

Dipl. Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern  
Kulenkampffallee 117  
28213 Bremen  
Germany

Email: hermann.vonmorgenstern@t-online.de

## SIMULATIONS-STUDIE

# Neubau fünfte Schleusenkommer im Bereich der NOK-Schleusen Brunsbüttel

## ABSCHLUSSBERICHT

Band 1 von 7



## BERICHTSTEIL

30. Mai 2008

Projekt: 917 –WSA-2007

Client:



Wasser- und Schifffahrtsamt  
Brunsbüttel

Author:

Dipl.Naut. Kapt. Hermann von Morgenstern

Document:

917\_WSA\_VOL1\_Bericht\_30MAY2008.pdf  
Rev. F3.3.11 30.Mai 2008



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>0</b>	<b>KURZFASSUNG (MANAGEMENT SUMMARY)</b> .....	<b>7</b>
0.1	AUFGABENSTELLUNG UND METHODIK .....	8
0.2	LAUFDURCHFÜHRUNG .....	8
0.3	VARIANTE 1.....	9
0.3.1	<i>Geometrie der Variante 1</i> .....	10
0.3.2	<i>Ergebnisse Variante 1</i> .....	11
0.4	VARIANTE 3.....	14
0.4.1	<i>Geometrie der Variante 3</i> .....	14
0.4.2	<i>Ergebnisse Variante 3</i> .....	15
0.5	VARIANTEN-VERGLEICH.....	18
0.6	FAZIT -UNTERSUCHUNGSPHASE 1.....	21
0.7	VARIANTE 4.....	24
0.7.1	<i>Geometrie der Variante 4</i> .....	24
0.7.2	<i>Ergebnisse Variante 4</i> .....	25
0.8	EMPFEHLUNGEN -UNTERSUCHUNGSPHASE 2 .....	27
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>31</b>
<b>2</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>33</b>
2.1	UNTERSUCHUNGSPARAMETER.....	35
<b>3</b>	<b>METHODIK UND VERFAHREN</b> .....	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>VORBEREITUNG DER SIMULATION</b> .....	<b>39</b>
4.1	ERSTELLUNG DER SEEGBIETE.....	39
4.2	ERSTELLUNG DER STRÖMUNGSDYNAMIK .....	42
4.3	ERSTELLUNG DER EIGENSCHIFFE.....	44
<b>5</b>	<b>LAUFDURCHFÜHRUNG</b> .....	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>GRUNDLAGEN DER BEWERTUNG</b> .....	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE - 1. UNTERSUCHUNGSPHASE -</b> .....	<b>51</b>
7.1	REFERENZLÄUFE IM IST-ZUSTAND .....	51
7.1.1	<i>IST-Geometrie</i> .....	51

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

7.1.2	<i>Laufergebnisse</i> .....	52
7.2	ERGEBNISSE VARIANTE 1 .....	55
7.2.1	<i>Geometrie der Variante 1</i> .....	55
7.2.2	<i>Einlaufen - Übersicht</i> .....	57
7.2.2.1	Einlaufen –Referenz.....	58
7.2.2.2	Einlaufen mit NOK-max.....	61
7.2.2.3	Einlaufen mit VG5-10.4m.....	66
7.2.2.4	Einlaufen mit VG4 .....	69
7.2.3.5	Anlaufmanöver –Drehen auf der Elbe .....	70
7.2.3	<i>Auslaufen - Übersicht</i> .....	72
7.2.3.1	Auslaufen – Referenz .....	73
7.2.3.2	Auslaufen mit dem NOKmax-Schiff.....	78
7.2.3.3	Auslaufen mit VG5-10.4m.....	83
7.2.3.4	Auslaufen mit VG4 .....	87
7.3	VERGLEICH VARIANTE 1 MIT IST-ZUSTAND.....	88
7.4	ERGEBNISSE VARIANTE 3 .....	93
7.4.1	<i>Geometrie der Variante 3</i> .....	93
7.4.2	<i>Einlaufen</i> .....	95
7.4.2.1	Einlaufen – Referenz .....	96
7.4.2.2	Einlaufen mit NOKmax.....	98
7.4.2.3	Einlaufen mit VG5-10.4m.....	102
7.4.2.4	Einlaufen mit VG4 .....	106
7.4.2.5	Anlaufmanöver .....	107
7.4.3	<i>Auslaufen - Übersicht</i> .....	109
7.4.3.1	Auslaufen – Referenz .....	110
7.4.3.2	Auslaufen mit NOKmax.....	111
7.4.3.3	Auslaufen mit VG5-10.4m.....	118
7.4.3.4	Auslaufen mit VG4 .....	124
7.4.3.5	Auslaufen mit Schleppverband .....	125
7.5	VERGLEICH VARIANTE 3 MIT IST-ZUSTAND UND VARIANTE 1.....	126
7.6	VOM NOK IN DIE 5.SCHLEUSE .....	130
7.6.1	<i>Geometrie 5.Schleuse NOK-Seite</i> .....	130
7.6.2	<i>Laufergebnisse</i> .....	132
7.7	<b>FAZIT – EMPFEHLUNGEN 1. UNTERSUCHUNGSPHASE</b> .....	137
8	<b>VARIANTE 4</b> .....	145
8.0	EINLEITUNG.....	145

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

8.1	GEOMETRIE DER VARIANTE 4 .....	147
8.2	ERGEBNISSE VARIANTE 4.....	148
8.2.1	<i>Einlaufen - Übersicht</i> .....	149
8.2.1.1	Einlaufen V4 -von See mit dem NOKmax-Schiff .....	150
8.2.1.2	Einlaufen V4 -von See mit dem Tanker VG5T .....	154
8.2.1.3	Einlaufen V4 -vom NOK .....	155
8.2.2	<i>Auslaufen</i> .....	157
8.2.2.1	Auslaufen V4 -nach See mit NOKmax .....	158
8.2.2.2	Auslaufen V4 -nach See mit Tanker VG5T .....	161
8.2.2.3	Auslaufen V4 -zum NOK .....	164
8.2.2.4	Auslaufen V4 mit VG4 .....	165
<b>8.3</b>	<b>FAZIT – EMPFEHLUNGEN VARIANTE 4.....</b>	<b>166</b>
<b>9</b>	<b>VALIDIERUNG UND EVALUIERUNG.....</b>	<b>173</b>
9.0	DEFINITION .....	173
9.1	EINLEITUNG.....	174
9.2	SIMULATORSTZEFISCHF RANDBEDINGUNGEN.....	175
9.3	MANÖVERBEEINFLUSSENDE RANDBEDINGUNGEN .....	176
9.3.1	<i>Wind</i> .....	176
9.3.2	<i>Zustand des Eigenschiffes</i> .....	177
9.4	MANÖVERUNTERSTÜTZENDE MAßNAHMEN.....	178
9.4.1	<i>Schlepper</i> .....	178
9.5	ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG .....	179
<b>10</b>	<b>UMSETZBARKEIT VON SIMULATIONSERGEBNISSEN .....</b>	<b>181</b>
10.1	MANÖVERUNTERSUCHUNGEN MIT ECHTZEITSIMULATOREN .....	182
10.2	VALIDIERUNG VON SIMULATIONEN.....	183
<b>ANLAGEN</b>	<b>.....</b>	<b>185</b>
ANLAGE 1.1	SZENARIO-KODIERUNG .....	188
ANLAGE 1.2	LAUFÜBERSICHTEN .....	191
ANLAGE 2.1	SCHIFFSDATEN NOK-MAX .....	196
ANLAGE 2.2	SCHIFFSDATEN VG5T .....	197
ANLAGE 2.3	SCHIFFSDATEN VG5-9M .....	198
ANLAGE 2.4	SCHIFFSDATEN VG4-CON .....	199
ANLAGE 2.5	SCHIFFSDATEN VG4-BULK .....	200

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ANLAGE 2.6 SCHIFFSDATEN VG4-CAR .....	201
ANLAGE 2.7 SCHIFFSDATEN BARGE.....	202
ANLAGE 3.1 ENC IST-ZUSTAND -ÜBERSICHT.....	204
ANLAGE 3.2 ENC IST-ZUSTAND -VORHAFEN/SCHLEUSEN .....	205
ANLAGE 3.3 ENC VARIANTE 1 -ÜBERSICHT.....	206
ANLAGE 3.4 ENC VARIANTE 1 -VORHAFEN/SCHLEUSEN.....	207
ANLAGE 3.5 ENC VARIANTE 3 -ÜBERSICHT.....	208
ANLAGE 3.6 ENC VARIANTE 3 -VORHAFEN/SCHLEUSEN.....	209
ANLAGE 3.7 PLANZEICHNUNG VARIANTE 1 .....	210
ANLAGE 3.8 PLANZEICHNUNG VARIANTE 3 .....	211
ANLAGE 3.8 PLANZEICHNUNG VARIANTE 4 .....	212
<b>ANLAGE 4 GRUNDGRÖßEN DER HYDRODYNAMIK .....</b>	<b>214</b>
4.1 HYDRODYNAMISCHE EINFLÜSSE .....	214
4.2 SQUAT.....	214
4.3 BANKEFFEKT .....	218
<b>ANLAGE 5 DATENAUFZEICHNUNG .....</b>	<b>222</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>227</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>234</b>

## **BERICHTSUMFANG**

---

<b>Volume-1</b>	<b>Berichtsband</b>	<b>234 Seiten</b>
<b>Volume-2</b>	<b>Datenplotts (V0/V1)</b>	<b>192 Seiten</b>
<b>Volume-3</b>	<b>Datenplotts (V3/V4)</b>	<b>334 Seiten</b>
<b>Volume-4</b>	<b>Dokumentation (V0/V1)</b>	<b>198 Seiten</b>
<b>Volume-5</b>	<b>Dokumentation (V3/V4)</b>	<b>300 Seiten</b>
<b>Volume-6</b>	<b>Strömungsdaten (V0/V1)</b>	<b>168 Seiten</b>
<b>Volume-7</b>	<b>Strömungsdaten (V3/V4)</b>	<b>148 Seiten</b>

### **Anmerkung**

- **Alle Berichtsbände sind für doppelseitigen Druck ausgelegt auf dem auch die Seitenzahlen basieren.**

Bericht erstellt am 30.Mai 2008 von

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**  
**Kulenkampffallee 117**  
**28213 Bremen**

**Bremen, den 30.5.2008**



(H.v.Morgenstern)

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

## **0 KURZFASSUNG (MANAGEMENT SUMMARY)**

In der Zeit vom 31. Oktober 2007 bis 14. Dezember 2007 wurden an 12 Simulationstagen im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamts Brunsbüttel Simulationen im Rahmen der Untersuchung

**NEUBAU 5. SCHLEUSENKAMMER**  
**im Bereich der**  
**NOK-SCHLEUSEN IN BRUNSBÜTTEL**

an der Simulationsanlage der Hochschule Bremen (Institut für maritime Simulation) durchgeführt. Die Projektleitung der Simulationsdurchführung oblag hierbei dem Verfasser dieses Berichtes.

Die Durchführung der Simulationen erfolgte in vier Abschnitten zu je 3 Tagen, wobei die im weiteren Verlauf dieses Berichtes noch näher zu beschreibende Variante 1 (Erhalt der Mole 3) und Variante 3 (großer Versatz der Mole 3) näher zu untersuchen waren in Hinblick auf die Beurteilung der jeweiligen nautisch/technischen Machbarkeit des Ein- und Auslaufens. Daneben wurden auch Untersuchungsläufe in der heutigen IST-Situation gefahren, um Vergleichsgrößen dahingehend zu ermitteln, inwieweit die nautischen Prozeduren der unterschiedlichen Planungsvarianten (V1 und V3) vom IST-Zustand abweichen. Daneben galt es zu prüfen, ob zusätzliche Optimierungsmaßnahmen für eine weitere effiziente Gestaltung des Vorhafens und des Zufahrtbereiches zur 5. Schleuse möglich sind.

Aus den evaluierten Simulationsläufen der Planungsvarianten 1 und 3, zusammengefasst im Zwischenbericht vom 17. Januar 2008, haben sich zur weiteren Verbesserung der nautischen Machbarkeit der durchzuführenden Manöver Optimierungsgrößen für eine weitere Variante ergeben.

Die so entstandene Variante 4 (lange Mole 2) wurde in einer weiteren Simulationsuntersuchung (20.- 22.Februar 2008) evaluiert. Die Auswertung und Bewertung der Laufergebnisse dieser Variante 4 sind in dem neuen Kapitel 8 dieses Berichtes zusammengefasst, sodass alle Bewertungsergebnisse in einem Berichtsband vorliegen.

## 0.1 Aufgabenstellung und Methodik

Die Aufgabenstellung dieser Simulationsuntersuchung war wie folgt definiert:

- **Durchführung und Dokumentation von nautischen Fahrversuchen zur Untersuchung der nautisch sichersten aber auch effizientesten baulichen Gestaltung des Vorhafens und der weiteren Zufahrt zur 5. Schleuse mit Hinsicht auf die Formgebung, Bauausführung, der geplanten Bathymetrien, der zur Verfügung zu stellenden Schleppkraft und den äußeren Randbedingungen bezüglich Wind und Strom, mit dem noch ein sicheres Anlaufen und Verlassen der 5.Schleuse und des Vorhafens gewährleistet ist.**

Zur Bewertung der einzelnen Simulationsläufe wurde das so genannte "Expert Rating" verwendet. Im Gegensatz zur Analyse nach statistischen Verfahren, die nur auf der Grundlage vieler Simulationsläufe (mindesten ein "kleines Sample" mit 10 Läufen) unter identischen Bedingungen möglich ist, wird bei dem hier verwendeten Verfahren jeder Lauf individuell von Experten bewertet. Die fachkundigen Beobachter waren dabei

- **Experten der WSD-Nord**
- **Experten des WSA-Kiel Brunsbüttel**
- **Experten der Lotsenbrüderschaft NOK I**
- **Experten der Lotsenbrüderschaft Elbe** und der
- **Projektleiter der Simulation** (Verfasser dieses Berichts)

Die für die Untersuchung bzw. den jeweiligen Simulationslauf relevanten Aussagen der beteiligten Experten wurden in den Debriefinggesprächen ausführlich diskutiert und abschließend dokumentiert. Daneben wurden während der Versuchsläufe bestimmte, sorgfältig ausgesuchte physikalische Simulationsdaten in regelmäßigen Intervallen (1 Sekunde) aufgezeichnet. Die Ergebnisse der Auswertung dieser Daten bilden eine wichtige Grundlage der Bewertung.

## 0.2 Laufdurchführung

In der ersten Untersuchungsphase vom 31. Oktober 2007 bis 14. Dezember 2007 (12 Simulationstage) wurden insgesamt **109 Untersuchungsläufe** durchgeführt, nicht eingerechnet die täglichen Familisierungsläufe für die neuen Lotsen.

In einem weiteren Untersuchungsabschnitt wurde, wie schon erwähnt, eine neue Variante 4 (lange Mole 2), die sich aus den Laufergebnissen der 1. Untersuchungsphase ergeben hatte, untersucht.

Für diese Variante wurden in der Zeit vom 20. Februar bis zum 22. Februar (3 Simulationstage) insgesamt **30 Untersuchungsläufe** durchgeführt

Für die Läufe wurden mehrere Lotsen der Brüderschaft NOK I (für die Einlaufmanöver von See sowie Ein- und Auslaufmanöver vom/zum NOK) und Lotsen der Brüderschaft Elbe (für die Auslaufmanöver nach See) eingesetzt, wobei ein tägliches Wechseln stattfand. Dieses um einerseits die breite Palette der verfügbaren Erfahrungen mit in die Simulationsuntersuchung einzubringen und um andererseits gezielt Lerneffekte für bestimmte schwierige Manöverphasen weitestgehend auszuschalten.

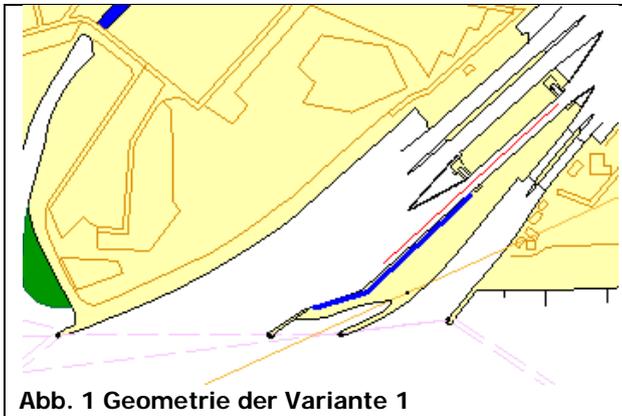
Im Kapitel 5 LAUFDURCHFÜHRUNG (Seite 45 ff.) und in der Anlage 1 sind tabellarische Übersichten aller gefahrenen Läufe mit den wichtigsten Szenario-Parametern zu finden.

### **0.3 Variante 1**

Die im Folgenden in Kurzform beschriebenen Ergebnisse dieser Variante beruhen, wie schon erwähnt, auf den Laufbeobachtungen, den Ergebnissen des Expert-Ratings, sowie der Auswertung der physikalischen und statistischen Werte. Dabei wird in dieser Zusammenfassung auf die Bewertung der Läufe im IST-Zustand verzichtet, da diese als Referenz für die erweiterte Bewertung der Varianten 1 und 3 dienen.

Eine ausführliche Bewertung aller Läufe der Variante 1 in der Untersuchungsphase 1 ist in dem Kapitel 7.2 Ergebnisse Variante 1 (Seite 55 ff) zu finden.

### 0.3.1 Geometrie der Variante 1



**Abb. 1 Geometrie der Variante 1**

Die Formgebung des Vorhafens, gegeben durch die Geometrie der Variante 1, ist in der Abb.1 dargestellt. Kennzeichnend für diese Variante ist der Erhalt der Mole 3 mit einer anschließenden, geknickten Spundwand (blaue Linie) die bis zum Schleusenaupt führt. Daneben ist vor der neu entstandenen Schleuseninsel zwischen der „Neu-Süd“ und der 5.Schleuse ein Leitwerk vorgesehen, dessen Abmaße und Formgebung von den bestehenden Leitwerken abweicht.

sehen, dessen Abmaße und Formgebung von den bestehenden Leitwerken abweicht.

Aus nautischer Betrachtungsweise sind im ersten Ansatz mehrere Auffälligkeiten zu vermerken, nämlich dass

- **keine direkte und geradlinige Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt zur Schleuse besteht,**
- **der verfügbare Manövrierraum östlich der Einlauflinie nur sehr gering und durch eine Spundwand begrenzt ist,**
- **die nutzbare Länge des Vorhafens, gemessen von der Verbindungslinie der Molen 3 und 4 bis zum Kopf des neuen Leitwerks kürzer geworden ist,**
- **Kursänderungen auf kurze Distanzen notwendig sind und dass**
- **einzig die Einfahrtsbreite zwischen den Molen unverändert geblieben ist.**

Für ein aus der 5.Schleuse auslaufendes Schiff, insbesondere wenn es wegen hoher Decksbelastung durch Container o.a. einen langen toten Sichtbereich vor dem Steven aufweist, ergibt sich die Situation, dass

- **vor dem Schiff kein sichtbar freies Fahrwasser liegt.**

Dies ist sicherlich unter „normalen“ Fahrbedingungen in engen Revieren nichts Außergewöhnliches, in diesem besonderen Fall muss aber das Schiff noch mit seiner gesamten Länge von 280 Meter mit Fahraufnahme aus der Schleuse und teilweise aus dem Leitwerk gebracht werden. Die Distanz zwischen „Mitte Leitwerk“ und schräger Spundwand zur Mole 3 beträgt aber nur etwa 370 Meter.

### 0.3.2 Ergebnisse Variante 1

Eine ausschließliche Betrachtung der Bahnverläufe ohne Beachtung der während der Läufe eingesetzten Kräfte lässt die grundlegenden Schlussfolgerungen zu, dass

- **aus nautischer Sicht, ohne Berücksichtigung einschränkender Randbedingung, die Möglichkeit besteht, Fahrstrategien zu entwickeln, die ein Ein- und Auslaufen der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe erlauben,**
- **das Ein- und Auslaufen mit Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner problemlos durchgeführt werden kann und nur geringfügig von den heutigen Gegebenheiten abweicht,**
- **die vor dem Einlaufen in den Vorhafen notwendigen Drehmanöver bei Einhaltung der bewährten Strategien, unabhängig der äußeren Randbedingungen, durchgeführt werden können.**

Dieses sagt aber noch nichts über die Qualität und die Sicherheit der Strategie bzw. des Manövers aus. Dazu ist es erforderlich die Läufe einer genaueren allgemeinen Betrachtung zu unterziehen.

Zunächst ist festzustellen, dass

- **keines der Manöver eine Kontinuität im Ablauf aufweist**

was wiederum darauf hindeutet, dass häufigere Korrekturen der Lage des Schiffes notwendig waren. Hinzu kommen noch zwei weitere Aspekte, die einen negativen Einfluss auf den Zulauf zur 5.Schleuse nehmen, nämlich

- **die Spundwand als Manövrierraumbegrenzung und**
- **die Leitwerkkonstruktion als Begrenzung der Schlepperaktivitäten.**

Aus den Manöverergebnissen des Einlaufens sowohl mit dem NOKmax-Schiff als auch mit dem Tanker der Verkehrsgruppe 5 können folgende Kernaussagen hergeleitet werden:

- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**
- **Die versetzte Lage der Schleusenmitte bildet keine gerade Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt aus, sondern verlangt nach Passieren der Mole 3 eine Kursänderung.**

- **Die Bahnführung kann deshalb nur schwerlich in einem kontinuierlichen Bewegungsablauf erfolgen, es sind Kurs- und Lagekorrekturen auf kurzer Distanz notwendig, was grundsätzlich externe Kräfte verlangt.**
- **Die Verkürzung des Vorhafens für die 5.Schleuse erschwert das Aufstoppen des Schiffes bei gleichzeitiger Lageausrichtung auf die Einfahrtslinie.**
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtslinie.**
- **Auflandige Winde (NW-Quadrant) mit Stärken oberhalb Beaufort 4 verlangen eine Bauausführung der Spundwand, die ein Anlegen des Schiffes an diese erlaubt oder aber stärkere Schlepperkräfte.**
- **Wegen der geringen Einfahrtsbreite der 5.Schleuse sind besondere Schutzmaßnahmen für das Schleusenhaupt notwendig, z.B. durch Änderung der Leitwerkrichtung.**

Aus den Manöverergebnissen des **Auslaufens** sowohl mit dem NOKmax-Schiff als auch mit dem Tanker der Verkehrsgruppe 5 können folgende Kernaussagen hergeleitet werden:

- **Das Auslaufen aus der 5. Schleuse und das Eindrehen in das Elbefahrwasser sind prinzipiell machbar, da von der nautischen Seite die notwendigen Strategien bereit gestellt werden können.**

Dabei muss aber angemerkt werden, dass nur die Strategie des Aufteilens des Manövers in die drei Phasen

1. **Nach Verlassen das Schiff parallel zur Spundwand soweit zu führen, bis der Achterschlepper eingesetzt werden kann, dann**
2. **Querkräfte mit den Schleppern erzeugen und bei einem gleichzeitig vorsichtigem Ausdrehen des Vorstevens die Auslaufposition erreichen (Mole 3 muss gut an Backbord frei sein)**
3. **Fahrtaufnahme zum Auslaufen und Passieren des Stromschnitts**

ein sicheres Auslaufen des Schiffes erlaubt.

Diese Verfahrensweise ist nur mit zusätzlicher Schleppkraft zu bewerkstelligen, weitestgehend unabhängig davon, ob Wind als externe Störgröße vorhanden ist oder nicht. Weiterhin nachteilig für diese Strategie ist der immense Zeitaufwand der benötigt wird, um das Schiff quer durch das Wasser zu ziehen. Dieses und die Tatsache, dass erst kurz vor Erreichen der Mole 3 Fahrt aufgenommen werden kann, verursacht eine insgesamt deutlich längere Manöverdauer.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Diese Strategie wurde bei vielen Läufen, zum Teil leicht abgewandelt, erfolgreich angewendet. Selbst bei einem auflandigen Wind der Stärke Beaufort 7 konnten die Schiffe noch mit ausreichender Sicherheit in eine Auslaufposition gebracht werden.

- **Nachteilig an diesem Verfahren ist zunächst, dass auf jeden Fall Schleppkraft benötigt wird und zwar je ein Schlepper vorne und achtern mit mindesten 35 Tonnen Pfahlzug sowie der benötigte Zeitraum.**
- **Der Zeitbedarf vom Auslaufen aus der Schleuse bis zum Erreichen der Mole 3 kann durchaus mit 20 – 30 Minuten angesetzt werden, während der gleiche Manövriervorgang in der heutigen Situation aus einer der beiden „Neuen Schleusen“ in etwa 5 – 10 Minuten dauert.**

Für Schiffe der Verkehrsgruppe 4 und kleiner kann aus den Laufergebnissen und nach einhelliger Meinung der Experten statiert werden, dass

- **die Variante 1 keine negative Beeinflussung der geforderten Bahnführung für Schiffe der Verkehrsgruppen  $\leq 4$  verursacht und dass**
- **die Manöverdurchführung mit den bereits bewährten Strategien, d.h. auch ohne externe Schleppkraft realisierbar ist.**

Ein Vergleich der Variante 1 mit dem heutigen IST-Zustand lässt folgende Rückschlüsse zu:

- **Das Einlaufen in die heutigen Schleusen, wegen der Länge des Vorhafens und des Vorhandenseins zusätzlichen Manövrierraums an der Einlaufelinie zur „Neuen Süd“, in ihrem Bahnablauf „flüssigere“ Manöver erlaubt.**
- **Dies gilt gleichermaßen für das Auslaufen, jedoch kommt für die Variante 1 ein erkennbarer negativer Faktor hinzu, nämlich der benötigte Zeitraum bis zum Verlassen des Vorhafens bzw. der Zulaufsektoren zum NOK.**

Grundsätzlich gilt aber auch, dass

- **kompliziertere Manöverabläufe, wie die im Vorhafen der Variante 1 im Zulauf zur bzw. im Abgang von der 5.Schleuse, potenzielle Risiken in sich tragen als vergleichsweise kontinuierlich durchzuführende Manöver.**

Letztlich ist es auch notwendig, einen Hinweis auf die psychologisch/gefühlsmäßige Akzeptanz der Variante 1 durch die ausführenden Lotsen zu geben. Aus allen De-Briefingskommentaren ist erkennbar, dass

- **die Lotsen sich bei den meisten Manövern der Variante 1 „innerlich unwohl“ fühlten**

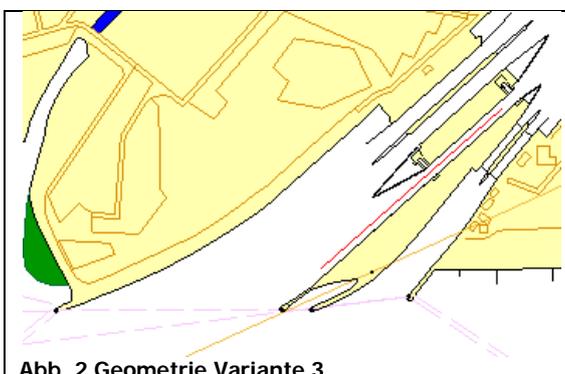
und dies auch entsprechend zum Ausdruck brachten.

## **0.4 Variante 3**

Die im Folgenden in Kurzform beschriebenen Ergebnisse dieser Variante beruhen, wie schon erwähnt, auf den Laufbeobachtungen, den Ergebnissen des Expert-Ratings, sowie der Auswertung der physikalischen und statistischen Werte. Dabei wird in dieser Zusammenfassung auf die Bewertung der Läufe im IST-Zustand verzichtet, da diese als Referenz für die erweiterte Bewertung der Varianten 1 und 3 dienen.

Eine ausführliche Bewertung aller Läufe der Variante 3 in der Untersuchungsphase 1 ist in dem Kapitel 7.4 Ergebnisse Variante 3 (Seite 93 ff) zu finden.

### **0.4.1 Geometrie der Variante 3**



Die Formgebung bzw. Geometrie der Variante 3 unterscheidet sich gegenüber der Variante 1 ausschließlich in der Linienführung der an die südliche Kaimauer der 5. Schleuse anschließenden Spundwand und der Position der Mole 3. Die Größe und Lage der eigentlichen Schleuse und des südlichen Mittelleitwerks sind dabei unverändert geblieben.

Aus nautischer Betrachtungsweise sind im ersten Ansatz Verbesserungen gegenüber der Variante 1 hinsichtlich der grundsätzlichen Manöverdurchführung zu vermerken, nämlich dass

- **fast eine direkte und geradlinige Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt zur Schleuse besteht,**
- **vor dem Schiff freies Fahrwasser liegt**
- **nur noch geringe Kursänderungen auf kurze Distanzen notwendig sind und dass**
- **die Einfahrtsbreite zwischen den Molen größer geworden ist und möglicherweise mehr Spielraum für die Einlaufstrategie erlaubt**

Demgegenüber muss weiterhin als nachteilig bezeichnet werden, da im Vergleich zur Variante 1 unverändert geblieben, dass

- **der verfügbare Manövrierraum östlich/südlich der Einlauflinie zur 5.Schleuse nur sehr gering und durch eine Spundwand begrenzt ist,**
- **die nutzbare Länge des Vorhafens, gemessen von der Verbindungslinie der Molen 3 und 4 bis zum Kopf des neuen Leitwerks unverändert kurz ist.**

#### **0.4.2 Ergebnisse Variante 3**

Eine ausschließliche Betrachtung der Bahnverläufe ohne Beachtung der während der Läufe eingesetzten Kräfte lässt die grundlegende Schlussfolgerung zu, dass

- **im Vergleich zur Variante 1 deutliche Verbesserungen in der Manöverbearbeitbarkeit, sowohl einlaufend als auch auslaufend erkennbar sind, die ausschließlich auf die Änderung der Linienführung der Spundwand und dem östlichen Versatz der Mole 3 zuzuschreiben sind.**

Aus den Manöverergebnissen des Einlaufens sowohl mit dem NOKmax-Schiff als auch mit dem Tanker der Verkehrsgruppe 5 können folgende Kernaussagen hergeleitet werden:

- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**
- **Der Bahnführungsverlauf erscheint aufgrund der veränderten Linienführung der Spundwand insgesamt kontinuierlicher und ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein.**

- **Die nahezu geradlinige Ausführung der Spundwand vom Schleusenaupt zur Einfahrt ist im Vergleich zur Variante 1 eine erhebliche Erleichterung.**
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**
- **Auflandige Winde (NW-Quadrant) mit Stärken oberhalb Beaufort 5 verlangen eine Bauausführung der Spundwand, die ein Anlegen der Schiffe an diese erlaubt oder aber stärkere Schleppkräfte.**
- **Wegen der geringen Einfahrtsbreite der 5.Schleuse sind besondere Schutzmaßnahmen für das Schleusenaupt notwendig, z.B. durch Änderung der Leitwerkrichtung.**

Die Manöverergebnisse der untersuchten Versuchsläufe als auch in der Gesamtheit aller Läufe lassen hinsichtlich des Zulaufs vom Elbrevier zur Vorhafeneinfahrt die folgenden Kernaussagen zu:

- **Die Drehmanöver können, unabhängig der äußeren Randbedingungen, bei Einhaltung der bewährten Strategien durchgeführt werden.**

Daraus kann weiter abgeleitet werden, dass

- **die notwendigen Drehmanöver nicht präjudizierend für die Einlaufstrategie sind, sondern ausreichend Spielraum für Strategieänderungen bezüglich des Einlaufens zulassen, sofern solche Änderungen notwendig sind.**

Aus den Laufergebnissen und nach Meinung aller Experten ist weiterhin festzustellen, dass

- **das Einlaufen mit Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner problemlos durchgeführt werden kann und nur kaum von den heutigen Gegebenheiten abweicht.**

Unterzieht man die einzelnen einkommenden Läufe einer näheren Betrachtung, so wird erkennbar, dass

- **die Manöverstrategien einfacher umzusetzen sind als dies vergleichsweise bei der Variante 1 der Fall ist.**
- **Allerdings bleiben dabei die für Variante 1 genannten Einschränkungen des aktiven Ansteuerns der Schleuseneinfahrt durch die Lage und Linienführung der Spundwand weiterhin erhalten.**

Aus den Manöverergebnissen des **Auslaufens** sowohl mit dem NOKmax-Schiff als auch mit dem Tanker der Verkehrsgruppe 5 können folgende grundlegenden Kernaussagen hergeleitet werden:

- **Das Auslaufen aus der 5. Schleuse und das Eindrehen in das Elbefahrwasser in der Variante 3 ist prinzipiell machbar, da von der nautischen Seite die notwendigen Strategien bereit gestellt werden können.**

Betrachtet man einmal den Beginn des Auslaufmanövers (vom Verlassen der Schleuse bis zum „Freifahren“ vom Mittelleitwerk) so zeigen sich bei Läufen mit ablandigem Wind

- **exakt die gleichen Probleme, die auch in der Variante 1 erkennbar waren, nämlich dass das Schiff Gefahr läuft mit zunehmender Quergeschwindigkeit an das Mittelleitwerk zu kommen.**

Ursächlich hierfür ist, dass der Achterschlepper in seinem Austauwinkel in Richtung der Spundwand behindert wird und somit nicht genügend Kraft aufbringen kann um das Heck zu halten, woraus folgt,

- **die Einschränkungen aus der Variante 1 bezüglich der Austaurichtung des Achterschleppers in der Anfangsphase des Manövers und bezüglich eines frühen Andrehens des Schiffes besitzen weiterhin Gültigkeit.**

Andererseits ergeben sich aus der Geometrie der Variante 3 auch relevante Vorteile gegenüber der Variante 1:

- **Die Versetzung der Mole nach Osten verlangt kein zeitaufwendiges Querschleppen des Schiffes.**
- **Bei ablandigem Wind erlaubt die Versetzung der Mole mit dem dadurch zusätzlich gewonnen Raum auch ein Ablegen ohne Schlepper.**

Da im Zeitvergleich des Auslaufens der Variante 1 und dem IST-Zustand durchaus deutliche Unterschiede zum Tragen gekommen sind, muss auch dieser Stelle auch ein Zeitvergleich der Auslaufmanöver in der Variante 3 mit den Manövern der Variante 1 vorgenommen werden.

Die Gesamt-Lauflänge des Auslaufens mit dem **Containerschiff** in dieser Variante betrug

- **Minimal: 9 Minuten Maximal: 21 Minuten Durchschnitt: etwa 13 Minuten**

in der Variante 1 dagegen

- **Minimal: 15 Minuten Maximal: 33 Minuten Durchschnitt: etwa 21 Minuten**

Die Gesamt-Lauflänge des Auslaufens mit dem **Massengutschiff** in dieser Variante betrug

- **Minimal: 8 Minuten Maximal: 18 Minuten Durchschnitt: etwa 14 Minuten**

in der Variante 1 dagegen

- **Minimal: 16 Minuten Maximal: 25 Minuten Durchschnitt: etwa 18 Minuten**

Da die Gesamtlauflänge zu einem großen Teil von der ersten Phase des Manövers innerhalb des Vorhafens abhängt wird deutlich, dass die Möglichkeit der Verkürzung der Manöverlänge hier ein deutlicher Gewinn im Gesamtzeitbedarf nach sich zieht und somit als ein weiterer positiver Aspekt der Variante 3 eingeordnet werden kann.

## **0.5 Varianten-Vergleich**

Die Grundüberlegung eines Vergleiches der Varianten mit dem heutigen Zustand ist darauf begründet, dass es anzustreben ist, die Schifffahrt während der Überholungszeit der „Neuen Schleusen“ in keiner Weise zu beeinträchtigen.

Aus den wesentlichen Kernaussagen der Simulationsergebnisse aus den Versuchsläufen mit den beiden Hauptuntersuchungsschiffen (NOKmax und VG5-10.4m) kann für das Ein- und Auslaufen festgestellt werden:

- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite grundsätzlich die Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die sowohl ein Anlaufen als auch ein Verlassen der 5. Schleuse zulassen.**
- **Der Bahnführungsverlauf in der Variante 3 erscheint aufgrund der veränderten Linienführung der Spundwand insgesamt kontinuierlicher und ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein.**
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**
- **Die Drehmanöver auf der Elbe für einkommende Schiffe von Hamburg können, unabhängig der äußeren Randbedingungen, bei Einhaltung der bewährten Strategien durchgeführt werden.**
- **Das Einlaufen und Auslaufen mit Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner kann problemlos durchgeführt werden und weicht nur kaum von den heutigen Gegebenheiten ab**

Diese ersten Kernaussagen lassen die Schlussfolgerung zu, dass

- **Die Variante 3 bezüglich der beiden Hauptuntersuchungsschiffe im Gesamtergebnis der Manöverabläufe und der Umsetzung notwendiger Fahrstrategien dem heutigen Zustand sehr nahe kommt und bezüglich kleinerer Fahrzeuge gilt, dass kaum Unterschiede bestehen.**

### **Vergleich Variante 3 zur Variante 1**

Für einen Vergleich der beiden Varianten untereinander können im Wesentlichen die Manöver innerhalb des Vorhafens herangezogen werden, da

- **die Ergebnisse der letzten Phase des Einlaufmanövers in den Vorhafen und in die 5.Schleuse vorrangig Einfluss nehmen auf die zu wählende Bauausführung des Zufahrtbereiches zur Schleuse.**

Allerdings gilt auch, dass

- **die gewählte Bauausführung des Zufahrtbereiches zur Schleuse einen signifikanten Einfluss auf die zeitliche Länge des Auslaufmanövers und den Einsatz von Schleppern nimmt.**

Für beide Varianten gilt im Grundsatz, dass

- **der verfügbare Manövrierraum östlich/südlich der Einlauflinie zur 5.Schleuse nur sehr gering und durch eine Spundwand begrenzt ist,**
- **die nutzbare Länge des Vorhafens, gemessen von der Verbindungslinie der Molen 3 und 4 bis zum Kopf des neuen Leitwerks unverändert kurz ist**

und somit die unterschiedliche Linienführung der Spundwand und der Lage der Mole 3 die entscheidenden Vergleichskriterien sind.

Ohne Berücksichtigung der Manöverergebnisse, sondern nur aus grundsätzlicher nautischer Betrachtung ergeben sich für die Variante 3 deutliche Verbesserungen, die wie folgt benannt werden können:

- **Es besteht eine fast direkte und geradlinige Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt zur Schleuse.**

- **Beim Auslaufen liegt vor dem Schiff freies Fahrwasser.**
- **Sowohl beim Einlaufen als auch beim Auslaufen sind nur noch geringe Kursänderungen auf kurze Distanzen notwendig.**
- **Die Einfahrtsbreite zwischen den Molen ist größer geworden und erlaubt möglicherweise mehr Spielraum für die Einlaufstrategie.**

Aus den Manöverergebnissen lassen sich hinsichtlich eines Vergleiches der Variante 3 mit der Variante 1 folgende Änderungen feststellen:

- **Der Bahnführungsverlauf beim Einlaufen erscheint insgesamt kontinuierlicher ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein als in der Variante 1.**
- **Die Manöverabfolgen konnten in einer gleichmäßigeren Form und damit auch kontrollierter durchgeführt werden, welches schon grundsätzlich auf eine Verbesserung der Manöverqualität und –Sicherheit gegenüber der Variante 1 hinweist.**
- **Die nahezu geradlinige Ausführung der Spundwand vom Schleusenaupt zur Einfahrt, erleichtert das Ausrichten des Schiffes auf die Einlauflinie erheblich im Vergleich zur Variante 1.**
- **Die Versetzung der Mole nach Osten verlangt kein zeitaufwendiges Querschleppen des Schiffes.**
- **Bei ablandigem Wind erlaubt die Versetzung der Mole mit dem dadurch zusätzlich gewonnen Raum nach vorne auch ein Ablegen ohne Schlepper.**
- **Die Auslaufmanöver (von der 5.Schleuse bis zum Erreichen der Mole 3) konnten in deutlich kürzerer Zeit ausgeführt werden.**

Aus diesen Kernaussagen lässt sich auch ohne Berücksichtigung einzelner Manövermerkmale deutlich erkennen, dass

- **unter nautischen Gesichtspunkten und Einbeziehung der sicheren Durchführbarkeit der geforderten Manöver die Variante 3 erhebliche Vorteile gegenüber der Variante 1 aufweist.**

Gleichwohl gilt aber weiterhin auch, dass im Grundsatz für beide Varianten noch Einschränkungen bestehen wie z.B. die Einschränkung des Manövrierraums an der Einlauflinie oder die Einschränkung der des Arbeitsbereiches der Schlepper durch die Spundwandführung.

## **0.6 Fazit -Untersuchungsphase 1**

Aus allen Kernaussagen und unter Berücksichtigung einzelner Manövermerkmale wird deutlich zu erkennen, dass

- **unter nautischen Gesichtspunkten und Einbeziehung der sicheren Durchführbarkeit der geforderten Manöver die Variante 3 erheblich Vorteile gegenüber der Variante 1 aufweist.**

Die Untersuchungsläufe haben ergeben, dass beide Varianten gleichermaßen mit Einschränkungsmerkmalen belegt sind, die auf die geplante Ausführung im Vorhafen und an der Schleuse selber zurückzuführen sind und somit als nautisch neuralgische Punkte zu bezeichnen sind.

Zu diesen Punkten, die die nautische Umsetzung der erforderlichen Manöver behindern, erschweren oder ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial enthalten, zählen

- **Die Spundwand als Begrenzung des Manövrierraums im Allgemeinen,**
- **die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1**
- **die geplante Ausführung der Leitwerke an der 5. Schleuse**

Die Problemstellungen, die sich aus diesen Gegebenheiten ergeben, sind in den Bewertungskapiteln ausführlich beschrieben und sollen hier nur zusammenfassend dargestellt werden:

- **Die Begrenzung des Manövrierraums durch die Spundwand ergibt sich aus ihrer geringen parallelen Distanz zur Einlauflinie der 5.Schleuse und erlaubt dem einkommenden Fahrzeug kein Steuern eines Vorhaltewinkels um Driftkomponenten auszugleichen. Ebenso schränkt die Spundwand den Aktionsradius (Begrenzung des Austauwinkels) und die Leistung (Propeller bekommen nicht genügend Wasser an der Spundwand) der Schlepper ein.**
- **Die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1, in Verbindung mit dem südlichen Mittelleitwerk, verlangt ein teilweises Querschleppen des ausgehenden Schiffes.**
- **Das geplante neue Mittelleitwerk an der 5.Schleuse verkürzt durch seine Länge (135 m) den Vorhafenbereich zum Aufstoppen eines für die 5.Schleuse bestimmten Schiffes.**
- **Das Leitwerk an der NOK-Seite der Schleuse bietet nicht genügend Schutz für das Schleusenaupt und somit auch nicht für das Schiff.**

Für Schiffe der Verkehrsgruppe 4 und kleiner zeigen die Laufergebnisse beider Varianten keine signifikanten Änderungen zum heutigen IST-Zustand, wenn diese in die 5.Schleuse einlaufen oder auslaufen

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Somit bestünde in letzter Konsequenz die Möglichkeit zu entscheiden und zwar unabhängig von der endgültigen Bauausführung, dass Schiffe der Verkehrsgruppe 5 und größer durch die jeweils verfügbare „Neue Schleuse“ geschleust werden.

Es ist aber davon auszugehen, dass eine solche Maßnahme einen negativen Aspekt in der gesamten Verkehrsabwicklung des NOK nach sich zieht, insbesondere wenn die Anzahl solcher Schiffe steigt. Letztlich würde man sich in der Flexibilität einschränken.

Da sich die Baumaßnahme noch in der Planungsphase befindet und Änderungen in der Ausführung möglich sind, sollte über Alternativen nachgedacht werden, die neuralgischen Punkte zu entschärfen, um eine von allen Seiten akzeptierte und effiziente Lösung herauszuarbeiten.

Solche Lösungsansätze zur Verbesserung der Bauausführung sollen im Folgenden näher beschrieben werden.

Ein erster wesentlicher Punkt wäre die Umwandlung der Spundwand in eine Böschungskante. Die Anböschung sollte dabei so weit wie möglich entfernt von der jetzigen Linienführung der Spundwand angesetzt werden.

Eine solche Böschungsausführung hätte mehrere Vorteile.

- **Einerseits würde dadurch, wenn die Böschungskante weiter von der jetzigen Linienführung der Spundwand entfernt wäre, das einkommende Schiffe aktiver, d.h. unter reduziertem Schleppereinsatz und mit der Möglichkeit einen Vorhaltewinkel fahren zu können, sicherer und auch bei erschwerteren Randbedingungen hinsichtlich Windrichtung und –stärke die 5.Schleuse anlaufen können.**
- **Bei Ein- und Auslaufmanövern stünde bei einer Böschung zusätzlicher Manövrierraum für die Schlepper zur Verfügung, d.h. die Austauwinkel könnten besser den Windverhältnissen entsprechend angepasst werden, gleichzeitig erhöht sich durch einen besseren Wasserzufluss zu den Propellern der Schlepper ihre mögliche Zugkraft, wenn sie in Richtung der Schleuseninsel ziehen müssen.**
- **Inwieweit die Installierung von zusätzlichen Dalben entlang der Böschung von Nutzen sind, sollte erst nach Festlegung und Überprüfung der Alternativvariante näher betrachtet werden.**

In den Bewertungskapiteln wurde auch mehrfach auf die Länge des geplanten neuen Mittelleitwerks eingegangen. Die jetzige Länge von 135 m und die Richtungsgebung erscheinen nach den Laufergebnissen nicht optimal zu sein.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Vorzuschlagen ist hier,

- **das Leitwerk auf eine Länge von etwa 70 m zu verkürzen und die Richtung so auszuweichen, wie sie bei dem Mittelleitwerk der „Neuen Schleusen“ ausgelegt ist. Das neue Leitwerk sollte so ausgelegt sein, dass es Berührungen mit dem Seeschiff abfangen kann und Hilfe gibt beim Einlaufen in die 5.Schleuse.**

Diese Maßnahme hätte folgende Vorteile:

- **Das Schleusenaupt wäre besser geschützt.**
- **Die verfügbare Strecke zum Aufstoppen des Schiffes vergrößert sich.**
- **Die besagten Einschränkungen beim Einsatz des Achterschleppers werden minimiert**

Für die südliche Zufahrt zur 5.Schleuse von der Elbe ist letztlich noch ein Punkt anzusprechen, der ebenfalls variantenunabhängig ist. Hierbei geht es um einen möglichen Windschutz auf der Schleuseninsel, ähnlich wie er durch den Baumbestand am Nordufer des Vorhafens existiert.

Die Versuchsläufe haben gezeigt, dass bei dem eingeeengten Raum in der Zufahrt zur 5.Schleuse Winde aus dem östlichen Quadranten bei Windstärken ab Beaufort 5 die Manöver mit dem windanfälligen Containerschiff stark beeinträchtigen.

Es wäre also zu überlegen,

- **auch auf der Südseite des Vorhafens Maßnahmen zu treffen, die den Schiffen einen Windschutz geben würden. Dies könnte z.B. durch Aufschüttung eines Walls oder durch entsprechende Bepflanzung erfolgen.**

Abschließend muss mit Hinblick auf die Umsetzung der Baumaßnahme auch der Einfluss des „**human factors**“ beleuchtet werden.

Bei Untersuchungen dieser Art, Neukonzipierung bzw. Anpassung eines bestehenden Fahrwasserbereiches, zeigt sich in der Simulation immer wieder, dass die Lotsen einen gewissen Zeitraum benötigen, sich auf die neuen Gegebenheiten einzustellen. Dies war auch hier der Fall, was dazu führte, dass immer wieder einmal die altbewährte und täglich angewendete Strategie gefahren wurde, obgleich diese in einigen Fällen hätte angepasst werden müssen.

Dieses Verhaltensmuster muss bei der späteren Umstellung berücksichtigt werden.

Alle beteiligten Experten waren sich einig darüber, dass

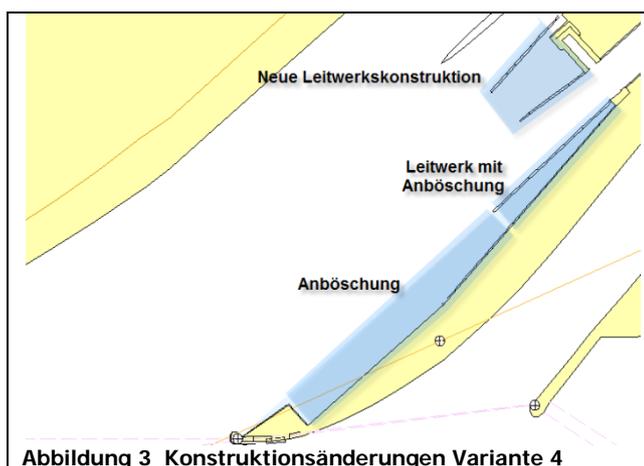
- **präventive Schulungsmaßnahmen (Simulatortraining) für die Lotsen unabdingbar sind, um eine frühzeitige Problemerkennung zu garantieren und damit einhergehend einen möglichst störungsfreien Übergang von der alten zur neuen Vorhafengestaltung und der Zufahrt zur 5. Schleuse zu gewährleisten.**

## 0.7 Variante 4

Die im Folgenden in Kurzform beschriebenen Ergebnisse dieser Variante beruhen wiederum auf den Laufbeobachtungen, den Ergebnissen des Expert-Ratings, sowie der Auswertung der physikalischen und statistischen Werte.

Eine ausführliche Bewertung aller Läufe der Variante 4 in der Untersuchungsphase 2 ist in dem Kapitel 8 (Seite 145 ff) zu finden.

### 0.7.1 Geometrie der Variante 4



Die Geometrie der Planungsvariante 4 (lange Mole 2) beruht im Wesentlichen auf den Erkenntnissen der Versuchsläufe für die Varianten 1 und 3.

Neben den markierten Änderungen sehen die Planungen auch noch eine Vergrößerung der Schleusenkammer auf 400m x 40m vor, anstelle der bisher geplanten 350m x 35m. Auch diese

Änderung kann indirekt als eine Vergrößerung des verfügbaren Manövrierraums angesehen werden.

Die markentesten Änderungen der Variante 4 gegenüber der Variante 3 können folgendermaßen definiert werden:

- **Wegfall der Mole 3 und Verlängerung der Mole 2, wodurch sich eine neue Einfahrtsbreite von 750 Meter gegenüber von 705 Meter bei der Variante 3 ergibt.**
- **Ersatz der festen seitlichen Begrenzung in Form einer Spundwand im südlichen Anlaufbereich zur 5. Schleuse durch eine geböschte Begrenzung.**
- **Geänderte Anordnung und Linienführung aller zur 5.Schleuse führenden Leitwerke.**
- **Eine vergrößerte 5.Schleuse, sowohl in der Länge (400 Meter anstatt 350 Meter) als auch in der Breite (45 Meter anstatt 35 Meter).**

Ebenso wurde seitens der BAW für diese Variante ein neues Strommodell gerechnet, jeweils für eine Normaltide und eine Springtide.

Bezieht man die unverändert übernommenen Schiffsmodelle in den Implementierungsprozess ein, so kann gesagt werden, dass diese Variante unter exakt den gleichen Simulationsbedingungen untersucht wurde und somit auch für einen Ergebnisvergleich zu den bisherigen Varianten herangezogen werden kann.

#### **0.7.2 Ergebnisse Variante 4**

Aus den in den Unterkapiteln 8.1 und 8.2 (Seite 147 ff.) detailliert beschriebenen Laufergebnissen lassen sich die folgenden Kernaussagen bezüglich der nautischen Machbarkeit der durchzuführenden Manöver Ein- und Auslaufen ableiten.

- **Die Läufe in der Variante 4 wurden von den Experten als deutlich sicherer empfunden als vergleichsweise in den Varianten 1 und 3.**
  - **Hierzu hat positiv der Umstand beigetragen, dass sich die Ansteuerungsphase zur Einfahrt der 5. Schleuse durch die ca. 45 Meter weiter entfernte (sichtbare) Landbegrenzung, verglichen mit den Spundwand-Ausführungen, weniger dramatisch darstellt.**
- **Nach Aussage der beteiligten Experten (Lotsen) kommt die Variante 4 dem heutigen Zustand, mit all seinen Vorzügen am nächsten.**
- **Die momentan angewendeten und bewährten Strategien zum Einlaufen in den Vorhafen besitzen weiterhin Gültigkeit.**
- **Die Einlaufphase in die 5. Schleuse konnte aufgrund der neuen Vorhafengeometrie deutlich aktiver, d.h. mit geringeren Änderungen der Schleppkräfte und –richtungen durchgeführt werden.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

- **Positiv für die jetzige Machbarkeit der Ein- und Auslaufmanöver, sowohl auf der Seeseite als auch auf der NOK-Seite wurde seitens der Experten die vergrößerte Schleusenbreite (45 m anstatt 35 m) beurteilt, die etwas mehr Spielraum in der Kurslage zulässt und somit zur Entschärfung der Ansteuerungs- und Auslaufproblematik beiträgt.**
- **Für das Auslaufen aus der 5.Schleuse nach See bzw. Hamburg sind Anpassungen an die Manöverstrategie notwendig, um den Zeitaufwand zu optimieren.**
- **Unabhängig von den Parametern „Wind“ und „Strom“ ist es möglich, beide Eindrehvarianten in das Elbefahrwasser (direktes Eindrehen mit einem großen Bogen bzw. Eindrehen mit kleinem Bogen auf die NO-Reede) sicher durchzuführen.**
- **Schiffe der Verkehrsgruppe 4 und kleiner, sind weiterhin in keiner Weise durch die Vorhafengestaltung beeinträchtigt.**

Schon die oben gemachten Kernaussagen zeigen, dass die gemachten Änderungen in der Vorhafengeometrie (Anböschungen), der Leitwerkskonfigurationen und der Größe (Breite) der Schleuse merkbare Verbesserungen der Manöverdurchführung und damit auch der sicheren Erreichbarkeit der neuen 5. Schleuse erbracht haben.

Weiterhin ist anzumerken, dass sich aus den Debriefinggesprächen ergeben hat, dass bei der Variante 4 ein wesentliches psychologisches Moment zum Tragen, welches dadurch hervorgerufen wird, dass selbst bei einer kursgerechten Lage des Schiffes auf der Einlauflinie zur 5. Schleuse noch ein deutlicher Abstand zu Land erkennbar ist, anstelle der Tatsache, wie es bei den anderen Varianten der Fall war, dass man sich mit dem Schiff dramatisch einem festen Bauwerk (Spundwand) genähert hatte.

- **Dieses psychologische Moment sollte auf keinen Fall in seiner positiven Auswirkung unterschätzt werden, da es nicht nur für den Lotsen, sondern auch für den Kapitän des Schiffes von Bedeutung ist.**

Hinsichtlich der Grenzbedingung „Windstärke“ und der zur Verfügung zu stellenden Schleppkraft kann gesagt werden, dass

- **die hierzu in der Variante 3 gemachten Feststellungen sowohl für das NOKmax-Schiff als auch den Tanker der VG5 übernommen werden können.**

## **0.8 Empfehlungen -Untersuchungsphase 2**

Auch wenn die Variante 4 aus nautischer Sicht eine deutliche Verbesserung für die sichere Durchführung aller Manöver gegenüber der Variante 3 darstellt, so haben sich doch noch einige Anmerkungen zur Variantengestaltung ergeben. Hierbei handelt es sich nicht um gravierende Änderungen der Variante 4, sondern um Modifizierungen bzw. Änderungen, die bisher nicht berücksichtigt wurden.

Aus den Versuchsläufen der Variante 4 ist mehrfach zu beobachten gewesen, dass insbesondere das Containerschiff bei nordwestlichem Wind so geführt wurde, dass es an das südliche Leitwerk gelegt wurde und aus dieser Position heraus in die 5. Schleuse einlief. Im momentanen Planungszustand ist das Leitwerk mit etwa 2 Grad gegenüber der südlichen Schleusenmauer abgewinkelt, was zur Folge hat, dass am Übergang vom Leitwerk zur Schleuse Punktbelastungen am Schiff und somit auch am Bauwerk auftreten können.

Es ist daher vorzuschlagen,

- **das südliche Leitwerk in gerader Fortsetzung der südlichen Schleusenmauer auszuführen.**

Für alle Leitwerke zur 5. Schleuse ist anzustreben,

- **diese in ihrer Belastungsfähigkeit so auszulegen, dass Berührungen durch das Seeschiff abgefangen werden können.**

Wie schon bei der Bewertung der vorherigen Versuchsläufe erwähnt wurde, ist weiterhin dem Übergang Leitwerk zum Schleusenaupt besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Hier sollte

- **ein großer Geländesprung vermieden werden, um Schäden am Schiff und am Bauwerk zu verhindern, wenn das Fahrzeug aus den verschiedensten Gründen heraus, nicht kursgerecht in der Schleuseneinfahrt liegt.**

Alle Untersuchungsläufe haben ergeben, dass die bewährten Einlaufstrategien weiterhin übernommen werden können. Es gilt aber auch, dass insbesondere bei Flut sehr präzise auf der so genannten „Einlauflinie“ gefahren werden muss.

Da in der Variante 4 die Mole 2 versetzt wird, sollte versucht werden,

- **das Einfahrtsfeuer der Mole 2 so zu positionieren, dass sich bei Deckung mit Mole 1 wiederum eine Einlauflinie von 83° ergibt.**

Um das Einlaufen bei schlechter Sicht (Nebel, starker Regen usw.) nicht nur auf Radarnavigation oder Lagebeurteilung von der ECDIS zu beschränken, sondern so weit möglich die Sichtnavigation zu unterstützen, wäre es hilfreich,

- **die Mole 2 ausreichend stark zu beleuchten und mit einer markanten Farbgebung zu versehen.**

Durch die Errichtung zusätzlicher Leitwerke im Vorhafen ist es nicht auszuschließen, dass eine präzise Lagebestimmung bei verminderter Sicht erschwert wird. Hier reicht in vielen Fällen die begrenzte Radarauflösung nicht mehr aus, einen bestimmten Referenzpunkt zu fixieren. Daher ist zu empfehlen,

- **auf einem der Leitwerke, vorzugsweise dem nördlichen der 5.Schleuse, einen elektronischen Signalgeber (RACON<sup>1</sup> o.Ä.) zu installieren.**

Hinsichtlich der erweiterten Maßnahmen für den Windschutz kann gesagt werden, dass

- **die hierzu in der Variante 3 gemachten Feststellungen weiterhin übernommen werden können, sofern sie sich noch durch die neue Gestaltung der Variante 4 umsetzen lassen.**

Es verbleibt letztlich noch die Betrachtung der NOK-Seite der 5. Schleuse. Wie schon mehrfach erwähnt, ist das Schleusenaupt um etwa 65 Meter östlich verlegt, dies wegen der veränderten Lage und der Verlängerung der Schleuse auf insgesamt 400 Meter.

Diese Verlagerung hat zur Folge, dass der Zulaufbereich um eben diese 65 Meter verkürzt wird. Da die 5.Schleuse nicht wie die bisherigen „Neuen Schleusen“ in einem direkten Kurs vom NOK aus angesteuert werden kann, sondern eine Lage- bzw. Kursänderung notwendig ist, sollte

---

<sup>1</sup> **RA**dar bea**CON** (Radar-Antwortbake)

- **während der Bewegung großer Schiffe ( $\geq$  der Verkehrsgruppe 5) in diesem Bereich auf die Entwässerung des NOK verzichtet werden, um zusätzliche quer wirkende Kräfte zu vermeiden.**

Mit der Umsetzung der oben genannten Empfehlungen bzw. Anregungen wird aus nautischer Sicht die optimalste und auch sicherste Variante erzielt, die sowohl den Ansprüchen der Verwaltung hinsichtlich der Erhaltung der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs genügt als auch den ausführenden Lotsen ausreichend Hilfestellung gibt, die anspruchsvollen Manöver weiterhin sicher durchführen zu können.

Weiterhin gilt jedoch, dass

- **präventive Schulungsmaßnahmen (Simulatortraining) für die Lotsen unabdingbar sind, um eine frühzeitige Problemerkennung zu garantieren und damit einhergehend einen möglichst störungsfreien Übergang von der alten zur neuen Vorhafengestaltung und der Zufahrt zur 5. Schleuse zu gewährleisten.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

## **1 EINLEITUNG**

In der Zeit vom 31. Oktober 2007 bis 14. Dezember 2007 wurden an 12 Simulationstagen im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamts Brunsbüttel Simulationen im Rahmen der Untersuchung

**NEUBAU 5. SCHLEUSENKAMMER**  
**im Bereich der**  
**NOK-SCHLEUSEN IN BRUNSBÜTTEL**

an der Simulationsanlage der Hochschule Bremen (Institut für maritime Simulation) durchgeführt. Die Projektleitung der Simulationsdurchführung oblag hierbei dem Verfasser dieses Berichtes.

Die Durchführung der Simulationen erfolgte in vier Abschnitten zu je 3 Tagen, wobei die im weiteren Verlauf dieses Berichtes noch näher zu beschreibende Variante 1 (Erhalt der Mole 3) und Variante 3 (großer Versatz der Mole 3) näher zu untersuchen waren in Hinblick auf die Beurteilung der jeweiligen nautisch/technischen Machbarkeit des Ein- und Auslaufens. Daneben wurden auch Untersuchungsläufe in der heutigen IST-Situation gefahren, um Vergleichsgrößen dahingehend zu ermitteln, inwieweit die nautischen Prozeduren der unterschiedlichen Planungsvarianten (V1 und V3) vom IST-Zustand abweichen. Daneben galt es zu prüfen, ob weitere Optimierungsmaßnahmen für eine weitere effiziente Gestaltung des Vorhafens und des Zufahrtbereiches zur 5. Schleuse möglich sind.

Über diesen Teil der Untersuchung wurde dem Auftraggeber ein Zwischenbericht mit ausführlicher Evaluierung der Simulationsläufe übergeben (17.Januar 2008) und ist als Kapitel 2 – 7 sowie der Kapitel 9 und 10 Bestandteil des hier vorliegenden vorläufigen Abschlussberichts.

Aus den im Zwischenbericht evaluierten Simulationsläufen der Planungsvarianten 1 und 3 haben sich zur weiteren Verbesserung der nautischen Machbarkeit der durchzuführenden Manöver Optimierungsgrößen für eine weitere Variante ergeben.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Die so entstandene Variante 4 (lange Mole 2) wurde in einer weiteren Simulationsuntersuchung (20.- 22.Februar 2008) evaluiert. Die Auswertung und Bewertung der Laufergebnisse dieser Variante 4 sind in dem neuen Kapitel 8 dieses Berichtes zusammengefasst, sodass alle Bewertungsergebnisse in einem Berichtsband vorliegen.

In den vorliegenden vorläufigen Abschlussbericht sind für alle untersuchten Varianten folgende Auswerteprozesse und –unterlagen eingeflossen:

- **Laufbeobachtungen**
- **De-Briefings-Prozess**
- **Auswertung der Expertenmeinungen**
- **Auswertung der On-Line-Dokumentation und**
- **Auswertung der physikalischen Daten**

Diese Bewertungsgrundlagen erlauben eine ausführliche Darlegung und präzise Beschreibung der ermittelten Einzelergebnisse, sowie eine fundierte Betrachtung dieser Ergebnisse mit Hinsicht auf Fehlergrößen, mögliche Risiken, generelle Umsetzbarkeit, Lösungsansätze und die praktische Realisierung.

Weitergehende und ausführliche Projektinformationen hinsichtlich

- **Simulationsvorbereitungen**
- **Simulationsgrundlagen**
- **Auswerteverfahren und**
- **Umsetzbarkeit von Simulationsergebnissen**

werden sowohl in eigenen Kapiteln als auch in den Anlagen dieses Abschlussberichtes detaillierter dargestellt.

## 2 AUFGABENSTELLUNG

Die Aufgabenstellung dieser Simulationsuntersuchung ergibt sich primär aus der Vertragsanlage „Leistungsbeschreibung für die Vorbereitung, Durchführung und Bewertung von nautischen Untersuchungen am Schiffssimulator für den Neubau einer Schleusenkammer auf der Schleuseninsel der NOK-Schleusen in Brunsbüttel“, die im Folgenden ausschnittsweise zitiert wird.

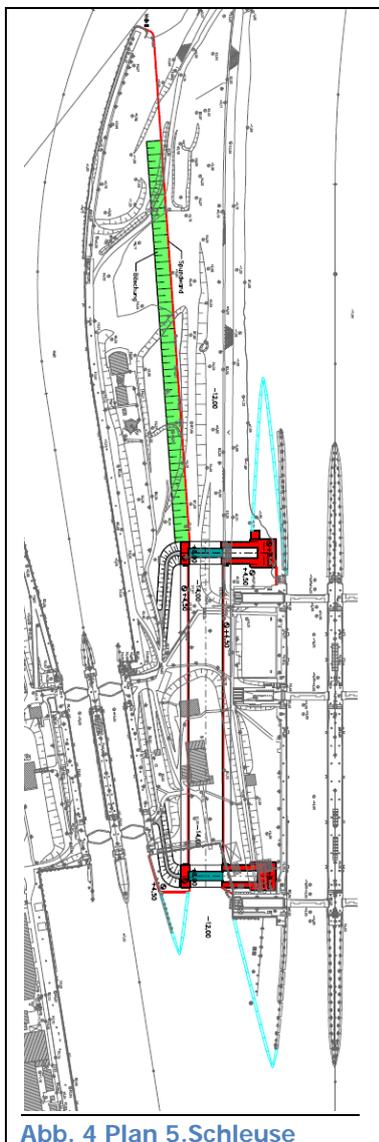


Abb. 4 Plan 5.Schleuse

### Veranlassung

Eine Grundinstandsetzung der Großen Schleusen in Brunsbüttel (Baujahr 1910-1914) ist aufgrund des baulichen Zustandes erforderlich. Die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen scheitern jedoch an der verkehrlichen Auslastung der Schleusenanlage, insbesondere im Hinblick auf weiter steigende Verkehrszahlen am Nord-Ostsee-Kanal.

Auf der Grundlage von Verkehrsprognosen und Kapazitätsanalysen wurden in Verbindung mit Untersuchungen zu technisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Instandsetzungsverfahren unterschiedliche Szenarien mit zeitweiser Sperrung einzelner Schleusenkammern betrachtet. Dabei wurden u.a. auch Lösungen unter Berücksichtigung von Ersatzbau- und Umbaumaßnahmen einbezogen.

Im Ergebnis hat sich unter Abwägungen der verkehrlichen, technischen und schließlich auch der wirtschaftlichen Aspekte gezeigt, dass der Neubau einer Schleusenkammer im Bereich der zwischen den vorhandenen Großen und Kleinen Schleusen befindlichen Schleuseninsel mit einem positiven Nutzen-Kosten-Verhältnis die bestmögliche Lösung erwarten lässt.

### Simulationsdurchführung

Die Simulationen sind sowohl als Ein- und Ausfahrt in die bzw. aus der neuen Schleusenkammer von und zur Elbe aus/in Richtung Hamburg und aus/in Richtung See (Elbe-Stromkm 695 bis 699) als auch als Ein- und Ausfahrt in die bzw. aus der neuen Schleusenkammer in bzw. aus dem Nord-Ostsee-Kanal durchzuführen. Dabei sind die einzelnen elbseitigen Simulationsfahrten unter verschiedenen Tidewasserständen und Strömungsverhältnissen auszuführen. Die kanalseitigen Simulationsfahrten sind unter Berücksichtigung der im dortigen Vorhafen möglichen Querströmung infolge Entwässerung des Kanals durch die vorhandenen Kleinen Schleusen auszuführen.

Es sind je Ausbauvariante zwei Stufen vorzusehen. Zunächst sollen die Passagen durch einen reinen Rechengang mit idealen Randbedingungen simuliert werden. Im zweiten Schritt sollen die Simulationen als klassische Schiffsführungssimulationen durch Nautiker durchgeführt werden.

Für die Untersuchung sind insgesamt drei Planungsvarianten, die später genauer beschrieben werden, zu modellieren und im weiteren Verlauf zu evaluieren.

- **Variante 1: Vorhafengestaltung mit Erhalt der Mole 3**
- **Variante 2: Vorhafengestaltung mit kleinem Versatz der Mole 3**
- **Variante 3: Vorhafengestaltung mit großem Versatz der Mole 3**

Von den oben aufgeführten Varianten kamen allerdings nur die Variante 1 und die Variante 3 in eine nähere Betrachtung.

Wie bereits im Eingangskapitel gesagt, ergab sich aus den Untersuchungsergebnissen dieser beiden Varianten (V1 und V3) eine neue, getrennt zu untersuchende Planungsvariante, nämlich

- **Variante 4: Vorhafengestaltung mit einer langen Mole 2**

Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Randgrößen der Untersuchung sowie die Vorbereitung der Simulation haben für die Variante 4 gleichermaßen Bedeutung.

## 2.1 Untersuchungsparameter

Auf Grundlage der auszugsweise zitierten Leistungsbeschreibung können die Aufgabenstellung und die Simulationsrandbedingungen (Parameter) dieser Untersuchung wie folgt im Detail spezifiziert werden:

- **Durchführung und Dokumentation von nautischen Fahrversuchen zur Untersuchung der nautisch sichersten aber auch effizientesten baulichen Gestaltung des Vorhafens und der weiteren Zufahrt zur 5. Schleuse mit Hinsicht auf die Formgebung, Bauausführung, der geplanten Bathymetrien, der zur Verfügung zu stellenden Schleppkraft und den äußeren Randbedingungen bezüglich Wind und Strom, mit dem noch ein sicheres Anlaufen und Verlassen der 5.Schleuse und des Vorhafens gewährleistet ist.**

Aus den Vorgaben des Auftraggebers und der Notwendigkeit einer belastbaren Evaluierung der drei zu untersuchenden Varianten zur Findung der sichersten und effizientesten Variante bzw. weiterer Optimierungsvorgaben für eine weitere Variante ergibt sich die folgende

### **Detailspezifikation:**

- ***Durchführung von***
  - Einlaufmanövern
    - von See und vom NOK
  - Auslaufmanövern
    - nach See und zum NOK
  
- ***Mit den Untersuchungsschiffen***
  - Neues "NOKmax"-Schiff (L: 280m, B: 32,5m, T: 9,5m)
  - Schiff Verkehrsgruppe 5 (L: 200m, B: 28m, T: 10,4m)
  - Schiff Verkehrsgruppe 5 (L: 200m, B: 28m, T: 9,5m)
  - Schiff Verkehrsgruppe 5 (L: 200m, B: 28m, T: 7,0m)
  - Schiff Verkehrsgruppe 4 (L: 100-120m, B: 23m, T: 7,5m  
*[Schiff ohne Bugstrahler]*)
  - Schleppverband Verkehrsgruppe 5 (Gesamtlänge etwa 150m)  
Ponton Windangriffsfläche 1.000 m<sup>2</sup>, (L: 60m, B: 25m, T: 4m)  
Mit je einem Vor- und Achterschlepper

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

- *Bei verschiedenen Wetter- und Umweltbedingungen*
  
- *Bei unterschiedlichen Tidebedingungen*

Es wurden unterschiedliche Szenarien untersucht, um Informationen darüber zu erhalten, ob und unter welchen Randbedingungen mit den oben genannten Untersuchungsschiffen die vorgesehenen bzw. notwendigen Manöver durchgeführt werden können.

- **Besonderes Augenmerk lag dabei nicht allein auf der Durchführungssicherheit der Manöver sondern auch auf der Effizienzerhaltung des Gesamtsystems, d.h., die Ausführungsvariante soll nach Möglichkeit keine zusätzlichen Beeinträchtigungen der Schifffahrt, d.h. der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zur Folge haben, verglichen mit dem heutigen Ist-Zustand.**

Die Untersuchungsläufe sollten somit nicht nur Hinweise über die sichersten Manövervarianten, mögliche Grenzbedingungen (Restriktionen), notwendige Schleppassistenz und ein optimales Verkehrsmanagement liefern, sondern auch mögliche Einschränkungen der Ablaufprozesse aufzeigen.

### **3 METHODIK und VERFAHREN**

Die Durchführung verschiedenster Schiffsmanöver im Simulator zu untersuchen, zu verifizieren und gegebenenfalls zu bewerten, ist ein grundsätzlich bewährtes Verfahren. Die Ergebnisgenauigkeit der zu bewertenden physikalischen Größen hängt dabei im Wesentlichen von der Präzision der Eingangsgrößen, auf die in den nächsten Kapiteln noch eingegangen wird und der Modellgenauigkeit des Simulators ab. Die Simulationsanlage der Hochschule Bremen gehört zu den technisch hochwertigen Anlagen ihrer Art mit mathematischen Rechenmodellen und Funktionalitäten, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen.

Zur Bewertung der einzelnen Simulationsläufe wurde das so genannte "Expert Rating" verwendet. Im Gegensatz zur Analyse nach statistischen Verfahren, die nur auf der Grundlage vieler Simulationsläufe (mindesten ein "kleines Sample" mit 10 Läufen) unter identischen Bedingungen möglich ist, wird bei dem hier verwendeten Verfahren jeder Lauf individuell von Experten bewertet. Die fachkundigen Beobachter waren dabei

- **Experten des Auftraggebers**
- **Lotsen der Lotsenbrüderschaft "Elbe" (Bezirk I und II)**
- **Experten der Lotsenbrüderschaft „NOK I“ und der**
- **Projektleiter der Simulation (Verfasser dieses Berichts)**

Die für die Untersuchung bzw. den jeweiligen Simulationslauf relevanten Aussagen der beteiligten Experten wurden in den Debriefinggesprächen ausführlich diskutiert und abschließend dokumentiert. Daneben wurden während der Versuchsläufe bestimmte, sorgfältig ausgesuchte physikalische Simulationsdaten in regelmäßigen Intervallen (1 Sekunde) aufgezeichnet.

Die Ergebnisse der Auswertung dieser Daten sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Zwischenberichtes noch nicht in vollem Umfang verfügbar, da die Auswertung ein zeitintensiver Vorgang ist. Da sie jedoch eine wichtige Grundlage der Evaluierung darstellen, sind zunächst die wichtigsten physikalischen Größen ausgewertet worden.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Fasst man alle bisher genannten Bewertungskriterien

- *Laufbeobachtungen*
- *Laufbesprechung (Experten-Rating)*
- *Auswertung der vorliegenden Daten und*
- *Teilweise Auswertung der Simulationsdaten*

zusammen, kann gesagt werden, dass diese Untersuchung, die nicht unter statistischen Gesichtspunkten erfolgte, eine der Verfahrensweise entsprechend ausreichende Bewertung mit belastbaren Aussagen erlaubt.

Eine kritische Beleuchtung der Vor- und Nachteile dieses Bewertungsverfahrens erfolgt in den Kapiteln 9 und 10.

## **4 VORBEREITUNG der SIMULATION**

Um in der Lage zu sein, die in den späteren Kapiteln erläuterten Simulationsergebnisse in ihrer Wertigkeit auf Grundlage der Simulationsumgebung einordnen zu können, ist es sinnvoll, den Aufbau und die Bereitstellung der wesentlichen Randgrößen für die Simulationen näher zu erläutern.

Zu den Vorbereitungsarbeiten, um die Simulationsuntersuchung im Rahmen der vorgegebenen Randbedingungen und Anforderungen durchführen zu können, zählten als Untersuchungsgrößen im Wesentlichen die Erstellung und Modellierung

- der Seegebiete (Untersuchungsgebiete -Varianten)
- der Untersuchungsschiffe und
- der Umweltbedingungen (Strömungsdynamik, Wind)

die in den nachfolgenden Unterkapiteln näher erläutert werden.

### **4.1 Erstellung der Seegebiete**

Die Erstellung eines Seegebietes erstreckt sich über die Generierung der Seegebietsdatenbank die die wichtigsten Grundgrößen des Untersuchungsbereiches enthält wie z.B. die Liste der zur Laufzeit zu ladenden elektronischen Seekarten, der Definition der verwendeten Pegelpunkte zur Nachbildung des natürlichen Wasserstandsverlaufs, die Modellierung der sichtbaren Landschaft, bis hin zur Erstellung neuer elektronischer Seekarten bzw., der Modifizierung vorhandener ENC's unter zu Hilfenahme von Planungsdaten.

Für die Simulation wurden drei neue Seegebietsvarianten erstellt, da die vorhandene Datenbasis des Simulators nicht den zu untersuchenden morphologischen und hydraulischen Gegebenheiten des Untersuchungsbereiches entsprechen konnte, da neue und in der Planungsphase befindliche Zielvarianten zu evaluieren waren.

Die für die Modellrechnung der Bewegungsgrößen des Schiffes relevanten und von außen einwirkenden hydrodynamischen Einflussparameter, wie Wassertiefe, umgebende Morphologie (Bathy-

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

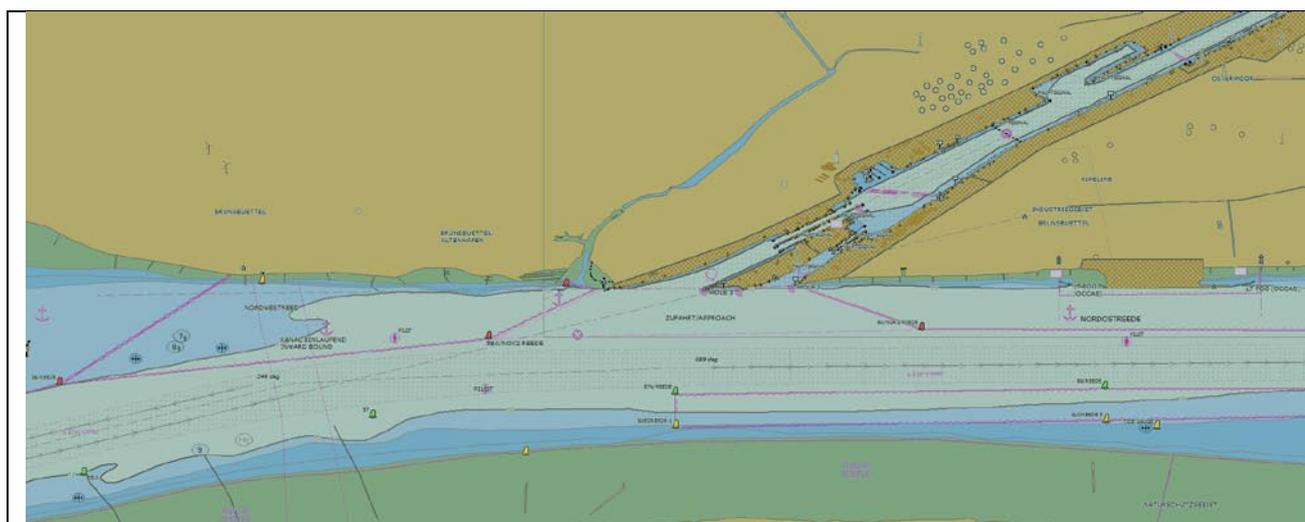
**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

metrie) und die daraus resultierenden hydrodynamischen Effekte wie Squat, Flachwassereffekt, Bank-Effekte usw. werden während der Simulation mit Hilfe der Informationen aus der elektronischen Seekarte in Abhängigkeit der geografischen Position des Schiffes und seinen aktuellen dynamischen Bewegungsgrößen entsprechend berechnet.

Die elektronische Seekarte (ENC/ECDIS<sup>2</sup>) bildet somit eine wichtige Grundlage für die Simulation. Für Untersuchungen, wie sie hier zur Diskussion stehen, ist eine besonders hohe Präzision dieser Karten in Hinsicht der Topologie-Informationen erforderlich.

Für diese Untersuchung wurde eine bereits vorhandene ENC modifiziert und mit den Untersuchungsdaten (Strom- und Tidedaten) der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) komplettiert.



**Abb. 5 Ursprungs-ENC**

Da für solche Untersuchungen, wie sie hier zu betrachten sind, die Lagegenauigkeiten der wichtigen Einflussgrößen wie Fahrwassergeometrie, spezielle Bauwerke usw. zur Berechnung der auf das Schiff wirkenden Störgrößen von hoher Bedeutung sind, wurden zusätzlich die vom Auftraggeber gelieferten Vermessungs- und Planungsdaten, die eine sehr hohe Lagepräzision aufweisen, verwendet.

<sup>2</sup> ECDIS **E**lectronic **C**hart **D**isplay and **I**nformation **S**ystem

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

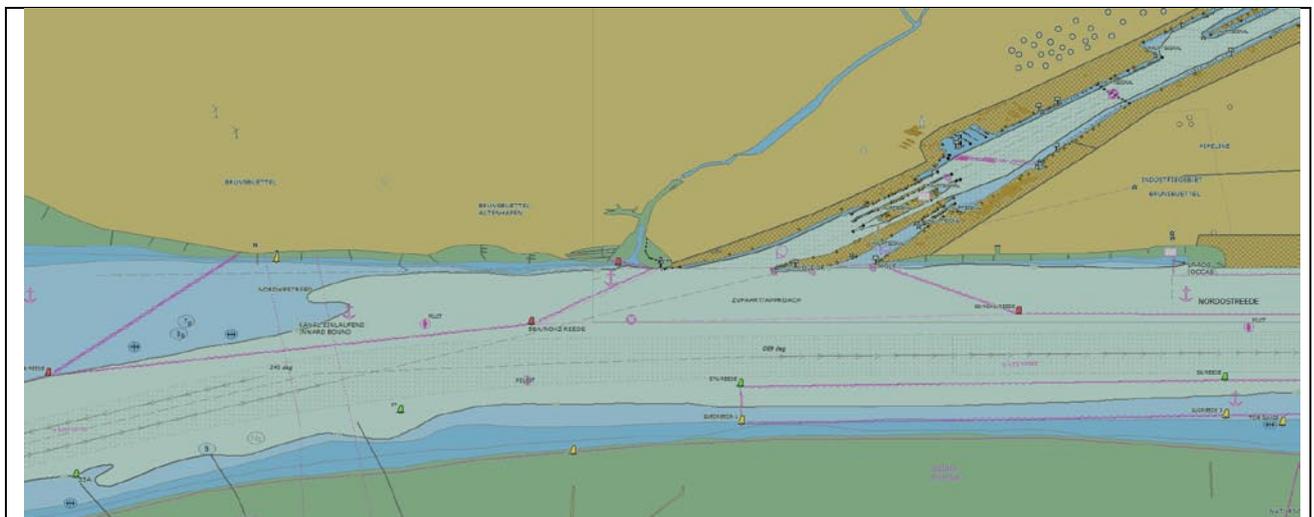
Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

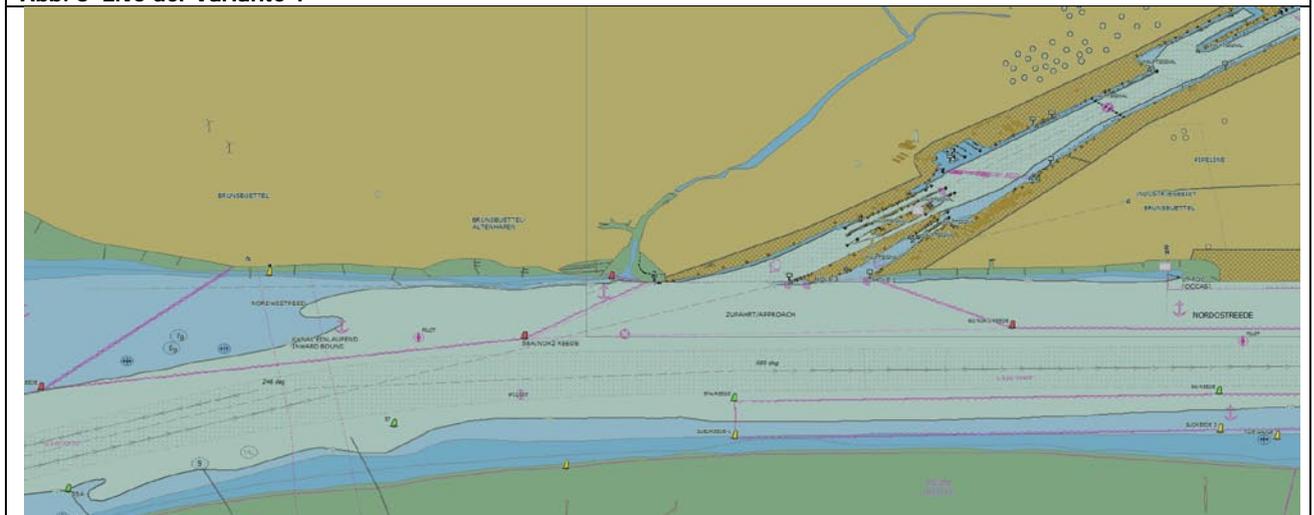
Date: 30. Mai 2008

Um diese Daten (Gauss-Krüger) mit Hilfe des ENC-Designers verwenden zu können um eine ECDIS mit hoher Lagegenauigkeit zu produzieren, mussten die Vermessungsdaten zunächst aus dem Landesvermessungssystem nach WGS84 transformiert werden.

Dieser Prozess erfolgte mit Hilfe eines kommerziellen Programms (BlueMarble GeoCalc 5.2). Aus den neu gewonnenen Daten wurde dann ein AutoCAD® -DirectExchangeFormat(DXF)-File erzeugt, welches wiederum in den ENC-Designer geladen werden kann. Auf Grundlage dieser Daten erfolgt abschließend die Modifizierung der Original-ECDIS.



**Abb. 6 ENC der Variante 1**



**Abb. 7 ENC der Variante 3**

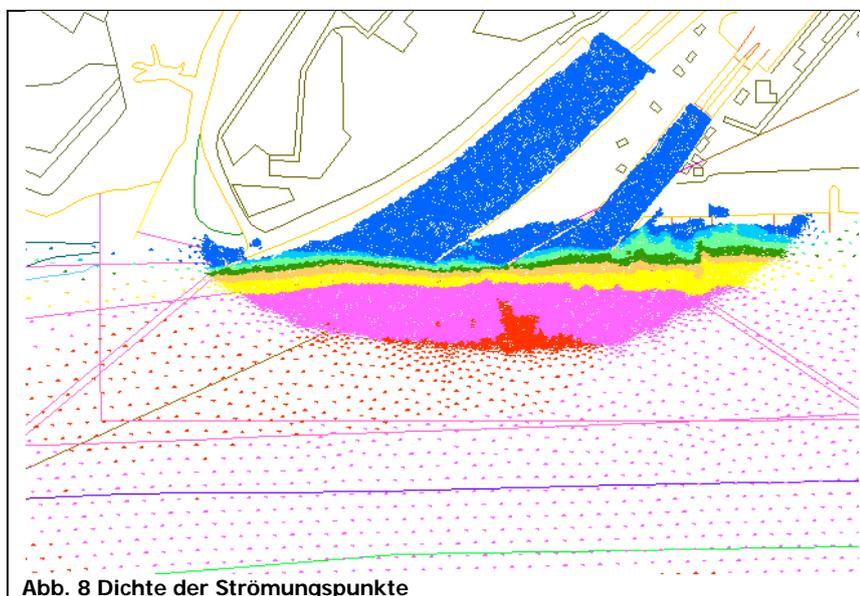
Die beiden Abbildungen 5 und 6 zeigen das Ergebnis dieser Datentransformationen und die daraus entstandenen ENCs der Varianten 1 und 3.

## 4.2 Erstellung der Strömungsdynamik

Die Simulatoren der ANS-Familie sind in der Lage, auch sehr komplizierte Strömungsverhältnisse realistisch nachzubilden, sofern entsprechende Daten vorliegen. Solche Daten entstammen in den meisten Fällen aus den Ergebnissen numerischer Rechenmodelle, wie sie zum Beispiel bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) zum Einsatz kommen.

Die Modellierung der Tidedynamik erfolgt durch das maschinelle Einlesen der von der BAW numerisch ermittelten Strom- und Tidedaten. Diese Daten repräsentieren Ortspunkte mit Strominformationen über eine komplette Tidephase in bestimmten Zeitabständen (10 Minuten) bezogen auf den Referenzpegel „*Brunsbüttel (BRB)*“.

Für jede zu untersuchende Variante wurden zwei Strommodelle berechnet, je eins für normale und erhöhte Tidebedingungen (Mittlere Tide bzw. Mittlere Springtide). Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Strömungsdatenpunkte wie sie von der BAW zugeliefert wurden.



**Abb. 8 Dichte der Strömungspunkte**

Die Abbildung 7 zeigt deutlich, dass die Strömungsinformationen für den wichtigen zu untersuchenden Bereich Stromschnitt und Vorhafen mit einer deutlich höheren Dichte vorliegen, als zum Beispiel innerhalb des normalen Fahrwassers bzw. der Fahrrinne.

Heutige Simulatoren sind noch nicht in der Lage, vertikale

Strömungsprofile zu verarbeiten, weshalb die Stromdaten in der Datenbasis auf eine bestimmte Tiefe normiert werden. Während der Simulation wird ein der Datenbasis entnommener Wert für die zu berechnende Teil-Unterwasserfläche angesetzt, Geschwindigkeitsunterschiede über den Tiefgang werden somit nicht berücksichtigt. Dies kann unter Umständen zu differierendem Strom-

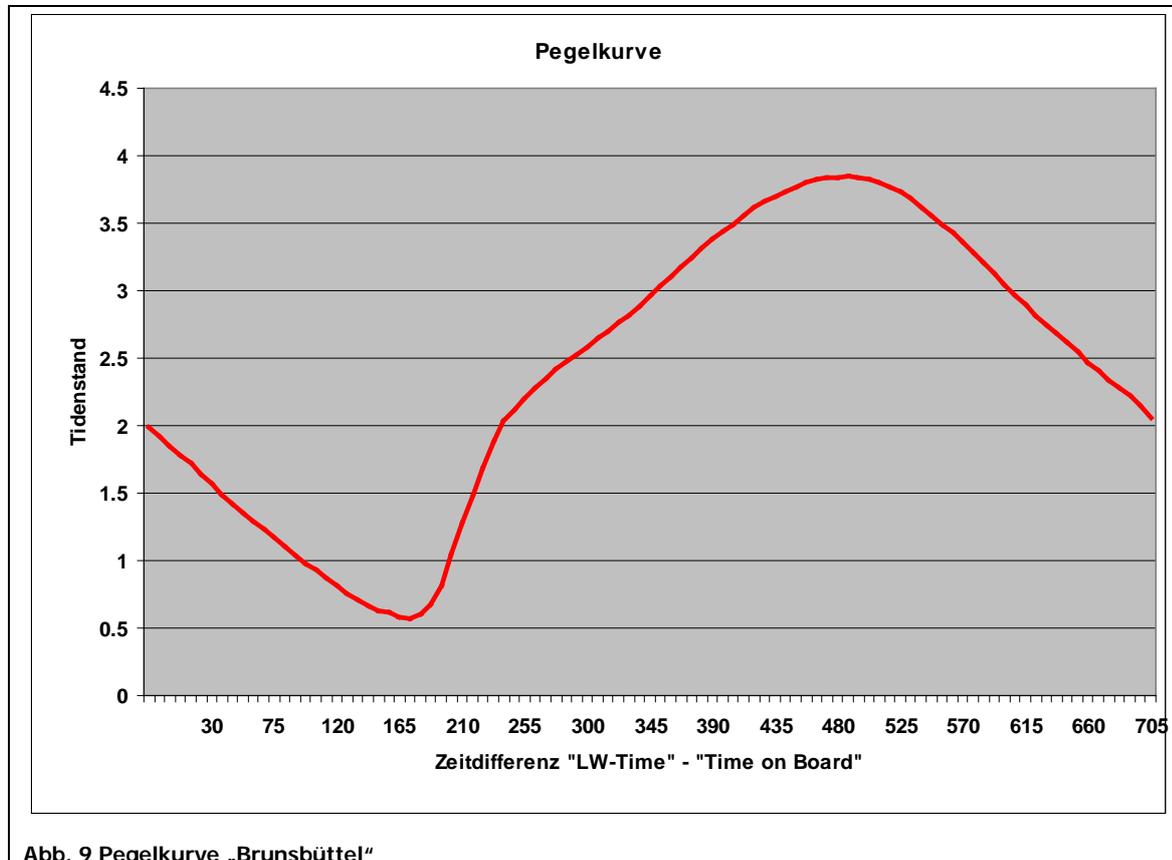
verhalten des Schiffes im Vergleich zur realen Welt führen. Dieser Unterschied ist aber nur von Bedeutung, wenn einerseits der Stromwert deutlich von den realen Zuständen abweicht und andererseits bei nahezu stehendem Schiff größere Wirksamkeit erlangt (z.B. bei Drehmanövern). Diese Zusammenhänge werden in den Bewertungskapiteln berücksichtigt.

Zur realistischen Nachbildung der Wasserstandsänderungen in Abhängigkeit von Zeit und Ort wurden neben dem gelieferten Pegel zwei zusätzliche Pegel mit den zeitabhängigen Wasserständen in die Datenbasis eingefügt.

### **Hinweis zu SKN (Seekartennull)**

*Alle Angaben in diesem Bericht mit Bezug auf das Seekartennull (SKN) beziehen sich auf das ab dem 1.1.2005 gültige Niveau der „Lowest Astronomical Tide“ (LAT).*

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die von der BAW für die Tidebedingung „MThw“ gerechneten Wasserstände des zugelieferten Pegels „Brunsbüttel“.



### 4.3 Erstellung der Eigenschiffe

Für die Untersuchung wurden vom Auftraggeber mehrere Untersuchungsschiffe benannt, deren Haupt-Kenngrößen in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt sind.

<b>Liste der Untersuchungsschiffe</b>						
<b>Typ / Bezeichnung</b>	<b>L [m]</b>	<b>B [m]</b>	<b>T [m]</b>	<b>Verdr. [t]</b>	<b>Windfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Bermerkung</b>
CS NOKmax -Neu	280.0	32.5	9,5	56.000	4.900	
TA Verkehrsgruppe 5	200.0	28.0	10.4	45.400	1.250	modifiziert
RF Verkehrsgruppe 5	200.0	28.0	7.0	25.500	3.580	
BU Verkehrsgruppe 5	200.0	28.0	9.5	34.200	1.250	
CS Verkehrsgruppe 4	140.0	22.0	7.0	14.000	1.200	modifiziert
CC Verkehrsgruppe 4	140.0	22.0	5.0	6.400	1.700	modifiziert
PT Schleppverband VG5	60.0	25.0	4.0	6.000	1.000	2 Schlepper
<b>Bezeichnungen:</b>						
CS: Containerschiff    CC: Car Carrier    TA: Tanker    BU: Bulk Carrier    RF: Reefer    PT: Ponton						
<b>Anmerkung:</b>						
Der Ponton wurde als Eigenschiff ohne eigenen Antrieb modelliert. Für die Untersuchungsläufe wurden zwei Schlepper mit je 25 Tonnen Pfahlzug eingesetzt und die Gesamtlänge des Verbandes auf 150 m begrenzt.						

**Tabelle 1** Liste der Untersuchungsschiffe

Aus der obigen Liste wird ersichtlich, dass nicht nur eine Auswahl von Schiffen unterschiedlicher Verkehrsgruppen vorhanden war, sondern innerhalb der Verkehrsgruppen auch auf Schiffe mit spezifischen Eigenschaften wie großer Tiefgang bei geringer Windangriffsfläche oder geringerer Tiefgang bei großer Windangriffsfläche zurückgegriffen werden konnte, um so die unterschiedlichen Bewegungsparameter einfließen lassen zu können.

Die mathematischen Modelle der Schiffe entstammen der Untersuchung „Erweiterung der Oststrecke des NOK“ und wurden vor Beginn der Simulation mit Hilfe des Erfahrungsschatzes eines erfahrenen Kanallotsen in Hinsicht auf das Manörierverhalten überprüft und ggfls. kalibriert.

#### **Anmerkung zu Kapitel 4**

**Die in diesem Kapitel gemachten Erläuterungen zur Erstellung der Simulationsumgebung haben auch für die hier nicht explizit erwähnte Variante 4 (siehe Kapitel 8) Gültigkeit.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

## 5 LAUFDURCHFÜHRUNG

In der Zeit vom 31. Oktober 2007 bis 14. Dezember 2007 (12 Simulationstage 1.Untersuchungsphase) wurden insgesamt 109 Untersuchungsläufe durchgeführt, nicht eingerechnet die täglichen Familisierungsläufe für die neuen Lotsen. Die nachfolgenden Laufzusammenstellungen zeigen einen Überblick aller gefahrenen Läufe mit den wichtigsten Szenario-Parametern.

### Referenzläufe im IST-Zustand 9 Läufe

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
001	NOK	Referenz Flutstrom	Ein/V0	Flut	nil	nil	Von See kommend
002	NOK	Referenz Flutstrom	Aus/V0	Flut	nil	nil	Nach Hamburg gehend
003	NOK	Referenz Flutstrom	Aus/V0	Flut	nil	nil	Nach Hamburg gehend
004	NOK	Referenz Flutstrom	Ein/V0	Flut	nil	nil	Von Hamburg kommend
005	NOK	Referenz Ebbe	Ein/V0	Ebbe	nil	nil	Von See kommend
006	NOK	Referenz Ebbe	Aus/V0	Ebbe	nil	nil	Nach Hamburg gehend
011	NOK	Referenz Wind	Ein/V0	nil	NW	Bft.6	Von Hamburg kommend
012	NOK	Referenz Wind	Aus/V0	nil	NW	Bft.6	Nach Hamburg gehend
013	NOK	Referenz Wind	Ein/V0	nil	SW	Bft.6	Von Hamburg kommend

Tabelle 2 Gesamtübersicht Referenzläufe IST-Zustand

### Untersuchungsläufe Variante 1 45 Läufe

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
<b>Läufe in der Variante 1 zur Schleuse 5</b>							
007	NOK	Referenz Hydrodynamik	Ein/V1	nil	nil	nil	
008	NOK	Referenz Hydrodynamik	Aus/V1	nil	nil	nil	
009	NOK	Referenz Strom	Ein/V1	THW	nil	nil	
010	NOK	Referenz Strom	Aus/V1	1.Ebbe	nil	nil	
014	NOK	Referenz Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	
015	NOK	Strategie Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	Abbruch, Simulatorfehler
016	NOK	Referenz Wind	Ein/V1	nil	NW	Bft.6	
017	NOK	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
018	NOK	Strategie Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	
019	NOK	Referenz Wind	Ein/V1	nil	SE	Bft.6	
020	NOK	Referenz Wind	Aus/V1	nil	SE	Bft.6	
021	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
022	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
023	NOK	Standard	Ein/V1	Flut	SW	Bft.6	
024	NOK	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
025	VG5T	Referenz Hydrodynamik	Ein/V1	nil	nil	nil	
101	VG5T	Referenz Strom	Ein/V1	Flut	nil	nil	
102	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	Flut	nil	nil	
103	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	THW	nil	nil	
104	VG5T	Standard	Ein/V1	Flut	NW	Bft.5	

Revision: F3.3.11  
Volume 1 von 7

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

105	VG5T	Standard	Aus/V1	Flut	NW	Bft.5	
106	VG5T	Referenz Strom	Ein/V1	Ebbe	nil	nil	
107	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	
108	NOK	Standard-Nebel	Ein/V1	Ebbe	nil	nil	
107	NOK	Standard-Nebel	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	
110	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.5	
111	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.5	
112	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.5	
113	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.5	
114	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
115	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
116	VG4C	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.4	
117	VG4C	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.4	
118	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
119	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
120	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
121	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
122	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
123	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
124	NOK	Vergleich zu IST	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	Von Neue-Süd
125	VG5T	Vergleich zu IST	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	Von Neue-Süd
157	VG4C	Standard	Ein V1	Flut	SW	Bft.6	
158	VG4B	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
159	VG4C	Standard	Ein V1	Ebbe	SW	Bft.6	
160	VG4B	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.6	

**Tabelle 3 Gesamtübersicht Untersuchungsläufe Variante 1**

**Untersuchungsläufe Variante 3      47 Läufe**

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg	Bft	
<b>Läufe in der Variante 3 zur Schleuse 5</b>							
126	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Flut	nil	nil	
127	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
128	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Ebbe	nil	nil	
129	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
130	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Flut	nil	nil	
131	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
132	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	
133	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6	
134	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	W	Bft.6	
135	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	W	Bft.6	
136	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.6	
137	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.6	
138	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.6	
139	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
140	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
141	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
142	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
143	VG5T	Standard	Ein/V3	Ebbe	W	Bft.6-8	
144	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	W	Bft.6-8	
145	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.6-8	
146	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.6-8	
147	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	
148	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
149	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.5	

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

150	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.5	
151	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SE	Bft.5	
152	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SE	Bft.5	
153	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SW	Bft.5	
154	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.5	
155	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	E	Bft.6-8	
156	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	W	Bft.6-8	
161	VG4B	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
162	VG4B	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
163	VG4B	Standard	Ein/V3	Ebbe	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
164	VG4B	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
166	VG5T	Standard	Aus/V3	Ebbe	SE	Bft.6	
169	VG5T	Standard	Aus/V3	Ebbe	NW	Bft.6	
171	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.6	
173	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	NW	Bft.6	2 Schlepper á 40 t
175	PONT	Standard	Aus/V3	Stau	NW	Bft.6	
178	PONT	Standard	Aus/V3	Stau	NW	Bft.6	
179	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
180	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
181	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 60 t
182	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
183	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
184	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t

**Tabelle 4 Gesamtübersicht Untersuchungsläufe Variante 3**

**Untersuchungsläufe vom NOK in die 5.Schleuse (variantenunabhängig) 8 Läufe**

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung		Wind		Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg	Bft	
<b>Läufe von der NOK-Seite in die Schleusen (varianten-unabhängig)</b>							
165	VG5T	Referenz Strom	Ein	Entw.	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
167	VG5T	Referenz Strom	Ein	Entw.	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
168	VG5T	Standard	Ein	Entw.	SW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
170	VG5T	Standard	Ein	Entw.	SE	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
172	VG5T	Standard	Ein	Entw.	NW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
174	VG5T	Standard	Ein	Entw.	NW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
176	NOK	Referenz Strom	Ein	nil	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
177	NOK	Vergleichslauf	Ein	nil	nil	nil	Vom NOK in die Neue-Süd

**Tabelle 5 Gesamtübersicht Untersuchungsläufe vom NOK in die 5.Schleuse**

In einem weiteren Untersuchungsabschnitt wurde, wie schon mehrfach erwähnt, eine neue Variante 4 (lange Mole 2), die sich aus den Laufergebnissen der 1. Untersuchungsphase ergeben hatte, untersucht.

Für diese Variante wurden in der Zeit vom 20. Februar bis zum 22. Februar (3 Simulationstage) insgesamt 30 Untersuchungsläufe durchgeführt, die in der nachfolgenden Tabelle mit den wichtigsten Szenario-Parametern dargestellt sind.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Untersuchungsläufe Variante 4**

**30 Läufe**

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung	Wind		Bemerkung	
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg		Bft
<b>Läufe in der Variante 4</b>							
401	NOK	Referenz Strom	Ein	Flut	nil	nil	
402	NOK	Referenz Strom	Aus	Flut	nil	nil	
403	NOK	Referenz Strom	Ein	Ebbe	nil	nil	
404	NOK	Referenz Strom	Aus	Ebbe	nil	nil	
405	NOK	Referenz Strom	Ein	Ebbe	nil	nil	
406	NOK	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.4	
407	NOK	Standard	Ein	Ebbe	nil	nil	
408	NOK	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.4	
409	NOK	Standard	Ein	Flut	nil	nil	
410	NOK	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
411	VG5T	Standard	Ein	Flut*	SW	Bft.4-6	
412	VG5T	Standard	Aus	Flut*	SW	Bft.4-6	
413	VG5T	Standard	Ein	Flut*	SW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
414	VG5T	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
415	VG5T	Standard	Ein	Flut*	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
416	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.6-8	
417	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
418	NOK	Ölhafen -> 5.Schleuse	Ein	nil	nil	nil	
419	NOK	Aus 5.Schleuse -> NOK	Aus	nil	nil	nil	Unterbrechung wg. Kollision
420	NOK	Aus 5.Schleuse -> NOK	Aus	nil	nil	nil	Fortsetzung Lauf 419
421	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
422	VG5T	Standard	Aus	Flut	SO	Bft.6-8	
423	NOK	Standard	Ein	Ebbe	SW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
424	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.6-8	
425	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
426	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.4-6	
427	VG5T	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
428	NOK	Standard	Ein	Ebbe	NW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
429	VG4	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
430	NOK	Ölhafen -> 5.Schleuse	Ein	nil	NW	Bft.4-6	

Anmerkung:  
 Flut\* bedeutet hier letzte Flut, d.h. der Tidezeitpunkt „Hochwasser“

**Tabelle 6 Gesamtübersicht der Läufe –Variante 4-**

Aus der obigen Tabelle wird ersichtlich, dass die Simulationsläufe der Untersuchungsphase 2 (V4) schwerpunktmäßig mit dem NOKmax-Schiff und dem Tanker der Verkehrsgruppe 5 (T: 10.40 m) gefahren wurde, da sich aus der Voruntersuchung bereits ergeben hatte, dass die bisherigen Planungsvarianten V1 und V3 keinen signifikanten Einfluss auf die nautische Machbarkeit des Zu- und Ablaufes zur neuen fünften Schleuse mit den Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner nehmen.

## **6 GRUNDLAGEN der BEWERTUNG**

Die in Kapitel 7 und 8 dargestellten Ergebnisse berücksichtigen einerseits die relevanten Einflussgrößen aus Hydrodynamik und Umwelt, die als wichtige Parameter signifikante Randbedingungen für die geforderte sichere Manöverdurchführung und effizienteste Bauausführung darstellen, andererseits aber auch die Auswirkungen extern eingesetzter Kräfte (Schlepper) beim Manövrieren

Mit Hilfe von Simulationen und der gewählten Verfahrensweise dieser Untersuchung (Expert-Rating) ist es möglich, sowohl die unterschiedlichen Störgrößen durch geschickte Szenario-Vorgaben einzeln zu untersuchen und ihren Auswirkungsgrad isoliert zu beleuchten, als auch die Auswirkungen der Baumaßnahmen auf den Bahnführungs- bzw. Manöverprozess der zu untersuchenden Schiffe kritisch zu hinterfragen.

Eine solche Vorgehensweise der Evaluierung von Simulationsmanövern erlaubt es in vielen Fällen, die Ergebnisse auf andere Szenario-Bedingungen (z.B. gegenläufige Windrichtungen) zu projizieren und mögliche Auswirkungen zu prognostizieren. Einschränkend gilt aber, dass diese Verfahrensweise für gefundene Risikobedingungen nicht angewendet werden kann, hier gilt, dass solche Ergebnisfindungen durch zusätzliche Simulationen kritisch zu hinterfragen und zu überprüfen sind.

Unter Berücksichtigung dieser Grundlagen können folgende hydrodynamischen Bewertungskriterien spezifiziert werden, die für diese Untersuchung von Relevanz waren:

- **Flachwassereffekt**
- **Sinkage und Squat**

Für die Bewertung der Störgrößen hervorgerufen durch die Umweltparameter, können folgende Randbedingungen festgelegt werden:

- **Windrichtung und Windstärke**
- **Stromrichtung (Flutstrom bzw. Ebbstrom) und Tidenstand**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Die Abschnitte des Fahrwassers, die bestimmte Handlungsweisen hinsichtlich des Bahnführungsprozesses von den Lotsen verlangen, können wie folgt definiert werden:

- **Zulaufstrecke (Revier bzw. Kanal)**
- **Übergangsstrecke Revier – Vorhafen (Stromschnitt)**
- **Zulauf zur Schleuseneinfahrt**

Jeder dieser Abschnitte der Fahrstrecke weist ganz bestimmte Merkmale auf, die für eine sichere Bahnführung bzw. Manöverdurchführung beachtet werden müssen.

Diese Vorgehensweise der getrennten Betrachtung von nicht, oder nur gering zu beeinflussender Randbedingungen (durch den Lotsen) erleichtert nicht nur die Gesamtbewertung der Laufergebnisse, sondern erlaubt auch eine Art Ursachenforschung, die Rückschlüsse darüber geben kann, inwieweit bestehende Verhaltensmuster und Fahrstrategien zu verändern sind.

Neben diesen grundsätzlichen Bewertungskriterien ist es bei dieser Untersuchung von großer Bedeutung, Unterschiede in Prozessabläufen (optimale Schleusung von Fahrzeugen), die sich möglicherweise aufgrund der unterschiedlichen Varianten ergeben, herauszuarbeiten. Sie bilden, neben der erforderlichen Manöversicherheit eine weitere wichtige Entscheidungsgrundlage zur Bestimmung der endgültigen Planungsausführung oder gegebenenfalls zur Festlegung weiterer Untersuchungsvarianten.

Die oben beschriebenen Bewertungsgrundlagen waren zunächst primär für die Voruntersuchungsphase (Simulationsläufe im IST-Zustand und in den Varianten V1 und V3) definiert worden, haben aber für die Bewertung der abschließenden Untersuchung der Variante 4 (siehe Kapitel 8) weiterhin Gültigkeit.

## **7 ERGEBNISSE - 1. Untersuchungsphase -**

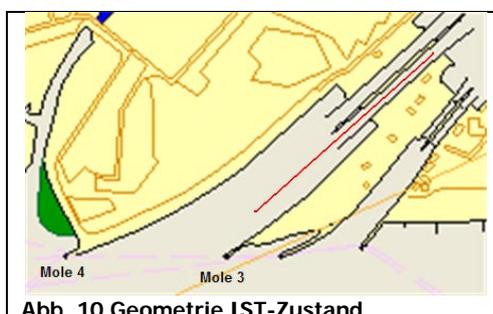
Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse, so wie sie aus den vorhandenen Daten und den De-Briefingsgesprächen abgeleitet werden können, dargestellt. Wie schon im Eingangskapitel erwähnt, ist zum jetzigen Zeitpunkt die Datenauswertungen der physikalischen Simulationsdaten der einzelnen Läufe abgeschlossen und somit ist auch ein Vergleich der Daten untereinander in Hinsicht auf die Szenarienunterschiede bzw. Parameter machbar.

### **7.1 Referenzläufe im IST-Zustand**

Die Läufe im IST-Zustand dienen primär der Verifizierung der Schiffe und der Überprüfung des Strommodells. Gleichzeitig bot sich mit diesen Läufen auch der direkte Vergleich zu Szenarien anderer Varianten an, wie z.B. Zeitaufwand für ein Manöver, Problembereiche im Bahnführungsprozess, Grenzbedingungen usw.

Da, wie im Weiteren noch beschrieben wird, die Laufergebnisse als sehr realistisch bezeichnet wurden, kann auch die Wertigkeit der Fahrstrategie für bestimmte Randbedingungen prognostiziert werden, was letztlich Aufschluss darüber geben kann, welcher möglicher Trainingsaufwand für die endgültige Variante notwendig wird.

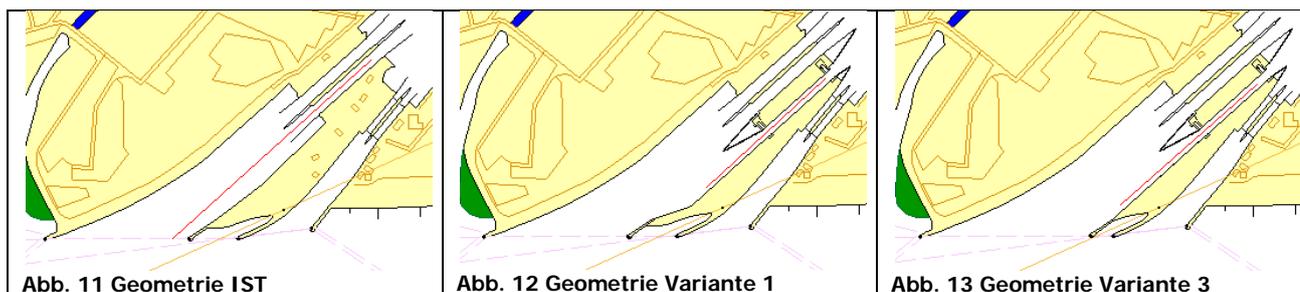
#### **7.1.1 IST-Geometrie**



Die heutige Geometrie des Einfahrtsbereiches zu den Neuen Schleusen sei an dieser Stelle deshalb erwähnt, da die Begrenzung der verfügbaren Wasserfläche im Vorhafen durch Böschungen gebildet werden.

Diese Formgebung der Verfügbarkeit von Manövrierraum hat in allen folgenden Varianten einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisqualität gehabt. In der Abbildung 7 ist beispielhaft die Einlaufelinie zur „Neuen Süd“ eingezeichnet und es wird deutlich, dass zu beiden Seiten der Einlaufelinie noch verfügbarer Manövrierraum besteht, der zum „Ausrichten“ des Schiffes, z.B. bei Windeinfluss, genutzt werden kann.

Demgegenüber sehen die Planungsvarianten 1, 2 und 3 eine Spundwandausführung vor, die in direkter Verlängerung und Richtung der südlichen Schleusenmauer verläuft. Zum besseren Verständnis seien hier die drei untersuchten Varianten (IST, 1 und 3) in ihren Geometrien im Vergleich dargestellt.



Das oben Gesagte bezüglich der Einlauflinien der Schleusen in Hinsicht ihrer Lage zu einer Begrenzungslinie des Manövrierraumes wird durch die Abbildungen 8 -10 dokumentiert. Allerdings ist auch zu vermerken, dass die wahre Böschungskante in der IST-Geometrie nicht mit der gezeigten Küstenlinie zusammenfällt, sondern etwas weiter westlich liegt.

Auf diese Zusammenhänge wird bei der Bewertung der Ergebnisse der einzelnen Varianten gezielt eingegangen.

### 7.1.2 Laufergebnisse

Wie bereits eingangs zu diesem Kapitel gesagt, dienen die Läufe im IST-Zustand primär der Überprüfung des Simulationsmodells in Hinsicht auf das Modellverhalten der Schiffe und die Realisierung der Strömungsverhältnisse.

Die für diese Untersuchung eingesetzten Schiffe entstammen der Untersuchung „Erweiterung der Oststrecke des NOK“ (Auftraggeber: Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau) und sind in Zusammenarbeit mit der Lotsenbrüderschaft NOK-II- für die genannte Untersuchung verifiziert worden. Es galt nun zu überprüfen, inwieweit die vorgenommenen Koeffizientenänderungen auch für die hier zu betrachtende Untersuchung Gültigkeit besitzen.

Der zweite Punkt war, wie erwähnt, die Überprüfung der Realitätsnähe des Stromfeldes im näheren Bereich der Zufahrt in den Vorhafen.

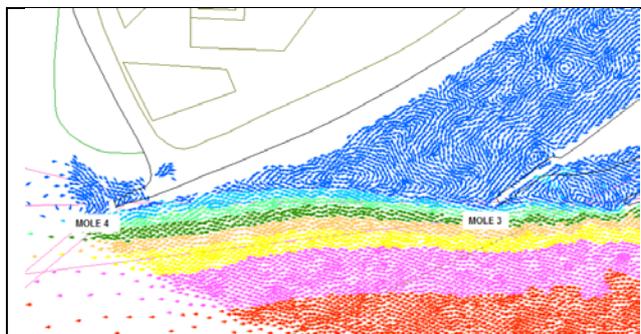
**Simulations-Studie  
„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008



**Abb. 14 Stromschnitt**

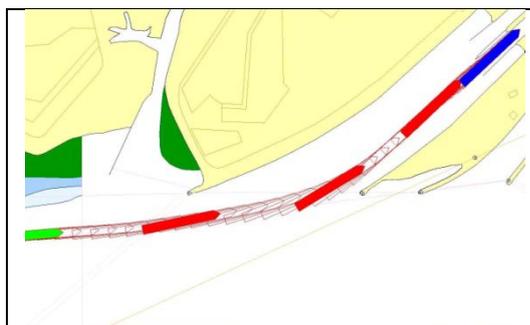
**Farbgebung**

Rot: 2.25 Knoten	Mag: 2.00 Knoten
Gelb: 1.75 Knoten	HBraun: 1.50 Knoten
Grün: 1.25 Knoten	Cyan: 1.00 Knoten
HBlau: 0.75 Knoten	Blau: 0 – 0.5 Knoten

In der Abbildung 11 ist das in der Simulation verwendete Strommodell ausschnittsweise für den Einfahrtsbereich in den Vorhafen dargestellt. Die unterschiedliche Farbgebung der einzelnen Strömungsobjekte repräsentiert die dazugehörige Strömungsgeschwindigkeit.

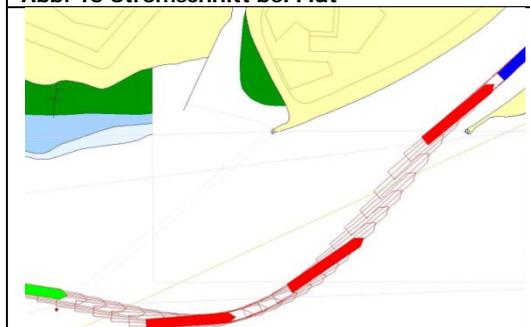
Mit der Farbgebung wird ersichtlich, dass sich vor der Einfahrt in den Vorhafen Bereiche mit deutlich voneinander abweichenden Strömungsgeschwindigkeiten befinden, die, je nach Kurslage des Schiffes, mit einem bestimmten Angriffswinkel (angle of attack) auf die Unterwasserfläche des Schiffes einwirken und Kräfte erzeugen.

geschwindigkeiten befinden, die, je nach Kurslage des Schiffes, mit einem bestimmten Angriffswinkel (angle of attack) auf die Unterwasserfläche des Schiffes einwirken und Kräfte erzeugen.



**Abb. 15 Stromschnitt bei Flut**

Dadurch, dass die angreifenden Strömungsgeschwindigkeiten unterschiedlich groß sind, entsteht neben der Stromdrift (hervorgerufen durch die wirkende Kraft) ein zusätzliches Drehmoment. So erfährt z.B. ein einkommendes Schiff bei Flutstrom einen Backbord-Dreh und bei Ebbstrom einen Steuerbord-Dreh.



**Abb. 16 Stromschnitt bei Ebbe**

Diese Strömungsvariante, Durchlaufen unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeiten bis in stromloses Wasser bezeichnet man auch als einen so genannten „Stromschnitt“, der ein erhebliches Maß an Können und Erfahrung von den Lotsen verlangt.

Aus den beiden Abbildungen 12 und 13 werden nicht nur die beschriebenen Zusammenhänge zwischen Strömungsrichtung (Ebbe bzw. Flut) und Schiffsverhalten sichtbar, sondern es wird deutlich gemacht, dass in Abhängigkeit der Strömungsrichtung unterschiedliche Strategien erforderlich sind, um das Schiff sicher in den Vorhafen zu bringen.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
<b>Läufe im IST-Zustand</b>							
001	NOK	Referenz Flutstrom	Ein/V0	Flut	nil	nil	Von See kommend
002	NOK	Referenz Flutstrom	Aus/V0	Flut	nil	nil	Nach Hamburg gehend
003	NOK	Referenz Flutstrom	Aus/V0	Flut	nil	nil	Nach Hamburg gehend
004	NOK	Referenz Flutstrom	Ein/V0	Flut	nil	nil	Von Hamburg kommend
005	NOK	Referenz Ebbe	Ein/V0	Ebbe	nil	nil	Von See kommend
006	NOK	Referenz Ebbe	Aus/V0	Ebbe	nil	nil	Nach Hamburg gehend
011	NOK	Referenz Wind	Ein/V0	nil	NW	Bft.6	Von Hamburg kommend
012	NOK	Referenz Wind	Aus/V0	nil	NW	Bft.6	Nach Hamburg gehend
013	NOK	Referenz Wind	Ein/V0	nil	SW	Bft.6	Von Hamburg kommend

**Tabelle 7 Übersicht Referenzläufe**

Aus den in der obigen Tabelle aufgeführten Läufen im IST-Zustand können nach Auswertung der De-Briefingsgespräche und der Simulationsergebnisse folgende Kernaussagen hergeleitet werden:

- **Das Manövrierverhalten des Hauptbemessungsschiffes (NOK-max) wird als sehr realistisch eingeschätzt.**
- **Das Strömungsabbild der Simulation spiegelt die realen Verhältnisse in sehr guter Weise wider.**
- **Das Durchfahren des Stromschnitts kann ebenfalls als sehr realistisch bezeichnet werden.**

Auch wenn die Referenzläufe bezüglich des eingesetzten Schiffes auf das zukünftige Bemessungsschiff des NOK begrenzt war, kann aus den Familisierungsläufen, die hier nicht mit aufgeführt sind und den Läufen aus den anderen Varianten gesagt werden, dass

- **auch das Verhalten der anderen eingesetzten Schiffe als realistisch bezeichnet werden kann.**

Aus dem kann insgesamt gefolgert werden, dass

- **wegen des realistischen Verhaltens der Schiffe und die präzise Reproduktion des Strömungsbildes Läufe in dieser Variante als Referenz zu den Läufen in den Planungsvarianten herangezogen werden können.**

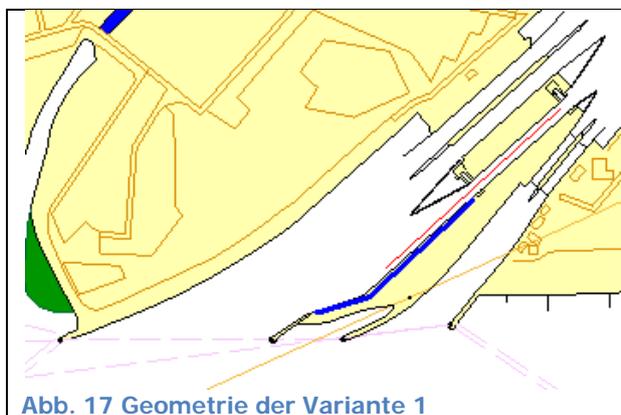
## 7.2 Ergebnisse Variante 1

Zur Überprüfung der nautisch/technischen Machbarkeit der Planungsvariante 1 (Erhalt der Mole 3) wurden insgesamt **45** Läufe durchgeführt, die sich wie folgt aufschlüsseln lassen:

- **Referenz 14 Läufe** davon
  - 3 Läufe –Hydrodynamik/Hydraulik
  - 7 Läufe –Strom
  - 4 Läufe –Wind
  
- **Einlaufen 20 Läufe (inkl. Referenzläufe)** davon
  - 9 Läufe mit dem NOK-max
  - 8 Läufe mit VG5-10.4 m Tiefgang
  - 3 Läufe mit VG4
  
- **Auslaufen 25 Läufe (inkl. Referenzläufe)** davon
  - 12 Läufe mit dem NOK-max
  - 8 Läufe mit VG5-10.4 m Tiefgang
  - 4 Läufe mit VG4
  
- **Vergleichsläufe zum IST-Zustand 2 Läufe** davon
  - 1 Lauf Auslaufen mit NOKmax
  - 1 Lauf Auslaufen mit VG5-10.4 m

Eine weiterführende Aufschlüsselung bezüglich der herrschenden Randbedingungen Wind und Strom ist in der Lauftabelle im Kapitel 5, Seite 17f zu finden.

### 7.2.1 Geometrie der Variante 1



Die Formgebung des Vorhafens, gegeben durch die Geometrie der Variante 1, ist in der Abbildung 16 dargestellt. Kennzeichnend für diese Variante ist der Erhalt der Mole 3 mit einer anschließenden, geknickten Spundwand (blaue Linie) die bis zum Schleusenaupt führt. Daneben ist vor der neu entstandenen Schleuseninsel zwischen der „Neuen-Süd“ und der 5.Schleuse ein Leitwerk

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

vorgesehen, dessen Abmaße und Formgebung von den bestehenden Leitwerken abweicht.

Aus nautischer Betrachtungsweise sind im ersten Ansatz mehrere Auffälligkeiten zu vermerken, nämlich dass

- **keine direkte und geradlinige Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt zur Schleuse besteht,**
- **der verfügbare Manövrierraum östlich der Einlauflinie nur sehr gering und durch eine Spundwand begrenzt ist,**
- **die nutzbare Länge des Vorhafens, gemessen von der Verbindungslinie der Molen 3 und 4 bis zum Kopf des neuen Leitwerks kürzer geworden ist,**
- **Kursänderungen auf kurze Distanzen notwendig sind und dass**
- **einzig die Einfahrtsbreite zwischen den Molen unverändert geblieben ist.**

Für ein aus der 5.Schleuse auslaufendes Schiff, insbesondere wenn es wegen hoher Decksbelastung durch Container o.a. einen langen toten Sichtbereich vor dem Steven aufweist, ergibt sich die Situation, dass

- **vor dem Schiff kein freies Fahrwasser liegt.**

Dies ist sicherlich unter „normalen“ Fahrbedingungen in engen Revieren nichts Außergewöhnliches, in diesem besonderen Fall muss aber das Schiff noch mit seiner gesamten Länge von 280 Meter mit Fahraufnahme aus der Schleuse und teilweise aus dem Leitwerk gebracht werden. Die Distanz zwischen „Mitte Leitwerk“ und schräger Spundwand zur Mole 3 beträgt aber nur etwa 370 Meter.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

## 7.2.2 Einlaufen - Übersicht

Für die Bewertung des Einlaufens in den Vorhafen und in die 5. Schleuse stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

ÜBERSICHT Einlaufen Variante 1			Richtung	Wind			
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg	Bft	Bemerkung
007	NOK	Referenz Hydrodynamik	Ein/V1	nil	nil	nil	
009	NOK	Referenz Strom	Ein/V1	THW	nil	nil	
010	NOK	Referenz Strom	Ein/V1	1.Ebbe	nil	nil	
016	NOK	Referenz Wind	Ein/V1	nil	NW	Bft.6	
019	NOK	Referenz Wind	Ein/V1	nil	SE	Bft.6	
021	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
023	NOK	Standard	Ein/V1	Flut	SW	Bft.6	
108	NOK	Standard-Nebel	Ein/V1	Ebbe	nil	nil	
119	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
122	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
025	VG5T	Referenz Hydrodynamik	Ein/V1	nil	nil	nil	
101	VG5T	Referenz Strom	Ein/V1	Flut	nil	nil	
104	VG5T	Standard	Ein/V1	Flut	NW	Bft.5	
106	VG5T	Referenz Strom	Ein/V1	Ebbe	nil	nil	
110	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.5	
112	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.5	
114	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
120	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
116	VG4C	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.4	
157	VG4C	Standard	Ein V1	Flut	SW	Bft.6	
159	VG4C	Standard	Ein V1	Ebbe	SW	Bft.6	

**Tabelle 8 Übersicht Einlaufmanöver Variante 1**

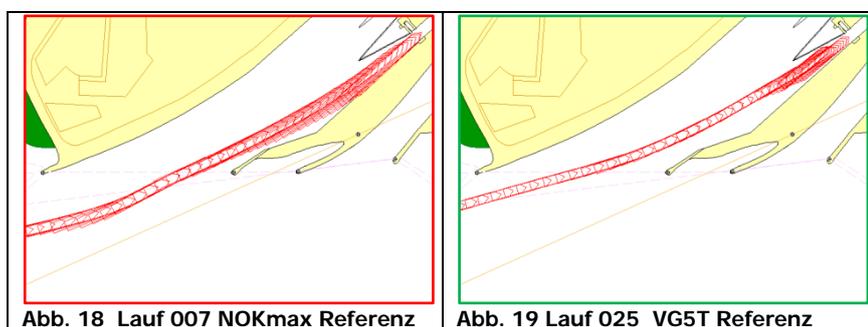
Zu Beginn der Betrachtung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit einer Variante ist es sinnvoll, mit den so genannten „Referenzläufen“ zu beginnen, da hier die Störgrößen Strom und Wind getrennt durch wechselseitiges Ausschalten des jeweiligen oder bei Ausschluss der beiden Randbedingungen nur die schiffseigene Hydrodynamik betrachtet werden können.

Diese Läufe geben ersten Aufschluss darüber, ob prinzipiell die physikalischen Parameter des Schiffes ein Anlaufen ermöglichen.

Im weiteren Verlauf des Bewertungsprozesse erfolgt die Evaluierung der so genannten Standardläufe, zunächst der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe und abschließend die Läufe mit Schiffen kleinerer Verkehrsgruppen.

### 7.2.2.1 Einlaufen –Referenz

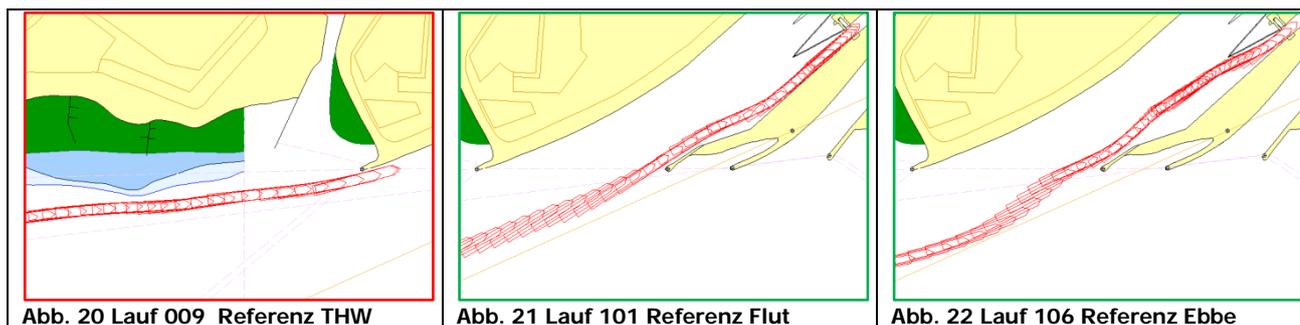
Zu Beginn der Betrachtung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit einer Variante ist es sinnvoll, mit den so genannten „Referenzläufen –Hydrodynamik“ zu beginnen, da hier die Störgrößen Strom und Wind nicht zum Tragen kommen, sondern nur die schiffseigene Hydrodynamik. Diese Läufe geben ersten Aufschluss darüber, ob prinzipiell die physikalischen Parameter des Schiffes ein Anlaufen ermöglichen.



Die Laufergebnisse der beiden Referenzläufe mit dem NOKmax und dem Schiff der VG5 mit 10.4 m (VG5T) bestätigen zunächst, dass das Durchlaufen der Vorhafeneinfahrt und der Zulauf zur 5. Schleuse im

Grundsatz möglich ist.

Für die weiteren Bewertungsschritte ist es erforderlich den Einfluss von Strom und Wind näher zu betrachten.

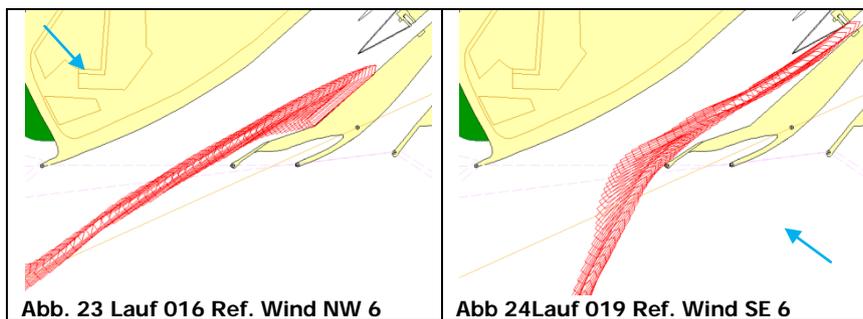


Diese drei Laufbilder (Abb.19-21) verändern den Grundeindruck schon um Einiges. Bei Lauf 009 mit dem NOKmax war das Schiff eigentlich auf einem idealen Einlaufkurs, nur die Annäherung an die Mole 4 hätte etwas größer gewählt werden müssen. So konnte jedoch die Stromdriftkomponente nicht mehr ausgeglichen werden, sodass es zur Grundberührung kam.

Auch die beiden Läufe mit dem Tanker der VG5 (Lauf 101 und 106) zeigen schon deutliche Einflüsse der Stromkomponente. Auffällig an den beiden Läufen ist, dass eine große Annäherung an

die Mole 3 gewählt wurde, dieses aus der Grundüberlegung heraus, so dicht wie möglich an die Einlauflinie zur 5.Schleuse zu kommen um die nachfolgenden Kursänderungen so klein wie möglich zu halten.

- **Aus den Ergebnissen dieser drei Referenzläufe ist tendenziell schon erkennbar, dass dem Strom und der Einlaufstrategie eine besondere Bedeutung zukommt.**



Der nächste zu betrachtende Störfaktor ist der Wind. In diesem Fall wurden die Windreferenzläufe mit dem NOKmax-Schiff gefahren, da bei einem Containerschiff der Windeinfluss erwartungsgemäß größer ist.

Für die Referenzläufe wurden zwei gegenläufige Windrichtungen gewählt, nämlich Nordwest und Südost, mit Windstärken von jeweils Beaufort 7.

Diese Windrichtungen stehen in einem Winkel von 90° auf die Einlauflinie zur 5.Schleuse und sollten Aufschluss darüber geben, ob mit den vorgegebenen Schlepperkräften (2 Schlepper zu je 35 t Pfahlzug) bei auflandigem Wind die Berührung der Spundwand verhindert oder aber die Annäherungsgeschwindigkeit unter  $20 \text{ cms}^{-1}$  ( $\approx 0,4$  Knoten) gehalten werden kann. Bei der ablandigen Windrichtung war zu prüfen, ob die auf die Lateralfäche ( $4900 \text{ m}^2$ ) des Schiffes wirkende Windlast mithilfe der Schlepper soweit kompensiert werden kann, dass zusätzlich eine Bewegungsgröße in Richtung der Einlauflinie aufgebaut werden kann.

Bei dem Lauf mit dem NW-Wind ist auffällig, dass mit dem Abbau der Fahrt beim Passieren der Mole 3 die Driftkomponente merkbar zunahm und das Schiff sich schnell der Spundwand näherte. Beim Berühren der Spundwand betragen die Vorausschwindigkeit und die Quergeschwindigkeit etwa 0,4 Knoten bei einer parallelen Kurslage zur Spundwand. Kritisch an diesem Lauf war jedoch die gefährliche Annäherung des Hecks an die schräge Spundwand zur Mole 3. Hier hätte allerdings ein kurzes Vorausmanöver mit der Maschine Abhilfe geschaffen.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Etwas anders sieht der Manöververlauf bei dem Südostwind aus. Die Anlaufphase konnte wiederum optimal ausgeführt werden, allerdings leitete der Lotse schon bei Erreichen der Mole 3 eine Drehung ein, was dazu führte, dass aufgrund der Geschwindigkeit (ca. 3.3 Knoten) das auftretende Giermoment zu einem leichten Überdrehen führte.

Die beiden Referenzläufe zeigen zunächst tendenziell, dass

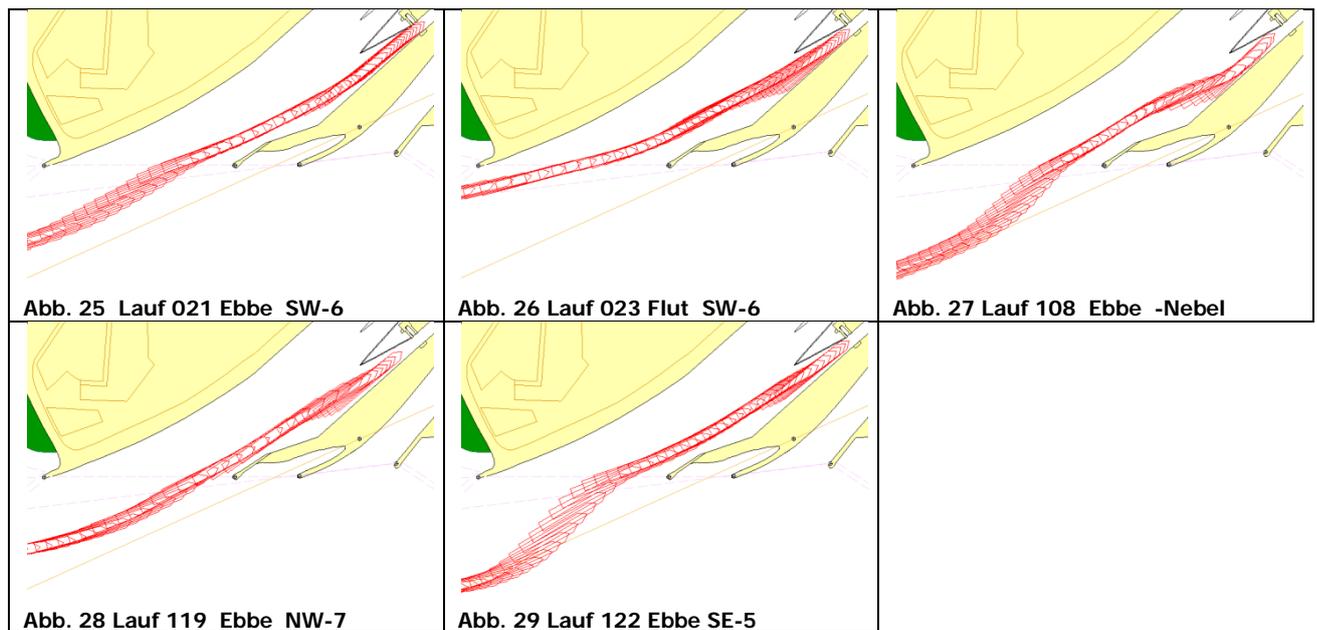
- **die Annäherungsphase vom Revier zur Vorhafeneinfahrt kontrollierbar ist,**
- **die auftretende Driftkomponente mithilfe der Schleppkraft kompensiert werden kann**
- **dem Giermoment in der Einlaufphase eine erhöhte Bedeutung zukommt.**

Aus den Referenzläufen wird somit schon erkennbar, dass die Einlaufphase und insbesondere der Ansteuerungsverlauf zur Schleuseneinfahrt in dieser Variante mit gewissen Schwierigkeitsgraden behaftet sind.

Eine endgültige Aussage über die nautisch/technische Machbarkeit des Einlaufens kann aber nur aus den weiteren Läufen abgeleitet werden, bei denen sowohl der Strom als auch der Wind zur Wirkung kamen.

### **7.2.2.2 Einlaufen mit NOK-max**

Neben den 5 Referenzläufen wurden weitere 5 Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten.



Im ersten Ansatz bestätigen die Laufergebnisse im weitesten Sinne die im vorangegangenen Kapitel erwähnten Tendenzen der Referenzläufe bezüglich Annäherungsphase, Beherrschung der Driftkomponente und Einfluss des Giermomentes.

Eine ausschließliche Betrachtung der Bahnverläufe ohne Berücksichtigung der während der Läufe eingesetzten Kräfte lässt den Schluss zu, dass

- **im Prinzip von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit besteht, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**

Dieses sagt aber noch nichts über die Qualität und die Sicherheit der Strategie bzw. des Manövers aus. Dazu ist es erforderlich die Läufe einer genaueren allgemeinen Betrachtung zu unterziehen.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Zunächst ist festzustellen, dass

- **keines der Manöver eine Kontinuität im Ablauf aufweist**

was wiederum darauf hindeutet, dass häufigere Korrekturen der Lage des Schiffes notwendig waren.

Lageveränderungen des Schiffes auf kleinem Raum sind insbesondere in der Endphase zur Ansteuerung der Schleuseneinfahrt, also im Bereich zwischen der Mole 3 und dem Beginn des Leitwerks zu beobachten.

Sicherlich sind auch in der heutigen Formgebung des Vorhafens Lageveränderungen der Schiffe beim Anlaufen zu den „Neuen Schleusen“ in Abhängigkeit der herrschenden Umweltbedingungen notwendig, allerdings steht den Lotsen dazu mehr Manövrierraum zur Verfügung.

Eine entscheidende Größe spielt hierbei die Distanz zwischen der Verbindungslinie der Mole 3 mit der Mole 4 und dem Beginn des Leitwerks.

- **Diese beträgt zum Mittelleitwerk der „Neuen Schleusen“ ca. 770 Meter und**
- **zum neuen Leitwerk der 5. Schleuse ca. 600 Meter.**

d.h. der verfügbare Manövrierraum zum Aufstoppen des Schiffes und Ausrichten auf die Einlauflinie ist um ca. 170 Meter verkürzt, was etwa 60% der Schiffslänge des NOKmax entspricht.

Daraus folgt wiederum, dass

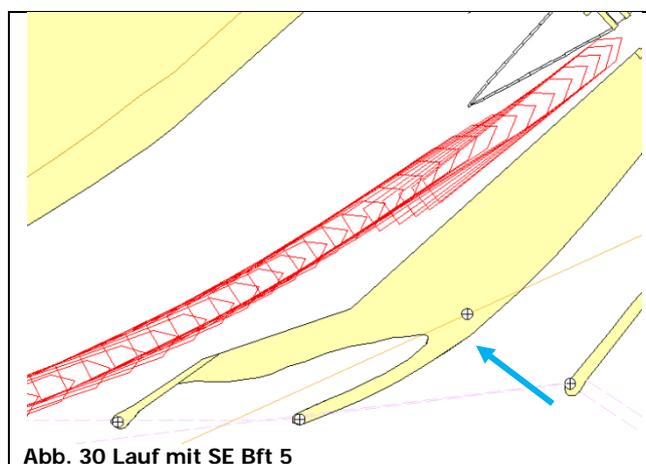
- **entweder die Passiergeschwindigkeit des Stromschnitts verringert werden muss, mit der Konsequenz, dass Wind- und Stromkräfte in dieser kritischen Phase länger auf das Schiff einwirken,**
- **oder eine der vorherrschenden Driftkomponente entsprechende Einlaufposition zwischen den Molen 3 und 4 zu wählen, die u.U. das Ausrichten auf die Einlauflinie erheblich erschweren kann.**

Aus den Aufzeichnungen der Simulationsdaten (siehe hierzu Band 917-2 Datenplotts) ist abzulesen, dass in vielen Fällen zum Aufstoppen die volle Leistung von 35 t des Achterschleppers notwendig war und teilweise die Maschine auf „Rückwärts“ laufen musste. Gerade letzteres ist für die Ansteuerung der Einlauflinie hinderlich, da im Prinzip die Kontrolle über das Schiff abgegeben wird und zusätzlich ungewünschte Drehungen erzeugt werden.

Genau aus den eben gesagten Gründen heraus ist die immer wieder zu beobachtende Diskontinuität der Bahnführungen zu erklären.

Hinzu kommen aber noch zwei weitere Aspekte, die einen negativen Einfluss auf den Zulauf zur 5.Schleuse nehmen, nämlich

- **die Spundwand als Manövrierraumbegrenzung und**
- **die Leitwerkstruktur als Begrenzung der Schlepperaktivitäten.**



Beides soll beispielhaft mit der nebenstehenden Abbildung 29 (Lauf 122) erläutert werden.

In diesem Fall herrschte ein ablandiger Wind, sodass die Schlepper überwiegend in Richtung der Spundwand arbeiten mussten, bzw. der Achterschlepper mit einer zusätzlichen Achterauskomponente. Die Daten zeigen, dass der Vorschlepper kurz nach Passieren des Leitwerks

nur noch sehr geringe Seitenkräfte aufbringen konnte, da ein seitliches Austauen auf beiden Seiten beschränkt war. Ähnliches gilt für den Achterschlepper, der durch die Spundwand behindert wurde. Diese beiden Umstände führten dazu, dass das Schiff nicht mittig auf die Schleuseneinfahrt gebracht werden konnte, sondern das Leitwerk mit einer Voraugeschwindigkeit von etwa 1.4 Knoten und einer Quergeschwindigkeit vorne von etwa 0.2 Knoten berührte.

Bei einem stärkeren ablandigen Wind ist zu erwarten, dass das Manöver aufgrund der besagten Einschränkungen schwieriger zu gestalten ist, da ein Erreichen der Einlauflinie nicht in der Form gestaltet werden kann, wie es beispielsweise im heutigen Vorhafen gemacht wird, nämlich das Schiff bei Einfahrt in den Vorhafen südlich der Einlauflinie zubringen.

Bei auflandigen Winden gilt dagegen, dass der Achterschlepper deutlich länger eingesetzt werden kann, der Vorschlepper aber bereits bei Erreichen der Mittelmole kaum mehr die Driftkomponente des Vorstevens kompensieren kann, was heißt, dass das Schiff aller Wahrscheinlichkeit nach die Spundwand berühren wird.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Beim Einsatz der Schlepper und den von ihnen erzeugbaren Kräften ist zu berücksichtigen, dass die Propeller ständig genügend Wasserzufluss zur vollen Kraftentfaltung benötigen. Dieses ist jedoch dicht an der Spundwand nicht mehr gegeben, sodass mit Verlusten der Schleppkraft zu rechnen ist.

Bleibt letztlich noch eine Wechselbeziehung zu erwähnen, nämlich Schiffsbreite und Schleusenbreite in Zusammenhang mit den möglichen Abweichungen vom Einlaufwinkel.

Die Schleusenkommer hat eine Richtung von  $47.9^\circ$  (von der Elbe aus gesehen) bei einer lichten Breite von 35 Meter, somit verbleiben bei einer Schiffsbreite von 32.5 Meter 2.5 Meter Freiraum zwischen Bordwand und Schleusenmauer. Dieser geringe Unterschied verlangt eine deutlich präzisere Ausrichtung des Schiffes, als beispielsweise bei einer breiteren Schleuse, um Punktberührungen zwischen Schiff und Bauwerk zu vermeiden, insbesondere zwischen dem überfallenden Steven und dem Schleusenhaupt.

- **Bei Festlegung der endgültigen Bauausführung ist diesem Umstand unbedingt Rechnung zu tragen.**

Auch wenn für die einzelnen Varianten eine eigene Zusammenfassung erfolgt, ist es sinnvoll die einzelnen Unterkapitel getrennt abschließend zu bewerten.

Aus den Manöverergebnissen des Einlaufens mit dem NOKmax-Schiff können folgende Kernaussagen hergeleitet werden:

- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**
- **Die versetzte Lage der Schleusenmitte bildet keine gerade Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt aus, sondern verlangt nach Passieren der Mole 3 eine Kursänderung.**
- **Die Bahnführung kann deshalb nur schwerlich in einem kontinuierlichen Bewegungsablauf erfolgen, es sind Kurs- und Lagekorrekturen auf kurzer Distanz notwendig, was grundsätzlich externe Kräfte verlangt.**
- **Die Verkürzung des Vorhafens für die 5.Schleuse erschwert das Aufstoppen des Schiffes bei gleichzeitiger Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

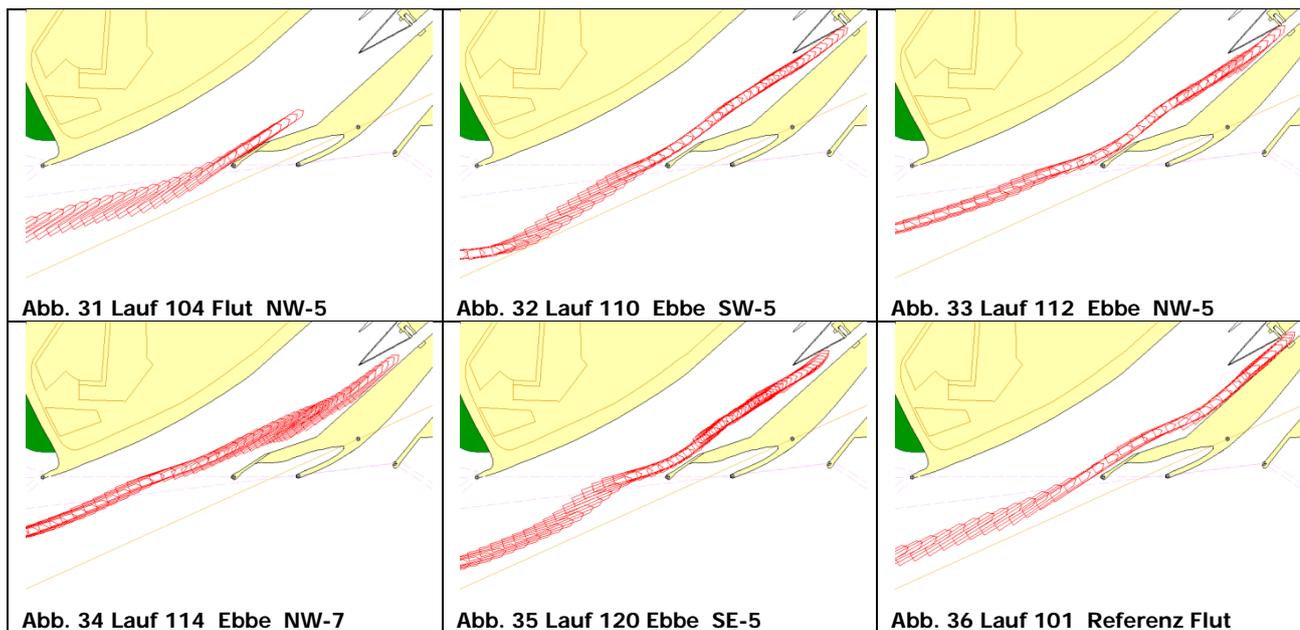
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**
- **Auflandige Winde (NW-Quadrant) mit Stärken oberhalb Beaufort 4 verlangen eine Bauausführung der Spundwand, die ein Anlegen des Schiffes an diese erlaubt oder aber stärkere Schlepperkräfte.**
- **Wegen der geringen Einfahrtsbreite der 5.Schleuse sind besondere Schutzmaßnahmen für das Schleusenaupt notwendig, z.B. durch Änderung der Leitwerkrichtung.**

An dieser Stelle des Berichts scheint es noch nicht sinnvoll zu sein, die obigen Kernaussagen, soweit sie das Manöver negativ beeinflussen, durch Schlussfolgerungen oder Empfehlungen zu ergänzen.

Dieses erfolgt zusammenfassend für alle Laufdurchführungen im Kapitel 7.7

### 7.2.2.3 Einlaufen mit VG5-10.4m

Neben den 5 Referenzläufen wurden weitere 5 Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten.



Im ersten Ansatz bestätigen auch diese Laufergebnisse wiederum im weitesten Sinne die im Kapitel 7.2.2.1 erwähnten Tendenzen der Referenzläufe.

Eine ausschließliche Betrachtung der Bahnverläufe ohne Berücksichtigung der während der Läufe eingesetzten Kräfte lässt, wie schon beim Containerschiff, den Schluss zu, dass

- **im Prinzip von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit besteht, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**

Dieses sagt aber wiederum noch nichts über die Qualität und die Sicherheit der Strategie bzw. des Manövers aus. Dazu ist es erforderlich die Läufe einer genaueren Betrachtung zu unterziehen.

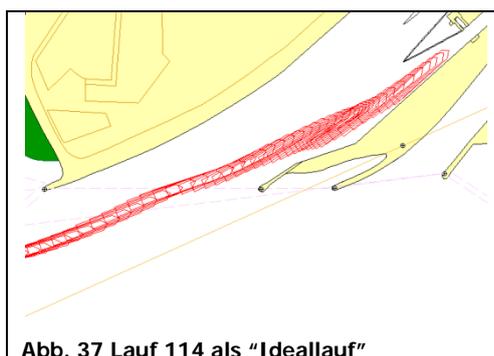
Auffällig an den Läufen ist ein bestimmtes Merkmal:

- **Bei fünf der sechs dargestellten Läufe wurde für die Einfahrt in den Vorhafen eine große Annäherung an die Mole 3 gewählt und zwar unabhängig von der Strömungsrichtung.**

Die Auswertung der De-Briefingsgespräche ergibt, dass diese bewusst gewählt wurde, um so dicht an die Einlauflinie zu kommen, d.h. die nach Passieren der Mole 3 notwendige Kurskorrektur so gering wie möglich zu machen.

Wie die sechs Läufe zeigen, ist dieses mit der gewählten Fahrstrategie erzielbar, aber sie zeigen auch, dass

- **diese Manöverstrategie, insbesondere bei Flutstrombedingung, mit deutlichen Risiken behaftet ist.**



**Abb. 37 Lauf 114 als „Ideallauf“**

Nur eine Änderung der Einlaufposition in den Vorhafen hilft, das Manöverrisiko abzubauen. Die nebenstehende Abbildung 36 zeigt prinzipiell eine Art „Idealmanöver“. In diesem Lauf konnte das Schiff mit der gewählten Einfahrstrategie und dem Abstand zu Mole 3 auf einer nahezu kontinuierlichen und sicheren Bahnführung gehalten sowie auf Einlaufkurs in die Schleuse gebracht werden.

Sicherlich war der nordwestliche Wind in der Endphase hilfreich, aber bei diesem Fahrzeug mit der relativ geringen Windangriffsfläche sind die auftretenden Windkräfte deutlich geringer als vergleichsweise bei dem Containerschiff.

Vergleicht man die Schiffspositionen der anderen Läufe, speziell hinsichtlich der Kurslage, so wird erkennbar, dass die Lage, wie sie in Lauf 114 als ideal bezeichnet werden, auch bei den restlichen Läufen umsetzbar gewesen wäre.

Dieses stützt primär die erste Generalaussage, dass nämlich aus nautischer Sicht Manöver entwickelt werden könne, die ein Einlaufen ermöglichen.

Ähnlich wie bei den Läufen mit dem Containerschiff „NOKmax“ muss aber auch hier ein spezielles Augenmerk auf die Endphase des Manövers geworfen werden, um ein Gesamturteil der Machbarkeit fällen zu können.

Aus den Laufdaten und den De-Briefingsgesprächen wird deutlich, dass

- **die Problembereiche Ansteuern der Einlauflinie, fehlende Reserve im Manövrierraum, Einsatzmöglichkeit der Schlepper, wie sie schon für das NOKmax-Schiff in Kapitel 7.2.2.2 aufgezeigt wurden, weiterhin Gültigkeit besitzen.**

Lediglich der Störgröße „Wind“ kommt eine geringere Bedeutung zu, was aber wieder durch die schlechteren Manövriereigenschaften eines Massengutschiffes aufgehoben wird.

Massengutschiffe verhalten sich aufgrund ihres Völligkeitgrads und der allgemein geringeren Antriebsleistung, verglichen mit Containerschiffen, deutlich „träger“, d.h., dass Lageänderungen mehr Kraftaufwand und/oder Raumbedarf benötigen.

Daraus kann wiederum abgeleitet werden, dass

- **bei eingeschränktem Manövrierraum das Gesamtmanöver sehr präzise ablaufen muss, um notwendige Lageänderungen in der Endphase auf ein Minimum zu beschränken.**

Es kann jedoch nicht garantiert werden, dass eine Manöverplanung, auch wenn sie noch so gut ist, immer und im geplanten Ablauf umgesetzt werden kann, weil zu viele Faktoren eine Rolle spielen und die können nicht jederzeit in vollem Umfang eingeschätzt werden.

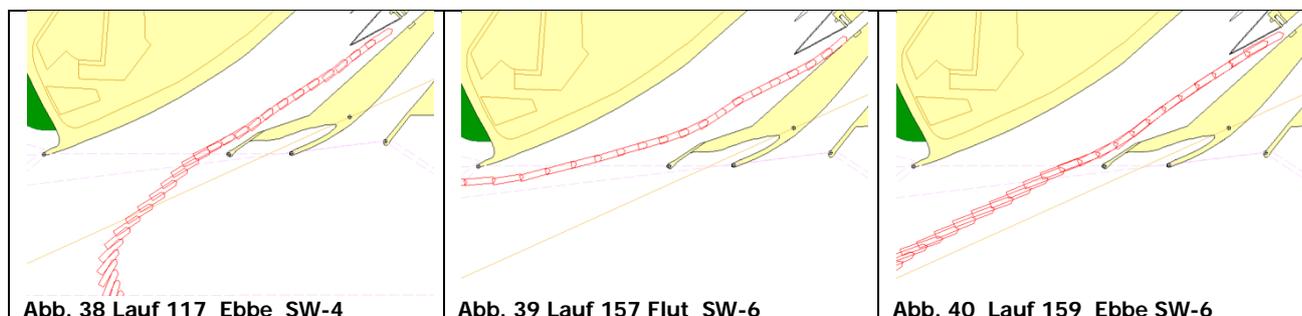
#### **7.2.2.4 Einlaufen mit VG4**

Neben der Überprüfung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit zum Einlaufen in die 5.Schleuse mit den beiden Hauptuntersuchungsschiffen (NOKmax und Tanker VG5), war es ebenfalls erforderlich Schiffe kleinerer Verkehrsgruppen in die Untersuchung einzubeziehen.

Da nach Fertigstellung der 5.Schleuse über einen längeren Zeitraum eine der beiden vorhandenen „Neuen Schleusen“ wegen der notwendigen Grundüberholung geschlossen sein wird, muss der gesamte Schiffsverkehr über der einen „Neuen Schleuse“ und der 5. Schleuse abgewickelt werden.

Dabei bilden die Schiffe die „kleineren“ Schiffe den Hauptanteil des Gesamtaufkommens und müssen somit auch die 5.Schleuse sicher anlaufen können.

Dieses wurde mit den drei folgenden Manövern mit einem Schiff der Verkehrsgruppe 4 (Autotransporter) überprüft.



Aus den Laufergebnissen und nach Meinung aller Experten ist zu erwarten, dass

- **das Einlaufen mit Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner problemlos durchgeführt werden kann und nur geringfügig von den heutigen Gegebenheiten abweicht.**

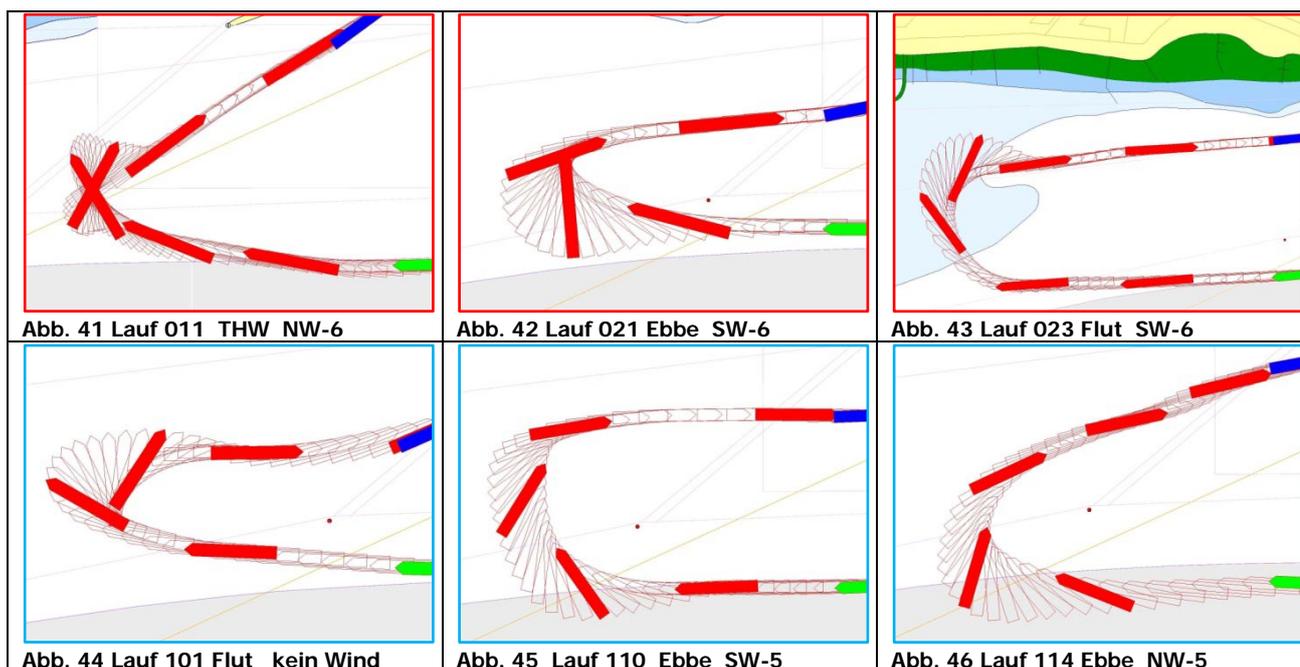
#### **Anmerkung:**

Die Ursache für den in der Tabelle als „abgebrochen“ gekennzeichneten Lauf 116 ist darin begründet, dass die Bankeffizientkoeffizienten noch Gültigkeit hatten aus der Kalibrierung für die Kanalfahrt und noch nicht für diesen Untersuchungsabschnitt korrigiert waren. Die oben abgebildeten Läufe sind mit dem neu kalibrierten Modell gefahren worden.

### **7.2.3.5 Anlaufmanöver –Drehen auf der Elbe**

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ausschließlich die nautisch/technische Manöverbearbeitbarkeit des Einlaufens in den Vorhafen und in die 5. Schleuse behandelt, nicht jedoch die vorangegangene Phase des Gesamtmanövers.

Die Untersuchungsläufe waren in ihrer Mehrzahl so angesetzt, dass das einkommende Fahrzeug aus Hamburg kam und somit noch ein Drehmanöver durchzuführen war. Obgleich dieses Drehmanöver nicht in direkter Abhängigkeit der Planungsmaßnahmen für die 5.Schleuse stehen, sollen sie hier aber der Ordnung halber Erwähnung finden. Die folgenden sechs Läufe sollen stellvertretend für alle Drehmanöver die Machbarkeit demonstrieren.



In der oberen Reihe der Abbildungen sind Manöver mit dem NOKmax, in der unteren Reihe Manöver mit dem Tanker VG5-10.4m dargestellt.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Die Manöverergebnisse der gezeigten Versuchsläufe als auch in der Gesamtheit aller Läufe lassen die folgenden Kernaussagen zu:

- **Die Drehmanöver können, unabhängig der äußeren Randbedingungen, bei Einhaltung der bewährten Strategien durchgeführt werden.**

Daraus kann weiter abgeleitet werden, dass

- **die notwendigen Drehmanöver nicht präjudizierend für die Einlaufstrategie sind, sondern ausreichend Spielraum für Strategieänderungen bezüglich des Einlaufens lassen, sofern solche Änderungen notwendig sind.**

Ähnliches gilt auch für den Zulauf der von See kommenden Schiffe. Auch hier können die bewährten Strategien zum Anlaufen der Vorhafeneinfahrt zur Anwendung kommen.

Für die Entscheidungsfindung bedeutet dies, dass

- **die Ergebnisse der Einlaufmanöver in den Vorhafen und in die 5.Schleuse vorrangig Einfluss nehmen auf die zu wählende Bauausführung des Zufahrtbereiches zur Schleuse.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### 7.2.3 Auslaufen - Übersicht

Für die Bewertung des Auslaufens aus der 5. Schleuse in den Vorhafen und auf das Elbrevier stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

ÜBERSICHT Auslaufen Variante 1			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
008	NOK	Referenz Hydrodynamik	Aus/V1	nil	nil	nil	
014	NOK	Referenz Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	
015	NOK	Strategie Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	Simulatorfehler
017	NOK	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
018	NOK	Strategie Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	
020	NOK	Referenz Wind	Aus/V1	nil	SE	Bft.6	
022	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
024	NOK	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
118	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
123	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	SE	Bft.5	Keine Aufzeichnung
102	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	Flut	nil	nil	Simulatorfehler
103	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	THW	nil	nil	
105	VG5T	Standard	Aus/V1	Flut	NW	Bft.5	
107	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	
111	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.5	
113	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.5	
115	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.7	Simulatorfehler
121	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
158	VG4B	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
160	VG4B	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.6	

**Tabelle 9 Übersicht Auslaufen Variante 1**

Die Bewertungsstruktur der Auslaufmanöver wird wegen eines möglichst direkten Vergleiches in gleicher Weise aufgebaut wie für die Einlaufmanöver, dh., mit der Betrachtung der so genannten „Referenzläufen“ zu beginnen und im weiteren Verlauf des Bewertungsprozesse die Evaluierung der so genannten Standardläufe, zunächst der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe und abschließend die Läufe mit Schiffen kleinerer Verkehrsgruppen vorzunehmen. Da sich während der Versuchsläufe gezeigt hat, dass die Manöverphasen im Vorhafen und auf der Elbe in enger Wechselbeziehung stehen, wird hier keine Trennung der Manöver in eigene Kapitel vorgenommen.

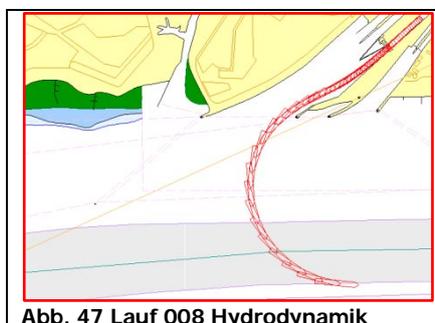
#### **Anmerkungen**

An dieser Stelle muss auf ein Phänomen hingewiesen, dass leider zu Beginn der Läufe im Simulator auftrat, nämlich dass es innerhalb der Schleuse zu Kollisionen des Eigenschiffes mit nicht kollisionsrelevanten ECDIS-Objekten kam. Hier lag ein Programmfehler vor (Organisation der ECDIS-Layer), der aber behoben wurde. Da das mathematische Modell zurzeit die Hydrodynamik in einer Schleuse noch nicht den realen Gegebenheiten entsprechend rechnet, wurde die überwiegende Anzahl der Läufe später aus einer Position heraus gestartet, bei dem das Heck des Schiffes am Schleusenaupt lag. In Abstimmung mit den Lotsen wurde für diese Position eine Anfangsgeschwindigkeit von 1,5 Knoten gewählt.

### 7.2.3.1 Auslaufen – Referenz

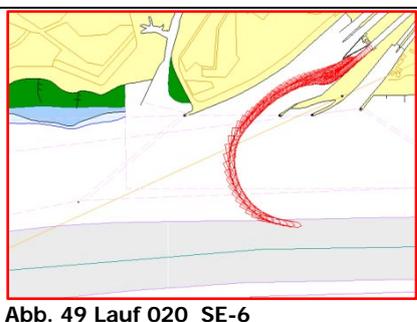
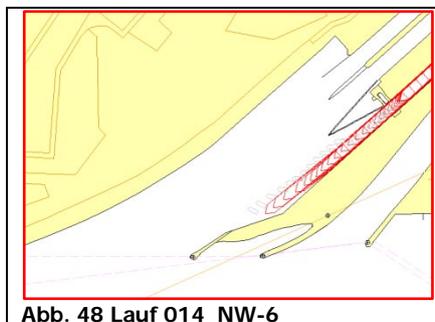
Im Allgemeinen können Auslaufmanöver als die weniger schwierigen Manövertypen bezeichnet werden, da das Schiff aus einem quasi-stationären Zustand heraus in Bewegung gesetzt wird.

Mit den jetzt zu betrachtenden Referenzläufen galt es zu überprüfen, ob die Formgebung der Variante 3 ein sicheres Positionieren des Schiffes für das Auslaufen in das Elbe-Revier erlaubt.



Die nebenstehende Abb. 47 zeigt einen Referenzlauf des NOKmax-Schiffes ohne den Einfluss externer Störgrößen. Das Laufergebnis zeigt, dass das Manöver prinzipiell durchführbar ist, wenn auch der Passierabstand zur Mole 3 etwas zu gering ausfiel.

Auffällig an dem Lauf ist, dass für das Eindrehen in das Elbe-Fahrwasser sehr viel Platz und Zeit beansprucht wurde.



Die Läufe 014 und 020 demonstrieren den Windeinfluss beim Auslaufen.

Bei dem Lauf 014, aufländiger Wind der Stärke Beaufort 6, zeigt schon erste Grenzbedingungen für das Auslaufen mit dem Containerschiff NOKmax. Der Versuch das Schiff mit den bordgestützten Manövrierhilfen (Bugstrahler und Ruder) und den externen Schleppkräften bei gleichzeitiger Fahrtaufnahme in eine Auslaufposition zu bringen, schlug fehl. Hier galt es somit, im weiteren Verlauf der Untersuchung machbare Fahrstrategien zu entwickeln, um ein Auslaufen zu ermöglichen.

Bei dem Lauf 020, ablandiger Wind mit der Stärke Beaufort 6, bestand der Vorteil, dass die Windkräfte bereits in die gewünschte Bewegungsrichtung zeigten. Das Positionieren in die Auslaufposition war ohne großen Aufwand möglich.

Bei dem Lauf 020, ablandiger Wind mit der Stärke Beaufort 6, bestand der Vorteil, dass die Windkräfte bereits in die gewünschte Bewegungsrichtung zeigten. Das Positionieren in die Auslaufposition war ohne großen Aufwand möglich.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

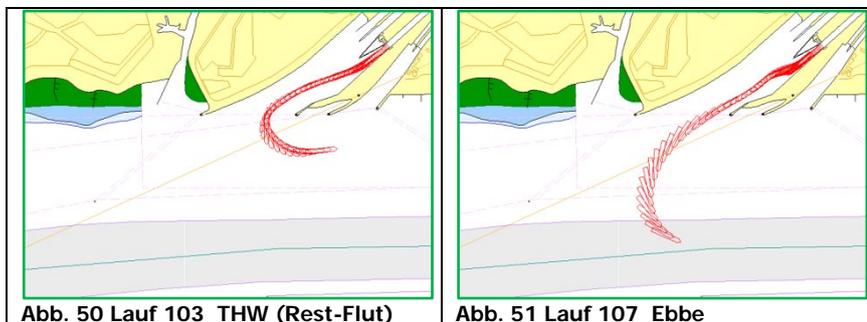


Abb. 50 Lauf 103 THW (Rest-Flut)

Abb. 51 Lauf 107 Ebbe

Die beiden letzten Referenzläufe galten der Überprüfung des Stromeinflusses und wurden wegen des größeren Tiefgangs mit dem Tanker VG5-10.4m gefahren.

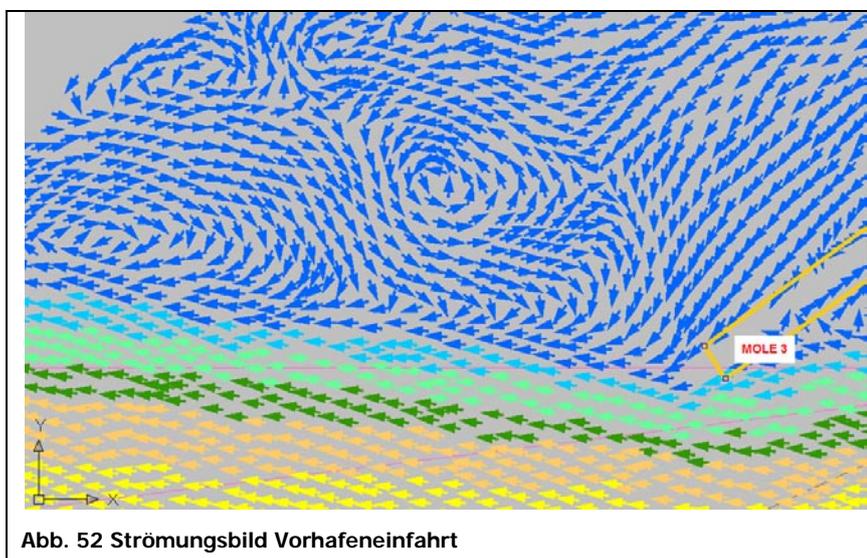


Abb. 52 Strömungsbild Vorhafeneinfahrt

Wie den Stromdokumentationen<sup>3</sup> entnommen werden kann, herrschen innerhalb des Vorhafens nur geringe Strömungen mit Geschwindigkeiten bis zu 0,5 Kn. ( $\approx 0,2 \text{ ms}^{-1}$ ), allerdings mit ständig wechselnden Richtungen (Verwirbelungen), wie beispielhaft in der Abb. 52 dargestellt, wobei die dunkelblauen Pfeile Strömungsgeschwindigkeiten bis 0,5 Knoten repräsentieren.

Die Ergebnisse der beiden Läufe zeigen, dass

- die Störgröße „Strom“ keine zusätzliche Erschwernis für das Auslaufen darstellt im Vergleich zur heutigen Situation.

Insgesamt kann aus den bisherigen Laufergebnissen, ähnlich wie schon beim Einlaufen festgestellt, tendenziell geschlossen werden, dass

- aus nautischer Sicht, ohne Berücksichtigung einschränkender Randbedingung, die Möglichkeit besteht, Fahrstrategien zu entwickeln, die ein Auslaufen der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe erlauben.

<sup>3</sup> Siehe hierzu Band 6 und Band 7

Dieses sagt aber noch nichts über die Qualität und die Sicherheit der Strategie bzw. des Manövers aus. Dazu ist es erforderlich die Läufe einer genaueren allgemeinen Betrachtung zu unterziehen.

Nahezu allen Referenzläufe ist gleich, dass

- **die Manöverphase bis zum Erreichen einer sicheren Auslaufposition die Phase zu sein scheint, der besondere Aufmerksamkeit bei den folgenden Evaluierungen zu schenken ist.**

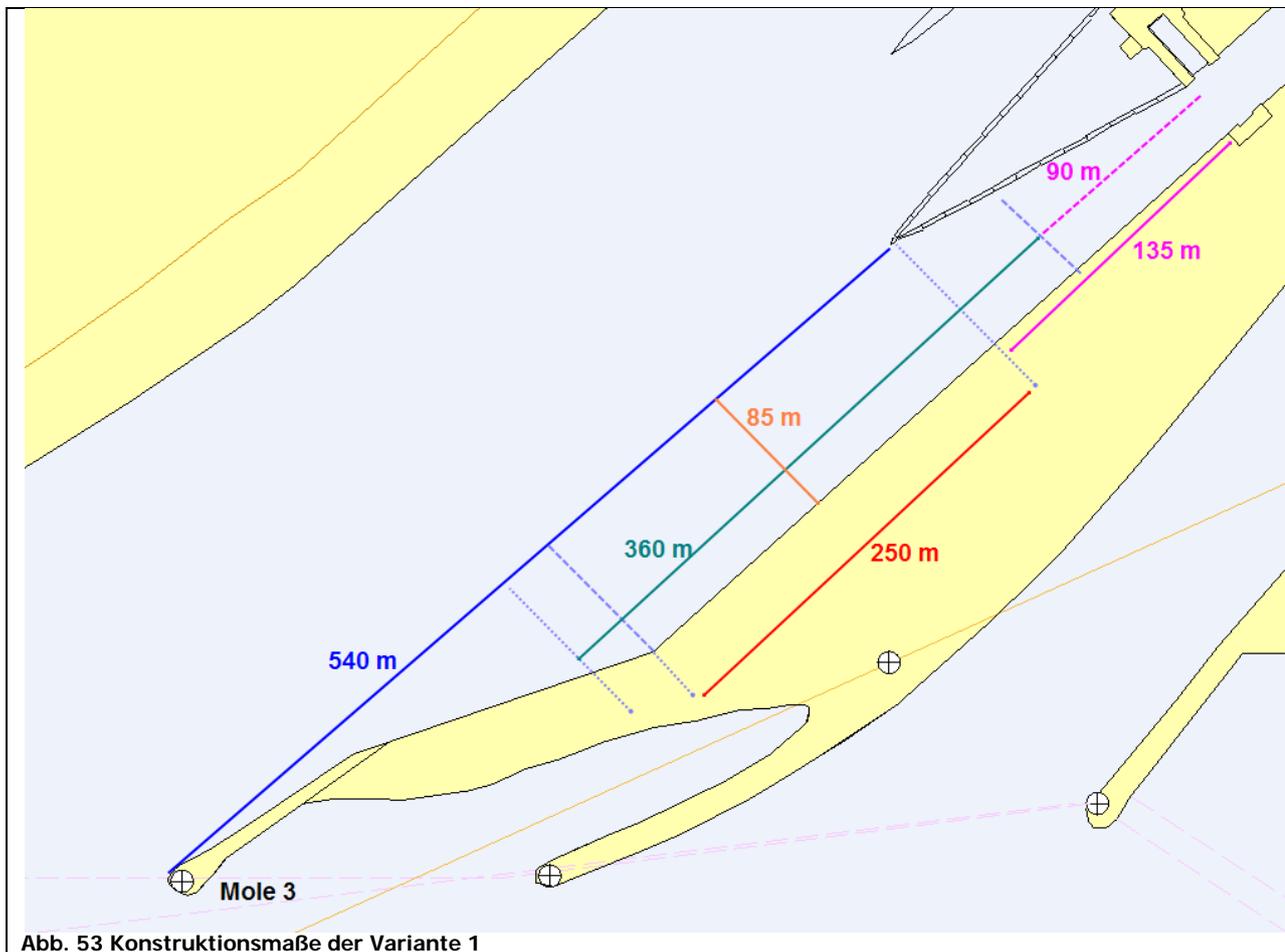
Daraus entsteht im ersten Ansatz die Schlussfolgerung, dass

- **die Machbarkeit des Erreichens einer sicheren Auslaufposition einerseits in Abhängigkeit zur jeweiligen Variante (hier Variante 1 –Erhalt Mole 3) steht und andererseits in der Manöverdurchführung vom heutigen Standard abweicht, z.B. Auslaufen aus der „Neuen Süd“.**

Da, wie eingangs erläutert, bei den Referenzläufen alle oder bestimmte Störgrößen ausgeschaltet waren, ist es sinnvoll den neuralgischen Punkt des Auslaufmanövers, nämlich das Verbringen des Schiffes auf eine Auslaufposition nach Verlassen der Schleuse, bereits hier näher zu beleuchten.

Dies ergibt im Weiteren die Möglichkeit, die Auswirkungen speziell für die Standardläufe der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe getrennt zu quantifizieren.

Um die Gesamtproblematik beim Auslaufen aus der Schleuse und Finden einer adäquaten Auslaufposition deutlich zu machen, ist es zunächst erforderlich, die Konstruktionsmerkmale der Variante 1 in Bezug auf die Abmaße des verfügbaren Manövrierraums näher zu untersuchen.



Von entscheidender Bedeutung sind dabei folgende Maße:

1. der nach Voraus verfügbare Manövrierraum (250 – 360 Meter) und
2. die mindestens gutzumachende Querdistanz (85 Meter)

Die Grundvoraussetzung ist also, dass das Schiff nach Verlassen der Schleuse mindestens 85 Meter, besser mehr, seitlich versetzt werden muss, um die Mole 3 sicher passieren zu können. Für die Durchführung dieser seitlichen Bewegung ohne gleichzeitiges Abdrehen des Stevens stehen im günstigsten Fall 360 Meter und im ungünstigsten Fall nur 250 Meter zur Verfügung.

Dabei kann von der Annahme ausgegangen werden (ohne Berücksichtigung externer Störgrößen), dass ein Einsatz des Achterschlepper zur Erzeugung von Querkräften frühestens bei der 90 Meter Marke erfolgen kann. An dieser Position (90 m) wird der Achterschlepper auf jeden Fall, abhängig

von der Breite des Seeschiffes, nur einen Austauwinkel mit einer Achteraus-Komponente leisten können. Erst ab der 135 Meter Marke ist ein querab Tauen möglich.

- **Die Einschränkung des Austauwinkels des Achterschleppers nach Norden behindert somit das Auslaufen bei auflandigem Wind (NW-Quadrant).**

Etwas anders sieht es aus, wenn man die mögliche Austaurichtung des Achterschleppers in Richtung der Spundwand betrachtet, die dann in Betracht kommt, wenn das Achterschiff gegen ablandigen Wind gehalten werden muss, um stärkere Berührungen des Leitwerks zu verhindern.

Jetzt hängt der möglich Austauwinkel von der Distanz des Achterschiffes von der Pier ab. Erst wenn das Heck einen deutlichen Abstand von der Spundwand hat, was aber wiederum von dem Leitwerk begrenzt wird, können entsprechende Querkräfte vom Achterschlepper aufgebracht werden.

- **Die Einschränkung des Austauwinkels des Achterschleppers in Richtung der Spundwand behindert somit das Auslaufen bei ablandigem Wind (SE-Quadrant).**

Nun gilt es, das Ausdrehen des Stevens zu betrachten. Prinzipiell könnte der Steven bereits dann langsam ausgedreht werden, wenn das ganze Schiff die Schleuse verlassen hat, dies entweder durch Einsatz des Bugstrahlers und/oder des Vorschleppers.

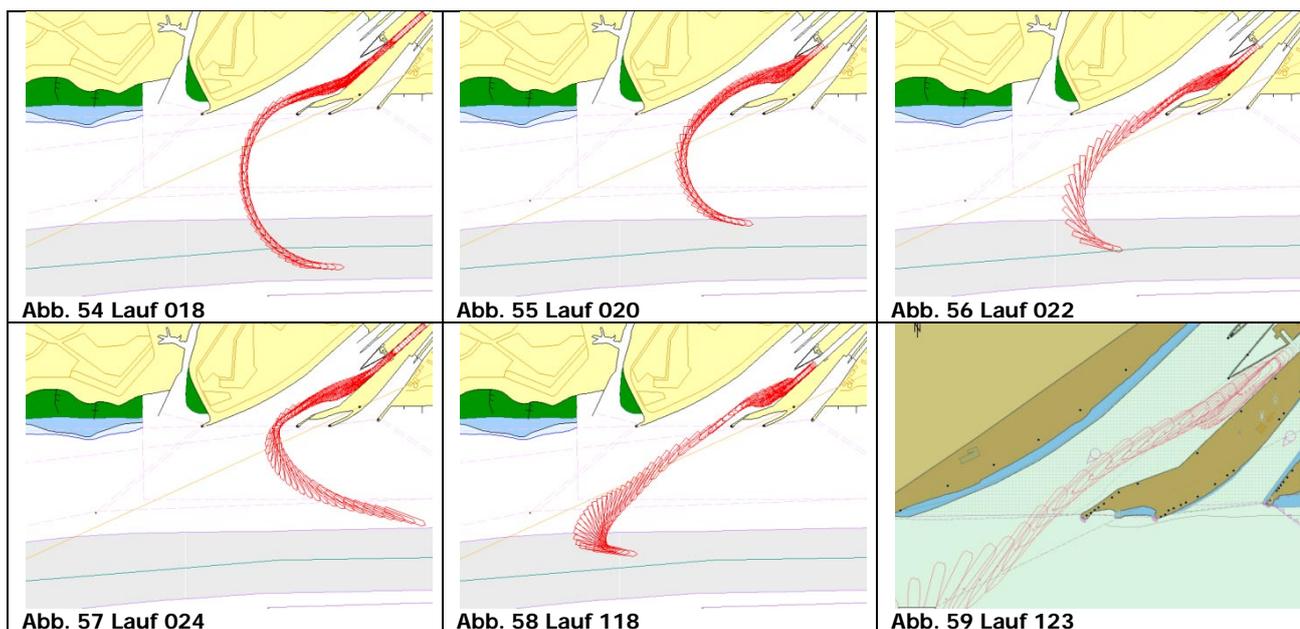
Nachteilig an diesem Verfahren ist jedoch, dass der Pivot-Point (hydrodynamischer Drehpunkt) im vorderen Teil des Schiffes liegt und somit eine Querbewegung des Hecks in Richtung der Spundwand erzeugt, die gegebenenfalls durch den Achterschlepper abgefangen werden muss.

- **Daraus ergibt sich wiederum ein komplexes Wechselspiel zwischen Querbewegungsgrößen vorne und achtern, Drehmoment-Richtung und letztlich auch den Auswirkungen externer Störkräfte (hier hauptsächlich die Windkraft und das Giermoment), was das Manöver unter dieser geometrischen Formgebung der Variante 1 in vielen Fällen erschwert.**

Dieser Gesamtkomplex muss somit bei der Evaluierung der folgenden „Standard-Manöver“ mit Vorrang hinterfragt werden, da, wie bereits gesagt, diese Phase den Erfolg des Gesamtmanövers „Auslaufen aus der 5. Schleuse und Einordnen in den laufenden Verkehr“ primär bestimmt.

### **7.2.3.2 Auslaufen mit dem NOKmax-Schiff**

Neben den 3 Referenzläufen wurden weitere 6 Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten.



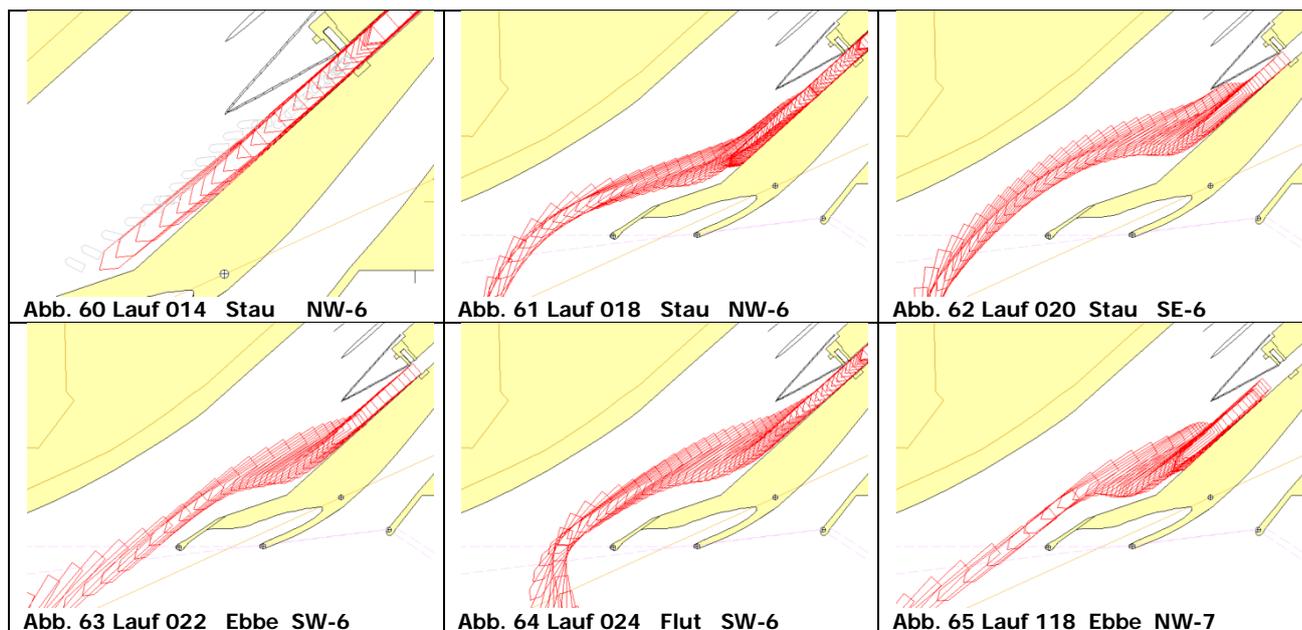
Die Ergebnisse der 6 dargestellten Läufe bestätigen zunächst die im Kapitel „Auslaufen –Referenz“ gemachte Kernaussage, dass

- **das Auslaufen aus der 5. Schleuse und das Eindrehen in das Elbefahrwasser prinzipiell machbar ist, da von der nautischen Seite die notwendigen Strategien bereit gestellt werden können.**

Wie bei allen vorangegangenen Evaluierungen gilt allerdings auch hier, dass die eben gemachte Kernaussage grundlegender Natur ist und wenig bzw. gar nichts über die Qualität der Manöver aussagt.

Da in den obigen Läuften das Zeitintervall zwischen den Schiffssymbolen gleich ist (20 Sekunden), wird schnell deutlich, dass die Anfangsphase des Manövers deutlich langsamer ablief und somit zeitaufwendiger war wie die Endphase des Manövers.

Beide Phasen des Manövers sind für die Evaluierung des Gesamtmanövers von Bedeutung, da aufgrund der Laufbeobachtungen eine Abhängigkeitsbeziehung besteht. In den nachfolgenden Abbildungen ist zunächst die Anfangsphase des Manövers abgebildet.



Da in dem hier zu betrachtenden Manöverraum der Strom eine untergeordnete Rolle spielt sollen die oben dargestellten Läufe unter dem Aspekt „Wind“ evaluiert werden.

Die beiden Läufe 014 und 018 können als Beispiel zur „Strategieentwicklung“ herangezogen werden. Bei Lauf 014 wurde versucht Steuerkraft am Heck durch Propellerdrehzahl und Ruderlage zu erzeugen, was nur dazu führte, dass das Schiff Fahrt aufnahm und der Lauf letztlich kurz vor der Kollision mit der vorderen Spundwand gestoppt wurde. Auch unter Einsatz der Schlepper und des Bugstrahlers ist es nicht gelungen, eine nennenswerte Quergeschwindigkeit aufzubauen.

Ursächlich hierfür ist neben der Hydrodynamik auch die „normale“ Physik. Mit zunehmendem Vorausvektor bei gleichbleibend kleinem Quervektor zeigt die Bewegungsergebnisierende mehr und mehr in Richtung des Vorausvektors.

Die Erkenntnisse dieses Laufes wurden nun in eine neue Strategie eingebaut, die darauf hinauslief, das Schiff zunächst parallel zur Spundwand aus der Schleuse zu bringen bis das Heck etwa in

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

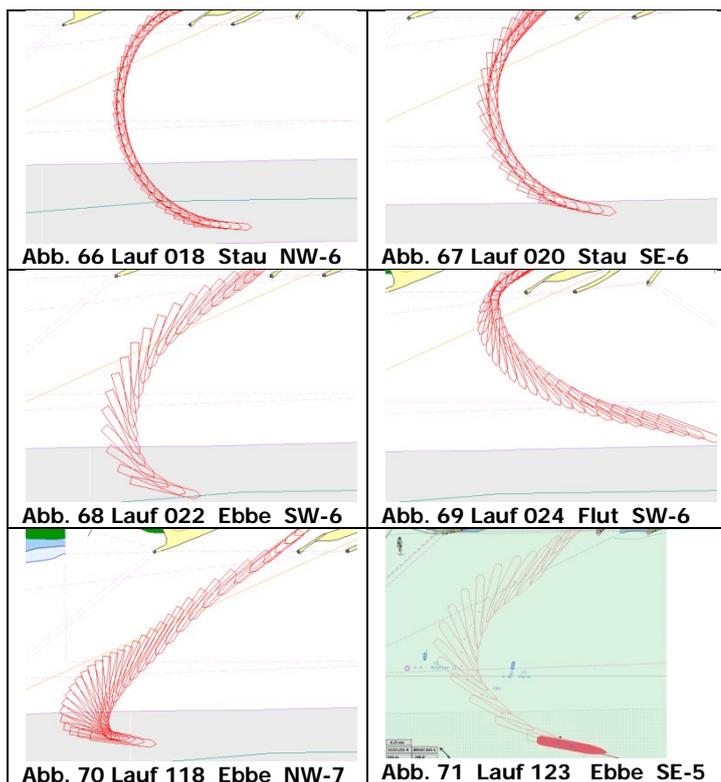
**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Höhe des Leitwerkendes steht, dann die aufgebaute Fahrt wieder zu reduzieren und mithilfe der Schlepper und des Bugstrahlers das Schiff quer abzuziehen.

Diese Strategie wurde bei allen folgenden Läufen, zum Teil leicht abgewandelt, erfolgreich angewendet. Selbst bei einem auflandigen Wind der Stärke Beaufort 7 konnte das Schiff noch mit ausreichender Sicherheit in eine Auslaufposition gebracht werden.

- **Nachteilig an diesem Verfahren ist zunächst, dass auf jeden Fall Schleppkraft benötigt wird und zwar je ein Schlepper vorne und achtern mit mindesten 35 Tonnen Pfahlzug sowie der benötigte Zeitraum.**
- **Der Zeitbedarf vom Auslaufen aus der Schleuse bis zum Erreichen der Mole 3 kann durchaus mit 20 – 30 Minuten angesetzt werden.**



Die zweite Phase des Auslaufmanövers ist das Einreihen in den fließenden Verkehr auf der Elbe.

Für die Untersuchungsläufe wurde hierfür grundsätzlich angenommen, dass das auslaufende Schiff für Hamburg bestimmt war, da diese Manövertvariante als die aufwendigere und auch mit den größeren Problembereichen anzusehen ist verglichen mit dem Auslaufen nach See.

Alle Laufergebnisse, auch die der Referenzläufe, des Auslaufens mit dem NOK-max-Schiff zeigen, dass

- **deutliche Abhängigkeiten der (machbaren) Bahnführung von den Störgrößen Wind und Strom sowie der Einsatzstrategie für die Schlepper bestehen.**
- **Die Störgröße Wind hat dabei einen signifikanten Einfluss auf die Größe des benötigten Drehraums in Richtung zum grünen Tonnenstrich. Durch das auftretende Giermoment ist diese bei nordwestlichen Winden erheblich größer als bei südöstlichen Winden.**

Demgegenüber bestimmt die Tidebedingung (Flut- oder Ebbstrom) den Versatz des Schiffes in Fahrwasserrichtung, welche aufgrund der Auslaufgeschwindigkeit von geringer Größe und somit auch von untergeordneter Bedeutung ist.

Nicht außer Acht gelassen werden darf dagegen der Zeitbedarf für das Manöver. Bei den Versuchsläufen bewegte sich dieser in Zeiträumen von 12 – 18 Minuten und lag damit höher als die heutigen Erfahrungswerte.

Dies mag im ersten Ansatz als kurz angesehen werden, muss aber im Zusammenhang mit der Verkehrstaktung (Schiffsfolge) auf der Elbe betrachtet werden, die durchaus sehr hoch sein kann, d.h. der zeitliche Abstand zwischen den auslaufenden und den einkommenden Schiffen kann durchaus sehr kurz sein.

Ein weiterer Punkt, der in die Gesamtbetrachtung einfließen muss, ist die Tatsache, dass der hier zu betrachtende Bereich sowohl dem Lotsenwechsel dient als auch teilweise als Wartebereich für Schiffe zum NOK.

Dabei ist es die Aufgabe des Lotsen, das Schiff in der kürzest möglichen Zeit aus dem Zulaufbereich der Schleusen zu bringen, das Fahrwasser zu queren und das Fahrzeug in die neue Kurslage zu bringen. Um das Manöver in der Art durchführen zu können, muss gewährleistet sein, dass innerhalb des fließenden Verkehrs eine entsprechende zeitliche Lücke in der Schiffsfolge sowohl im abgehenden als auch im einkommenden Verkehr besteht.

- **Hier ist also eine präzise Kenntnis der Verkehrslage erforderlich zusammen mit eindeutiger Kommunikation der Lotsen mit der Verkehrszentrale als auch untereinander.**

Alternativ besteht die Möglichkeit bei einer dichten Verkehrslage auf der Elbe, das Fahrzeug zunächst aus dem Vorhafen zu führen und im östlichen Zufahrtsbereich auf einen Generalkurs nach Hamburg zu legen, um die Querung des Fahrwassers dann vorzunehmen, wenn dies durch eine ausreichende Lücke zulässig ist (Absprache der Lotsen „Grün-an-Grün-Passieren“).

Wie oben bereits erwähnt, betrug der Manöverzeitraum auf der Elbe zwischen etwa 12 bis 18 Minuten und wurde von den Experten als deutlich länger bezeichnet, als er aus heutiger Erfahrung ist. Somit gilt es, die Ursache dieser Zeitverlängerung zu erforschen.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Einerseits spielt hierbei die grundsätzliche Manöverstrategie bezüglich der Schlepper eine Rolle, andererseits liegt die Ursache auch in der Ausführungsform der Variante 1 und damit in der Manöverdurchführung im Vorhafen begründet.

Wie vorher erläutert, muss das aus der Schleuse auslaufende Schiff bei geringsten Geschwindigkeiten in eine sichere Auslaufposition zur Mole 3 gebracht werden. Sobald diese Position erreicht war konnte das eigentliche Auslaufen auf die Elbe erfolgen, allerdings aus nahezu gestoppter Fahrt.

Bis zum Passieren der Mole 3 konnte somit keine ausreichende Geschwindigkeit aufgebaut werden, die ein „zügiges Drehen“ z.B. gegen das Giermoment bei Nordwest-Wind erlaubte. Daneben behindert auch das Strömungsprofil z.T. ein Drehen (siehe Lauf 022 und 024).

Das bewog die Lotsen, in weiteren Läufen die Schlepper länger angespannt zu halten, um mit deren Hilfe die Drehung durchzuführen. Dieses Verfahren ist nur dann von Erfolg gekrönt, wenn die Schleppverbandsgeschwindigkeit durch das Wasser gering gehalten wird. Mit zunehmender Fahrt durch das Wasser benötigen die Schlepper zunehmend Leistung für die Erhaltung der eigenen Lage und können somit nur noch einen stets kleiner werdenden Anteil ihrer Leistung auf die Leine bringen. Bei etwa 6-8 Knoten durch das Wasser können Schlepper normalerweise keine Leinenkraft mehr aufbringen.

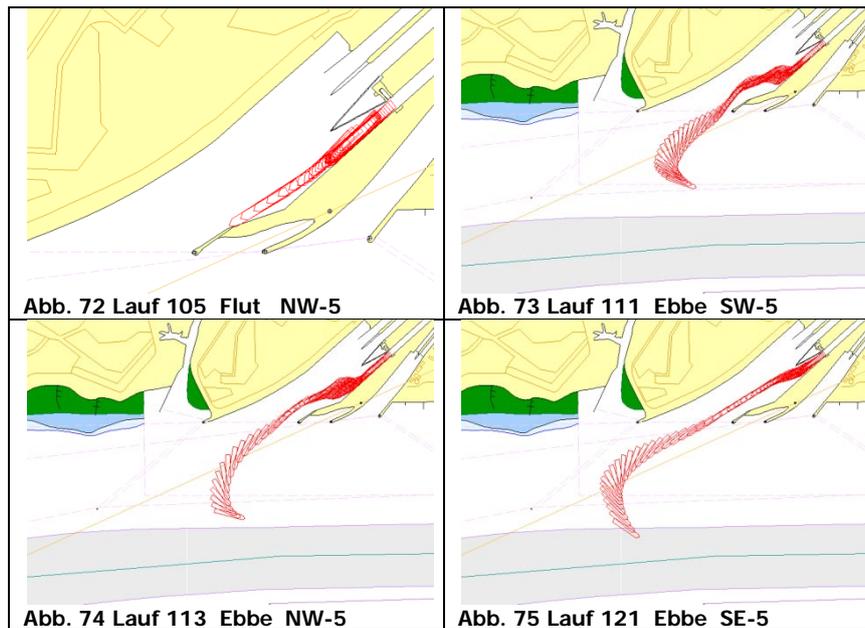
- **Geht man davon aus, dass etwa 3 Knoten Ebbstrom laufen, so muss die Geschwindigkeit des Seeschiffes deutlich unter 3 Knoten (abhängig vom Kurswinkel zum Strom) liegen, um brauchbare Schlepperkräfte zu erhalten.**

Letztlich muss auch in Betracht gezogen werden, dass sich bei zunehmenden Windstärken eine Wellenbildung einstellt, die das Arbeiten der Schlepper zusätzlich einschränken. Aus Anmerkungen hinsichtlich der Schlepper kann somit abgeleitet werden, dass

- **Der Einsatz von Schleppern nur eingeschränkt hilfreich ist, das Manöver im Elbefahrwasser positiv zu beeinflussen.**

### **7.2.3.3 Auslaufen mit VG5-10.4m**

Neben den 3 Referenzläufen wurden weitere 4 zu bewertende Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten.



Eine erste Betrachtung der nebenstehenden Laufergebnisse zeigt, dass die Bahnführungsabläufe in weiten Bereichen identisch sind, wie sie schon bei dem Containerschiff NOKmax zu beobachten waren.

Auch wird wiederum deutlich, dass die Standardstrategie, nach Verlassen der Schleuse

Fahrt aufzunehmen und das Schiff mit eigenen Steuerkräften und Schlepperunterstützung nicht mehr greift, sondern die Strategie in gleicher Weise zu ändern ist, es im vorangegangenen Kapitel ausführlich beschrieben wurde.

- **Etwas günstiger fällt das Manöver bezüglich des Platzbedarfes zum Drehen auf der Elbe aus, verglichen mit dem des Containerschiffes.**

Die Ergebnisse der 4 dargestellten Läufe bestätigen zunächst die im Kapitel „Auslaufen –Referenz“ gemachte Kernaussage, dass

- **das Auslaufen aus der 5. Schleuse und das Eindrehen in das Elbefahrwasser auch mit dem Massengutschiff der Verkehrsgruppe 5 prinzipiell machbar ist, da von der nautischen Seite die hierfür notwendigen Strategien bereit gestellt werden können.**

Wie bei allen vorangegangenen Evaluierungen gilt allerdings auch hier, dass die eben gemachte Kernaussage grundlegender Natur ist und wenig bzw. gar nichts über die Qualität der Manöver aussagt.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

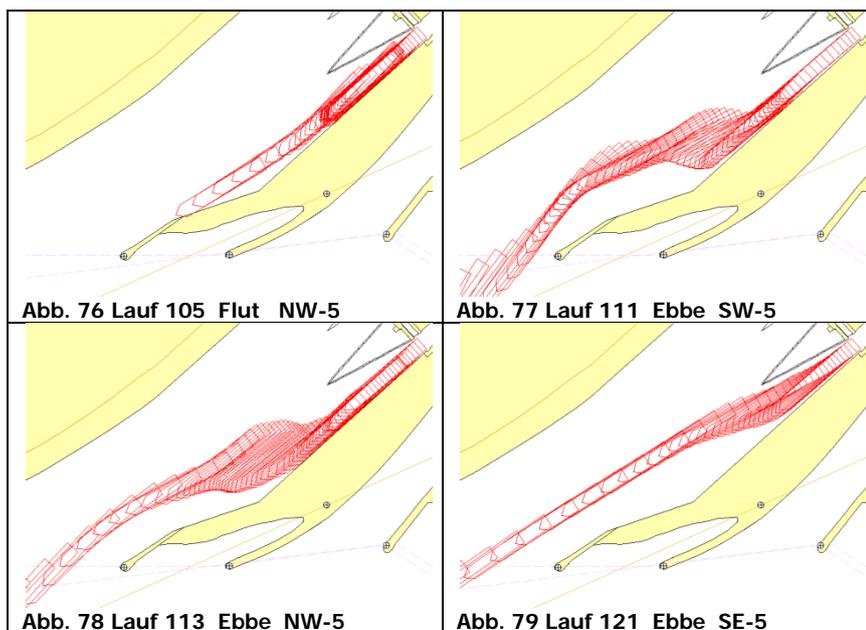
**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Es ist daher erforderlich, die Untersuchungsläufe einer näheren Betrachtung zu unterziehen und zwar getrennt nach den beiden genannten Manöverphasen, wie dies auch schon für das Containerschiff vorgenommen wurde.



Die Laufergebnisse in der Betrachtung des Bahnablaufes bestätigen eindrucksvoll die Erkenntnisse aus den Läufen mit dem NOKmax-Schiff.

Ein kontinuierlicher Bahnablauf vom Verlassen der Schleuse bis zum Passieren der Mole 3 ist wegen Formgebung der Variante 1 nicht möglich.

Das Ergebnis einer solchen Strategie endet mit aller Wahrscheinlichkeit mit einer Kollision der vorderen Spundwand, wie dies im Lauf 105 der Fall war.

Nur die Strategie des Aufteilens des Manövers in die drei Phasen

4. **Nach Verlassen das Schiff parallel zur Spundwand soweit zu führen, bis der Achterschlepper eingesetzt werden kann, dann**
5. **Querkräfte mit den Schleppern erzeugen und bei einem gleichzeitig vorsichtigem Ausdrehen des Vorstevens die Auslaufposition erreichen (Mole 3 muss gut an Backbord frei sein)**
6. **Fahrtaufnahme zum Auslaufen und Passieren des Stromschnitts**

erlaubt ein sicheres Auslaufen des Schiffes.

Diese Verfahrensweise ist nur mit zusätzlicher Schleppkraft zu bewerkstelligen, weitestgehend unabhängig davon, ob Wind als externe Störgröße vorhanden ist oder nicht. Weiterhin nachteilig für diese Strategie ist der immense Zeitaufwand der benötigt wird, um das Schiff quer durch das Wasser zu ziehen. Dieses und die Tatsache, dass erst kurz vor Erreichen der Mole 3 Fahrt aufgenommen werden kann, verursacht eine insgesamt längere Manöverdauer.

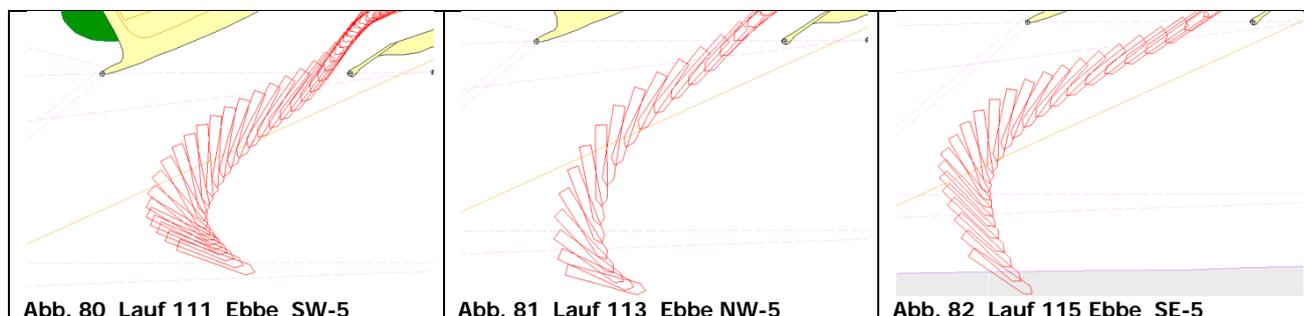
Die Ursachen für die Notwendigkeit dieser zeitintensiven Manövertypen sind bereits ausführlich im vorangegangenen Kapitel 7.2.1 „Auslaufen –Referenz“ beschrieben worden und können kurz gefasst auf die folgenden Punkte zurückgeführt werden:

- **Einschränkung des Austauwinkels des Achterschleppers nach Norden durch das Mittelleitwerk.**
- **Die Einschränkung der Austauwinkel beider Schlepper nach Süden durch die Spundwand.**

Aufgrund der Tatsache, dass die Manöverstrategie für beide untersuchten Schiffe von Notwendigkeit war, ein Auslaufen überhaupt zu gewährleisten ist der Schluss zulässig, dass

- **diese Manöverstrategie variantenbedingt ist und nicht vom Schiffstyp abhängt.**

Auch für diese Läufe ist es erforderlich, die zweite Phase des Auslaufmanövers, das Einreihen in den fließenden Verkehr der Elbe, näher zu betrachten.



Die drei obigen Läufe, die alle unter Ebbstrombedingung gefahren wurden, zeigen im Vergleich zu den Manövern mit dem Containerschiff, einen etwas geringeren Raumbedarf zum Eindrehen.

Einerseits spielt hier die Hydrodynamik des Schiffes eine gewisse Rolle, andererseits hat die Störgröße Wind einen geringeren Einfluss, sodass insgesamt ein kleinerer Raumbedarf zustande kommt. Ausschlaggebend ist aber bei diesen Läufen der Strom in Zusammenhang mit den Schleppern.

Da das Fahrzeug deutlich geringer in der Fahrtaufnahme ist, wie vergleichsweise das Containerschiff, war nahezu über die gesamte Zeit der Einsatz der Schlepper möglich. Letztlich hilft auch

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

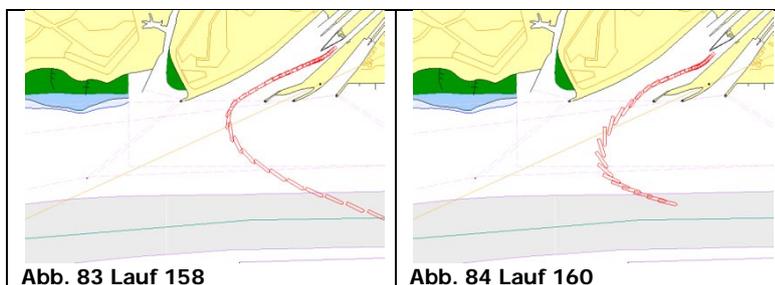
der Strom das Schiff zu drehen. Hier reicht in vielen Fällen schon das Stabilisieren des Vorstevens gegen den Strom (Verlagerung des Pivot Points nach vorne) und das Schiff dreht sich in den Strom.

Aus dem bisher Gesagten folgt also:

- **Das Eindrehen in den Elbstrom ist bei diesem Fahrzeugtyp (Massengutschiff) weniger varianten-abhängig als bei einem windanfälligen Fahrzeug.**
- **Das Manöver liegt im Zeitansatz in einem Größenbereich, der den heutigen Gegebenheiten durchaus entspricht.**

### **7.2.3.4 Auslaufen mit VG4**

Neben der Überprüfung der nautisch/technischen Manörmachbarkeit zum Einlaufen in die 5.Schleuse mit den beiden Hauptuntersuchungsschiffen (NOKmax und Tanker VG5), war es ebenfalls erforderlich Schiffe kleinerer Verkehrsgruppen in die Untersuchung einzubeziehen. Dieses wurde mit den zwei folgenden Manövern mit einem Schiff der Verkehrsgruppe 4 (Tiefgang 7.0 m) überprüft.



Ähnlich wie schon bei den Einlaufmanövern festzustellen war, gilt auch für diese Laufergebnisse, dass beide Manöverphasen, Verlassen des Schleusenbereiches und Verbringen des Schiffes in eine Auslaufposition, sowie

das Eindrehen auf der Elbe problemlos bewerkstelligt werden konnten.

Nach der Laufdurchführung und der einhelligen Expertenmeinung kann statiert werden, dass

- **die Variante 1 keine negative Beeinflussung der geforderten Bahnführung für Schiffe der Verkehrsgruppen  $\leq 4$  verursacht und dass**
- **die Manöverdurchführung mit den bereits bewährten Strategien, d.h. auch ohne externe Schleppkraft realisierbar ist.**

Aufgrund der Laufergebnisse und der Einschätzung der Manöverdurchführung durch die Expertengruppe wurde auf weitere Versuchsläufe verzichtet.

### 7.3 Vergleich Variante 1 mit IST-Zustand

Die Grundüberlegung eines Vergleiches der Variante 1 mit dem heutigen Zustand ist darauf begründet, dass es anzustreben ist, die Schifffahrt während der Überholungszeit der „Neuen Schleusen“ in keiner Weise zu beeinträchtigen, um die Konkurrenzfähigkeit des NOK zu erhalten.

Aus den bisher evaluierten Läufen können die Rückschlüsse gezogen werden, dass

- **Das Einlaufen in die heutigen Schleusen, wegen der Länge des Vorhafens und des Vorhandenseins zusätzlichen Manövrierraums an der Einlauflinie zur „Neuen Süd“, in ihrem Bahnablauf „flüssigere“ Manöver erlaubt.**
- **Dies gilt gleichermaßen für das Auslaufen, jedoch kommt für die Variante 1 ein erkennbarer negativer Faktor hinzu, nämlich der benötigte Zeitraum bis zum Verlassen des Vorhafens bzw. der Zulaufsektoren zum NOK.**

Grundsätzlich gilt aber auch, dass

- **kompliziertere Manöverabläufe, wie die im Vorhafen der Variante 1 im Zulauf zur bzw. im Abgang von 5.Schleuse, potenzielle Risiken in sich tragen als vergleichsweise kontinuierlich durchzuführende Manöver.**

Während in den vorangegangenen Kapiteln die Manöver in ihrer qualitativen Machbarkeit überwiegend unter dem Gesichtspunkt der hypothetischen Variante 1 evaluiert wurden, ist es jetzt erforderlich einen Vergleich der Variante 1 mit dem heutigen Zustand unter dem Aspekt der Erhaltung der Gleichwertigkeit der Verkehrsabwicklung durchzuführen.

Für einen direkten Vergleich von Läufen der Variante 1 zum heutigen IST-Zustand stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung	Wind			
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg	Bft	Bemerkung
124	NOK	Vergleich zu IST	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	Von Neue-Süd Vergl. Lauf 010
125	VG5T	Vergleich zu IST	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	Von Neue-Süd Vergl. Lauf 113

**Tabelle 10 Übersicht direkte Vergleichsläufe Variante 1 mit IST-Zustand**

Die Durchführung dieser beiden Läufe beruht im Wesentlichen auf den Ergebnissen der Auslaufmanöver mit Hinsicht auf den Zeitaufwand.

Daneben bietet es sich an, für einen übergreifenden Vergleich die Referenzläufe des IST-Zustandes mit heranzuziehen.

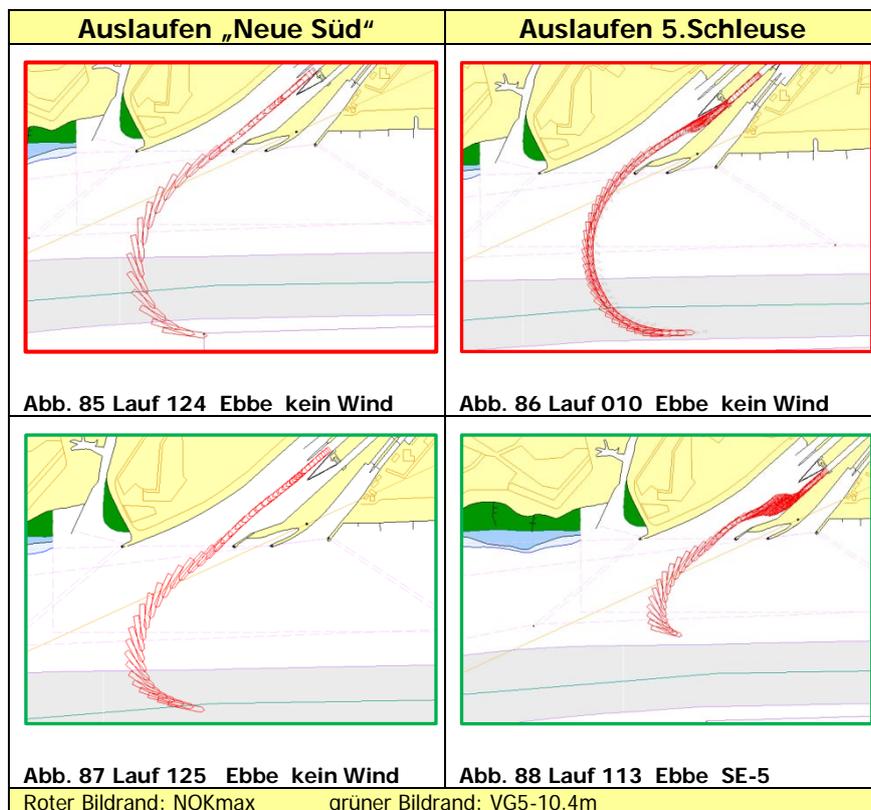
**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008



Unter erster Außerachtlassung der Bahnführungsergebnisse, die primär auf die jeweilige Fahrstrategie zurückzuführen sind, können bezüglich des Zeitbedarfs erhebliche Abweichungen konstatiert werden:

Lauf 124/010	14 bzw. 23 Min.
Lauf 125/113	14 bzw. 18 Min.

wobei dem Lauf 113 noch mindestens 10 Minuten zuzuschlagen sind, da die „richtige“ Fahrwasserseite noch nicht erreicht war.

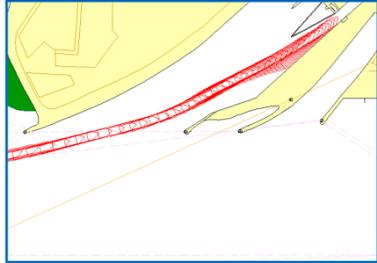
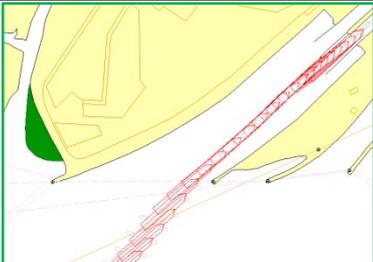
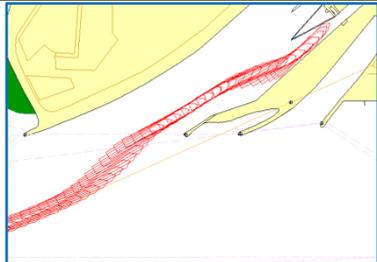
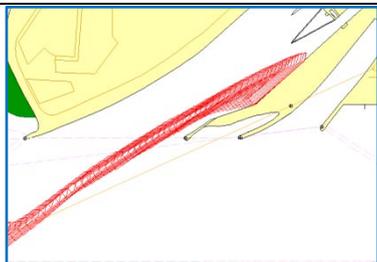
Die oben genannten Zeiten sind hier als exemplarisch zu verstehen, da bei den Auslaufmanövern in der Variante 1 auch sowohl längere als auch kürzere Zeiten aufgetreten sind. Der Vergleich soll aber deutlich machen, dass die Zeitunterschiede signifikant werden können. Wie schon mehrfach erwähnt, liegt die Ursache hierfür in der Formgebung der Variante 1 begründet, die ein „flüssiges“ Manöver nicht zulässt.

Hinzugefügt werden muss in diesem Zusammenhang ein weiterer negativer Aspekt für die Variante 1, nämlich dass

- **auf jeden Fall Schlepperassistenz benötigt wird, was zusätzliche Kosten für die Schifffahrt mit sich bringt, daneben wird das Vorhalten von Schleppern in ausreichender Anzahl verlangt.**

Die bisherigen Vergleich zwischen der Variante 1 und dem IST-Zustand bezog sich ausschließlich auf das Auslaufmanöver, weil hier potenziell die Gefahr besteht, dass der Verkehrsfluss zu und vom NOK nicht in gleicher Weise aufrecht erhalten werden kann, wie es heute der Fall ist.

Daher sollen jetzt auch exemplarisch ausgewählte Versuchsläufe des IST-Zustandes und der Variante 1, die als Einlaufmanöver ausgeführt wurden, in eine Vergleichsbetrachtung genommen werden.

IST-Zustand	Variante 1
 <p><b>Abb. 89 Lauf 004 FLUT</b></p>	 <p><b>Abb. 90 Lauf 023 FLUT</b></p>
 <p><b>Abb. 91 Lauf 005 EBBE</b></p>	 <p><b>Abb. 92 Lauf 108 EBBE</b></p>
 <p><b>Abb. 93 Lauf 011 NW-Bft.6</b></p>	 <p><b>Abb. 94 Lauf 016 NW-Bft.6</b></p>
<b>Alle Läufe mit NOKmax-Schiff</b>	

Ein erster, mehr oberflächlicher Vergleich der nebenstehenden Läufe vermittelt zunächst den Eindruck, dass alle Läufe erfolgreich waren, also auch die in der Variante 1.

Bei genauerem Hinsehen fällt jedoch auf, dass es durchaus Unterschiede in der Bahnführung und der Kontinuität des Manöverablaufes gibt.

Dabei wird zunächst noch einmal bestätigt, dass

- **unabhängig von der Variante die Anlaufstrategie zum Einlaufen weitestgehend erhalten geblieben ist,**

allerdings wird auch deutlich, dass

- **eine Tendenz erkennbar ist, dass die Anlaufgeschwindigkeit bei den Manövern der Variante 1 überwiegend geringer gehalten wurde.**

Ursächlich für diesen Manöveransatz ist die Verkürzung des Vorhafens für Schiffe, die für die 5.Schleuse bestimmt sind, durch das lange südliche Mittelleitwerk, wodurch auch die Aufstopfstrecke verringert wird.

Ein wesentlicher Nachteil der Formgebung des Vorhafens ist jedoch, wie schon bei den Einlaufmanövern näher beschrieben wurde, dass keine Möglichkeit besteht, nach Passieren der Mole 3, insbesondere bei nordwestlichen Winden einen Vorhaltewinkel gegen den Wind zu steuern, um

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

somit „aktiv“ (Lagekontrolle verbleibt im vollen Umfang bei dem Lotsen), aber mit Schlepperunterstützung die Schleuseneinfahrt anzulaufen.

Dieser Manöverablauf ist sehr gut an dem Lauf 011 zu erkennen. In diesem Falle erhöhte sich die Driftgeschwindigkeit nach Reduzieren der Vorausschwindigkeit und das Schiff geriet südlich der Einlauflinie zur „Neuen Süd“. Diese Lage konnte jedoch mit einer erneuten leichten Fahrtaufnahme, Steuern eines adäquaten Vorhaltewinkels und Schlepperunterstützung so korrigiert werden, dass das Schiff letztlich kursgerecht in die Schleuse einlaufen konnte.

Genau dieses Manöver ist wegen der südlichen Begrenzung des Manövrierraums durch die Spundwand für das Ansteuern der 5.Schleuse nicht möglich. Dem Schiffsführer/Lotsen bleibt in den meisten Fällen nichts weiter übrig, das Fahrzeug an die Spundwand zu legen und dann entlang der Spundwand in die Schleuse einzulaufen.

Daraus folgt, dass die Spundwand bautechnisch so ausgeführt werden muss, dass sie Berührungen eines Schiffes dieser Größenordnung und Masse abfangen kann.

Eine genauere Auswertung der Laufdaten zeigt, dass es den Lotsen überwiegend gelungen ist, das Schiff nicht nur weitestgehend parallel an das Bauwerk zu legen, sondern auch die Annäherungsgeschwindigkeit unter 0,4 Knoten ( $\approx 20 \text{ cm s}^{-1}$ ) zu halten.

Ein Vergleich der Laufzeiten zeigt, dass die Unterschiede weniger gravierend sind, als bei den Auslaufmanövern

<b>Lauf 004: 10 Minuten</b>	<b>Lauf 023: 13 Minuten</b>
<b>Lauf 005: 9 Minuten</b>	<b>Lauf 108: 13 Minuten</b>
<b>Lauf 011: 15 Minuten</b>	<b>Lauf 016: 18 Minuten (+ca. 15 Minuten bis in die Schleuse)</b>

Letztlich ist es auch notwendig, einen Hinweis auf die psychologisch/gefühlsmäßige Akzeptanz der Variante 1 durch die ausführenden Lotsen zu geben. Aus allen De-Briefingskommentaren ist erkennbar, dass

- **die Lotsen sich bei den meisten Manövern der Variante 1 „innerlich unwohl“ fühlten**

und dies auch entsprechend zum Ausdruck brachten.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Sicherlich spielen hierbei viele Umstände eine Rolle, wie z.B. das Fahren in einem Simulator mit seinen teilweise eingeschränkten Möglichkeiten der realistischen Abbildung der Umwelt, das spontane Eingewöhnen an neue Manövergegebenheiten usw.

Andererseits ist aber auch als sehr positiv zu bewerten, dass alle teilnehmenden Lotsen mit großer Ernsthaftigkeit und dem Einsatz ihres Erfahrungsschatzes die ihnen gestellten Aufgaben nach besten Möglichkeiten zu einem Erfolg zu führen. Deshalb sollte dem subjektiven Grundgefühl durchaus Beachtung geschenkt werden.

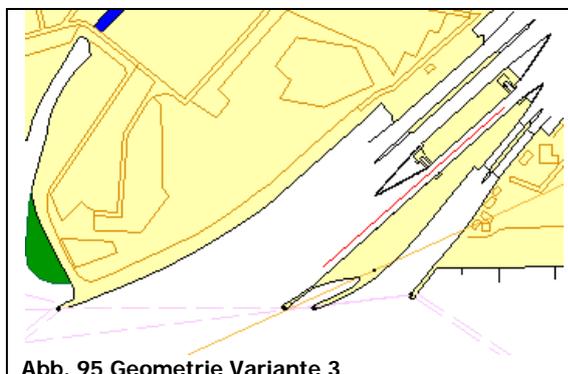
## 7.4 Ergebnisse Variante 3

Zur Überprüfung der nautisch/technischen Machbarkeit der Planungsvariante 3 (großer Versatz der Mole 3) wurden insgesamt **47** Läufe durchgeführt, die sich wie folgt aufschlüsseln lassen:

- **Referenz 6 Läufe** davon
  - 3 Läufe –Strom mit dem NOKmax Einlaufen
  - 3 Läufe –Strom mit dem NOKmax Auslaufen
  
- **Einlaufen 20 Läufe (inkl. Referenzläufe)** davon
  - 11 Läufe mit dem NOK-max
  - 7 Läufe mit VG5-10.4 m Tiefgang
  - 2 Läufe mit VG4
  
- **Auslaufen 27 Läufe (inkl. Referenzläufe)** davon
  - 13 Läufe mit dem NOK-max
  - 10 Läufe mit VG5-10.4 m Tiefgang
  - 2 Läufe mit VG4
  - 2 Läufe mit dem Schleppverband

Eine weiterführende Aufschlüsselung bezüglich der herrschenden Randbedingungen Wind und Strom ist in der Lauftabelle im Kapitel 5, Seite 18f zu finden.

### 7.4.1 Geometrie der Variante 3



Die Formgebung bzw. Geometrie der Variante 3 unterscheidet sich gegenüber der Variante 1 ausschließlich in der Linienführung der an die südliche Kaimauer der 5. Schleuse anschließenden Spundwand und der Position der Mole 3.

Die Größe und Lage der eigentlichen Schleuse und des südlichen Mittelleitwerks sind dabei unverändert

geblieben.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Durch den Versatz der Mole 3 weiter nach Osten ist auch die Einfahrtsbreite in den Vorhafen vergrößert worden und zwar um ca. 110 Meter.

Aus nautischer Betrachtungsweise sind im ersten Ansatz Verbesserungen gegenüber der Variante 1 hinsichtlich der grundsätzlichen Manöverdurchführung zu vermerken, nämlich dass

- **fast eine direkte und geradlinige Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt zur Schleuse besteht,**
- **vor dem Schiff freies Fahrwasser liegt**
- **nur noch geringe Kursänderungen auf kurze Distanzen notwendig sind und dass**
- **die Einfahrtsbreite zwischen den Molen größer geworden ist und möglicherweise mehr Spielraum für die Einlaufstrategie erlaubt**

Demgegenüber muss weiterhin als nachteilig bezeichnet werden, da im Vergleich zur Variante 1 unverändert geblieben, dass

- **der verfügbare Manövrierraum östlich/südlich der Einlauflinie zur 5.Schleuse nur sehr gering und durch eine Spundwand begrenzt ist,**
- **die nutzbare Länge des Vorhafens, gemessen von der Verbindungslinie der Molen 3 und 4 bis zum Kopf des neuen Leitwerks unverändert kurz ist.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### 7.4.2 Einlaufen

Für die Bewertung des Einlaufens in den Vorhafen und in die 5. Schleuse stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

ÜBERSICHT Einlaufen Variante 3			Richtung	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg	Bft	
126	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Flut	nil	nil	
128	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Ebbe	nil	nil	
130	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Flut	nil	nil	
147	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	
149	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.5	
151	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SE	Bft.5	
153	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SW	Bft.5	
155	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	E	Bft.6-8	
179	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
182	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
184	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SE	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
132	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	
134	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	W	Bft.6	
136	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.6	
138	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.6	
141	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
143	VG5T	Standard	Ein/V3	Ebbe	W	Bft.6-8	
145	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.6-8	
161	VG4B	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
163	VG4B	Standard	Ein/V3	Ebbe	SW	Bft.6	Ohne Schlepper

**Tabelle 11 Übersicht Einlaufen Variante 3**

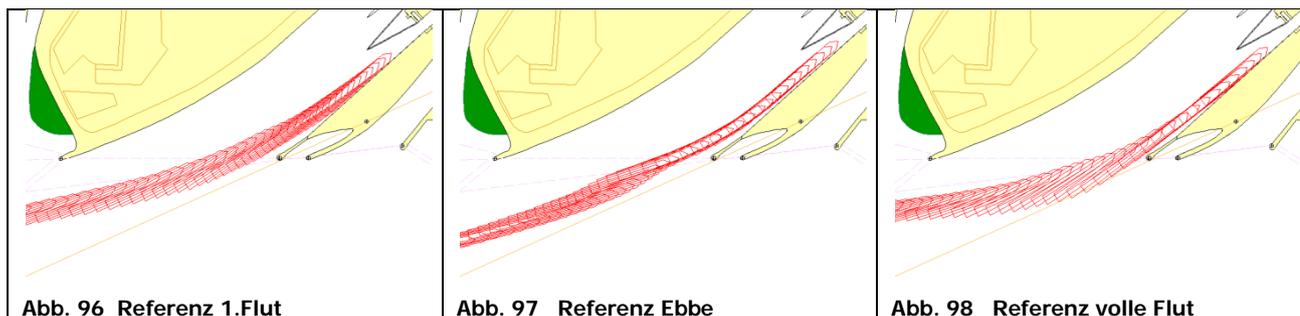
Die Struktur der Evaluierungsschritte dieser Variante wird aus Vergleichsgründen zur Variante 1 in derselben Form aufgebaut, d.h. zu Beginn der Betrachtung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit mit den so genannten „Referenzläufen“ zu beginnen und im weiteren Verlauf des Bewertungsprozesse erfolgt die Evaluierung der so genannten Standardläufe, zunächst der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe und abschließend die Läufe mit Schiffen kleinerer Verkehrsgruppen.

### **7.4.2.1 Einlaufen – Referenz**

Zu Beginn der Betrachtung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit einer Variante ist es normalerweise sinnvoll, mit den so genannten „Referenzläufen –Hydrodynamik“ zu beginnen, da hier die Störgrößen Strom und Wind nicht zum Tragen kommen, sondern nur die schiffseigene Hydrodynamik. Diese Versuchsläufe wurden jedoch bereits in den vorhergehenden Varianten gefahren, sodass ausreichend Informationen über das hydrodynamische Verhalten der beiden Untersuchungsschiffe vorliegen.

Für diese Variante wurden nur drei Referenzläufe gefahren, beschränkt auf den Strom. Für die Variante 3 wurde ein eigenes Strommodell gerechnet, sodass es erforderlich ist, dieses zu überprüfen. Da bei diesen Untersuchungsläufen dieselben Schiffe zum Einsatz kamen, erübrigten sich die Wind-Referenzläufe.

Bei der Betrachtung und Evaluierung dieser Läufe (Variante 3) ergibt sich aber die Möglichkeit, bereits zu einem frühen Stadium der Auswertung markante Unterschiede zur Variante 1 zu erkennen auf die dann bei den weiteren Evaluierungsschritten gezielt eingegangen werden kann.



Hinsichtlich der Strömungsverhältnisse vor der Einfahrt zum Vorhafen kann auf Grundlage der drei Läufe zunächst festgestellt werden, dass

- **die Stromkomponenten keine signifikante Änderung in der Variante 3 darstellt und die bewährten Grundstrukturen der Fahrstrategie zum Passieren des Stromschnitts beibehalten werden können.**

Auffällig an diesen drei Läufen ist jedoch, dass unabhängig von der Strömungsrichtung Ebbe oder Flut, ein Anlaufvariante gewählt wurde, die grundsätzlich dicht an die Mole 3 führte.

Ursächlich hierfür dürfte wiederum sein, die Einlauflinie möglichst frühzeitig zu erreichen, um keine aufwendige Kurskorrektur mehr vornehmen zu müssen. Im Prinzip sind die Läufe optimal abgelaufen und zeigen eine harmonische und kontinuierliche Bahnführung.

Auch wenn die beiden Flutläufe ohne Berührung der Spundwand abliefen, so muss aber jetzt schon einschränkend angemerkt werden, dass diese Manöverart, insbesondere bei Flut nicht ganz ohne ein gewisses Gefährdungspotenzial ist. Dieses liegt zunächst darin begründet, dass Bahnverlauf und Geschwindigkeit optimal auf den Stromeinfluss abgestimmt sein müssen. Kurz vor dem Erreichen der Mole 3 ist z.B. bei zu hoher Geschwindigkeit und falscher Kurslage des Schiffes eine Korrektur kaum noch möglich, da alle Kräfte in Richtung der Mole arbeiten.

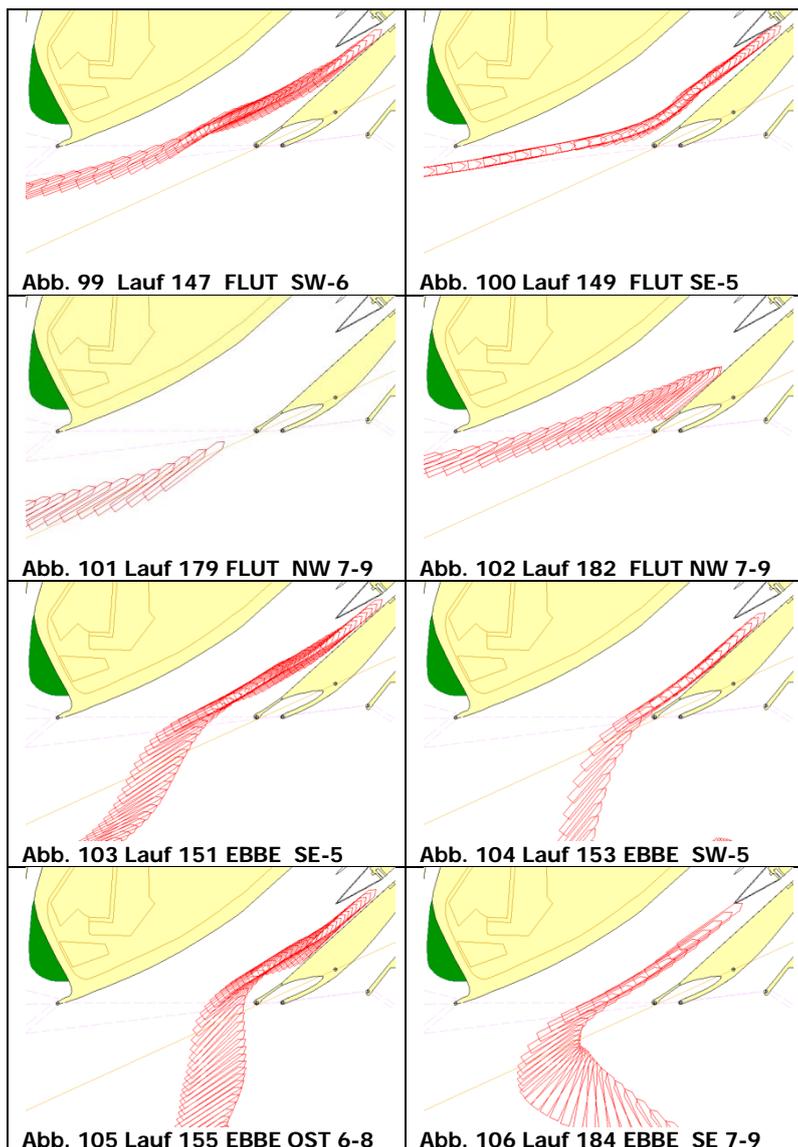
Auch wenn momentan nur diese drei Referenzläufe zur Bewertung anstehen, lassen sich jedoch schon erste Tendenzen hinsichtlich der Manöverausführung des Einlaufens in den Vorhafen für die Variante 3 absehen:

- **Die Annäherungsphase vom Revier zur Vorhafeneinfahrt ist kontrollierbar.**
- **Die auftretenden Driftkomponenten können mithilfe der Schleppkraft kompensiert werden.**
- **Der Bahnführungsverlauf erscheint insgesamt kontinuierlicher ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein.**

Sollte sich insbesondere der letzte Punkt bei den weiteren Läufen bestätigen, so wäre dies allein schon eine sehr große Verbesserung im Vergleich zur Variante 1.

### 7.4.2.2 Einlaufen mit NOKmax

Neben den 3 Referenzläufen wurden weitere 8 Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten.



Die 8 dargestellten Läufe bieten ein breites Spektrum unterschiedlicher Randbedingungen in den einzelnen Szenarien und lassen daher auch eine Vielzahl von Aussagekriterien herleiten.

Zunächst wird durch das Ergebnis des Laufes 179 die aus den Referenzläufen bereits abgeleitete Aussage bezüglich der dichten Ansteuerung der Mole 3 bei Flutstrombedingung bestätigt, nämlich dass sie mit einem Gefährdungspotenzial behaftet ist. In diesem Fall wurde die zusätzliche Driftkomponente durch den Wind unterschätzt, sodass es mit aller Wahrscheinlichkeit zu einer Grundberührung gekommen wäre.

Dagegen beweisen die anderen Flutläufe, dass eine entsprechende Ansteuerstrategie der Vorhafeneinfahrt, nämlich den Abstand prinzipiell etwas größer zu wählen, dass das Manöver machbar ist und zwar auch unter den verschiedensten Windbedingungen.

Bei den Ebbmanövern zeigt sich dagegen, dass die Grundphilosophie, möglichst dicht an die Mole 3 zu fahren um somit auch dicht an die Einlauflinie zur 5.Schleuse zu kommen, eher zu realisieren

ist, da in den meisten Fällen die westlich setzende Stromkomponente stets größer ist als z.B. die Windkomponente aus nordwestlichen Winden. Dadurch besteht die Möglichkeit das Manöver jederzeit durch konsequente Rücknahme der Voraussgeschwindigkeit zu korrigieren.

An den Laufergebnissen ist weiterhin auffällig, dass die Bahnführungsabläufe deutlich kontinuierlicher sind, was darauf hinweist, dass

- **die Manöverabfolgen in einer gleichmäßigeren Form und damit auch kontrollierter durchgeführt werden konnten,**
- **welches schon grundsätzlich auf eine Verbesserung der Manöverqualität und – Sicherheit gegenüber der Variante 1 hinweist.**

Die sich an die Ansteuerung der Vorhafeneinfahrt anschließende Manöverphase, das Ausrichten des Schiffes auf die Einlauflinie und der Zulauf zur 5.Schleuse werden, wie die Laufergebnisse zeigen, wird diese

- **durch die nahezu geradlinige Ausführung der Spundwand vom Schleusenaupt zur Einfahrt, im Vergleich zur Variante 1 erheblich erleichtert.**
- **Allerdings bleiben dabei die in der Variante 1 bereits erläuterten Einschränkungen des aktiven Ansteuerns der Schleuseneinfahrt durch die Lage der Spundwand weiterhin erhalten.**

Für die letzte Aussage gilt weiterhin, dass ein Überschreiten der Einlauflinie nach Osten/Süden zum Ausrichten des Schiffes mit einer Kurslage die die Winddrift korrigiert nicht gegeben ist. Ebenso bleiben die Einschränkungen der Einsatzmöglichkeiten der Schlepper mit Hinsicht auf die Spundwand und das südliche Mittelleitwerk erhalten<sup>4</sup>.

Es bestätigt sich weiterhin, dass

- **die Spundwand auch in dieser Variante bautechnisch so ausgelegt werden müsste, dass ein Anlegen eines Schiffes dieser Größenordnung und Masse machbar sein muss.**

Im Vergleich zur Variante 1 hat sich jedoch gezeigt, dass die Annäherungsgeschwindigkeiten deutlich unter 0.4 Knoten ( $\approx 20 \text{ cm s}^{-1}$ ) lagen.

Im Untersuchungsverlauf dieser Variante wurden erstmals auch einige Läufe zur Bestimmung von Grenzbedingungen gefahren, dies primär in Hinsicht auf Wind und Schleppkräfte.

---

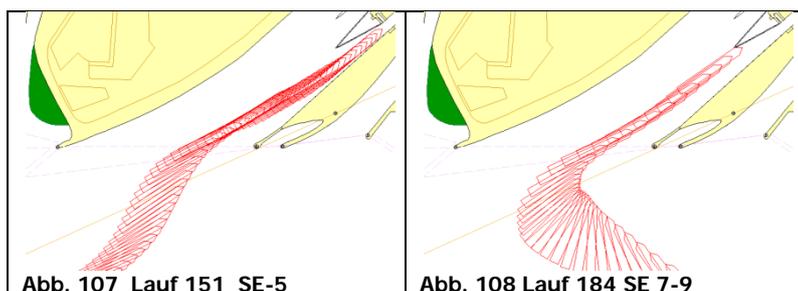
<sup>4</sup> Siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 7.2.2.2 „Einlaufen mit NOK-max“ Seite 35 ff

Schon bei den Läufen bis zur Windstärke Beaufort 6 wurde immer wieder festgestellt, dass die angesetzten Schleppkapazitäten der beiden Schlepper mit jeweils 35 t Pfahlzug, teilweise nicht mehr ausreichen, das Containerschiff mit einer Windangriffsfläche von 4.900 m<sup>2</sup> sicher kontrollieren zu können, insbesondere begründet durch die Einschränkungen der möglichen Austauwinkel, hervorgerufen durch die Spundwand und das Mittelleitwerk.

So erzeugt z.B. ein quereinkommender Wind mit einer Stärke von Beaufort 6 eine Gesamtwindlast von ca. 50 t und bei einer Stärke von Beaufort 7 eine von ca. 72 t.

Solange noch eine gewisse Vorausfahrt im Schiff war, konnten die Windkräfte in den meisten Fällen noch von den Schleppern kompensiert werden, da auch die Hydrodynamik des Seeschiffes noch in das Kräftespiel Einfluss nimmt. Anders sieht es dann bei dem gestoppten Fahrzeug aus, jetzt müssen die verfügbaren Querkräfte (Schlepper und Strahler) alleine in der Lage sein, genügend Kraft aufzubringen um die Windlast nicht nur zu kompensieren, sondern auch dem Schiff eine dem Wind entgegengesetzte Quergeschwindigkeit zu verleihen.

Die Zusammenhänge zwischen Windlast und notwendiger Schleppkraft sollen an den beiden folgenden Läufen dargestellt werden.



Beide Läufe wurden unter Ebbstrombedingung gefahren. Im Lauf 151 reichte die Gesamtschleppkraft von 70 t und die Querkraft des Bugstrahlers gerade eben noch aus, die Windlast zu kompensieren und dem

Schiff eine Querfahrt gegen den Wind zu geben. Bei dem Lauf 184 (mittlere Windstärke Bft.8) wurden zwei Schlepper mit je 40 t eingesetzt, trotzdem reichten die verfügbaren Schleppkräfte nicht aus, das Fahrzeug in eine Querbewegung gegen den Wind zu versetzen.

Projiziert man nun einmal diese Läufe in die Variante 1, so wird schnell deutlich, dass in der Variante die Grenzbedingungen hinsichtlich der Windstärken eher erreicht ist als in dieser Variante, da die gutzumachende Querverlagerung des Schiffes durch die Lage der Mole 3 größer ist.

Daraus können im Prinzip zwei Folgerungen abgeleitet werden:

- **Grundsätzlich besteht ein enger Zusammenhang zwischen verfügbarer Schleppkraft und der zulässigen Windbedingung, bei dem dieses Schiff noch in die 5.Schleuse einlaufen darf (kann).**
- **Mindestens ab der Beaufortstärke 6, bei Richtungen die nahezu quer einkommen reichen, Standardschlepper mit 35 t Pfahlzug nicht mehr für ein sicheres manövrieren des Schiffes zur 5. Schleuse aus.**

Auch wenn für die einzelnen Varianten eine eigene Zusammenfassung erfolgt, ist es sinnvoll dieses Unterkapitel abschließend zusammenzufassen. Aus den Manöverergebnissen des Einlaufens mit dem NOKmax-Schiff in der Variante 3 können folgende Kernaussagen hergeleitet werden:

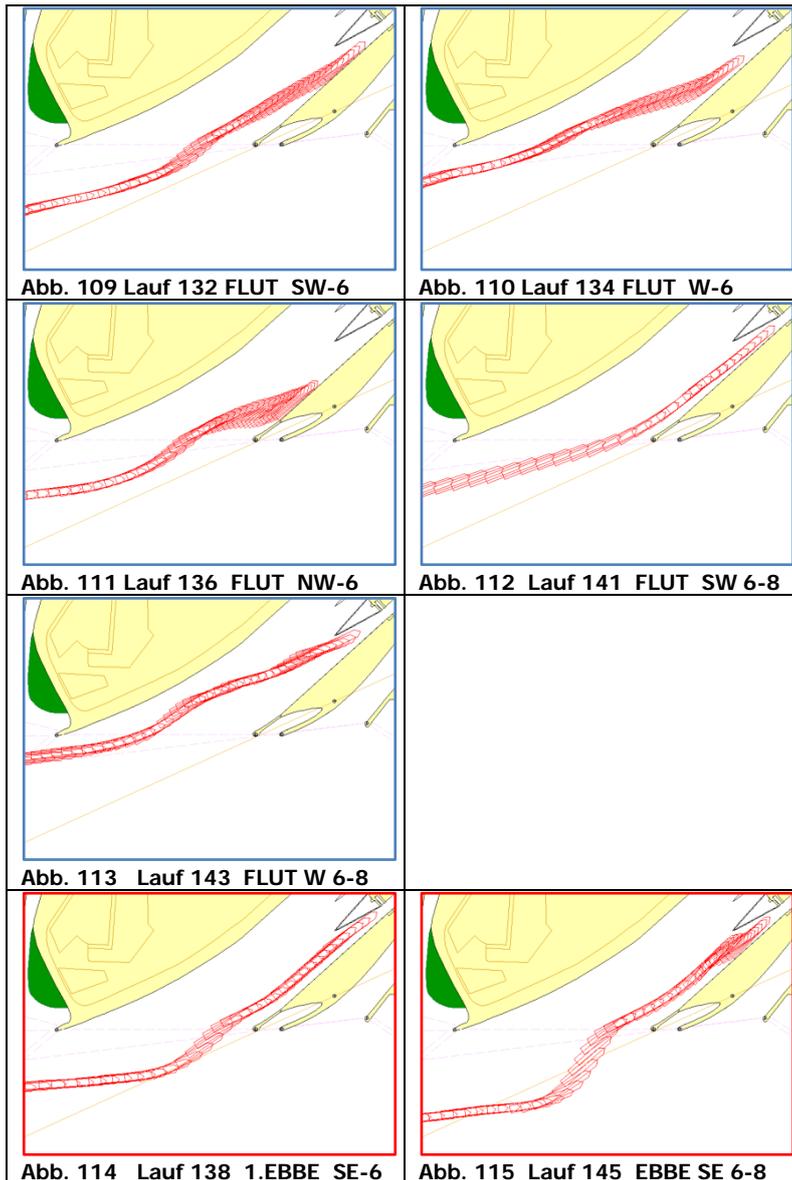
- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**
- **Der Bahnführungsverlauf erscheint aufgrund der veränderten Linienführung der Spundwand insgesamt kontinuierlicher und ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein.**
- **Die nahezu geradlinige Ausführung der Spundwand vom Schleusenaupt zur Einfahrt, im Vergleich zur Variante 1 ist eine erheblich Erleichterung.**
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**
- **Auflandige Winde (NW-Quadrant) mit Stärken oberhalb Beaufort 5 verlangen eine Bauausführung der Spundwand, die ein Anlegen des Schiffes an diese erlaubt oder aber stärkere Schleppkräfte.**
- **Wegen der geringen Einfahrtsbreite der 5.Schleuse sind besondere Schutzmaßnahmen für das Schleusenaupt notwendig, z.B. durch Änderung der Leitwerkrichtung.**

An dieser Stelle des Berichts scheint es noch nicht sinnvoll zu sein, die obigen Kernaussagen, soweit sie das Manöver negativ beeinflussen, durch Schlussfolgerungen oder Empfehlungen zu ergänzen. Dieses erfolgt zusammenfassend für alle Laufdurchführungen im Kapitel 7.7.

Ebenso gibt es ein eigenes Kapitel 7.5, in dem die Variante 3 mit dem IST-Zustand und der Variante 1 verglichen wird.

### 7.4.2.3 Einlaufen mit VG5-10.4m

Für die Überprüfung des Einlaufmanövers mit dem VG5-10.4m wurden 7 Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten.



Ähnlich wie bei den einkommenden Läufen mit dem NOKmax-Schiff kann auch für die Läufe mit dem Massengutschiff in erster Näherung konstatiert werden, dass

- die Bahnführungen, verglichen zur Variante 1, insgesamt einen harmonischeren Verlauf zeigen, wobei dies bei den Flutläufen etwas ausgeprägter erscheint.

Auch gilt weiterhin für das sichere Manövrieren dieses Schiffes, dass sich die veränderte Linienführung der Spundwand in Verbindung mit der östlichen Verlagerung der Mole 3 positiv auf die Gesamtstrategie auswirkt, die in diesem Fall sich wieder der heute bewährten Einfahrstrategie in den Vorhafen annähert.

Auffällig ist jedoch, dass im Gegensatz zu den Läufen mit dem Containerschiff die Annäherung an die Mole 3 bei den Flutläufen, ausgenommen Lauf 141, insgesamt geringer ausfiel.

Somit gilt zunächst wiederum bei einer ausschließlichen Betrachtung der Bahnverläufe ohne Berücksichtigung der während der Läufe eingesetzten Kräfte, wie schon beim Containerschiff, dass

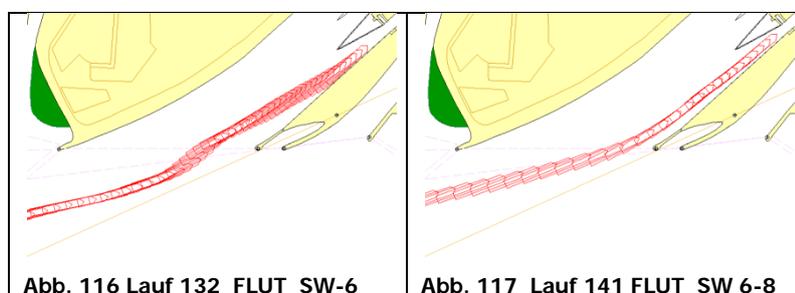
- im Prinzip von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit besteht, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse in dieser Variante zulassen,

- **gleichzeitig aber auch, dass die Manöverstrategien einfacher umzusetzen sind als dies bei der Variante 1 der Fall ist.**
- **Allerdings bleiben dabei die in der Variante 1 bereits erläuterten Einschränkungen des aktiven Ansteuerns der Schleuseneinfahrt durch die Lage und Linienführung der Spundwand auch für dieses Schiff weiterhin erhalten.**

Unterzieht man die einzelnen Läufe einer näheren Betrachtung, so wird erkennbar, dass es in den meisten Fällen gelungen ist, das Fahrzeug ohne ständige Kurskorrekturen, d.h. in einer gleichmäßigen Bewegung, auf die Einlauflinie zu bringen.

Sicherlich ist dieses bei dem Einlaufen unter Flutstrombedingung einfacher als bei Ebbstrom, da auch nach Passieren des Stromschnitts die aufgenommene Bewegungsrichtung nach Osten durch die Scherkraft des Stromes über einen längeren Zeitraum erhalten bleibt (Massenträgheit), sodass in diesem Fall eine große Annäherung an die Mole 3 nicht erforderlich ist.

Da, wie gesagt, vereinzelt unterschiedliche Strategien hinsichtlich der Annäherung zur Mole 3 gewählt wurden, ist es sinnvoll die Strategien einmal anhand zweier Läufe zu vergleichen.



Von den beiden nebenstehenden Läufen erscheint die Bahnführung des Laufes 141 (Abb.114) als optimal.

Diese Bild trägt jedoch, wenn man einmal die Geschwindigkeiten und die eingesetzten Kräfte betrachtet. Aus der Datenaufzeichnung ist zu entnehmen, dass die Passiergeschwindigkeit der Mole 3 etwa 7 Knoten und die Endgeschwindigkeit bei Erreichen der Schleuseneinfahrt etwa 3.3 Knoten betrug.

Die Einlaufgeschwindigkeit in die Schleuse von 3.3 Knoten kann sicherlich noch abgebaut werden, jedoch wäre bei einer Berührung des Schleusenaupts der Schaden immens gewesen, sowohl am Bauwerk als auch am Schiff.

Eine deutlich geringere Fahrt bei Erreichen der Mole 3 bietet einige Vorteile, die nicht von der Hand zu weisen sind. So wird zunächst ein möglicher Bankeffekt vermieden und im Weiteren er-

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

gibt sich ein kontrollierter Fahrtabbau, mit der Möglichkeit, durch eine langsam voraus laufende Maschine noch eigene Steuerkräfte aufzubauen.

Der Zeitgewinn von 4 Minuten im Lauf 141 steht dabei in keinem Verhältnis zu den möglichen Gefahren und den u.U. auftretenden Schäden.

Ähnlich wie bei den Versuchsläufen mit dem NOKmax-Containerschiff wurden auch mit dem hier zur Diskussion stehenden Massengutschiff Szenarien mit stärkerem Wind (Beaufort 6-8) gefahren. Schon ein Vergleich der Windlasttabellen der beiden Schiffe zeigt, dass die auftretenden Windkräfte am Massengutschiff wegen der geringen Angriffsfläche (1.900 m<sup>2</sup>) erheblich niedriger ausfallen als bei dem Containerschiff.

Anders sieht es allerdings mit dem Drehmoment (Giermoment) aus. Die Lateralfächenverteilung vor und hinter dem Schwerpunkt des Schiffes ist bei dem Massengut deutlich ungleichmäßiger als bei einem vollbeladenen Containerschiff. Bei Massengutschiffen liegt die größere Fläche hinter dem Schwerpunkt des Schiffes, was zur Folge hat, dass das Schiff eine stabile Lage (kein Drehmoment mehr im Schiff) hat, wenn der Wind aus etwa 60° bis 70° angreift, während dies bei dem Containerschiff bei etwa 80° liegt. Dadurch weist das Massengutschiff ein anderes Anluververhalten auf.

Bei entsprechender Berücksichtigung dieser Phänomene, z.B. durch geringe Eigenfahrt oder Vermeiden von größeren Anströmwinkeln bei geringer Fahrt, kann das Giermoment beherrscht werden, wie die Läufe gezeigt haben.

Unter Einbeziehung der bis hier gemachten Erkenntnisse kann gefolgert werden, dass

- **die Schleppkapazitäten, die für das Massengutschiff vorzuhalten sind, sich bis zu der Beaufortstärke 7 (untersuchte Windstärken) auf 2 Schlepper zu je 35 t Pfahlzug beschränken können.**

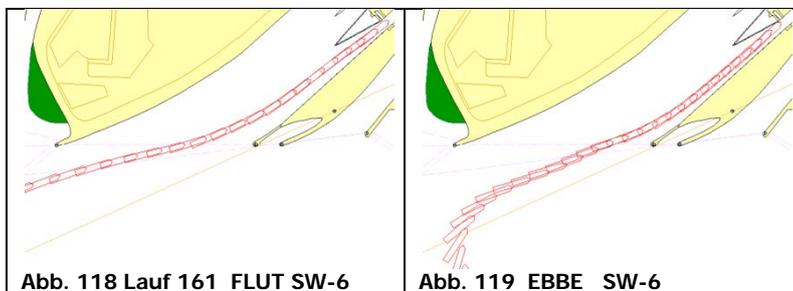
Auch wenn, wie schon mehrfach erwähnt, für die einzelnen Varianten eine eigene Zusammenfassung erfolgt, ist es sinnvoll dieses Unterkapitel abschließend zusammenzufassen. Aus den Manöverergebnissen des Einlaufens mit dem Massengutschiff in der Variante 3 können folgende Kernaussagen hergeleitet werden, die sich überwiegend mit denen des Containerschiffes decken:

- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite die grundsätzliche Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen der 5.Schleuse zulassen.**
- **Gleichzeitig gilt, dass die Manöverstrategien einfacher umzusetzen sind als dies bei der Variante 1 der Fall ist.**
- **Allerdings bleiben dabei die in der Variante 1 bereits erläuterten Einschränkungen des aktiven Ansteuerns der Schleuseneinfahrt durch die Lage und Linienführung der Spundwand auch für dieses Schiff weiterhin erhalten.**
- **Der Bahnführungsverlauf erscheint aufgrund der veränderten Linienführung der Spundwand insgesamt kontinuierlicher und ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein.**
- **Die nahezu geradlinige Ausführung der Spundwand vom Schleusenaupt zur Einfahrt, im Vergleich zur Variante 1 ist erheblich Erleichterung.**
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**
- **Auflandige Winde (NW-Quadrant) mit Stärken oberhalb Beaufort 5 verlangen eine Bauausführung der Spundwand, die ein Anlegen des Schiffes an diese erlaubt oder aber stärkere Schleppkräfte.**
- **Wegen der geringen Einfahrtsbreite der 5.Schleuse sind besondere Schutzmaßnahmen für das Schleusenaupt notwendig, z.B. durch Änderung der Leitwerkrichtung.**

#### **7.4.2.4 Einlaufen mit VG4**

Neben der Überprüfung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit zum Einlaufen in die 5.Schleuse mit den beiden Hauptuntersuchungsschiffen (NOKmax und Tanker VG5), war es ebenfalls erforderlich Schiffe kleinerer Verkehrsgruppen in die Untersuchung einzubeziehen.

Dieses wurde mit den zwei folgenden Manövern mit einem Schiff der Verkehrsgruppe 4 (Tiefgang 7.0 m) überprüft.



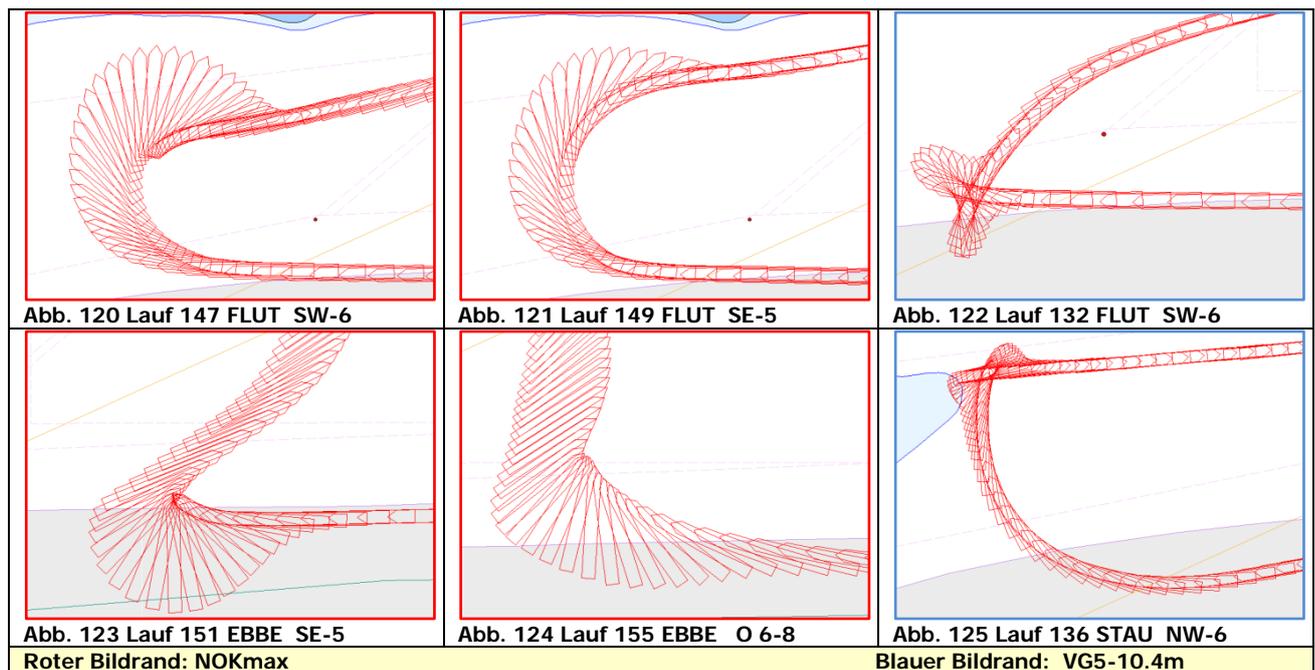
Aus den Laufergebnissen und nach Meinung aller Experten ist festzustellen, dass

- **das Einlaufen mit Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner problemlos durchgeführt werden kann und nur kaum von den heutigen Gegebenheiten abweicht.**

#### **7.4.2.5 Anlaufmanöver**

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ausschließlich die nautisch/technische Manöverbearbeitbarkeit des Einlaufens in den Vorhafen und in die 5. Schleuse behandelt, nicht jedoch die vorangegangene Phase des Gesamtmanövers.

Die Untersuchungsläufe waren in ihrer Mehrzahl so angesetzt, dass das einkommende Fahrzeug aus Hamburg kam und somit noch ein Drehmanöver durchzuführen war. Obgleich dieses Drehmanöver nicht in direkter Abhängigkeit der Planungsmaßnahmen für die 5.Schleuse stehen, sollen sie hier aber der Ordnung halber Erwähnung finden. Die folgenden sechs Läufe sollen stellvertretend für alle Drehmanöver die Machbarkeit demonstrieren.



Die Manöverergebnisse der gezeigten Versuchsläufe als auch in der Gesamtheit aller Läufe lassen die folgenden Kernaussagen zu:

- **Die Drehmanöver können, unabhängig der äußeren Randbedingungen, bei Einhaltung der bewährten Strategien durchgeführt werden.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Daraus kann weiter abgeleitet werden, dass

- **die notwendigen Drehmanöver nicht präjudizierend für die Einlaufstrategie sind, sondern ausreichend Spielraum für Strategieänderungen bezüglich des Einlaufens zulassen, sofern solche Änderungen notwendig sind.**

Das gilt auch für den Zulauf der von See kommenden Schiffe, auch wenn solche Läufe nicht explizit für diese Variante gefahren wurden. Die bewährten Strategien zum Anlaufen der Vorhafeneinfahrt können weiterhin zur Anwendung kommen.

Die oben aufgeführten Kernaussagen haben einen hohen Deckungsgrad mit denen der Variante 1, begründet auf der Tatsache, dass die Durchführung dieser Manöverphase nicht in einer direkten Abhängigkeit zur Bauausführung und Formgebung des Vorhafens und der Zufahrt zur 5. Schleuse steht.

Für die Entscheidungsfindung bedeutet dies, wie bereits schon für die Variante 1 festgestellt, dass

- **die Ergebnisse der letzten Phase des Einlaufmanövers in den Vorhafen und in die 5.Schleuse vorrangig Einfluss nehmen auf die zu wählende Bauausführung des Zufahrtbereiches zur Schleuse.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### 7.4.3 Auslaufen - Übersicht

Für die Bewertung des Auslaufens aus der 5. Schleuse in den Vorhafen und auf das Elbrevier stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

ÜBERSICHT Auslaufen Variante 3			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
127	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
129	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Ebbe	nil	nil	
131	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
148	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	nil	nil	
150	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.5	
152	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SE	Bft.5	
154	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.5	
156	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	W	Bft.6-8	
171	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.6	
173	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	NW	Bft.6	
180	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
181	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 60 t
183	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
133	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6	
135	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	W	Bft.6	
137	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.6	
139	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
140	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
142	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
144	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	W	Bft.6-8	
146	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.6-8	
166	VG5T	Standard	Aus/V3	Ebbe	SE	Bft.6	
169	VG5T	Standard	Aus/V3	Ebbe	NW	Bft.6	
162	VG4B	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
164	VG4B	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
175	PONT	Standard	Aus/V3	Stau	NW	Bft.6	
178	PONT	Standard	Aus/V3	Stau	NW	Bft.6	

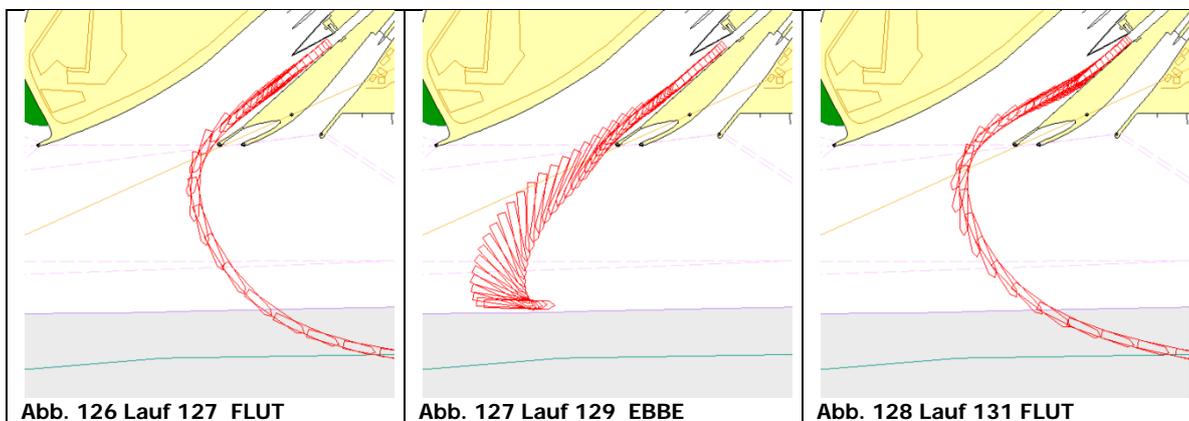
**Tabelle 12 Übersicht Auslaufen Variante 3**

Die Bewertungsstruktur der Auslaufmanöver wird wegen eines möglichst direkten Vergleiches in gleicher Weise aufgebaut wie für die Einlaufmanöver, dh., mit der Betrachtung der so genannten „Referenzläufen“ zu beginnen und im weiteren Verlauf des Bewertungsprozesse die Evaluierung der so genannten Standardläufe, zunächst der beiden Haupt-Untersuchungsschiffe und abschließend die Läufe mit Schiffen kleinerer Verkehrsgruppen und des Schleppzugs vorzunehmen. Da sich während der Versuchsläufe gezeigt hat, dass die Manöverphasen im Vorhafen und auf der Elbe in enger Wechselbeziehung stehen, wird hier keine Trennung der Manöver in eigene Kapitel (Auslaufen und Manöverphase auf der Elbe) vorgenommen.

### **7.4.3.1 Auslaufen – Referenz**

Im Allgemeinen können Auslaufmanöver als die weniger schwierigen Manövertypen bezeichnet werden, da das Schiff aus einem quasi-stationären Zustand heraus in Bewegung gesetzt wird.

Mit den jetzt zu betrachtenden 3 Referenzläufen (ausschließlich das NOKmax-Schiff) galt es zu überprüfen, ob die Formgebung der Variante 3 ein sicheres Positionieren des Schiffes für das Auslaufen in das Elbe-Revier erlaubt.



Betrachtet man die Referenzläufe zunächst einmal unter dem Gesichtspunkt „Raumbedarf zum Eindrehen“, so kann festgestellt werden, dass dieser in starker Abhängigkeit zur vorherrschenden Tidebedingung steht. So ist zunächst zu vermuten, dass

- **der Raumbedarf bei Flutstrom größer anzusetzen ist, während bei Ebbstrom das Eindrehen in das Fahrwasser auf kleinerem Raum als machbar anzusetzen ist.**

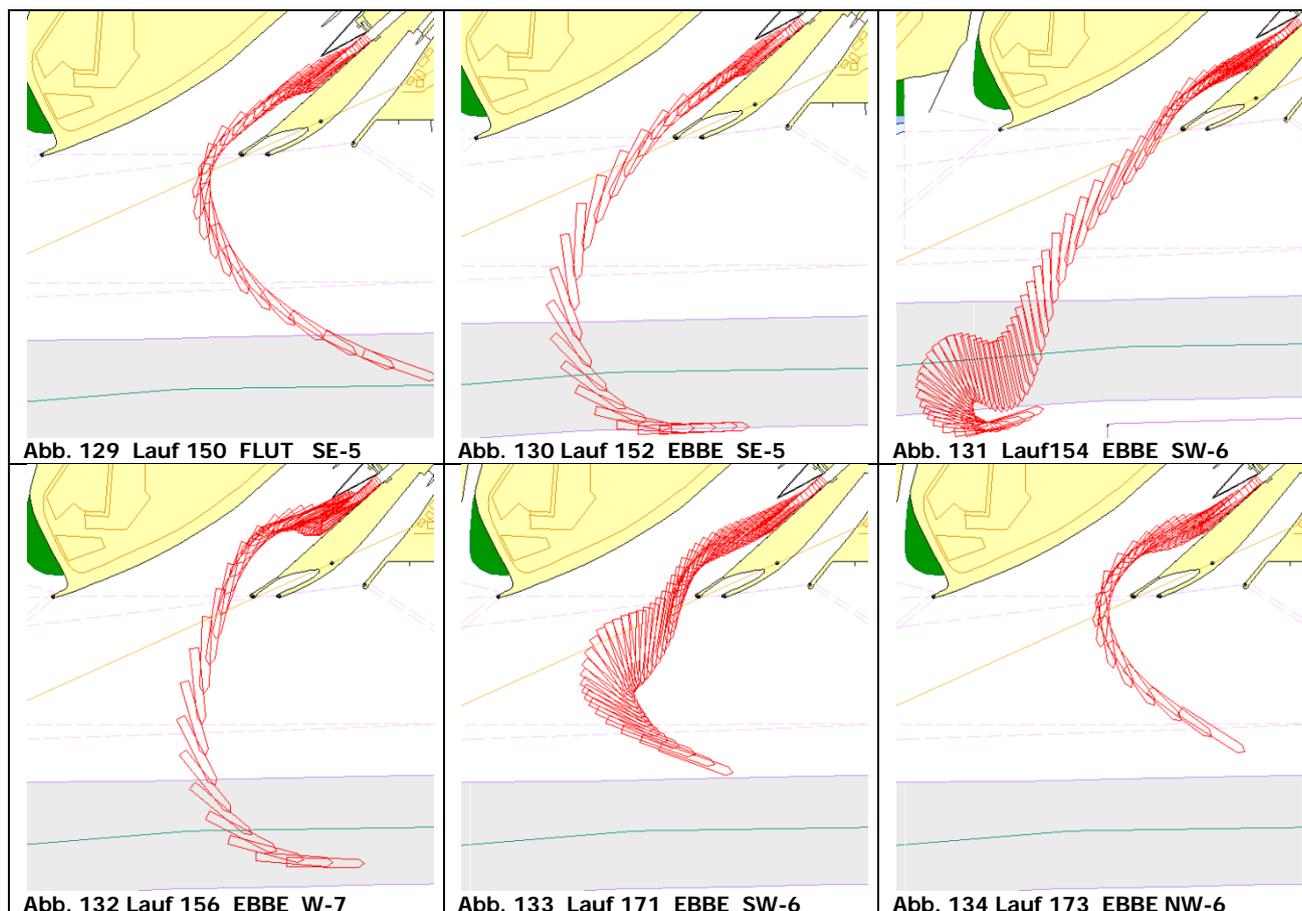
Um diese Aussage konkretisieren und somit auch Vergleiche zum IST-Zustand und der Variante 1 herstellen zu können, ist es notwendig, diesen Aspekt die Evaluierung der „Standardläufe“ auszuweiten.

Desweiteren lässt sich bereits aus den wenigen Referenzläufen erkennen, dass sich das Herstellen einer sicheren Auslaufposition schon allein aus der neuen Linienführung der Spundwand schneller und wohl auch einfacher zu bewerkstelligen lässt.

Da für das Auslaufen eine Trennung zwischen den Manöverabschnitten im Vorhafen und auf der Elbe vorgenommen wird, soll an dieser Stelle keine weiterführende Bewertung unternommen werden, sondern die relevanten Punkte in den Kapiteln für die beiden Hauptuntersuchungsschiffe explizit evaluiert werden.

#### 7.4.3.2 Auslaufen mit NOKmax

Neben den 3 Referenzläufen wurden weitere 10 Läufe gefahren bei denen beide Störgrößen als Randbedingungen auftraten von denen zunächst die Standardläufe mit den Szenariobedingungen betrachtet werden, die nicht zur Feststellung von Grenzbedingungen dienten.



Die Ergebnisse der 6 exemplarisch dargestellten Läufe bestätigen zunächst, dass

- das Auslaufen aus der 5. Schleuse und das Eindrehen in das Elbefahrwasser in der Variante 3 mit dem Containerschiff prinzipiell machbar ist, da von der nautischen Seite die notwendigen Strategien bereit gestellt werden können.

Daneben gilt aber auch, dass sich die aus den Referenzläufen abgeleitete Vermutung bestätigt, nämlich dass

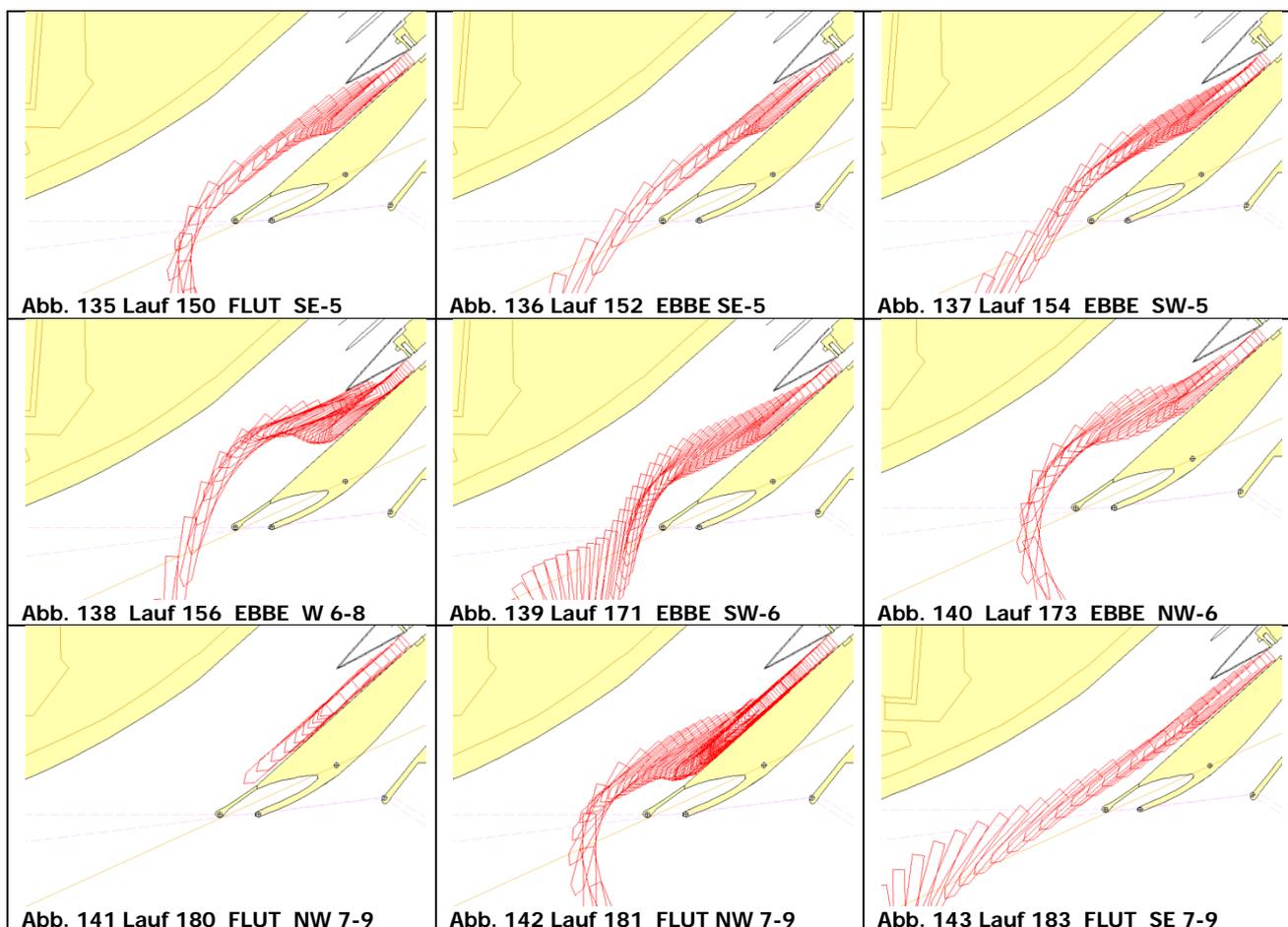
- der Raumbedarf bei Flutstrom größer anzusetzen ist, während bei Ebbstrom das Eindrehen in das Fahrwasser auf kleinerem Raum als machbar anzusetzen ist.

Weiterhin bestätigt sich, dass

- **das Eindrehmanöver in das Elbefahrwasser mit anschließender Fahrtrichtung nach Hamburg nicht variantenabhängig ist, sondern allem Anschein nach einerseits in der Hydrodynamik des Containerschiffes begründet ist und demzufolge andererseits eine Anpassung bestehender Fahrstrategien verlangt.**

Da aber der Manöverbeginn des Auslaufmanövers, Verlassen der Schleuse und Positionieren des Schiffes für das Verlassen des Vorhafens, varianten- und schiffsabhängig ist, soll diese Phase zunächst evaluiert werden, im Anschluss daran die zweite Manöverphase.

In den nachfolgenden Abbildungen ist der entsprechende Manöverabschnitt für die einzelnen Läufe abgebildet.



Da in dem hier zu betrachtenden Manörraum der Strom eine untergeordnete Rolle spielt sollen die oben dargestellten Läufe primär unter dem Aspekt „Wind“ evaluiert werden.

Aus den umseitigen Laufergebnissen können bezüglich der Manöverausführung in Hinsicht auf den vorherrschenden Wind zunächst folgende Erkenntnisse hergeleitet werden:

- **Das Auslaufmanöver kann insgesamt als umsetzbar betrachtet werden.**
- **Die Einschränkungen bezüglich der Austaurichtung des Achterschleppers in der Anfangsphase des Manövers und bezüglich eines frühen Andrehens des Schiffes besitzen weiterhin Gültigkeit.**
- **Die Versetzung der Mole nach Osten verlangt kein zeitaufwendiges Querschleppen des Schiffes.**
- **Bei ablandigem Wind erlaubt die Versetzung der Mole mit dem dadurch zusätzlich gewonnenen Raum auch ein Ablegen ohne Schlepper.**

Betrachtet man einmal den Beginn des Manövers (vom Verlassen der Schleuse bis zum „Freifahren“ vom Mittelleitwerk) so zeigen sich bei den Läufen mit ablandigem Wind

- **exakt die gleichen Probleme, die auch in der Variante 1 erkennbar waren, nämlich dass das Schiff Gefahr läuft mit zunehmender Quergeschwindigkeit an das Mittelleitwerk zu kommen.**

Ursächlich hierfür ist, wie oben bereits angedeutet, dass der Achterschlepper in seinem Austauwinkel in Richtung der Spundwand behindert ist und somit nicht genügend Kraft aufbringen kann um das Heck zu halten.

Allerdings müssen die umseitigen Läufe diesbezüglich differenziert betrachtet werden, da bei den Läufen 150 – 154 keine Schlepper eingesetzt wurden.

Dagegen zeigt sich bei auflandigem Wind, dass

- **die Grenzbedingung für dieses Manöver dann erreicht wird, wenn die Windstärke größer Beaufort 6 ist und die Schleppkapazität mit zwei Schleppern von je 35 t beibehalten wird.**

Dieses wird durch die Läufe 180 und 181 belegt. Der Lauf 180 wurde wegen des starken Windes bereits mit zwei 40 t Schleppern begonnen, doch auch diese Kraft reichte nicht mehr dazu aus, das Schiff von der Spundwand wegzubringen. Dieses konnte erst mit zwei 60 t Schleppern realisiert werden (Lauf 181).

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

An dieser Stelle ist es jetzt erforderlich, auf einen Punkt hinzuweisen, der aus den Laufdarstellungen nicht ersichtlich ist, nämlich die Nutzung von Schleppern und die zeitliche Länge des Schleppergebrauchs.

Wie bereits erwähnt, wurden die Läufe 150, 152, und 154 ohne Schlepper gefahren. Bei den anderen Läufen war es die Absicht der Lotsen, die Schlepper wenn möglich noch im Vorhafen zu entlassen, um zügig Fahrt aufnehmen zu können. Die Grundüberlegung hierfür waren die Erkenntnisse über das Verhalten des Schiffes beim Eindrehen (relativ großer Bogen) einerseits und das Vermeiden einer notwendigen Fahrtreduzierung während des Eindrehens in den Einlaufkurs nach Hamburg.

Wegen der hohen Propulsionskraft und dem geringen Verdrängungskoeffizienten beschleunigt das Schiff relativ schnell, sodass die Arbeitsgeschwindigkeit der Schlepper in kurzer Zeit erreicht ist. Um die Schlepper nicht zu gefährden, müsste die Fahrt drastisch reduziert werden, was einen sofortigen Einbruch der Steuerkraft des Ruders zur Folge hat.

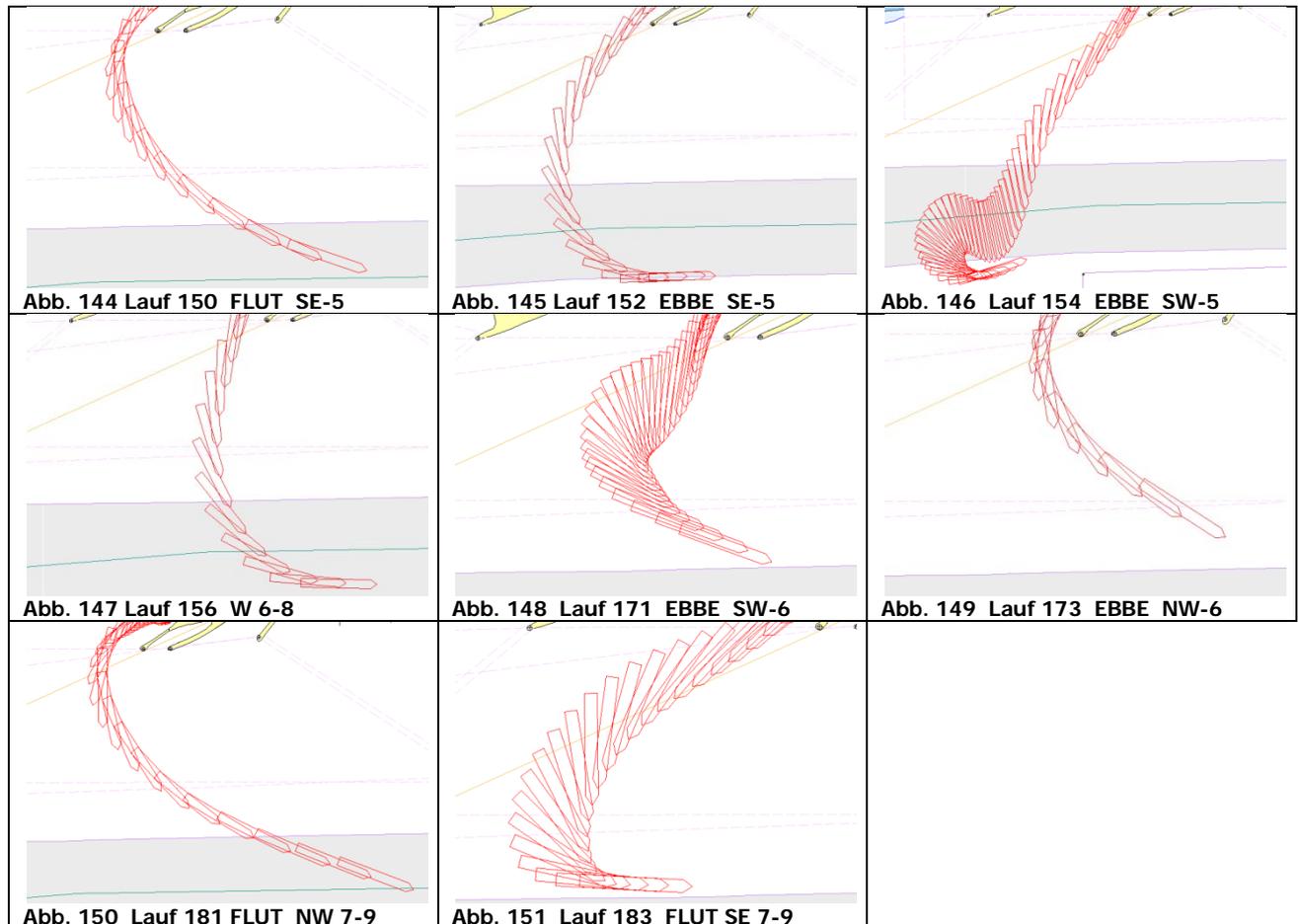
Diese Strategie ließ sich jedoch nicht immer umsetzen, insbesondere dann, wenn die Geschwindigkeit beim Passieren der Mole 3 noch relativ gering war oder wenn grundsätzlich geplant war, dass Schiff außerhalb (nördlich) des Fahrwassers zur drehen.

- **Im Vergleich zur Variante 1 sind somit für die erste Phase des Auslaufmanövers deutliche Verbesserungen erkennbar, die ausschließlich auf die Änderung der Linienführung der Spundwand und dem östlichen Versatz der Mole 3 zuzuschreiben sind.**

Die zweite Phase des Auslaufmanövers bildet nun das Einreihen in den fließenden Verkehr auf der Elbe bzw. die Positionierung des Schiffes auf den neuen Generalkurs.

Für die Untersuchungsläufe wurde wiederum grundsätzlich angenommen, dass das auslaufende Schiff für Hamburg bestimmt war, da diese Manövervariante als die aufwendigere und auch mit den größeren Problembereichen anzusehen ist verglichen mit dem Auslaufen nach See.

Die folgenden Abbildungen zeigen die zweite Phase des Auslaufmanövers mit dem NOKmax-Schiff in der Variante 3.



Alle Laufergebnisse, auch die der Referenzläufe, des Auslaufens mit dem NOKmax-Schiff zeigen, dass

- **deutliche Abhängigkeiten der (machbaren) Bahnführung von den Störgrößen Wind und Strom sowie der Einsatzstrategie für die Schlepper bestehen.**
- **Die Störgröße Wind hat dabei einen signifikanten Einfluss auf die Größe des benötigten Drehraums in Richtung zum grünen Tonnenstrich. Durch das auftretende Giermoment ist diese bei nordwestlichen Winden erheblich größer als bei südöstlichen Winden.**
- **Die Ergebnisse sind, soweit es den Raumbedarf angeht, weitestgehend identisch mit den Laufergebnissen der Variante 1, was bestätigt, dass die zweite Phase des Auslaufmanövers als variantenunabhängig angesehen werden kann.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Aus den umseitigen Abbildungen der Auslaufmanöver sticht der Lauf 154 besonders hervor. Hier liegt zugegebenermaßen ein Lotsenfehler vor, der zunächst darin bestand, dass das Giermoment des Windes vollkommen unterschätzt wurde und die Fahrt des Schiffe nicht energisch genug erhöht wurde, um die nötige Steuerkraft zu erhalten. Letztlich gelang das Drehmanöver aber noch, nachdem die Fahrt ganz herausgenommen wurde und mit Hilfe des „Kick-Effekts“ der Maschine und das Windmoment die Steuerkräfte erzeugt wurden.

Somit verbleibt noch die Betrachtung des Zeitaufwandes für das gesamte Manöver.

Dieser muss primär im Zusammenhang mit der Verkehrstaktung (Schiffsfolge) auf der Elbe betrachtet werden, die durchaus sehr hoch sein kann, d.h. der zeitliche Abstand zwischen den auslaufenden und den einkommenden Schiffen kann durchaus sehr kurz sein.

Ein weiterer Punkt der in die Gesamtbetrachtung einfließen muss ist die Tatsache, dass der hier zu betrachtende Bereich sowohl dem Lotsenwechsel dient als auch teilweise als Wartebereich für Schiffe zum NOK.

Unter solchen Verkehrslagen, passierende Schiffe in beide Richtung und Schiffe die den Lotsen wechseln und deshalb nicht immer fahrwassergerecht liegen können oder wieder Fahrt aufnehmen müssen, ist das Queren eines Fahrwassers nicht ganz ungefährlich, nicht nur für das querende sondern auch für alle anderen Fahrzeuge.

Alternativ besteht die Möglichkeit bei einer dichten Verkehrslage auf der Elbe, das Fahrzeug zunächst aus dem Vorhafen zu führen und im östlichen Zufahrtsbereich auf einen Generalkurs nach Hamburg zu legen, um die Querung des Fahrwassers dann vorzunehmen, wenn dies durch eine ausreichende Lücke zulässig ist (Absprache der Lotsen „Grün-an-Grün-Passieren“).

Daher ist es die Aufgabe des Lotsen, das Schiff in der kürzest möglichen Zeit aus dem Zulaufbereich der Schleusen zu bringen, das Fahrwasser zu queren und das Fahrzeug in die neue Kurslage zu bringen. Um das Manöver in der Art durchführen zu können, muss gewährleistet sein, dass innerhalb des fließenden Verkehrs eine entsprechende zeitliche Lücke in der Schiffsfolge sowohl im abgehenden als auch im einkommenden Verkehr besteht.

- **Hier ist also eine präzise Kenntnis der Verkehrslage erforderlich zusammen mit eindeutiger Kommunikation der Lotsen mit der Verkehrszentrale als auch untereinander.**

Da im Zeitvergleich der Variante 1 und dem IST-Zustand durchaus deutliche Unterschiede zum Tragen gekommen sind, ist zunächst der Rückschluss zulässig, dass die Formgebung des Vorhafens eine nicht unwesentliche Rolle spielt.

Daher muss an dieser Stelle auch ein Zeitvergleich der Manöver mit dem Containerschiff in der Variante 3 mit den Manövern der Variante 1 vorgenommen werden.

Die Gesamt-Lauflänge des Auslaufens mit dem Containerschiff in dieser Variante betrug

- **Minimal: 9 Minuten Maximal: 21 Minuten Durchschnitt: etwa 13 Minuten**

in der Variante 1 dagegen

- **Minimal: 15 Minuten Maximal: 33 Minuten Durchschnitt: etwa 21 Minuten**

Da die Gesamtlauflänge zu einem großen Teil von der ersten Phase des Manövers innerhalb des Vorhafens abhängt, wird deutlich, dass die Möglichkeit der Verkürzung der Manöverlänge hier ein deutlicher Gewinn im Gesamtzeitbedarf nach sich zieht und somit als ein positiver Aspekt der Variante 3 eingeordnet werden kann.

### 7.4.3.3 Auslaufen mit VG5-10.4m

Für die Bewertung des Auslaufmanövers stehen insgesamt 10 Versuchsläufe zur Verfügung, die in den folgenden Abbildungen dargestellt sind.



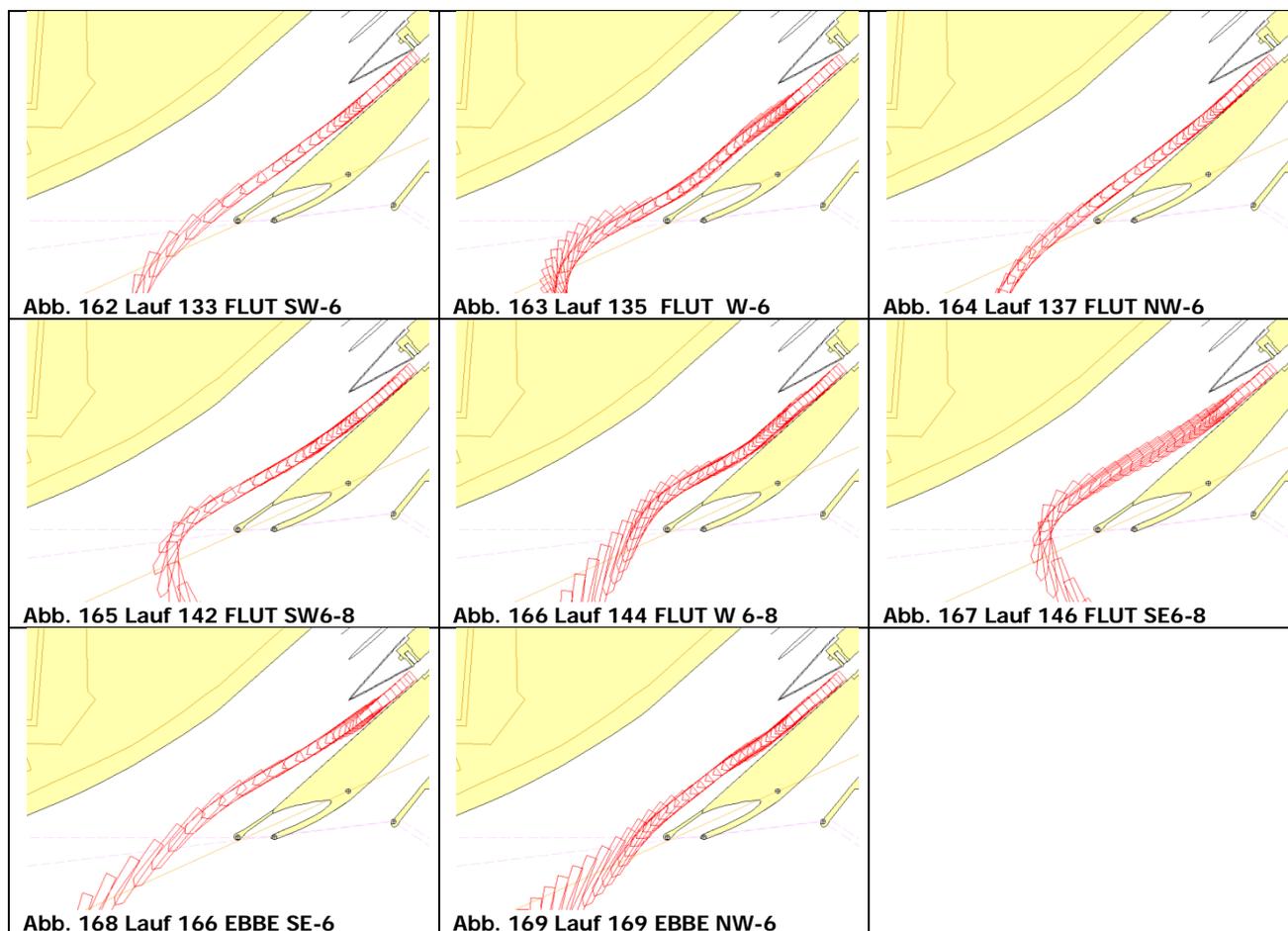
Eine erste Betrachtung der obenstehenden Laufergebnisse zeigt, dass die Bahnführungsabläufe in weiten Bereichen identisch sind, wie sie schon bei dem Containerschiff NOKmax zu beobachten waren.

Die Ergebnisse der 10 dargestellten Läufe bestätigen zunächst, dass

- **das Auslaufen aus der 5. Schleuse und das Eindrehen in das Elbefahrwasser auch mit dem Massengutschiff der Verkehrsgruppe 5 in der Variante 3 machbar ist, da von der nautischen Seite die hierfür notwendigen Strategien bereit gestellt werden können.**

Es wurde schon mehrfach erwähnt, dass das Auslaufen aus der 5.Schleuse in das Elbefahrwasser prinzipiell in zwei Manöverphasen getrennt werden muss, die Phase im Vorhafen und das eigentlich Eindrehmanöver im Elbefahrwasser, um in die Fahrtrichtung nach Hamburg zu kommen.

Beide Manöverphasen weisen eigene Merkmale auf, die einerseits abhängig sind von der Variante (Manöver im Vorhafen), andererseits aber variantenübergreifend zu betrachten sind.



Die Laufergebnisse in der Betrachtung des Bahnablaufes bestätigen eindrucksvoll die Erkenntnisse aus den Läufen mit dem NOKmax-Schiff:

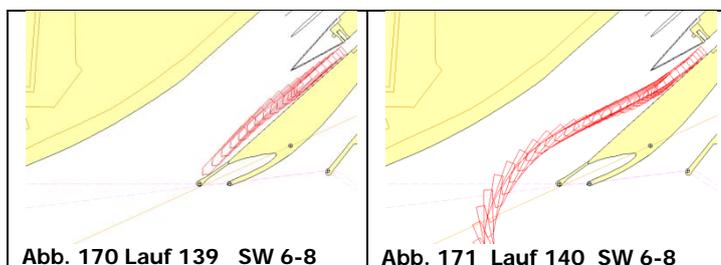
- **Wegen der günstigeren Formgebung der Variante 3 ist ein kontinuierlicher Bahnablauf vom Verlassen der Schleuse bis zum Passieren der Mole 3 möglich.**
- **Die Manöverphase innerhalb des Vorhafens kann deutlich problemloser realisiert werden als vergleichsweise in der Variante 1.**

Bei den umseitigen Läufen fehlen zwei, auf die noch im weiteren Verlauf eingegangen wird.

Ähnlich wie bei den Läufen mit dem Containerschiff, wurde angestrebt, auch diese Versuchsläufe so weit wie vertretbar an die Bedingungen des IST-Zustandes anzugleichen, d.h., mit einem Minimum an Schleppern auszukommen, oder aber die Schlepper nur so lange wie unbedingt notwendig fest zu lassen.

Aus den Datenplotts (Band 917-2) kann z.B. entnommen werden, dass bei dem Lauf 133 keine Schleppkraft eingesetzt wurde. Hier war die Windrichtung günstig, d.h. direkt von vorne (SW-Wind), sodass in der Anfangsphase keine störenden Kräfte auftraten und das Manöver mithilfe der schiffseigenen Steuerkräfte ausgeführt werden konnte.

Die anderen Laufergebnisse der ersten Manöverphase des Auslaufens zeigen ähnliche Bahnführungsverläufe wie bei dem Containerschiff, nämlich kontinuierlich in ihrem Ablauf, nur dass wegen der geringeren Windanfälligkeit des Schiffes mit der verfügbaren Schleppkapazität (2 x 35 t) auch höhere Windstärken als Beaufort 5 noch sicher zu beherrschen waren.



Wie oben bereits gesagt, fehlten in den umseitigen Laufdarstellungen zwei Läufe. Dies sind jetzt in den beiden Abb.167 und 168 abgebildet. Mit dem Lauf 139 wurde begonnen, ähnlich wie schon mit dem

Containerschiff, die Windgrenzen für dieses Schiff näher zu bestimmen.

Obleich man erwarten würde, dass bei einem vorderlichen Wind kaum Probleme auftreten können, geschah dies jedoch in Lauf 139. Der Lotse beabsichtigte, das Heck des Schiffes möglichst frühzeitig von der Spundwand frei zu bekommen, um dann den Steven sicherer ausdrehen zu können. Während einer länger anstehenden Böe erfuhr das Fahrzeug jedoch ein gegenläufiges Drehmoment und der Steven wurde wieder in Richtung der Spundwand gedreht und damit der Lauf zum Scheitern verurteilt.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Diese Erkenntnis führte dazu, dass in den folgenden Läufen mit gleichen Windstärken ständig eine größere Winkeldifferenz zwischen Spundwandrichtung und Auslaufkurs gewählt wurde, was letztlich dazu führte, dass alle weiteren Läufe erfolgreich durchgeführt wurden.

Für diese Phase des Auslaufmanövers mit dem Massengutschiff gilt somit, dass

- **im Vergleich zur Variante 1 deutliche Verbesserungen erkennbar sind, die überwiegend auf die Änderung der Linienführung der Spundwand und dem östlichen Versatz der Mole 3 zuzuschreiben sind.**
- **Die Manöverdurchführung ist weniger zeitaufwendig und mit einem höheren Sicherheitsgrad belegt als in Variante 1.**
- **Mit aller Wahrscheinlichkeit kann davon ausgegangen werden, dass bis zu Windstärken mit Beaufort 8 die Schleppkapazität von 2 x 35 t für ein sicheres Manöver ausreicht.**

Die zweite Phase des Auslaufmanövers bildet nun das Einreihen in den fließenden Verkehr auf der Elbe bzw. die Positionierung des Schiffes auf den neuen Generalkurs.

Für die Untersuchungsläufe wurde wiederum grundsätzlich angenommen, dass das auslaufende Schiff für Hamburg bestimmt war, da diese Manövervariante als die aufwendigere und auch mit den größeren Problembereichen anzusehen ist verglichen mit dem Auslaufen nach See.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

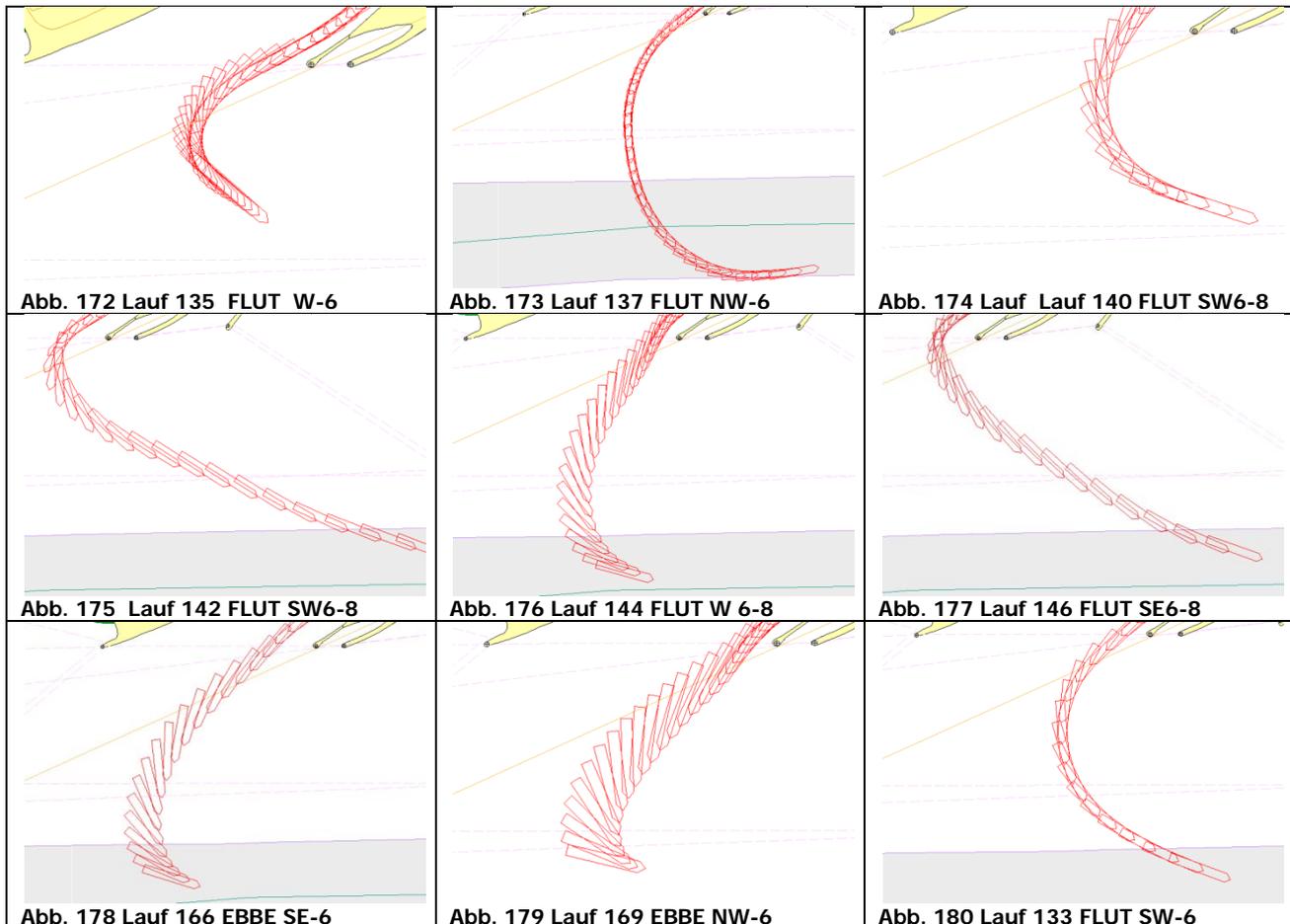
Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Die folgenden Abbildungen zeigen die zweite Phase der Auslaufmanöver mit dem Massengut-Schiff in der Variante 3.



Alle Laufergebnisse des Auslaufens mit dem Massengut-Schiff zeigen, dass

- **deutliche Abhängigkeiten der (machbaren) Bahnführung von den Störgrößen Wind und Strom sowie der Einsatzstrategie für die Schlepper bestehen.**
- **Die Störgröße Wind hat bei diesem Schiffstyp (Massengutschiff) keinen signifikanten Einfluss auf die Größe des benötigten Drehraums.**
- **Der benötigte Raumbedarf wird primär von der gewollten Fahrstrategie (Drehen in Nähe der Mole 3 oder kontinuierliches Eindrehen) bestimmt.**
- **Die Ergebnisse sind, soweit es den Raumbedarf angeht, weitestgehend identisch mit den Laufergebnissen der Variante 1, was aussagt, dass die zweite Phase des Auslaufmanövers als weniger variantenunabhängig angesehen werden kann.**

Somit verbleibt noch die Betrachtung des Zeitaufwandes für das gesamte Manöver.

Die Grundlagen der Notwendigkeit des Betrachtens des Zeitaufwands ist bereits ausführlich im vorangegangenen Kapitel beschrieben worden und sollen daher hier nur in einem zusammengefassten Statement wiedergegeben werden.

Der Lotse hat die Aufgabe, das Schiff in der kürzest möglichen Zeit aus dem Zulaufbereich der Schleusen zu bringen, das Fahrwasser zu queren und das Fahrzeug in die neue Kurslage einzusteuern. Um das Manöver in der Art durchführen zu können, muss gewährleistet sein, dass innerhalb des fließenden Verkehrs eine entsprechende zeitliche Lücke in der Schiffsfolge sowohl im abgehenden als auch im einkommenden Verkehr besteht.

Da im Zeitvergleich der Variante 1 und dem IST-Zustand durchaus deutliche Unterschiede der Auslaufmanöver mit dem Containerschiff zum Tragen gekommen sind, ist zunächst der Rückschluss zulässig, dass die Formgebung des Vorhafens eine nicht unwesentliche Rolle spielt.

Daher muss an dieser Stelle auch ein Zeitvergleich der Manöver mit dem Massengutschiff in der Variante 3 mit den Manövern der Variante 1 vorgenommen werden.

Die Gesamt-Lauflänge des Auslaufens mit dem Massengutschiff in dieser Variante betrug

- **Minimal: 8 Minuten Maximal: 18 Minuten Durchschnitt: etwa 14 Minuten**

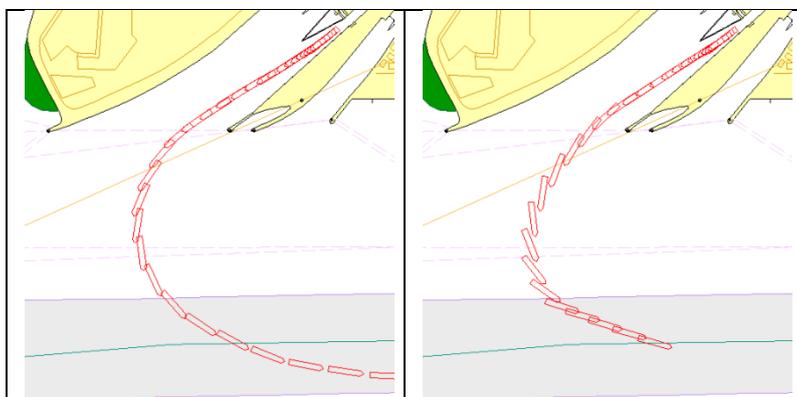
in der Variante 1 dagegen

- **Minimal: 16 Minuten Maximal: 25 Minuten Durchschnitt: etwa 18 Minuten**

Da die Gesamtlauflänge zu einem großen Teil von der ersten Phase des Manövers innerhalb des Vorhafens abhängt, wird deutlich, dass die Möglichkeit der Verkürzung der Manöverlänge hier ein deutlicher Gewinn im Gesamtzeitbedarf nach sich zieht und somit als ein positiver Aspekt der Variante 3 eingeordnet werden kann.

#### **7.4.3.4 Auslaufen mit VG4**

Neben der Überprüfung der nautisch/technischen Manöverbearbeitbarkeit zum Einlaufen in die 5.Schleuse mit den beiden Hauptuntersuchungsschiffen (NOKmax und Tanker VG5), war es ebenfalls erforderlich Schiffe kleinerer Verkehrsgruppen in die Untersuchung einzubeziehen. Dieses wurde mit den zwei folgenden Manövern mit einem Schiff der Verkehrsgruppe 4 (Tiefgang 7.0 m) in der Variante 3 überprüft.



Ähnlich wie schon bei den Einlaufmanövern festzustellen war, gilt auch für diese Laufergebnisse, dass beide Manöverphasen, Verlassen des Schleusenbereiches und Verbringen des Schiffes in eine Auslaufposition, sowie das Eindrehen auf der Elbe problemlos bewerkstelligt werden

konnten.

Nach der Laufdurchführung und der einhelligen Expertenmeinung kann statiert werden, dass

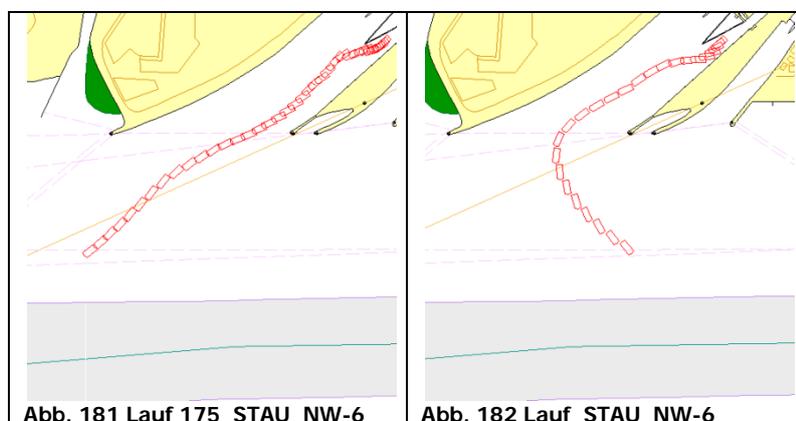
- **die Variante 3 keine negative Beeinflussung der geforderten Bahnführung für Schiffe der Verkehrsgruppen  $\leq 4$  verursacht und dass**
- **die Manöverdurchführung mit den bereits bewährten Strategien, d.h. auch ohne externe Schleppkraft realisierbar ist.**

Aufgrund der Laufergebnisse und der Einschätzung der Manöverdurchführung durch die Expertengruppe wurde auf weitere Versuchsläufe verzichtet.

#### **7.4.3.5 Auslaufen mit Schleppverband**

Die Aufgabenstellung der Simulationsszenarien enthielt auch die Überprüfung der Durchführbarkeit von Schleppverbänden. Dieses Szenario wurde nur als Auslaufmanöver gefahren.

In den beiden folgenden Abbildungen ist ausschließlich die Bahn des zu schleppenden Pontons dargestellt, nicht jedoch die der beiden Schlepper.



Nach der Laufdurchführung und der einhelligen Expertenmeinung kann statiert werden, dass

- **die Variante 3 keine negative Beeinflussung der geforderten Bahnführung für den Schleppverband verursacht und dass**
- **die Manöverdurchführung mit den bereits bewährten Strategien realisierbar ist.**

Aufgrund der Laufergebnisse und der Einschätzung der Manöverdurchführung durch die Expertengruppe wurde auf weitere Versuchsläufe verzichtet.

## **7.5 Vergleich Variante 3 mit IST-Zustand und Variante 1**

Die Grundüberlegung eines Vergleiches der Varianten mit dem heutigen Zustand ist darauf begründet, dass es anzustreben ist, die Schifffahrt während der Überholungszeit der „Neuen Schleusen“ in keiner Weise zu beeinträchtigen.

Ein Vergleich der Laufergebnisse aus der Variante 3 mit denen der Variante 1 hat dabei den Hintergrund, dass diese beiden Varianten unter hydraulischen Aspekten deutlich voneinander abweichen, welches u.U. zu nicht unerheblichen Folgekosten in Bezug auf wasserbauliche Optimierung der Unterhaltung, hier der Variante 3, führt.

Über die Vor- und Nachteile der beiden untersuchten Varianten kann hier verständlicherweise wegen der fehlenden Kompetenz nichts gesagt werden, da sind die Disziplinen Hydraulik und Wasserbau gefragt.

Dieses nautische Gutachten ist nur in der Lage aufzuzeigen, welche der beiden Varianten aus nautischer Sicht entweder mit Gefährdungs- oder Risikopotenzial belegt ist und der daher der Vorzug zu geben ist oder welche möglichen Änderungen der Ausführung Abhilfe schaffen könnten. Die endgültige Abschätzung in Bezug auf Investitionskosten, Effizienz und Folgekosten kann hier nicht vorgenommen werden.

Um die Vergleiche so übersichtlich wie möglich zu gestalten, sollen diese hier nicht durch die Darstellung verschiedener Läufe aus den unterschiedlichen Zuständen vorgenommen werden, wie es noch im Vergleich der Variante 1 zum IST-Zustand (Kapitel 7.3) geschah, sondern durch den Vergleich und die Kommentierung wesentlicher Kernaussagen der einzelnen Varianten. Da die beiden zu vergleichenden Varianten 1 und 3 sich untereinander im Wesentlichen nur in der Linienführung der Spundwand von der 5.Schleuse und der Lage der Mole 3 unterscheiden ist ein erneuter Vergleich einzelner Laufereignisse in den meisten Fällen nicht mehr erforderlich, da die kausalen Zusammenhänge zwischen Manöverereignissen und dem Vorhandensein der geplanten Baumaßnahmen (Spundwand) ausführlich im Vergleich der Variante 1 zum IST-Zustand erfolgte.

Die Struktur der einzelnen zu vergleichenden Kernaussagen oder Merkmale erfolgt in der Art, dass sie mit dem Aufbau des Berichtes in der Kapitelfolge übereinstimmt. Somit sind schnelle Rückvergleiche oder das Einholen erweiterter Informationen möglich.

### Vergleich der Variante 3 zum IST-Zustand

Aus den wesentlichen Kernaussagen der Simulationsergebnisse aus den Versuchsläufen mit den beiden Hauptuntersuchungsschiffen (NOKmax und VG5-10.4m) kann für das Ein- und Auslaufen festgestellt werden:

- **Im Prinzip besteht von nautischer Seite grundsätzlich die Möglichkeit, Manöverstrategien zu entwickeln, die sowohl ein Anlaufen als auch ein Verlassen der 5. Schleuse zulassen.**
- **Der Bahnführungsverlauf in der Variante 3 erscheint aufgrund der veränderten Linienführung der Spundwand insgesamt kontinuierlicher und ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein.**
- **Die Fortführung der Spundwand im direktem Anschluss an die südliche Schleusenmauer engt den Manövrierraum, insbesondere bei ablandigem Wind (SE-Quadrant) ein und erschwert die Lageausrichtung auf die Einfahrtlinie.**
- **Die Drehmanöver auf der Elbe für einkommende Schiffe von Hamburg können, unabhängig der äußeren Randbedingungen, bei Einhaltung der bewährten Strategien durchgeführt werden.**
- **Das Einlaufen und Auslaufen mit Schiffen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner kann problemlos durchgeführt werden und weicht nur kaum von den heutigen Gegebenheiten ab**

Diese ersten Kernaussagen lassen die Schlussfolgerung zu, dass

- **Die Variante 3 bezüglich der beiden Hauptuntersuchungsschiffe im Gesamtergebnis der Manöverabläufe und der Umsetzung notwendiger Fahrstrategien dem heutigen Zustand sehr nahe kommt und bezüglich kleinerer Fahrzeuge gilt, dass kaum Unterschiede bestehen.**

Ein Vergleich der zeitlichen Dauer der einzelnen Manöver in der Variante 1 und dem IST-Zustand (soweit solche Vergleichsläufe hier vorliegen) zeigt tendenziell, dass

- **Die zeitlichen Längen der Manöver von der Elbe zur 5.Schleuse und von der 5.Schleuse zum Elbfahrwasser in einem ähnlichen Spektrum liegen.**

### Vergleich Variante 3 zur Variante 1

Für einen Vergleich der beiden Varianten untereinander können im Wesentlichen die Manöver innerhalb des Vorhafens herangezogen werden, da

- **die Ergebnisse der letzten Phase des Einlaufmanövers in den Vorhafen und in die 5.Schleuse vorrangig Einfluss nehmen auf die zu wählende Bauausführung des Zufahrtbereiches zur Schleuse.**

Allerdings gilt auch, dass

- **die gewählte Bauausführung des Zufahrtbereiches zur Schleuse einen signifikanten Einfluss auf die zeitliche Länge des Auslaufmanövers und den Einsatz von Schleppern nimmt.**

Für beide Varianten gilt im Grundsatz, dass

- **der verfügbare Manövrierraum östlich/südlich der Einlauflinie zur 5.Schleuse nur sehr gering und durch eine Spundwand begrenzt ist,**
- **die nutzbare Länge des Vorhafens, gemessen von der Verbindungslinie der Molen 3 und 4 bis zum Kopf des neuen Leitwerks unverändert kurz ist und**

und somit die unterschiedliche Linienführung der Spundwand und der Lage der Mole 3 die entscheidenden Vergleichskriterien sind.

Ohne Berücksichtigung der Manöverergebnisse, sondern nur aus grundsätzlicher nautischer Betrachtung ergeben sich für die Variante 3 deutliche Verbesserungen, die wie folgt benannt werden können:

- **Es besteht eine fast direkte und geradlinige Einlauflinie von der Vorhafeneinfahrt zur Schleuse.**
- **Beim Auslaufen liegt vor dem Schiff freies Fahrwasser.**
- **Sowohl beim Einlaufen als auch beim Auslaufen sind nur noch geringe Kursänderungen auf kurze Distanzen notwendig.**
- **Die Einfahrtsbreite zwischen den Molen ist größer geworden und erlaubt möglicherweise mehr Spielraum für die Einlaufstrategie.**

Aus den Manöverergebnissen lassen sich hinsichtlich eines Vergleiches der Variante 3 mit der Variante 1 folgende Änderungen feststellen:

- **Der Bahnführungsverlauf beim Einlaufen erscheint insgesamt kontinuierlicher ohne große Kursänderungen nach dem Passieren der Mole 3 machbar zu sein als in der Variante 1.**
- **Die Manöverabfolgen konnten in einer gleichmäßigeren Form und damit auch kontrollierter durchgeführt werden, welches schon grundsätzlich auf eine Verbesserung der Manöverqualität und –Sicherheit gegenüber der Variante 1 hinweist.**
- **Die nahezu geradlinige Ausführung der Spundwand vom Schleusenaupt zur Einfahrt, erleichtert das Ausrichten des Schiffes auf die Einlauflinie erheblich im Vergleich zur Variante 1.**
- **Die Versetzung der Mole nach Osten verlangt kein zeitaufwendiges Querschleppen des Schiffes.**
- **Bei ablandigem Wind erlaubt die Versetzung der Mole mit dem dadurch zusätzlich gewonnenen Raum nach vorne auch ein Ablegen ohne Schlepper.**
- **Die Auslaufmanöver (von der 5.Schleuse bis zum Erreichen der Mole 3) konnten in deutlich kürzerer Zeit ausgeführt werden.**

Aus diesen Kernaussagen lässt sich auch ohne Berücksichtigung einzelner Manövermerkmale deutlich erkennen, dass

- **unter nautischen Gesichtspunkten und Einbeziehung der sicheren Durchführbarkeit der geforderten Manöver die Variante 3 erhebliche Vorteile gegenüber der Variante 1 aufweist.**

Gleichwohl gilt aber weiterhin auch, dass im Grundsatz für beide Varianten noch Einschränkungen bestehen wie z.B. die Einschränkung des Manövrierraums an der Einlauflinie oder die Einschränkung der des Arbeitsbereiches der Schlepper durch die Spundwandführung.

Um diese Bereiche der Einschränkungen aufzulösen oder zu minimieren ist es erforderlich, über grundsätzliche Änderungen in der Formgebung des Vorhafens nachzudenken. Aus den Laufergebnissen lässt sich hierfür eine Anzahl von Möglichkeiten herleiten, die im Kapitel 7.7. als Empfehlungen näher beschrieben werden.

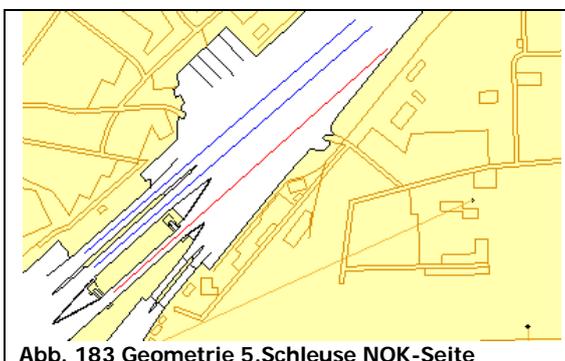
## 7.6 Vom NOK in die 5.Schleuse

Zur Überprüfung der nautisch/technischen Machbarkeit des Einlaufens in die 5.Schleuse vom NOK aus wurden insgesamt **8** Läufe durchgeführt, die sich wie folgt aufschlüsseln lassen:

- **Referenz 3 Läufe** davon
  - 1 Lauf mit dem NOKmax
  - 2 Läufe mit VG5-10.4 m Tiefgang
  
- **Einlaufen 7 Läufe (inkl. Referenzläufe)** davon
  - 1 Lauf mit dem NOK-max
  - 6 Läufe mit VG5-10.4 m Tiefgang
  
- **Vergleich mit „Neue-Süd-Schleuse“ 1 Lauf**
  - 1 Lauf mit dem NOK-max

Eine weiterführende Aufschlüsselung bezüglich der herrschenden Randbedingungen Wind und Strom ist in der Lauftabelle im Kapitel 5, Seite 19 zu finden.

### 7.6.1 Geometrie 5.Schleuse NOK-Seite



Die nebenstehende Abbildung zeigt schematisch die Geometrie der 5.Schleuse in Verbindung mit dem Zu- laufbereich vom Nordostsee-Kanal.

Eingezeichnet sind dabei die Einlaufbahnen der einzel- nen Schleusenkammern, blau für die „Neuen Schlei- sen“ und rot für die 5. Schleuse.

Bei einer näheren Betrachtung werden Merkmale sichtbar, die in den Evaluationen der Läufe ihre Berücksichtigung finden, nämlich die Einlaufbahnen der 5. Schleuse und die Tatsache, dass sich die Zufahrtbereiche zur 5.Schleuse und zu den „Alten Schleusen“ überdecken.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Obwohl nicht Teil der Geometrie ist es doch sinnvoll die Stromkomponente hier einzubinden und näher zu erläutern. Normalerweise kann in einem geschlossenen System wie dem NOK kein Strom fließen. Allerdings kommt es immer wieder vor, dass der Wasserstand im Kanal die zulässige Höhe überschreitet und somit eine Entwässerung durchgeführt werden muss.

Dieses geschieht dadurch, dass eine oder beide „Alten Schleusen“ bei einem entsprechenden Ti- denstand auf der Elbe geöffnet werden, sodass das überflüssige Wasser ablaufen kann.

Dieser Vorgang erzeugt im näheren Bereich aller Schleusen ein Strömungsprofil. Um dieses in der Simulation nachbilden zu können, wurde ein kleines Strommodell erzeugt (bis etwa 1500 Meter vor den Schleuseneinfahrten) dessen Stromvektoren auf der Grundlage älterer Messungen<sup>5</sup> be- stimmt wurden. D.h. es lag kein numerisches Rechenmodell vor, was aber nach Aussage der Ex- perten keine deutliche Verbesserung gebracht hätte.

---

<sup>5</sup> Siehe Anlage 4 „Seegebiete und Strom“ (wird dem endgültigen Abschlussbericht beigelegt)

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### 7.6.2 Laufergebnisse

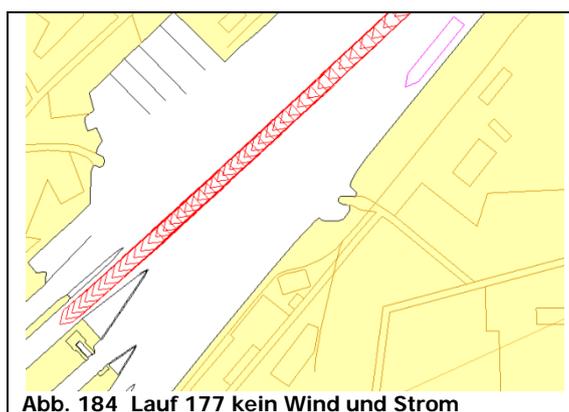
Für die Bewertung des Einlaufens in die 5. Schleuse vom NOK aus stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

ÜBERSICHT Einlaufen vom NOK			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
176	NOK	Referenz ohne Strom	Ein	nil	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
165	VG5T	Referenz Strom	Ein	Entw.	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
167	VG5T	Referenz Strom	Ein	Entw.	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
168	VG5T	Standard	Ein	Entw.	SW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
170	VG5T	Standard	Ein	Entw.	SE	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
172	VG5T	Standard	Ein	Entw.	NW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
174	VG5T	Standard	Ein	Entw.	NW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
177	NOK	<b>Vergleichslauf</b>	Ein	nil	nil	nil	Vom NOK in die Neue-Süd

**Tabelle 13 Übersicht Einlaufen vom NOK**

Da aufgrund der geringen Anzahl der Läufe und der Tatsache, dass diese Untersuchungsläufe variantenunabhängig sind, findet im weiteren Verlauf auch kein Vergleich mit anderen Varianten statt.

Um jedoch eine Referenz zu haben, um die Machbarkeit oder mögliche Einschränkungen der Läufe in die 5. Schleuse überprüfen zu können, ist es sinnvoll zu Beginn den Vergleichslauf im heutigen Zustand darzustellen und zu kommentieren.



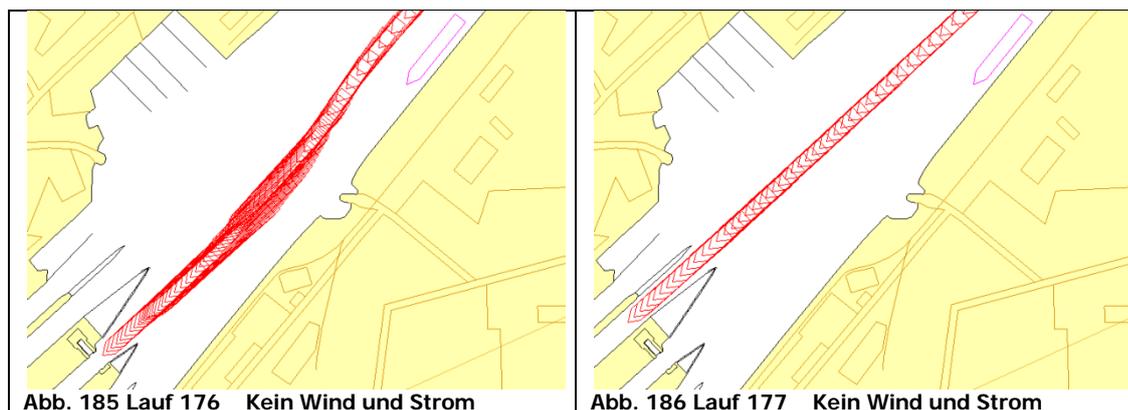
**Abb. 184 Lauf 177 kein Wind und Strom**

Der Lauf zeigt, dass unter günstigsten Bedingungen eine ideale Bahn von der NOK-Seite in die „Neue Süd“ abgelaufen werden kann.

Selbst bei auftretenden Störgrößen durch den Wind, erlaubt die ideale Einlauflinie ein sehr frühes Einsteuern des Schiffes auf einen adäquaten Kurs, d.h. einen Vorhaltewinkel zu steuern, der die Winddrift-

komponente ausgleicht. Im letzten Moment wird das Schiff dann mit Steuerkraft (eigene oder Schlepper) auf den korrekten Einlaufkurs gelegt und in die Schleuse eingelaufen.

Jetzt ist es erforderlich, einen vergleichbaren Lauf für das Einlaufen in die 5. Schleuse in die Betrachtung zu nehmen. Um die Unterschiede deutlich zu machen werden für diesen Vergleich in den beiden folgenden Abbildungen die Referenzläufe mit dem NOKmax dargestellt.



Bei dem Vergleich der beiden Läufe ist in Erinnerung zu rufen, dass keine Störgrößen einwirkten und dass beide Läufe mit dem NOKmax ohne Schlepperassistenz gefahren worden sind.

Ähnlich wie schon bei den Einlaufmanövern von der Elbe in die NOK-Schleusen tritt hier dieselbe Problematik auf, die sich darin dokumentiert, dass sich das Ausrichten des Schiffes auf die Einlauf-  
linie der 5.Schleuse schwieriger bewerkstelligen lässt wie bei den „Neuen Schleusen“.

Eben diese Problematik ist deutlich im Lauf 176 zu erkennen. In diesem Fall war es wieder notwendig, auf relativ kurzer Distanz einen Querversatz des Schiffes zu erzeugen. Dieser Querversatz beträgt, wenn man die Distanz zwischen den Einlauf-  
linien der „Neuen Süd“ und der 5. Schleuse etwa in Höhe des östlichen Fähranlegers misst, 100 Meter welches etwa 3 Schiffsbreiten entspricht.

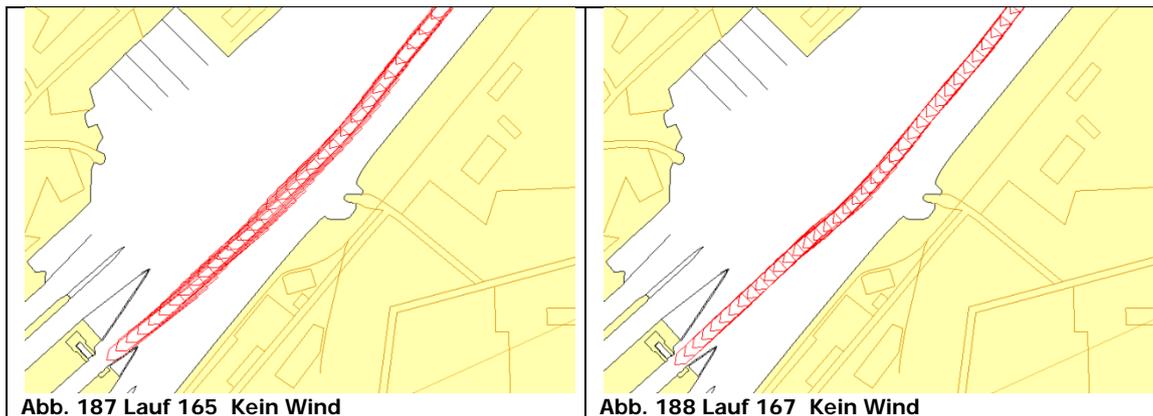
Wie aus den nachfolgenden Läufen noch ersichtlich wird, ist u.U. ein zu frühes Andrehen einer-  
seits durch Schiffe am Südufer eingeschränkt, andererseits können bei zu großer Annäherung an  
das Südufer durchaus für das Manöver störende Bankeffekte auftreten.

Schon der Vergleich zweier „ungestörter“ Läufe zeigt, dass

- **Das Einlaufen in die 5. Schleuse von der Kanal-Seite mit großen Schiffen von der heutigen Praxis der Manöverstrategie abweicht und**

- **Dass der Zufahrtbereich zu den „Alten Schleusen“ zeitlich sehr eingeschränkt ist, wenn ein großes Schiff in die 5.Schleuse einläuft.**

Einlaufen mit Strom durch Entwässerung –kein Wind



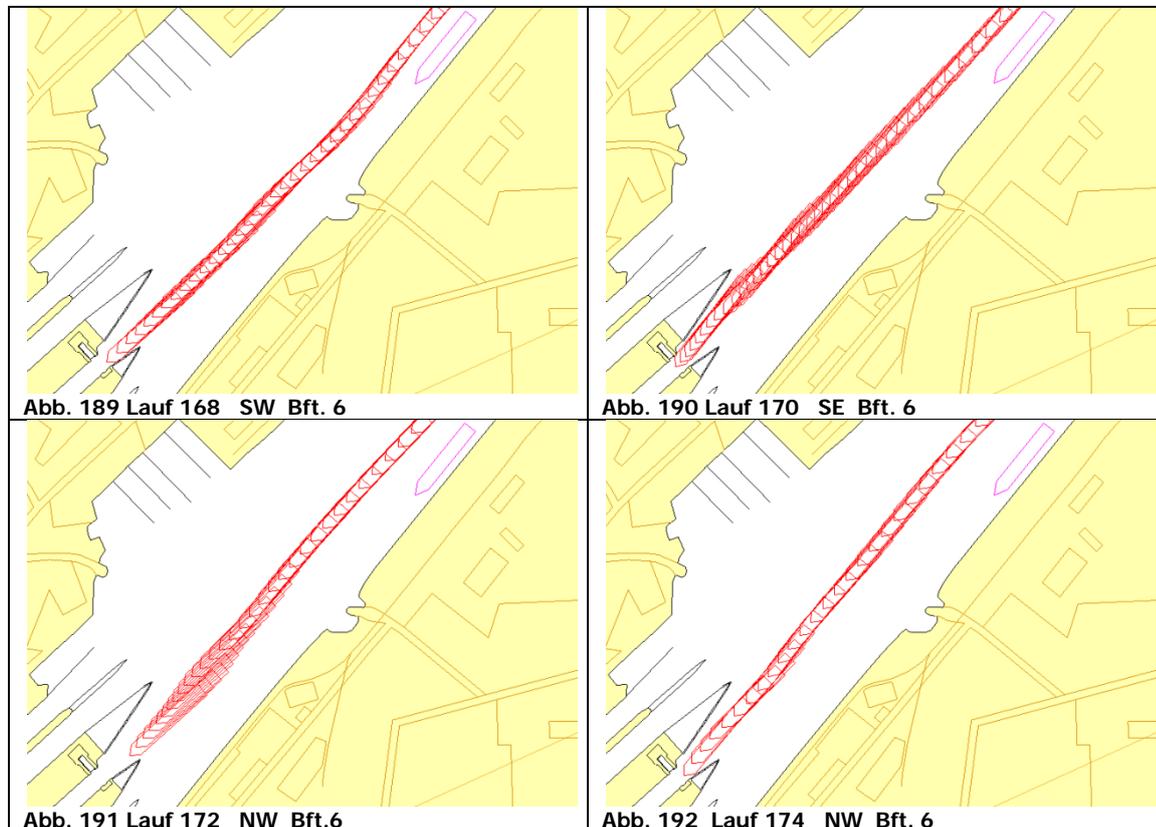
Diese beiden Läufe wurden mit dem VG5-10.4m sowie mit 2 Schleppern (1 vorne, 1 achtern) zu je 35 t Pfahlzug gefahren. Die Läufe können als Sequenz für eine Strategieentwicklung angesehen werden, da im Lauf 165 das südliche Leitwerk und Schleusenhaupt mit etwa 2.5 Knoten Geschwindigkeit berührt wurde und das Schiff dabei gleichzeitig noch eine Backbord-Drehung hatte, d.h. die Einlaufage verschlechterte sich stetig.

Eine der Ursachen für die letzte Drehbewegungsaufnahme war der verspätete und zögerliche Einsatz des Achterschleppers. Es ist zu bedenken, dass das Schiff beim Entwässern einen „kleinen Stromschnitt“ durchläuft, d.h., je weiter sich der Steven der Schleuseneinfahrt näher, umso größer wird das Drehmoment, da nur noch der hintere Teil der Unterwasserfläche angeströmt wird.

Aus diesen Erkenntnissen heraus, wurde in Lauf 167 die Strategie hinsichtlich des Schleppereinsatzes konsequent geändert. Die Datenplotts zeigen, dass nur noch der Achterschlepper zum Einsatz kam und zwar ab Höhe des Fähranlegers. Dabei wurde der Austauwinkel so gewählt, dass nicht nur das Heck gegen den Strom gehalten wurde, sondern auch eine Achterauskomponente zum Aufstoppen des Schiffes entstand.

- **Das Manöver konnte mit der so entwickelten Strategie erfolgreich durchgeführt werden.**

Einlaufen mit Strom durch Entwässerung und Wind



Im Prinzip zeigen alle Läufe mehr oder weniger große Probleme in der Endphase der Manöver, d.h., beim Einlaufen in die Schleuse, obwohl das Ausrichten auf die Einlauflinie weitestgehend durch entsprechende Fahrstrategien gelang.

Je nach Windrichtung wurde entweder das südliche Leitwerk (bei westlichem Wind) oder das nördliche Leitwerk (bei östlichem Wind) bzw. das entsprechende Schleusenaupt berührt. Die Geschwindigkeiten lagen dabei in einem Spektrum von 1.5 bis 2.5 Knoten.

Die Ergebnisse dieser Läufe lassen die Vermutung zu, dass die besagten Probleme bei dem Containerschiff mindestens in gleicher Größenordnung, wahrscheinlich jedoch in verstärktem Maße auftreten werden. Ob sie durch die bessere Manövrierfähigkeit und durch das Vorhandensein eines zusätzlichen Bugstrahlers kompensiert werden können, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht beantwortet werden, da die entsprechenden Versuchsläufe fehlen.

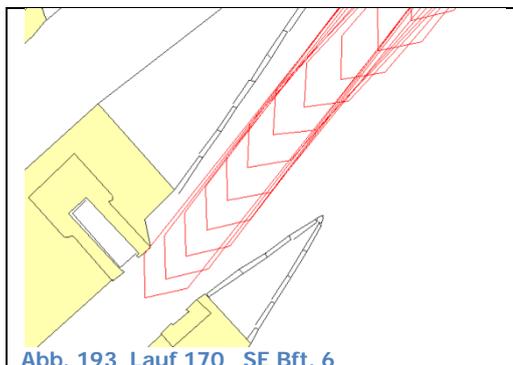
**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008



Bleibt letztlich noch auf einen Punkt hinzuweisen, der den Schutz des nördlichen Schleusenhauptes der 5.Schleuse betrifft.

Die nebenstehende Abbildung 192 zeigt einen Ausschnitt des Laufes 170 in der Endphase des Manövers.

Bei dem Lauf wurde das Schleusenhaupt mit einer Geschwindigkeit von etwa 1,5 Knoten getroffen und zwar mit der „Schulter“ des Schiffes.

- **Eine Weiterführung des Leitwerks oder andere Schutzmaßnahmen sind für einen ausreichenden Schutz für das Schleusenhaupt dringend erforderlich.**

Auch wenn nur eine geringe Anzahl von Läufen zur Bewertung des Problems zur Verfügung stehen und das Strommodell in diesem Bereich von rudimentärer Art ist (kein gerechnetes Modell), so sollte diesem Problembereich doch Beachtung geschenkt werden.

So könnte durchaus daran gedacht werden, anfangs die großen Schiffe bei Windverhältnissen zunächst nur durch die jeweils verfügbare „Neue Schleuse“ laufen zu lassen und bei günstigsten Wetterbedingungen durch die 5.Schleuse um Erfahrungen aufzubauen.

## 7.7 Fazit – Empfehlungen 1. Untersuchungsphase

Die Aufgabenstellung dieser Simulationsuntersuchung war wie folgt definiert:

- **Durchführung und Dokumentation von nautischen Fahrversuchen zur Untersuchung der nautisch sichersten aber auch effizientesten baulichen Gestaltung des Vorhafens und der weiteren Zufahrt zur 5. Schleuse mit Hinsicht auf die Formgebung, Bauausführung, der geplanten Bathymetrien, der zur Verfügung zu stellenden Schleppkraft und den äußeren Randbedingungen bezüglich Wind und Strom, mit dem noch ein sicheres Anlaufen und Verlassen der 5.Schleuse und des Vorhafens gewährleistet ist.**

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die für die Zielsetzung und Aufgabenstellung der Untersuchung durchgeführten Simulationsläufe der beiden Varianten 1 und 3 sowie einige Referenzläufe im heutigen IST-Zustand ausführlich evaluiert und die markanten Merkmale der Varianten hinsichtlich der nautisch/technischen Machbarkeit umfangreich beschrieben.

Die Evaluierung der Läufe fokussierte sich dabei nicht ausschließlich auf die Manöverausführungen im näheren Bereich der für die einzelnen Varianten geplanten Bauausführungen, sondern bezog auch die Zu- und Ablaufphasen mit ein.

Die Ergebnisse der Manöver in den beiden Versuchsvarianten müssen insoweit mit dem IST-Zustand verglichen werden, da anzustreben ist, dass

- **die Schifffahrt während der Überholungszeit der „Neuen Schleusen“ in keiner Weise beeinträchtigt wird und damit auch nicht die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs, um die Konkurrenzfähigkeit des NOK zu erhalten.**

Für die Bewertung und Überprüfung der Umsetzbarkeit der notwendigen Manöver in Hinsicht auf die grundsätzliche Machbarkeit, mögliche Gefährdungspotenziale oder Restrisiken stehen insgesamt 109 Versuchsläufe zur Verfügung davon

- **9 Läufe im IST-Zustand**
- **45 Läufe in der Variante 1 (Erhalt Mole 3) und**
- **55 Läufe in der Variante 3 (großer Versatz der Mole 3)**

Zusammen mit dem breiten Spektrum unterschiedlicher Randbedingungen bei den Läufen hinsichtlich Wind und Strom bilden diese Läufe eine solide Grundlage für aussagekräftige Ergebnisse.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Hinsichtlich der Varianten 1 und 3 ist auf Grundlage der Laufergebnisse zunächst zu konstatieren, dass

- **im Prinzip von nautischer Seite, ohne Berücksichtigung einschränkender Randbedingungen, die grundsätzliche Möglichkeit besteht, Manöverstrategien zu entwickeln, die ein Anlaufen und ein Verlassen der 5.Schleuse zulassen, unabhängig von der Variante.**

Entscheidend in der Feststellung ist der Term „ohne Berücksichtigung einschränkender Randbedingungen“. Zu solchen einschränkenden Randbedingungen zählen z.B. die jederzeit machbare Durchführung der Manöver, die erlaubbaren Umweltbedingungen, die erforderliche externe Assistenz und nicht zuletzt auch der zeitliche Aufwand der Manöver u.a.m.

Erst die Einbeziehung aller Randbedingungen macht es möglich, die Vor- und Nachteile der Varianten untereinander abzuwägen, um somit letztlich, wenn ausreichend vorteilhafte Kriterien erkennbar sind, einer Variante den Vorzug zu geben.

Über die Vor- und Nachteile der beiden untersuchten Varianten bezüglich technischer, wasserbaulicher und hydraulischer Aspekte kann hier verständlicherweise wegen der fehlenden Kompetenz nichts gesagt werden, da sind die Disziplinen Hydraulik und Wasserbau gefragt, hier insbesondere hinsichtlich der wasserbaulichen Optimierung der späteren Unterhaltungskosten.

Dieses nautische Gutachten ist nur in der Lage aufzuzeigen, welche der beiden Varianten aus nautischer Sicht entweder mit Gefährdungs- oder Risikopotenzial belegt ist und der daher der Vorzug zu geben ist oder welche möglichen Änderungen der Ausführung Abhilfe schaffen könnten. Die endgültige Abschätzung in Bezug auf Investitionskosten, Effizienz und Folgekosten kann hier nicht vorgenommen werden.

Aus allen Kernaussagen und unter Berücksichtigung einzelner Manövermerkmale wird deutlich zu erkennen, dass

- **unter nautischen Gesichtspunkten und Einbeziehung der sicheren Durchführbarkeit der geforderten Manöver die Variante 3 erheblich Vorteile gegenüber der Variante 1 aufweist.**

Diese Aussage allein sollte aber nicht ausschließlich für den Entscheidungsprozess zur Festlegung der endgültigen Bauausführung herangezogen werden, d.h. exakte Umsetzung der Variante 3, sondern die Ergebnisse müssen dezidiert unter Einbeziehung weiterer Aspekte, wie z.B. wasserbaulicher/hydraulischer Natur, betrachtet werden.

Die Untersuchungsläufe haben ergeben, dass beide Varianten gleichermaßen mit Einschränkungsmerkmalen belegt sind, die auf die geplante Ausführung im Vorhafen und an der Schleuse selber zurückzuführen sind und somit als nautisch neuralgische Punkte zu bezeichnen sind.

Zu diesen Punkten, die die nautische Umsetzung der erforderlichen Manöver behindern, erschweren oder ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial enthalten, zählen

- **Die Spundwand als Begrenzung des Manövrierraums im Allgemeinen,**
- **die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1**
- **die geplante Ausführung der Leitwerke an der 5. Schleuse**

Die Problemstellungen, die sich aus diesen Gegebenheiten ergeben, sind in den Bewertungskapiteln ausführlich beschrieben und sollen hier nur zusammenfassend dargestellt werden:

- **Die Begrenzung des Manövrierraums durch die Spundwand ergibt sich aus ihrer geringen parallelen Distanz zur Einlauflinie der 5.Schleuse und erlaubt dem einkommenden Fahrzeug kein Steuern eines Vorhaltewinkels um Driftkomponenten auszugleichen. Ebenso schränkt die Spundwand den Aktionsradius (Begrenzung des Austauwinkels) und die Leistung (Propeller bekommen nicht genügend Wasser an der Spundwand) der Schlepper ein.**
- **Die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1, in Verbindung mit dem südlichen Mittelleitwerk, verlangt ein teilweises Querschleppen des ausgehenden Schiffes.**
- **Das geplante neue Mittelleitwerk an der 5.Schleuse verkürzt durch seine Länge (135 m) den Vorhafenbereich zum Aufstoppen eines für die 5.Schleuse bestimmten Schiffes.**
- **Das Leitwerk an der NOK-Seite der Schleuse bietet nicht genügend Schutz für das Schleusenaupt und somit auch nicht für das Schiff.**

Die vorstehend aufgeführten Problembereiche der beiden Varianten basieren auf den Laufergebnissen der beiden Hauptuntersuchungsschiffe, dem neuen NOKmax-Schiff und einem Massengutschiff der Verkehrsgruppe 5 mit 10.4 m Tiefgang. Für Schiffe der Verkehrsgruppe 4 und kleiner



**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Eine solche Böschungsausführung hätte mehrere Vorteile.

- **Einerseits würde dadurch, wenn die Böschungskante weiter von der jetzigen Linienführung der Spundwand entfernt wäre, das einkommende Schiffe aktiver, d.h. unter reduziertem Schleppereinsatz und mit der Möglichkeit einen Vorhaltewinkel fahren zu können, sicherer und auch bei erschwerteren Randbedingungen hinsichtlich Windrichtung und –stärke die 5.Schleuse anlaufen können.**
- **Bei Ein- und Auslaufmanövern stünde bei einer Böschung zusätzlicher Manövrierraum für die Schlepper zur Verfügung, d.h. die Austauwinkel könnten besser den Windverhältnissen entsprechend angepasst werden, gleichzeitig erhöht sich durch einen besseren Wasserzufluss zu den Propellern der Schlepper ihre mögliche Zugkraft, wenn sie in Richtung der Schleuseninsel ziehen müssen.**
- **Inwieweit die Installierung von zusätzlichen Dalben entlang der Böschung von Nutzen sind, sollte erst nach Festlegung und Überprüfung der Alternativvariante näher betrachtet werden.**

In den Bewertungskapiteln wurde auch mehrfach auf die Länge des geplanten neuen Mittelleitwerks eingegangen. Die jetzige Länge von 135 m und die Richtungsgebung erscheinen nach den Laufergebnissen nicht optimal zu sein. So verkürzt die Länge einerseits die im Vorhafen verfügbare Strecke zum Aufstoppen des Schiffes, andererseits erschwert sie bei dem ausgehenden Schiff ein frühes Andrehen auf den Auslaufkurs und behindert letztlich den Achterschlepper, wenn dieser einen steileren Austauwinkel fahren muss, um bei auflandigem Wind das Heck zu halten.

Die Richtungsgebung dagegen bietet nicht genügend Schutz für das Schleusenaupt gegen Berührungen durch das einkommende Schiff, wenn dieses durch ablandigen Wind eine Querbewegung erfährt, oder nicht ganz kursgerecht auf der Einlauflinie steht.

Vorzuschlagen ist hier,

- **das Leitwerk auf eine Länge von etwa 70 m zu verkürzen und die Richtung so auszulegen, wie sie bei dem Mittelleitwerk der „Neuen Schleusen“ ausgelegt ist. Das neue Leitwerk sollte so ausgelegt sein, dass es Berührungen mit dem Seeschiff abfangen kann und Hilfe gibt beim Einlaufen in die 5.Schleuse.**

Diese Maßnahme hätte folgende Vorteile:

- **Das Schleusenaupt wäre besser geschützt.**
- **Die verfügbare Strecke zum Aufstoppen des Schiffes vergrößert sich.**
- **Die besagten Einschränkungen beim Einsatz des Achterschleppers werden minimiert**

In der umseitigen Abbildung 193 sind die neuralgischen Punkte in einer Zeichnung der Variante 3 eingetragen, sie haben aber für beide Varianten Gültigkeit.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Daher sollte überlegt werden, ob es sinnvoll ist die oben gemachten Änderungsvorschläge nicht ausschließlich auf eine Variante, z.B. nur Variante 3, zu beziehen, sondern auch in die Variante 1, insbesondere dann, wenn ein hydraulischer Vergleich der Varianten zu einem eindeutigen Vorteil der Variante 1 kommt, dies auch unter Einbeziehung aller nautischen Nachteile.

Für die südliche Zufahrt zur 5.Schleuse von der Elbe ist letztlich noch ein Punkt anzusprechen, der ebenfalls variantenunabhängig ist. Hierbei geht es um einen möglichen Windschutz auf der Schleuseninsel, ähnlich wie er durch den Baumbestand am Nordufer des Vorhafens existiert.

Die Versuchsläufe haben gezeigt, dass bei dem eingegengten Raum in der Zufahrt zur 5.Schleuse Winde aus dem östlichen Quadranten bei Windstärken ab Beaufort 5 die Manöver mit dem windanfälligen Containerschiff stark beeinträchtigen.

Die Tatsache, dass dieses Schiff sehr präzise auf der Einlauflinie liegen muss, da nur eine geringe Seitenfreiheit zwischen Bordwand und Schleusenwand besteht, erfordert entsprechende Kräfte um Driftbewegungen und Giermoment abzufangen. Diese Kräfte und das Moment werden zunächst durch den Bugstrahler, überwiegend aber durch Schleppkraft kompensiert.

In diesem Zusammenhang muss nochmal auf die Einschränkungen der Schlepper hingewiesen werden, was letztlich bedeutet, dass u.U. dem Schiff eine Windrestriktion für das Einlaufen gegeben werden muss. Restriktionen sind nicht immer zu vermeiden, sollten aber so gering wie möglich gehalten werden.

Es wäre also zu überlegen, auch auf der Südseite des Vorhafens Maßnahmen zu treffen, die den Schiffen einen Windschutz geben würden. Dies könnte z.B. durch Aufschüttung eines Walls oder durch entsprechende Bepflanzung erfolgen.

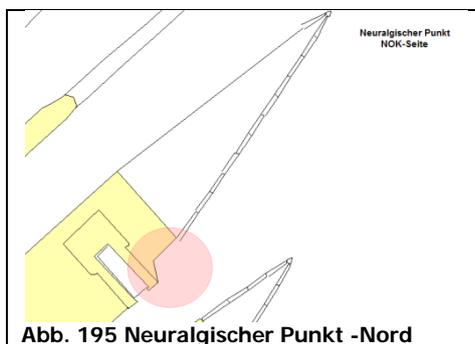
**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008



Auf der NOK-Seite der 5.Schleuse ist auf Grundlage der Versuchsläufe ein neuralgischer Punkt zu benennen, nämlich der nicht optimale Schutz des Schleusenaupts (siehe Abb.194). Hier ist eine entsprechende Änderung des Leitwerks in der Art zu empfehlen, dass dieses bis an das Schleusenaupt herangezogen wird und die Ausrichtung dabei flacher gehalten wird, um das Einlaufen sicherer zu gestalten.

Für den Fall, dass die Empfehlungen, teilweise oder vollständig, in die näheren Überlegungen einer Alternativvariante aufgenommen werden, so ist dringend angeraten, diese durch ergänzende Simulationen auf ihre Wirksamkeit und Auswirkung zu überprüfen.

Abschließend muss mit Hinblick auf die Umsetzung der Baumaßnahme auch der Einfluss des „**human factors**“ beleuchtet werden.

Bei Untersuchungen dieser Art, Neukonzipierung bzw. Anpassung eines bestehenden Fahrwasserbereiches, zeigt sich in der Simulation immer wieder, dass die Lotsen einen gewissen Zeitraum benötigen, sich auf die neuen Gegebenheiten einzustellen. Dies war auch hier der Fall, was dazu führte, dass immer wieder einmal die altbewährte und täglich angewendete Strategie gefahren wurde, obgleich diese in einigen Fällen hätte angepasst werden müssen.

Dieses Verhaltensmuster muss bei der späteren Umstellung berücksichtigt werden.

Alle beteiligten Experten waren sich einig darüber, dass

- **präventive Schulungsmaßnahmen (Simulatortraining) für die Lotsen unabdingbar sind, um eine frühzeitige Problemerkennung zu garantieren und damit einhergehend einen möglichst störungsfreien Übergang von der alten zur neuen Vorhafengestaltung und der Zufahrt zur 5. Schleuse zu gewährleisten.**

Bei einem solchen Training sollte nicht nur die Strategieentwicklung eine Rolle spielen, sondern es sollten ebenfalls vertiefte Kenntnisse der Hydrodynamik und der Hydraulik vermittelt werden, um so ein frühzeitiges Erkennen der Bahnführung von der Norm zu gewährleisten. Nur so ist garantiert, dass praktische Erfahrung und theoretisches Wissen sinnvoll kombiniert werden um stets Alternativen entwickeln zu können.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

## **8 VARIANTE 4**

### **8.0 Einleitung**

Im vorangegangenen Kapitel 7 erfolgte die Bewertung der Simulationsläufe der ersten Untersuchungsphase mit den Planungsvarianten V1 (Erhalt der Mole 3) und V3 (großer Versatz der Mole 3) sowie den Vergleichsläufen im IST-Zustand.

Diese Vor-Untersuchungsläufe hatten ergeben, dass beide Varianten gleichermaßen mit Einschränkungsmerkmalen belegt sind, die auf die geplante Ausführung im Vorhafen und an der Schleuse selber zurückzuführen sind und somit als nautisch neuralgische Punkte zu bezeichnen waren.

Zu diesen Punkten, die die nautische Umsetzung der erforderlichen Manöver behindern, erschweren oder ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial enthalten, zählten

- **Die Spundwand als Begrenzung des Manövrierraums im Allgemeinen,**
- **die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1**
- **die geplante Ausführung der Leitwerke an der 5. Schleuse**

Die Problemstellungen, die sich aus diesen Gegebenheiten ergaben, sollen hier der Übersicht halber noch einmal zusammenfassend dargestellt werden:

- *Die Begrenzung des Manövrierraums durch die Spundwand ergibt sich aus ihrer geringen parallelen Distanz zur Einlauflinie der 5.Schleuse und erlaubt dem einkommenden Fahrzeug kein Steuern eines Vorhaltewinkels um Driftkomponenten auszugleichen. Ebenso schränkt die Spundwand den Aktionsradius (Begrenzung des Austauwinkels) und die Leistung (Propeller bekommen nicht genügend Wasser an der Spundwand) der Schlepper ein.*
- *Die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1, in Verbindung mit dem südlichen Mittelleitwerk, verlangt ein teilweises Querschleppen des ausgehenden Schiffes.*
- *Das geplante neue Mittelleitwerk an der 5.Schleuse verkürzt durch seine Länge (135 m) den Vorhafenbereich zum Aufstoppen eines für die 5.Schleuse bestimmten Schiffes.*

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

- *Das Leitwerk an der NOK-Seite der Schleuse bietet nicht genügend Schutz für das Schleusenaupt und somit auch nicht für das Schiff.*

Auf Grundlage der definierten Ergebnisfindungen wurde daraufhin von dem WSA-Brunsbüttel eine neue Planungsvariante entwickelt (V4 lange Mole 2). Diese Planungsvariante enthält neben den Änderungsvorschlägen, die sich aus den bisherigen Simulationsläufen ergeben haben, auch eine vergrößerte Bauausführung der geplanten 5.Schleuse (400 x 45 m anstelle 350 x 35 m).

Die so entwickelte Planungsvariante 4 wurde in der Zeit vom 20. März bis zum 22.März 2008 mit Hilfe von 30 Simulationsläufen<sup>6</sup> auf die nautisch machbare und qualitative Umsetzung der erforderlichen Manöver hin untersucht. Die Auswertung und die Ergebnisfindung dieser Untersuchungsläufe erfolgt im Kapitel 8.2.

---

<sup>6</sup> Szenariobedingungen siehe Kapitel 5 „Laufdurchführung“ (Seite 27 ff.)

## 8.1 Geometrie der Variante 4

Wie schon im vorangegangenen Kapitel erwähnt, beruht die Geometrie der Planungsvariante 4 (lange Mole 2) im Wesentlichen auf den Erkenntnissen der Versuchsläufe für die Varianten 1 und 3. Die folgenden Abbildungen zeigen die geplante und für diesen Untersuchungsabschnitt eingesetzte Geometrie des Vorhafens und der 5. Schleuse (Abb.193) sowie die untersuchte Variante 3 (Abb.194), die vergleichsweise der Variante 4 am Nächsten kommt.

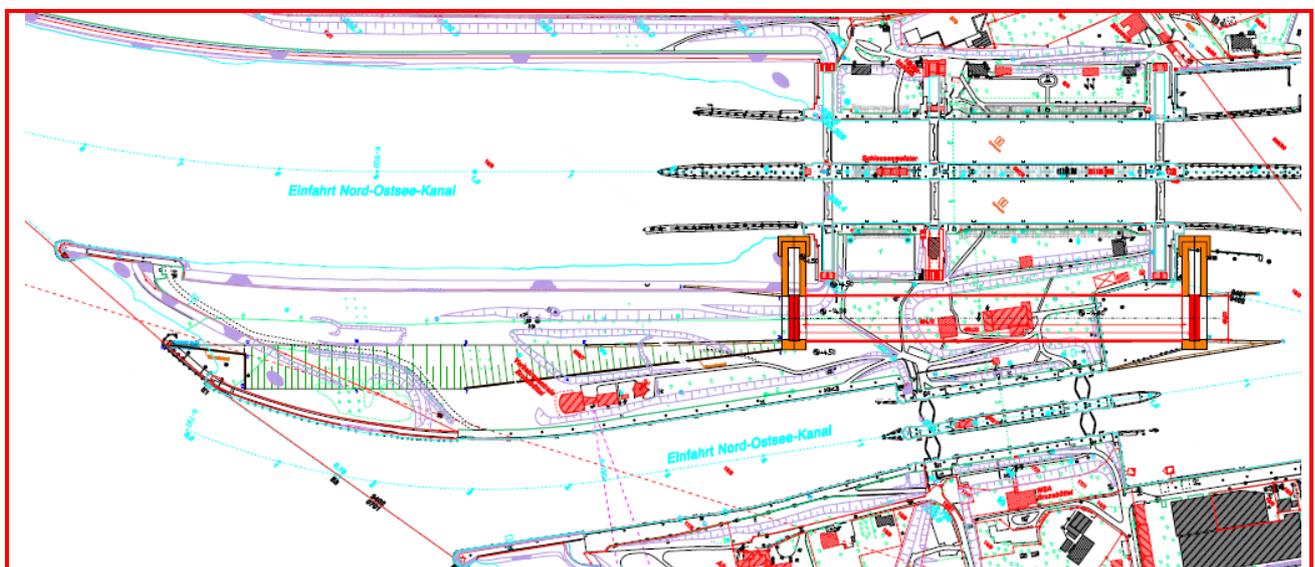


Abb. 196 Geometrie der Planungsvariante 4 (lange Mole 2)

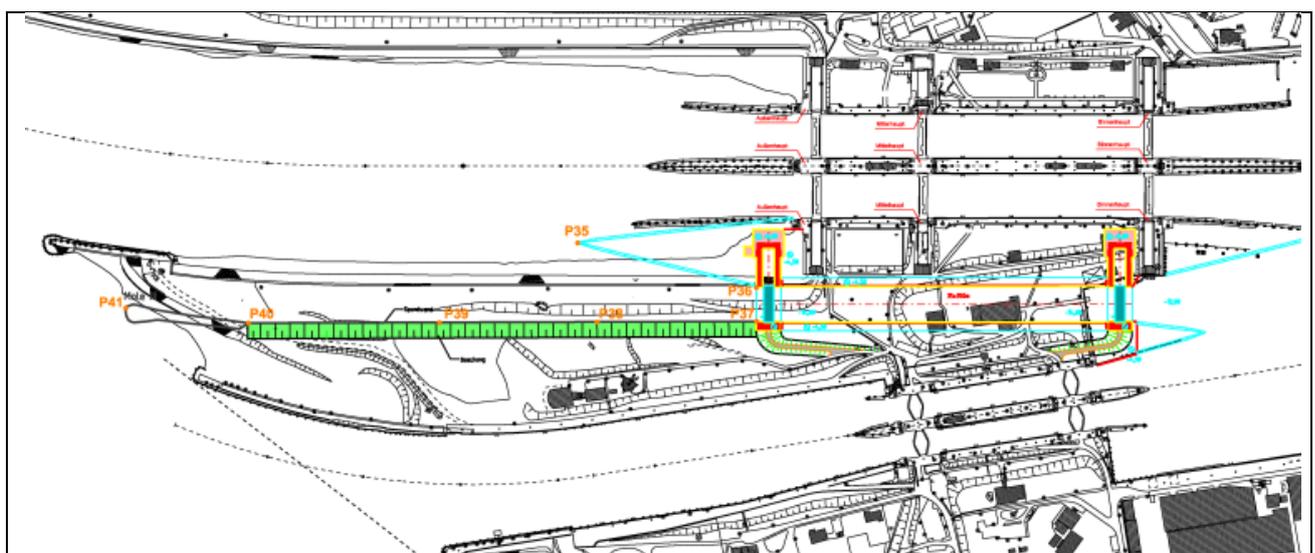


Abb. 197 Geometrie der Planungsvariante 3 (großer Versatz der Mole 3)

Die markentesten Änderungen der Variante 4 gegenüber der Variante 3 können folgendermaßen definiert werden:

- **Wegfall der Mole 3 und Verlängerung der Mole 2, wodurch sich eine neue Einfahrtsbreite von 750 Meter gegenüber von 705 Meter bei der Variante 3 ergibt.**
- **Ersatz der festen seitlichen Begrenzung in Form einer Spundwand im südlichen Anlaufbereich zur 5. Schleuse durch eine geböschte Begrenzung.**
- **Geänderte Anordnung und Linienführung aller zur 5.Schleuse führenden Leitwerke.**
- **Eine vergrößerte 5.Schleuse, sowohl in der Länge (400 Meter anstatt 350 Meter) als auch in der Breite (45 Meter anstatt 35 Meter).**

Die Implementierung der neuen Variante 4 in die Simulation (Erstellung einer neuen ECDIS, Modellierung der sichtbaren Umgebung usw.) erfolgte in gleicher Weise wie schon für alle vorhergehenden Varianten im Kapitel 4<sup>7</sup> näher beschrieben.

Ebenso wurde seitens der BAW für diese Variante ein neues Strommodell gerechnet, jeweils für eine Normaltide und eine Springtide.

Bezieht man die unverändert übernommenen Schiffsmodelle in den Implementierungsprozess ein, so kann gesagt werden, dass diese Variante unter exakt den gleichen Simulationsbedingungen untersucht wurde und somit auch für einen Ergebnisvergleich zu den bisherigen Varianten herangezogen werden kann.

## **8.2 Ergebnisse Variante 4**

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse, so wie sie aus allen vorliegenden Daten und den De-Briefingsgesprächen abgeleitet werden können, dargestellt, wobei die Strukturierung der folgenden Ergebniskapitel für eine besserer Vergleichbarkeit der des Kapitels 7 entspricht.

---

<sup>7</sup> Siehe Seite 37 ff.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### 8.2.1 Einlaufen - Übersicht

Für die Bewertung des Einlaufens in den Vorhafen und in die 5. Schleuse stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

Einlaufen in der Variante 4			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
401	NOK	Referenz Strom	Ein	Flut	nil	nil	
403	NOK	Referenz Strom	Ein	Ebbe	nil	nil	
405	NOK	Referenz Strom	Ein	Ebbe	nil	nil	
407	NOK	Standard	Ein	Ebbe	nil	nil	
409	NOK	Standard	Ein	Flut	nil	nil	
411	VG5T	Standard	Ein	Flut*	SW	Bft.4-6	
413	VG5T	Standard	Ein	Flut*	SW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
415	VG5T	Standard	Ein	Flut*	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
417	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
418	NOK	Ölhafen -> 5.Schleuse	Ein	nil	nil	nil	
421	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
423	NOK	Standard	Ein	Ebbe	SW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
425	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
428	NOK	Standard	Ein	Ebbe	NW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
430	NOK	Ölhafen -> 5.Schleuse	Ein	nil	NW	Bft.4-6	

Anmerkung:  
 Flut\* bedeutet hier letzte Flut, d.h. der Tidezeitpunkt „Hochwasser“

**Tabelle 14 Einlaufen V4 -Übersicht**

Aus der Tabelle 14 wird ersichtlich, dass die überwiegende Zahl der Einlaufmanöver (12 von 15) mit dem NOKmax –Schiff gefahren wurde. Dieses erfolgte in Hinblick auf die größere Windanfälligkeit des Containerschiffes, die sich in den vorausgehenden Versuchsläufen als problematisch unter den gegebenen Randbedingungen der Vorhafengestaltung (Spundwandbegrenzung) herausgestellt hatte.

Aufgrund der in der Voruntersuchung festgestellten Tatsache, dass die Durchführung der zum Einlaufen in den Vorhafen notwendigen Manöverabschnitte (z.B. das Drehen auf der NW-Reede) gar nicht oder nur sehr geringfügig von der jeweiligen Vorhafengeometrie beeinflusst wird, ist es daher nicht erforderlich die hier zu bewertenden Simulationsläufe ausführlich in ihrem gesamten ablauf zu betrachten, sondern primär in Hinsicht auf die Manöverphasen Einlaufen in den Vorhafen und Zulauf zur Schleuseneinfahrt.

Da die Hydrodynamik der Untersuchungsschiffe unverändert geblieben ist und sich nur das Strommodell geändert hat, wurde auf die Wiederholung von Referenzläufen „Hydrodynamik“ und „Wind“ verzichtet.

### **8.2.1.1 Einlaufen V4 -von See mit dem NOKmax-Schiff**

#### **Referenz-Läufe Strom (kein Wind)**

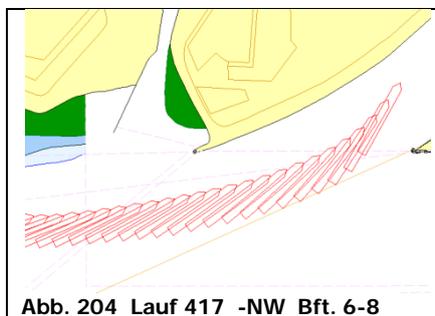
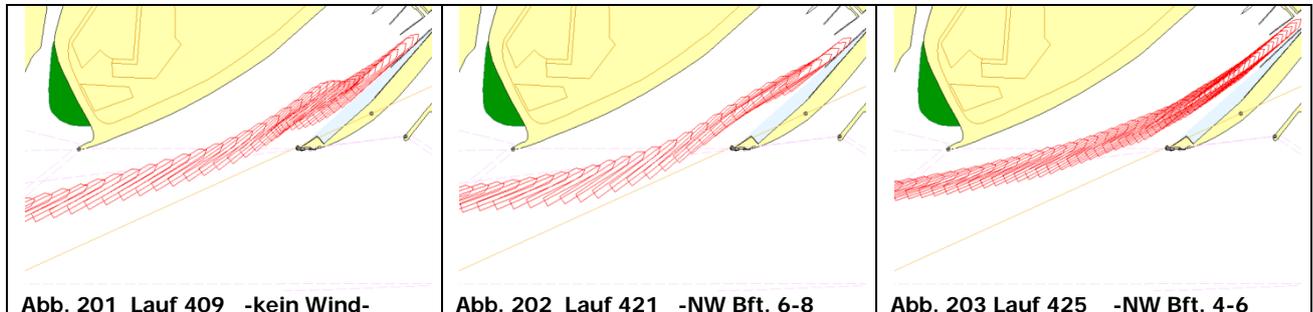


Alle drei Referenzläufe zeigen, unabhängig ob bei Flut oder bei Ebbe gefahren, dass die bisherigen Manöverstrategien für die jeweilige Tidebedingung weiterhin Gültigkeit besitzen. Die Bahnverläufe zeigen dabei überwiegend einen harmonischen Bewegungsablauf des Schiffes, was darauf hinweist, dass nur geringfügige Änderungen der vom Lotsen gewünschten Bahnführung notwendig waren.

Auffällig ist allerdings die sehr große Annäherung des Schiffes an die neue Mole 2 im Lauf 401, wohl verursacht durch den Wunsch, schon beim Passieren dieser Mole möglichst auf der Einlauflinie zur Schleuse zu sein. Allerdings besteht bei dieser Manöverstrategie ein erhöhtes Gefährdungspotenzial, dass es zu einer Kollision mit dem Bauwerk kommt.

Es kann aber an dieser Stelle gesagt werden, dass diese Strategie bei keinem der noch folgenden Einlaufmanöver bei Flut wiederholt wurde, sondern stets ein ausreichender Abstand zur Mole 2 gewählt wurde.

### Standard Einlaufen bei Flut



Die drei obigen Laufdarstellungen bestätigen noch einmal, dass die momentan angewendeten und bewährten Strategien zum Einlaufen in den Vorhafen weiterhin Gültigkeit besitzen.

Allerdings gilt auch, dass die Strategie, bei Flut den Vorhafen dicht unter Land auf der so genannten Einlauflinie anzusteuern, insbesondere mit diesem Fahrzeug (Containerschiff) konsequent eingehalten werden muss, d.h. es besteht nur wenig Spielraum für den Lotsen in der Wahl der Bahnführung.

Lauf 417 zeigt beispielhaft die Auswirkung, wenn von der bewährten Fahrstrategie zu weit abgewichen wird. Bei diesem Lauf bestand zunächst ein Ungleichgewicht zwischen Vorausgeschwindigkeit und dem Stromversatz, d.h. das Schiff verdriftete stark nach Osten ohne dabei wesentlichen Weg nach voraus gutzumachen. Daraus folgte, dass der Abstand zwischen Schiff und Vorhafeneinfahrt zu groß war und das Fahrzeug erheblich beschleunigt werden musste. Diese Fahrtaufnahme verursachte aber durch den Nordwest-Wind ein Giermoment und durch den länger wirkenden Strom eine zusätzliche Drehung nach Backbord in Richtung der nördlichen Böschungskante, wo das Schiff mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit aufgelaufen wäre.

Lauf 421 als Wiederholungslauf zeigt, dass

- **bei geschickter Wahl der Vorausgeschwindigkeit, des Kurses und der Wahl des Einlaufpunktes (Passieren des Stromschnitts) das Manöver auch unter diesen Randbedingungen (Flut, NW-Wind Beaufort 6-8) beherrschbar ist.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Allerdings gilt auch weiterhin, dass ein enger Zusammenhang zwischen notwendiger Schleppkraft und der zulässigen Windbedingung, bei dem dieses Schiff noch in die 5.Schleuse einlaufen darf (kann) besteht.

- **Mindestens ab der Beaufortstärke 6, bei Richtungen die nahezu quer einkommen reichen Standardschlepper mit 35 t Pfahlzug nicht mehr für ein sicheres Manövrieren des Schiffes zur 5. Schleuse aus.**

Bei allen Versuchsläufen dieses Untersuchungsschiffes wurden bei Windstärken oberhalb der Stärke Beaufort 6 zwei Schlepper mit mindestens 40 Tonnen Pfahlzug eingesetzt.

Eine nähere Betrachtung der aufgezeichneten Simulationsdaten mit Hinsicht auf die eingesetzten Kräfte in Bezug auf die Kontinuität der Schleppereinsätze zeigt, dass

- **bei dieser Variante, verglichen mit den Varianten 1 und 3, die Schleppkräfte in deutlich geringerem Maße hinsichtlich des gewünschten Pfahlzugs als auch der Zugrichtung geändert wurden.**

Dies lässt den Rückschluss zu, dass die Bewegungsabfolge des Schiffes weniger zu korrigieren war, als es in den anderen Varianten augenscheinlich der Fall war.

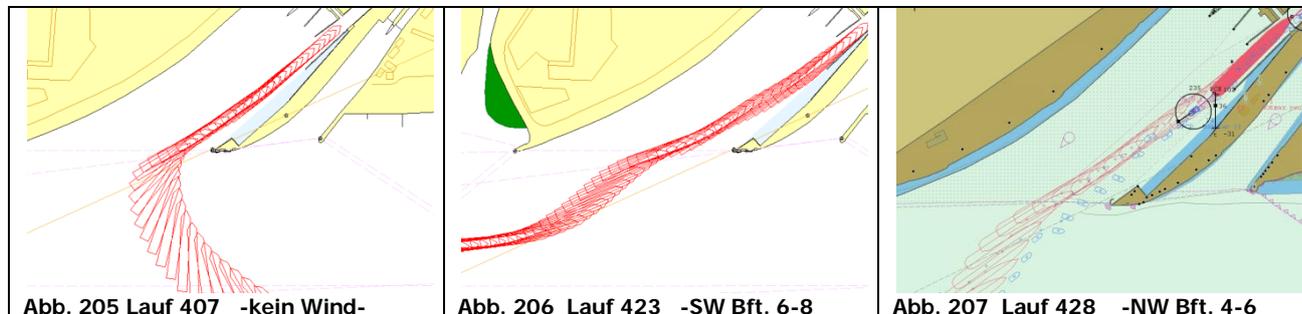
Vergleicht man aber einmal die Bahnverläufe in den verschiedenen Varianten, so wird schnell deutlich, dass sie sich, bei gleichen Randbedingungen, prinzipiell nicht signifikant voneinander unterscheiden,

- **trotzdem aber die Läufe in der Variante 4 von den Experten als deutlich sicherer empfunden wurden.**

Hier zeigt sich ein wesentliches psychologisches Moment, welches dadurch hervorgerufen wird, dass selbst bei einer kursgerechten Lage des Schiffes auf der Einlauflinie zur 5. Schleuse noch ein deutlicher Abstand zu Land erkennbar ist, anstelle der Tatsache, wie es bei den anderen Varianten der Fall war, dass man sich mit dem Schiff dramatisch einem festen Bauwerk (Spundwand) genähert hatte.

Dieses psychologische Moment sollte auf keinen Fall in seiner positiven Auswirkung unterschätzt werden, da es nicht nur für den Lotsen, sondern auch für den Kapitän des Schiffes von Bedeutung ist.

### Standard Einlaufen bei Ebbe



Für die drei durchgeführten Einlaufmanöver mit dem NOKmax-Schiff bei Ebbe gelten im weitesten Sinne die schon für das Einlaufen bei Flut gemachten Feststellungen, d.h. dass

- **die momentan angewendeten und bewährten Strategien zum Einlaufen in den Vorhafen weiterhin Gültigkeit besitzen und**
- **die Läufe in der Variante 4 von den Experten als deutlich sicherer empfunden wurden.**

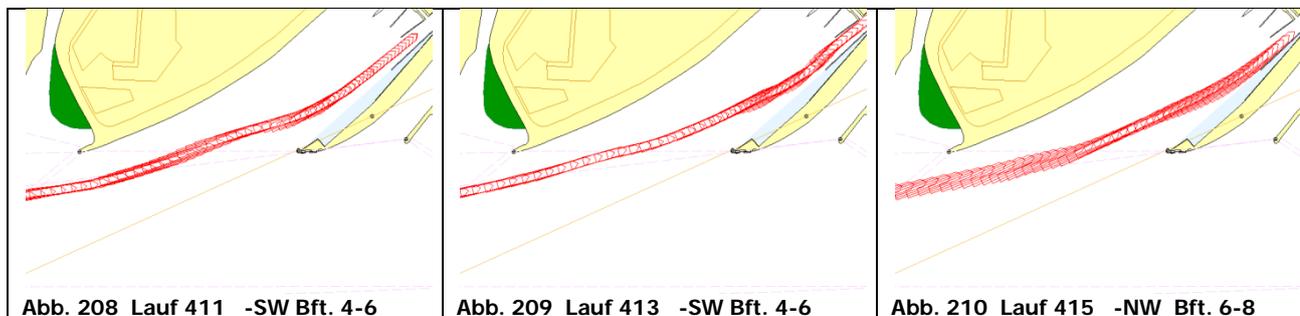
Alle drei durchgeführten Läufe können, unabhängig von der Manöverstrategie und den herrschenden Randbedingungen bezüglich des Windes als erfolgreich bezeichnet werden.

Keiner der Läufe weist negative Merkmale auf, die auf ein schwierigeres Manövrieren des Schiffes im Vergleich zu den Varianten 1 und 3 hinweisen könnten, im Gegenteil,

- **nach Aussage der beteiligten Experten (Lotsen) kommt diese Variante dem heutigen Zustand, mit all seinen Vorzügen am nächsten.**

### **8.2.1.2 Einlaufen V4 -von See mit dem Tanker VG5T**

#### **Einlaufen bei letzter Flut**



Zur Überprüfung der nautischen Machbarkeit des Einlaufens von See in den Vorhafen und die neue 5. Schleuse mit dem tiefgehenden Tanker (T: 10.4 m) der Verkehrsgruppe 5 stehen die drei oben abgebildeten Läufe zur Verfügung.

Auch wenn dies nur eine geringe Anzahl von Läufen zur Bewertung ist, so lassen sich jedoch mit dem bewährten Bewertungsschema (Expert-Rating in Verbindung mit den aufgezeichneten Daten) durchaus belastbare Aussagen darüber herleiten, welchen Einfluss die neue Variante 4 im Vergleich zu den Varianten 1 und 3 auf das Manöver nimmt.

Dabei sind zunächst folgende Merkmale im Vergleich zu den vorher untersuchten Varianten zu vermerken:

- **Die Bahnführungen vor und im Vorhafen weichen nur geringfügig voneinander ab (siehe z.B. Abbildungen 106 bis 110 auf Seite 100)**
- **Die Einlaufphase in die 5. Schleuse konnte aufgrund der neuen Vorhafengeometrie deutlich aktiver, d.h. mit geringeren Änderungen der Schleppkräfte und –richtungen durchgeführt werden.**

Beide oben genannten Feststellungen decken sich zudem weitestgehend mit den Beobachtungen und Ergebnissen der Einlaufmanöver mit dem NOKmax-Schiff in der Variante 4, sodass im erweiterten Sinne auch die dort gemachten Kernaussagen bezüglich des „psychologischen Momentes“ für das hier zu betrachtende Schiff Gültigkeit besitzen.

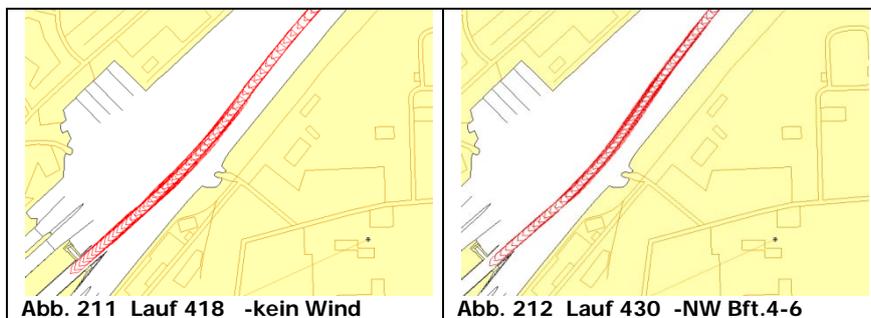
Hinsichtlich der vorzuhaltenden Schleppkräfte gilt weiterhin, wie auch schon für die vorangegangenen Varianten, dass

- **die Schleppkapazitäten, die für das Massengutschiff vorzuhalten sind, sich bis zu der Beaufortstärke 7 (untersuchte Windstärken) auf 2 Schlepper zu je 35 t Pfahlzug beschränken können.**

Die Datenplotts der Läufe zeigen, ähnlich wie schon beim Containerschiff erwähnt, weniger Änderungen der Schlepper im Hinblick auf Schlepprichtung und/oder Schleppkraft, d.h., die Schlepper waren über längere Zeiträume auf einer gleichbleibenden Lage zum Seeschiff, was wiederum darauf hinweist, dass die Bahnführung einfacher zu bewerkstelligen war.

- **Hierzu hat sicherlich wiederum positiv der Umstand beigetragen, dass sich die Ansteuerungsphase zur Einfahrt der 5. Schleuse durch die ca. 45 Meter weiter entfernte (sichtbare) Landbegrenzung, verglichen mit den Spundwand-Ausführungen, weniger dramatisch darstellt.**

### **8.2.1.3 Einlaufen V4 -vom NOK**



Im Bewertungskapitel 7 für die Varianten 1 und 3 wurde an verschiedenen Stellen erwähnt, dass das Einfahren in die neue 5. Schleuse als varianten-unabhängig bezeichnet werden kann. Prinzipiell gilt dies auch für die hier zu betrachtende Variante 4, allerdings muss hier auch vermerkt werden, dass die Schleusenkammer dieser Variante sowohl in ihrer Lage als auch Größe anders ausgelegt ist.

Durch die Lageveränderung und die Verlängerung der Schleusenkammer von 350 Meter auf 400 Meter liegt jetzt das östliche Schleusenaupt ca. 65 Meter weiter in Richtung des NOK, was wiederum zur Folge hat, dass der direkte Zulaufbereich vom NOK zur Schleuseneinfahrt um diese Größenordnung verkürzt wird.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Die beiden durchgeführten Läufe zeigen jedoch, dass

- **die geringfügige Verkürzung des Zufahrtsbereiches keinen signifikant negativen Einfluss auf das Einfahren in die neue 5. Schleuse nimmt, wobei**
- **die Ansteuerungsstrategie in derselben Form vorgenommen werden kann, wie sie schon für die Varianten 1 und 3 praktiziert wurde.**

Obgleich auch weiterhin eine Kursänderung (Lageänderung) notwendig ist, die in den vorangegangenen Varianten als machbar aber problematisch bezeichnet wurde, wurde hier seitens der Experten als

- **positiv für die jetzige Machbarkeit die vergrößerte Schleusenbreite (45 m anstatt 35 m) beurteilt, die etwas mehr Spielraum im Ansteuerungskurs lässt und somit zur Entschärfung der Ansteuerungsproblematik beiträgt.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

## 8.2.2 Auslaufen

Für die Bewertung des Auslaufens aus der 5. Schleuse in den Vorhafen und auf das Elbrevier stehen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Läufe zur Verfügung.

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung Layout	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver		Tide	Rtg	Bft	
<b>Läufe in der Variante 4</b>							
402	NOK	Referenz Strom	Aus	Flut	nil	nil	
404	NOK	Referenz Strom	Aus	Ebbe	nil	nil	
406	NOK	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.4	
408	NOK	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.4	
410	NOK	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
412	VG5T	Standard	Aus	Flut*	SW	Bft.4-6	
414	VG5T	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
416	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.6-8	
419	NOK	Aus 5.Schleuse -> NOK	Aus	nil	nil	nil	Unterbrechung wg. Kollision
420	NOK	Aus 5.Schleuse -> NOK	Aus	nil	nil	nil	Fortsetzung Lauf 419
422	VG5T	Standard	Aus	Flut	SO	Bft.6-8	
424	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.6-8	
426	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.4-6	
427	VG5T	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
429	VG4	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
Anmerkung: Flut* bedeutet hier letzte Flut, d.h. der Tidezeitpunkt „Hochwasser“							

**Tabelle 15 Auslaufen V4 -Überischt**

Aus der obigen Tabelle wird ersichtlich, dass für die Überprüfung des Auslaufmanövers beide primären Untersuchungsschiffe (NOKmax und Tanker VG5T) gleichgewichtig zum Einsatz gekommen sind. Dieses erfolgte in Hinsicht der unterschiedlichen Windangriffsflächen und des differierenden Beschleunigungsverhaltens der beiden Schiffe.

In den vorangegangenen Untersuchungen war die große Windangriffsfläche des Containerschiffes für das Manövrieren aus der Schleuse in eine sichere Ausgangslage zum Auslaufen aus dem Vorhafen auf die Elbe als ein sehr sensibles Manöver eingestuft worden. Bei dem Massengutschiff dagegen war diese Manöverphase weniger problematisch.

Der zweite Aspekt „Beschleunigungsverhalten“ kann unter bestimmten Bedingungen ein kritischer Punkt in Hinsicht auf die Bahnführung auf der Elbe werden. Das Containerschiff verfügt, anders als das Massengutschiff, über eine äußerst leistungsfähige Maschine mit hoher Propulsion, d.h., dass es relativ schnell Fahrt aufnimmt.

Eine schnelle Fahraufnahme bedeutet aber in diesem Revier, dass gerade bei dem notwendigen Eindrehmanöver auf den elbaufwärts führenden Kurs nach Hamburg mehr Raum verbraucht wird. Hier stehen Drehgeschwindigkeit (Rate of Turn), hydrodynamische Kräfte und u.U. Giermomente in einem engen Zusammenhang.

In dieser Variante galt also wiederum zu überprüfen, inwieweit die neue Variante 4 positiven Einfluss auf das gesamte Auslaufmanöver nimmt.

### **8.2.2.1 Auslaufen V4 -nach See mit NOKmax**

#### **Referenz-Läufe Strom (kein Wind)**



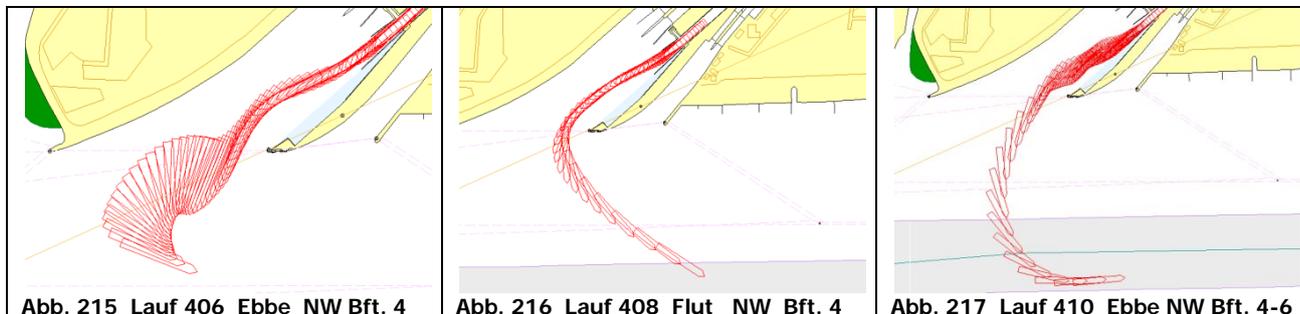
Wie schon beim Einlaufen wurden auch beim Auslaufen zwei Referenzläufe „Strom“ mit dem Containerschiff gefahren, um herauszufinden, ob das neue Strommodell grundsätzliche Änderungen hinsichtlich des Manöverablaufes verlangt.

Wie erwartet, war dies nicht der Fall, wie aus den beiden Referenzläufen abgelesen werden kann. Die hier gezeigten Bahnverläufe sind weitestgehend identisch mit solchen, die in den vorhergehenden Varianten gefahren wurden.

- **Allerdings zeigt sich bereits bei den Referenzläufen eine erste Tendenz die darauf hinweist, dass wegen der breiteren Schleuse und der neuen Leitwerkkonstruktion das Verbringen des Schiffes auf eine günstige, d.h. sichere Ausgangslage leichter umzusetzen ist.**

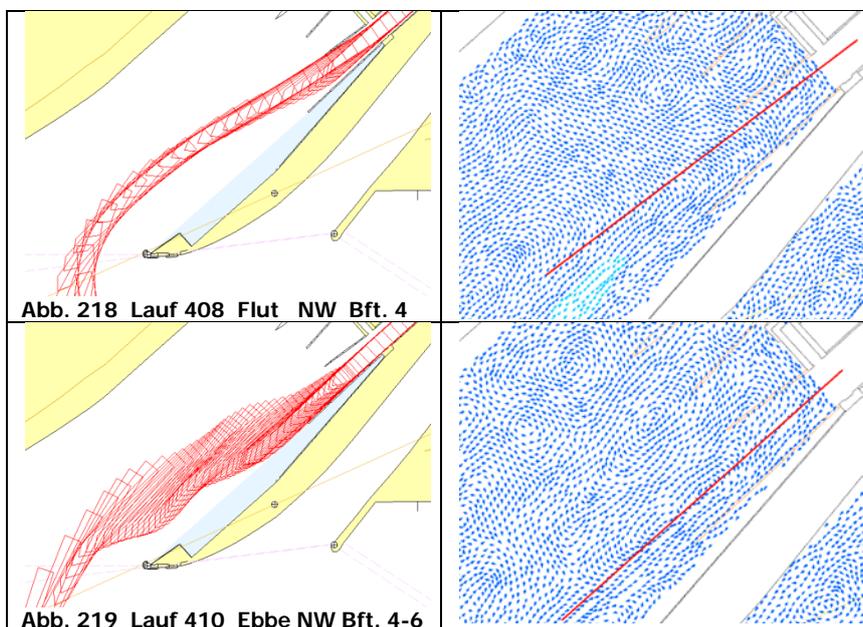
Weiterhin betätigt sich aus den beiden Referenzläufen im Vergleich zu den beiden vorherigen Varianten wiederum, dass die Tidebedingung (Ebbe oder Flut) einen signifikanten Einfluss auf den zum Eindrehen auf die Elbe benötigten Raum nimmt.

### Standard Auslaufen



Die drei sogenannten „Standardläufe“, d.h. mit Wind und Strom, bestätigen zunächst und Außerachtlassung der aufgewendeten Manövrierkräfte, dass

- die Fahrstrategien von der Variantenausführung unbeeinflusst sind und weiterhin Gültigkeit besitzen und
- der notwendige Zeitaufwand vom Verlassen der Schleuse bis zum Erreichen des Elbefahrwassers in ähnlichen Größenordnungen liegt, wie bei der Variante 3.



Einer etwas näheren Betrachtung bedürfen die Läufe 408 und 410, die beide mit nordwestlichem Wind und Flut, respektive Ebbe gefahren wurden.

Die Bahnergebnisse weichen doch sehr voneinander ab obgleich die Windstärkendifferenz im Mittel nur etwa 1 Beaufortstärke betrug.

In einer ersten Vermutung könnte die Ursache in möglicherweise unterschiedlichen Strömungsverhältnissen liegen, daher ist neben jedem Lauf die die aktuelle Stroms situation mit abgebildet. Eine genaue Betrachtung zeigt, dass sicherlich bei der Flut durch z.T. nördlich setzende Stromvektoren leicht unterstützende Strömungsverhältnisse vorzufinden sind, während dies bei Ebbe nicht der Fall ist.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Dabei muss aber bedacht werden, dass die Strömungsgeschwindigkeiten in Bereichen unterhalb eines halben Knotens ( $\leq 0.25 \text{ ms}^{-1}$ ) liegen und somit auch nur geringfügige Kräfte, die gegen die Windkräfte gerichtet sind, aufgebracht werden können.

Somit ist eher zu vermuten, dass die jeweils gewählte Manöverstrategie ursächlich für die unterschiedlichen Bahnführungsergebnisse ist. Bei dem Lauf 408 wurde das Fahrzeug konsequent gegen den Wind geholt und die Drehung zum frühestmöglichen Zeitpunkt und unter Ausnutzung der gesamten verfügbaren Fläche eingeleitet. Mit der langsam aufgenommenen Fahrt und Beibehaltung der Querkräfte (Strahler und Schlepper) bleibt der erzeugte Drehimpuls erhalten, wodurch es dem Fahrlotsen gelang, das Schiff relativ problemlos auf die gewünschte Auslaufposition zu bringen.

Demgegenüber wurde beim Lauf 410, ähnlich wie bei den Auslaufmanövern der Varianten 1 und 3, das Schiff zunächst kursgerecht aus der Schleuse geführt, dann wieder aufgestoppt um letztlich mit der Drehung zu beginnen. Da dies bei sehr geringen Geschwindigkeiten geschieht, können die Windkräfte voll zur Wirkung kommen, da keine Eigendynamik im Schiff ist. Das wiederum hat zur Folge, dass ein sehr großer Teil der verfügbaren Manövrierkräfte zum Kompensieren der Windlast eingesetzt werden müssen und für das notwendige Drehen fehlen.

Aus dem bisher Gesagten lassen sich somit folgende Rückschlüsse ziehen:

- **Eine an die neue Geometrie angepasste Manöverstrategie kann helfen, das Auslaufmanöver nicht nur sicherer sondern auch zeitlich kürzer zu gestalten.**
- **Der durch die breitere Schleuse verfügbare Raum sollte so genutzt werden, dass das Schiff zum frühestmöglichen Zeitpunkt angedreht wird.**

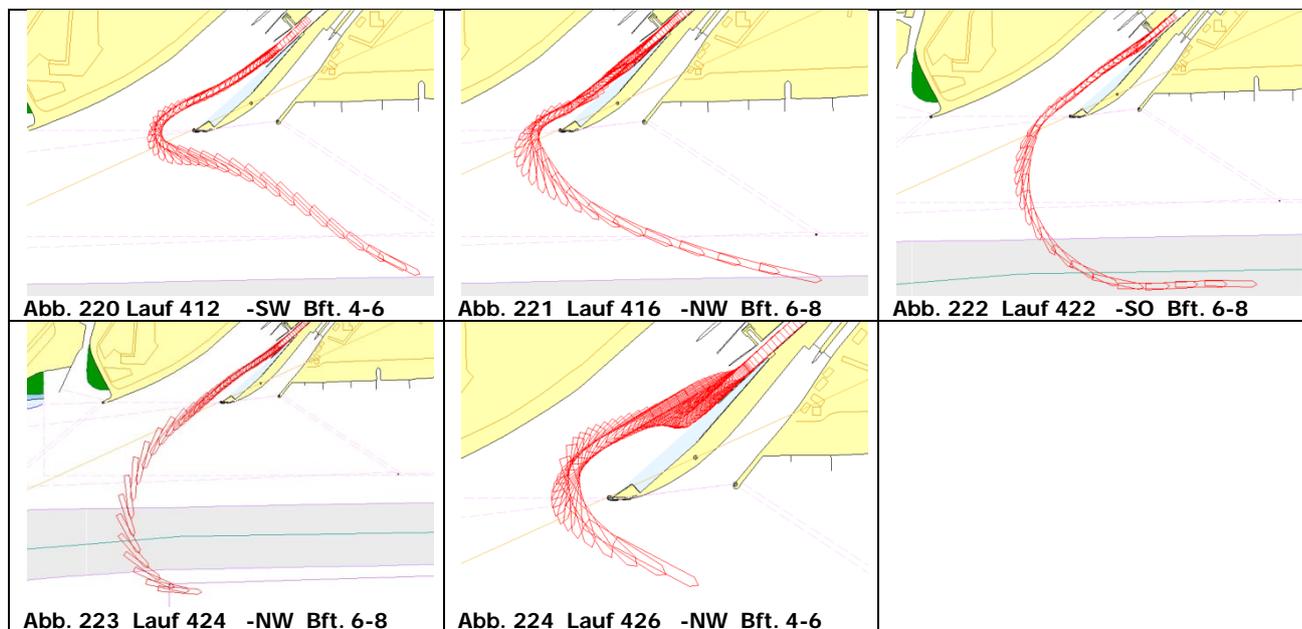
Auch wenn mit diesem Schiff kein Lauf bei südwestlichem Wind gefahren wurde, so kann aber erwartet werden, dass diese Windrichtung im Großen und Ganzen die Manöverdurchführung unterstützt.

Letztlich ist bezüglich des Containerschiffes in Hinblick auf die verfügbare Schleppkraft festzuhalten, dass

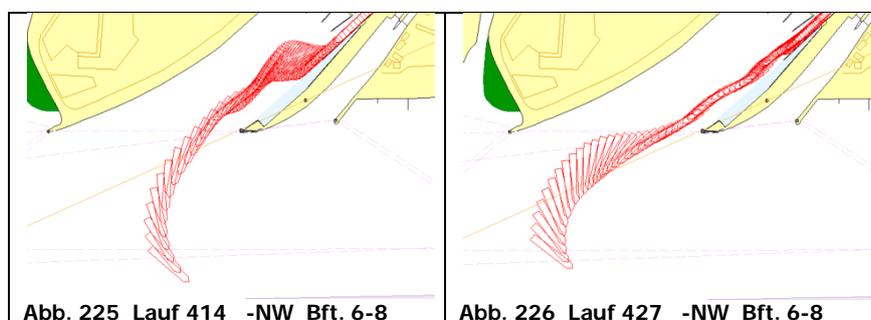
- **Die in den vorangegangenen Untersuchungen festgestellten Mindest-Schleppkräfte von 35 Tonnen Pfahlzug bis zur Beaufortstärke 6 weiterhin Gültigkeit besitzen.**

### 8.2.2.2 Auslaufen V4 -nach See mit Tanker VG5T

#### Standard Auslaufen –Flut-



#### Standard Auslaufen –Ebbe-



Aus den in den Abbildungen 219 – 225 dargestellten Bahnverläufen der vorliegenden 7 Läufe, von denen 5 bei Flut und 2 bei Ebbe ausgeführt wurden, können nach erster

Inaugenscheinnahme folgende Kernaussagen über die Machbarkeit des Manövers hergeleitet werden:

- Alle Manöver konnten erfolgreich absolviert werden unabhängig von den herrschenden Randbedingungen bezüglich Wind und Strom.
- Die Bahnverläufe sind denen aus der Variante 3 sehr ähnlich, jedoch tendenziell etwas harmonischer.
- Unabhängig von den Parametern „Wind“ und „Strom“ ist es möglich, beide Eindrehvarianten in das Elbefahrwasser (direktes Eindrehen mit einem großen Bogen bzw. Eindrehen mit kleinem Bogen auf die NO-Reede) sicher durchzuführen.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

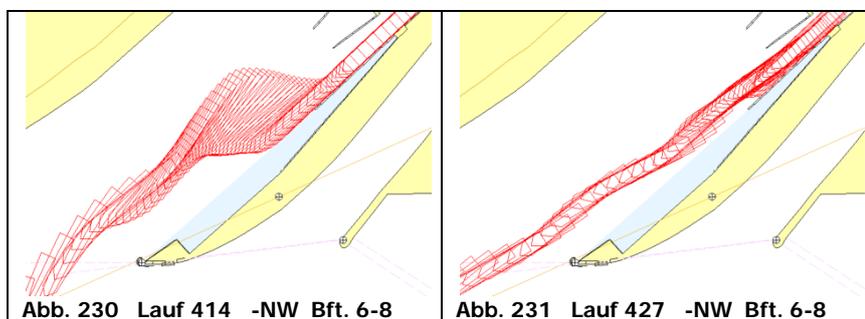
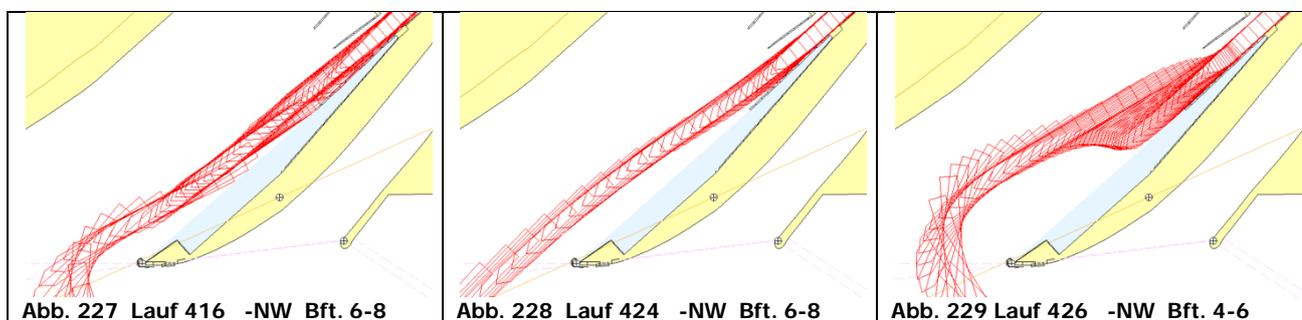
Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Eine nähere Betrachtung der vorliegenden Läufe, ausgehend, mit dem Tanker der Verkehrsgruppe 5 zeigt im näheren Schleusenbereich und dem Zulauf zur sicheren Auslaufposition ähnliche Unterschiede im Bahnführungsergebnis, wie es schon bei dem Containerschiff zu beobachten war.

Insbesondere bei den Läufen mit nordwestlichem Wind ist auffällig, dass sehr unterschiedliche Manöverstrategien angewendet wurden mit entsprechend variierenden Ergebnissen, sodass es sinnvoll ist, diese Läufe einer grundlegenden Betrachtung zu unterziehen.



Prinzipiell wurden zwei Auslaufvarianten gewählt, nämlich einerseits so früh wie möglich anzudrehen und die Auslaufposition auf direktem Wege anzulaufen, sowie andererseits das

Schiff zunächst weitestgehend kursgerecht komplett aus der Schleuse zu führen und dann durch den Einsatz querwirkender Kräfte auf die gewünschte Auslaufposition zu bringen.

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Manövervarianten zu einem Erfolg führen, wobei allerdings die erste Variante zeitlich gesehen die schnellere Auslaufvariante ist, allerdings auch sehr viel Aufmerksamkeit für den Bewegungsverlauf des Hecks benötigt. Bei dem frühen Ausdrehen muss unbedingt verhindert werden, dass die Gerung des Hecks über die Bauwerke (Schleusenmauer und Leitwerk) hinaus gerät, um mögliche Schäden am Propeller und den Bauwerken zu vermeiden, was selbstverständlich auch für das Auslaufmanöver mit dem Containerschiff gilt.

Die zweite Auslaufvariante erscheint somit als etwas sicherer, allerdings verlangt sie eine Leitwerkskonstruktion, die es erlaubt, dass Schiff auch mit in Richtung des Leitwerks querwirkenden Kräften an dem Bauwerk entlang zu bewegen.

Die bei der Bewertung der Auslaufmanöver mit dem Containerschiff angesprochene Vermutung, dass

- **südöstliche Winde das Manöver unterstützen, wird hier in gewissem Maße durch den Lauf 422 bestätigt.**

Sicherlich gilt für den Tanker, wegen der kleineren Lateralfäche, dass die Windlast deutlich geringer ausfällt als bei dem Containerschiff, aber der Gesamtvergleich der Läufe mit nordwestlichem Wind lässt eine Bestätigung der Vermutung zu.

Somit verbleibt an dieser Stelle noch die Betrachtung der Auswirkung der neuen Böschungskonfiguration auf die Machbarkeit des Manövers. Es ist festzustellen, dass

- **die Anböschung insofern positiv zu bewerten ist, da sie weniger rückwirkende Kräfte des Propellerstroms auf das Schiff produziert und somit die Ruderkräfte besser zu Wirkung kommen.**

Allerdings gilt auch, dass

- **die Anböschung für die Auslaufmanöver nicht den gleichen hohen Stellenwert besitzt wie für das Einlaufen, da der Bewegungsablauf der Schiffe in deutlich geringeren Geschwindigkeitsbereichen abläuft und die Bewegung aus einer stationären und somit besser zu kontrollierenden Lage her-aus erfolgt.**

Der abschließende Teil des Auslaufmanövers, Passieren des Stromschnitts und das Eindrehen in das Elbefahrwasser, konnte in allen Fällen weitgehend problemlos bewerkstelligt werden. Wie schon bei den Manövern mit dem Containerschiff zu beobachten war, gilt auch für den Tanker, dass

- **beide Varianten, nämlich direktes Eindrehen in das Fahrwasser mit einem großen Bogen als auch das Eindrehen auf die NO-Reede mit einem kleinen Bogen machbar sind und**
- **der benötigte Zeitaufwand zum Auslaufen durch geschickte Wahl der Manöverstrategie im Vergleich zu den vorhergehenden Varianten nochmals verringert werden kann.**

### **8.2.2.3 Auslaufen V4 -zum NOK**



Für die Überprüfung der Machbarkeit des Auslaufens aus der neu konzipierten 5. Schleuse wurde nur ein Lauf durchgeführt. Obwohl zwei Abbildungen dargestellt sind,

repräsentieren diese nur einen Lauf, da dieser kurz nach dem Auslaufen (Abb. 231) durch einen Simulatorfehler abgebrochen werden musste und als Lauf 420 (Abb. 232) fortgesetzt wurde.

Wie schon in Kapitel 8.2.1.4 „Einlaufen vom NOK“ erwähnt wurde, befindet sich das Schleusenaupt wegen der geplanten Verlagerung und neuen Länge der Schleuse (400 m) ca. 65 Meter weiter östlich von der Ursprungposition. Dadurch wird der Zu- und Ablaufbereich vor der Schleuse zum NOK um eben diesen Betrag verkürzt. D.h., der verfügbare Raum zur Durchführung der notwendigen Kurs- und Lageänderung wird geringfügig kleiner.

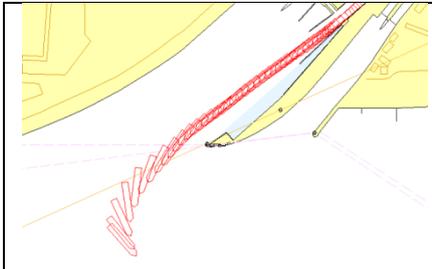
Ebenso wie der Lauf zeigt, war es auch die einhellige Expertenmeinung, dass

- **die durch die bauliche Veränderung der 5. Schleuse hervorgerufene Verkürzung des Zu- bzw. Ablaufbereiches keinen signifikant negativen Einfluss auf das Auslaufmanöver nimmt.**

Weiterhin jedoch gilt, dass

- **es notwendig ist, ein regulierendes Verkehrsmanagement zu etablieren, welches einen sicheren Verkehrsfluss im Zu- und Ablaufbereich der neuen 5. Schleuse und den Alten Schleusen garantiert.**

#### **8.2.2.4 Auslaufen V4 mit VG4**



**Abb. 234 Lauf 429 Ebbe NW Bft.6-8**

Die Untersuchung der Varianten 1 und 3 hatte bereits ergeben, dass Schiffsgrößen der Verkehrsgruppe 4 und kleiner am geringsten bzw. in keiner Weise in ihren Manöverabläufen durch die unterschiedlichen Vorhafengestaltungen beeinträchtigt werden.

Der in der Abb. 223 dargestellte Lauf 429 diente daher ausschließlich als letzte Überprüfung der Gültigkeit der bereits schon gemachten Aussage.

Sowohl das Laufergebnis als auch die Expertenmeinungen bestätigen, dass

- **Schiffe der Verkehrsgruppe 4 und kleiner, weiterhin in keiner Weise durch die Vorhafengestaltung beeinträchtigt sind.**

Obwohl keine einkommenden Läufe durchgeführt wurden, kann die eben gemachte Aussage in selber Gültigkeit auch auf das Einlaufen dieser Schiffgruppen projiziert werden.

## 8.3 Fazit – Empfehlungen Variante 4

Die Aufgabenstellung der gesamten Simulationsuntersuchung, d.h. also der Varianten 1, 3 und 4 muss wie folgt definiert werden:

- **Durchführung und Dokumentation von nautischen Fahrversuchen zur Untersuchung der nautisch sichersten aber auch effizientesten baulichen Gestaltung des Vorhafens und der weiteren Zufahrt zur 5. Schleuse mit Hinsicht auf die Formgebung, Bauausführung, der geplanten Bathymetrien, der zur Verfügung zu stellenden Schleppkraft und den äußeren Randbedingungen bezüglich Wind und Strom, mit dem noch ein sicheres Anlaufen und Verlassen der 5.Schleuse und des Vorhafens gewährleistet ist.**

Dabei müssen die Ergebnisse der Manöver aus allen Versuchsvarianten insoweit mit dem IST-Zustand verglichen werden, da anzustreben ist, dass

- **die Schifffahrt während der Überholungszeit der „Neuen Schleusen“ in keiner Weise beeinträchtigt wird und damit auch nicht die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs, um die Konkurrenzfähigkeit des NOK zu erhalten.**

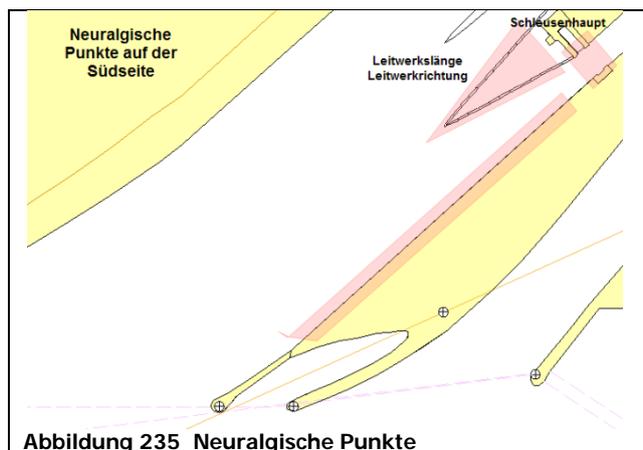
Ein ausführlicher Vergleich der Varianten 1 und 3 untereinander und mit dem heutigen IST-Zustand erfolgte bereits im Kapitel „7.5 Vergleich Variante 3 mit IST-Zustand und Variante 1“ (Seite 126 ff), wobei deutlich gemacht wurde, dass der Variante 3 zunächst aus nautischer Sichtweise der Vorzug gegeben werden sollte.

Allerdings haben die Läufe und die Analyse der Laufergebnisse der Variante 3 auch ergeben, dass es geraten ist, einige bauliche Veränderungen zu einer weiteren Verbesserung der Manöverdurchführung und damit auch des Sicherheitsaspekts in einer neuen Variante mithilfe von weiteren Simulationsuntersuchungen zu verifizieren.

Über die Vor- und Nachteile der untersuchten Varianten bezüglich technischer, wasserbaulicher und hydraulischer Aspekte kann hier verständlicherweise wegen der fehlenden Kompetenz nichts gesagt werden, da sind die Disziplinen Hydraulik und Wasserbau gefragt, hier insbesondere hinsichtlich der wasserbaulichen Optimierung der späteren Unterhaltungskosten.

Die Gesamtbeurteilung der Variante 4, die sich auf 30 Untersuchungsläufe stützt, reflektiert primär auf einen Vergleich zur Variante 3 der ersten Untersuchungsphase, da festgestellt wurde, dass

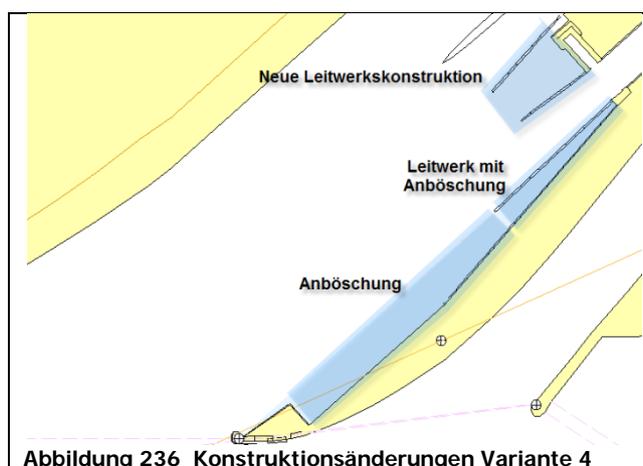
- ***unter nautischen Gesichtspunkten und Einbeziehung der sicheren Durchführbarkeit der geforderten Manöver die Variante 3 erheblich Vorteile gegenüber der Variante 1 aufweist.***



Ebenso wurde konstatiert, dass auch die Variante 3 mit Einschränkungsmerkmalen belegt ist, die auf die geplante Ausführung im Vorhafen und an der Schleuse selber zurückzuführen sind und somit als nautisch neuralgische Punkte zu bezeichnen sind.

Zu diesen Punkten, die die nautische Umsetzung der erforderlichen Manöver behindern, erschweren oder ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial enthalten, zählen

- ***die Spundwand als Begrenzung des Manövrierraums im Allgemeinen,***
- ***die Linienführung der Spundwand, insbesondere in der Variante 1***
- ***die geplante Ausführung der Leitwerke an der 5. Schleuse***



Die neue Variante wurde daraufhin auf Grundlage dieser einschränkenden Randgrößen entwickelt, wie in der Abbildung 235 schematisch dargestellt.

Neben den markierten Änderungen sehen die Planungen auch noch eine Vergrößerung der Schleusenkammer auf 400m x 40m vor, anstelle der bisher geplanten 350m x 35m. Auch diese Änderung kann indirekt als eine Vergrößerung des verfügbaren Manövrierraums angesehen werden.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Aus den in den vorangegangenen Unterkapiteln 8.1 und 8.2 detailliert beschriebenen Laufergebnissen lassen sich die folgenden Kernaussagen bezüglich der nautischen Machbarkeit der durchzuführenden Manöver Ein- und Auslaufen ableiten.

- **Die Läufe in der Variante 4 wurden von den Experten als deutlich sicherer empfunden als vergleichsweise in den Varianten 1 und 3.**
  - **Hierzu hat positiv der Umstand beigetragen, dass sich die Ansteuerungsphase zur Einfahrt der 5. Schleuse durch die ca. 45 Meter weiter entfernte (sichtbare) Landbegrenzung, verglichen mit den Spundwand-Ausführungen, weniger dramatisch darstellt.**
- **Nach Aussage der beteiligten Experten (Lotsen) kommt die Variante 4 dem heutigen Zustand, mit all seinen Vorzügen am nächsten.**
- **Die momentan angewendeten und bewährten Strategien zum Einlaufen in den Vorhafen besitzen weiterhin Gültigkeit.**
- **Die Einlaufphase in die 5. Schleuse konnte aufgrund der neuen Vorhafengeometrie deutlich aktiver, d.h. mit geringeren Änderungen der Schleppkräfte und –richtungen durchgeführt werden.**
- **Positiv für die jetzige Machbarkeit der Ein- und Auslaufmanöver, sowohl auf der Seeseite als auch auf der NOK-Seite wurde seitens der Experten die vergrößerte Schleusenbreite (45 m anstatt 35 m) beurteilt, die etwas mehr Spielraum in der Kurslage zulässt und somit zur Entschärfung der Ansteuerungs- und Auslaufproblematik beiträgt.**
- **Für das Auslaufen aus der 5.Schleuse nach See bzw. Hamburg sind Anpassungen an die Manöverstrategie notwendig, um den Zeitaufwand zu optimieren.**
- **Unabhängig von den Parametern „Wind“ und „Strom“ ist es möglich, beide Eindrehvarianten in das Elbefahrwasser (direktes Eindrehen mit einem großen Bogen bzw. Eindrehen mit kleinem Bogen auf die NO-Reede) sicher durchzuführen.**
- **Schiffe der Verkehrsgruppe 4 und kleiner, sind weiterhin in keiner Weise durch die Vorhafengestaltung beeinträchtigt.**

Schon die oben gemachten Kernaussagen zeigen, dass die gemachten Änderungen in der Vorhafengeometrie (Anböschungen), der Leitwerkskonfigurationen und der Größe (Breite) der Schleuse merkbare Verbesserungen der Manöverdurchführung und damit auch der sicheren Erreichbarkeit der neuen 5. Schleuse erbracht haben.

Zusammenfassend ist es aber auch erforderlich, bestimmte Laufmerkmale zu benennen und zu erläutern. So kann z.B. festgestellt werden, dass

- **die Bahnverläufe in der Variante 4 sowohl beim Ein- als auch beim Auslaufen denen aus der Variante 3 sehr ähnlich, tendenziell jedoch etwas harmonischer sind.**

Dadurch kann durchaus der Eindruck entstehen, dass sich die Manöver in gleicher Weise auch in der Variante 3 durchführen ließen, da sich der verfügbare Raum zum Manövrieren der großen Schiffe kaum verändert hat. Allerdings gilt auch, dass

- **die Einlaufphase in die 5. Schleuse aufgrund der neuen Vorhafengeometrie deutlich aktiver, d.h. mit geringeren Änderungen der Schleppkräfte und –richtungen durchgeführt werden konnte.**

Hier kommt in der Variante 4 ein wesentliches psychologisches Moment zum Tragen, welches dadurch hervorgerufen wird, dass selbst bei einer kursgerechten Lage des Schiffes auf der Einlauflinie zur 5. Schleuse noch ein deutlicher Abstand zu Land erkennbar ist, anstelle der Tatsache, wie es bei den anderen Varianten der Fall war, dass man sich mit dem Schiff dramatisch einem festen Bauwerk (Spundwand) genähert hatte.

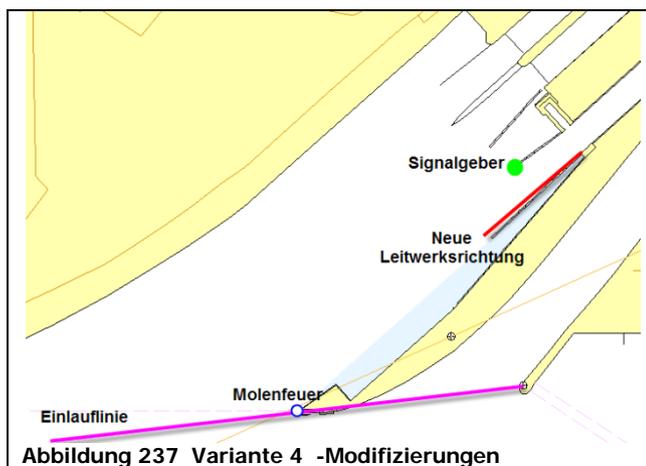
- **Dieses psychologische Moment sollte auf keinen Fall in seiner positiven Auswirkung unterschätzt werden, da es nicht nur für den Lotsen, sondern auch für den Kapitän des Schiffes von Bedeutung ist.**

Letztlich ist im Zusammenhang Spundwand oder Anböschung auch der Aspekt „Schadensminimierung“ nicht ohne Bedeutung. Wie schon mehrfach erwähnt wurde, ist das Einlaufen in den Vorhafen ein anspruchsvolles Manöver mit relativ geringer Fehlertoleranz. Bei Verlust der Kontrolle über das einlaufende Schiff durch nicht vorhersehbare Einflüsse, verursacht eine Böschung geringere Schäden als eine feste Spundwand.

Hinsichtlich der Grenzbedingung „Windstärke“ und der zur Verfügung zu stellenden Schleppkraft kann gesagt werden, dass

- **die hierzu in der Variante 3 gemachten Feststellungen sowohl für das NOKmax-Schiff als auch den Tanker der VG5 übernommen werden können.**

Auch wenn die Variante 4 aus nautischer Sicht eine deutliche Verbesserung für die sichere Durchführung aller Manöver gegenüber der Variante 3 darstellt, so haben sich doch noch einige Anmerkungen zur Variantengestaltung ergeben. Hierbei handelt es sich nicht um gravierende Änderungen der Variante 4, sondern um Modifizierungen bzw. Änderungen, die bisher nicht berücksichtigt wurden.



In der nebenstehenden Abbildung 236 sind die wesentlichen Modifizierungen schematisch dargestellt.

Aus den Versuchsläufen der Variante 4 ist mehrfach zu beobachten gewesen, dass insbesondere das Containerschiff bei nordwestlichem Wind so geführt wurde, dass es an das südliche Leitwerk gelegt wurde und aus dieser Position heraus in die 5. Schleuse einlief.

Im momentanen Planungszustand ist das Leitwerk mit etwa 2 Grad gegenüber der südlichen Schleusenmauer abgewinkelt, was zur Folge hat, dass am Übergang vom Leitwerk zur Schleuse Punktbelastungen am Schiff und somit auch am Bauwerk auftreten können.

Es ist daher vorzuschlagen,

- **das südliche Leitwerk in gerader Fortsetzung der südlichen Schleusenmauer auszuführen.**

Für alle Leitwerke zur 5. Schleuse ist anzustreben,

- **diese in ihrer Belastungsfähigkeit so auszulegen, dass Berührungen durch das Seeschiff abgefangen werden können.**

Wie schon bei der Bewertung der vorherigen Versuchsläufe erwähnt wurde, ist weiterhin dem Übergang Leitwerk zum Schleusenhaupt besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Hier sollte

- **ein großer Geländesprung vermieden werden, um Schäden am Schiff und am Bauwerk zu verhindern, wenn das Fahrzeug aus den verschiedensten Gründen heraus, nicht kursgerecht in der Schleuseneinfahrt liegt.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Es ist zu bedenken, dass in aller Regel die Lage der überfallenden Vorsteven, insbesondere bei Containerschiffen, für den Lotsen nicht einsehbar ist. Hier hilft nur ein Lagevergleich zwischen gerader Bordwand und Leitwerk, was wiederum für die geradlinige Ausführung des südlichen Leitwerks spricht.

Alle Untersuchungsläufe haben ergeben, dass die bewährten Einlaufstrategien weiterhin übernommen werden können. Es gilt aber auch, dass insbesondere bei Flut sehr präzise auf der so genannten „Einlauflinie“ gefahren werden muss. Diese ergibt sich dann, wenn im heutigen Zustand die Molenfeuer 1 und 2 in Deckung sind und hat dann einkommend eine Richtung von 83°.

Da in der Variante 4 die Mole 2 versetzt wird, sollte versucht werden,

- **das Einfahrtsfeuer der Mole 2 so zu positionieren, dass sich bei Deckung mit Mole 1 wiederum eine Einlauflinie von 83° ergibt.**

Um das Einlaufen bei schlechter Sicht (Nebel, starker Regen usw.) nicht nur auf Radarnavigation oder Lagebeurteilung von der ECDIS zu beschränken, sondern so weit möglich die Sichtnavigation zu unterstützen, wäre es hilfreich,

- **die Mole 2 ausreichend stark zu beleuchten und mit einer markanten Farbgebung zu versehen.**

Durch die Errichtung zusätzlicher Leitwerke im Vorhafen ist es nicht auszuschließen, dass eine präzise Lagebestimmung bei verminderter Sicht erschwert wird. Hier reicht in vielen Fällen die begrenzte Radarauflösung nicht mehr aus, einen bestimmten Referenzpunkt zu fixieren. Daher ist zu empfehlen,

- **auf einem der Leitwerke, vorzugsweise dem nördlichen der 5.Schleuse, einen elektronischen Signalgeber (RACON<sup>8</sup> o.Ä.) zu installieren.**

---

<sup>8</sup> **RADar beaCON** (Radar-Antwortbake)

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Hinsichtlich der erweiterten Maßnahmen für den Windschutz kann gesagt werden, dass

- **die hierzu in der Variante 3 gemachten Feststellungen weiterhin übernommen werden können, sofern sie sich noch durch die neue Gestaltung der Variante 4 umsetzen lassen.**

Es verbleibt letztlich noch die Betrachtung der NOK-Seite der 5. Schleuse. Wie schon mehrfach erwähnt, ist das Schleusenaupt um etwa 65 Meter östlich verlegt, dies wegen der veränderten Lage und der Verlängerung der Schleuse auf insgesamt 400 Meter.

Diese Verlagerung hat zur Folge, dass der Zulaufbereich um eben diese 65 Meter verkürzt wird. Da die 5.Schleuse nicht wie die bisherigen „Neuen Schleusen“ in einem direkten Kurs vom NOK aus angesteuert werden kann, sondern eine Lage- bzw. Kursänderung notwendig ist, sollte

- **während der Bewegung großer Schiffe ( $\geq$  der Verkehrsgruppe 5) in diesem Bereich auf die Entwässerung des NOK verzichtet werden, um zusätzliche quer wirkende Kräfte zu vermeiden.**

Mit der Umsetzung der oben genannten Empfehlungen bzw. Anregungen wird aus nautischer Sicht die optimalste und auch sicherste Variante erzielt, die sowohl den Ansprüchen der Verwaltung hinsichtlich der Erhaltung der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs genügt als auch den ausführenden Lotsen ausreichend Hilfestellung gibt, die anspruchsvollen Manöver weiterhin sicher durchführen zu können.

Weiterhin gilt jedoch, dass

- **präventive Schulungsmaßnahmen (Simulatortraining) für die Lotsen unabdingbar sind, um eine frühzeitige Problemerkennung zu garantieren und damit einhergehend einen möglichst störungsfreien Übergang von der alten zur neuen Vorhafengestaltung und der Zufahrt zur 5. Schleuse zu gewährleisten.**

## 9 VALIDIERUNG und EVALUIERUNG

### 9.0 Definition

Unter **Validierung** versteht man den Prozess, ausreichend zuverlässige Aussagen darüber zu erhalten, inwieweit Simulationsprozesse den Schluss zu lassen, dass deren Ergebnisse mit den realen (heutigen oder späteren) Abläufen vergleichbar sind. Es ist also daher nicht unbedingt notwendig, dass der simulierte Vorgang absolut identisch ist mit dem vergleichbaren realen.

**Evaluierung** bedeutet allgemein die Beschreibung, Analyse und Bewertung von Prozessen. Evaluation kann sich sowohl auf den Kontext (Voraussetzungen, Rahmenbedingungen), die Struktur, den Prozess als auch das Ergebnis beziehen.

Allgemein kann gesagt werden, dass Validierung von Daten ein schwieriger und aufwendiger Vorgang ist. In der Praxis werden mehrere Verfahren zur Validierung von Simulationsergebnissen angewendet und zwar u.a.:

#### - **Expert-Rating** (Validation by authorization)

**Im Gegensatz zur Analyse nach statistischen Verfahren, die nur auf der Grundlage vieler Simulationsläufe (mindesten ein "kleines Sample" mit 10 Läufen) unter identischen Bedingungen möglich ist, wird bei dem diesem Verfahren jeder Lauf individuell von Experten bewertet.**

**Die Aussagevielfalt und Qualität der Validierungsergebnisse hängt dabei sowohl von der Zusammensetzung als auch dem Umfang der Wissensbasis (*Knowledgebase*) der Expertengruppe ab**

**Die Qualität der Ergebnisse aus einem Expert-Rating wird allerdings auch stark von dem Grad der Akzeptanz für die Untersuchung bzw. für die Simulation im Allgemeinen geprägt.**

**Ebenfalls nicht zu unterschätzen sind in diesem Zusammenhang (Validierungsqualität) die kognitiven Fähigkeiten der teilnehmenden Experten wie**

- **Aufmerksamkeit,**
- **Wahrnehmungsfähigkeit**
- **Erkenntnisfähigkeit**
- **Erinnerung/Merkfähigkeit**
- **Abstraktionsvermögen u.a.**
- **Und die Bereitschaft ergebnisoffen arbeiten zu können/wollen**

**Dies gilt dabei nicht nur primär für die aktiv Durchführenden, sondern für alle Beteiligten des Untersuchungsprozesses.**

**Die für die Untersuchung bzw. den jeweiligen Simulationslauf relevanten Aussagen der beteiligten Experten werden in Debriefingsgesprächen ausführlich diskutiert und abschließend dokumentiert. Diese Dokumentation bildet in aller Regel, neben physikalischen Daten aus der Simulation, die Grundlage der Ergebnisfindung.**

Da neben dem in Simulationsuntersuchungen am häufigsten verwendeten Validierungsverfahren „Expert Rating“ weitere, aber weniger bei Simulationen angewandte Verfahren bestehen, sollen diese hier nur kurz genannt werden.

**- Hypothetische Betrachtung**  
(validation by argumentation)

**Diese Validierungsmethode ist mit dem größten Unsicherheitsfaktor belegt, da in aller Regel ausschließlich der Fortlauf eines Untersuchungsprozesses unter Einbeziehung bestehender Erkenntnisse dahingehend geprüft wird, ob unter den gegebenen Umständen das Ergebnis erreichbar ist.**

**- Vergleichsmessungen**  
(validation by measurement)

**Die Validierung von Simulationsergebnisse mit Hilfe von Vergleichsmessungen beschränkt sich im Wesentlichen auf die Überprüfung des mathematischen Modells eines Simulators hinsichtlich des Manövrierverhaltens der Bemessungsschiffe.**

**Damit lassen sich Ergebnisse aus Simulationen für zukünftige Planungsmaßnahmen erst dann umfassend validieren, wenn der simulierte Planungszustand in der realen Welt umgesetzt ist.**

## **9.1 Einleitung**

Wie bereits in einigen der vorangegangenen Kapiteln angedeutet, ist es notwendig, bestimmte Untersuchungsbedingungen und simulatorspezifische Besonderheiten näher zu erläutern, da diese bei der Betrachtung und Bewertung der einzelnen Simulationsläufe bzw. Manöver von einiger Bedeutung sind. Dieses Kapitel soll dem Zweck dienen, den Evaluierungsprozess der Ergebnisfindung transparenter zu machen.

Die zu betrachtenden Punkte können für diese Untersuchung in drei Kategorien gegliedert werden:

- **Simulatorspezifische Randbedingungen**  
(z.B. Projektion)
- **Manöverbeeinflussende Umweltbedingungen**  
(z.B. Wind)
- **Manöverunterstützende Maßnahmen**  
(z.B. Schlepper)

## 9.2 Simulatorspezifische Randbedingungen

Die Projektion der sichtbaren Umgebung erfolgt durch Video-Großbild-Projektoren. Alle darzustellenden Objekte werden sowohl geografisch als auch geometrisch und perspektivisch richtig projiziert, die fehlende Tiefenschärfe vermittelt jedoch den Eindruck, dass die Objekte näher erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind. Die Versuchsperson hat es deshalb, insbesondere anfangs schwer, Distanzen klar und sicher aus der reinen optischen Sicht heraus abschätzen zu können. Instrumente wie z.B. das Radargerät und Gewöhnung an das Außenbild helfen diesen Nachteil bis zu einem gewissen Grad auszugleichen.

Auch die Einschränkung des Gesichtsfeldes in der Vertikalen beeinflusst bestimmte Manöver, da dem Lotsen der direkte Blick aus der Nock auf die Wasseroberfläche fehlt, um beispielsweise das Driftverhalten des Schiffes abzuschätzen. Dieses Manko zu verringern helfen die vorhandenen Instrumente (Zwei-Achsen-Dopplerlogge, Außenbordkamera u. a.). Diese Art der Schiffsführung entspricht jedoch nicht der gewohnten Praxis.

- **Aufgrund der o. g. Randbedingungen ist die Durchführbarkeit der Manöver im Simulator in aller Regel schwieriger als in der Realität.**

### 9.3 Manöverbeeinflussende Randbedingungen

Zu den manöverbeeinflussenden Bedingungen die hier zu beschreiben sind, zählen

- **Wind**
- **Zustand des Untersuchungsschiffes**

#### 9.3.1 Wind

In der Realität erfolgt je nach Oberflächenbeschaffenheit der Umgebung eine mehr oder minder starke Abschwächung des Windes und es können wechselnde Windrichtungen in der lokalen und weiteren Umgebung des Schiffes durch Abschattungen auftreten.

Aufgrund fehlender Daten musste auf die Schaffung eines dem Untersuchungsgebiet entsprechendes lokalen Windfeldes verzichtet werden. D.h., dass die, je nach Versuchsbedingung herrschende Windstärke, in vollem Umfang und konstanter Richtung auftrat und zwar unabhängig von der jeweiligen geographischen Lage des Schiffes.

Aus denselben Gründen musste auch auf die Modellierung eines vertikalen Windprofils verzichtet werden. Das bedeutet, dass bei jedem Untersuchungslauf der Wind unter Berücksichtigung der Lage des Schiffes zur Windrichtung mit voller Stärke auf die Lateralfäche des Schiffes einwirkte. Gerade bei hohen Windstärken wird aber in der Realität die Wasseroberfläche erheblich "aufgeraut" und wirkt somit abschwächend im unteren Teil des vertikalen Profils.

Nur langfristige Messungen in den zu untersuchenden Bereichen oder aufwendige Windtunnelmessungen des Untersuchungsschiffes hätten die notwendigen Daten für eine exaktere Simulation liefern können.

- **Unter diesen Umständen kann davon ausgegangen werden, dass die Bedingungen während der Simulation schwieriger waren, als sie in Realität vorgefunden werden würden.**

### **9.3.2 Zustand des Eigenschiffes**

Frühere Studien haben gezeigt, dass die simulierten Schiffe in ihrem Manövrierverhalten durchaus mit Schiffen aus der Realität vergleichbar sind. Jedoch sind die Schiffe (Simulationsschiff) in diesem Fall in technisch einwandfreiem Zustand und besitzen eine optimale Brückenausstattung mit sehr guten Navigationsgeräten.

Der Großteil der durchgeführten Simulationen berücksichtigt keine Schäden (Ausfälle von Aggregaten, Hilfseinrichtungen, Fehlfunktionen, etc.). Es wurde, wie auch in der Realität üblich, von einem grundsätzlich voll funktionsfähigem Schiff ausgegangen. Fehlfunktionen von bestimmten Schiffseinrichtungen (z.B. Ausfall der Maschinenleistung) sind in der Simulation für dieses Projekt nicht mit einbezogen worden.

Die menschliche Komponente im Gesamtsystem Schiffsbetrieb ist, soweit im begrenztem Rahmen der Simulation möglich, berücksichtigt worden.

Die von den Lotsen geforderten Maßnahmen und Manöver sind schiffsseitig entsprechend den Kenndaten und Möglichkeiten des jeweiligen Eigenschiffes wie z.B.

- Hochlauf der Maschine
- Rücklauf der Maschine
- Umsteuern

ausgeführt worden.

- **Die Bedingungen für die Durchführung von Manövern in der Simulation sind in der Realität nur in vergleichbar günstigen Umständen vorzufinden.**

## **9.4 Manöverunterstützende Maßnahmen**

### **9.4.1 Schlepper**

Die Simulationsanlage verfügt über ein vollständiges mathematisches Modell mit dem Eigenschiffsschlepper gefahren werden können. Ein solches Modell ist in der Lage, das Schleppverfahren sehr realistisch zu reproduzieren. In diesem Fall wird der Schlepper, ebenso wie das Eigenschiff von einem Menschen bedient, so wie es in der Realität der Fall ist. Somit findet nicht nur der „human factor“ Eingang in das Verfahren, sondern auch die Wechselwirkung zwischen Schlepper und Seeschiff. Zudem besteht die Möglichkeit, das Verhalten der Leinen (Dynamik) entsprechend der verwendeten Schleppleinen mit Hilfe eigener Koeffizienten genauer zu beschreiben.

Andererseits kann ein sogenanntes „Kraftmodell“ eingesetzt werden, welches eine bestimmte Kraft an freiwählbaren Angriffspunkten in Richtung und Größe auf das Schiff einwirken lässt. Die in realen Schleppmanövern vorhandene Leinendynamik oder die komplizierte Interaktion zwischen Schlepper und Seeschiff wird nicht in vollem Umfang gerechnet, sondern durch entsprechende Eingaben der Kräfte berücksichtigt.

Dieses vereinfachte „Kraftmodell“ kann daher auch nicht alle Unwägbarkeiten, die in der Praxis vorkommen, nachvollziehen. Dies gilt in besonderem Maße für die menschliche Komponente, d.h. die Qualifikation der Besatzung, z.B. die Windeneinrichtung den Erfordernissen entsprechend bedienen zu können. Das, ebenso wie der notwendige Zeitaufwand und der technische Zustand dieser Einrichtung kann von einem Simulator nicht vollständig abgedeckt werden.

- **Ein Vergleich zwischen der Simulation und Realität ist schwer zu ziehen. Bei Nichtberücksichtigung des menschlichen Faktors kann die Effektivität des Schleppers in Realität als eher ungünstiger angenommen werden, als sie sich im Simulator darstellt.**

## **9.5 Zusammenfassende Bewertung**

Unter Abwägung der beschriebenen Umstände und der Vergleich zu bisher durchgeführten ähnlichen Simulationen lässt den Schluss zu, dass die Simulationsergebnisse

- **im Hinblick auf Wind und Schiffstyp in der Wirklichkeit mindestens erreichbar sind,**
- **im Hinblick auf Schlepperunterstützung, organisatorische und technische Funktionen von Schiff und Besatzung bei Zusammentreffen ungünstiger Einflüsse aber auch abweichen können.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

## **10 UMSETZBARKEIT VON SIMULATIONSERGEBNISSEN**

Dieses Kapitel soll sich in vereinfachter Form mit der realistischen Umsetzbarkeit der durch die Simulationsläufe gefundenen Ergebnisse in die reale Welt beschäftigen. Ebenso ist es notwendig, eine kritische Überprüfung der Zuverlässigkeit von Simulationsergebnissen im Allgemeinen vorzunehmen.

Da Vergleichsmanöver aus der Realität unter den Bedingungen, bei denen die in diesem Bericht behandelten Schiffsmanöver gefahren wurden, weitestgehend nicht vorliegen, muss, um zu ausreichend sicheren Aussagen zu kommen, ein theoretischer Ansatz herangezogen werden.

Das Problem der Beurteilung der Zuverlässigkeit von Modellergebnissen zur Umsetzung in die Realität erhält in zunehmendem Maße immer mehr Bedeutung, da auf Grund der Verfügbarkeit technisch hoch entwickelter Simulatoren Voruntersuchungen geplanter Maßnahmen immer häufiger durchgeführt werden.

Zu diesem Zweck bildete die PIANC im Jahre 1989 die Working Group 20, die sich speziell mit diesem Problemkreis beschäftigte. Aus dem im Jahre 1992 veröffentlichten Bericht

**Capability**  
**of Ship Manoeuvring Simulation Models**  
**for Approach Channels and Fairways**  
**in Harbours**

sollen an dieser Stelle die für diese Untersuchung relevanten Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe betrachtet werden. In dem angesprochenen Report werden von internationalen Experten die verschiedenen Simulatoren auf ihre Möglichkeiten, Fähigkeiten und Grenzen beleuchtet und mit Hilfe der bisher gemachten Erfahrungen bewertet.

Wenn auch bei allen der behandelten Simulatoren neben unbestreitbaren Vorteilen Nachteile festgestellt wurden, kommt die Arbeitsgruppe aber zu dem Ergebnis (u.a.):

- **Simulation ist ein zuverlässiges und unverzichtbares Werkzeug bei der Entwicklung und Planung von Häfen und Wasserwegen.**

- **Simulationsstudien im Bereich nautisch-technischer Schiffsführung und zu Manöverabläufen sollten im gleichen Umfang durchgeführt werden, wie es heute schon in vielen anderen Ingenieurbereichen der Fall ist.**
  
- **Simulationsstudien werden dringend empfohlen in allen Situationen, in denen der Mensch eine wesentliche Rolle spielt. Beispielsweise, wenn in sehr kurzen Zeitabständen viele Entscheidungen (Drehen eines Schiffes, Anlegen und Ablegen) notwendig sind oder schwierige Umweltbedingungen herrschen.**

Es kann also zunächst festgestellt werden, dass die Manöver dieser Untersuchung, Fahren in engen Gewässern unter erschwerten Bedingungen, im Hinblick möglicher Veränderungen auch nach weit gefasster Meinung eine sinnvolle Unterstützung der Planungsüberlegungen waren.

Wie bereits oben gesagt, wurde eine Vielzahl verschiedener Simulatoren für ihre Verwendbarkeit für Studien untersucht. Die Schiffsführungs- und Simulationsanlage des IfmS gehört dabei in die Gruppe der "Echtzeit-Simulatoren". Aus diesem Grunde sollen in den nachfolgenden Unterkapiteln ausschließlich die Feststellungen der PIANC-Arbeitsgruppe für diese Simulatorengruppe näher betrachtet werden.

## **10.1 Manöveruntersuchungen mit Echtzeitsimulatoren**

Echtzeitsimulatoren bieten sich für Untersuchungen von Schiffsmanövern in Revieren, Hafenbereichen aber auch auf See geradezu an, weil einer der wesentlichen Aspekte die Überprüfung des Manövers unter Einbindung des Menschen (Schiffsführer) in das so genannte Mensch-Maschine-System ist.

Ein unbestreitbarer Vorteil ist, die Möglichkeit zu haben, Grenzen der Machbarkeit von Manövern unter realistischen, jedoch klar definierten und reproduzierbaren Bedingungen zu bestimmen. Außerdem können Simulationsuntersuchungen Problembereiche aufzeigen, die bei vereinfachten Modellüberlegungen oder theoretischer Betrachtung nicht erkennbar werden.

Allerdings dürfen hierbei drei für das Simulationsergebnis entscheidende Faktoren nicht übersehen werden:

- **Motivation der Testperson**
- **Laufbedingungen**
- **Gültigkeit der Ergebnisse**

wie dies schon in Kapitel 8 näher beschrieben wurde.

## **10.2 Validierung von Simulationen**

Unter Validierung versteht man den Prozess, ausreichend zuverlässige Aussagen darüber zu erhalten, inwieweit Simulationsprozesse den Schluss zu lassen, dass deren Ergebnisse mit den realen Abläufen vergleichbar sind. Es ist also daher nicht unbedingt notwendig, dass der simulierte Vorgang absolut identisch ist mit dem vergleichbaren realen.

Allgemein kann gesagt werden, dass Validierung von Daten ein schwieriger und aufwendiger Vorgang ist, weil

- **die Aufnahme von Meßreihen sehr kosten- und zeitaufwendig ist**
- **nicht wirklich alle notwendigen Vergleichsgrößen gemessen werden können und**
- **die Messgrößen zu ungenau sein können.**

In der Praxis werden mehrere Verfahren zur Validierung von Simulationsergebnissen angewendet und zwar u.a.:

- **Expert-Rating**  
(validation by authorization)
  
- **Hypothetische Betrachtung**  
(validation by argumentation)
  
- **Vergleichsmessungen**  
(validation by measurement)

Für das Auswerteverfahren und die Formulierung der Simulationsergebnisse wurde in der hier zu betrachtenden Untersuchung im Wesentlichen das Expert-Rating angewendet (siehe hierzu auch

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

Kapitel 3). Die Validierung der Simulationsergebnisse im Bezug auf Vergleichsmessungen beschränkt sich auf die Überprüfung des mathematischen Modells des Simulators hinsichtlich des Manörierhaltens der Bemessungsschiffe. In diesem Falle liegen Vergleichsmessungen aus der Realität vor, die als Grundlagen zur Feinabstimmung des mathematischen Modells dienen.

- **Um aber die Ergebnisse in erweiterten Grenzen zu überprüfen, ist es empfehlenswert, Erfahrungen und Messgrößen aus Manövern, die in der Realität unter ähnlichen Umständen durchgeführt worden sind zur Validierung heranzuziehen.**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

# ANLAGEN

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

# Anlage 1

## Laufdokumentation

---

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### Anlage 1.1 Szenario-Kodierung

Meaning			
1 <sup>st</sup> Digit	Code	Main Bridge Ship	Ref.#
	1	NOK-337-MaxNew	337
	2	NOK-338-VG1-1	338
	3	NOK-339-VG4-1CON_7.0m	339
	4	NOK-340-VG4-2BULK_9.5m	340
	5	NOK-341-VG4-3CAR_5.0m	341
	6	NOK-Barge	308
	7	NOK-Propeller-Tug	344
	8	NOK-378-VG5-BULK 10.4m	378
	9	NOK-385_VG4-7.0m	385

2 <sup>nd</sup> Digit	Code	SOC Ship	Ref.#
	0	NO ADDITIONAL SHIP	000
	1	NOK-338-VG1-1	338
	2	NOK-339-VG4-1CON_7.0m	339
	3	NOK-340-VG4-2BULK_9.5m	340
	4	NOK-341-VG4-3CAR_5.0m	341
	5		
	6		

3 <sup>rd</sup> Digit	Code	Layout
	0	Heutiger Zustand
	1	Layout 1 (Erhalt Mole 3)
	2	Layout 2 (kl. Versatz Mole 3)
	3	Layout 3 (gr. Versatz Mole 3)
	4	Layout 4 (lange Mole 2)

4 <sup>th</sup> Digit	Code	Run Condition (Manoeuvre)
	1	Reference Hydrodynamic
	2	Reference Wind (no Bank-Effekt)
	3	Standard Run Reference today
	4	Standard Run NEW LOCK 5
	5	Towing Manoeuvre
	6	

5 <sup>th</sup> Digit	Code	Sailing Direction
	1	NOK to Lock
	2	Lock to NOK
	3	Lock to SEA
	4	Lock to Hamburg
	5	Hamburg to Lock
	6	Sea to Lock
	7	NW-Reede to Lock
	8	
	9	

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

6 <sup>th</sup> Digit	Code	Wind Direction
	<b>0</b>	No Wind
	<b>1</b>	North
	<b>2</b>	NorthEast
	<b>3</b>	East
	<b>4</b>	SouthEast
	<b>5</b>	South
	<b>6</b>	SouthWest
	<b>7</b>	West
	<b>8</b>	NorthWest
	<b>9</b>	NorthNorthWest
	<b>A</b>	

7 <sup>th</sup> Digit	Code	Wind Force
	<b>0</b>	No Wind
	<b>1</b>	Bft 3
	<b>2</b>	Bft. 4
	<b>3</b>	Bft. 5
	<b>4</b>	Bft. 6
	<b>5</b>	Bft. 7
	<b>6</b>	Bft. 8
	<b>7</b>	Bft. 9
	<b>A</b>	Bft. 4 - 6
	<b>B</b>	Bft. 5 - 7
	<b>C</b>	Bft. 6 - 8
	<b>D</b>	Bft. 7 - 9
	<b>F</b>	Bft. 8 - 10
	<b>G</b>	Bft. 9 - 11

8 <sup>th</sup> Digit	Code	Major Current
	<b>0</b>	No Current
	<b>1</b>	Flood Tide NORMAL
	<b>2</b>	Ebb Tide NORMAL
	<b>3</b>	Flood Tide EXTRA
	<b>4</b>	Ebb Tide EXTRA

9 <sup>th</sup> Digit	Code	Visibility
	<b>0</b>	Without visual system
	<b>1</b>	DAY –clear-
	<b>2</b>	DAY –haze-
	<b>3</b>	DAY –light fog-
	<b>4</b>	DAY –dense fog-
	<b>5</b>	NIGHT –clear-
	<b>6</b>	NIGHT –haze-
	<b>7</b>	NIGHT –light fog-
	<b>8</b>	NIGHT –dense fog-

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

10 <sup>th</sup> Digit	Code	Assistance
	1	Standard Bridge Layout
	4	With Radar-Assistance + ECDIS

11 <sup>th</sup> Digit	Code	Tugs
	0	No tugs
	1	1 forward
	2	1 aft
	3	1 forward + 1 aft
	6	3 tugs

**Datenaufzeichnung: Data\_917\_xxxx\_yyyyyyyyyy**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

## Anlage 1.2 Laufübersichten

### Untersuchungsphase 1 (IST-Zustand, Variante 1 und Variante 3)

GESAMT-ÜBERSICHT			Richtung	Wind			Bemerkung
Nr.	Schiff	Manöver	Layout	Tide	Rtg	Bft	
<b>Läufe im IST-Zustand</b>							
001	NOK	Referenz Flutstrom	Ein/V0	Flut	nil	nil	Von See kommend
002	NOK	Referenz Flutstrom	Aus/V0	Flut	nil	nil	Nach Hamburg gehend
003	NOK	Referenz Flutstrom	Aus/V0	Flut	nil	nil	Nach Hamburg gehend
004	NOK	Referenz Flutstrom	Ein/V0	Flut	nil	nil	Von Hamburg kommend
005	NOK	Referenz Ebbe	Ein/V0	Ebbe	nil	nil	Von See kommend
006	NOK	Referenz Ebbe	Aus/V0	Ebbe	nil	nil	Nach Hamburg gehend
011	NOK	Referenz Wind	Ein/V0	nil	NW	Bft.6	Von Hamburg kommend
012	NOK	Referenz Wind	Aus/V0	nil	NW	Bft.6	Nach Hamburg gehend
013	NOK	Referenz Wind	Ein/V0	nil	SW	Bft.6	Von Hamburg kommend
<b>Läufe in der Variante 1 zur Schleuse 5</b>							
007	NOK	Referenz Hydrodynamik	Ein/V1	nil	nil	nil	
008	NOK	Referenz Hydrodynamik	Aus/V1	nil	nil	nil	
009	NOK	Referenz Strom	Ein/V1	THW	nil	nil	
010	NOK	Referenz Strom	Aus/V1	1.Ebbe	nil	nil	
014	NOK	Referenz Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	
015	NOK	Strategie Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	Abbruch, Simulatorfehler
016	NOK	Referenz Wind	Ein/V1	nil	NW	Bft.6	
017	NOK	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
018	NOK	Strategie Wind	Aus/V1	nil	NW	Bft.6	
019	NOK	Referenz Wind	Ein/V1	nil	SE	Bft.6	
020	NOK	Referenz Wind	Aus/V1	nil	SE	Bft.6	
021	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
022	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
023	NOK	Standard	Ein/V1	Flut	SW	Bft.6	
024	NOK	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
025	VG5T	Referenz Hydrodynamik	Ein/V1	nil	nil	nil	
101	VG5T	Referenz Strom	Ein/V1	Flut	nil	nil	
102	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	Flut	nil	nil	
103	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	THW	nil	nil	
104	VG5T	Standard	Ein/V1	Flut	NW	Bft.5	
105	VG5T	Standard	Aus/V1	Flut	NW	Bft.5	
106	VG5T	Referenz Strom	Ein/V1	Ebbe	nil	nil	
107	VG5T	Referenz Strom	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	
108	NOK	Standard-Nebel	Ein/V1	Ebbe	nil	nil	
107	NOK	Standard-Nebel	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	
110	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.5	
111	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.5	
112	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.5	
113	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.5	
114	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
115	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
116	VG4C	Standard	Ein/V1	Ebbe	SW	Bft.4	
117	VG4C	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.4	
118	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
119	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	NW	Bft.7	
120	VG5T	Standard	Ein/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
121	VG5T	Standard	Aus/V1	Ebbe	SE	Bft.5	

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

122	NOK	Standard	Ein/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
123	NOK	Standard	Aus/V1	Ebbe	SE	Bft.5	
124	NOK	Vergleich zu IST	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	Von Neue-Süd
125	VG5T	Vergleich zu IST	Aus/V1	Ebbe	nil	nil	Von Neue-Süd
157	VG4C	Standard	Ein V1	Flut	SW	Bft.6	
158	VG4B	Standard	Aus/V1	Flut	SW	Bft.6	
159	VG4C	Standard	Ein V1	Ebbe	SW	Bft.6	
160	VG4B	Standard	Aus/V1	Ebbe	SW	Bft.6	
<b>Läufe in der Variante 3 zur Schleuse 5</b>							
126	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Flut	nil	nil	
127	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
128	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Ebbe	nil	nil	
129	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
130	NOK	Referenz Strom	Ein/V3	Flut	nil	nil	
131	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
132	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	
133	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6	
134	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	W	Bft.6	
135	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	W	Bft.6	
136	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.6	
137	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.6	
138	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.6	
139	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
140	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
141	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
142	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6-8	
143	VG5T	Standard	Ein/V3	Ebbe	W	Bft.6-8	
144	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	W	Bft.6-8	
145	VG5T	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.6-8	
146	VG5T	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.6-8	
147	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	
148	NOK	Referenz Strom	Aus/V3	Flut	nil	nil	
149	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	SE	Bft.5	
150	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.5	
151	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SE	Bft.5	
152	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SE	Bft.5	
153	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	SW	Bft.5	
154	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.5	
155	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	E	Bft.6-8	
156	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	W	Bft.6-8	
161	VG4B	Standard	Ein/V3	Flut	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
162	VG4B	Standard	Aus/V3	Flut	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
163	VG4B	Standard	Ein/V3	Ebbe	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
164	VG4B	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.6	Ohne Schlepper
165	VG5T	Referenz Strom	Ein	Entw.	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
166	VG5T	Standard	Aus/V3	Ebbe	SE	Bft.6	
167	VG5T	Referenz Strom	Ein	Entw.	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5
168	VG5T	Standard	Ein	Entw.	SW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
169	VG5T	Standard	Aus/V3	Ebbe	NW	Bft.6	
170	VG5T	Standard	Ein	Entw.	SE	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
171	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	SW	Bft.6	
172	VG5T	Standard	Ein	Entw.	NW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
173	NOK	Standard	Aus/V3	Ebbe	NW	Bft.6	2 Schlepper á 40 t
174	VG5T	Standard	Ein	Entw.	NW	Bft.6	Vom NOK in die Schleuse 5
175	PONT	Standard	Aus/V3	Stau	NW	Bft.6	
176	NOK	Referenz Strom	Ein	nil	nil	nil	Vom NOK in die Schleuse 5

Revision: F3.3.11

Volume 1 von 7

Seite 192 von 234

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

177	NOK	Vergleichslauf	Ein	nil	nil	nil	Vom NOK in die Neue-Süd
178	PONT	Standard	Aus/V3	Stau	NW	Bft.6	
179	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
180	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
181	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 60 t
182	NOK	Standard	Ein/V3	Flut	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
183	NOK	Standard	Aus/V3	Flut	SE	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t
184	NOK	Standard	Ein/V3	Ebbe	NW	Bft.7-9	2 Schlepper á 40 t

**Untersuchungsphase 2 -Variante 4**

<b>GESAMT-ÜBERSICHT</b>			<b>Richtung</b>	<b>Wind</b>			
<b>Nr.</b>	<b>Schiff</b>	<b>Manöver</b>	<b>Layout</b>	<b>Tide</b>	<b>Rtg</b>	<b>Bft</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Läufe in der Variante 4</b>							
401	NOK	Referenz Strom	Ein	Flut	nil	nil	
402	NOK	Referenz Strom	Aus	Flut	nil	nil	
403	NOK	Referenz Strom	Ein	Ebbe	nil	nil	
404	NOK	Referenz Strom	Aus	Ebbe	nil	nil	
405	NOK	Referenz Strom	Ein	Ebbe	nil	nil	
406	NOK	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.4	
407	NOK	Standard	Ein	Ebbe	nil	nil	
408	NOK	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.4	
409	NOK	Standard	Ein	Flut	nil	nil	
410	NOK	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
411	VG5T	Standard	Ein	Flut*	SW	Bft.4-6	
412	VG5T	Standard	Aus	Flut*	SW	Bft.4-6	
413	VG5T	Standard	Ein	Flut*	SW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
414	VG5T	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
415	VG5T	Standard	Ein	Flut*	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
416	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.6-8	
417	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
418	NOK	Ölhafen -> 5.Schleuse	Ein	nil	nil	nil	
419	NOK	Aus 5.Schleuse -> NOK	Aus	nil	nil	nil	Unterbrechung wg. Kollision
420	NOK	Aus 5.Schleuse -> NOK	Aus	nil	nil	nil	Fortsetzung Lauf 419
421	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
422	VG5T	Standard	Aus	Flut	SO	Bft.6-8	
423	NOK	Standard	Ein	Ebbe	SW	Bft.6-8	Schlepper ab Tn. 58a
424	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.6-8	
425	NOK	Standard	Ein	Flut	NW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
426	VG5T	Standard	Aus	Flut	NW	Bft.4-6	
427	VG5T	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
428	NOK	Standard	Ein	Ebbe	NW	Bft.4-6	Schlepper ab Tn. 58a
429	VG4	Standard	Aus	Ebbe	NW	Bft.6-8	
430	NOK	Ölhafen -> 5.Schleuse	Ein	nil	NW	Bft.4-6	

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Date: 30. Mai 2008

## Anlage 2

# SCHIFFSUNTERLAGEN

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.1 Schiffsdaten NOK-max**

**NOK-MAX-Neu BEMESSUNGSSCHIFF**

**Ref: 337**

Main Dimensions							
Length <sub>oa</sub>	.....	280.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	268.00 m	Beam...:	32.50 m
Bridge-Bow	.....	191.50 m	Bridge-Stern	.....	88.50 m	MMOCE	337
Height of Eye	.....	36.00 m	Airdraft	.....	47.00 m	δ.....:	
Available Load Conditions							
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks	
1	9.50 m	9.50 m	56.000 t	4.900 m <sup>2</sup>	720 m <sup>2</sup>		
2							

Propulsion and Steering							
Main Engine	.....	Diesel	Max. Output	.....	54.100 kW	at.....:	102 RPM
Propeller	.....	1 fixed	Pitch.....:	7.565 m	Right handed		
Rudder	....	1 semi balanced	Max. Angle .....	35 deg.			
Bow Thruster	....	1 Output ....	150 kN	≈ 15 t			
Stern Thruster	....	nil					

Speed Table (90% MCR) –Deep Water-						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
EOT	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full	102	25.0	79	19.4	Full	-83
Half	68	16.8	68	13.0	Half	-56
Slow	51	12.5	51	9.7	Slow	-41
DeadSlow	26	6.3	26	4.9	Dead	-20
Minimum	21	4.9	20	3.8	Min.	-19
General Info	Maximum Power on Astern...: 80%					
	Short Time max. Revolutions on Astern...: -83 RpM					
	Time Limit on Astern...: nil					
	Time Full Ahead / Full Astern...: 220 sec (MAN)					

General Informations		
Safe Start	.....	21 RpM
Reversing Revs Normal	.....	32 RpM
Reversing Revs Crash	.....	36 RpM
Reversing Speed Normal	.....	8.7 kts
Reversing Speed Crash	.....	9.8 kts
Max. consec. Starts	.....	12
Max. Time for Thruster	.....	15 min.
Rudder Hard/Hard (1)	.....	28 sec.
Rudder Hard/Hard (2)	.....	14 sec.

<b>SHIP – PARTICULARS</b> <b>ENGINE CHARACTERISTICS</b>  <b>CONTAINER VESSEL</b> <b>CS 280 - 4500 TEU</b>	SUS_Document: CS280_Container4500.doc
	Reference Vessel nil

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.2 Schiffsdaten VG5T**

**Untersuchungsschiff VG 5T**

**Ref: 378**

Main Dimensions						
Length <sub>oa</sub>	.....	200.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	189.00 m	Beam...: 28.00 m
Bridge-Bow	.....	130.00 m	Bridge-Stern	.....	70.00 m	MMOCE 378
Height of Eye	.....	23.00 m	Airdraft	.....		δ.....:
Available Load Conditions						
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks
1	10.4 m	10.4 m	45.400 t	1.580 m <sup>2</sup>	410 m <sup>2</sup>	

Propulsion and Steering						
Main Engine	.....	1 Diesel	Max. Output	.....	11.800 kW	at.....: 102 RPM
Propeller	.....	1	Pitch.....:	5.45 m		
Rudder	....	1	Max. Angle	.....: 35°		
Bow Thruster	....	1	Output ....	200 kN	≈ 20 t	
Stern Thruster	....	nil				

Speed Table (90% MCR)						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
EOT	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full	102	18.0	79	13.9	Full	-90
Half	68	12.1	68	9.3	Half	-60
Slow	51	9.0	51	6.9	Slow	-45
DeadSlow	26	4.5	26	3.5	Dead	-23
Minimum	20	3.5	20	2.7	Min	-20
General Info	Maximum Power on Astern...: 80%					
	Short Time max. Revolutions on Astern...: - 90 RpM					
	Time Limit on Astern...: nil					
	Time Full Ahead / Full Astern...: 210 sec (MAN)					

General Informations		
Safe Start	.....	21 RPM
Reversing Revs Normal	.....	36 RPM
Reversing Revs Crash	.....	42 RPM
Reversing Speed Normal	.....	9.8 kts.
Reversing Speed Crash	.....	10.1 kts
Max. consec. Starts	.....	12
Max. Time for Thruster	.....	15 min.
Rudder Hard/Hard (1)	.....	28 sec.
Rudder Hard/Hard (2)	.....	14 sec.

SHIP – PARTICULARS ENGINE CHARACTERISTICS		Document:
NOK-VG5 REEFER/CON		Reference Vessel Dole Chile

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.3 Schiffsdaten VG5-9m**

**Untersuchungsschiff VG 5**

**Ref: 343**

Main Dimensions							
Length <sub>oa</sub>	.....	200.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	191.00 m	Beam....	28.00 m
Bridge-Bow	.....	130.00 m	Bridge-Stern	.....	70.00 m	MMOCE	343
Height of Eye	.....	21.00 m	Airdraft	.....		δ....:	
Available Load Conditions							
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks	
1	9.5 m	9.5 m	34.200 t	1.250 m <sup>2</sup>	810 m <sup>2</sup>		

Propulsion and Steering						
Main Engine	.....	Diesel	Max. Output	.....	11.800 kW	at.....: 102 RPM
Propeller	.....	1	Pitch.....:	4.84 m		
Rudder	....	1	Max. Angle	.....	35°	
Bow Thruster	....	1	Output ....	200 kN	≈ 20 t	
Stern Thruster	....	nil				

Speed Table (90% MCR)						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
EOT	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full	102	16.0	79	12.3	Full	-90
Half	68	10.7	68	8.3	Half	-60
Slow	51	8.0	51	6.2	Slow	-45
DeadSlow	26	4.0	26	3.1	Dead	-23
Minimum	20	3.1	20	2.4	Min	-20
General Info	Maximum Power on Astern....: 80%					
	Short Time max. Revolutions on Astern...: - RpM					
	Time Limit on Astern....: nil					
	Time Full Ahead / Full Astern....: 220 sec (MAN)					

General Informations		
Safe Start	.....	21 RPM
Reversing Revs Normal	.....	31 RPM
Reversing Revs Crash	.....	38 RPM
Reversing Speed Normal	.....	7.8 kts.
Reversing Speed Crash	.....	8.4 kts
Max. consec. Starts	.....	12
Max. Time for Thruster	.....	15 min.
Rudder Hard/Hard (1)	.....	28 sec.
Rudder Hard/Hard (2)	.....	14 sec.

SHIP – PARTICULARS ENGINE CHARACTERISTICS		Document:
VG-5 Bulk		Reference Vessel nil

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.4 Schiffsdaten VG4-CON**

**Untersuchungsschiff VG 4 -CON**

**Ref: 339**

Main Dimensions						
Length <sub>oa</sub>	.....	140.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	127.00 m	Beam...: 22.00 m
Bridge-Bow	.....	110.00 m	Bridge-Stern	.....	30.00 m	MMOCE 339
Height of Eye	.....	27.00 m	Airdraft	.....		δ.....:
Available Load Conditions						
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks
1	7.0 m	7.0 m	14.000 t	1.200 m <sup>2</sup>	398 m <sup>2</sup>	

Propulsion and Steering						
Main Engine	.....	Diesel	Max. Output	.....	6.600 kW	at.....: 141 RPM
Propeller	.....		Pitch.....:		4.16 m	
Rudder	....	1			Max. Angle	.....: 35°
Bow Thruster	....	1	Output ....	120 kN	≈	12 t
Stern Thruster	....	nil				

Speed Table (90% MCR)						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
EOT	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full	141	19.0	114	15.4	Full	-130
Half	94	12.7	94	10.3	Half	-85
Slow	71	9.5	71	7.7	Slow	-65
DeadSlow	35	4.8	35	3.8	Dead	-30
Minimum	20	2.7	20	2.2	Min	-20
General Info	Maximum Power on Astern...: 80%					
	Short Time max. Revolutions on Astern...: - 135 RpM					
	Time Limit on Astern...: nil					
	Time Full Ahead / Full Astern...: 220 sec (MAN)					

General Informations		
Safe Start	.....	21 RPM
Reversing Revs Normal	.....	60 RPM
Reversing Revs Crash	.....	65 RPM
Reversing Speed Normal	.....	8.8 kts.
Reversing Speed Crash	.....	9.4 kts
Max. consec. Starts	.....	12
Max. Time for Thruster	.....	15 min.
Rudder Hard/Hard (1)	.....	28 sec.
Rudder Hard/Hard (2)	.....	14 sec.

SHIP – PARTICULARS ENGINE CHARACTERISTICS		Document:
VG 4 CON		Reference Vessel nil

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.5 Schiffsdaten VG4-Bulk**

**Untersuchungsschiff VG 4 Bulk**

**Ref: 340**

Main Dimensions							
Length <sub>oa</sub>	.....	140.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	127.00 m	Beam....	22.00 m
Bridge-Bow	.....	110.00 m	Bridge-Stern	.....	30.00 m	MMOCE	340
Height of Eye	.....	15.00 m	Airdraft	.....		δ....	
Available Load Conditions							
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks	
1	9.5 m	9.5 m	16.250 t	570 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>		

Propulsion and Steering								
Main Engine	.....	Diesel	Max. Output	.....	6.600 kW	at.....	141 RPM	
Propeller	.....		Pitch.....	.....	3.50 m			
Rudder	....	1				Max. Angle	.....	35°
Bow Thruster	....	1	Output ....	120 kN	≈	12 t		
Stern Thruster	....	nil						

Speed Table (90% MCR)						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
EOT	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full	141	16.0	114	13.0	Full	-130
Half	94	10.7	94	8.7	Half	-85
Slow	71	8.0	71	6.5	Slow	-65
DeadSlow	35	4.0	35	3.2	Dead	-30
Minimum	20	2.3	20	1.8	Min	-20
General Info	Maximum Power on Astern....: 80%					
	Short Time max. Revolutions on Astern...: - 135 RpM					
	Time Limit on Astern....: nil					
	Time Full Ahead / Full Astern....: 220 sec (MAN)					

General Informations		
Safe Start	.....	21 RPM
Reversing Revs Normal	.....	60 RPM
Reversing Revs Crash	.....	65 RPM
Reversing Speed Normal	.....	8.1 kts.
Reversing Speed Crash	.....	8.9 kts
Max. consec. Starts	.....	12
Max. Time for Thruster	.....	15 min.
Rudder Hard/Hard (1)	.....	28 sec.
Rudder Hard/Hard (2)	.....	14 sec.

SHIP – PARTICULARS ENGINE CHARACTERISTICS		Document:
VG 4 Bulk		Reference Vessel nil

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.6 Schiffsdaten VG4-Car**

**Untersuchungsschiff VG 4 Car**

**Ref: 341**

Main Dimensions							
Length <sub>oa</sub>	.....	140.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	127,00 m	Beam...:	22.00 m
Bridge-Bow	.....	11.30 m	Bridge-Stern	.....	128.70 m	MMOCE	341
Height of Eye	.....	22.00 m	Airdraft	.....		δ.....:	
Available Load Conditions							
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks	
1	5.0 m	5.0 m	7.800 t	1.700 m <sup>2</sup>	470 m <sup>2</sup>		

Propulsion and Steering							
Main Engine	.....	Diesel	Max. Output	.....	3.500 kW	at.....:	141 RPM
Propeller	.....	1	Pitch.....:	3.72 m			
Rudder	....	1	Max. Angle	.....:			35°
Bow Thruster	....	1	Output ...:	65 kN	≈	6 t	
Stern Thruster	....	nil					

Speed Table (90% MCR)						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
EOT	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full	141	17.0	124	15.0	Full	-130
Half	94	11.4	94	10.0	Half	-85
Slow	71	8.5	71	7.5	Slow	-65
DeadSlow	35	4.3	35	3.1	Dead	-30
Minimum	20	2.4	20	2.1	Min	-20
General Info	Maximum Power on Astern...: 80%					
	Short Time max. Revolutions on Astern...: - 135 RpM					
	Time Limit on Astern...: nil					
	Time Full Ahead / Full Astern...: 220 sec (MAN)					

General Informations		
Safe Start	.....:	21 RPM
Reversing Revs Normal	.....:	60 RPM
Reversing Revs Crash	.....:	65 RPM
Reversing Speed Normal	.....:	8.8 kts.
Reversing Speed Crash	.....:	9.4 kts
Max. consec. Starts	.....:	12
Max. Time for Thruster	.....:	15 min.
Rudder Hard/Hard (1)	.....:	28 sec.
Rudder Hard/Hard (2)	.....:	14 sec.

SHIP – PARTICULARS ENGINE CHARACTERISTICS		Document:
VG 4 CAR		Reference Vessel nil

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 2.7 Schiffsdaten Barge**

**Untersuchungsschiff VG 5 Barge**

**Ref: 308**

Main Dimensions							
Length <sub>oa</sub>	.....	60.00 m	Length <sub>pp</sub>	.....	60.00 m	Beam....	25.00 m
Bridge-Bow	.....		Bridge-Stern	.....		MMOCE	308
Height of Eye	.....		Airdraft	.....		δ....:	
Available Load Conditions							
	Draft F.	Draft A.	Displacement	Windarea L.	Windarea F.	Remarks	
1	4.1 m	4.1 m	9.500 t	1.060 m <sup>2</sup>	410 m <sup>2</sup>		

Propulsion and Steering						
Main Engine	.....	nil	Max. Output	.....	nil	at.....: ---
Propeller	.....		Pitch.....:	--		
Rudder	....	nil			Max. Angle	....: --
Bow Thruster	....	-	Output	....	nil	
Stern Thruster	....	nil				

Speed Table (90% MCR)						
	Ahead				Astern	
	Sea		Shallow		Sea/Man	
	RPM	SPD	RPM	SPD	EOT	RPM
Full						
Half						
Slow						
DeadSlow						
Minimum						
General Info	Maximum Power on Astern....:					
	Short Time max. Revolutions on Astern...:					
	Time Limit on Astern....:					
	Time Full Ahead / Full Astern....:					

General Informations		
Safe Start	.....:	
Reversing Revs Normal	.....:	
Reversing Revs Crash	.....:	
Reversing Speed Normal	.....:	
Reversing Speed Crash	.....:	
Max. consec. Starts	.....:	
Max. Time for Thruster	.....:	
Rudder Hard/Hard (1)	.....:	
Rudder Hard/Hard (2)	.....:	

SHIP – PARTICULARS ENGINE CHARACTERISTICS		Document:
VG 5 Barge		Reference Vessel nil

# Anlage 3

## Seegebietsdaten

---

# Simulations-Studie „Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“

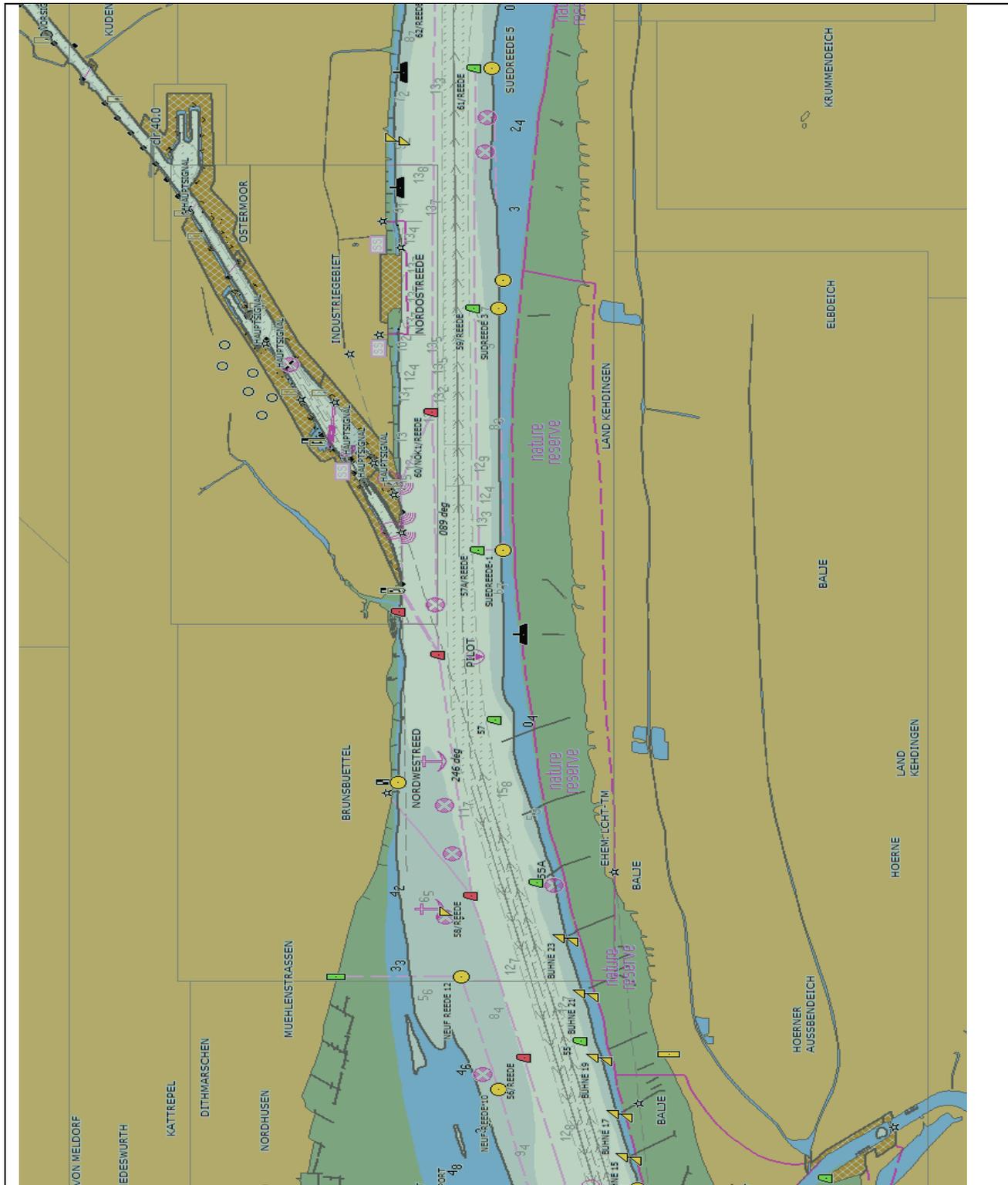
Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

Abschlussbericht

Date: 30. Mai 2008

## Anlage 3.1 ENC IST-Zustand -Übersicht



**Simulations-Studie  
„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

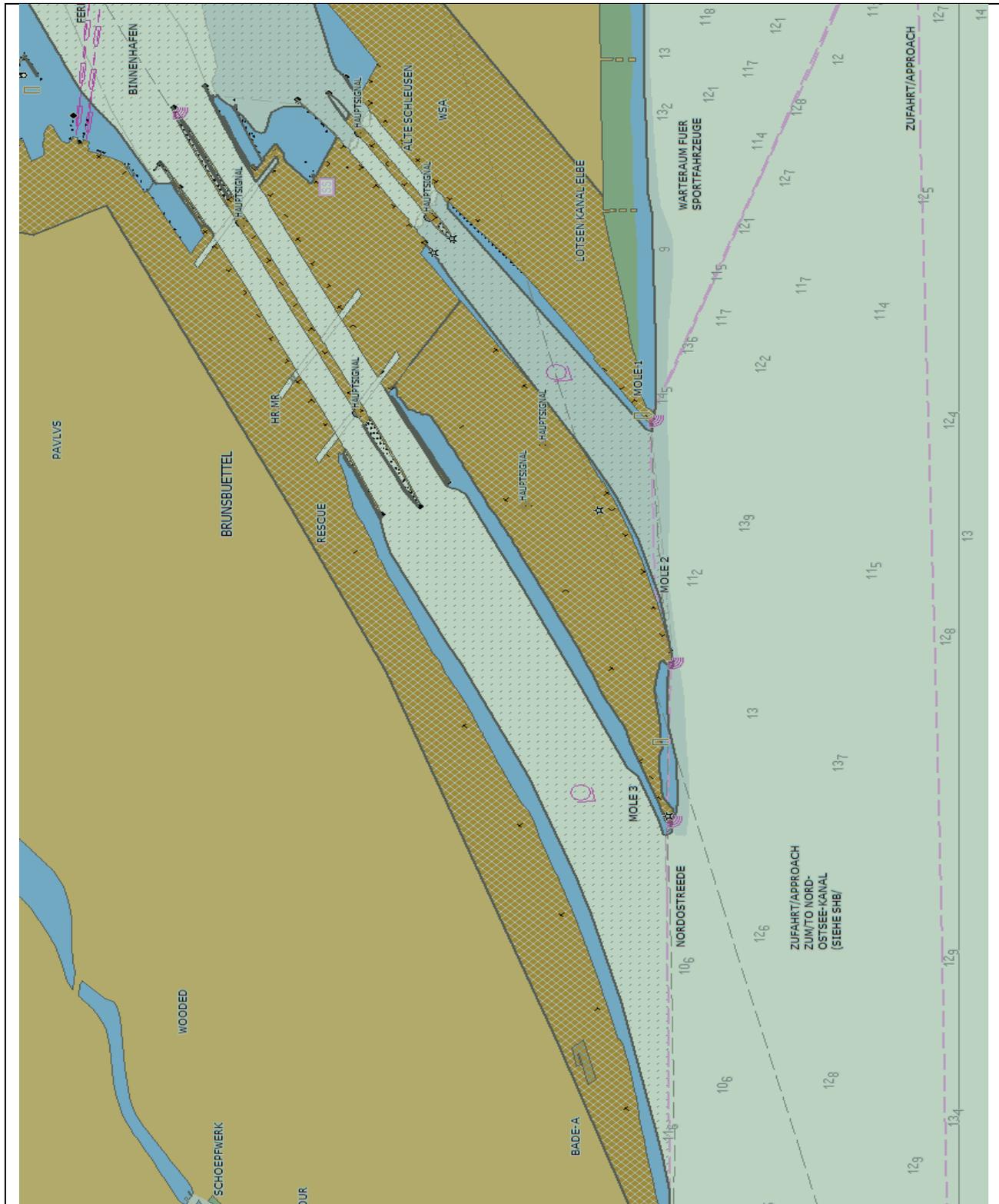
**Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.2 ENC IST-Zustand -Vorhafen/Schleusen**



# Simulations-Studie „Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“

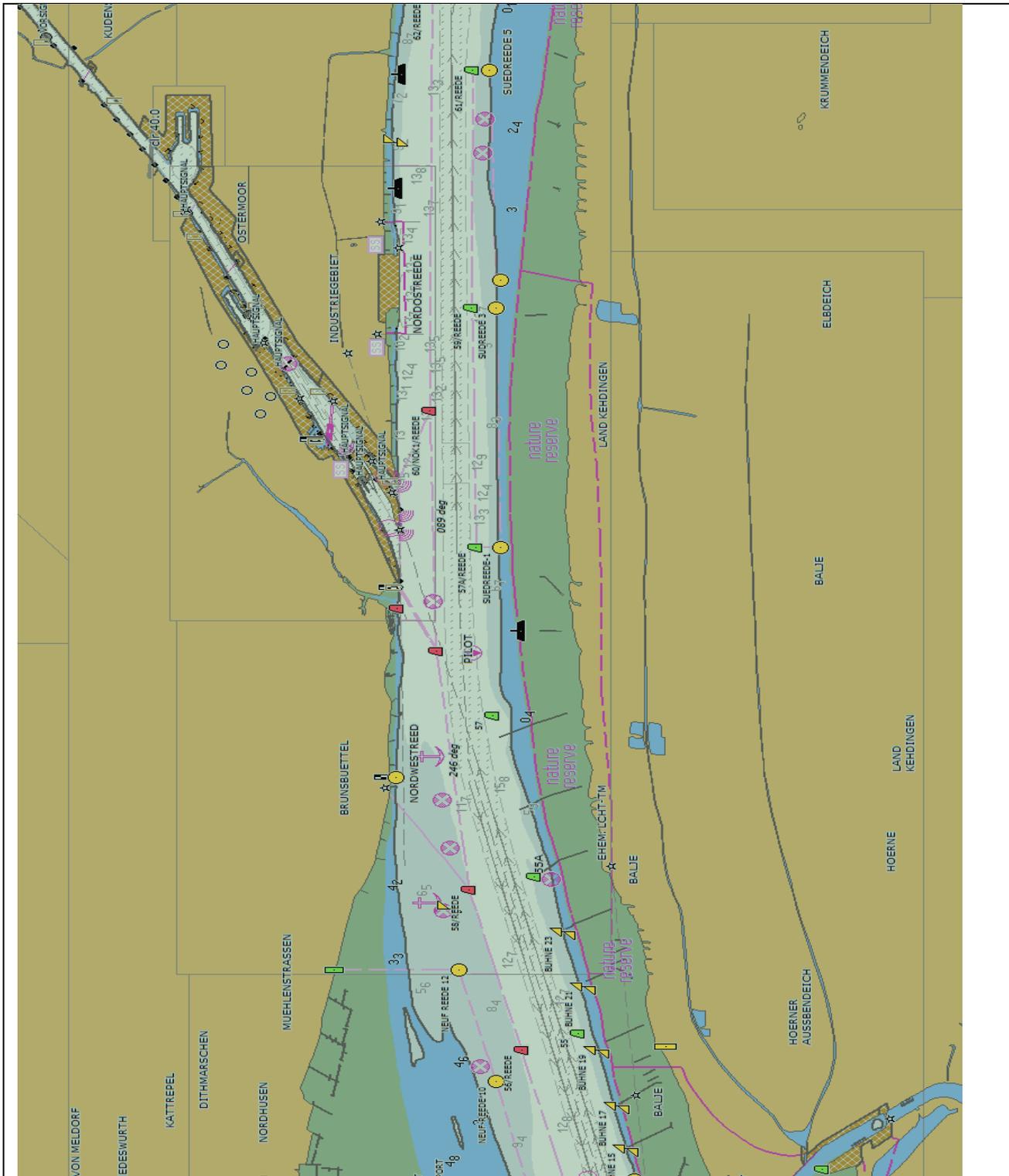
Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

Abschlussbericht

Date: 30. Mai 2008

## Anlage 3.3 ENC Variante 1 -Übersicht



**Simulations-Studie  
„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

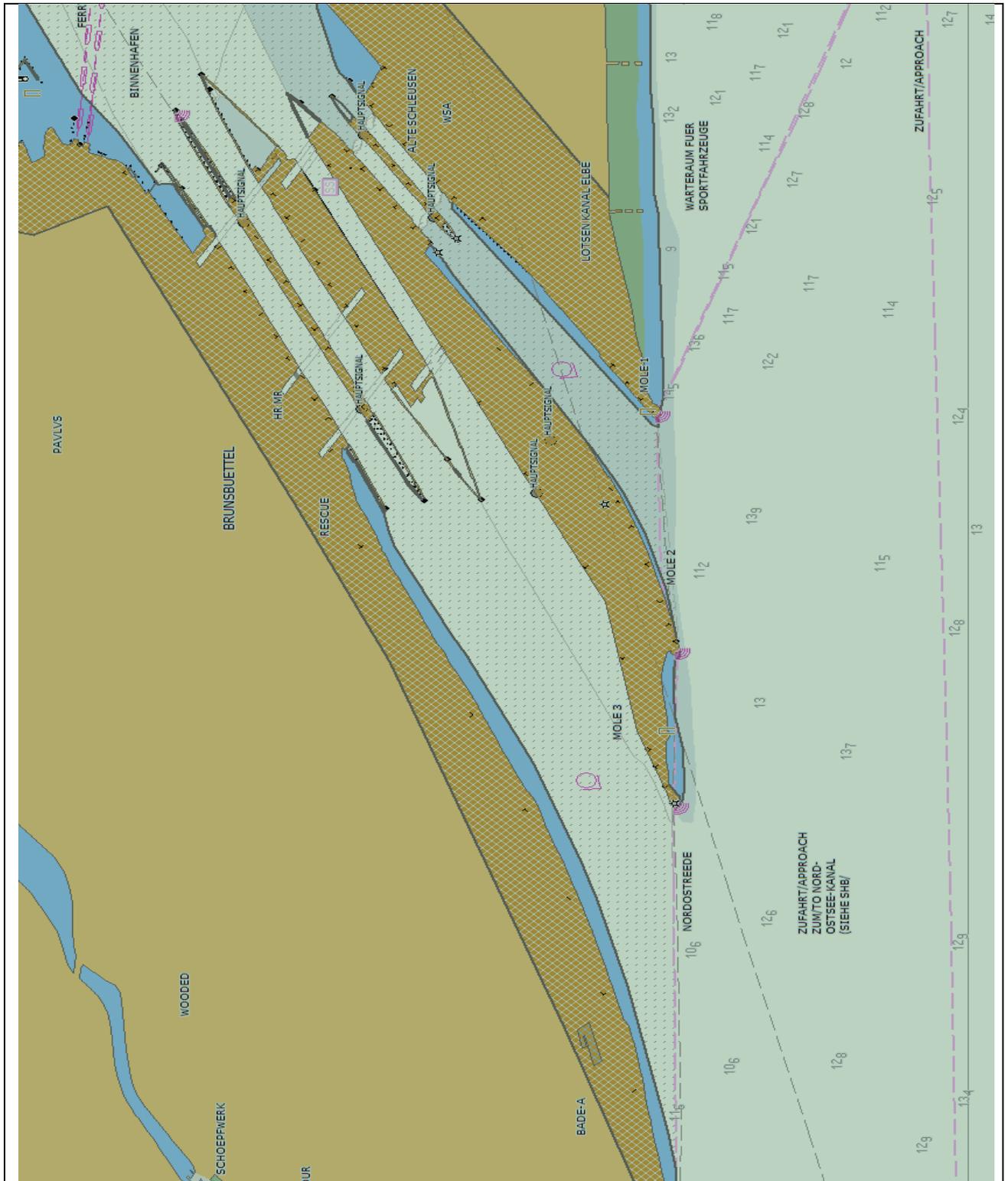
**Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.4 ENC Variante 1 -Vorhafen/Schleusen**



**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

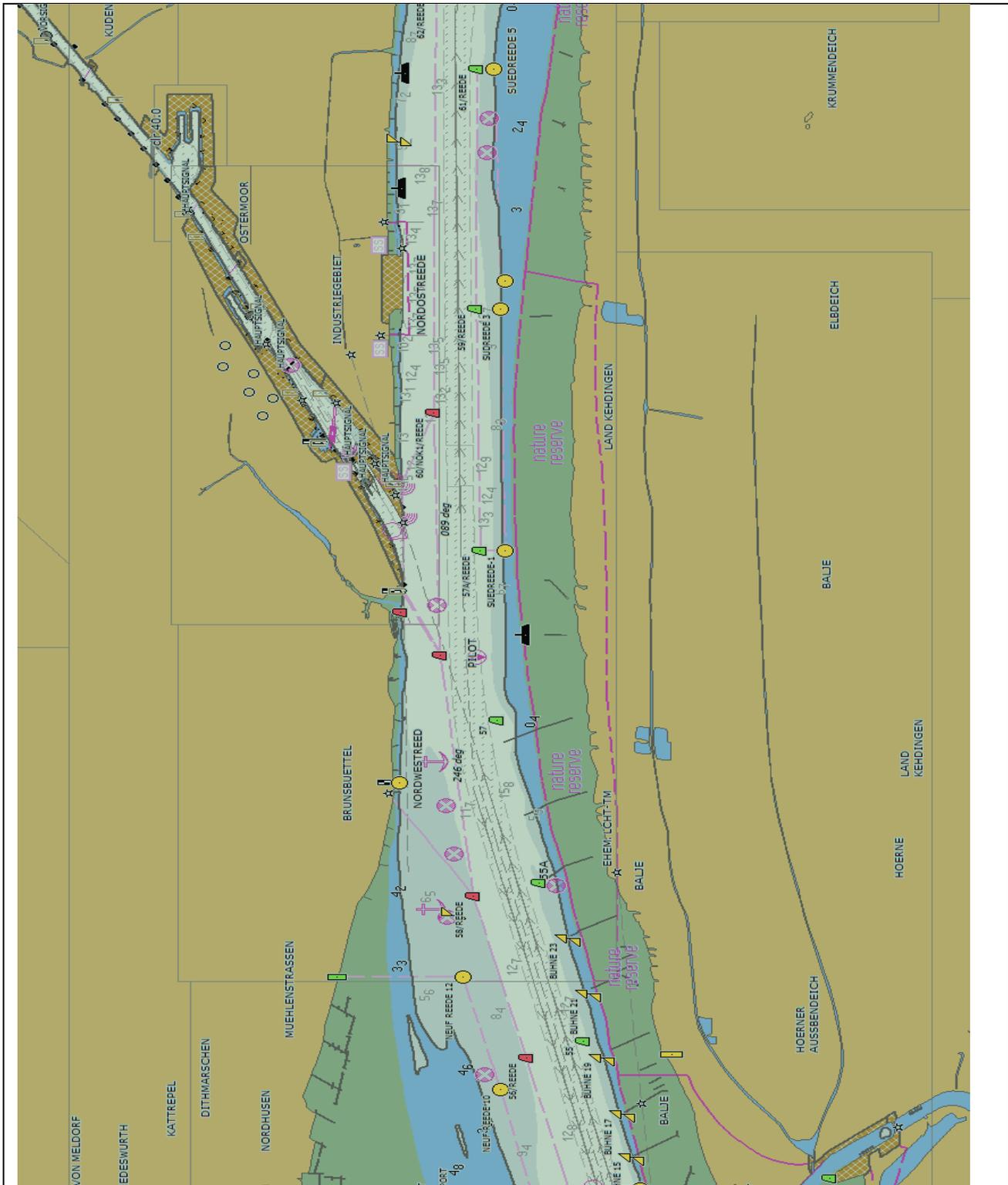
**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.5 ENC Variante 3 -Übersicht**



**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

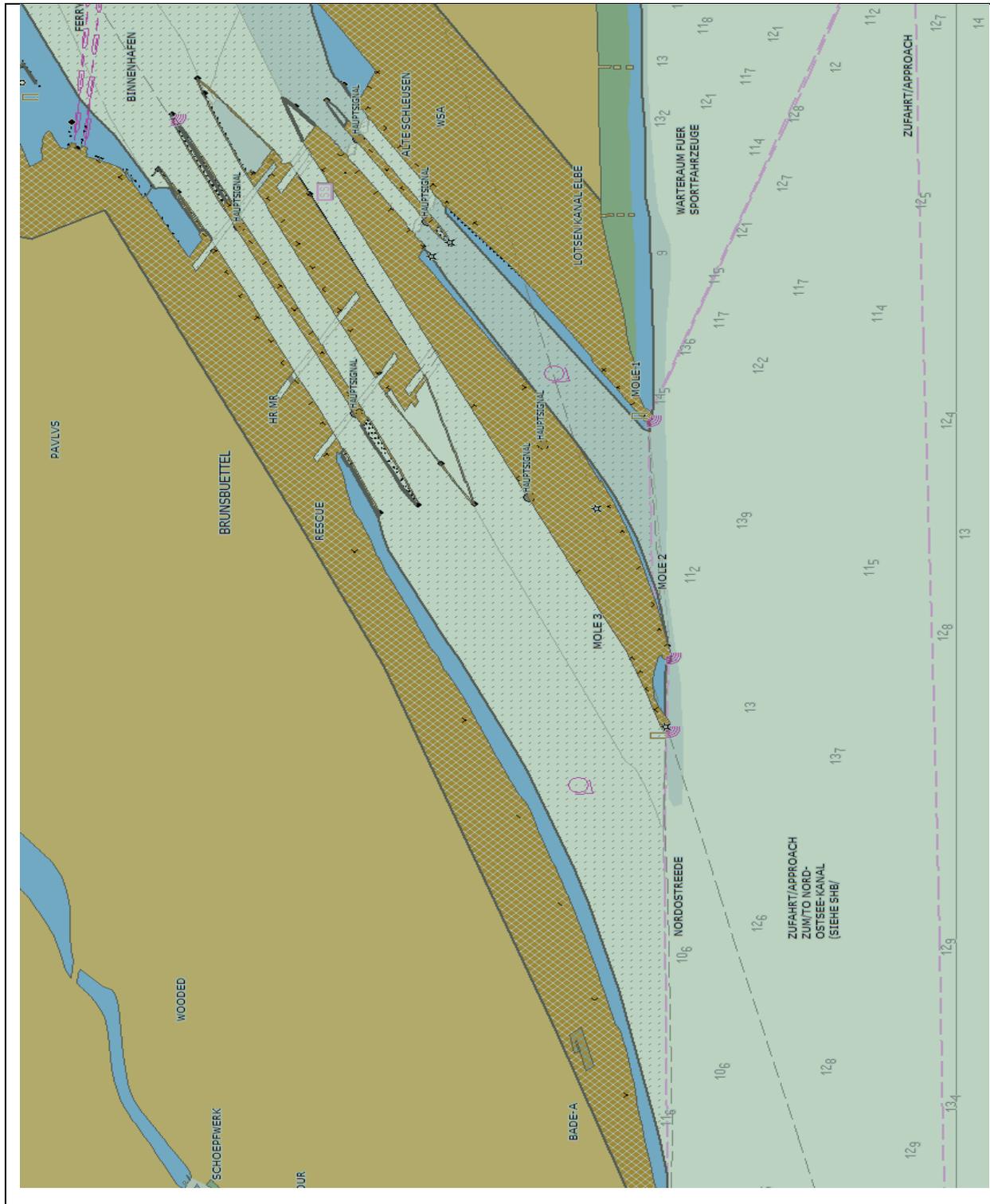
**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.6 ENC Variante 3 -Vorhafen/Schleusen**



**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.7 Planzeichnung Variante 1**



**Simulations-Studie  
„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

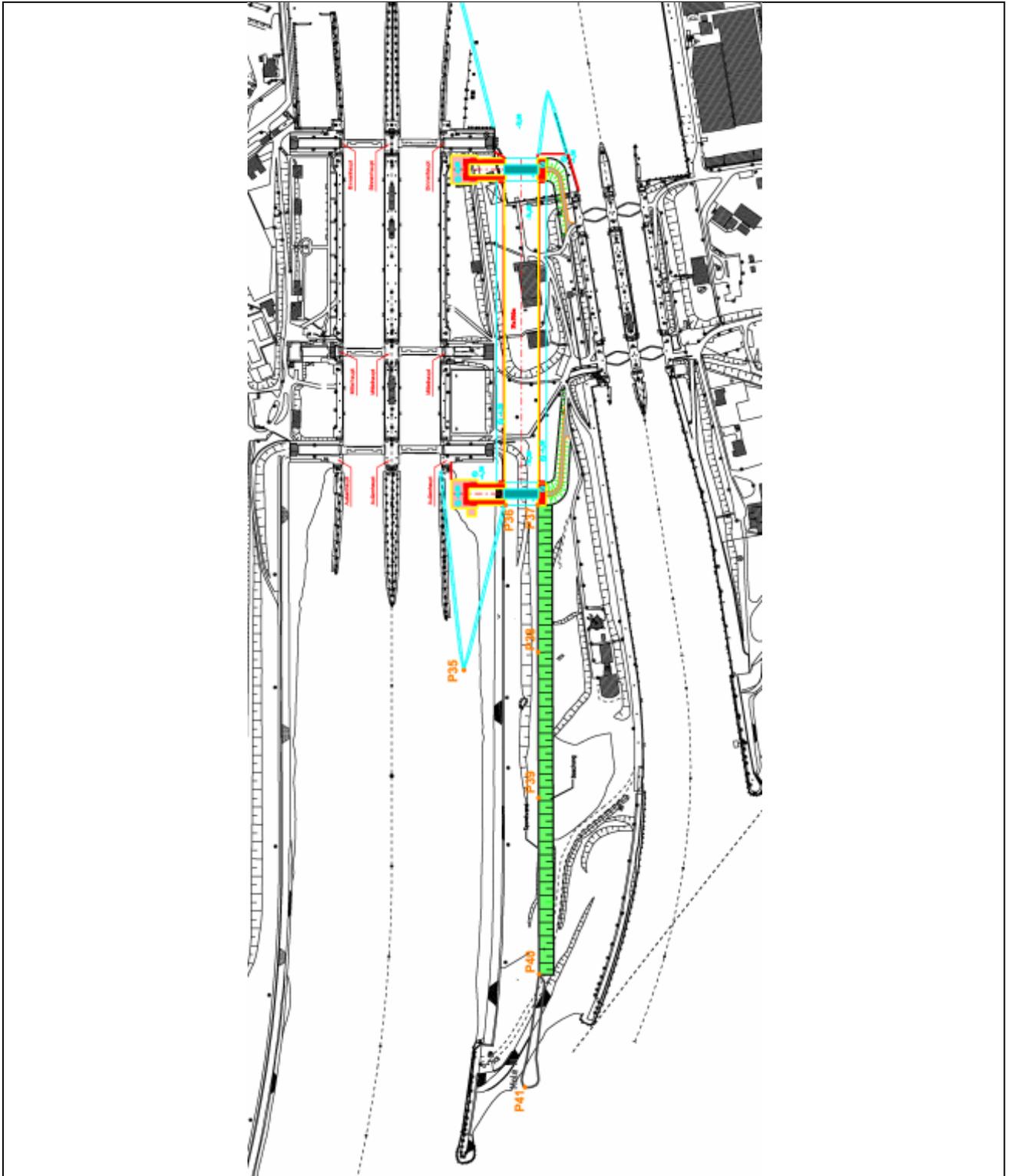
**Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.8 Planzeichnung Variante 3**



**Simulations-Studie  
„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

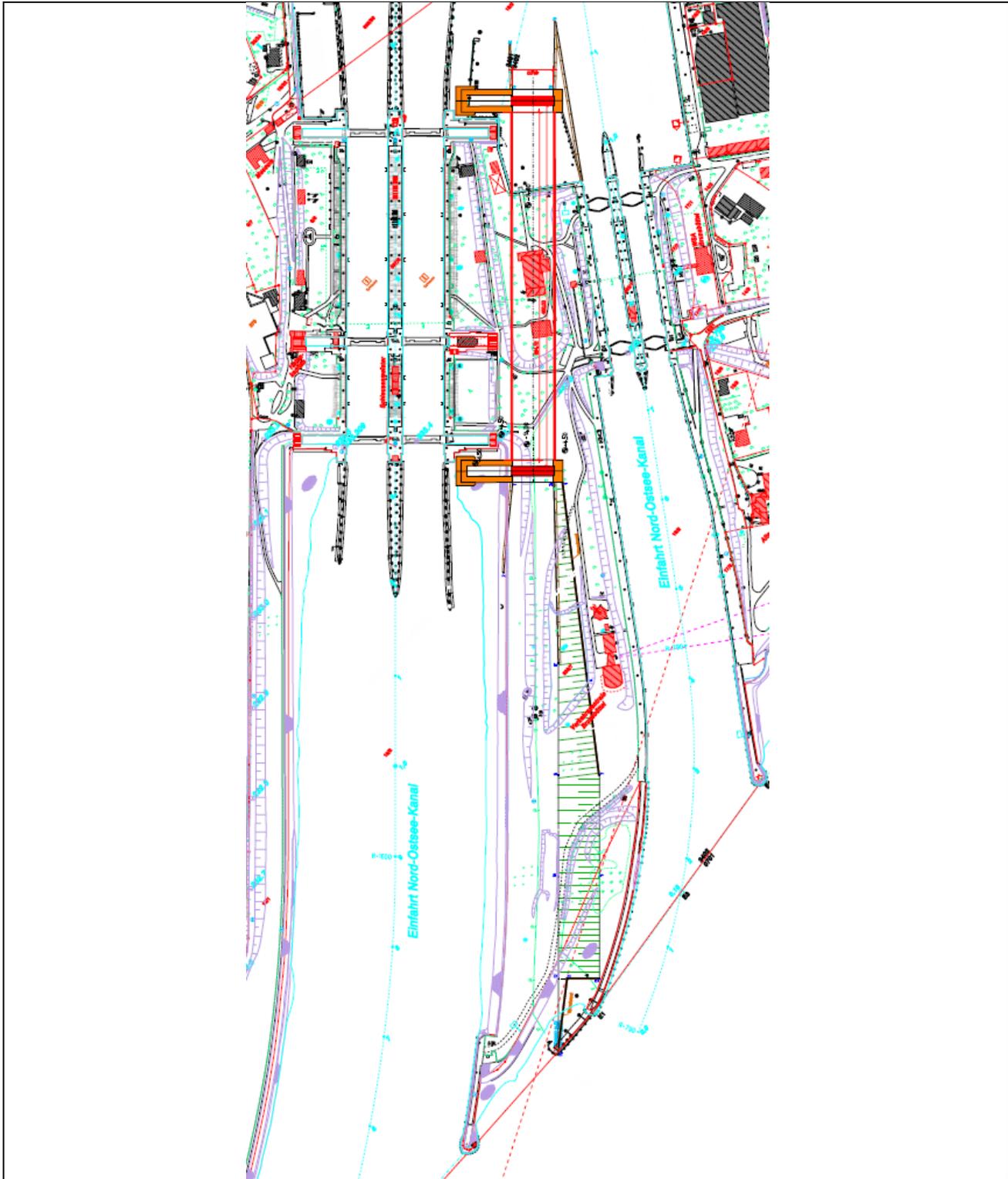
**Dipl.Naut. Kapitän  
Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

**Anlage 3.8 Planzeichnung Variante 4**



## Anlage 4

# Grundlagen der hydrodynamischen Effekte

## Anlage 4 Grundgrößen der Hydrodynamik

### 4.1 Hydrodynamische Einflüsse

In dem mathematischen Modell des Eigenschiffes werden neben anderen auch die Phänomene Squat und Bankeffekt berücksichtigt. Sie werden dabei mit Hilfe allgemein gültiger Formeln berechnet. Ein weit gefasster Ansatz zur Herleitung der Formeln kann nicht Gegenstand dieses Berichtes sein, hier muss auf die Literatur verwiesen werden.

Die beiden folgenden Kapitel sollen ausschließlich einer kurzen Erläuterung der Behandlung der beiden Phänomene in der Simulation dienen.

### 4.2 Squat

Unter dem Begriff "Squat" versteht man die Änderung der Kielfreiheit des Schiffes in Abhängigkeit von der Schiffsgeschwindigkeit und der Wassertiefe unter dem Kiel. Außerdem wird die Größe des Squatwertes von der das Schiff umgebenden Morphologie mitbestimmt. Man unterscheidet ob sich das Fahrzeug in einem freien Seeraum (open waters) oder einem eingeschränktem Seeraum (confined waters) befindet.

Frühere Messungen in der Realität und die Analyse einer Vielzahl von Squat-Ergebnissen haben dabei zu den folgenden vereinfachten Formeln geführt<sup>9</sup>.

*Squat – Faktor für - open waters -*

$$S_{\max} = C_b * \frac{V^2}{100}$$

*Squat - Faktor für - confined waters -*

$$S_{\max} = C_b * \frac{V^2}{50}$$

wobei

$C_b$  = Blockkoeffizient des Schiffes und  $V$  = Schiffsgeschwindigkeit in Knoten.

Da aber der Squat-Effekt einen nicht unerheblichen Einfluss auf die vorzuhaltende Wassertiefe für eine Fahrrinne hat, wurden in der jüngeren Vergangenheit neue Messverfahren zur Bestimmung der Tiefertauchung entwickelt und mit Hilfe von Realmessungen verifiziert.

---

<sup>9</sup> Dr. C.B.Barras "The Phenomena of Squat"

Diese Werte liegen deutlich unter den bisher angenommenen Größen und helfen dadurch die Kosten für die Bereitstellung und die Erhaltung der notwendigen Wassertiefen zu reduzieren, indem der Baggeraufwand vermindert wird.

### ***SQUAT Berechnung in der Simulation***

Zurzeit berücksichtigt das mathematische Modell des Eigenschiffes den Squat-Effekt wie eine Änderung der Eintauchtiefe in Abhängigkeit der Geschwindigkeit, des Tiefgangs und der Wassertiefe gemäß der Formel

Gleichung 1

$$S = S_{\max} * \left( \frac{U}{U_{\text{nen}}} \right)^2 * \frac{T_m}{h_m} * \text{CorrFact}$$

wobei

**S<sub>max</sub>** = Datenbankwert für maximalen Squat (m)

**U** = Momentangeschwindigkeit (kn)

**U<sub>nen</sub>** = Nenngeschwindigkeit (kn)

**T<sub>m</sub>** = mittlerer Tiefgang (m)

**h<sub>m</sub>** = mittlere Wassertiefe (m)

**CorrFact** = Anpassungs-Faktor für erweiterte Berechnung (dimensionslos)

Diese Formel folgt weitestgehend dem Ansatz nach Barras "Confined Waters", mit der Ausnahme, dass durch die Größe S<sub>max</sub> ein Maximalwert für den Squat vorgegeben werden kann, der nicht überschritten wird und zwar getrennt für vorne und hinten.

Um die Vertrimmung bei der Tiefertauchung darzustellen, werden in der Datenbank Maximalwerte (S<sub>max</sub>) für vorne und hinten eingegeben. Nach momentanem Kenntnisstand vertrimmen völlige Schiffe (cb > 0.72) nach vorne, während schlankere Fahrzeuge dazu neigen, nach achtern zu vertrimmen.

Der Korrekturwert CorrFact wird nur dann verwendet, wenn das Simulationsschiff sowohl im freien Seeraum als auch im Revier fahren soll. Mit diesem Faktor wird der für Flachwasser (Revierfahrt) ermittelte Squat für den freien Seeraum korrigiert (höhere U<sub>nen</sub>).

Bei dieser Untersuchung war CorrFact bei allen Schiffen =1 und somit ohne Bedeutung.

### **Ermittlung von $S_{max}$ für die Datenbank**

Da aus neueren Untersuchungen bekannt ist, dass der Barrass-Ansatz zu große Werte liefert, wird folgender Weg eingeschlagen.

Grundlage zur Bestimmung des maximalen Squat-Wertes ( $S_{max}$ ) für die Datenbank ist die folgende Formel:

### **ICORELS: 1.2\*Tuck**

Gleichung 2

Nach Tuck ist

$$s = 2.4 c_B B/L T F_{nh}^2 / (1 - F_{nh}^2)^{1/2}, \quad \text{Gleichung 3}$$

d. h. aber

$$s/T = C_2 F_{nh}^2 / (1 - F_{nh}^2)^{1/2}$$

### **Bestimmung der Nenngeschwindigkeit**

Die Nenngeschwindigkeit ( $U_{nen}$ ) für **Tiefwasser** (Höchstgeschwindigkeit im freien Seeraum) ergibt sich entweder aus den vorliegenden Datenblättern eines realen Schiffes oder eines ähnlichen Fahrzeugs, aber auch aus der Modellabschätzung nach Eingabe aller Werte für die Propulsion (Antriebsleistung, Propellereffektivität usw.) und die physikalischen Dimensionswerte des Schiffes (L,B,T und Verdrängung).

Die Überprüfung erfolgt im „freien Seeraum“ bei Wassertiefen >200 m. Sollte sich die korrekte Geschwindigkeit nicht einstellen, so besteht die Möglichkeit, dies über Korrekturen von Koeffizienten, die das Geschwindigkeitsverhalten des Schiffes beschreiben, vorzunehmen.

Zur Bestimmung der Nenngeschwindigkeit ( $U_{nen}$ ) für **Flachwasser** wird das Untersuchungsschiff zunächst bei mittlerer UKC (abhängig von der Untersuchungsvorgabe) mit der ermittelten Höchstgeschwindigkeit (Tiefwasser) wiederum in einen freien Seeraum gelegt. Mit der Telegraphenstellung „Voraus Voll“ wird die Simulation so lange gefahren, bis sich eine neue, gleichmäßige Geschwindigkeit eingestellt hat, nämlich die Nenngeschwindigkeit für Flachwasser.

Die so gefundene Geschwindigkeit wird jetzt in einen vorher bestimmten Revierabschnitt überprüft. Um durch die Geschwindigkeit keine Ortsveränderung zu erhalten, wird eine Besonderheit des Simulators verwendet, der „Initializing Mode“. In diesem Zustand wird das Schiff nach jedem Rechentakt wieder an die Ausgangsposition zurückgesetzt. Dadurch ist es möglich festzustellen, ob sich noch Änderungen der Flachwassergeschwindigkeit ergeben.

In aller Regel gibt es keine realen (belastbaren) Werte für Flachwassergeschwindigkeiten, sodass hier Abschätzungen, z.T. auf Aussagen von Experten basierend, vorgenommen werden müssen.

### ***Bestimmung der Froude-Zahl***

Für die Froude-Zahl wird, sofern keine genaueren Fahrwassergeometrien vorliegen, ein mittlerer Wert zwischen 0,67 – 0,72 angenommen (somit kein gemessener Wert und daher eine Annahme aus allgemeiner Literatur).

Nach **ICORELS 1.2 Tuck** errechnet sich der Squat unter Berücksichtigung der Froude Zahl nach folgender Formel:

$$s = 2.4 c_B B/L T F_{nh}^2 / (1 - F_{nh}^2)^{1/2} \quad \text{Gleichung 4}$$

wobei

$$F_{nh} = V / (g h)^{1/2} \quad \text{Gleichung 5}$$

mit der Näherung (letzter Teil der Squat-Gleichung -Gl.4-)

$$F_{nh}^2 / (1 - F_{nh}^2)^{1/2} = 2 F_{nh}^3 \quad \text{Gleichung 6}$$

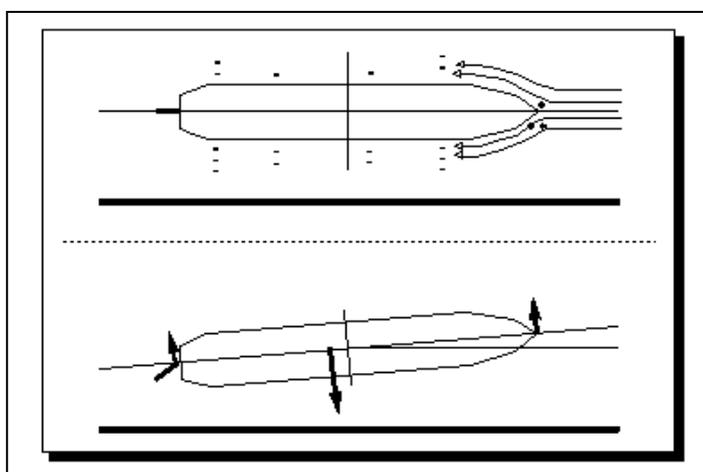
Mit Hilfe dieser Gleichungen und der für den Revierabschnitt festgestellten Nenngeschwindigkeit wird der für die Datenbank notwendige Eintrag „Maximum Squat“ für vorne und hinten ermittelt.

Daraus folgt aber auch, dass die während der Simulation errechnete UKC unter Abzug eines Squat-Wertes erfolgt, der nicht für das ganze Revier repräsentativ ist, d.h., der Squat wird nicht aus der für den jeweiligen Schiffsort gültigen morphologischen Umgebung „errechnet“ sondern nur aus Datenbankeinträgen ermittelt.

Die oben beschriebene Verfahrensweise zur Festlegung der Datenbankwerte dient ausschließlich dem Zweck, die UKC-Berechnung mit einer besseren Genauigkeit abzuleiten, als dies mit der im Rechenmodell des Simulators verwendeten Barras-Formel der Fall wäre.

### 4.3 Bankeffekt

Es ist allgemein bekannt, dass ein Schiff, welches etwa parallel zu einer seitlichen Bank fährt, von Querkräften beeinflusst wird, die ein Verdriften in Richtung der Bank bei gleichzeitiger Ausdrehung des Vorschiffes verursachen. Dieser klassische "Bankeffekt" beruht auf der Tatsache, dass die Strömungsgeschwindigkeit (return flow) zwischen Schiffsrumpf und Bank in der Nähe des Hecks am größten ist. Dabei wird sie durch den Propellersog noch zusätzlich erhöht, was wiederum eine verstärkte Druckverminderung in diesem Bereich hervorruft, wie in der folgenden Abbildung skizziert.



Die allgemeine Manövrierweise, den Sogeffekt der Bank zu kompensieren, bzw. den Abstand zwischen Schiff und Bank zu vergrößern, ist eine adäquate Ruderlage in Richtung der Bank, wie dies im unteren Teil der Abbildung skizziert ist.

Die nachfolgende Skizze und die Formeln geben einen Überblick zur rechnerischen Ermittlung des Bankeffektes während der Simulation.

Die Bankabstände  $S_{Bb}$  und  $S_{Stb}$  werden durch Prüfen der Wassertiefe in bestimmten seitlichen Abständen vom Schiff aus ermittelt. Diese Abstände sind in Schiffsbreiten ( $B$ ) gestaffelt. Zu beiden Seiten des Schiffes werden maximal vier Punkte abgefragt, bis eine Wassertiefe zu Null wird. Einflüsse von Unterwasser-Böschungen werden dabei über den Flachwassereffekt erfasst.

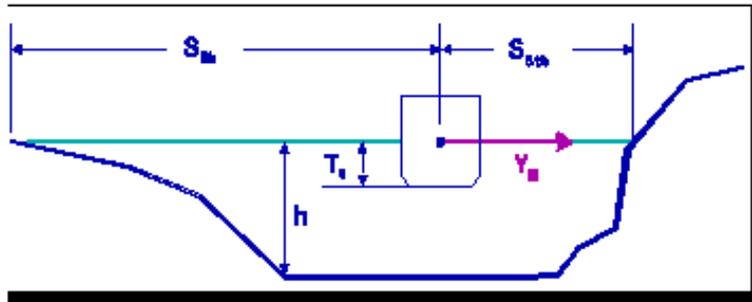
**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008



Wobei

- $S_{Bb}$  Bankabstand Backbord
- $S_{Stb}$  Bankabstand Steuerbord
- $Y_B$  Querkraft
- $T_m$  mittlerer Tiefgang
- $h$  Wassertiefe

$$Y_B = Y_{uu\eta} * (\eta_{Stb} - \eta_{Bb}) * u^2 * \frac{m}{L}$$

$$N_B = N_{vv\eta} * (\eta_{Stb} - \eta_{Bb}) * u^2 * m$$

mit den Größen

$$Y_{uu\eta} = Y_1 - Y_2 * \frac{h}{T_m} \quad 1 < \frac{h}{T_m}$$

$$N_{vv\eta} = -N_1 * Y_{uu\eta}$$

$$\eta_{Stb} = \frac{B}{S_{Stb}} \quad \eta_{Bb} = \frac{B}{S_{Bb}}$$

Nomenklatur

- $Y_b$  Querkraft des Bankeffektes
- $N_B$  Moment des Bankeffektes
- $Y_1$  Koeffizient der Querkraft
- $Y_2$  Koeffizient der Querkraft
- $N_1$  Koeffizient des Moments
- $H$  Wassertiefe
- $T_m$  mittlerer Tiefgang
- $S_{Bb}$  Bankabstand Steuerbord
- $S_{Stb}$  Bankabstand Backbord
- $m$  Masse des Schiffes
- $L$  Schiffslänge
- $B$  Schiffsbreite
- $\eta$  Distanzkoeffizient

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

# Anlage 5

## Datenaufzeichnung

## Anlage 5 DATENAUFZEICHNUNG

Um Simulationsläufe nicht nur durch beobachten des Versuchsablaufs evaluieren zu können, ist es unumgänglich, eine ausreichende Anzahl von Daten zur Verfügung zu haben, um daraus Ursachen, Wirkungsgrößen und Entwicklungstendenzen herleiten zu können.

Nur mit Hilfe einer Datenaufzeichnung ist es möglich, einen Simulationslauf in voller Länge rekapitulieren zu können, um dabei die Entwicklung bestimmter physikalischer Größen und ihre Auswirkung auf den Bahnführungsprozess während der Simulation zu beobachten und zu bewerten.

So werden für jeden Versuchslauf ausgewählte Simulationsdaten aufgezeichnet, die im Nachfolgenden beschrieben werden.

### Aufbau der Datensätze

Um die Menge der anfallenden Daten zweifelsfrei den einzelnen Versuchsläufen zuordnen zu können, wird für jeden Lauf ein Verzeichnis (Directory) angelegt, dessen Name die Projektnummer, die Projekt-Kurzbezeichnung und die Laufnummer enthält.

Beispiel für dieses Projekt:: "**Data\_917\_WSA\_S01**"

In diesem Verzeichnis werden die Einzelwerte aller aufgezeichneten Größen in getrennten Dateien mit der Extension ".log" abgelegt. Aus dem Dateinamen kann der Datenwert der Simulation abgeleitet werden.

Beispiel: "**E1C4002\_LLPos\_Latitude.log**" ➔ Datenwert = Geografische Breite

Der vor dem Datenwert stehende Präfix gibt Aufschluss über

- E1** die Übungsnummer (Session/Exercise 1-4)
- C40** die Objektklasse (C40 = Eigenschiff)
- O2** die Objektnummer in der Simulation

Der Inhalt einer solchen Datei sieht folgendermaßen aus (Ausschnitt)

**000000000 E1C4002\_LLPos\_Lon.log**

**### new object created ###**

**0000001781 8.0286098360**

**0000001782 8.0286995432**

**Kontroll-Kennung**

**Objekt wurde geladen**

**Sp1: TimeTick Sp2: Wert**

**Sp1: TimeTick Sp2: Wert**

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

Neben den Datendateien werden noch zusätzliche Dateien in dem Verzeichnis abgelegt, die für die Auswertung von Bedeutung sind:

**ImCollection.log**  
**Im\_index.log**

Die Datei ImCollection beginnt stets mit folgendem Eintrag (Beispiel):

**## Mon Nov 11 11:56:15 "MET 2002 ## 1011000000**

Zwischen den Zeichen ## stehen Datum und Uhrzeit der Aufzeichnung und am Ende der Zeile die Laufkodierungsnummer.

Die nachfolgenden Zeilen dieser Datei

<b>ExTick</b>	<b>ExDate</b>	<b>ExTime</b>
<b>0000001675;</b>	<b>11.11.2002;</b>	<b>12:00:00</b>
<b>0000001781;</b>	<b>11.11.2002;</b>	<b>12:00:01</b>

liefern einen Verweis von den "TimeTicks" der Datendateien auf das gültige Datum und Uhrzeit.

Die Datei Im\_Index.log führt eine Liste aller aufgezeichneten Werte und Dateinamen, die für den jeweiligen Lauf aufgezeichnet wurden.

Alle Dateien sind im ASCII-Format erstellt und abgespeichert. Die Datenwerte sind durch Leerzeichen [Chr(20)] bzw. durch Tabs [Chr(9)] getrennt, das Zeilenende wird nach DOS-Konvention mit der Zeichenfolge "Linefeed Chr(10) + Return Chr(13)" abgeschlossen. Die Daten sind somit plattform-unabhängig weiter zu verwenden.

Alle für dieses Projekt aufgezeichneten Daten sind auf der diesem Abschlussbericht beigefügten CD-Rom in folgendem Verzeichnispfad abgelegt:

**CD:\Data\_917\_WSA\_S01\Log\_Data\_917\**

In den nachfolgenden Kapiteln erfolgt eine Beschreibung der Datendateien mit Bezug auf die Zuordnung der aufgezeichneten Werte zum Dateinamen.

## Daten des Eigenschiffes

### Position, Kurs, Geschwindigkeit

E1C40O2_SubClassNo.log	Datenbanknummer des Schiffes
E1C40O2_LLPos_Lat.log	Position Breite
E1C40O2_LLPos_Lon.log	Position Länge
E1C40O2_Course.log	Kurs über Grund
E1C40O2_Orientation_Heading.log	Kompasskurs
E1C40O2_Speed.log	Geschwindigkeit durchs Wasser
E1C40O2_SpeedOvrGnd.log	Geschwindigkeit über Grund
E1C40O2_VelocLin_gr_u.log	Vorausgeschwindigkeit ü.G.
E1C40O2_VelocLin_gr_v.log	Quergeschwindigkeit
E1C40O2_VelocRot_gr_r.log	Drehgeschwindigkeit

### Antrieb, Ruder, Strahler

E1C40O2_PropUnit_0__Combiner_RPM.log	Geforderte Drehzahl (EOT)
E1C40O2_PropUnit_0__Pitch.log	Propellersteigung
E1C40O2_PropUnit_0__RPM.log	Propelledrehzahl
E1C40O2_RudderSystem_0__RudderAngle.log	Ruderlage
E1C40O2_Thruster_0__Thrust.log	Schub des Bugstrahlers
E1C40O2_Thruster_1__Thrust.log	Schub des Heckstrahlers

Da bis zu vier Antriebseinheiten (Maschinen) simuliert werden können, können die ersten drei Einträge der Liste mehrfach auftreten, jedoch mit aufsteigenden Zahlen hinter "PropUnit". Bei mehrfachen Maschinendateien, liegen die Daten eines Schiffes mit einer Maschine in den Dateien mit der Kennung "PropUnit\_0".

### Windkräfte und -moment

E1C40O2_Wind_Force_X.log	Windlast auf die Frontfläche
E1C40O2_Wind_Force_Y.log	Windlast auf die Lateralfäche
E1C40O2_Wind_Moment_N.log	Giermoment

### Leinenverbindungen

E1C40O2_NoLines.log	Anzahl festgemachter Leinen
E1C40O2_Line_0__Force.log	Leinenkraft
E1C40O2_Line_0__ForceDirection.log	Zugrichtung
E1C40O2_Line_0__LineLength.log	Leinenlänge
E1C40O2_Line_0__PosClamp_x.log	x-Position am Rumpf
E1C40O2_Line_0__PosClamp_y.log	y-Position am Rumpf
E1C40O2_Line_0__TugIdNo.log	ID des Schleppers

Insgesamt können acht Leinen an dem Eigenschiff festgemacht und somit auch aufgezeichnet werden. Die Datensätze erhalten aufsteigende Leinennummern von 0 -8.

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

### **Anker**

E1C4002_Anchor_0_ActualChainLength.log	Aktuelle Kettenlänge
E1C4002_Anchor_0_Force.log	Kraft auf der Kette
E1C4002_Anchor_0_ForceWaterResistance.log	Zusatzwiderstand
E1C4002_Anchor_0_LLPosAnchor_Lat.log	Position des Ankers (Breite)
E1C4002_Anchor_0_LLPosAnchor_Lon.log	Position des Ankers (Länge)

Bis zu drei Anker können zum Einsatz gebracht werden. In diesem Falle erhalten die Dateien aufsteigende Kennnummern von 0 bis 2 hinter "Anchor\_".

### **Kielfreiheit**

E1C4002_UnderKeelClearance_0_.log	Schwinger vorne
E1C4002_UnderKeelClearance_1_.log	Schwinger Mitte BB
E1C4002_UnderKeelClearance_2_.log	Schwinger Mitte STB
E1C4002_UnderKeelClearance_3_.log	Schwinger hinten

### **Daten Verkehrsschiffe**

Da sowohl "Eigenschiffe" (komplett gerechnete Modelle) als auch Fremdschiffe (Modell mit reduziertem Koeffizientensatz) als Verkehrsteilnehmer fungieren können, werden auch unterschiedliche Dateinamen erzeugt. Das Aufzeichnungsprogramm kann bis zu drei Eigenschiffe und 18 Fremdschiffe bzw. Objekte aufzeichnen, die durch die Klassenkennung (C40=Eigenschiff, C1=Fremdschiff) und die Objektnumerierung unterschieden werden.

### **Eigenschiffsmodelle**

E1C4001_LLPos_Lat.log	Position (Breite)
E1C4001_LLPos_Lon.log	Position (Länge)
E1C4001_Orientation_Heading.log	Kompasskurs
E1C4001_SpeedOvrGnd.log	Kurs über Grund
E1C4001_SubClassNo.log	Datenbanknummer

### **Fremdschiffsmodelle**

E1C107_Course.log	Kurs über Grund
E1C107_LLPos_Lat.log	Position (Breite)
E1C107_LLPos_Lon.log	Position (Länge)
E1C107_Orientation_Heading.log	Kompasskurs
E1C107_SpeedOvrGnd.log	Geschwindigkeit über Grund
E1C107_SubClassNo.log	Datenbanknummer

## **ACCESS-Datenbanken**

Da für die Erstellung der Laufpräsentationen alle Datendateien bearbeitet werden müssen, wird innerhalb dieses Prozesses für jeden Lauf eine ACCESS-Datenbanken erzeugt, in der alle verwendeten Daten benutzergerecht zusammengefasst sind. Dabei befinden sich die aufgezeichneten Simulationsdaten eines Laufes in einer Datei mit dem Namen

„917\_WSA\_S01\_xxx\_DAT.mdb“

(xxx steht hierbei für die Lauf-Nummer).

Die Namen der Tabellen und die Feldnamen der Tabellen sind so gewählt, dass eine leichte Zuordnung der Werte gegeben ist.

Alle Access-Dateien für dieses Projekt sind auf der beiliegenden CD-Rom in folgenden Verzeichnissen abgelegt:

**CD:\Data\_917\_WSA\_S01\MDB\_Data\_917 (Simulationsdaten)**

## Abbildungsverzeichnis

ABB. 1 GEOMETRIE DER VARIANTE 1 .....	10
ABB. 2 GEOMETRIE VARIANTE 3 .....	14
ABB. 3 PLAN 5.SCHLEUSE.....	33
ABB. 4 URSPRUNGS-ENC.....	40
ABB. 5 ENC DER VARIANTE 1 .....	41
ABB. 6 ENC DER VARIANTE 3 .....	41
ABB. 7 DICHTe DER STRÖMUNGSPUNKTE.....	42
ABB. 8 PEGELKURVE „BRUNSBÜTTEL“ .....	43
ABB. 9 GEOMETRIE IST-ZUSTAND.....	51
ABB. 10 GEOMETRIE IST.....	52
ABB. 11 GEOMETRIE VARIANTE 1 .....	52
ABB. 12 GEOMETRIE VARIANTE 3 .....	52
ABB. 13 STROMSCHNITT .....	53
ABB. 14 STROMSCHNITT BEI FLUT .....	53
ABB. 15 STROMSCHNITT BEI EBBE.....	53
ABB. 16 GEOMETRIE DER VARIANTE 1 .....	55
ABB. 17 LAUF 007 NOKMAX REFERENZ .....	58
ABB. 18 LAUF 025 VG5T REFERENZ .....	58
ABB. 19 LAUF 009 REFERENZ THW.....	58
ABB. 20 LAUF 101 REFERENZ FLUT.....	58
ABB. 21 LAUF 106 REFERENZ EBBE.....	58
ABB. 22 LAUF 016 REF. WIND NW 6 .....	59
ABB 23LAUF 019 REF. WIND SE 6 .....	59
ABB. 24 LAUF 021 EBBE SW-6 .....	61
ABB. 25 LAUF 023 FLUT SW-6 .....	61
ABB. 26 LAUF 108 EBBE -NEBEL.....	61
ABB. 27 LAUF 119 EBBE NW-7 .....	61
ABB. 28 LAUF 122 EBBE SE-5 .....	61
ABB. 29 LAUF MIT SE BFT 5 .....	63
ABB. 30 LAUF 104 FLUT NW-5 .....	66
ABB. 31 LAUF 110 EBBE SW-5 .....	66

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ABB. 32 LAUF 112 EBBE NW-5 .....	66
ABB. 33 LAUF 114 EBBE NW-7 .....	66
ABB. 34 LAUF 120 EBBE SE-5 .....	66
ABB. 35 LAUF 101 REFERENZ FLUT .....	66
ABB. 36 LAUF 114 ALS "IDEALLAUF" .....	67
ABB. 37 LAUF 117 EBBE SW-4 .....	69
ABB. 38 LAUF 157 FLUT SW-6 .....	69
ABB. 39 LAUF 159 EBBE SW-6 .....	69
ABB. 40 LAUF 011 THW NW-6 .....	70
ABB. 41 LAUF 021 EBBE SW-6 .....	70
ABB. 42 LAUF 023 FLUT SW-6 .....	70
ABB. 43 LAUF 101 FLUT KEIN WIND .....	70
ABB. 44 LAUF 110 EBBE SW-5 .....	70
ABB. 45 LAUF 114 EBBE NW-5 .....	70
ABB. 46 LAUF 008 HYDRODYNAMIK .....	73
ABB. 47 LAUF 014 NW-6 .....	73
ABB. 48 LAUF 020 SE-6 .....	73
ABB. 49 LAUF 103 THW (REST-FLUT) .....	74
ABB. 50 LAUF 107 EBBE .....	74
ABB. 51 STRÖMUNGSBILD VORHAFENEINFAHRT .....	74
ABB. 52 KONSTRUKTIONSMÄÙE DER VARIANTE 1 .....	76
ABB. 53 LAUF 018 .....	78
ABB. 54 LAUF 020 .....	78
ABB. 55 LAUF 022 .....	78
ABB. 56 LAUF 024 .....	78
ABB. 57 LAUF 118 .....	78
ABB. 58 LAUF 123 .....	78
ABB. 59 LAUF 014 STAU NW-6 .....	79
ABB. 60 LAUF 018 STAU NW-6 .....	79
ABB. 61 LAUF 020 STAU SE-6 .....	79
ABB. 62 LAUF 022 EBBE SW-6 .....	79
ABB. 63 LAUF 024 FLUT SW-6 .....	79
ABB. 64 LAUF 118 EBBE NW-7 .....	79
ABB. 65 LAUF 018 STAU NW-6 .....	80
ABB. 66 LAUF 020 STAU SE-6 .....	80

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ABB. 67 LAUF 022 EBBE SW-6 .....	80
ABB. 68 LAUF 024 FLUT SW-6 .....	80
ABB. 69 LAUF 118 EBBE NW-7 .....	80
ABB. 70 LAUF 123 EBBE SE-5 .....	80
ABB. 71 LAUF 105 FLUT NW-5.....	83
ABB. 72 LAUF 111 EBBE SW-5 .....	83
ABB. 73 LAUF 113 EBBE NW-5 .....	83
ABB. 74 LAUF 121 EBBE SE-5.....	83
<b>ABB. 75 LAUF 105 FLUT NW-5 .....</b>	<b>84</b>
<b>ABB. 76 LAUF 111 EBBE SW-5 .....</b>	<b>84</b>
<b>ABB. 77 LAUF 113 EBBE NW-5.....</b>	<b>84</b>
<b>ABB. 78 LAUF 121 EBBE SE-5 .....</b>	<b>84</b>
ABB. 79 LAUF 111 EBBE SW-5 .....	85
ABB. 80 LAUF 113 EBBE NW-5 .....	85
ABB. 81 LAUF 115 EBBE SE-5.....	85
ABB. 82 LAUF 158 .....	87
ABB. 83 LAUF 160 .....	87
ABB. 84 LAUF 124 EBBE KEIN WIND.....	89
ABB. 85 LAUF 010 EBBE KEIN WIND.....	89
ABB. 86 LAUF 125 EBBE KEIN WIND.....	89
ABB. 87 LAUF 113 EBBE SE-5.....	89
ABB. 88 LAUF 004 FLUT .....	90
ABB. 89 LAUF 023 FLUT .....	90
ABB. 90 LAUF 005 EBBE.....	90
ABB. 91 LAUF 108 EBBE.....	90
ABB. 92 LAUF 011 NW-BFT.6 .....	90
ABB. 93 LAUF 016 NW-BFT.6 .....	90
ABB. 94 GEOMETRIE VARIANTE 3 .....	93
ABB. 95 REFERENZ 1.FLUT .....	96
ABB. 96 REFERENZ EBBE.....	96
ABB. 97 REFERENZ VOLLE FLUT.....	96
ABB. 98 LAUF 147 FLUT SW-6 .....	98
ABB. 99 LAUF 149 FLUT SE-5 .....	98
ABB. 100 LAUF 179 FLUT NW 7-9 .....	98
ABB. 101 LAUF 182 FLUT NW 7-9 .....	98

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ABB. 102 LAUF 151 EBBE SE-5 .....	98
ABB. 103 LAUF 153 EBBE SW-5 .....	98
ABB. 104 LAUF 155 EBBE OST 6-8 .....	98
ABB. 105 LAUF 184 EBBE SE 7-9 .....	98
ABB. 106 LAUF 151 SE-5 .....	100
ABB. 107 LAUF 184 SE 7-9 .....	100
ABB. 108 LAUF 132 FLUT SW-6 .....	102
ABB. 109 LAUF 134 FLUT W-6 .....	102
ABB. 110 LAUF 136 FLUT NW-6 .....	102
ABB. 111 LAUF 141 FLUT SW 6-8 .....	102
ABB. 112 LAUF 143 FLUT W 6-8 .....	102
ABB. 113 LAUF 138 1.EBBE SE-6 .....	102
ABB. 114 LAUF 145 EBBE SE 6-8 .....	102
ABB. 115 LAUF 132 FLUT SW-6 .....	103
ABB. 116 LAUF 141 FLUT SW 6-8 .....	103
ABB. 117 LAUF 161 FLUT SW-6 .....	106
ABB. 118 EBBE SW-6 .....	106
ABB. 119 LAUF 147 FLUT SW-6 .....	107
ABB. 120 LAUF 149 FLUT SE-5 .....	107
ABB. 121 LAUF 132 FLUT SW-6 .....	107
ABB. 122 LAUF 151 EBBE SE-5 .....	107
ABB. 123 LAUF 155 EBBE O 6-8 .....	107
ABB. 124 LAUF 136 STAU NW-6 .....	107
ABB. 125 LAUF 127 FLUT .....	110
ABB. 126 LAUF 129 EBBE .....	110
ABB. 127 LAUF 131 FLUT .....	110
ABB. 128 LAUF 150 FLUT SE-5 .....	111
ABB. 129 LAUF 152 EBBE SE-5 .....	111
ABB. 130 LAUF 154 EBBE SW-6 .....	111
ABB. 131 LAUF 156 EBBE W-7 .....	111
ABB. 132 LAUF 171 EBBE SW-6 .....	111
ABB. 133 LAUF 173 EBBE NW-6 .....	111
ABB. 134 LAUF 150 FLUT SE-5 .....	112
ABB. 135 LAUF 152 EBBE SE-5 .....	112
ABB. 136 LAUF 154 EBBE SW-5 .....	112

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ABB. 137 LAUF 156 EBBE W 6-8 .....	112
ABB. 138 LAUF 171 EBBE SW-6 .....	112
ABB. 139 LAUF 173 EBBE NW-6 .....	112
ABB. 140 LAUF 180 FLUT NW 7-9 .....	112
ABB. 141 LAUF 181 FLUT NW 7-9 .....	112
ABB. 142 LAUF 183 FLUT SE 7-9 .....	112
ABB. 143 LAUF 150 FLUT SE-5 .....	115
ABB. 144 LAUF 152 EBBE SE-5 .....	115
ABB. 145 LAUF 154 EBBE SW-5 .....	115
ABB. 146 LAUF 156 W 6-8 .....	115
ABB. 147 LAUF 171 EBBE SW-6 .....	115
ABB. 148 LAUF 173 EBBE NW-6 .....	115
ABB. 149 LAUF 181 FLUT NW 7-9 .....	115
ABB. 150 LAUF 183 FLUT SE 7-9 .....	115
ABB. 151 LAUF 133 FLUT SW-6 .....	118
ABB. 152 LAUF 135 FLUT W-6 .....	118
ABB. 153 LAUF 137 FLUT NW-6 .....	118
ABB. 154 LAUF 139 FLUT SW6-8 .....	118
ABB. 155 LAUF 140 FLUT SW6-8 .....	118
ABB. 156 LAUF 142 FLUT SW6-8 .....	118
ABB. 157 LAUF 144 FLUT W 6-8 .....	118
ABB. 158 LAUF 146 FLUT SE6-8 .....	118
ABB. 159 LAUF 166 EBBE SE-6 .....	118
ABB. 160 LAUF 169 EBBE NW-6 .....	118
ABB. 161 LAUF 133 FLUT SW-6 .....	119
ABB. 162 LAUF 135 FLUT W-6 .....	119
ABB. 163 LAUF 137 FLUT NW-6 .....	119
ABB. 164 LAUF 142 FLUT SW6-8 .....	119
ABB. 165 LAUF 144 FLUT W 6-8 .....	119
ABB. 166 LAUF 146 FLUT SE6-8 .....	119
ABB. 167 LAUF 166 EBBE SE-6 .....	119
ABB. 168 LAUF 169 EBBE NW-6 .....	119
ABB. 169 LAUF 139 SW 6-8 .....	120
ABB. 170 LAUF 140 SW 6-8 .....	120
ABB. 171 LAUF 135 FLUT W-6 .....	122

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ABB. 172 LAUF 137 FLUT NW-6 .....	122
ABB. 173 LAUF LAUF 140 FLUT SW6-8.....	122
ABB. 174 LAUF 142 FLUT SW6-8 .....	122
ABB. 175 LAUF 144 FLUT W 6-8 .....	122
ABB. 176 LAUF 146 FLUT SE6-8.....	122
ABB. 177 LAUF 166 EBBE SE-6.....	122
ABB. 178 LAUF 169 EBBE NW-6 .....	122
ABB. 179 LAUF 133 FLUT SW-6 .....	122
ABB. 180 LAUF 175 STAU NW-6 .....	125
ABB. 181 LAUF STAU NW-6 .....	125
ABB. 182 GEOMETRIE 5.SCHLEUSE NOK-SEITE .....	130
ABB. 183 LAUF 177 KEIN WIND UND STROM .....	132
ABB. 184 LAUF 176 KEIN WIND UND STROM .....	133
ABB. 185 LAUF 177 KEIN WIND UND STROM .....	133
ABB. 186 LAUF 165 KEIN WIND .....	134
ABB. 187 LAUF 167 KEIN WIND .....	134
ABB. 188 LAUF 168 SW BFT. 6 .....	135
ABB. 189 LAUF 170 SE BFT. 6.....	135
ABB. 190 LAUF 172 NW BFT.6 .....	135
ABB. 191 LAUF 174 NW BFT. 6.....	135
ABB. 192 LAUF 170 SE BFT. 6 .....	136
ABB. 193 NEURALGISCHE PUNKTE SÜDSEITE.....	140
ABB. 194 NEURALGISCHER PUNKT -NORD .....	143
ABB. 195 GEOMETRIE DER PLANUNGSVARIANTE 4 (LANGE MOLE 2).....	147
ABB. 196 GEOMETRIE DER PLANUNGSVARIANTE 3 (GROBER VERSATZ DER MOLE 3) .....	147
ABB. 197 LAUF 401 -FLUT- .....	150
ABB. 198 LAUF 403 -EBBE-.....	150
ABB. 199 LAUF 405 -EBBE-.....	150
ABB. 200 LAUF 409 -KEIN WIND- .....	151
ABB. 201 LAUF 421 -NW BFT. 6-8 .....	151
ABB. 202 LAUF 425 -NW BFT. 4-6 .....	151
ABB. 203 LAUF 417 -NW BFT. 6-8 .....	151
ABB. 204 LAUF 407 -KEIN WIND-.....	153
ABB. 205 LAUF 423 -SW BFT. 6-8.....	153
ABB. 206 LAUF 428 -NW BFT. 4-6 .....	153

**Simulations-Studie**  
**„Neubau 5. Schleuse Brunsbüttel“**

**Dipl.Naut. Kapitän**  
**Hermann von Morgenstern**

Projekt : 917\_WSA\_Neubau 5.Schleuse

**Abschlussbericht**

Date: 30. Mai 2008

ABB. 207 LAUF 411 -SW BFT. 4-6 .....	154
ABB. 208 LAUF 413 -SW BFT. 4-6 .....	154
ABB. 209 LAUF 415 -NW BFT. 6-8.....	154
ABB. 210 LAUF 418 -KEIN WIND .....	155
ABB. 211 LAUF 430 -NW BFT.4-6.....	155
ABB. 212 LAUF 402 -FLUT.....	158
ABB. 213 LAUF 404 -EBBE .....	158
ABB. 214 LAUF 406 EBBE NW BFT. 4 .....	159
ABB. 215 LAUF 408 FLUT NW BFT. 4.....	159
ABB. 216 LAUF 410 EBBE NW BFT. 4-6.....	159
ABB. 217 LAUF 408 FLUT NW BFT. 4.....	159
ABB. 218 LAUF 410 EBBE NW BFT. 4-6.....	159
ABB. 219 LAUF 412 -SW BFT. 4-6 .....	161
ABB. 220 LAUF 416 -NW BFT. 6-8.....	161
ABB. 221 LAUF 422 -SO BFT. 6-8 .....	161
ABB. 222 LAUF 424 -NW BFT. 6-8.....	161
ABB. 223 LAUF 426 -NW BFT. 4-6.....	161
ABB. 224 LAUF 414 -NW BFT. 6-8.....	161
ABB. 225 LAUF 427 -NW BFT. 6-8.....	161
ABB. 226 LAUF 416 -NW BFT. 6-8.....	162
ABB. 227 LAUF 424 -NW BFT. 6-8.....	162
ABB. 228 LAUF 426 -NW BFT. 4-6 .....	162
ABB. 229 LAUF 414 -NW BFT. 6-8.....	162
ABB. 230 LAUF 427 -NW BFT. 6-8.....	162
ABB. 231 LAUF 419 -KEIN WIND .....	164
ABB. 232 LAUF 420 -KEIN WIND .....	164
ABB. 233 LAUF 429 EBBE NW BFT.6-8.....	165

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 LISTE DER UNTERSUCHUNGSSCHIFFE .....	44
TABELLE 2 GESAMTÜBERSICHT REFERENZLÄUFE IST-ZUSTAND .....	45
TABELLE 3 GESAMTÜBERSICHT UNTERSUCHUNGSLÄUFE VARIANTE 1 .....	46
TABELLE 4 GESAMTÜBERSICHT UNTERSUCHUNGSLÄUFE VARIANTE 3 .....	47
TABELLE 5 GESAMTÜBERSICHT UNTERSUCHUNGSLÄUFE VOM NOK IN DIE 5.SCHLEUSE .....	47
TABELLE 6 GESAMTÜBERSICHT DER LÄUFE –VARIANTE 4- .....	48
TABELLE 7 ÜBERSICHT REFERENZLÄUFE .....	54
TABELLE 8 ÜBERSICHT EINLAUFMANÖVER VARIANTE 1 .....	57
TABELLE 9 ÜBERSICHT AUSLAUFEN VARIANTE 1 .....	72
TABELLE 10 ÜBERSICHT DIREKTE VERGLEICHLÄUFE VARIANTE 1 MIT IST-ZUSTAND .....	88
TABELLE 11 ÜBERSICHT EINLAUFEN VARIANTE 3.....	95
TABELLE 12 ÜBERSICHT AUSLAUFEN VARIANTE 3.....	109
TABELLE 13 ÜBERSICHT EINLAUFEN VOM NOK .....	132
TABELLE 14 EINLAUFEN V4 -ÜBERSICHT .....	149