type of Engine <u>MAN B&amp;W 12K98MC-C</u> Maximum Power <u>mcr 93,120 hp@104rpm</u>			
Manoeuvring Engine Order	Rpm/Pitch	Speed (knots)	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	70	18.00	18.90
Half Ahead	60	15.57	16.34
Slow Ahead	45	11.74	12.37
Dead Slow Ahead	32	8.38	8.80
Dead Slow Ahead	32	Time Limit Astern <u>no</u> min	
Slow Astern	45	Full Ahead to Full Astern <u>530</u> sec	
Half Astern	60	Max. no. of Consec. Starts <u>13/5(eng mn/bridge)</u>	
Full Astern	70	Minimum RPM <u>32</u> <u>8.4</u> kts	
		Astern Power <u>Approx 70</u> % ahead	

## 22. XING NING BO



Abb. A1.22: Xing Ning Bo [A1.22]

PILOT CARD					
SHIPS NAME	XIN NING BO	GROSS TONNAGE:	66433	NET TONNAGE:	37567
CALL SIGN:	BPAS	DEAD WEIGHT:	69303T	SUMMER DRAFT	14.0 M
YEAR BUILT:	2003,8,10	SUEZ GROSS:	67676.98	SUEZ NET:	53458.26
SHIP' PARTICULARS					
LENGTH OVERALL:	279.90M	ANCHOR CHAIN:	PORT:	13 SHACKLES	
BREADTH:	40.30M		STARBOARD :	14 SHACKLES	
BULBOUS BOW :	YES				
ENGINES					
ENGINES TYPE	B&W 12K90MC	MAXIMUM POWER	60192 KW (107.4RPM)		
* ANOEUVRING ENGINE ORDER	RPM	SPEED (KNOTS)			
		LOADED	BALLAST		
FULL AHEAD	60	16.20	16.80		
HALF AHEAD	50	12.70	13.50		
SLOW AHEAD	40	10.60	11.40		
DEAD SLOW AHEAD	30	7.8	8.4		
DEAD SLOW ASTERN	30	TIME LIMIT ASTERN	NONE		
SLOW ASTERN	45	FULLAHEAD TO FULL ASTERN	483 SECONDS		
HALF ASTERN	65	MAX. NO OF CONSEC STARTS			
FULL ASTERN	82	MINIMUM REVS	30 REVS		
		ASTERN POWER AS PERCENTAGE OF AHEAD POWER	85% REVS		
		CRITICAL REVS			
		<b>PROPELLER TO RIGHT</b>			
STEERING PARTICULARS					
TYPE OF RUDDER :- SEMI BALANCED		MAXIMUM ANGLE:--35 DEGREES			
HARD OVER TO HARD OVER		26 SECONDS			
RUDDER ANGLE FOR NEUTRAL EFFECT:--		ZERO DEGREES			
BOWTHRUSTER	2200KW	2993 BHP			



## 23. XIN SHANGHAI



Abb. A1.23: Xing Shanghai [A1.23]

**PILOT CARD Sheet 1 of 2**

SHIP'S NAME "XIN SHANGHAI" DATE 02-Nov-2007  
 CALL SIGN VRCC6 BUILT 9th OCT. 2006  
 DRAUGHT: Fore 11.96 m Aft 12.16 m  
 DEADWEIGHT 69440 Tonnes DISPLACEMENT 107890 Tonnes

**SHIP'S PARTICULARS**

L.O.A. 336.7 m ANCHOR CHAIN: Port 14 shackles  
 BREADTH 45.6 m Starboard 14 shackles  
 BULBOUS BOW Yes/No (1 shackle = 27.5 m / 15.037 fathoms)

Parallel W/L  
Loaded 169.65 m Ballast 71.04 m

Air Draught  
49.8 m

62.0 m

Type of Engine MAN B&W 12K98MC-C Maximum Power mcr 93,120 hp@104rpm

Manoeuvring Engine Order	Rpm / Pitch	Speed (knots)	
		Loaded	Ballast
Full Ahead	70	18.0	18.9
Half Ahead	60	15.6	16.3
Slow Ahead	45	11.7	12.4
Dead Slow Ahead	32	8.4	8.8
Dead Slow Ahead	32	Time Limit Astern <u>no</u> min	
Slow Astern	45	Full Ahead to Full Astern <u>530</u> sec	
Half Astern	60	Max. no. of Consec. Starts <u>13/6(eng rm/bridge)</u>	
Full Astern	70	Minimum RPM <u>32</u> <u>8.3</u> kts	

Astern Power Approx 70 % ahead

## Anhang 1: Abbildungsverzeichnis

- [A1.1] <http://www.neubrunn-schmidrueti.ch/emma-maersk-underway.jpg>
- [A1.2] [http://www.ship-photo.de/lib/exe/detail.php/schiffe:carcarrier:hual\\_seoul\\_20050912\\_1180268.jpg?id=schiffe%3Acarcarrier%3A9285495](http://www.ship-photo.de/lib/exe/detail.php/schiffe:carcarrier:hual_seoul_20050912_1180268.jpg?id=schiffe%3Acarcarrier%3A9285495)
- [A1.3] <http://www.richard-photography.nl/files/MSC%20Christina@RWISSE.jpg>
- [A1.4] [http://www.simplonpc.co.uk/OrwellRiverCruises/MSC-Shanghai\\_20060916-107\\_900.jpg](http://www.simplonpc.co.uk/OrwellRiverCruises/MSC-Shanghai_20060916-107_900.jpg)
- [A1.5] [http://bildarchiv-hamburg.de/hamburg/hafeneibe/hafen/13\\_containerschiff-schlepper/11\\_21361\\_containerriese-schlepper-hafen.jpg](http://bildarchiv-hamburg.de/hamburg/hafeneibe/hafen/13_containerschiff-schlepper/11_21361_containerriese-schlepper-hafen.jpg)
- [A1.6] [http://elbe.el.ohost.de/700x300\\_hyundaicolombo\\_s01\\_2007\\_01.jpg](http://elbe.el.ohost.de/700x300_hyundaicolombo_s01_2007_01.jpg)
- [A1.7] <http://www.vesseltracker.com/de/ShipPhotos/412136-Mv-Chaiten-8700230.html>
- [A1.8] <http://shipsandharbours.com.s3.amazonaws.com/12115.jpg>
- [A1.9] <http://www.jimsshippingwebsite.co.uk/thames/cmacgmnilgai03.jpg>
- [A1.10] <http://www.shipfoto.co.uk/images/2008%20Photos/E-R-Amsterdam-7-Oct-2008.jpg>
- [A1.11] <http://www.containershipping.nl/images/ships/everdeluxe01.jpg>
- [A1.12] <http://www.vesseltracker.com/de/ShipPhotos/190166-Golden-Gate-Bridge-9224506.html>
- [A1.13] <http://www.containershipping.nl/images/ships/hatsushine01.jpg>
- [A1.14] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/b/bd/20090608001826!Monte\\_cervantes.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/b/bd/20090608001826!Monte_cervantes.jpg)
- [A1.15] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Hamburg\\_Sued\\_Monte\\_Rosa\\_Burchardkai\\_750px\\_5333.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Hamburg_Sued_Monte_Rosa_Burchardkai_750px_5333.jpg)
- [A1.16] <http://www.marinetraffic.com/ais/de/shipdetails.aspx?MMSI=413057000>

Analyse der Belastung auf Kajen, Böschungen und Sohlen  
bei Anlegemanövern von Schiffen mit großer Leistung und unter Einsatz von Bugstrahlruder

---

- [A1.17] <http://photos1.blogger.com/blogger/6215/3488/1600/Xin%20Los%20Angeles.0.jpg>
- [A1.18] <http://www.balot-pictures.com/Xin%20Hong%20Kong.html>
- [A1.19] <http://www.vesseltracker.com/en/ShipPhotos/66638-Tamerlane-9218648.html>
- [A1.20] [http://media.shipspotting.com/uploads/thumbs/rw/825014\\_800/Ship+Photo+OOCL+MALAYSIA.jpg](http://media.shipspotting.com/uploads/thumbs/rw/825014_800/Ship+Photo+OOCL+MALAYSIA.jpg)
- [A1.21] <http://www.termaloma.com/HT2/images/OOCL%20CHICAGO.jpg>
- [A1.22] <http://www.containershipping.nl/images/ships/nyksirius01.jpg>
- [A1.23] <http://img.fotocommunity.com/photos/12365653.jp>

Analyse der Belastung auf Kaje, Böschungen und Sohlen  
bei Anlegemanövern von Schiffen mit großer Leistung und unter Einsatz von Bugstrahlruder

Pilot Card Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	MIN	MAX	
vom	2006	2007	2004	2007	k.A.	k.A.	2007	2007	2006	2006	k.A.	2002	k.A.	2006	2007	2005	k.A.	2004	2003	k.A.	2006	k.A.	2007	2002	2007	
Hafen	Bremen	Bremen	Bremen	Bremen	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg	Hamburg
Schiff	Emma Maersk	HUAL SEOUL	MSC CHRISTINA	MSC SHANGHAI	HYNDAL BRAVE	HYNDAL COLOMBO	MV CHAITEN	CMA CGM AEGEAN	CMA CGM NILGAI	E.R. AMSTERDAM	EVER DELUXE	GOLDEN GATE BRIDGE	HATSU SHINE	MONTE CERVANTES	MONTE ROSA	NYK SIRIUS	M.V.OOCL CHICAGO	OOCL MALAYSIA	MS TAMERLANE	XIN HONG KONG	XIN LOS ANGELES	XIN NING BO	XIN SHANGHAI			
Baujahr	2006	2004	1998	2005	2007	2007	k.A.	1996	2003	2000	1996	2001	2005	2004	k.A.	1998	2000	2000	2001	2007	2006	2003	2006	1996	2007	
DWT [t]	156900	9570	k.A.	71949	99123	80107,7	66280	35966	50828	67557	52090	71376	75246	64963	64888	76847	67278	68071	39400,5	k.A.	88974	69303	69440	9570	156900	
Länge ü. a. [m]	397,71	199,9	242,81	274,67	339,62	303,83	276,2	201,5	k.A.	277	294,13	284,7	300	272,08	272,02	299	277	277	240,6	336	336,7	279	336,7	199,9	397,71	
Main Engine																										
[KW]	80080	k.A.	k.A.	57057	109	93120	54942	25400	36480	54840	66120	80000	54900	45765	45765	52956	74640	54840	21238	69440	69440	60192	69440	109	93120	
[RPM]	102	105	98	104	102	104	100	104	104	112	102	90	100	102	102	89	94	94	106	104	104	107,4	104	89	112	
Maneuvering Engine Order	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]	[U/min]		
Full Ahead	65	74	70	86	58	60	65	86	70	60	53	60	52	67	67	43	56	60	90	70	70	60	70	43	90	
Half Ahead	50	56	55	70	48	50	50	70	60	45	44	50	42	51	51	36	47	45	70	60	60	50	60	36	70	
Slow Ahead	35	38	45	52	40	42	40	52	45	35	33	35	32	40	40	31	37	35	50	45	45	40	45	31	52	
Dead Slow Ahead	25	27	35	31	31	28	27	35	35	27	25	25	24	32	32	26	27	27	35	32	32	30	32	24	35	
	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]	[% von nmax]		
Full Ahead	63,7	70,5	71,4	82,7	56,9	57,7	65,0	82,7	67,3	53,6	52,0	66,7	52,0	65,7	65,7	48,3	59,6	63,8	84,9	67,3	67,3	55,9	67,3	48,3	84,9	
Half Ahead	49,0	53,3	56,1	67,3	47,1	48,1	50,0	67,3	57,7	40,2	43,1	55,6	42,0	50,0	50,0	40,4	50,0	47,9	66,0	57,7	57,7	46,6	57,7	40,2	67,3	
Slow Ahead	34,3	36,2	45,9	50,0	39,2	40,4	40,0	50,0	43,3	31,3	32,4	38,9	32,0	39,2	39,2	34,8	39,4	37,2	47,2	43,3	43,3	37,2	43,3	31,3	50,0	
Dead Slow Ahead	24,5	25,7	35,7	29,8	30,4	26,9	27,0	33,7	33,7	24,1	24,5	27,8	24,0	31,4	31,4	29,2	28,7	28,7	33,0	30,8	30,8	27,9	30,8	24,0	35,7	
P=(n/nmax)^3*Pmax	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]		
Full Ahead	20724			32263	20	17881	15088	14362	11124	8431	9276	23704	7719	12971	12971	5972	15782	14262	12999	21174	21174	10495	21174			
Half Ahead	9433			17398	11	10348	6868	7745	7005	3557	5308	13717	4067	5721	5721	3505	9330	6017	6116	13334	13334	6073	13334			
Slow Ahead	3235			7132	7	6133	3516	3175	2955	1674	2239	4705	1799	2760	2760	2238	4552	2831	2229	5625	5625	3110	5625			
Dead Slow Ahead	1179			1511	3	1817	1081	968	1390	768	974	1715	759	1413	1413	1320	1769	1300	765	2023	2023	1312	2023			
	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]		
Full Ahead	25,9			56,5	18,4	19,2	27,5	56,5	30,5	15,4	14,0	29,6	14,1	28,3	28,3	11,3	21,1	26,0	61,2	30,5	30,5	17,4	30,5	11,3	61,2	
Half Ahead	11,8			30,5	10,4	11,1	12,5	30,5	19,2	6,5	8,0	17,1	7,4	12,5	12,5	6,6	12,5	11,0	28,8	19,2	19,2	10,1	19,2	6,5	30,5	
Slow Ahead	4,0			12,5	6,0	6,6	6,4	12,5	8,1	3,1	3,4	5,9	3,3	6,0	6,0	4,2	6,1	5,2	10,5	8,1	8,1	5,2	8,1	3,1	12,5	
Dead Slow Ahead	1,5			2,6	2,8	2,0	2,0	3,8	3,8	1,4	1,5	2,1	1,4	3,1	3,1	2,5	2,4	2,4	3,6	2,9	2,9	2,2	2,9	1,4	3,8	
P=(n/nmax)^2*Pmax	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]		
Full Ahead	32520			39016	35	30994	23213	17369	16527	15739	17852	35556	14845	19746	19746	12362	26491	22343	15310	31458	31458	18786	31458			
Half Ahead	19243			25849	24	21524	13736	11507	12142	8853	12304	24691	9684	11441	11441	8664	18660	12568	9262	23112	23112	13046	23112			
Slow Ahead	9429			14264	17	15187	8791	6350	6830	5355	6921	12099	5622	7038	7038	6425	11564	7603	4725	13001	13001	8349	13001			
Dead Slow Ahead	4811			5070	10	6750	4005	2877	4132	3187	3972	6173	3162	4504	4504	4519	6158	4524	2315	6574	6574	4696	6574			
	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]		
Full Ahead	40,6			68,4	32,3	33,3	42,3	68,4	45,3	28,7	27,0	44,4	27,0	43,1	43,1	23,3	35,5	40,7	72,1	45,3	45,3	31,2	45,3	23,3	72,1	
Half Ahead	24,0			45,3	22,1	23,1	25,0	45,3	33,3	16,1	18,6	30,9	17,6	25,0	25,0	16,4	25,0	22,9	43,6	33,3	33,3	21,7	33,3	16,1	45,3	
Slow Ahead	11,8			25,0	15,4	16,3	16,0	25,0	18,7	9,8	10,5	15,1	10,2	15,4	15,4	12,1	15,5	13,9	22,2	18,7	18,7	13,9	18,7	9,8	25,0	
Dead Slow Ahead	6,0			8,9	9,2	7,2	7,3	11,3	11,3	5,8	6,0	7,7	5,8	9,8	9,8	8,5	8,3	8,3	10,9	9,5	9,5	7,8	9,5	5,8	11,3	
P=(n/nmax)^1*Pmax	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]		
Full Ahead	51031			47182	62	53723	35712	21004	24554	29379	34356	53333	28548	30061	30061	25585	44466	35004	18032	46738	46738	33627	46738			
Half Ahead	39255			38404	51	44769	27471	17096	21046	22034	28522	44444	23058	22883	22883	21420	37320	26253	14025	40061	40061	28022	40061			
Slow Ahead	27478			28529	43	37606	21977	12700	15785	17138	21392	31111	17568	17947	17947	18445	29380	20419	10018	30046	30046	22418	30046			
Dead Slow Ahead	19627			17007	33	25071	14834	8548	12277	13220	16206	22222	13176	14358	14358	15470	21439	15752	7012	21366	21366	16813	21366			
	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]	[% von Pmax]		
Full Ahead	63,7			82,7	56,9	57,7	65,0	82,7	67,3	53,6	52,0	66,7	52,0	65,7	65,7	48,3	59,6	63,8	84,9	67,3	67,3	55,9	67,3	48,3	84,9	
Half Ahead	49,0			67,3	47,1	48,1	50,0	67,3	57,7	40,2	43,1	55,6	42,0	50,0	50,0	40,4	50,0	47,9	66,0	57,7	57,7	46,6	57,7	40,2	67,3	
Slow Ahead	34,3			50,0	39,2	40,4	40,0	50,0	43,3	31,3	32,4	38,9	32,0	39,2	39,2	34,8	39,4	37,2	47,2	43,3	43,3	37,2	43,3	31,3	50,0	
Dead Slow Ahead	24,5			29,8	30,4	26,9	27,0	33,7	33,7	24,1	24,5	27,8	24,0	31,4	31,4	29,2	28,7	28,7	33,0	30,8	30,8	27,9	30,8	24,0	35,7	