

Unterlage 6-3

Planfeststellungsverfahren

**Ersatzneubau der alten Levensauer Hochbrücke
und
Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals
NOK-Km 93,2 – 94,2**

Schiffsführungssimulation

VORHABENTRÄGER:

**WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT KIEL-HOLTENAU
SCHLEUSENINSEL 2
24159 KIEL-HOLTENAU**



WSV.de

Wasser- und
Schiffahrtsverwaltung
des Bundes

VERFASSER:

Dipl. Naut. Captain Hermann von Morgenstern

Stand: 26.08.2011

Kurze Erläuterung

Im Dezember 2010 wurden im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes Simulationen der Schiffsbewegungen an der Simulationsanlage der Hochschule Bremen (Institut für maritime Simulation) im Rahmen der Planungen zum Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals durchgeführt. Die Gesamtuntersuchung betrachtete dabei die Planungen zu Levensau, Schwartenbek und der Stadtstrecke Rendsburg hinsichtlich der Begegnungsmöglichkeiten für die Schifffahrt.

Im Jahre 2007 wurde bereits eine erste Untersuchung hinsichtlich einer Anpassung der Oststrecke des NOK mithilfe der Simulationsanlage der Hochschule Bremen durchgeführt¹. Die Erkenntnisse und Ergebnisgrößen dieser Untersuchung bilden eine Grundlage der vorliegenden Schiffsführungssimulation aus 2010.

Da es sich bei diesem Gutachten um ein sehr umfangreiches und sehr fachspezifisches Dokument handelt, ist in Unterlage 6-3 nur die Kurzfassung der Ergebnisse der Schiffssimulationen (Kapitel 0) enthalten. Bei Interesse steht die gesamte Unterlage einschließlich der Bänder II und III beim Antragsteller zur Verfügung.

Die Unterlage gliedert sich wie folgt:

0	KURZFASSUNG (MANAGEMENT SUMMARY)	13
0.1	Aufgaben und Zielsetzung	13
0.2	Verfahren und Methodik	15
0.3	Vorbereitung der Simulation	16
0.4	Referenzschiffe	16
0.4.1	Hinweise zur VG-5 (MPS)	17
0.5	Umsetzung und Durchführung	17
0.6	Auswertung, Dokumentation	19
0.7	Bewertungskapitel	20
0.8	Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse	21
0.8.1	Erkenntnisse aus den Referenzläufen	21
0.8.2	Übergreifende Ergebnisse -allgemein	23
0.8.3	Übergreifende Ergebnisse -Levensau und Schwartenbek	25
0.8.3	Ergebnisse -Levensau ohne Schwartenbek	26
0.8.4	Ergebnisse -Schwartenbek ohne Verfüllung	28
0.8.5	Ergebnisse -Schwartenbek mit Verfüllung	29
0.8.6	Vergleich Schwartenbek mit/ohne Verfüllung	32
0.8.7	Ergebnisse Rendsburg -Ist Zustand	33
0.8.8	Ergebnisse Rendsburg -Ausbau Zustand	35
0.8.9	Vergleiche zum Layout 2007	37
0.8.10	Präventive Maßnahmen	38

¹ „Manöversimulationen, Anpassung der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals, Abschlussbericht“, Dipl.-Naut. Kapitän H. von Morgenstern, Bremen, 21.10.2007

AUSBAU DES NORD-OSTSEE-KANALS

ABSCHLUSSBERICHT

BAND –I- Bericht und Anlagen

BAND –I- ABSCHLUSSBERICHT/ANLAGEN

BAND –II-

P-2.1	Evaluationsplotts Levensau
P-2.2	Evaluationsplotts Schwartenbek ohne
P-2.3	Evaluationsplotts Schwartenbek mit
P-2.4	Evaluationsplotts Rendsburg -IST-
P-2.5	Evaluationsplotts Rendsburg -SOLL-
P-2.6	Evaluationsplotts Layout 2007
P-2.7	Evaluationsplotts Referenzläufe

BAND –III-

P-3.1	Bahngrößen Levensau
P-3.2	Bahngrößen Schwartenbek ohne
P-3.3	Bahngrößen Schwartenbek mit
P-3.4	Bahngrößen Rendsburg -IST-
P-3.5	Bahngrößen Rendsburg -SOLL-
P-3.6	Bahngrößen Layout 2007
P-3.7	Bahngrößen Referenzläufe

Auszug

26. August 2011
Projekt: 946–WSV-2010

Client:



WSV.de

Wasser- und
Schifffahrtsverwaltung
des Bundes

Author:

Dipl.Naut.
Hermann von Morgenstern

Document:

946_VOL1_Abschlussbericht.pdf
Rev. F4.1.5 26Aug2011

Simulations Studie
AUSBAU DES NORD-OSTSEE-KANALS

**Dipl.Naut. Captain
Hermann von Morgenstern**

Project : 946_WSV_Ausbau NOK

Abschlussbericht

Date: 26 August 2011

SIMULATIONSSTUDIE

**AUSBAU DES
NORD-OSTSEE-KANALS**

ABSCHLUSSBERICHT

26. AUGUST 2011

Simulations Studie
AUSBAU DES NORD-OSTSEE-KANALS

Dipl.Naut. Captain
Hermann von Morgenstern

Project : 946_WSV_Ausbau NOK

Abschlussbericht

Date: 26 August 2011

BERICHTSUMFANG

Volume-1	Berichtsband	332 Seiten
Volume-2.1	Evaluationsplots Referenzläufe	102 Seiten
Volume-2.2	Evaluationsplots Levensau	308 Seiten
Volume-2.3	Evaluationsplots Schwartenbek ohne	205 Seiten
Volume-2.4	Evaluationsplots Schwartenbek mit	179 Seiten
Volume-2.5	Evaluationsplots Rendsburg -IST	72 Seiten
Volume-2.6	Evaluationsplots Rendsburg –SOLL-	174 Seiten
Volume-2.7	Evaluationsplots Layout 2007	60 Seiten
Volume-3.1	Bahngrößen Referenzläufe	43 Seiten
Volume-3.2	Bahngrößen Levensau	113 Seiten
Volume-3.3	Bahngrößen Schwartenbek ohne	75 Seiten
Volume-3.4	Bahngrößen Schwartenbek ohne	73 Seiten
Volume-3.5	Bahngrößen Rendsburg -IST	31 Seiten
Volume-3.6	Bahngrößen Rendsburg –SOLL-	65 Seiten
Volume-3.7	Bahngrößen Layout 2007	27 Seiten

Anmerkung

- **Alle Berichtsbände sind primär für einseitigen Druck ausgelegt auf denen auch die obigen Seitenzahlen basieren.**
- **Auf den beigefügten DVDs sind Dateien aller Bände gespeichert, die sowohl für einseitigen Druck (Kennung _ES.pdf) als auch doppelseitigen Druck ausgelegt sind (Kennung _DS.pdf).**

Endbericht (Volume-1) fertiggestellt am 26. August 2011 von

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

Bremen, den 26.08.2011



(H.v.Morgenstern)

Simulations Studie
AUSBAU DES NORD-OSTSEE-KANALS

Dipl.Naut. Captain
Hermann von Morgenstern

Project : 946_WSV_Ausbau NOK

Abschlussbericht

Date: 26 August 2011

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER KERNAUSSAGEN.....	12
VERZEICHNIS DER DETAILAUSSAGEN	12
VERZEICHNIS DER ÜBERGREIFENDEN HINWEISE	12

0 KURZFASSUNG (MANAGEMENT SUMMARY).....	13
0.1 AUFGABEN UND ZIELSETZUNG.....	13
0.2 VERFAHREN UND METHODIK	15
0.3 VORBEREITUNG DER SIMULATION	16
0.4 REFERENZSCHIFFE	16
0.4.1 <i>Hinweise zur VG-5 (MPS)</i>	17
0.5 UMSETZUNG UND DURCHFÜHRUNG	17
0.6 AUSWERTUNG, DOKUMENTATION	19
0.7 BEWERTUNGSKAPITEL.....	20
0.8 WESENTLICHE ERGEBNISSE UND ERKENNTNISSE.....	21
0.8.1 <i>Erkenntnisse aus den Referenzläufen</i>	21
0.8.2 <i>Übergreifende Ergebnisse -allgemein</i>	23
0.8.3 <i>Übergreifende Ergebnisse -Levensau und Schwartenbek</i>	25
0.8.3 <i>Ergebnisse -Levensau ohne Schwartenbek</i>	26
0.8.4 <i>Ergebnisse -Schwartenbek ohne Verfüllung</i>	28
0.8.5 <i>Ergebnisse -Schwartenbek mit Verfüllung</i>	29
0.8.6 <i>Vergleich Schwartenbek mit/ohne Verfüllung</i>	32
0.8.7 <i>Ergebnisse Rendsburg -Ist Zustand</i>	33
0.8.8 <i>Ergebnisse Rendsburg -Ausbau Zustand</i>	35
0.8.9 <i>Vergleiche zum Layout 2007</i>	37
0.8.10 <i>Präventive Maßnahmen</i>	38

1 EINLEITUNG.....	41
2 SIMULATIONSGRUNDLAGEN	43
2.1 VERANLASSUNG	43
2.2 UNTERSUCHUNGSBEREICHE	44
2.2.1 <i>Ausbauzustand Levensau und Schwartenbek</i>	44
2.2.1.1 <i>Ausbauzustand Levensau</i>	45
2.2.1.2 <i>Ausbauzustand Schwartenbek -mit Verfüllung</i>	49
2.2.1.3 <i>Ausbauzustand Schwartenbek -ohne Verfüllung</i>	52
2.2.2 <i>Rendsburg -IST Zustand</i>	53
2.2.3 <i>Rendsburg -Ausbauzustand</i>	54
2.2.4 <i>Planungsvariante 2007</i>	56
2.3 ZIELSETZUNGEN - FRAGESTELLUNGEN	57
2.4 VERFAHREN UND METHODIK	59
3 VORBEREITUNG DER SIMULATION, UMSETZUNG.....	61
3.1 GENERIERUNG DER SIMULATIONSMODELLE.....	61
3.1.1 <i>Lagedisplay (ENC)</i>	62
3.1.2 <i>Bathymetrie-ENC</i>	64
3.1.3 <i>Terrain-Modell</i>	69
3.1.4 <i>Umwelt-Modelle</i>	70
3.1.4.1 <i>Böigkeit des Windes</i>	70
3.1.4.2 <i>Lokale Windbedingungen</i>	71

3.1.4.3 Sichtweiten.....	72
3.1.5 Erstellung der Untersuchungsschiffe.....	73
3.1.6 Hinweise zur VG-5 (MPS).....	75
3.2 UMSETZUNG UND DURCHFÜHRUNG	76
3.2.1 Simulator-Nutzung (Brücken).....	76
3.2.2 Personeller Einsatz	77
3.2.3 Durchführung	79
3.2.4 Auswertung, Dokumentation	81
4 BEWERTUNGSGRUNDLAGEN	85
4.1 BEWERTUNGSKRITERIEN	85
4.2 HYDRODYNAMISCHE EFFEKTE	87
4.2.1 Flachwassereffekt	87
4.2.2 Bank-Effekt	89
4.2.3 Schiff-Schiff-Interaktion.....	91
4.2.4 Squat	92
4.3 UMWELTBEDINGUNGEN	93
4.3.1 Einfluss durch Wind.....	93
4.3.2 Tageszeit – Sichtigkeit.....	95
5 VORBEMERKUNGEN ZU DEN ERGEBNISSEN	97
5.1 REIHENFOLGE DER BEWERTUNGSKAPITEL.....	97
5.2 AUFBAU DER BEWERTUNGSKAPITEL.....	98
6 ERKENNTNISSE AUS DEN REFERENZLÄUFEN.....	101
7 ÜBERGREIFENDE ERGEBNISSE -ALLGEMEIN.....	109
8 ÜBERGREIFENDE ERGEBNISSE LEVENSAU UND SCHWARTENBEK	113
8.1 ANMERKUNGEN ZUR FAHRSTRATEGIE	113
8.2 ANMERKUNGEN ZU BEGEGNUNGSMÖGLICHKEITEN	115
9 ERGEBNISSE LEVENSAU.....	121
9.1 BEWERTUNG DER EINZELLÄUFE.....	123
9.1.1 Generelle Befahrbarkeit -eastbound	125
9.1.2 Generelle Befahrbarkeit -westbound	128
9.1.3 Brückenpassage -eastbound	132
9.1.4 Brückenpassage -westbound.....	135
9.2 BETRACHTUNG DER STÖRGRÖßEN	138
9.2.1 Südwest-Wind	139
9.2.2 Nordost-Wind.....	142
9.2.3 Tageszeit „Nacht“.....	144
9.2.4 Sichtigkeit.....	147
9.3 BEWERTUNG DER BEGEGNUNGSMANÖVER	152
9.3.1 Begegnungen im Brückenbereich.....	154
9.3.2 Begegnungen Kurve Schwartenbek.....	157
9.3.3 Begegnungen Übergang Wittenbek/Schwartenbek.....	159
9.4 ZUSAMMENFASSUNG - Kernaussagen	161
10 ERGEBNISSE SCHWARTENBEK OHNE VERFÜLLUNG	163
10.1 BEWERTUNG DER EINZELLÄUFE.....	165
10.1.1 Generelle Befahrbarkeit -eastbound/-westbound.....	166
10.2. BETRACHTUNG DER STÖRGRÖßEN	168
10.2.2 Sichtigkeit.....	168
10.3 BEWERTUNG DER BEGEGNUNGSMANÖVER	170

10.3.1 Begegnungen im Brückenbereich	171
10.3.2 Begegnungen Kurve Schwartenbek	173
10.4 ZUSAMMENFASSUNG - KERNAUSSAGEN	175
11 ERGEBNISSE SCHWARTENBEK MIT VERFÜLLUNG	177
11.1 BEWERTUNG DER EINZELLÄUFE	180
11.1.1 Generelle Befahrbarkeit NOKmax -eastbound.....	181
11.1.2 Generelle Befahrbarkeit NOKmax -westbound.....	183
11.1.3 Brückendurchfahrten	185
11.2 BETRACHTUNG DER STÖRGRÖßEN	187
11.2.1 Sichtigkeit	187
11.3 BEWERTUNG DER BEGEGNUNGSMANÖVER	189
11.3.1 Begegnungen im Brückenbereich	190
11.3.2 Begegnungen Kurve Schwartenbek -Tag	191
11.3.3 Begegnungen Kurve Schwartenbek -Nacht.....	192
11.3.4 Begegnungen Kurve Schwartenbek -verminderte Sicht	193
11.4 BEMERKUNGEN ZUR BEWERTUNG/EINORDNUNG DIESER VARIANTE	195
11.5 ZUSAMMENFASSUNG - KERNAUSSAGEN	196
11.6 SCHWACHSTELLENANALYSE.....	199
11.6.1 Analyse der Bahnführungsmöglichkeiten	199
11.6.2 Analyse der Begegnungsmöglichkeiten	201
11.6.3 Möglicher Lösungsansatz der Schwachstelle	202
12 VERGLEICH SCHWARTENBEK MIT/OHNE VERFÜLLUNG	203
13 ERGEBNISSE RENDSBURG -IST ZUSTAND	209
13.1 BEWERTUNG DER EINZELLÄUFE	211
13.1.1 Generelle Befahrbarkeit.....	211
13.2 BEWERTUNG DER BEGEGNUNGEN.....	214
13.3 ZUSAMMENFASSUNG, KERNAUSSAGEN	217
14 ERGEBNISSE RENDSBURG -AUSBAU ZUSTAND	219
14.1 BEWERTUNG DER EINZELLÄUFE	221
14.1.1 Generelle Befahrbarkeit -eastbound/westbound.....	222
14.2 BEWERTUNG DER BEGEGNUNGEN.....	226
14.2.1 Standard-Begegnungen TAG.....	227
14.2.2 Begegnungen -Nacht	229
14.2.3 Begegnungen verminderte Sicht.....	230
14.2.4 Zusammenfassung -Begegnungen.....	231
14.3 ZUSAMMENFASSUNG - KERNAUSSAGEN	233
15 VERGLEICHE ZUM LAYOUT 2007.....	239
16 PRÄVENTIVE MASSNAHMEN	245
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	247
TABELLENVERZEICHNIS	250

ANLAGE 1 LAUFKODIERUNG, LAUFÜBERSICHTEN	251
A1.1 LAUFKODIERUNG.....	253
A1.2 LAUFÜBERSICHTEN.....	255
A1.2.1 <i>Komplett-Übersicht</i>	255
A1.2.2 <i>Übersicht Referenzläufe</i>	258
A1.2.3 <i>Lauf-Übersicht Levensau ohne Schwartenbek</i>	259
A1.2.4 <i>Lauf-Übersicht Schwartenbek –ohne Verfüllung</i>	260
A1.2.5 <i>Lauf-Übersicht Schwartenbek -mit Verfüllung</i>	261
A1.2.6 <i>Lauf-Übersicht Rendsburg IST</i>	262
A1.2.7 <i>Lauf-Übersicht Rendsburg AUSBAU</i>	262
A1.2.8 <i>Lauf-Übersicht Layout 2007</i>	263
ANLAGE 2 SCHIFFSUNTERLAGEN.....	265
A2.1 NOK-MAX_NEU.....	267
A2.1.1 <i>Main Particulars</i>	267
A2.1.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	268
A2.1.3 <i>Windlast-Diagramm -frontal</i>	269
A2.1.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	270
A2.2 VG-6 BULKER.....	271
A2.2.1 <i>Main Particulars</i>	271
A2.2.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	272
A2.2.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	273
A2.2.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	274
A2.3 VG-5 CONTAINER [MPS].....	275
A2.3.1 <i>Main Particulars</i>	275
A2.3.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	276
A2.3.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	277
A2.3.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	278
A2.4 VG-5 BULKER [MPS].....	279
A2.4.1 <i>Main Particulars</i>	279
A2.4.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	280
A2.4.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	281
A2.4.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	282
A2.5 VG-4 CONTAINER.....	283
A2.5.1 <i>Main Particulars</i>	283
A2.5.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	284
A2.5.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	285
A2.5.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	286
A2.6 VG-4 BULK-CARRIER.....	287
A2.6.1 <i>Main Particulars</i>	287
A2.6.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	288
A2.6.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	289
A2.6.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	290
A2.7 VG-3 CAR-CARRIER.....	291
A2.7.1 <i>Main Particulars</i>	291
A2.7.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	292
A2.7.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	293
A2.7.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	294
A2.8 VG-2 TANKER	295
A2.8.1 <i>Main Particulars</i>	295
A2.8.2 <i>Windlast-Diagramm -Lateral</i>	296
A2.8.3 <i>Windlast-Diagramm -Frontal</i>	297
A2.8.4 <i>Giermomenten-Diagramm</i>	298

ANLAGE 3 -KARTENMATERIAL-	299
A3.1 RENDSBURG STADTSTRECKE -IST/SOLL.....	301
A3.2 LEVENS AU OHNE SCHWARTENBEK.....	302
A3.3 LEVENS AU UND SCHWARTENBEK MIT VERFÜLLUNG.....	303
A3.4 LEVENS AU UND SCHWARTENBEK OHNE VERFÜLLUNG.....	304
A3.5 LAYOUT 2007.....	305
ANLAGE 4 DETAILZEICHNUNGEN/QUERPROFILE	307
A4.1 QUERPROFILE SCHWARTENBEK MIT VERFÜLLUNG.....	309
A4.2 QUERPROFILE SCHWARTENBEK OHNE VERFÜLLUNG.....	312
A4.3 LEVENS AU OHNE SCHWARTENBEK.....	315
A4.4 RENDSBURG AUSBAU.....	318
ANLAGE 5 -BERECHNUNG DER WINDKRÄFTE-	321
A5.1 <i>Berechnung der Windkräfte</i>	323
ANLAGE 6 -HYDRODYNAMIK/HYDRAULIK-	325
A6.1 <i>Hydrodynamische Einflüsse</i>	327
A6.2 <i>Squat</i>	327
A6.3 <i>Bankeffekt</i>	331
ANLAGE 7 -DATENAUFZEICHNUNG-	335
A7.1 <i>Datenaufzeichnung</i>	337
ANLAGE 8 VALIDIERUNG/EVALUIERUNG, UMSETZBARKEIT VON SIMULATIONSERGEBNISSEN	343
A8.0 <i>Definition</i>	345
A8.1 <i>Einleitung</i>	346
A8.2 <i>Simulatorspezifische Randbedingungen</i>	347
A8.3 <i>Manöverbeeinflussende Randbedingungen</i>	348
A8.3.1 <i>Wind</i>	348
A8.3.2 <i>Zustand des Eigenschiffes</i>	349
A8.4 <i>Manöverunterstützende Maßnahmen</i>	350
A8.4.1 <i>Schlepper</i>	350
A8.5 <i>Zusammenfassende Bewertung</i>	351
ANLAGE 9 UMSETZBARKEIT VON SIMULATIONSERGEBNISSEN	353
A9.1 <i>Umsetzbarkeit von Simulationsergebnissen</i>	355
A9.2 <i>Manöveruntersuchungen mit Echtzeitsimulatoren</i>	356
A9.3 <i>Validierung von Simulationen</i>	357

Verzeichnis der Kernaussagen

KERNAUSSAGEN 1 AUSSAGEN ZU DEN GRUNDSATZFRAGEN	110
KERNAUSSAGEN 2 ÜBERGREIFENDE AUSSAGEN ZU RISIKOPOTENZIALEN	110
KERNAUSSAGEN 3 AUSSAGEN ZU „HUMAN FACTOR“ UND PRÄVENTIVE MAßNAHMEN	111
KERNAUSSAGEN 4 AUSSAGEN ZUR BAHNFÜHRUNG BEREICH LEVENS AUER HOCHBRÜCKEN	161
KERNAUSSAGEN 5 AUSSAGEN ZU BEGEGNUNGSMÖGLICHKEITEN IM BEREICH LEVENS AUER HOCHBRÜCKEN.....	162
KERNAUSSAGEN 6 AUSSAGEN ZUM BEREICH LEVENS AUER UND SCHWARTENBEK OHNE VERFÜLLUNG	175
KERNAUSSAGEN 7 BAHNFÜHRUNG SCHWARTENBEK MIT VERFÜLLUNG	197
KERNAUSSAGEN 8 BEGEGNUNGEN IM GERADEN ABSCHNITT DES BEREICHES SCHWARTENBEK	198
KERNAUSSAGEN 9 BEWERTUNG DER VORZUGSVARIANTE „SCHWARTENBEK“	208
KERNAUSSAGEN 10 BAHNFÜHRUNGSQUALITÄT IN DER STADTSTRECKE RENDSBURG –IST ZUSTAND.....	217
KERNAUSSAGEN 11 ERHÖHUNG DER BEGEGNUNGSZIFFER AUF DER STADTSTRECKE RENDSBURG –IST.....	217
KERNAUSSAGEN 12 BAHNFÜHRUNGSQUALITÄT IN DER STADTSTRECKE RENDSBURG –AUSBAU ZUSTAND.....	233
KERNAUSSAGEN 13 BEGEGNUNGSMÖGLICHKEITEN STADTSTRECKE RENDSBURG –AUSBAU ZUSTAND.....	234
KERNAUSSAGEN 14 VERGLEICH DER ERGEBNISSE 2007 MIT 2010	243

Verzeichnis der Detailaussagen

DETAILAUSSAGEN 1 REFERENZLÄUFE	107
DETAILAUSSAGEN 2 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK „GENERELLE BEFAHRBARKEIT –EASTBOUND“	127
DETAILAUSSAGEN 3 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK „GENERELLE BEFAHRBARKEIT –WESTBOUND“	131
DETAILAUSSAGEN 4 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK „BRÜCKENPASSAGE –EASTBOUND“	134
DETAILAUSSAGEN 5 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK „BRÜCKENPASSAGE –EASTBOUND“	137
DETAILAUSSAGEN 6 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK „EINFLUSS SÜDWEST-WIND“	141
DETAILAUSSAGEN 7 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK „EINFLUSS NORDOST-WIND“	143
DETAILAUSSAGEN 8 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK –EINZELLÄUFE NACHT	146
DETAILAUSSAGEN 9 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK –EINZELLÄUFE VERMINDERTE SICHT	151
DETAILAUSSAGEN 10 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK –BEGEGNUNGEN IM BRÜCKENBEREICH.....	156
DETAILAUSSAGEN 11 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK –BEGEGNUNGEN IN KURVE SCHWARTENBEK	158
DETAILAUSSAGEN 12 LEVENS AUER OHNE SCHWARTENBEK –BEGEGNUNGEN IN KURVE WITTENBEK	160
DETAILAUSSAGEN 13 LEVENS AUER UND SCHWARTENBEK OHNE –EINZELLÄUFE.....	167
DETAILAUSSAGEN 14 LEVENS AUER UND SCHWARTENBEK OHNE –BEGEGNUNGEN IM BRÜCKENBEREICH	172
DETAILAUSSAGEN 15 LEVENS AUER UND SCHWARTENBEK OHNE –BEGEGNUNGEN IM SCHWARTENBEK	174
DETAILAUSSAGEN 16 RENDSBURG IST, VG5 UND NOKMAX	213
DETAILAUSSAGEN 17 RENDSBURG IST –BEGEGNUNGEN	216
DETAILAUSSAGEN 18 RENDSBURG AUSBAU, –EINZELLÄUFE GENERELLE BEFAHRBARKEIT.....	225
DETAILAUSSAGEN 19 RENDSBURG AUSBAU –BEGEGNUNGEN TRASSIERUNGSASPEKT	231
DETAILAUSSAGEN 20 RENDSBURG AUSBAU –BEGEGNUNGEN	232

Verzeichnis der übergreifenden Hinweise

HINWEIS 1 GÜLTIGKEIT VON KRÄFTEN UND MOMENTEN	141
HINWEIS 2 AUSRÜSTUNGSSTAND DER SCHIFFE.....	151
HINWEIS 3 OPTISCHE WAHRNEHMBARKEIT DER SCHIFFE IM BEREICH KURVE SCHWARTENBEK	157

0 KURZFASSUNG (Management Summary)

In der Zeit vom 2. Dezember 2010 bis 22. Dezember 2010 wurden im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes Simulationen an der Simulationsanlage der Hochschule Bremen (Institut für maritime Simulation) im Rahmen der Planungen zum

AUSBAU DES NORD-OSTSEE-KANALS

unter der Projektleitung des Verfassers durchgeführt. Die Gesamtuntersuchung war dabei in folgende Abschnitte bzw. Teilbereiche gegliedert

- **Kalibrierungsprozess der Untersuchungsschiffe**
- **Sensitivitätsstudie durch die BAW¹**
- **Untersuchung der Planungen für Levensau**
- **Untersuchung der Planungen für Schwartenbek -ohne Verfüllung**
- **Untersuchung der Planungen für Schwartenbek -mit Verfüllung**
- **Untersuchung der Stadtstrecke Rendsburg IST-Zustand**
- **Untersuchung der Stadtstrecke Rendsburg im Ausbauzustand**
- **Vergleichsläufe im Layout der Simulationen von 2007**

Im Folgenden werden die wesentlichen Aufgaben, Vorbereitungen, Randbedingungen und Ergebnisse dieser Untersuchung **in komprimierter Form** dargestellt, um dem Leser einen schnellen Überblick zu geben.

0.1 Aufgaben und Zielsetzung

Aktuell gelten sowohl für den Bereich der nicht ausgebauten Oststrecke als auch der Strecke Rendsburg Restriktionen bezüglich der Begegnungsmöglichkeiten für die Schifffahrt. Eine Verbesserung der Begegnungssituation durch die Anhebung der Begegnungsziffer trägt er-

¹ Bundesanstalt für Wasserbau

heblich zur Verbesserung des Verkehrsflusses, d.h. zur Verringerung der Passagezeit im Kanal bei.

- **Diese Feststellung kann im Prinzip als die primäre Fragestellung der Untersuchung bezüglich der Umsetzung bezeichnet werden.**

Zu einer sicheren Begegnung gehört zweifelsohne eine sichere und kontrollierte Bahnführung beider Schiffe nicht nur während, sondern auch vor und nach der Begegnung.

Ferner ist hier zu erwähnen, dass etliche Änderungen der Kanaltrassierung vorgenommen wurden mit dem Ziel, nicht nur die Begegnungssituation zu verbessern, sondern auch die Bahnführung größerer Schiffe sicherer zu gestalten. Diese Trassierungsänderungen, die die Grundlage der einzelnen Untersuchungsabschnitte bilden, sind ausführlich in Kapitel 2.2 Untersuchungsbereiche (Seite 44 ff) beschrieben.

Die Schwerpunkte dieser Untersuchung bezüglich ihrer Aufgaben und Zielsetzung können, basierend auf der Leistungsbeschreibung des Auftraggebers, mit den folgenden Fragestellungen näher definiert werden:

- **Grundsatzfragen:**

- **Können die gewählten Bemessungsschiffe die neu trassierten Teilstrecken des NOK in den geplanten Ausbaustufen (Zielvarianten) grundsätzlich sicher durchfahren?**
- **Erlauben die Neutrassierungen eine Erhöhung der Begegnungsziffer bei gleichzeitigem Erhalt der sicheren Bahnführung?**
- **Welcher Gewinnzuwachs hinsichtlich möglicher Verkehrsfrequenzen ergibt sich aus den Planungsgrößen der einzelnen, zu untersuchenden Teilstrecken des NOK?**

- **Detailfragen:**

- **Bestehen erkennbare grundsätzliche Risikobereiche oder Gefährdungspotenziale hinsichtlich der neuen Fahrrinnengeometrien?**
- **Bestehen erkennbare grundsätzliche Risikobereiche oder Gefährdungspotenziale hinsichtlich äußerer Einflüsse (Umweltbedingungen)?**
- **Welche Lösungsansätze bestehen, mögliche Risikobereiche oder Gefährdungspotenziale zu minimieren bzw. auszuschalten?**

• **Erweiterte Detailfragen:**

- **Bestehen mögliche Gefährdungspotenziale für die anderen durchlaufenden oder ruhenden Verkehre?**
- **Welche Passiermöglichkeiten unterschiedlicher Verkehrsgruppengrößen sind zulässig?**
- **Ergeben sich mögliche Änderungsanforderungen an das Verkehrsmanagement oder an administrative (schifffahrtspolizeiliche) Anordnungen?**
- **Welchen Einfluss nimmt der „human-factor“ auf den Bahnführungsprozess?**
- **Welche präventiven Maßnahmen sind hilfreich, die Umsetzung des neuen Verkehrs zu beschleunigen?**

0.2 Verfahren und Methodik

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 Holtenau*
- *Experten der Lotsenbrüderschaft NOK II*
- *Steurer des NOK und der*
- *Projektleiter der Simulation (Verfasser dieses Berichts)*

Die für die Untersuchung bzw. den jeweiligen Simulationslauf relevanten Aussagen der beteiligten Experten wurden in den Debriefingsgesprächen ausführlich diskutiert und abschließend dokumentiert. Daneben wurden während der Versuchsläufe bestimmte, sorgfältig ausgesuchte physikalische Simulationsdaten in regelmäßigen Intervallen (1 Sekunde) aufgezeichnet². Die Ergebnisse der Auswertung dieser Daten bilden eine weitere wichtige Grundlage zur endgültigen Bewertung.

² detaillierte Beschreibung siehe Anlage 7

0.3 Vorbereitung der Simulation

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

- **des Seegebietes (Untersuchungsgebiet)**
 - mit dem Terrain-Modell und
 - der Bathymetrie
- **der ENCs**
- **der Untersuchungsschiffe und**
- **der Umweltbedingungen (Wind)**

Auffällig an der obigen Aufstellung ist, dass eine Größe fehlt, nämlich die Strömungsdynamik. Da es sich bei dem NOK um ein durch Schleusen geschlossenes und somit nicht tideabhängiges Gewässer handelt, können innerhalb des NOK keine tideverursachten Ströme entstehen, weshalb auf die Modellierung einer Strömungsdynamik verzichtet werden kann. Die in vielen Bereichen sehr aufwendige Generierung der einzelnen Untersuchungsgrößen ist detailliert im Kapitel 3.1 Generierung der Simulationsmodelle (Seite: 61ff) beschrieben.

0.4 Referenzschiffe

Für die Untersuchung wurden vom Auftraggeber mehrere Untersuchungsschiffe benannt, deren Haupt-Kenngrößen in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt sind³.

Liste der Untersuchungsschiffe						
Typ / Bezeichnung	L [m]	B [m]	T [m]	Verdr. [t]	Windfläche [m²]	Bemerkung
CS NOKmax -Neu	280.0	32.5	9,5	56.000	4.900	Einzelfahrer
TA Verkehrsgruppe 2	85.0	11.0	3.7	2.200	280	
CC Verkehrsgruppe 3	120.0	19.0	6.1	7.300	1.060	
CS Verkehrsgruppe 4	140.0	22.0	7.0	14.000	1.200	
BU Verkehrsgruppe 4	140.0	22.0	9.5	16.250	490	
RF Verkehrsgruppe 5	200.0	30.0	7.9	32.500	3.420	MPS VG5-2011
BU Verkehrsgruppe 5	200.0	30.0	9.5	41.100	1.250	MPS VG5-2011
BU Verkehrsgruppe 6	235.0	32.5	9.5	52.550	1.350	
RF Verkehrsgruppe 5 2007	200.0	28.0	7.0	25.500	3.580	VG5-2007
BU Verkehrsgruppe 5 2007	200.0	28.0	9.5	34.200	1.250	VG5-2007
Bezeichnungen:						
CS: Containerschiff CL: Cruise Liner CC: Car Carrier TA: Tanker BU: Bulk Carrier RF: Reefer						

Tabelle 1 Liste der Untersuchungsschiffe

³ Weitere Einzelheiten der Schiffe sind in der Anlage 2 zu finden

0.4.1 Hinweise zur VG-5 (MPS)

In der vorhergehenden Tabelle 1 sind zwei Fahrzeuge mit dem Zusatz „MPS“ versehen, die an dieser Stelle in Kürze näher erläutert werden sollen.

In der besagten Tabelle sind zusätzlich die im Jahre 2007 verwendeten Schiffe der VG-5 mit ihren Abmessungen aufgeführt. Vergleicht man zunächst die physikalischen Abmaße, ist festzustellen, dass ausschließlich die Schiffsbreite geändert ist und zwar von 28 Meter auf 30 Meter. Zwangsläufig ergibt sich daraus bei gleichem Tiefgang und gleichem Verdrängungskoeffizienten auch eine Vergrößerung der Verdrängung. Die Anpassung der Verkehrsgruppe 5 auf die oben gezeigten Werte (30 Meter Breite) beruhen auf Überlegungsansätzen diese im Rahmen der geplanten Vertiefung des Kanals zu realisieren.

Die als MPS bezeichneten Schiffe sollten nach Vorgabe des Auftraggebers bereits bei dieser Simulation berücksichtigt werden, um eine zukunftsfähige Variante mit Blick auf eine spätere Vertiefung zu überprüfen und unter Einbindung der gefundenen Simulationsergebnisse zu gewährleisten.

0.5 Umsetzung und Durchführung

Um die sich aus den verschiedenen Fragestellungen in Verbindung mit den Untersuchungsbereichen ergebende hohe Anzahl unterschiedlicher Läufe in einem überschaubaren Zeitraum realisieren zu können, wurde grundsätzlich mit zwei Simulations-Brücken (unabhängig zu steuerndes Eigenschiff) gefahren, unabhängig davon ob ein Einzellauf unter bestimmten Randbedingungen oder eine Begegnung zu untersuchen war.

Im Gegensatz zur Untersuchung im Jahre 2007 wurden diesmal nicht nur Lotsen der Brüderschaft NOK II als handelnde Akteure eingesetzt, sondern zusätzlich Steuerer des NOK, was die Untersuchung insgesamt realistischer gemacht hat.

Der generelle Ablauf der Simulation und die Umsetzung der Szenarienfolgen zur Umsetzung des Leistungsprofils des Auftraggebers zur Erzielung des Anforderungskatalogs der Zielset-

zungen der Untersuchung oblag dem Projektleiter der Simulation (Verfasser dieses Berichtes) in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten Experten.

In der Zeit vom 2. Dezember 2010 bis 22. Dezember 2010 wurden insgesamt

143 Untersuchungsläufe

durchgeführt, die sich nach Aufgabe und den Untersuchungsbereichen wie folgt aufschlüsseln lassen:

- **Referenz-Läufe im Bereich Levensau** **16 Läufe**
- **Levensau ohne Schwartenbek** **43 Läufe**
 - **Davon 17 Läufe mit Begegnung**
- **Levensau und Schwartenbek mit Verfüllung** **24 Läufe**
 - **Davon 16 Läufe mit Begegnung**
- **Levensau und Schwartenbek ohne Verfüllung** **24 Läufe**
 - **Davon 14 Läufe mit Begegnung**
- **Rendsburg IST-Zustand** **8 Läufe**
 - **Davon 4 Läufe mit Begegnung**
- **Rendsburg Ausbau-Zustand** **20 Läufe**
 - **Davon 14 Läufe mit Begegnung**
- **Vergleichsläufe Variante 2007** **8 Läufe**
(keine Begegnungsmanöver)

Nicht einbezogen in die obige Aufstellung sind die vorangegangenen Kalibrierungsläufe sowie die Läufe der Sensitivitätsstudie der BAW. Diese Läufe sind auch nicht Bestandteil des Bewertungsverfahrens.

Eine komplette Laufliste mit den relevanten Szenariobedingungen ist in der Anlage 1.1 (Seite 255 ff) zu finden.

0.6 Auswertung, Dokumentation

Während eines Laufes wurden stets mehrere Bildschirmausdrucke (Screen Shots) als Datei (JPG-Format) und als Papierausdruck erstellt, um jederzeit Vergleichsreferenzen zu den automatischen Datenaufzeichnungen zu haben.

Wie in Kapitel 2.4 Verfahren und Methodik (Seite 59) näher beschrieben wird, erfolgte die Erstbewertung der Läufe nach dem so genannten „Expert-Rating. Um jedoch die so festgestellten Ergebnisse näher beschreiben und um eine mögliche Ursachenforschung betreiben zu können, wurde eine große Anzahl von Simulationsdaten für jeden Lauf aufgezeichnet.

Die Auswertung dieser Daten findet sich in den „Evaluationsplots“ (Band II P-2.1 bis P-2.7) und den grafischen Darstellungen des Bahnführungsprozesses (Band III P-3.1 bis P-3.7) wieder.

Die in den Evaluationsplots durch die Schiffsumrisse dargestellten Verkehrsabläufe der Referenzschiffe spiegeln im ersten Ansatz nur einen qualitativen Wert der Bahnführungsqualität und eine dimensionslose bzw. nur schwer abschätzbare Größe des Bedarfs an Fahrwasserfläche wider.

Um jedoch quantitative Aussagegrößen darüber zu erhalten, sind für jeden Lauf sowohl die maximalen und minimalen Trackabweichungen als auch der Verkehrsflächenbedarf in Bezug auf eine Referenzlinie errechnet worden und im Bahngrößenplot unter Trackbreite/Trackablage und Fahrstreifenbreite dargestellt.

Genauere Erläuterungen und Erklärungen der verschiedenen AuswertepLOTS sind in den jeweiligen Anlagenbänden zu finden.

0.7 Bewertungskapitel

Da diese Untersuchung eine Vielzahl zu untersuchender Streckenabschnitte mit zum Teil abweichenden Fahrrinnenkonfigurationen aufweist, werden die einzelnen Streckenabschnitte in jeweils getrennten Kapiteln behandelt, wie in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt.

Untersuchungsabschnitt	Zugehöriges Bewertungskapitel
Referenzläufe	6 Erkenntnisse Referenzläufe
Levensauer Hochbrücken	9 Ergebnisse Levensau
Levensau und Schwartenbek ohne	10 Ergebnisse Schwartenbek ohne Verfüllung
Levensau und Schwartenbek mit	11 Ergebnisse Schwartenbek mit Verfüllung
Stadtstrecke Rendsburg -IST	13 Ergebnisse Rendsburg IST Zustand
Stadtstrecke Rendsburg -Ausbau	14 Ergebnisse Rendsburg Ausbau Zustand
Layout 2007	15 Vergleiche zum Layout 2001

Tabelle 2 Untersuchungsabschnitte und zugehörige Bewertungskapitel

Bevor auf die Evaluierung einzelner Läufe einer bestimmten Untersuchungsvariante eingegangen wird, erscheint es aus logischen Überlegungen heraus sinnvoll, übergreifende Ergebnisse, also solche, die nicht den Besonderheiten der einzelnen Planungsvarianten zuzuordnen sind, getrennt zu betrachten und vor den Einzelergebnissen zu platzieren.

Bewertungsabschnitt	Zugehörige Bewertungskapitel
Übergreifende Ergebnisse	7 ÜBERGREIFENDE ERGEBNISSE -allgemein 8 ÜBERGREIFENDE ERGEBNISSE Levensau und Schwartenbek

Tabelle 3 Besondere Bewertungen und zugehörige Kapitel

Die Kombination der Tabelle 2 und der Tabelle 3 beschreibt somit zunächst nur die Reihenfolge der einzelnen Bewertungskapitel.

Die aus der Leistungsbeschreibung und dem Anforderungsprofil des Auftraggebers an die Simulation abgeleiteten Fragestellungen⁴ bilden das grundsätzliche Bewertungsschema.

Für ein besseres Verständnis und qualitative Einordnung der im Folgenden gemachten Aussagen und Feststellungen ist es daher empfehlenswert, die Auswertebände mit den Ergebnisplots (Bände 946 2.1 bis 2.7) und den Bahnführungen (Bände 946 3.1 bis 3.7) mit heranzuziehen.

⁴ Siehe hierzu Kapitel 0.1 Aufgaben und Zielsetzung

0.8 Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung werden hier als Kernaussagen in chronologischer Reihenfolge zu den Bewertungskapiteln des Hauptberichtsteils wiedergegeben. Da die Untersuchungsvarianten im Hauptberichtsteil, wie im vorangegangenen Kapitel kurz beschrieben, getrennt bewertet wurden, soll dieses Schema auch für diese Kurzfassung beibehalten werden.

Um den Umfang der Kurzfassung überschaubar zu halten, werden hier nur die Kernergebnisse genannt, ihre Kausalität jedoch nur dort kurz beschrieben, wo dies z.B. aufgrund der Fragestellungen oder des Anforderungsprofils notwendig ist.

0.8.1 Erkenntnisse aus den Referenzläufen

Wie in Kapitel 4.1 Bewertungskriterien näher erläutert wird, ist es aus Sicht der Bewertung unterschiedlicher Simulationsläufe sinnvoll, Referenzgrößen bestimmter Einflussparameter zu besitzen, um bei den Standardläufen (Läufe mit/unter allen Randbedingungen) schnell abschätzen zu können, welcher Parameter für ein bestimmtes Bewegungsverhalten dominant war.

Hinsichtlich der die Bahnführung dominant bestimmenden Parameter „Hydrodynamik“ inklusive Flachwasser- und Bankeffekt, sowie die Störgröße „Wind“ können aus den Referenzläufen nachfolgende Erkenntnisse gezogen werden.

Flachwasser-Effekt:

- **Die Bahnführung kann unter den gegebenen Bedingungen mit den gewählten Untersuchungsschiffen noch in einem gleichmäßigen (flüssigen) Bewegungsablauf erfolgen.**
- **Der Flachwassereffekt verlangt aber bereits bei kontinuierlicher Propellerdrehzahl bereits länger anhaltende höhere Ruderlagen, um die gewünschte Bahnführung zu erzielen.**

Hydrodynamik:

- **Die Bahnabläufe ähneln in starker Weise denen aus den Versuchsläufen bezüglich des Flachwassereffektes.**
- **Eine signifikante Veränderung der Ruderbewegungen ist in diesem Versuchsabschnitt (Kurve Schwartenbek und Levensauer Hochbrücken) nicht feststellbar.**
- **Aus den Laufdaten lassen sich aber Kräfte und Momente, hervorgerufen durch Banknähe, erkennen, die jedoch noch mit den verfügbaren Steuerkräften der eingesetzten Untersuchungsschiffe beherrscht werden konnten.**
- **Weiterhin wird aus den Laufdaten erkennbar, dass mit zunehmender Schiffsgröße und abnehmender Kielfreiheit Änderungen (Erhöhungen) der Propellerdrehzahlen notwendig werden, um die Steuerkräfte zu verstärken.**

Windeinflusses im Zusammenspiel mit Flachwasser- aber ohne Bankeffekte

- **Die Bahnabläufe ähneln in starker Weise denen aus den Versuchsläufen bezüglich des Flachwassereffektes.**
- **Erste erkennbare Veränderungen der Ruderbewegungen sind in diesem Versuchsabschnitt (Kurve Schwartenbek und Levensauer Hochbrücken) auf Grund der auftretenden Windkräfte und –momente feststellbar.**
- **Auch eine Erhöhung des Flächenbedarfs wegen der eintretenden Drift und des Fahrens mit Vorhaltewinkel ist erkennbar.**

Zusammengefasst kann aus den Ergebnissen der Referenzläufe konstatiert werden:

	Der Streckenabschnitt Levensau kann physikalisch unter teilweiser Einhaltung der Standard-Fahrstrategie aufgrund seiner horizontalen und vertikalen Geometrie von den Untersuchungsschiffen mit der geforderten Sicherheit grundsätzlich befahren werden.
	Plausibles Flachwasserverhalten der unterschiedlichen Schiffe mit verschiedenen Tiefgängen ist ersichtlich, d.h. <ul style="list-style-type: none"> • aus den Laufdaten wird erkennbar, dass mit zunehmender Schiffsgröße und abnehmender Kielfreiheit Änderungen (Erhöhungen) der Propellerdrehzahlen notwendig werden, um die Steuerkräfte zu verstärken.
	Die Abhängigkeiten der Bankeffektgrößen in Bezug auf Abstand, Geschwindigkeit, Kurslage usw. zur Böschung sind quantitativ zu beobachten. <ul style="list-style-type: none"> • Entsprechendes Absetzen und Suction-Effekt ist erkennbar
	Die unterschiedlichen Auswirkungen verschiedener Windrichtungen und relativer Windgeschwindigkeiten auf die untersuchten Schiffe in Hinsicht auf Giermomente und Driftverhalten sind quantitativ zu beobachten, d.h. <ul style="list-style-type: none"> • eine Erhöhung des Flächenbedarfs wegen der eintretenden Drift und des Fahrens mit Vorhaltewinkel ist erkennbar.
	Die erfolgreichen Bahnverläufe auf Grundlage der reinen Geometrie des Fahrwassers und teilweise Nutzung der bisher gültigen Fahrstrategie auf eine realistische Kalibrierung der mathematischen Modelle schließen lässt.

0.8.2 Übergreifende Ergebnisse -allgemein

Zu den übergreifenden Ergebnissen zählen in diesem Kontext solche Ergebnisse und/oder Erkenntnisse, die nicht an bestimmte Randbedingungen oder ausschließlich an ein bestimmtes Untersuchungsprofil gebunden sind, sondern allgemeine Gültigkeit besitzen.

Im Zusammenhang der **Grundsatzfragen**

- **Können die gewählten Bemessungsschiffe die neu trassierten Teilstrecken des NOK in den geplanten Ausbaustufen (Zielvarianten) grundsätzlich sicher durchfahren?**
- **Erlauben die Neutrassierungen eine Erhöhung der Begegnungsziffer bei gleichzeitigem Erhalt der sicheren Bahnführung?**
- **Welcher Gewinnzuwachs hinsichtlich möglicher Verkehrsfrequenzen ergibt sich aus den Planungsgrößen der einzelnen, zu untersuchenden Teilstrecken des NOK?**

lassen sich folgende **Kernaussagen** machen:



Für alle untersuchten Schiffe, insbesondere für die Fahrzeuge ab der Verkehrsgruppe 5, gilt, dass die neu trassierten Strecken überwiegend mit aller notwendigen Sicherheit durchfahren werden können.



Ein übergreifender Vergleich der Laufergebnisse aus 2007 mit den jetzigen in Bezug auf das NOKmax-Schiff zeigt zunächst eine erkennbare Verbesserung der erzielbaren Bahnführungsqualität.



Die Fehlertoleranz hat sich im Vergleich zu den Laufergebnissen von 2007 geringfügig verbessert.



Die Führung des NOKmax-Schiffes verlangt jedoch weiterhin höchste Aufmerksamkeit und vorausschauende Fahrstrategien, um eine sichere Bahnführung zu gewährleisten.



Eine Erhöhung der Begegnungsziffer ist auf Grund der physikalischen Größen und der jeweiligen Kanalgeometrie zum Teil realisierbar

Die Festlegung der zulässigen Begegnungsziffer ist jedoch mit verschiedensten Grundsatzüberlegungen administrativer Art, konsequenter Entwicklung und Einhaltung bestimmter Fahrstrategien und näherer Bestimmung zulässiger Schiffe verknüpft.

(Dies wird im Weiteren noch näher erläutert)



Auch wenn bezüglich der Erhöhung der zulässigen Begegnungsziffer Einschränkungen festzustellen sind bzw. gelten, so kann jedoch insgesamt konstatiert werden, dass alle geplanten Trassierungsmaßnahmen einen ihnen jeweils zuzuord-

nenden Gewinnzuwachs sowohl in Hinsicht auf die Erhaltung der Bahnführungsqualität bzw. der Bahnsicherheit als auch einer Verbesserung des machbaren Verkehrsflusses aufweisen.

In Bezug auf erkennbare **grundsätzliche Risikobereiche oder Gefährdungspotenziale** kann auf Grundlage der vorliegenden Bewertungsgrößen folgendes gesagt werden:



Die Aussage der sicheren Befahrbarkeit aller neu trassierten Streckenabschnitte muss dahingehend eingegrenzt werden, dass dies nicht in vollem Umfang für die Variante Levensau und Schwartenbek mit Verfüllung gilt.



Insbesondere gilt dies für Schiffe oberhalb der Verkehrsgruppe 5, unabhängig vom Tiefgang, und für Schiffe der Verkehrsgruppe 5 (MPS) mit großem Tiefgang.



Die Einschränkung der sicheren Befahrbarkeit der Variante Levensau und Schwartenbek mit Verfüllung gilt jedoch nicht für den gesamten Streckenabschnitt, sondern ist auf den Übergangsbereich Kurve Schwartenbek in die Wittenbeker Kurve begrenzt.



Sowohl die Erkenntnisse aus den Bahnführungsvermögen der in Frage kommenden Schiffe als auch erste Simulationsversuche zeigen, dass umsetzbare Lösungsansätze möglich sind.



Was den besagten Streckenabschnitt angeht wird dringend empfohlen, Planungsänderungen mithilfe von Simulationen zu überprüfen.

In diesem Zusammenhang, übergreifende Betrachtung der Ergebnisse, können jedoch die beiden letzten Punkte **„human factor“** und **„präventive Massnahmen“** durchaus übergeordnet für alle zu bewertenden Untersuchungsabschnitte herangezogen werden.



Der „human factor“ (Lotse und Steurer) ist ein elementares Element im komplexen Bahnführungsprozess, sowohl positiv als auch negativ. Diese Aussage soll die bewiesenermaßen vorhandenen Kenntnisse und Erfahrungen der Lotsen und Steuerer auf keinen Fall schmälern, sondern ein Hinweis darauf sein, dass bisher bewährte Fahrstrategien bei Realisierung der einzelnen Maßnahmen entsprechend adaptiert werden müssen.



Unbestritten ist, dass einige der negativ verlaufenen Simulationsläufe auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass die mentale Umsetzung der neuen Gegebenheiten noch nicht gegeben war und die Fahrstrategie dem bisherigen Rhythmus entsprach.



Andererseits kann als positiv verzeichnet werden, dass durch die Wiederholung von Läufen eine zügige Anpassung der notwendigen Fahrstrategie (Lerneffekt) erkennbar war.



Diese Erkenntnis führt wiederum zu der dringenden Empfehlung, präventive Schulungsmaßnahmen durchzuführen, um das erkannte Risikopotenzial rechtzeitig und signifikant zu reduzieren.



Da die Maßnahme, sowohl Lotsen als auch Steuerer als handelnde Akteure einzusetzen als überaus positiv anzusehen ist, empfiehlt sich ergänzend, die Schulungsmaßnahmen auf diese Personengruppen auszudehnen.

0.8.3 Übergreifende Ergebnisse -Levensau und Schwartenbek

Neben den übergreifenden Ergebnisse für alle Untersuchungsabschnitte kann Ähnliches hier auch für die drei Teilabschnitte *Levensau ohne Schwartenbek*, *Levensau mit Schwartenbek ohne Verfüllung* und letztlich *Levensau mit Schwartenbek und Verfüllung* vorgenommen werden.

Die neue Trassenführung hat die auftretenden Kräfte erkennbar geändert, sodass die bisherige **Fahrstrategie** wohl nicht mehr in vollem Umfang angewendet werden kann. Vorteilhaft an der neuen Trassenführung ist jedoch, dass selbst in den meisten Fällen noch Bahnkorrekturen vorgenommen werden konnten, was auf eine erhöhte Fehlertoleranz weist.



Je deutlicher die Fahrstrategie an die neuen Gegebenheiten (Trassenführung) angepasst wurde, desto sicherer war die Passage der Levensauer Hochbrücken.

Wie in den jeweiligen Bewertungskapiteln angedeutet werden wird, müssen **Begegnungen** im Bereich der Levensauer Hochbrücken, sofern sie denn gewollt sind, sehr differenziert betrachtet werden. Die Grundlagen dieser Aussagen sind relativ komplex und bedürfen prinzipiell einer detaillierten Beschreibung, was hier den Rahmen einer Kurzbeschreibung sprengen würde. Dies erfolgt gezielt im Kapitel 8.2 Anmerkungen zu Begegnungsmöglichkeiten (siehe Seite 115).

- **Hierzu ist zu vermerken, dass die dortigen Anmerkungen und Beschreibungen prinzipiell Gültigkeit für alle untersuchten Kanalabschnitte besitzen.**

0.8.3 Ergebnisse -Levensau ohne Schwartenbek

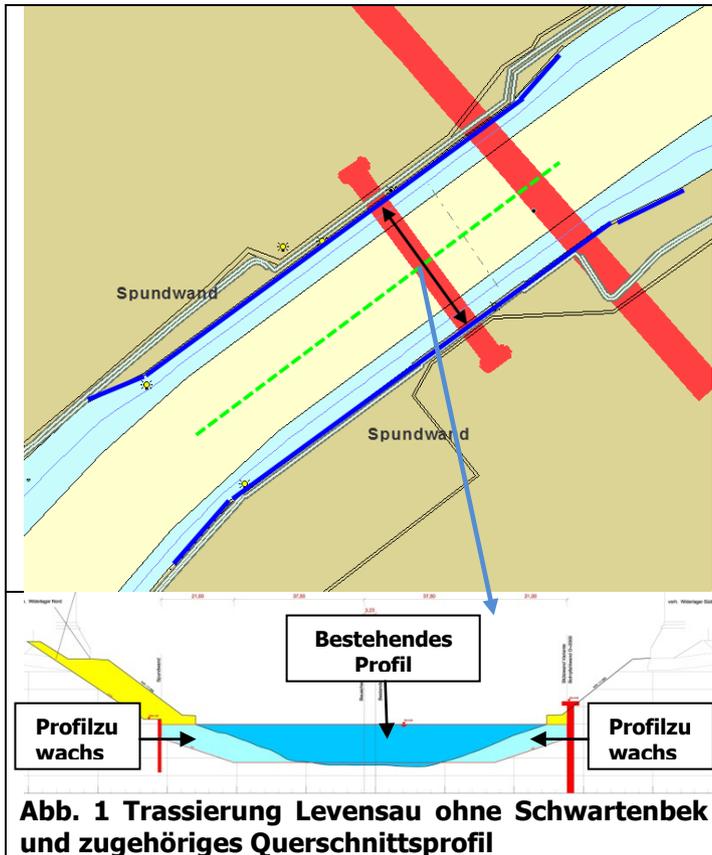


Abb. 1 Trassierung Levensau ohne Schwartenbek und zugehöriges Querschnittsprofil

Die Untersuchungsvariante „Levensau ohne Schwartenbek“ beinhaltet ausschließlich Änderungen im Bereich der Hochbrücken. Die Trassierungsänderungen sind in der Abb.1 dargestellt und werden genauer in dem Kapitel 2.2.1.1 Ausbauzustand Levensau (Seite 45ff) erläutert.

Für die Bewertung stehen insgesamt 43 Läufe zur Verfügung, die wie folgt aufgeschlüsselt werden können

- **26 Einzel-Läufe**
- **17 Läufe mit Begegnungen**

Für die Planungsvariante „Levensau

ohne Schwartenbek“ können unter dem Aspekt Grundsatzfragen *Bahnführung* die nachfolgenden grundsätzlichen Kernaussagen, basierend auf dem vorhergehenden Bewertungsprozess inklusive der dort genannten Detailaussagen, gemacht werden.

- ✓ **Die Anpassung der Trassierung im Bereich der Levensauer Hochbrücken hat eine signifikante Verbesserung der Bahnführungsqualität in diesem Bereich erbracht und zwar für alle Untersuchungsschiffe.**
- ✓ **Ergänzend gilt dies auch für die Ansteuerung des Brückenbereiches, sowohl ostgehend als auch westgehend, sowie für das Eindrehen in die Weiche/Kurve Schwartenbek.**
- ✓ **Die auf 75 Meter verbreiterte Trasse (Sohlbreite) im näheren Brückenbereich minimieren mögliche Risikopotenziale und erlauben noch Bahnführungsänderungen in der Ansteuerungsphase.**
- ✓ **Die Ausführung der Querschnittsprofile im Bereich der Spundwände erlaubt es kleineren Fahrzeugen mit Tiefgängen bis etwa 3,5 Meter bzw. anderem Kleinschiffsverkehr (Individualverkehr) deutlich außerhalb der Trasse zu fahren, was die grundsätzliche Möglichkeit von Begegnungen erhöht.**



Die angestrebte Formgebung des Lichtraumprofils (Rechteckprofil) der neuen Levensauer Hochbrücke bietet nicht nur einen psychologischen Vorteil gegenüber dem heutigen Brückenbogen sondern erweitert erkennbar zulässige Bahnabweichungen von der Trassenmitte, was ebenfalls möglichem Begegnungsverkehr entgegenkommt.



Die neue Trassenführung verändert die bisher gültige Fahrstrategie, insbesondere bei der westlichen Ansteuerung des Brückenbereiches aus der Kurve Schwartenbek heraus erheblich und bedarf daher besonderer Aufmerksamkeit der Lotsen und Steurer nach der Etablierung der neuen Trassenführung.

Etwas differenzierter gestaltet sich die Beantwortung der Fragestellungen hinsichtlich der **Grundsatzfragen** bezüglich der *Zulässigkeit von Begegnungsverkehr* und *Gewinnzuwachs*.



Aufgrund von Teilergebnissen von Simulationsläufen unter bestimmten Randbedingungen in Bezug auf die Schiffsgrößen im Zusammenhang mit dem neuen Querschnittprofil des Kanals im Brückenbereich können Begegnungen durchaus im Rahmen der Möglichkeit liegen, wenn bestimmte Parameter eingehalten werden.



Die Laufergebnisse und die Anmerkungen der beteiligten Experten lassen jedoch eine allgemein gültige Begegnungsziffer z.B. BZ-7 oder BZ-8 nicht zu, da zu viele Randbedingungen Einfluss nehmen und zu berücksichtigen sind.



Begegnungen mit der BZ-6 und kleiner als auch teilweise solche der BZ-7 stellen nach Meinung der Experten bei der neuen Trassenführung und dem neuen Querschnittprofil kein großes Problem dar.



Auch wenn bestimmte Begegnungen, z.B. BZ-8 mit einem Schiff der VG-6 und einem Schiff der VG-2 in der Simulation relativ problemlos bewerkstelligt wurden, bleibt letztlich doch die Frage zu stellen, ob wegen der Sensibilität des Bereiches nicht präventiv so gefahren werden sollte, dass es nicht unbedingt im näheren Brückenbereich zu einer Begegnung kommt.

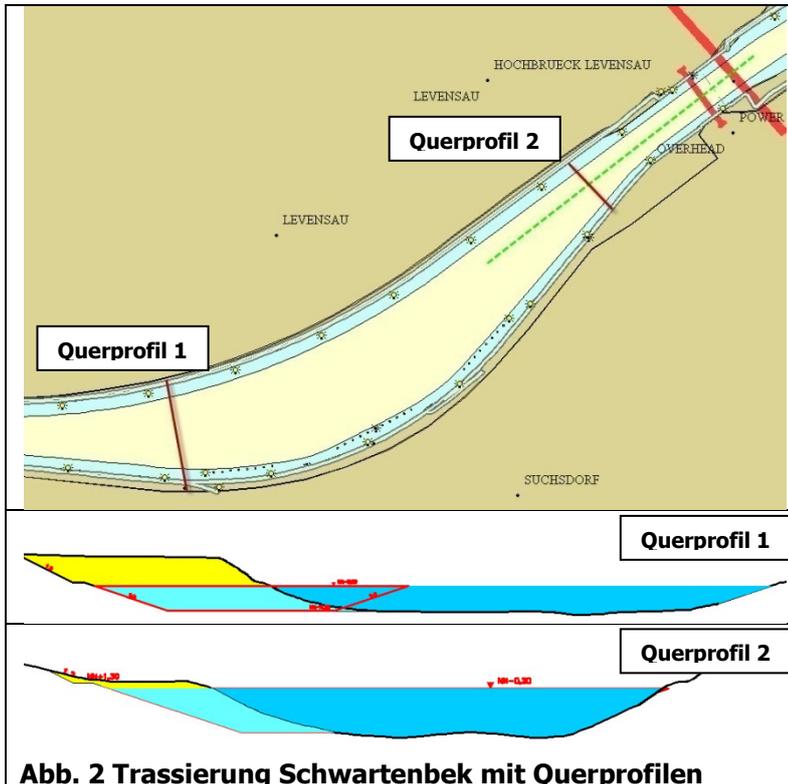


Die durchschnittliche Zeitdauer für eine Brückenpassage inklusive Ansteuerung und Ausdrehen in den jeweils nächsten Streckenabschnitt kann mit ungefähr 5 bis 10 Minuten, also einem überschaubaren Zeitraum, angesetzt werden.



Obleich keine allgemein gültigen Aussagen über zulässige Begegnungsziffern gemacht werden können, bleibt es unbestritten, dass die Planungsgrößen einen deutlichen Gewinnzuwachs für den durchlaufenden Verkehr sowohl in Hinsicht auf Sicherheit als auch, wenn nur bedingt, bezüglich möglicher Begegnungen erbringen.

0.8.4 Ergebnisse -Schwartenbek ohne Verfüllung



Die Untersuchungsvariante „Levensau und Schwartenbek – ohne Verfüllung“ beinhaltet diese Trassierungsmaßnahme. Diese Trassierungsmaßnahme beinhaltet neben den bereits beschriebenen Maßnahmen im Bereich der Levensauer Hochbrücken eine verlängerte geradlinige Zuführung aus der Schwartenbek Kurve in den Brückenbereich durch Abtragungen des Nordufers. Die nebenstehende Abb.2 zeigt die untersuchte Trassierung.

Abb. 2 Trassierung Schwartenbek mit Querprofilen

Für die Bewertung stehen insgesamt **24 Läufe** zur Verfügung, die wie folgt aufgeschlüsselt werden können

- **8 Einzel-Läufe**
- **16 Läufe mit Begegnungen**

Es sei an dieser Stelle bereits erwähnt, dass diese Trassierungsvariante prinzipiell mit Einschränkungen hinsichtlich der grundsätzlichen Umsetzbarkeit und den erwarteten Gewinnzuwachs versehen ist.

Da, wie in *Kapitel 11.6.3 Möglicher Lösungsansatz der Schwachstelle* (Seite 202 ff.) näher erläutert wird, mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Lösungsmöglichkeit zur Vermeidung der besagten Einschränkungen besteht,

- **ist es nach Ansicht des Autors hier nicht angeraten für diese Trassierungsvariante eine umfangreiche Bewertung mit entsprechenden negativen Statements zu dokumentieren, sondern dies zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen möglicher Optimierungsmaßnahmen vorzunehmen.**

Für die Planungsvariante „Levensau und Schwartenbek ohne Verfüllung“ können unter dem **Aspekt Grundsatzfragen** die nachfolgenden Kernaussagen gemacht werden.

- ✓ **Die Anpassung der Trassierung im Bereich der Kurve Schwartenbek hat eine signifikante Verbesserung und Vereinfachung der Bahnführung in diesem Bereich erbacht und zwar für alle Untersuchungsschiffe.**
- ✓ **Dies gilt insbesondere für die Ansteuerung des Brückenbereiches ostgehend als auch westgehend für das Eindrehen in die Kurve Wittenbek.**
- ✓ **Begegnungen sind auch bei Belegung der noch vorhandenen südlichen Warteplätze möglich.**
- ⚠ **Die neue Trassenführung verändert die bisher gültige Fahrstrategie, insbesondere bei der westlichen Ansteuerung des Brückenbereiches aus der Kurve Schwartenbek heraus und bedarf daher besonderer Aufmerksamkeit der Lotsen und Steuerer nach der Etablierung der neuen Trassenführung.**
- ✓ **Der deutlichste Gewinnzuwachs dieser Trassierungsmaßnahme kann für das NOKmax-Schiff verzeichnet werden.**

Da sich die Fahrwasserverhältnisse grundsätzlich verbessert haben, ergibt sich nur eine geringe Anzahl von Kernaussagen.

0.8.5 Ergebnisse -Schwartenbek mit Verfüllung



Diese Trassierungsmaßnahme (siehe Abb.3) beinhaltet neben den bereits beschriebenen Maßnahmen im Bereich der Levensauer Hochbrücken eine komplett veränderte Trassenführung des NOKs in diesem Kanalabschnitt, nicht nur durch eine verlängerte geradlinige Zuführung aus der Schwartenbek Kurve in den Brückenbereich

bereich durch Abtragungen des Nordufers, sondern auch durch die Umgestaltung der Kurve in

einen Standardabschnitt des Kanals mit den Regelgrößen für die Sohlbreite von 75 Meter, Kurvenradius von mind. 2000 Meter und einheitlichen Böschungssteigungen von etwa 1:3.

Für die Bewertung stehen insgesamt **24 Läufe** zur Verfügung, die wie folgt aufgeschlüsselt werden können

- **10 Einzel-Läufe**
- **14 Läufe mit Begegnungen**



Es sei an dieser Stelle bereits erwähnt, dass diese Trassierungsvariante prinzipiell mit Einschränkungen hinsichtlich der grundsätzlichen Umsetzbarkeit und den erwarteten Gewinnzuwachs versehen ist.

Da, wie in *Kapitel 11.6.3 Möglicher Lösungsansatz der Schwachstelle* (Seite 202 ff.) näher erläutert wird, mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Lösungsmöglichkeit zur Vermeidung der besagten Einschränkungen besteht,

- **ist es nach Ansicht des Autors hier nicht angeraten für diese Trassierungsvariante eine umfangreiche Bewertung mit entsprechenden negativen Statements zu dokumentieren, sondern dies zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen möglicher Optimierungsmaßnahmen vorzunehmen.**

Wohl aber müssen die Ergebnisgrößen in einer Art Bewertungsmodus genannt werden, um die Schwachstellen deutlich zu machen, die gleichzeitig auch als Eingangsparameter eines Optimierungsprozesses dienen. Somit soll vermieden werden, dass vor einer möglichen Anpassung der Vorzugsvariante diese im Grundsatz mit einschränkenden/negativen Bewertungsgrößen belegt ist.

Für die Planungsvariante „Levensau und Schwartenbek mit Verfüllung“ können unter dem **Aspekt Grundsatzfragen „Bahnführung“** und unter Berücksichtigung des bisher Gesagten die nachfolgenden Kernaussagen gemacht werden.

	Die Trassierungsplanung für den Bereich Kurve Schwartenbek mit Verfüllung erlaubt prinzipiell eine sichere Bahnführung aller Bemessungsschiffe.
	Die Einschränkung „prinzipiell“ bezieht sich auf den Übergangsbereich zwischen der Kurve Schwartenbek mit der kurzen Verbindungsgerade zur Kurve Wittenbek mit Fahrzeugen ab der Verkehrsgruppe 5 Siehe hierzu Kapitel 11.6.2 Analyse der Begegnungsmöglichkeiten

	<p>Der genannte Einschränkungsbereich kann durch gezielte und leicht umsetzbare Planungsänderungen entschärft werden.</p> <p>Siehe hierzu 11.6.3 Möglicher Lösungsansatz der Schwachstelle</p>
	<p>Die sichere Zufahrt zu den Levensauer Hochbrücken ostgehend wird durch die verlängerte geradlinige Streckführung als „recovery area“ nach Eindrehen in die Kurve Schwartenbek unterstützt.</p>
	<p>Das westgehende Fahrzeug hat genügend geradlinige Strecke nach Passieren der Levensauer Hochbrücken, um die anschließende Kurvenfahrt vorzubereiten.</p>

Etwas differenzierter gestaltet sich wiederum die Beantwortung der Fragestellungen hinsichtlich der **Grundsatzfragen** bezüglich der *Zulässigkeit von Begegnungsverkehr* und *Gewinnzuwachs*, da die vorgegebene Trassenplanung Verbesserungspotenzial hat.

Um nicht von vornherein grundsätzlich einschränkende Kernaussagen zu dokumentieren, die bei einer möglichen und nach Auffassung des Autors leicht zu realisierenden Änderung der Trassenführung ihren negativen Charakter verlieren würden, werden im Nachfolgenden nur die uneingeschränkt gültigen Feststellungen genannt.

	<p>Aufgrund der Ergebnissen der Simulationsläufe können in Bezug auf die bereits genannten Einflussfaktoren Begegnungsmanöver der BZ-7 als generell machbar angesehen werden.</p>
	<p>Für Begegnungen der BZ-8 gelten für den gesamten Bereich weiterhin die in Kapitel 8.2 gemachten Anmerkungen bezüglich Begegnungsmanöver.</p>
	<p>Begrenzt man den Aussagebereich über Begegnungsmanöver auf den geraden Zulaufbereich, so sind nach Meinung der Experten nach Ablauf einer gewissen Eingewöhnungszeit und unter Beachtung der in 8.2 genannten Randbedingungen auch Begegnungen der BZ-8 möglich.</p>

0.8.6 Vergleich Schwartenbek mit/ohne Verfüllung

Für die beiden Trassierungsmaßnahmen Levensau und Schwartenbek jeweils mit und ohne Verfüllung ist es angebracht eine Vergleichsbetrachtung beider Layouts vorzunehmen, da die Variante „Schwartenbek mit Verfüllung“ seitens des Auftraggebers favorisiert wird. Dabei steht hier nicht die Wertigkeit bzw. der Erhalt der Weichenfunktion zur Diskussion, weshalb die beiden Varianten auch unter strikt nautischen Gesichtspunkten verglichen werden sollen. Auffällig ist sicherlich jedem Betrachter zunächst der größere zur Verfügung stehende Raum in der Variante ohne Verfüllung, was auch stets unter nautischen Gesichtspunkten als Vorteil anzusehen ist.

In dem hier zu betrachtenden Fall der beiden Varianten der Kurve Schwartenbek, mit und ohne Verfüllung, ist also zunächst zu klären, wie der verfügbare Raum unter nautischen Gesichtspunkten hinsichtlich der sicheren Befahrbarkeit, nicht jedoch bei Nutzung als Wartebereich zu bewerten ist.

Unter Betrachtung wirkender Kräfte und Momente, hervorgerufen durch hydraulische Einflussgrößen ist festzustellen, dass

- **die ausschließlichen Einflussgrößen des Flachwassers und die des Bankeffektes**
 - **in der Variante ohne Verfüllung grundsätzlich stetigen Änderungen wegen der sich stetig ändernden Größe der Querschnittsprofile unterliegen,**
 - **jedoch bei der Variante mit Verfüllung wegen des gleichbleibenden Querschnittsprofils keine signifikanten Änderungen hervorrufen.**

Lässt man die Störgröße „Bankeffekt“ außer Acht und betrachtet ausschließlich den Flachwassereffekt, so kann gesagt werden, dass auch hier für gilt, dass

- **die auf das Schiff wirkenden Kräfte wegen des sich ständig ändernden Wasserflusses um den Schiffskörper (return flow velocity)**
 - **in der Variante ohne Verfüllung stetig ändern, zunächst bis zum Erreichen des größten Querschnitt abnehmen und danach wieder zunehmen, während sie**
 - **in der Variante mit Verfüllung wiederum wegen des gleichbleibenden Profils kaum erkennbare Änderungen hervorrufen.**

Aufgrund einer wertfreien Betrachtung der beiden Varianten in Bezug auf nautische Störgrößen kann festgestellt werden, dass

- **Die Variante mit Verfüllung, insbesondere wegen der verursachenden Gleichmäßigkeiten (Querschnittsprofile), mit Vorteilen behaftet ist**
- **Die Variante ohne Verfüllung wegen des größeren verfügbaren Raumes eine höhere Fehlertoleranz aufweist.**

Welchem dieser Vorteile Priorität einzuräumen ist, kann durchaus von vielen Faktoren abhängen (z.B. Wahrscheinlichkeit des Fehlereintritts an diesem Ort), sodass hier auch auf die Professionalität der Lotsen und Steuerer abgehoben werden muss. Das soll heißen, dass

- **die Variante mit Verfüllung nautisch/fahrtechnisch als Standard-Kanalabschnitt und somit als sicher zu befahren betrachtet werden muss.**

Fasst man alle nautischen Argumente, pro und contra der einzelnen Varianten zusammen kann gesagt werden, dass



die Vorzugsvariante, Schwartenbek mit Verfüllung, nach Optimierung der Schwachstelle, nautisch gesehen keine Nachteile gegenüber der Variante ohne Verfüllung aufweist



die Vorzugsvariante, Schwartenbek mit Verfüllung, unter den Aspekten Bauphase und Realisierung in Zusammenhang mit Behinderungen des kommerziellen Verkehrs durch zusätzliche Transporteinheiten deutlich Vorteile gegenüber der Variante ohne Verfüllung aufweist

0.8.7 Ergebnisse Rendsburg -Ist Zustand

Der Untersuchungsabschnitt „Rendsburg IST-Zustand“ benötigt eine etwas andere Betrachtungsweise als die vorgehenden Abschnitte, bei denen es sich um die Untersuchung geplanter Trassierungsmaßnahmen handelte. Im Gegensatz dazu erfolgte die Laufdurchführung hier in einem heute existenten Kanalabschnitt, nämlich der Stadtstrecke Rendsburg.

Gemäß des Anforderungskatalogs und der Leistungsbeschreibung des Auftraggebers war der Schwerpunkt dieses Untersuchungsabschnitts auf die Beantwortung der Frage zu legen, ob und wenn ja unter welchen Umständen die heute gültige Begegnungsziffer 6 auf BZ-7 erhöht

werden kann. Allein dieses wäre schon ein erheblicher Gewinnzuwachs ohne in die bestehende Kanaltrassierung eingreifen zu müssen.

Auch wenn nur eine geringe Anzahl von Läufen gefahren wurde (**4 Einzelfahrten und 4 Begegnungen**) so erlauben die Simulationsergebnisse dieser Läufe mit den Anmerkungen der Experten durchaus fundierte Aussagen.

Für die Simulationen der Stadtstrecke Rendsburg, heutiger Ausbauzustand, können unter dem **Aspekt Grundsatzfragen *Bahnführung*** die nachfolgenden Kernaussagen gemacht werden.



Das Bahnverhalten der untersuchten Schiffe (Bulkler VG5 [MPS] und NOKmax) in den Einzelfahrten wurde von den Lotsen für die gesamte Strecke als durchaus realistisch und mit der Realität vergleichbar eingestuft.



Damit erhalten die Aussagen für die zulässige Begegnungsziffer, insbesondere in der Saatseekurve, eine durchaus hohe Wertigkeit.

Unter dem **Aspekt Grundsatzfragen *Begegnung*** können die nachfolgenden Kernaussagen gemacht werden.



Die Erhöhung der Begegnungsziffer von BZ-6 auf BZ-7 ist unter Beachtung bestimmter Randbedingungen realisierbar.



Eine sofortige und uneingeschränkte Umsetzung der zulässigen Begegnungsziffer von BZ-6 auf BZ-7 ist nicht ratsam, sondern sollte unter Absprache aller Beteiligten unter Einbeziehung der bisherigen Erfahrungsgrößen vorgenommen werden.

Die Beantwortung der realisierbaren zulässigen Begegnungsziffer 7 bedarf zum besseren Verständnis weiterer, z.T. umfangreicher Erläuterungen, da eine sofortige und uneingeschränkte Umsetzung als nicht ratsam betrachtet wird.

Die entsprechenden Informationen sind in Kapitel „13 ERGEBNISSE RENDSBURG –Ist Zustand“ (Seite 209ff) zu finden.

0.8.8 Ergebnisse Rendsburg -Ausbau Zustand

Für die Teilstrecke Rendsburg-Ost ist eine Neutrassierung der Kanalachse von Kkm 63,23 bis 67,95 vorgesehen. Unter Berücksichtigung der Fixpunkte (Eisenbahnhochbrücke, Fährstelle Nobiskrug) und der Lage der Schwimmdocks wurde eine Trasse ermittelt, die einen möglichst großen Radius bei geringen Eingriff ermöglicht. Die neue Trasse beginnt östlich des Kreishafens und geht von einer Gerade in eine Kurve mit dem Radius $R = 2000$ m über.

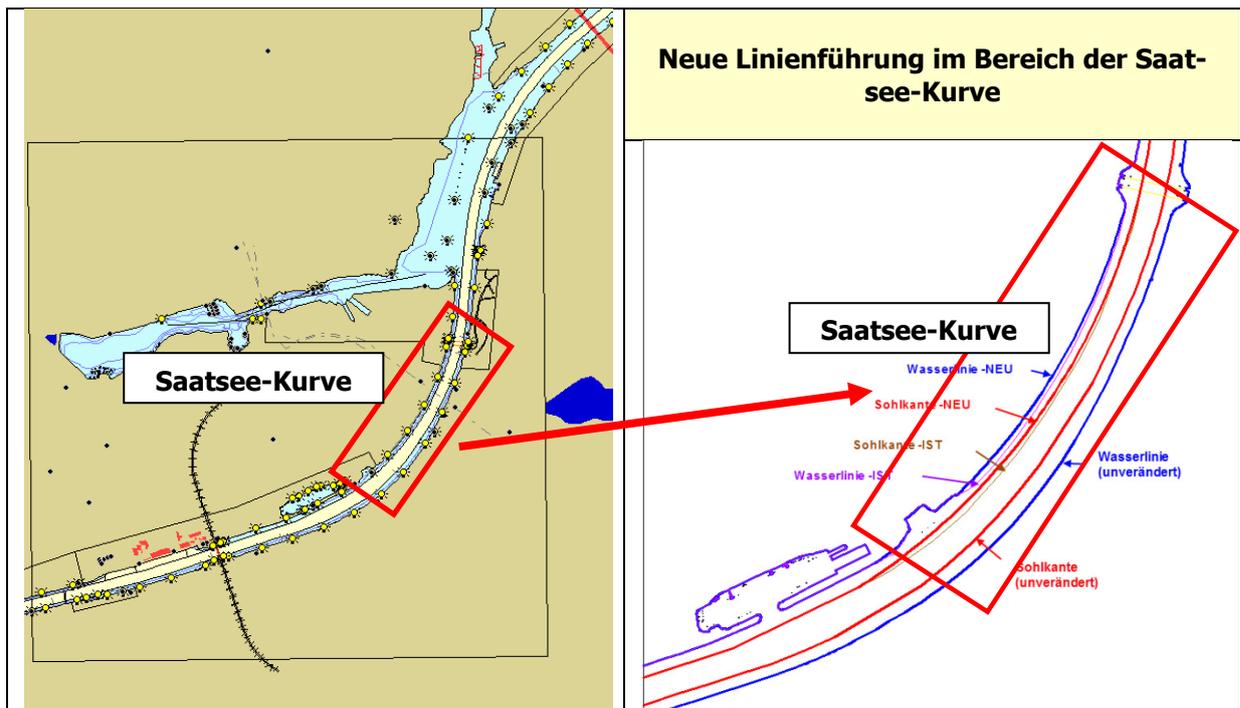


Abb. 4 Trassierung Rendsburg -Ausbauzustand

Insgesamt wurden für die Überprüfung der Umsetzbarkeit der Planungsgrößen und die Beantwortung der Grundsatzfragen

- **20 Simulationsläufe** davon
- **14 Begegnungsläufe**

durchgeführt.

Für die Planungsvariante „Stadtstrecke Rendsburg Ausbauzustand“ können unter dem **Aspekt Grundsatzfragen Bahnführung** die nachfolgenden Kernaussagen gemacht werden.



Die Anpassung der Trassierung im Bereich der Saatsee Kurve hat eine signifikante Verbesserung der Bahnführungsqualität in diesem Bereich erbracht und zwar für alle Untersuchungsschiffe.



Die auf 75 Meter verbreiterte Trasse (Sohlbreite) in Verbindung mit dem gleichförmigen Kurvenradius von 2000 m minimieren mögliche Risikopotenziale.



Die Ausführung der Querschnittsprofile bzw. der Böschungsgestaltung im Innenkurvenbereich der Saatseekurve erlaubt es kleineren Fahrzeugen bzw. anderem Kleinschiffsverkehr (Individualverkehr) auch in der Innenkurve deutlich außerhalb der Trasse zu fahren, was die grundsätzliche Möglichkeit von Begegnungen erhöht.



Die neue Trassenführung verändert die bisher gültige Fahrstrategie und bedarf daher besonderer Aufmerksamkeit der Lotsen und Steuerer nach der Etablierung der neuen Trassenführung.

Etwas differenzierter gestaltet sich ein weiteres Mal die Beantwortung der Fragestellungen hinsichtlich der **Grundsatzfragen** bezüglich der *Zulässigkeit von Begegnungsverkehr* und *Gewinnzuwachs*.

Diesbezüglich muss hier wiederum auf die detailliertere Betrachtung der Begegnungsmanöver im Allgemeinen (Kapitel 4.2.2) verwiesen werden, die übergreifend auch für diesen Streckenabschnitt Gültigkeit zur Festlegung der zulässigen Begegnungsziffer besitzen.



Aufgrund der Ergebnissen der Simulationsläufe können Begegnungsmanöver der BZ-7 als generell machbar angesehen werden.



Für Begegnungen der BZ-8 gelten für Untersuchungsbereich Saatseekurve weiterhin die in Kapitel 4.4.2 gemachten Anmerkungen bezüglich Begegnungsmanöver.



Eine sofortige und uneingeschränkte Umsetzung der zulässigen Begegnungsziffer von BZ-7 auf BZ-8 ist daher nicht ratsam, sondern sollte in Absprache mit allen Beteiligten unter Einbeziehung der bisherigen Erfahrungsgrößen vorgenommen werden.



Die vorherige Einlassung betrifft im Wesentlichen die Kombination der BZ-8 aus VG-5 (MPS) und VG-3 mit dem Schwerpunkt auf dem MPS.



Der primäre Gewinnzuwachs gegenüber dem Ist-Zustand der Stadtstrecke Rendburg ergibt sich somit zunächst nur aus der sofortigen und uneingeschränkten Umsetzung der zulässigen Begegnungsziffer 7.



Die Einschränkung hinsichtlich einer sofortigen und uneingeschränkten Umsetzung der zulässigen Begegnungsziffer 8 vermindert zunächst den vollständig möglichen Gewinnzuwachs.

Da erst eine sofortige und uneingeschränkte Umsetzung der zulässigen Begegnungsziffer 8 den vollen Gewinnzuwachs der Trassierungsmaßnahme erbringt, diese sofortige Umsetzung

jedoch als nicht ratsam auf Grundlage der Laufergebnisse und der Laufbewertungen durch das Expertenteam beurteilt wird, ist es angebracht, die Umsetzung dezidierter zu benennen.

- **Nach Auffassung der Experten ist die Zulässigkeit der BZ-8 gebildet aus VG-6 und VG-2 durchaus schnell realisierbar.**
- **Nach Ansicht der Expertengruppe sollte die Zulässigkeit der Begegnungsziffer 8 erst nach einer Erfahrungsphase mit der neuen Trassierung, ggfls. anfangs auch unter Einbindung von Restriktionen hinsichtlich der herrschenden Umstände (Sichtigkeit, Wind und Windanfälligkeit der Schiffe usw.) erfolgen.**
- **Diese Begegnungskombination VG-5 (MPS) mit VG-3 (leichter Autotransporter) erwies sich in allen Untersuchungsvarianten als problematisch und muss daher sorgfältig dahingehend geprüft werden, ob diese Kombination für die Begegnungsziffer 8 zulässig sein kann.**

0.8.9 Vergleiche zum Layout 2007

Wie eingangs schon einmal erwähnt, beruhen die Trassierungsmaßnahmen für die Bereiche Levensau und Schwartenbek überwiegend aus den Simulationsergebnissen der Untersuchung im Jahre 2007 (Anpassung der Oststrecke des NOK). Beide Untersuchungen wurden mit dem Schiffsführungssimulator der Hochschule Bremen (Institut für Maritime Simulation – IfMS-) durchgeführt, jedoch unter verschiedenen Softwareständen. Insbesondere ist in den letzten Jahren eine Verbesserung der Berechnung der für die Untersuchungen relevanten Bankkräfte und –Momente vorgenommen worden.

Mit diesen Vergleichsläufen sollte daher festgestellt werden, inwieweit der Gewinnzuwachs einzustufen ist, d.h. wie wären die Bahnführungen der Versuchsläufe in 2007 abgelaufen, wenn der verbesserte Algorithmus bereits verfügbar gewesen wäre.

Es stehen insgesamt 8 Läufe zur Verfügung, die ausschließlich als Einzelläufe mit verschiedenen Schiffen bei unterschiedlichen Bedingungen gefahren wurden. Da diese Läufe ausschließlich Aussagen darüber liefern sollten, inwieweit die generellen Bahnführungsergebnisse des VG-5 Fahrzeugs und des NOKmax Schiffes durch die Softwareänderungen bezüglich des Bankverhaltens der Schiffe beeinflusst wurden, ist eine umfangreiche Bewertung der Laufergebnisse nicht zwingend erforderlich, sondern ausschließlich ein Statement über die Vergleichsgrößen der Bahnergebnisse.

Auf Grundlage der vorliegenden 8 Laufergebnisse können zusammenfassend unter dem **Aspekt Grundsatzfragen „Bahnführungsvergleich“** (Begegnungen wurden nicht gefahren) die nachfolgenden Kernaussagen gemacht werden.



Die Bahnführung der beiden untersuchten Schiffe (NOKmax und VG-5 (MPS) ist mit dem neuen Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Bankkräfte etwas gleichmäßiger ausgefallen.



Die eingesetzten Propulsions- und Ruderkräfte sind nahezu identisch in beiden Untersuchungen.



Die erkennbar verbesserte, gleichmäßigere Bahnführung kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Einsatz von Steuerern zurückgeführt werden.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Untersuchungsergebnisse aus 2007, auch wenn hier mit einem vereinfachten Modell zur Bankberechnung gefahren wurde, weiterhin Gültigkeit besitzen.

0.8.10 Präventive Maßnahmen

Bei Untersuchungen dieser Art, Neukonzipierung bzw. Anpassung eines bestehenden Fahrwassers, zeigt sich in der Simulation immer wieder, dass die Beteiligten, hier die Lotsen und Steuerer, einen gewissen Zeitraum benötigen, sich auf die neue Streckenführung einzustellen.

Dieses Verhaltensmuster muss bei der späteren Umstellung berücksichtigt werden und zwar nicht nur bei den Fahrlotsen, sondern auch bei den Steuerern.

Alle beteiligten Experten waren sich einig darüber, dass

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

Der hohe Anspruch an alle Lotsungen im Nordostsee-Kanal verlangt aber von allen Beteiligten, unabhängig vom jeweiligen Status, stetige Professionalität mit ausgeprägten Kenntnis-

sen und Fähigkeiten. Beides kann sicherlich in großem Umfang mithilfe täglich neu gewonnener Erfahrung (*learning by doing* und/oder *training on the job*) gesammelt werden.

➤ **Erfahrung sammeln beinhaltet aber auch, aus Fehlern zu lernen.**

Vorbereitendes Simulationstraining bietet hier die Möglichkeit, diesen Lernprozess aus der realen in die virtuelle Welt (Simulationsumgebung) zu verlegen, d.h. bekannte und wiederkehrende Fehler durch ständiges Wiederholungstraining den Beteiligten zunächst bewusst zu machen und im Weiteren dann durch Wissensvermittlung in Verbindung mit praktischen Änderungen der Fahrstrategien zu eliminieren.