

NIEDERSACHSEN PORTS GMBH & CO. KG

STÄRKUNG DES MEHRZWECKHAFENS EMDEN DURCH DEN NEUBAU EINES GROßSCHIFFSLIEGEPLATZES – LÜCKENSCHLUSS AN BESTEHENDEN KAIANLAGEN

Los 3, Nautische Untersuchung

26.10.2016
Revision 1

Antragsteller

Land Niedersachsen, vertreten durch
Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
Friedrich-Naumann-Straße 7-9
26725 Emden

Aufsteller

Proj.-Nr.: 15057

Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH

Teilfeld 5
20459 Hamburg
Telefon: +49 (40) 36 12 01 - 0
Fax: +49 (40) 36 12 01-28
E-Mail: info@sellhorn-hamburg.de
Internet: www.sellhorn-hamburg.de

Nachunternehmer

Proj.-Nr.: 150118

Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML

Schwarzenbergstraße 95 D
21073 Hamburg
Telefon: +49 (40) 42878 - 6131
Fax: +49 (40) 42878 - 4452
E-Mail: hans-christoph.burmeister@cml.fraunhofer.de

Internet: www.cml.fraunhofer.de

Lotsenbrüderschaft Emden

Körperschaft des öffentlichen Rechts
Bollwerkstraße 45
26725 Emden

Telefon: +49 (4921) 58211 - 10
Fax: +49 (4921) 58211 - 19
E-Mail: office@emspilots.de
Internet: www.emspilot.de

Inhalt

1	PROJEKT BESCHREIBUNG	6
1.1	ABKÜRZUNGEN.....	7
2	EINLEITUNG.....	8
3	METHODIK	9
4	SIMULATIONSUMGEBUNG	10
4.1	SCHIFFSFÜHRUNGSSIMULATOR.....	10
4.2	BEMESSUNGSSCHIFFSMODELLIERUNG	11
4.2.1	Bemessungsschiff Thermopylæ	12
4.2.2	Bemessungsschiff Tønsberg	16
4.3	UMGEBUNGSMODELLIERUNG	18
4.3.1	Untersuchungsvarianten.....	19
4.3.2	Umgebungsvisualisierung.....	20
4.4	SIMULATIONSVARIABLEN.....	20
4.4.1	Bathymetrie, Strom- und Tidemodell	20
4.4.2	Wind und Seegang	22
4.4.3	Verkehrssituation.....	23
4.4.4	Sichtverhältnisse.....	23
5	SIMULATIONSPLANUNG	24
5.1	SIMULATIONSPERSONAL	24
5.2	UNTERSUCHUNGSBEREICH	24
5.3	ANLEGEMANÖVER	25
5.4	ABLEGEMANÖVER.....	25
5.5	SCHLEPPEREINSATZ.....	25
5.6	DOKUMENTATION UND ANALYSE	27
6	SIMULATIONS DURCHFÜHRUNG.....	28
6.1	ANLEGEMANÖVER	29
6.1.1	Nordwind	30
6.1.2	Nordwestwind	31
6.1.3	Südwestwind	33
6.1.4	Südwind.....	34
6.1.5	Erweiterter Wendebereich	35
6.2	ABLEGEMANÖVER.....	36
6.2.1	Nordwind	36
6.2.2	Nordwestwind	37
6.2.3	Südwestwind	38
6.2.4	Südwind.....	39
6.3	ABSCHLIEßENDE BEMERKUNGEN	40
7	UNTERSUCHUNG SERGEBNISSE	42
7.1	BEMESSUNGSSCHIFF THERMOPYLÆ	42
7.2	BEMESSUNGSSCHIFF TØNSBERG	42
7.3	ÜBERTRAGBARKEIT	43
8	VERTÄUUNG.....	45
8.1	VERTÄUUNG IST-ZUSTAND AN EMSPIER UND EMSKAI.....	45
8.2	VERTÄUUNG BAUPHASE	46
8.3	VERTÄUUNG PLAN-ZUSTAND AM GSLP	47

9	EMPFEHLUNGEN	48
9.1	BAUPHASE DES GSLP	48
9.2	BETRIEBSPHASE DES GSLP	48
9.2.1	Vertäuung am GSLP	48
9.3	VERKEHRSLLENKUNG	49
	LITERATURVERZEICHNIS	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ist-Zustand im Außenhafen Emden mit Emskai und Emspier (Quelle: NPorts).....	8
Abbildung 2: Phasenmodell der nautischen Sicherheitsanalyse	9
Abbildung 3: Schematischer Aufbau des RDE ANS 6000 am Fraunhofer CML.....	10
Abbildung 4: Backborddrehkreis des Bemessungsschiffs Thermopylæ	14
Abbildung 5: Steuerborddrehkreis des Bemessungsschiffs Thermopylæ	15
Abbildung 6: Backborddrehkreis des Bemessungsschiffs Tønsberg.....	17
Abbildung 7: Steuerborddrehkreis des Bemessungsschiffs Tønsberg	18
Abbildung 8: Untersuchungs-Zustand im Außenhafen Emden mit Emskai, GSLP und Emspier (Quelle: NPorts)	19
Abbildung 9: Seekartenausschnitt Ist-Zustand	19
Abbildung 10: Seekartenausschnitt Plan-Zustand.....	20
Abbildung 11: Verlaufskurven der Nipp- und Springtide.....	21
Abbildung 12: Bathymetrie des Ems-Ästuars (Quelle: DHI-WASY).....	22
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung von Windrichtung und –stärke an der Messstation Borkum (Quelle: DWD).....	23
Abbildung 14: Untersuchungsbereich Ist-Zustand.....	24
Abbildung 15: Untersuchungsbereich Plan-Zustand	25
Abbildung 16: Exemplarischer Schleppereinsatz beim Anlegen (Quelle: Nach (Hensen, 2003)).....	26
Abbildung 17: Exemplarischer Schleppereinsatz beim Ablegen (Quelle: Nach (Hensen, 2003)).....	27
Abbildung 18: Verfügbarer Drehmanöverraum Bemessungsschiffe.....	28
Abbildung 19: Anlegen mit der Thermopylæ am Emskai bei Bft5 aus Nord	30
Abbildung 20: Ergebnisübersicht der Simulationsläufe bei Nordwestwind	31
Abbildung 21: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft5 aus Nordwest und Flutstrom.....	32
Abbildung 22: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft7 aus Südwest und Ebbstrom.....	33
Abbildung 23: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft5 aus Süd und Stauwasser.....	34
Abbildung 24: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft7 aus Nordwest und Stauwasser	35
Abbildung 25: Ablegen mit der Thermopylæ vom Emskai bei Bft5 aus Nord	36
Abbildung 26: Ablegen mit der Thermopylæ vom GSLP bei Bft7 aus Nordwest	37
Abbildung 27: Ablegen mit der Thermopylæ vom Emskai bei Bft5 aus Südwest und Flutstrom.....	38
Abbildung 28: Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Bft5 aus Süden.....	39
Abbildung 29: Ergebnisübersicht aller Simulationsläufe	40
Abbildung 30: Standard-Vertäuung der Thermopylæ am Emskai	46
Abbildung 31: Vertäu-Vorschlag für die Thermopylæ am Emskai während der Bauphase des GSLP ...	46

Für alle Seekartendarstellungen in Bericht und Anhang gilt:

Die Darstellung der Kartendaten basiert grundlegend auf den Daten der Navionics Inc.; Einfügungen und Änderungen dieser Daten entsprechend der Planungen zum GSLP Emden erfolgten durch das Fraunhofer CML, Hamburg.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kenndaten der Bemessungsschiffe Thermopylæ und Tønsberg	12
Tabelle 2: Angaben zur Maschinenanlage des Bemessungsschiffe Thermopylæ.....	12
Tabelle 3: Kennwerte zum Stoppverhalten des Bemessungsschiffs Thermopylæ	13
Tabelle 4: Berechnete Auswirkungen durch Squat beim Bemessungsschiff Thermopylæ.....	16
Tabelle 5: Angaben zur Maschinenanlage des Bemessungsschiffs Tønsberg.....	16
Tabelle 6: Kennwerte zum Stoppverhalten des Bemessungsschiffs Tønsberg.....	17
Tabelle 7: Berechnete Auswirkungen durch Squat beim Bemessungsschiff Tønsberg.....	18
Tabelle 8: Kenndaten beider Bemessungsschiffe (MARIN).....	44

1 PROJEKTbeschreibung

Die Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG lässt eine Machbarkeitsstudie für den Bau eines Großschiffsliegeplatz (GSLP) im Außenhafen Emden erstellen. Das Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML und die Lotsenbrüderschaft Emden führen für die Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH eine Untersuchung über die nautische Erreichbarkeit der Vorzugsvariante des Liegeplatzes durch, deren Ergebnisse anschließend in die Gesamtmachbarkeitsstudie einfließen.

Die Durchführung dieser nautischen Analyse erfolgt in den drei Schritten:

1. Durchführung von Simulationsfahrten innerhalb der Planungsvarianten,
2. Bewertung der Erreichbarkeit sowie Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen und
3. Begleitung der Genehmigungsantragserstellung aus nautischer Sicht.

Die Simulationsfahrten werden am CML-eigenen Schiffsführungssimulator RDE ANS 6000 durchgeführt. Mit zwei Bemessungsschiffen unterschiedlicher Abmessungen werden An- und Ablegemanöver an den zwei Bestandsliegeplätzen sowie am zukünftigen GSLP durchgeführt. Ausgehend von den Ergebnissen der Läufe werden Empfehlungen ausgesprochen, die dazu geeignet sind, die nautische Erreichbarkeit der drei Liegeplätze des Außenhafens Emden während der Bau- und Betriebsphase des GSLP zu verbessern. Zudem werden Aussagen zur Vertäuplanung zukünftiger Großschiffe sowie Empfehlungen zur Verkehrslenkung getroffen.

1.1 Abkürzungen

AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
ANS	Advanced Nautical Simulator
ASA	Allmennaksjeselskap
Bft	Beaufort
BRZ	Bruttoraumzahl
B&W	Burmeister & Wain Maskin- og Skibsbyggeri A/S
CEU	Car Equivalent Unit
DBGS	Datenbasengenerierstation
DNV GL	Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
ENC	Electronic Navigational Chart
FPP	Fixed Pitch Propeller
GSLP	Großschiffsliegeplatz
kN	Kilonewton
LAT	Lowest Astronomical Tide
m	Meter
m ²	Quadratmeter
MCR	Maximum Continuous Rating
NPorts	Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
OCIMF	Oil Companies International Marine Forum
PIANC	World Association for Waterborne Transport Infrastructure (ehemals Permanent International Association of Navigation Congresses)
PS	Pferdestärke
RDE	Rheinmetall Defence Electronics GmbH
RoRo	Roll-on/Roll-off
rpm	Revolutions Per Minute
SIMOPT	Simulation to Optimize Simulator Ship Models and Maneuvers
SKN	Seekartennull
sm	Seemeile
SQL	Structured Query Language
t	Metrische Tonne
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt

2 EINLEITUNG

Mit dem Emskai und der Emspier stehen im Emdener Außenhafen zwei Liegeplätze zur Verfügung, welche sich besonders für den Umschlag von rollender Ladung eignen. Am östlich gelegenen Emskai mit einer Kailänge von 270m legen regelmäßig Schiffe mit einer Länge von bis zu 214m an, während am 250m langen, westlich gelegenen Emspier aktuell Schiffe mit einer Länge von bis zu 228m abgefertigt werden.



Abbildung 1: Ist-Zustand im Außenhafen Emden mit Emskai und Emspier (Quelle: NPorts)

Wie im Rahmen der Gesamtmachbarkeitsstudie zum Großschiffsliegeplatz (GSLP) von Los 5 Wirtschaftlichkeits-/Bedarfsnachweis ermittelt wurde, ist in den letzten Jahren an den beiden bestehenden Liegeplätzen ein Schiffsgrößenzuwachs zu beobachten gewesen, sodass vor allem Schiffe im oberen Größensegment mit einer BRZ von mehr als 60.000 regelmäßig den Emdener Außenhafen anlaufen. Für die kommenden Jahre bis 2035 wird erwartet, dass die maximale BRZ-Größe auf nahezu 80.000 ansteigen könnte.

Aus der aktuellen Auslastung der Bestandsanlagen und der Zunahme größerer Verkehre erwachsen Überlegungen für einen Lückenschluss zwischen den beiden Liegeplätzen. Als Teil der Gesamtmachbarkeitsstudie führt das Fraunhofer CML zusammen mit der Lotsenbrüderschaft Emden im Unterauftrag der Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH eine nautische Untersuchung durch.

3 METHODIK

Die vorliegende Untersuchung analysiert das Bauvorhaben des GSLP unter den Gesichtspunkten der nautischen Sicherheit. Hierunter wird eine möglichst geringe Gefährdung der Hafeninfrastruktur und der Seeschifffahrt durch bspw. Kollisionen oder Strandungen verstanden. Ein bewährtes und empfohlenes Mittel zur Evaluierung von Entwürfen von Fahrwassern und Hafenanlagen ist die Schiffsführungssimulation (PIANC, 2014).

Hierzu wird in einem Schiffsführungssimulator eine dreidimensionale Simulationsumgebung erstellt, in welcher die zu untersuchende Umgebung nachmodelliert wird. Dies umfasst die Gewässergestalt sowie Umweltparameter wie Wind, Seegang, Tiden- und Strömungsverläufe. In dieser Simulationsumgebung führen reviererfahrene Nautiker Manöversuche mit einem hydrodynamischen Schiffsmodell durch.

Alternativ wären auch beschleunigte Simulationsmethoden denkbar, in denen Entscheidungsmodelle zum Einsatz kommen, die den Faktor Mensch mathematisch berücksichtigen. Bei der Auswertung von Seeunfallstatistiken wird jedoch schnell deutlich, dass diesem Faktor eine besondere Bedeutung beizumessen ist. Aus diesem Grund werden die Schiffsführungssimulationen für die nautische Untersuchung des GSLP Emden in Echtzeit entlang der vier in Abbildung 2 dargestellten Phasen durchgeführt.

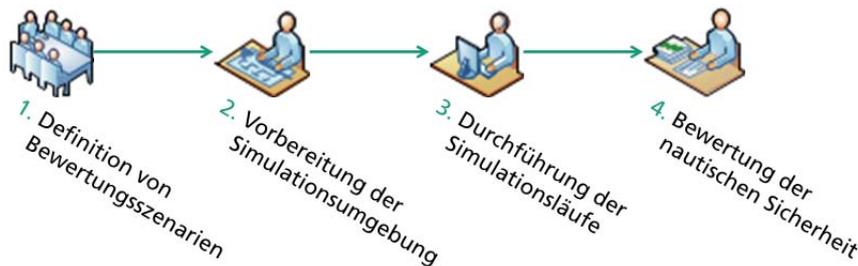


Abbildung 2: Phasenmodell der nautischen Sicherheitsanalyse

In Gesprächen wird das Expertenwissen von Fachleuten für das zu untersuchende Revier und den zu untersuchenden Schiffstypen aufgenommen. Zusätzlich werden weitere Informationen über das Untersuchungsgebiet, z.B. aus nautischen Publikationen und meteorologischen Aufzeichnungen gewonnen. Diese Datengrundlage dient der Festlegung der Hauptuntersuchungsfragen, entsprechend derer die Bewertungsszenarien entworfen werden.

Im zweiten Schritt wird die Simulationsumgebung, die so genannte Datenbasis, generiert. Hierzu wird eine elektronische Seekarte (ENC) erstellt, bzw. den Erfordernissen angepasst. Weiterhin werden Daten zu Gewässertopographie, Pegelwasserständen und Strömungsverläufen integriert. Außerdem wird ein hydrodynamisches Bemessungsschiff modelliert sowie das Schiff und die Umgebung als dreidimensionales Sichtmodell erstellt.

Zur Durchführung der eigentlichen Schiffsführungssimulation wird auf erfahrene Patentinhaber zurückgegriffen. In Echtzeit führen Brückenoffiziere entsprechend der vorab definierten Bewertungsszenarien Schiffsmanöver unter verschiedenen Simulationsparametern durch.

Im finalen Schritt werden die gefahrenen Manöver analysiert. Hier soll anhand von Kennzahlen ermittelt werden, unter welchen Bedingungen das Bemessungsschiff sicher im untersuchten Revier navigieren kann. Darüber hinaus werden aus den Untersuchungsergebnissen auch Empfehlungen für die weitere Verbesserung der nautischen Sicherheit abgeleitet.

4 SIMULATIONSUMGEBUNG

Der am Fraunhofer CML verwendete Schiffsführungssimulator ist ein ANS 6000 der Firma Rheinmetall Defence Electronics GmbH (RDE). Diese Anlage ermöglicht ein realitätsnahes Modellieren von Simulationsumgebungen und Bemessungsschiffen und wird daher auch verbreitet in der Aus- und Weiterbildung von bspw. Schiffsoffizieren und Lotsen eingesetzt.

4.1 Schiffsführungssimulator

Der RDE ANS 6000 zeichnet sich besonders durch die komplexe Hydrodynamik der Schiffsmodelle aus und ermöglicht dadurch die präzise Abbildung von:

- Flachwassereffekt,
- Bankeffekt und
- Begegnungseffekt,

die besonders bei Manövern in flachen und engen Gewässern eine große Rolle spielen. Durch die Verwendung dieser Anlage wird eine bestmögliche Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf das reale Revier sichergestellt. Abbildung 3 stellt den Aufbau des Schiffsführungssimulators schematisch dar.



Abbildung 3: Schematischer Aufbau des RDE ANS 6000 am Fraunhofer CML

Das für die nautische Untersuchung maßgebliche Bemessungsschiff wird durch den Schiffsführer von einer Simulatorbrücke aus kontrolliert. Diese besteht aus:

- 120°-Sichtsystem,
- Generische ECDIS-Konsole,
- Generische Radar-Konsole,
- Generische Conning-Konsole sowie
- Fahrhebeln für:
 - o Hauptmaschine,
 - o Ruder und
 - o Strahlruder.

Zusätzlich zum eigentlichen Bemessungsschiff können auch zusätzliche Schiffe zur Simulation von weiteren Verkehren sowie von Schleppern genutzt werden, die von einer Instruktor-Station gesteuert werden.

Zur Erstellung des Umgebungsmodells wird die Datenbasengenerierstation (DBGS) genutzt. Hier erfolgt die Modellierung der Hydrodynamik des Bemessungsschiffs mit Hilfe der Software

SIMOPT. Mit dem SevenCs ENC Designer können außerdem elektronische Seekarten erstellt und verändert werden, die als Ausgangspunkt für die Erstellung der Datenbasis mittels des Visual Coastline Generators (VCG) dienen. Sowohl für die 3D-Modellierung der Simulationsumgebung, als auch des Bemessungsschiffs wird die Software Presagis Creator genutzt.

Zum Zwecke der Datenaufzeichnung und um eine spätere Auswertung in hoher Qualität sicherstellen zu können, ist am Fraunhofer CML eine objektorientierte SQL-Datenbank angelegt worden. Die Anbindung an den Schiffsführungssimulator erfolgt über ein Shared-Memory-Interface.

4.2 Bemessungsschiffsmodellierung

Auf Basis der Ergebnisse des nautischen Expertengesprächs vom 30.07.2015 und der anschließenden Abstimmung mit dem Auftraggeber NPorts empfiehlt das Fraunhofer CML eine hydrodynamische Modellierung der Autotransportschiffe Thermopylæ mit einem Tiefgang von 10,5m und Tønsberg mit einem Tiefgang von 9,5m. Die Thermopylæ entspricht in etwa einer Schiffsgröße, die mit einem Tiefgang von 9,8m bereits in Emden abgefertigt wird, während die Tønsberg die bisherige maximale Länge um 37,0m überschreitet. Aufgrund des aktuellen Querprofils der Ems kann nicht ohne weiteres davon ausgegangen werden, dass ein Drehmanöver im Bereich vor den Außenhafenliegeplätzen mit einer voll abgeladenen Tønsberg möglich ist. Aus diesem Grund wird das Bemessungsschiff in Abstimmung mit den Auftraggebern statt mit dem maximalen Tiefgang von 12,30m mit einem Tiefgang von 10,5m modelliert.

Mit diesen Bemessungsschiffen kann die nautische Erreichbarkeit der beiden Bestandsliegeplätze während der Bauphase des GSLP sowie der Betriebsphase untersucht werden. Weiterhin erlauben die unterschiedlichen Schiffsmodelle die Durchführung von Simulationen bei unterschiedlichen Umweltverhältnissen. Aus den Simulationsergebnissen, die mit diesen Bemessungsschiffen gewonnen werden, können auch Aussagen über die Erreichbarkeit der Außenhafenliegeplätze mit anderen Schiffstypen und -größen abgeleitet werden.

Die Modellierung des Manövrier- und Maschinenverhaltens der Bemessungsschiffe wird anhand von Daten vorgenommen, die von der Reederei Wilh. Wilhelmsen ASA zur Verfügung gestellt werden. Das Modell wird innerhalb des RDE ANS 6000 des Fraunhofer CML implementiert. Aufgrund der vorliegenden Manöverdaten und -graphen können die Simulationsergebnisse des hydrodynamischen Modells mit den Ergebnissen der vorliegenden numerischen Berechnungen abgeglichen und das Modell entsprechend feinjustiert werden.

Die relevanten Hauptabmessungen und Kennwerte der beiden zu modellierenden Schiffe sind in Tabelle 1 gegenübergestellt.

Tabelle 1: Kenndaten der Bemessungsschiffe Thermopylæ und Tønsberg

	Thermopylæ	Tønsberg
Typ	RoRo Car Carrier	RoRo Car Carrier
Kapazität	8000 CEU	5990 CEU
Länge über alles	199,9m	265,0m
Breite	36,5m	32,23m
Tiefgang f.sc.	10,5m	12,3m
Modelltiefgang	10,5m	9,5m
Maschine	B&W S60ME-C8, 8 Zylinder 105rpm @15.560kW MCR	B&W L70ME-C8, 7 Zylinder 95rpm @20.100kW MCR
Propeller	1xFPP	1xFPP
Querstrahlruder	1x2.100kW	2x1.850kW

Auf Basis der vorliegenden Daten errechnen sich für das Modell der Thermopylæ eine Verdrängung von 47.272t, eine Windfrontalfläche von 1.387m² und eine Windlateralfäche von 6.400m². Für das Bemessungsschiff Tønsberg ergibt sich entsprechend eine Verdrängung von 56.043t, eine Windfrontalfläche von 1.019m² und eine Windlateralfäche von 7.125m².

4.2.1 Bemessungsschiff Thermopylæ

Wie in Tabelle 1 zusammengefasst, hat das Schiffsmodell bei einer Länge über alles von 199,9m, einer Breite von 36,5m und einem maximalen Tiefgang von 10,5m eine Verdrängung von 47.272t sowie eine Ladekapazität von etwa 8.000 CEU. Angetrieben wird die Thermopylæ durch einen Dieselmotor der Firma B&W mit einer Leistung von 15.560kW, der direkt auf einen Festpropeller wirkt. Zusätzlich ist ein Bugstrahlruder mit einer Leistung von 2.100kW vorhanden.

Auf Basis der vorliegenden Daten wird das Verhalten des Maschinenmodells berechnet. Für das modellierte Bemessungsschiff ergibt sich die in Tabelle 2 zusammengestellte Zuordnung von Fahrhebelstellung, Drehzahl und Geschwindigkeit.

Tabelle 2: Angaben zur Maschinenanlage des Bemessungsschiffe Thermopylæ

Fahrhebelstellung	Drehzahl [rpm]	Geschwindigkeit [kn]
Voraus voll	104	19,1
Voraus halb	70	13,7
Voraus langsam	53	10,6
Voraus ganz langsam	42	7,4
Zurück ganz langsam	-42	-4,9
Zurück langsam	-53	-7,3
Zurück halb	-70	-11,1
Zurück voll	-84	-13,5

Mit der so modellierten Antriebsanlage werden zwei Stoppversuche simuliert, deren Ergebnisse in Tabelle 3 dargestellt sind. Dabei werden ein Crash-Stop- und ein Coasting-Stop-Manöver gegenübergestellt. Das Verhalten wird so modelliert, dass die Ergebnisse weder für das Stoppen durch eine Fahrhebelstellung auf Zurück voll (Crash Stop) noch auf Stopp (Coasting Stop) gegenüber den eigentlichen Schiffsdaten prozentual stark voneinander abweichen, sondern einen guten Kompromiss darstellen, der auch nach Rücksprache mit nautischen Experten realistisch erscheint.

Tabelle 3: Kennwerte zum Stoppverhalten des Bemessungsschiffs Thermopyläe

	Crash Stop	Coasting Stop
Anfangsgeschwindigkeit [kn]	19,1	19,1
Längsweg [m]	2.342	3.073
Querversatz [m]	290	702
Endgeschwindigkeit [kn]	0,0	8,0
Endmaschinendrehzahl [rpm]	-89,0	24,8
Zeit [s]	404	512

Neben dem Stoppverhalten wird das Bemessungsschiff entsprechend der zur Modellierung vorliegenden Daten von Drehkreis- und Zickzack-Manövern erstellt. Beide Manöver sollen miteinander verträgliche Ergebnisse liefern, wobei hier für die Feinjustierung des Modells dem Zickzack-Manöver eine etwas höhere Bedeutung zugewiesen wird, da aus den Zickzack-Manöverdaten aussagekräftigere Schlussfolgerungen für eine kurswechselintensive Revierfahrt gezogen werden können als aus einem reinen Drehkreisversuch.

Aus dieser Grundannahme ergibt sich ein Backbord-Drehkreis mit einem taktischen Durchmesser von 567m bzw. von 582m über Steuerbord. Dies ist in guter Übereinstimmung mit den vorliegenden Simulationsergebnissen. Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die Drehkreise nach Backbord und Steuerbord.

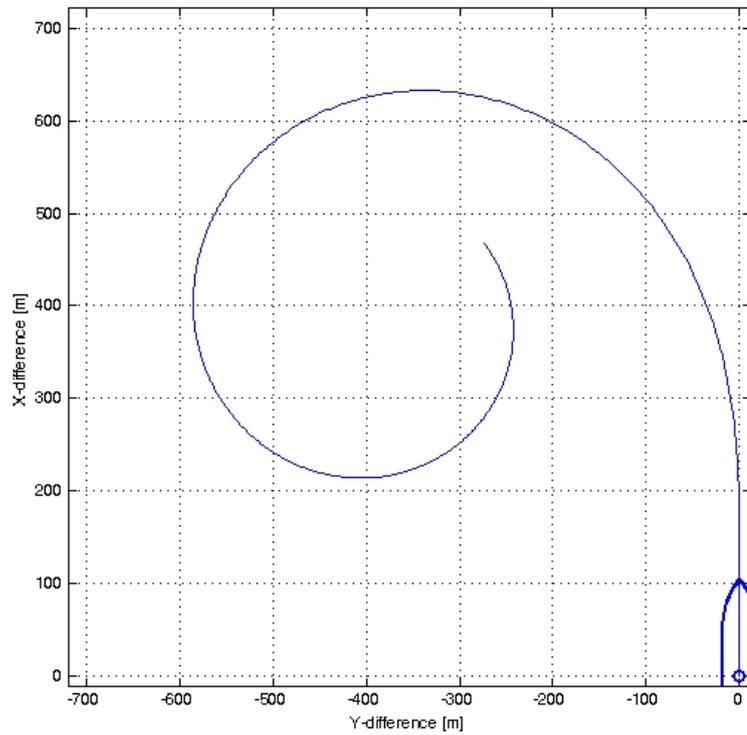


Abbildung 4: Backborddrehkreis des Bemessungsschiffs Thermopylae

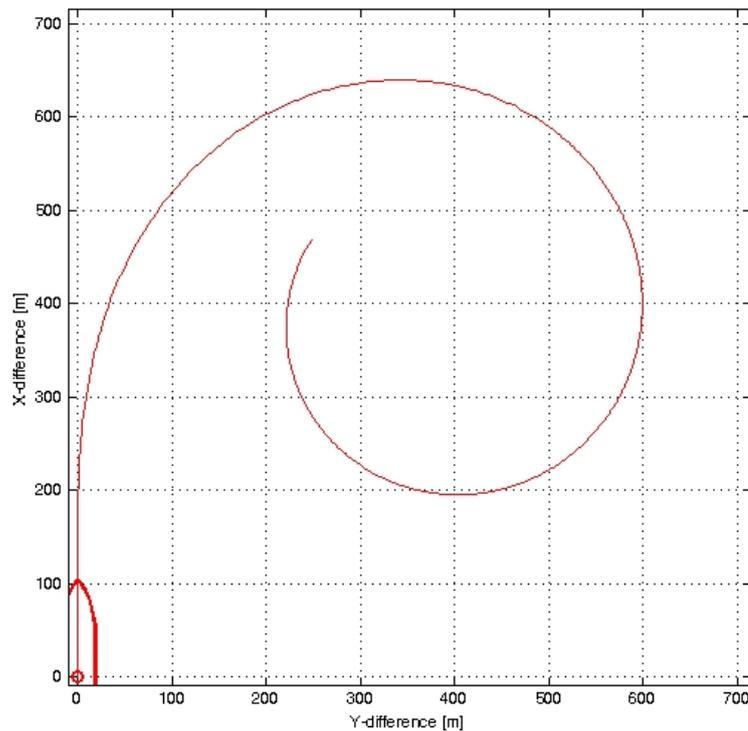


Abbildung 5: Steuerborddrehkreis des Bemessungsschiffs Thermopylæ

Der erste Überschwingwinkel im 20°/20°-Zickzack-Manöver beträgt maximal 14,8° und der zweite maximal 16,0°.

Teil der Simulationen soll ebenfalls das Verhalten der Bemessungsschiffe bei unterschiedlichen Wind- und Strömungsverhältnissen sein. Zusätzlich zur Geometrie des Rumpfes und den entsprechenden hydrodynamischen Koeffizienten ist die Windangriffsfläche zu berücksichtigen. Kommt der Wind direkt von vorne oder von achtern, so entspricht dies der Windhauptspantfläche des Schiffes, die im Falle des Thermopylæ-Modells ca. 1.400m² misst. Für die Berücksichtigung des Seitenwinds muss die Seitenlateralfäche des Rumpfes inklusive der Aufbauten bestimmt werden, im vorliegenden Fall sind dies etwa 6.400m².

Zusätzlich sind Flachwassereffekte, also die Absenkung eines fahrenden Schiffes aufgrund geringer Wassertiefe maßgeblich, vor allem hinsichtlich des Schiffswiderstands und der damit einhergehenden Geschwindigkeitsreduzierung zu beachten. Bei der Berechnung dieses sogenannten Squats ist die Annahme üblich, dass die Wassertiefe dem 1,2-fachen des Tiefgangs entspricht. Für das Modell der Thermopylæ ergibt sich somit eine Kielfreiheit von 2,1m. In Tabelle 4 sind die daraus resultierenden maximalen Absenkungen an Bug und Heck für verschiedene Geschwindigkeiten aufgeführt.

Tabelle 4: Berechnete Auswirkungen durch Squat beim Bemessungsschiff Thermopylæ

Kielfreiheit [m]	Geschwindigkeit [kn]	Max. Squat Bug/Heck [m]
2,1	4	0,08 / 0,11
	6	0,18 / 0,25
	8	0,32 / 0,45
	10	0,51 / 0,71

4.2.2 Bemessungsschiff Tønsberg

Das zweite Bemessungsschiff Tønsberg ist ebenfalls ein RoRo Car Carrier, jedoch um 65,0m länger, dabei aber über 4,0m schmaler als das Modell der Thermopylæ. Mit dem um 1,8m höheren Maximaltiefgang erreicht das Tønsberg-Modell somit die ca. 1,5-fache maximale Verdrängung des Thermopylæ-Modells. Die CEU-Kapazität ist bei der Tønsberg dennoch geringer, da vermehrt Schwerlaststellplätze vorgesehen sind.

Die Antriebsanlage der Tønsberg ist prinzipiell ähnlich, jedoch wirkt der ebenfalls von B&W hergestellte Dieselmotor mit einer höheren Leistung von 20.100kW auf die Welle und den angeschlossenen Festpropeller. Zusätzlich ist ein Wellengenerator mit einer Nennleistung von 1.100kW installiert. Um das Manövrieren während der Revierfahrt zu erleichtern verfügt das Bemessungsschiff Tønsberg über je einen Bug- und Heckstrahler mit einer Leistung von jeweils 1.850kW.

In Tabelle 5 sind die Zuordnung von Fahrhebelstellung, Drehzahl und Geschwindigkeit aufgeführt.

Tabelle 5: Angaben zur Maschinenanlage des Bemessungsschiffs Tønsberg

Fahrhebelstellung	Drehzahl [rpm]	Geschwindigkeit [kn]
Voraus voll	92	20,3
Voraus halb	48	11,4
Voraus langsam	40	9,3
Voraus ganz langsam	25	3,9
Zurück ganz langsam	-25	-2,5
Zurück langsam	-40	-5,7
Zurück halb	-48	-7,6
Zurück voll	-55	-9,4

Auch mit dem Tønsberg-Modell werden ein Crash-Stop- und ein Coasting-Stop-Manöver durchgeführt. Im Gegensatz zum Bemessungsschiff Thermopylæ werden die Manöverdaten des Modells der Tønsberg nicht auf Maximaltiefgang, sondern auf einem Modelltiefgang von T=9,5m durchgeführt. Die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 6 zu finden.

Tabelle 6: Kennwerte zum Stopverhalten des Bemessungsschiffs Tønsberg

	Crash Stop	Coasting Stop
Anfangsgeschwindigkeit [kn]	20,3	20,3
Längsweg [m]	2949	3232
Querversatz [m]	734	1180
Endgeschwindigkeit [kn]	0,0	5,0
Endmaschinendrehzahl [rpm]	-59	0
Zeit [s]	582	659

Die für die Revierfahrt aussagekräftigeren Manöverversuche sind der Drehkreis- und Zickzackversuch. Wieder liegt der Fokus hier eher auf dem Zickzackversuch, wobei trotzdem ein guter Kompromiss aus beiden Versuchen angestrebt wird.

Aufgrund der höheren Verdrängung und den damit einhergehenden, höheren Trägheitskräften des Bemessungsschiffs Tønsberg sind auch höhere Durchmesser der Drehkreise zu erwarten. Die numerischen Berechnungen bestätigen dies, das Tønsberg-Modell fährt einen taktischen Backbord-Durchmesser von 806m bzw. 823m über Steuerbord im Drehkreisversuch. In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Drehkreise nach Backbord und Steuerbord dargestellt.

Im 20°/20°-Zickzack-Manöver weist das Modell der Tønsberg einen maximalen ersten Überschwingwinkel von 12,3° und einen maximalen zweiten Überschwingwinkel von 13,7° auf. Beide Überschwingwinkel liegen damit unter denen des Bemessungsschiffs Thermopyläe.

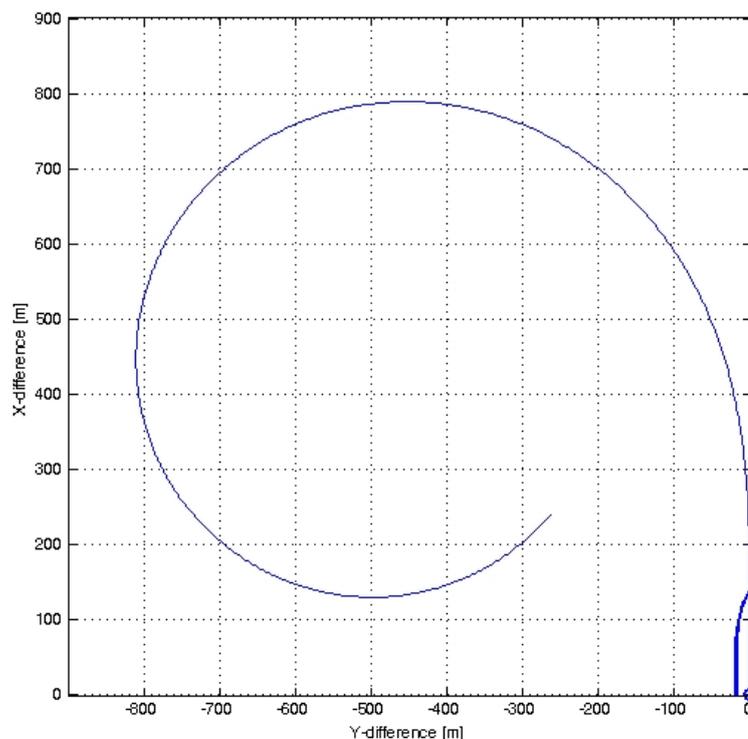


Abbildung 6: Backborddrehkreis des Bemessungsschiffs Tønsberg

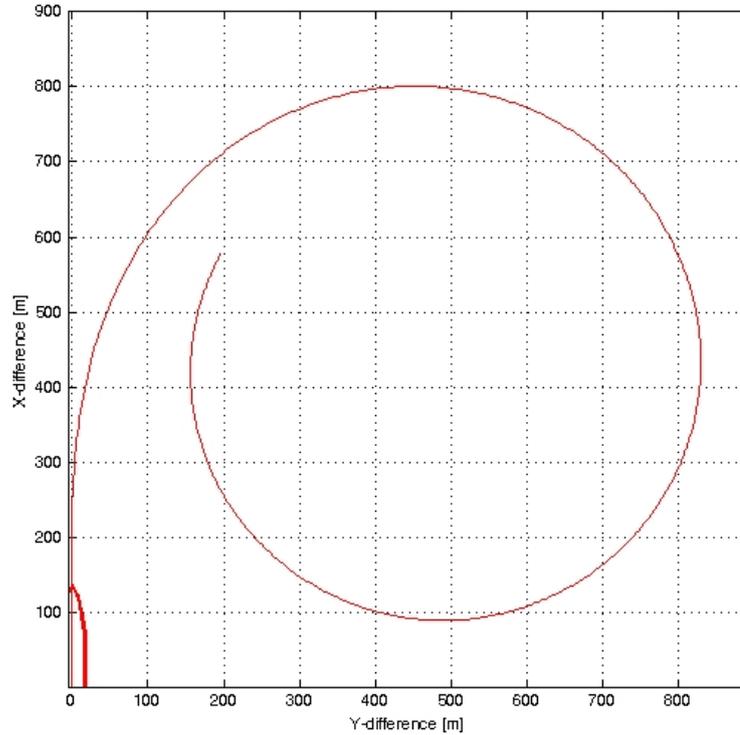


Abbildung 7: Steuerborddrehkreis des Bemessungsschiffs Tønsberg

Die Windhauptspantfläche der Tønsberg ist durch die geringere Breite kleiner als die der Thermopylæ, sie beträgt nur ca. 1.000m², während die Windseitenfläche durch die größere Länge der Tønsberg über 7.100m² beträgt.

Durch den geringeren Modelltiefgang der Tønsberg ergibt sich für die Berechnung des Squats eine geringere Kielfreiheit von nur noch 1,9m, da das Verhältnis des Tiefgangs zur Wassertiefe konstant bei 1,2 gehalten wird. In Tabelle 7 sind die geschätzten Absenkungen für verschiedene Geschwindigkeiten aufgeführt.

Tabelle 7: Berechnete Auswirkungen durch Squat beim Bemessungsschiff Tønsberg

Kielfreiheit [m]	Geschwindigkeit [kn]	Max. Squat Bug/Heck [m]
2,1	5	0,13 / 0,18
	8	0,34 / 0,45
	10	0,53 / 0,71
	12	0,76 / 1,02

4.3 Umgebungsmodellierung

Die nautische Untersuchung zur Umsetzung der Pläne zum Großschiffsliegeplatz in Emden wird in zwei Simulationsumgebungen durchgeführt. Zum einen soll die Erreichbarkeit der bestehenden Liegeplätze durch Schiffe aktueller Größe während der Bauphase des GSLP

untersucht werden (Abbildung 1). Zum anderen soll der GSLP auf seine Eignung für das sichere An- und Ablegen von größeren Schiffseinheiten geprüft werden (Abbildung 8).



Abbildung 8: Untersuchungs-Zustand im Außenhafen Emden mit Emskai, GSLP und Emspier
(Quelle: NPorts)

Die Modellierung der Simulationsumgebung basiert auf Daten, die von weiteren Projektbeteiligten, insbesondere NPorts und DHI-WASY, bereitgestellt wurden. Ausgangspunkt bildet dabei die elektronische Seekarte des Mündungsgebietes der Ems, die für die Zwecke der nautischen Untersuchung angepasst wurde.

4.3.1 Untersuchungsvarianten

Wie bereits erwähnt, werden für die Simulation zwei unterschiedliche Untersuchungsvarianten genutzt. Zum einen die in Abbildung 9 dargestellte Variante des Ist-Zustands des Außenhafens.

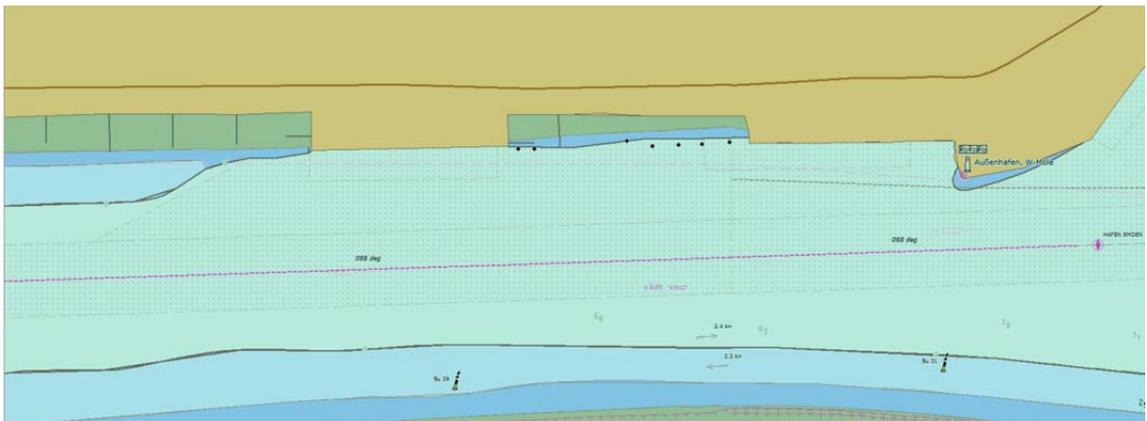


Abbildung 9: Seekartenausschnitt Ist-Zustand

Die zweite Untersuchungsvariante stellt den Zustand nach einer perspektivischen Fertigstellung des GSLP als Lückenschluss zwischen Emskai und Emspier dar. Die Leinenstege sind entfernt und eine gerade Spundwand verbindet die beiden Terminals. Hierdurch entsteht eine durchgehende Kaianlage von insgesamt 855m Länge. Vor dem neuen Liegeplatz wird

zusätzlich eine Liegewanne von 300,0m Länge, 54,0m Breite und einer Wassertiefe von 12,2m über SKN eingefügt. Abbildung 10 zeigt die angepasste Seekarte.

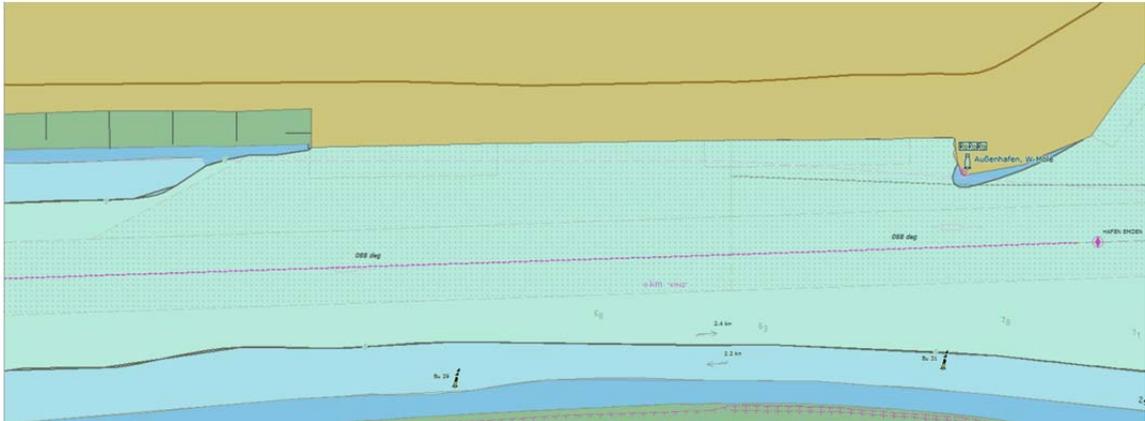


Abbildung 10: Seekartenausschnitt Plan-Zustand

4.3.2 Umgebungsvisualisierung

Aufbauend auf der zweidimensionalen Seekarte wird eine dreidimensionale Umgebungsvisualisierung erzeugt, in der alle Schifffahrtszeichen wie z.B. Leuchfeuer, Lateral- und Kardinaltonnen enthalten sind. Außerdem werden weitere Umgebungselemente wie Gebäude und Industrieanlagen hinzugefügt, um die Visualisierung realitätsnah zu gestalten.

4.4 Simulationsvariablen

Zusätzlich zu den festen Parametern wie den Bemessungsschiffen und der Simulationsumgebung existiert auch eine Vielzahl von variablen Parametern. Diese werden in einer Anzahl von Simulationsszenarien unterschiedlich kombiniert. Grundlage hierfür sind unter anderem auch die Ergebnisse des nautischen Expertengesprächs, welches am 30.07.2015 in Emden stattfand. Teilnehmer waren unter anderem der Auftraggeber Niedersachsen Ports, die Lotsenbrüderschaft Emden sowie das WSA Emden. Ziel dieses Treffens war es, Hauptuntersuchungsfragen und relevante Parameter zu definieren. Dies ist notwendig, um die Simulation möglichst realitätsnah gestalten zu können. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden diese Simulationsvariablen näher erläutert.

4.4.1 Bathymetrie, Strom- und Tidemodell

Die DHI-WASY GmbH wurde mit der Durchführung einer wasserbaulichen Systemanalyse beauftragt. Im Rahmen dieser Arbeiten von Los 6.1 der Gesamtmachbarkeitsstudie zum Großschiffsliegeplatz wurden für die nautische Untersuchung in Los 3 die folgenden Daten zur Verfügung gestellt:

- Bathymetriemodell
- Strommodell
- Tidemodell

Das gewässertopographische Modell des Ems-Ästuars verfügt im Untersuchungsbereich über eine hohe Datenaufösung mit Peilpunkten ca. alle 35m x 15m. Hierdurch kann das Bodenrelief wesentlich detaillierter abgebildet werden als es mittels der konventionellen ENC des Reviers möglich ist.

Für die Berechnungen von Wasserständen und Strömungen liegen Daten von zwei vollständigen Tidezyklen vor. Hierbei handelt es sich um eine Nipptide mit einer Hochwasserhöhe von 3,35m bei einem Tidenhub von 2,85m und um eine Springtide mit einer Hochwasserhöhe von 4,05m bei einem Tidenhub von 4,15m. Der tatsächliche mittlere Tidenhub am Messort Emden beträgt 3,00m. Beide Tidenverlaufskurven werden in Abbildung 11 dargestellt. Die Strömung erreicht bei Flut als auch bei Ebbe eine Geschwindigkeit von bis zu 2,8kn im Bereich des Außenhafens Emden.

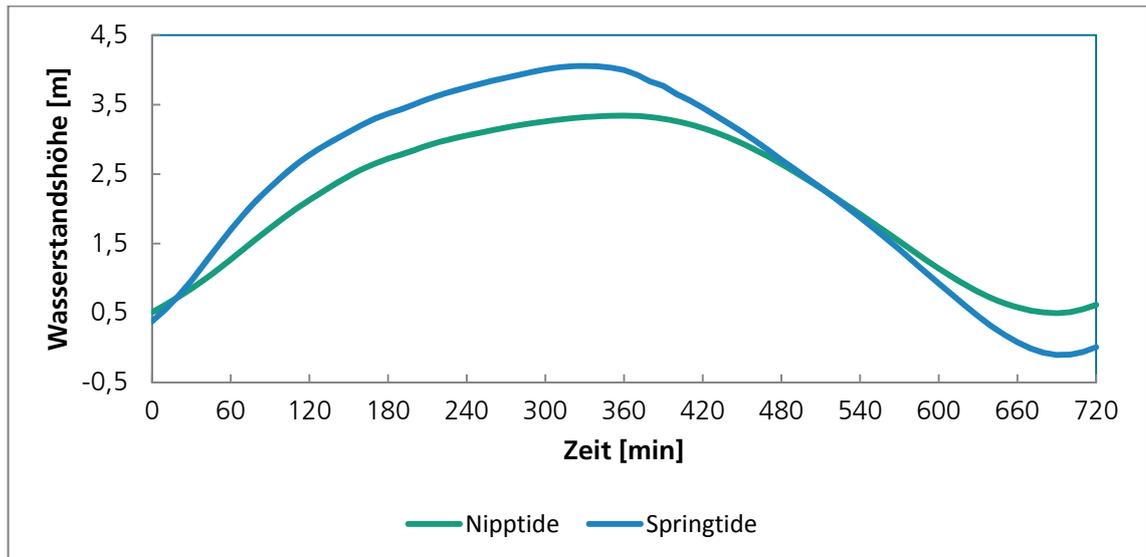


Abbildung 11: Verlaufskurven der Nipp- und Springtide

Diese hydrologischen Daten sind für die nautische Untersuchung von besonderer Bedeutung und erhöhen die Aussagekraft der Simulationsergebnisse. Die Datenmodelle haben die in Abbildung 12 dargestellte Ausdehnung des Bathymetriemodells und beziehen sich auf den Gewässerzustand nach dem Bau des GSLP.

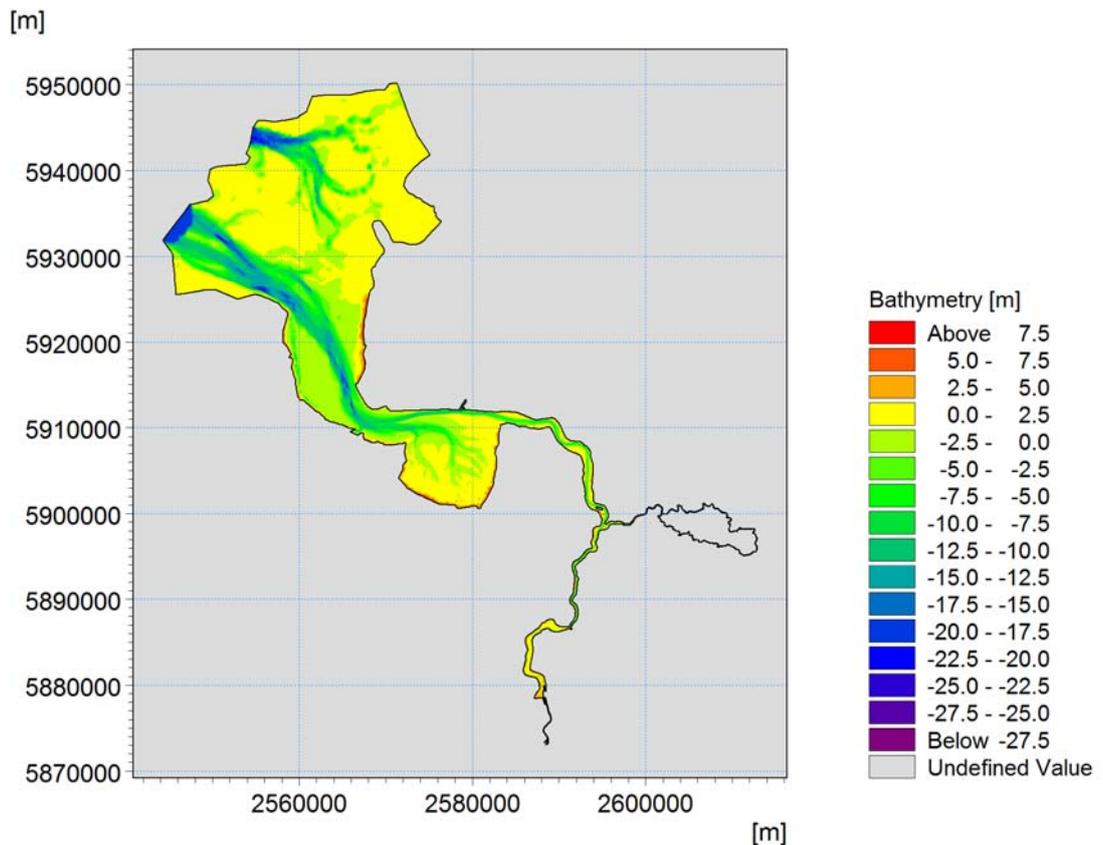


Abbildung 12: Bathymetrie des Ems-Ästuars (Quelle: DHI-WASY)

Die Wasserstände und Strömungsverhältnisse während der Simulationsfahrten basieren auf dem beschriebenen hydrodynamisch-numerischen Simulationsmodell. Aufgrund der Schiffstiefgänge von 9,5m und 10,5m werden die meisten Läufe in der Stunde um Stauwasser durchgeführt. Der Wasserstand hat dann bereits seine voll Höhe erreicht und die Strömungsgeschwindigkeit überschreitet 0,5kn nicht. Dies gilt sowohl bei der Verwendung des Nipp-, als auch des Springtidemodells. Darüber hinaus werden auch Läufe mit Flut- und Ebbstrom von Geschwindigkeiten zwischen 1,0kn und 1,5kn durchgeführt. Bei diesen Läufen, die etwas über eine Stunde vor, bzw. nach Stauwasser liegen, ist noch immer die annähernd volle Hochwasserhöhe gegeben. Aufgrund der Charakteristika der verwendeten und in Kapitel 4.2 beschriebenen Bemessungsschiffe ist die Wasserstandshöhe in dieser Untersuchung von besonderer Bedeutung. Die überwiegende Zahl der Läufe wurde mit den niedrigeren Wasserständen der Nipptide gefahren. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die meisten Hochwasserstände über dem simulierten Hochwasserstand liegen und in der Realität folglich zusätzliche Sicherheitsreserven vorhanden sind.

4.4.2 Wind und Seegang

Um die Wind- und Seegangsverhältnisse im Bereich der Emsmündung besser simulieren zu können, wird auf Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Bezug genommen. Die Stärkewindrose der Station Borkum aus den Jahren 2010 bis 2014 ist in Abbildung 13 dargestellt. Zusätzlich wurden bei dem nautischen Expertengespräch die für das Untersuchungsgebiet typischen Wind- und Seegangskonstellationen diskutiert. Aus den gewonnenen Informationen wurden die zu untersuchenden Windrichtungen und -stärken identifiziert und entsprechend in der Simulationsplanung in Kapitel 5 berücksichtigt.

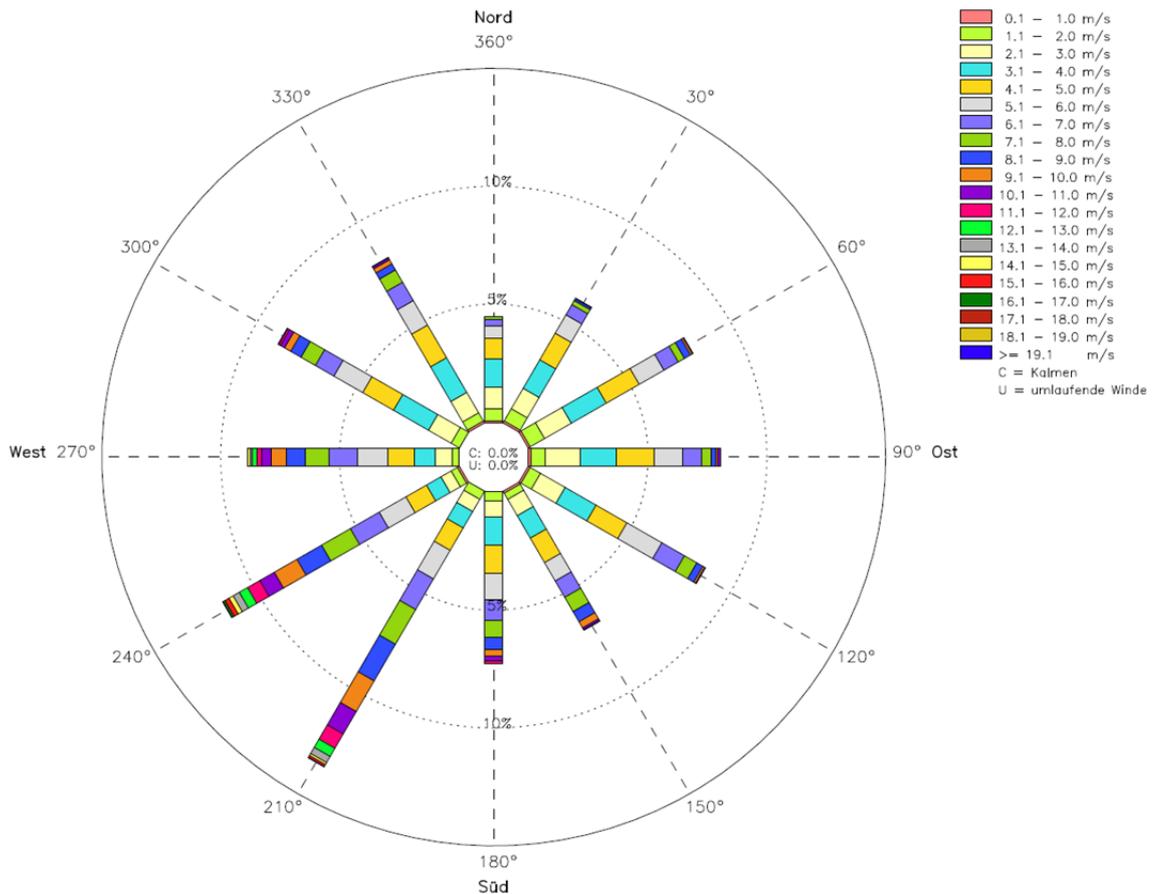


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung von Windrichtung und –stärke an der Messstation Borkum
 (Quelle: DWD)

Wie aus Abbildung 13 klar hervorgeht, herrschen in der Emsmündung westliche Winde vor, sodass Südwest und Nordwest klar als Hauptwindrichtungen für die nautische Untersuchung auszumachen sind. Aufgrund der großen Lateralfläche der Bemessungsschiffe von 6.400, bzw. 7.125m² werden zudem die beim An- und Ablegen relevanten Querwinde aus Nord und Süd berücksichtigt. Diese Windrichtungen werden mit den Windstärken Bft7 und Bft5, sowie vereinzelt auch in Bft2 simuliert.

4.4.3 Verkehrssituation

Es wird davon ausgegangen, dass durch eine vorausschauende Verkehrssteuerung sichergestellt wird, dass während der An- und Ablegemanöver der Bemessungsschiffe nicht mit weiterem Schiffsverkehr zu rechnen ist. Aus diesem Grund sind mit Ausnahme der Hafenschlepper keine weiteren Schiffe in die Simulation integriert worden. Während der Bauphase des Großschiffsliegeplatzes ist jedoch innerhalb des Baufeldes im Bereich zwischen Emspier und Emskai mit Verkehrsbeeinträchtigungen durch Baufahrzeuge zu rechnen.

4.4.4 Sichtverhältnisse

Der Großteil der Simulationsläufe wird bei einer mittleren Sichtweite von ca. 5,0sm durchgeführt. In einigen Läufen wurden die Sichtverhältnisse aber auch auf eine verminderte Sicht von ca. 2,0sm reduziert.

5 SIMULATIONSPLANUNG

Basierend auf den in Kapitel 4 beschriebenen Simulationsparametern wird ein Simulationsplan erstellt. Die verwendete Methodik sieht die Definition einer Anzahl von Initialszenarien vor, die dann in Abhängigkeit vom jeweiligen Resultat weiterentwickelt werden.

Diese Initialszenarien sehen es vor, dass mit dem Bemessungsschiff Thermopylæ vornehmlich die Untersuchungen zur Erreichbarkeit der Bestandsliegeplätze während der Bauphase des GSLP durchgeführt werden. Das Bemessungsschiff Tønsberg hingegen wird in den Simulationsläufen zur Untersuchung des sicheren An- und Ablegens am GSLP selbst genutzt. Aus den Ergebnissen der Läufe mit der 265m langen Tønsberg lassen sich trotz der unterschiedlichen Tiefgänge auch Aussagen über die 200m lange Thermopylæ ableiten. Der Hauptfokus der Simulationsläufe liegt auf der sicheren Durchführung der Drehmanöver vor dem Anlegen. Das eigentliche An- und Ablegen kann in Abhängigkeit von den Umweltparametern zwar ebenfalls anspruchsvoll sein, wird jedoch als weniger kritisch eingestuft als das Drehen im Fahrwasser.

5.1 Simulationspersonal

In die Durchführung der eigentlichen Simulationsläufe sind stets zwei Nautiker involviert. Ein Mitarbeiter des Fraunhofer CML ist für die Betreuung des Schiffsführungssimulators zuständig. Dies beinhaltet neben der Bedienung der Anlage auch die Kontrolle der in der Simulation verwendeten Schlepper. Ein Mitglied der Lotsenbrüderschaft Emden ist mit der Führung des Bemessungsschiffs betraut. Dies stellt die notwendige Erfahrung im Revier sowie im Umgang mit den Bemessungsschiffen sicher. Die Kommunikation zwischen den Beteiligten erfolgt im direkten mündlichen Austausch und in deutscher Sprache.

Im Anschluss an jeden durchgeführten Lauf werden die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert und dokumentiert. Basierend auf den erzielten Ergebnissen werden weitere Szenarielläufe durchgeführt.

5.2 Untersuchungsbereich

Der Untersuchungsbereich ist klar abgegrenzt. Untersucht werden An- und Ablegemanöver im Außenhafen Emden, explizit an Emskai, Emspier sowie am geplanten Großschiffsliegeplatz zwischen den beiden Bestandsanlagen, wie in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. Der Bereich zwischen den Tonnenpaaren 66/67 und 68/69 ist als die seeseitige Begrenzung des ca. 1,0-1,5sm langen Fahrwasserabschnitts anzusehen. Dies entspricht auch dem Bereich, in dem in der Regel der Wechsel zwischen See- und Hafenslotsen stattfindet und die Schlepper angeschlagen werden. Die Festlegung auf diesen Untersuchungsbereich ist ein weiteres Ergebnis des in Kapitel 4 erwähnten nautischen Expertengesprächs vom 30.07.2015 in Emden.

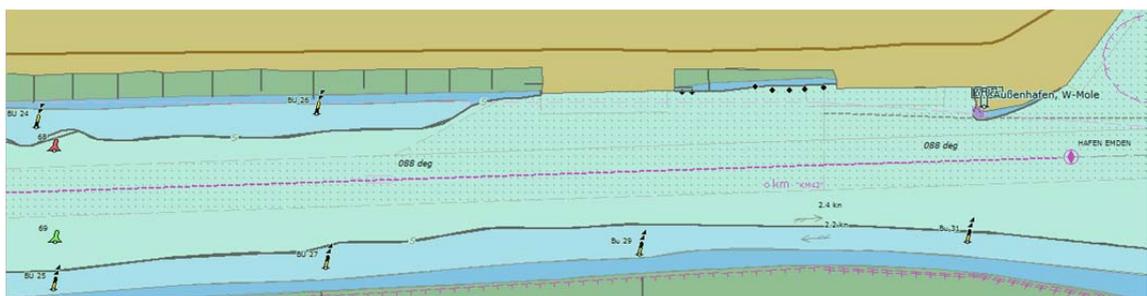


Abbildung 14: Untersuchungsbereich Ist-Zustand

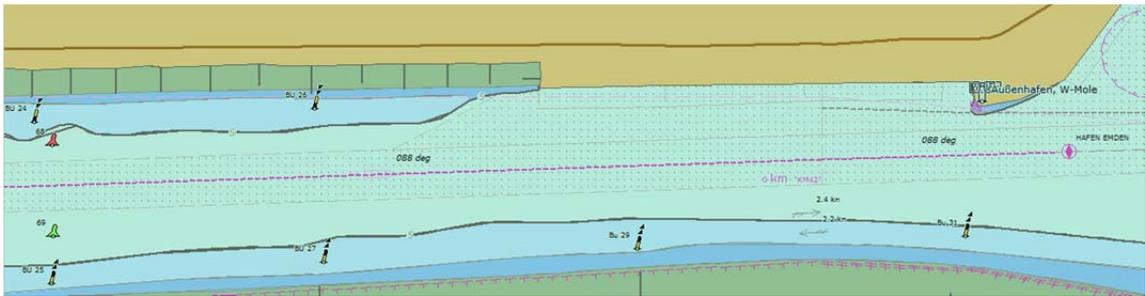


Abbildung 15: Untersuchungsbereich Plan-Zustand

5.3 Anlegemanöver

Der Hafenanlauf beginnt zwischen den Tonnenpaaren 66/67 und 68/69 des Emsfahrwassers und endet an einem der genannten Außenhafen-Liegeplätze. Die Anfangsgeschwindigkeit der Bemessungsschiffe liegt bei ca. 5,0kn und variiert leicht abhängig von den Strömungsverhältnissen.

Der besondere Fokus der Untersuchung liegt auf dem sicheren Drehen der Bemessungsschiffe sowie dem anschließenden Anlegen der Bemessungsschiffe mit Steuerbordseite. Relevante Manöverkennwerte hierfür sind die Geschwindigkeit durchs Wasser und über Grund, die Drehrate, die Kielfreiheit, der Einsatz der Manövriereinrichtungen wie Hauptmaschine, Ruder und Strahlruder sowie der Passageabstand zur Kaimauer.

In einzelnen Fällen kann es sein, dass Anlegemanöver nicht voll ausgefahren werden, wenn ab einem bestimmten Punkt mit keinem weiteren Erkenntnismehrwert zu rechnen ist. Aus Gründen der Zeitersparnis werden solche Läufe dann vor dem Erreichen der finalen Liegeposition beendet.

5.4 Ablegemanöver

Zu Manöverbeginn liegt das Schiff mit seiner Steuerbordseite und gelösten Festmacherleinen an einem der drei Liegeplätze im Außenhafen Emden. Der Endpunkt variiert in Abhängigkeit vom Manöververlauf, zumeist wird er aber durch das Tonnenpaar 68/69 markiert.

Anhand dieser Manöver soll ermittelt werden, ob die Bemessungsschiffe sicher von allen drei Liegeplätzen ablegen und kursstabil in das Emsfahrwasser einfahren können. Auch hier dienen die in Kapitel 5.3 genannten Manöverkennwerte als maßgeblich für die Bewertung des Manöververlaufs.

5.5 Schleppereinsatz

Auch der für ein sicheres Manöver notwendige Schleppereinsatz wird betrachtet. In den durchgeführten Läufen kommt eine Höchstzahl von vier Einheiten zum Einsatz. In Anlehnung an die tatsächlich in Emden vorhandenen Schlepperkapazitäten sind diese Schlepper mit einer Leistung von 2500PS und einem maximalen Pfahlzug von 35,0t modelliert (ESB, 2015). Diese theoretisch verfügbare Leistung wird zumeist jedoch nicht voll ausgeschöpft.

Regulär werden einlaufende Schiffe von je einem Schlepper vorn und achtern auf loser Leine begleitet. In Abhängigkeit der Umstände wechseln diese Schlepper auf ihre jeweiligen Arbeitspositionen, ggf. werden weitere Einheiten hinzugezogen. Da die Bemessungsschiffe immer mit der Steuerbordseite anlegen müssen, assistieren die Schlepper beim Drehmanöver.

Der Dreh kann über die Backbord- als auch über die Steuerbordseite erfolgen (vgl. Abbildung 16).

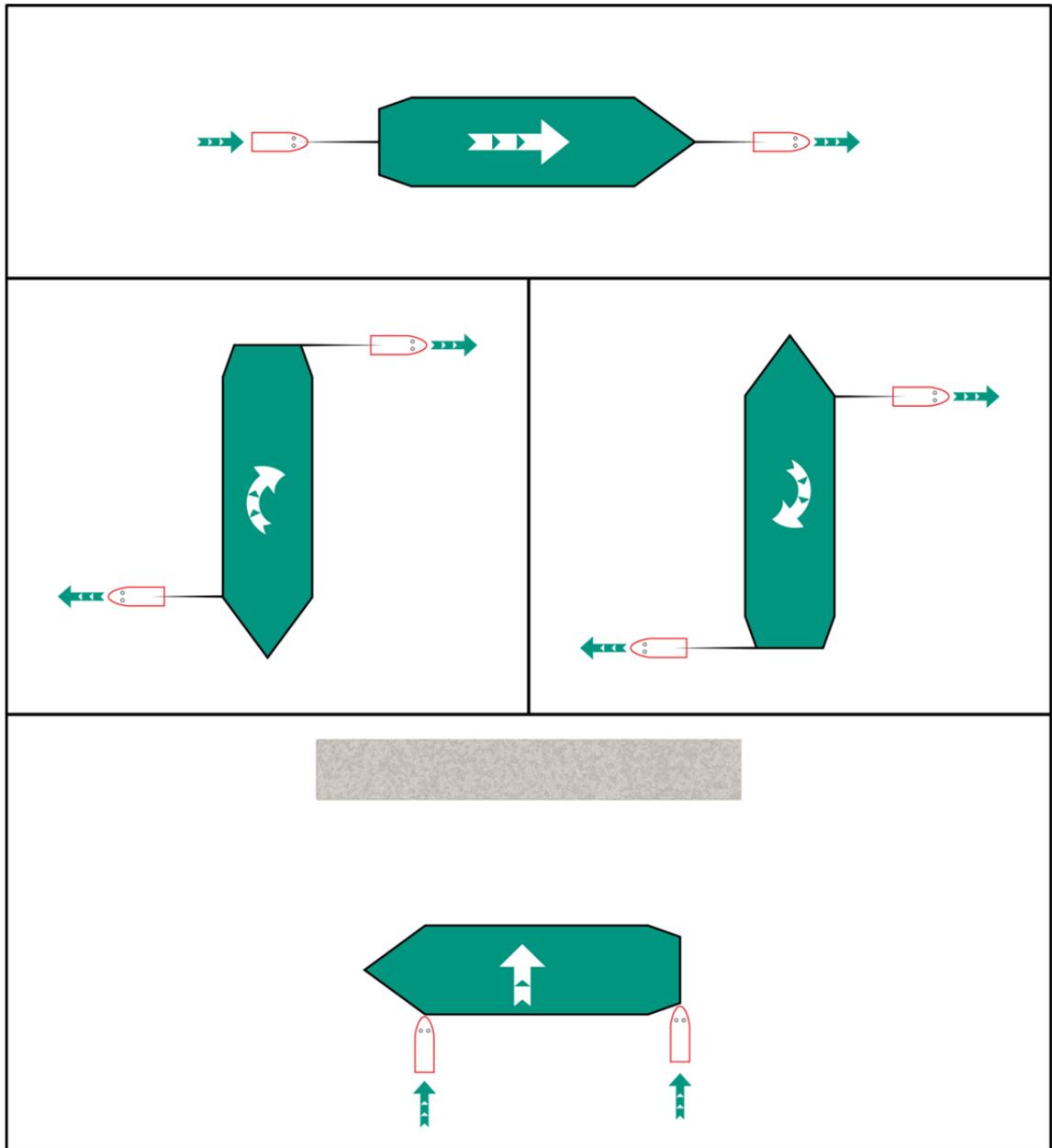


Abbildung 16: Exemplarischer Schleppereinsatz beim Anlegen (Quelle: Nach (Hensen, 2003))

Der Schleppereinsatz beim Ablegen wird zumeist niedriger veranschlagt als der beim Anlegen. In den Ausgangssituationen von zwei Schleppern ausgegangen, um das Schiff kontrolliert vom Liegeplatz zu entfernen und in Richtung der Fahrwasserlinie zu bugsieren. Dies wird in Abbildung 17 schematisch dargestellt.

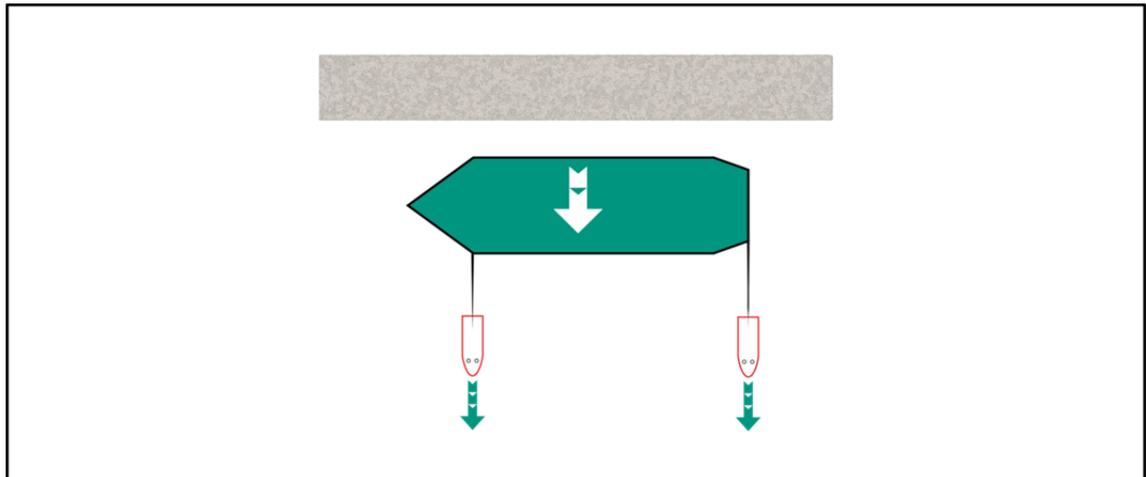


Abbildung 17: Exemplarischer Schleppereinsatz beim Ablegen (Quelle: Nach (Hensen, 2003))

5.6 Dokumentation und Analyse

Im Schiffsführungssimulator des Fraunhofer CML werden die durchgeführten Läufe gespeichert, sodass sämtliche Daten für eine spätere Einsichtnahme zur Verfügung stehen. Zusätzlich werden relevante Manöverkennwerte in der in Kapitel 4.1 beschriebenen SQL-Datenbank abgelegt. Dies umfasst unter anderem:

- Geographische Position des eigenen Schiffs und der Schlepper,
- Geschwindigkeit über Grund,
- Geschwindigkeit durchs Wasser,
- Ruderwinkel,
- Bug-, und ggf. Heckstrahlruder,
- Drehrate,
- Schlepperkräfte,
- Hauptmaschinentelegraf und
- Hauptmaschinendrehzahl.

Auf Basis dieser Daten können Manöververläufe detailliert nachvollzogen und miteinander verglichen werden. Darüber hinaus dienen die Datenbankaufzeichnungen auch als Grundlage für die Erstellung von Manöverplots und Verlaufsgraphen.

6 SIMULATIONS DURCHFÜHRUNG

Wie in den Kapiteln 4 und 5 beschrieben, liegt der Fokus der nautischen Untersuchung zum geplanten Großschiffsliegeplatz Emden auf dem sicheren An- und Ablegen mit den in Kapitel 4.2 beschriebenen Bemessungsschiffen.

Mit beiden Schiffen werden die Läufe zumeist mit einem Vor- und einem Achterschlepper gefahren. Wenn ein dritter oder vierter Schlepper hinzugezogen wird, wird dies in den nachfolgenden Manöverbeschreibungen erwähnt. Auf die Nutzung von Festmacherleinen wird bei den Anlege- als auch bei den Ablegemanövern verzichtet. Auch sind die sonstigen Liegeplätze des Außenhafens nicht durch weitere Schiffe belegt. Abbildung 18 stellt einen schematischen Querschnitt des Emsfahrwassers im Bereich des GSLP dar. Aus der mittleren Hochwasserhöhe ergibt sich in Relation zum Tiefgang und zur Länge des jeweiligen Bemessungsschiffs ein maximal nutzbarer Abstand zwischen GSLP im Norden, Fahrwasserbetonung und Wattkante, bzw. Geiseleitdamm im Süden des Fahrwassers. Die Abbildung veranschaulicht somit den maximal für ein Drehmanöver verfügbaren geometrischen Raum. Die PIANC Design Guidelines (PIANC, 2014) hingegen empfehlen für die sichere Durchführung von Dreh- und Wendemanövern mit den verwendeten Bemessungsschiffen Bereiche mit einem Durchmesser von 360m bis 530m. Dieser Gegensatz verdeutlicht den hohen Anspruch an die Schiffsführer in der Simulationsdurchführung. Besonders bei Fahrten unter ungünstigen Umweltbedingungen ist somit eine höhere Quote von Läufen zu erwarten, die nicht erfolgreich abgeschlossen werden können.

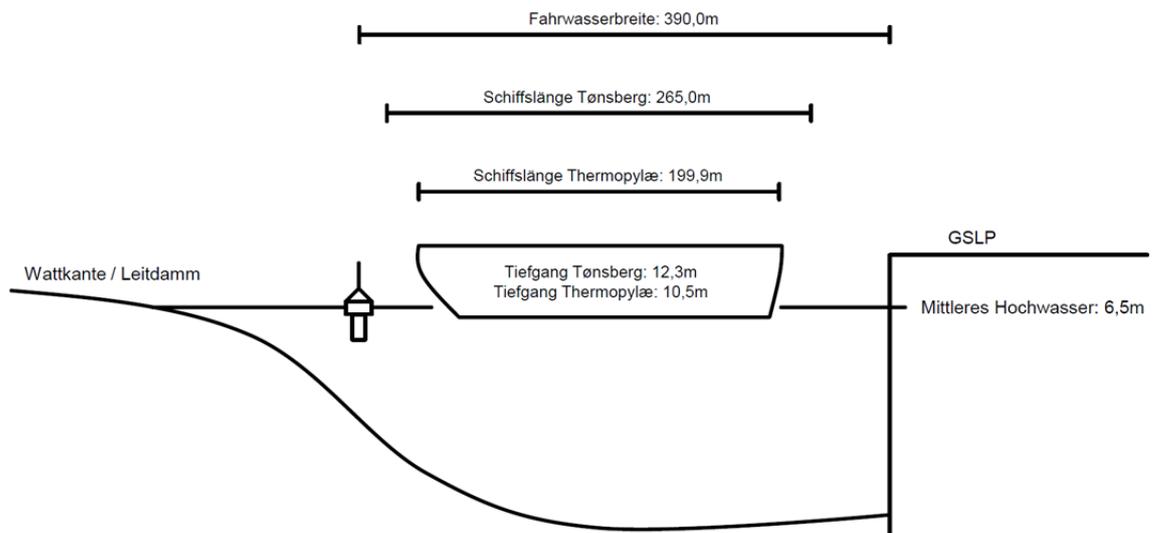


Abbildung 18: Verfügbarer Drehmanöverraum Bemessungsschiffe

Anhand repräsentativer Manöverplots werden die beschriebenen Läufe veranschaulicht. Die vollständigen Manöverplots aller durchgeführten Läufe finden sich im Anhang dieses Untersuchungsberichts. Diese Aufzeichnungen beinhalten einen Seekartenausschnitt sowie Verlaufsgraphen mit manöverrelevanten Daten.

6.1 Anlegemanöver

Das Manöver beginnt im Bereich zwischen den Tonnenpaaren 66/67 und 68/69 und endet an einem der drei Liegeplätze Emspier, Großschiffsliegeplatz oder Emskai. Die Ausgangsgeschwindigkeit variiert in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen, liegt aber immer im Bereich von 5,0kn über Grund. Das Drehen der Bemessungsschiffe kann sowohl über Backbord als auch über Steuerbord erfolgen. Die Position, auf der ein Schiff gedreht wird, hängt u.a. von der Strömungssituation ab. Bei Flutstrom wird bereits vor Erreichen der Liegeplatzhöhe gedreht, bei Ebbstrom erst östlich davon und bei Stauwasser zumeist direkt vor dem anvisierten Liegeplatz.

6.1.1 Nordwind

Bei Beginn der Simulation luven im Anfahrtsbereich beide Bemessungsschiffe ab einer Windstärke von Bft5 nennenswert nach Backbord an, was sich jedoch in beiden Fällen allein mit dem Heckruder ausgleichen lässt. Bei niedrigeren Fahrtgeschwindigkeiten werden bei Bedarf die Strahlruder hinzugenommen. Steigt die Windgeschwindigkeit auf Bft7 an, muss der Kurs mit Schlepperhilfe weiter stabilisiert werden. Ansonsten zieht der Achterschlepper bis zum Einsetzen des Drehmanövers recht achteraus, um die Vorausfahrt des Schiffs zu reduzieren. Bei mittleren Windstärken wird das Drehmanöver durch beide Schlepper sowie die Strahlruder unterstützt, ebenso das Herantraversieren gegen den ablandigen Wind. Das Bemessungsschiff Tønsberg ist aufgrund seiner Länge besonders auf eine exakte Ausführung des Drehmanövers angewiesen. Aus diesem Grund sind bei mittleren Windstärken mehr als zwei Schlepper angeraten, ab Bft7 sind vier Schlepper mit einem Pfahlzug von jeweils 35t notwendig.

Fazit: Mit den Schiffen, die heute an den beiden Bestandsliegeplätzen anlegen, wird unter vergleichbaren Bedingungen auch am GSLP ein sicheres Anlegen möglich sein. Das Drehmanöver kann dabei sowohl über Backbord als auch über Steuerbord ausgeführt werden. Die Herausforderung für das Bemessungsschiff Tønsberg liegt in der sicheren Durchführung des Drehmanövers, da hier kaum zusätzliche Sicherheitsreserven vorhanden sind. Aus diesem Grund sollte das Manöver nur unter günstigen Bedingungen ausgeführt werden.

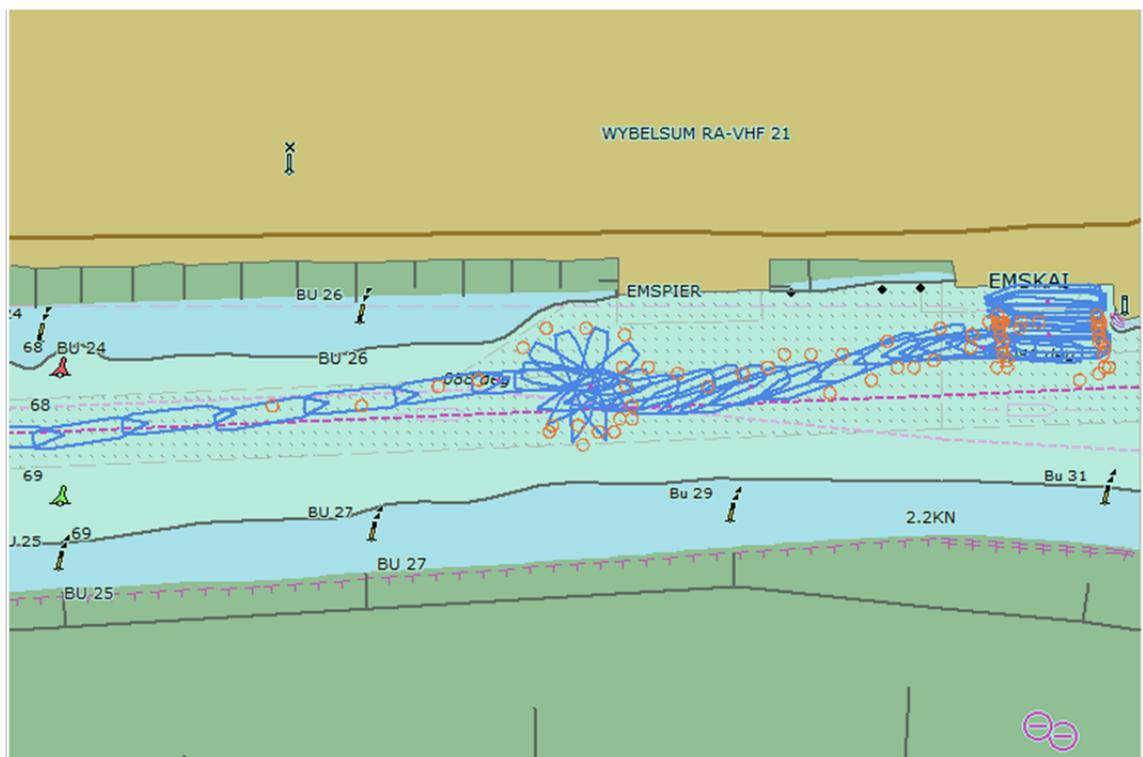


Abbildung 19: Anlegen mit der Thermopylae am Emskai bei Bft5 aus Nord

6.1.2 Nordwestwind

Bei mittleren Windstärken von Bft5 können zwei Schlepper zum Anlegen ausreichend sein. Besonders für das Bemessungsschiff Tønsberg werden aber zur Sicherheit drei Schlepper empfohlen. Erhöht sich die Windstärke bis auf Bft7, so werden ausdrücklich vier Schlepper mit einem Leistungspotenzial von jeweils 35t Pfahlzug empfohlen. Die Schlepper sind schon während des Anlaufs notwendig, um den Kurs des Schiffes zu stabilisieren. Aufgrund der niedrigen Vorausgeschwindigkeit lässt die Ruderwirkung nach, wodurch der windinduzierte Dreh nach Backbord nicht mehr allein durch die Manövriereinrichtungen des Schiffs kompensiert werden kann. Dieser Effekt verstärkt sich bei auflaufendem Wasser und reduziert sich entsprechend bei ablaufendem Wasser. Im Anlauf des Zufahrtsbereichs zieht der Heckschlepper achteraus, um die Vorausfahrt zu reduzieren, während seitlich arbeitende Schlepper das Anluven kompensieren. Mit Erreichen des Zufahrtsbereichs vor der Emspier wird das Drehmanöver, zumeist über Steuerbord, eingeleitet. Abhängig von den äußeren Einflüssen sowie dem Manöververlauf arbeiten hier Heckruder, Strahlruder und zwei bis vier Schlepper, um das Schiff kontrolliert mit dem Heck durch den Wind zu drehen. Anschließend nimmt das Schiff Achterausfahrt auf und nähert sich über den Achtersteven dem anvisierten Liegeplatz an. Das Heck erreicht zuerst die Endposition, bevor die Schlepper den Bug ebenfalls an die Kaikante bugsieren und das Schiff dann anschließend an den Liegeplatz drücken.

Fazit: Es empfiehlt sich, besonders für das längere Bemessungsschiff Tønsberg, zu Beginn des Drehmanövers die Fahrtgeschwindigkeit auf annähernd 0,0kn durchs Wasser, bzw. über Grund zu reduzieren. Hierdurch lässt sich das Manöver kontrollierter ausführen und so den räumlichen Gegebenheiten des Emsfahrwassers in diesem Manöverraum Rechnung getragen. Aufgrund der minimalen geometrischen Sicherheitsreserven, welche aus Schiffslänge, Fahrwasserbreite und Wassertiefe resultieren (wie in Abbildung 18 dargestellt), sind Dreh- und Anlegemanöver mit diesem Bemessungsschiff bei Windstärke Bft7 eindeutig als Grenzfall zu charakterisieren. Wie aus Abbildung 20 ersichtlich wird, konnte nur etwa die Hälfte der Simulationsläufe erfolgreich beendet werden.

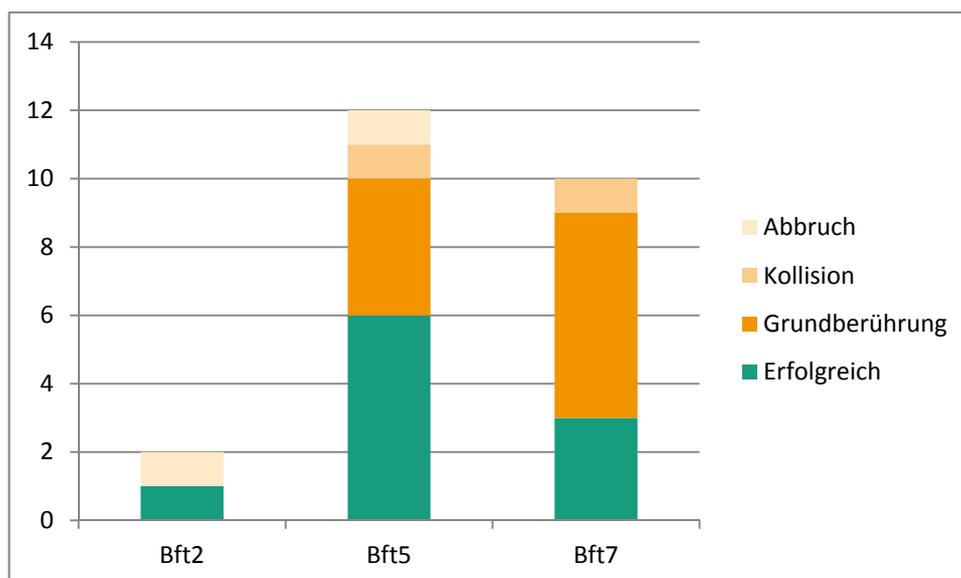


Abbildung 20: Ergebnisübersicht der Simulationsläufe bei Nordwestwind

Bei den Drehmanövern der erfolgreichen Läufe des längeren Bemessungsschiffs Tønsberg wird ein Abstand zwischen Schiff und Kaikante von 25m nicht überschritten, während die Kielfreiheit an der südlichen Fahrwassergrenze zumeist lediglich zwischen 0,8 und 0,3m liegt. Für das kleinere Bemessungsschiff Thermopylæ fallen die Ergebnisse deutlich weniger kritisch aus. Hier liegt der für das Drehen verfügbare Manöverraum im Bereich der in Kapitel 6 beschriebenen PIANC-Empfehlungen.

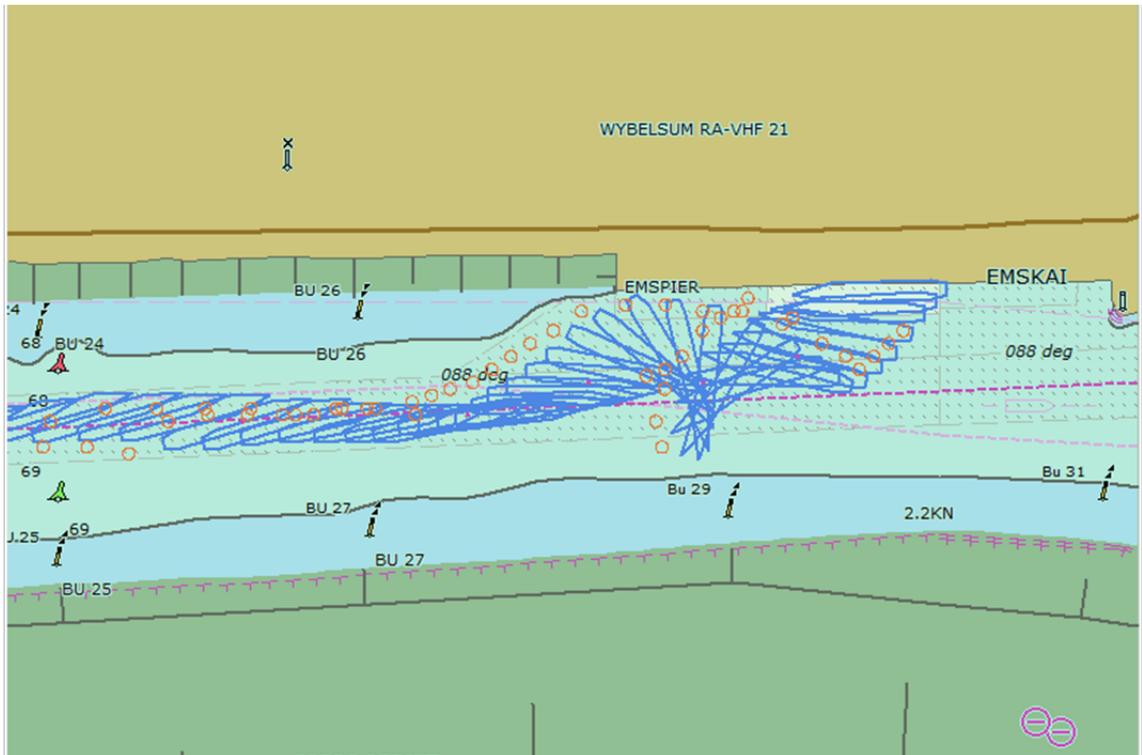


Abbildung 21: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft5 aus Nordwest und Flutstrom

6.1.3 Südwestwind

Die anlaufende Tønsberg wird vom Heckschlepper gebremst. Bei abnehmender Ruderwirkung durch die reduzierte Fahrtgeschwindigkeit muss der Kurs zusätzlich schon bei mittleren Windgeschwindigkeiten von Bft5 durch den Einsatz von Strahlrudern und/oder Schleppern stabilisiert werden. Bei Windgeschwindigkeiten von Bft7 werden für die Tønsberg bereits vier Schlepper notwendig, um das Schiff bei geringer Vorausfahrt sicher kontrollieren zu können. Weiterhin ist der Windversatz nach Norden zu beachten und entsprechend zu kompensieren. Das Drehmanöver kann bis Bft5 mit den Manöviereinrichtungen des Schiffs sowie mit der Unterstützung durch zwei Schlepper durchgeführt werden. Besonders für die Tønsberg werden aber zusätzliche Schlepper empfohlen, welche bei Windstärken um Bft7 auch zwingend notwendig sind. Die Schlepper assistieren nicht nur beim sicheren Drehen, sondern stoppen das Schiff anschließend auch wieder auf. Durch den Dreh über Steuerbord befindet sich das Heck bereits nah am Liegeplatz, sodass anschließend auch der Bug heranbugsiert wird.

Fazit: Bei mittleren Windstärken und Stauwasser ist es möglich, beide Bemessungsschiffe mit zwei Schleppern zu drehen und anzulegen. Besonders für die längere Tønsberg wird jedoch mindestens ein dritter Schlepper als zusätzliche Sicherheitsreserve empfohlen. Höhere Windstärken machen einen dritten und ggf. vierten Schlepper bei beiden Bemessungsschiffen, entsprechend weiterer Umweltbedingungen, notwendig. Eine besondere Relevanz hat auch der windinduzierten Dreh des Schiffs nach Steuerbord. Durch dieses Anluven ist ein Drehmanöver über die Steuerbordseite zu präferieren. Es ist zu erwähnen, dass das Anluven aufgrund der unterschiedlichen Ruderanströmungen bei Flutstrom stärker und bei Ebbstrom weniger stark auftritt. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass zur sicheren Durchführung eines Drehmanövers mit dem Bemessungsschiff Tønsberg eine langsame und kontrollierte Ausführung enorm wichtig ist. Aufgrund des sehr begrenzten Manövrierraums sind nur minimale Sicherheitsreserven vorhanden. So beträgt der Abstand zwischen Schiff und Liegeplatz zumeist weniger als 25m, während auf der südlichen Seite des Emsfahrwassers eine Kielfreiheit von weniger als 1,0m erreicht wird.

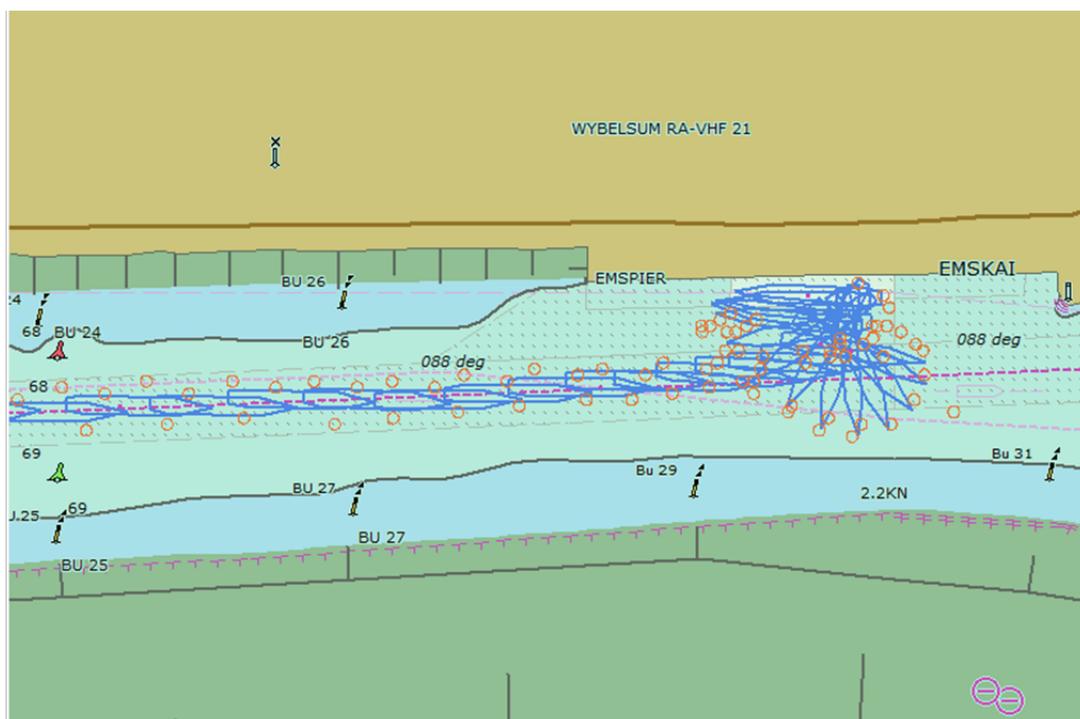


Abbildung 22: Anlegen mit der Tønsberg am GSP bei Bft7 aus Südwest und Ebbstrom

6.1.4 Südwind

Das Anlaufmanöver beginnt damit, dass mit dem Achterschlepper die Vorausfahrt des Schiffs reduziert wird. Bei einem Drehmanöver über Steuerbord empfiehlt sich ein Wechsel von der Fahrwassermitte auf dessen rote Seite, um möglichst mittig im Zufahrtsbereich drehen zu können. Das Andrehen in einer Position südwestlich bis südlich des anvisierten Liegeplatzes mit dem Heckrudder wird durch den Vor- und den Achterschlepper sowie die Strahlrudder unterstützt. Bei Windstärken von mehr als Bft5 empfiehlt es sich bei beiden Bemessungsschiffen mehr als zwei Schlepper einzusetzen. Der auflandige Wind drückt das Schiff anschließend an den Liegeplatz und die Manövriereinrichtungen sowie die Schlepper kontrollieren das gleichmäßige Herantraversieren.

Fazit: Mit dem kleineren Bemessungsschiff Thermopylæ ist das Drehen und Anlegen mit zwei Schleppern sicher möglich. Bei höheren Windstärken werden jedoch zusätzliche Schlepperkapazitäten empfohlen. Das 65m längere Bemessungsschiff Tønsberg hingegen ist auf den vollen Manöverraum angewiesen. Daher kann selbst bei vollem Hochwasser der GSLP nur dann angelaufen werden, wenn ausreichend Platz zum Drehen vorhanden ist. Abhängig von den Umweltverhältnissen werden zudem drei bis vier Schlepper für diese Manöver empfohlen. Weiterhin wird dazu geraten, das Drehmanöver entweder direkt auf oder knapp nördlich der Radarlinie durchzuführen.

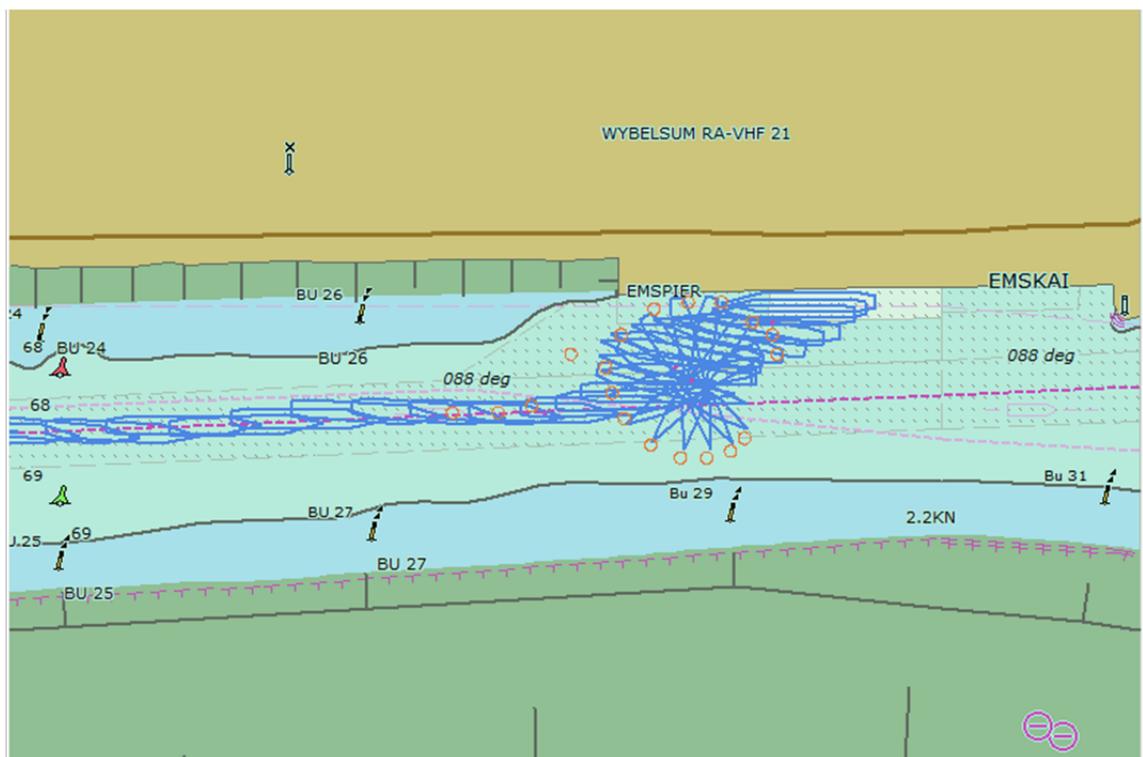


Abbildung 23: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft5 aus Süd und Stauwasser

6.1.5 Erweiterter Wendebereich

Zusätzlich zum eigentlichen Umfang der nautischen Untersuchung zum geplanten Großschiffsliegeplatz wurden auch einige Anlegemanöver mit dem Bemessungsschiff Tønsberg und einem erweiterten Wendebereich durchgeführt. Dieser orientiert sich in seinen Abmessungen und seiner Positionierung an dem in den Planungsunterlagen zur Emsvertiefung vorgesehenen Wendebereich und verfügt über eine Länge von 900m, eine Breite von 340m und eine Wassertiefe von 9,1m über SKN (WSA Emden, 2015). Ziel dieser Manöverversuche war es, die erwarteten zusätzlichen Sicherheitsreserven abschätzen zu können, ohne dass diese das Gesamtuntersuchungsergebnis zum GSLP beeinflussen. Abbildung 24 stellt die elektronische Seekarte mit dem erweiterten Wendebereich dar und veranschaulicht einen exemplarischen Manöververlauf. Die Manöverstrategie dieser Läufe entspricht der Strategie der bisherigen Anlegemanöver mit der Tønsberg bei Bft7. Vier Schlepper begleiten das Schiff und stabilisieren seinen Kurs. Vor dem Drehmanöver wird die Fahrt auf annähernd 0,0kn reduziert und das Schiff anschließend kontrolliert über Steuerbord gedreht. Über den Achtersteven nähert sich das Schiff dann dem Liegeplatz an und wird dann von den Schleppern in Position bugsiert.

Fazit: Auch mit dem erweiterten Wendebereich bleibt insbesondere das Drehmanöver mit der Tønsberg vor den Liegeplätzen ein anspruchsvolles Unterfangen. Gleichzeitig bestehen jedoch bedeutend größere Sicherheitsreserven was den Abstand zur Kaikante sowie die Kielfreiheit angeht.

Abschließend bleibt zu sagen, dass der untersuchte GSLP auch ohne Elemente der Emsvertiefung sicher angelaufen werden kann. Aus nautischer Sicht wird dabei jedoch insbesondere für die Abfertigung von Schiffsgrößen jenseits der Thermopylæ –Klasse sowie bei unvorteilhaften Umweltbedingungen die Realisierung einer geeigneten Wendestelle empfohlen. Dies ist vor dem Hintergrund der untersuchten als auch zukünftiger Schiffsgrößen sinnvoll.

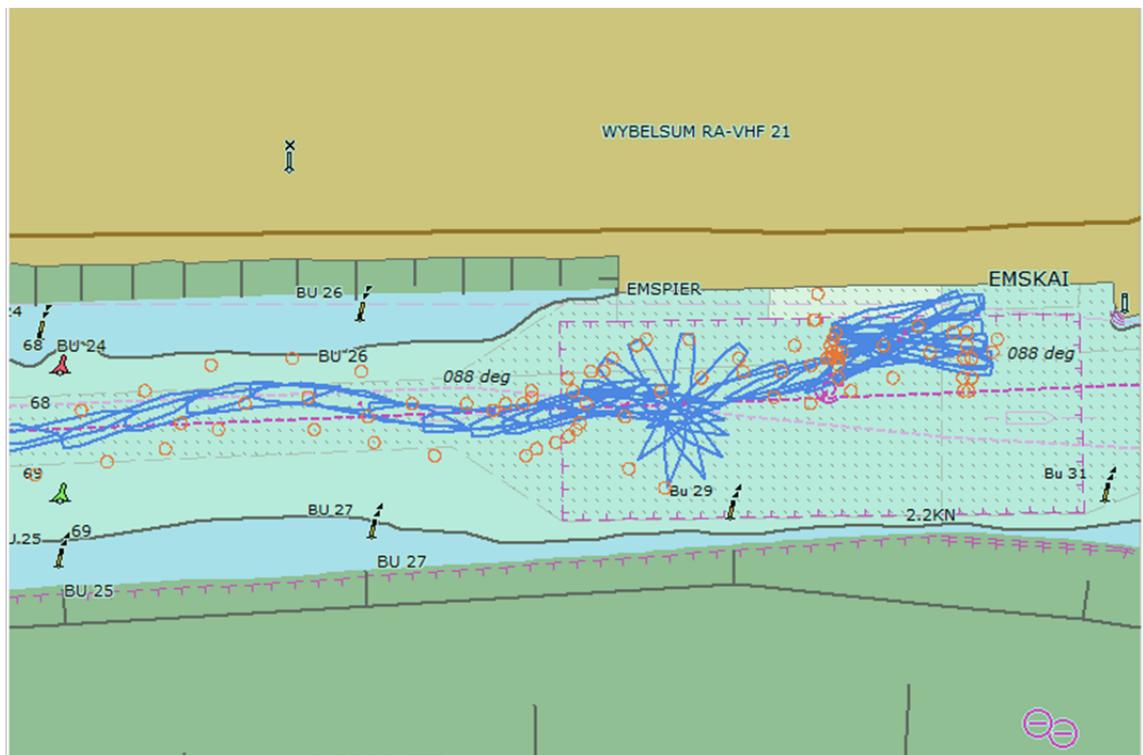


Abbildung 24: Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Bft7 aus Nordwest und Stauwasser

6.2 Ablegemanöver

Das Manöver beginnt an einem der drei Liegeplätze Emspier, Großschiffsliegeplatz oder Emskai. Der Endpunkt liegt seewärts des Buhntonnenpaares 26/27 und variiert in Abhängigkeit vom Manöververlauf.

6.2.1 Nordwind

Aufgrund des ablandigen Windes ist ein Ablegen auch ohne Schlepper möglich. In einigen Fällen assistiert ein Schlepper, um die Ausrichtung des Schiffes zu stabilisieren. In der Regel reichen hierfür aber die Strahlruder und das Heckruder aus. Sobald das Schiff ausreichend Abstand zum Liegeplatz gewonnen hat, wird mit der Hauptmaschine Vorfahrt aufgenommen, was auch den Wirkungsgrad des Heckruders unterstützt. Zum Ende des Manövers befindet sich das Schiff mit einer Geschwindigkeit zwischen 3,0 bis 4,0kn auf seewärtigem Kurs in der Fahrwassermitte.

Fazit: Bei nördlichen Winden ist ein sicheres Ablegen von allen drei Liegeplätzen und mit beiden Bemessungsschiffen möglich. Es wird davon ausgegangen, dass es besonders während der Bauphase des GSLP notwendig sein wird, bis auf die Radarlinie zu traversieren, um einen ausreichenden Abstand zu evtl. vorhandenem Baugerät zu schaffen.

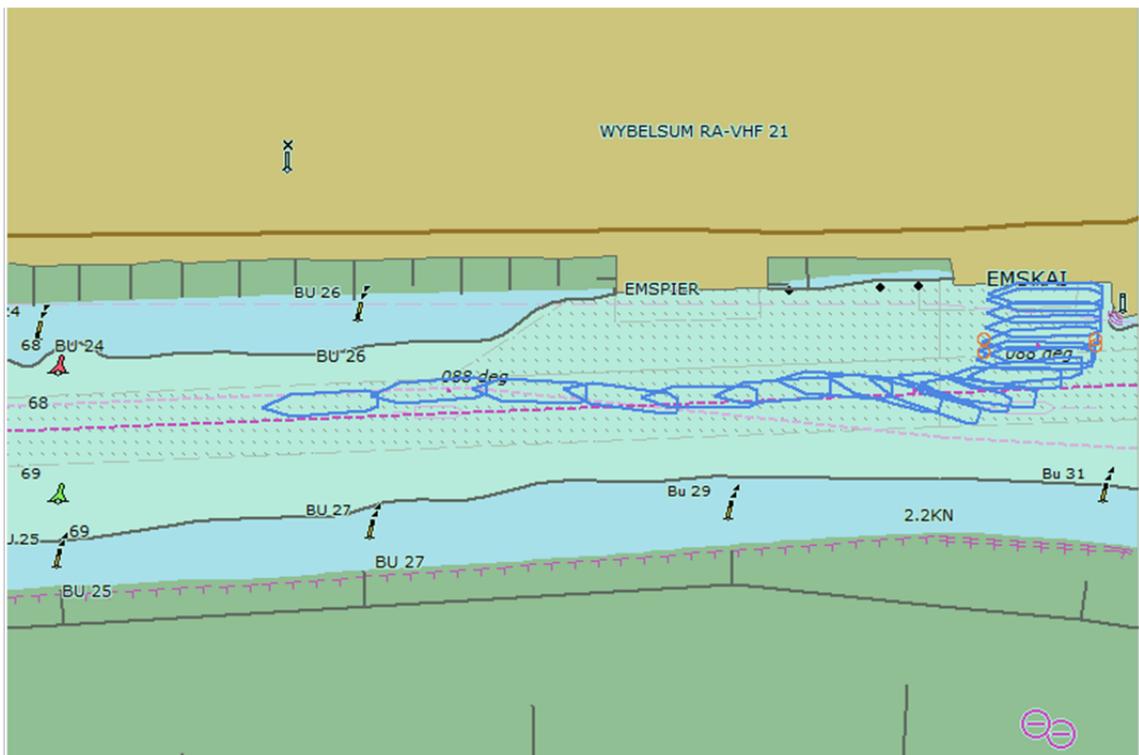


Abbildung 25: Ablegen mit der Thermopylæ vom Emskai bei Bft5 aus Nord

6.2.2 Nordwestwind

Ähnlich wie bei den Ablegemanövern bei Nordwind, ist auch bei Nordwestwind nur ein Minimum an Schleppereinsatz notwendig. Mithilfe der Manövriereinrichtungen des Schiffes ist es bei mittleren Winden von Bft5 als auch bei Stärken von Bft7 möglich, sicher abzulegen. Sobald das Schiff Vorausfahrt aufgenommen hat, ist besonders bei höheren Windstärken wieder das Anluffverhalten zu beachten und zu kompensieren. In den durchgeführten Läufen wird die Simulation mit Geschwindigkeiten zwischen 2,0 und 6,0kn beendet.

Fazit: Beide Bemessungsschiffe können bei Windstärken bis Bft7 aus nordwestlicher Richtung sicher von allen drei Liegeplätzen ablegen. Ein moderater Schleppereinsatz ist zur Stabilisierung des Manövers notwendig.

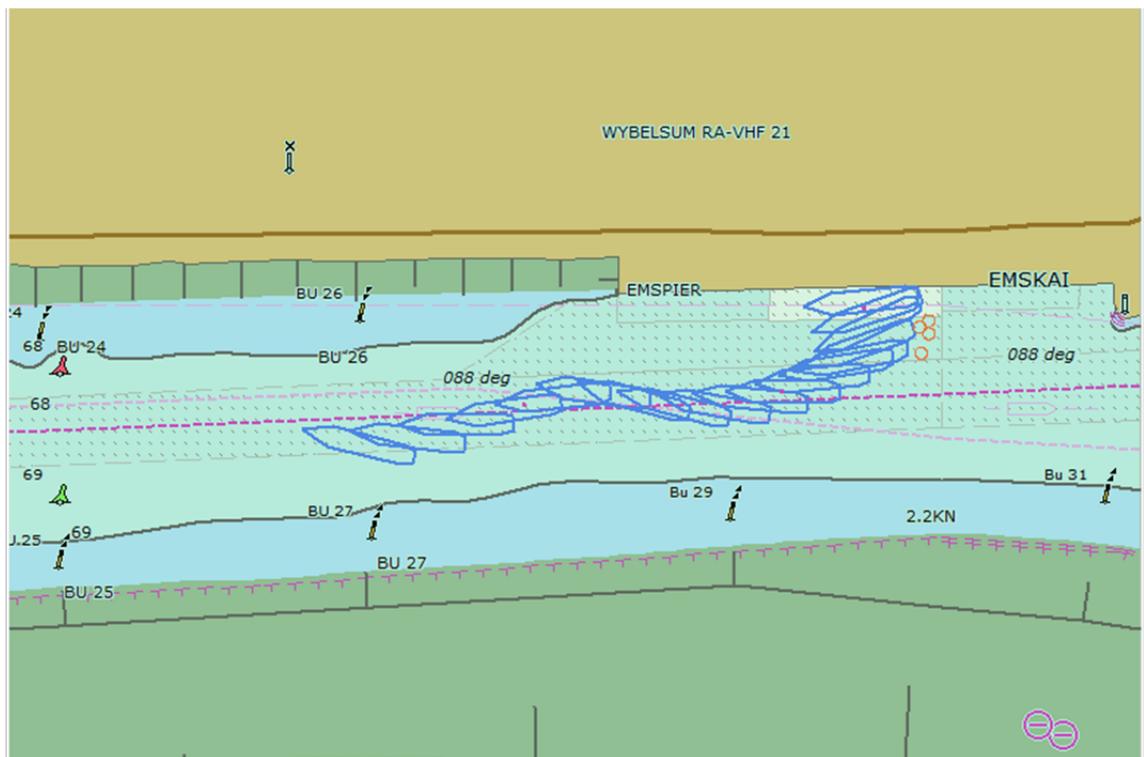


Abbildung 26: Ablegen mit der Thermopylae vom GSLP bei Bft7 aus Nordwest

6.2.3 Südwestwind

Zu Beginn des Ablegemanövers ziehen Vor- und Achterschlepper das Schiff vom Liegeplatz querab in Richtung Fahrwassermittle. Die Strahlruder unterstützen hierbei. Bei hohen Windstärken von Bft7 lässt sich der Windwiderstand nur noch mit voller Leistung beider Schlepper und der Strahlruder überwinden. Es ist zu empfehlen, den Bug des Schiffes in den Wind zu drehen und so die seitliche Angriffsfläche zu reduzieren. Um außerdem der Achterauskomponente des Windes entgegenzuwirken, wird frühzeitig die Maschine voraus gelegt. Durch den Einsatz beider Schlepper sowie der Manövriereinrichtungen des Schiffes muss während des Beschleunigungsvorgangs das Anluven kontrolliert werden. Erst ab einer Vorausgeschwindigkeit von ca. 4,0kn durchs Wasser ist das Schiff nur mit dem Heckruder sicher zu kontrollieren. Aus diesem Grund hat sich gezeigt, dass ein Ablegen gegen auflaufendes Wasser sinnvoll sein kann.

Fazit: Insbesondere während der Bauphase des GSLP ist es bei diesem Manöver wichtig, mindestens bis auf die Radarlinie zu traversieren. Besonders bei starkem Südwestwind besteht ansonsten die Gefahr, dass das Schiff wieder zurück in Richtung Norden versetzt wird. Zusätzlich erreichen die eingesetzten Schlepperkapazitäten mit einem Pfahlzug von 2 x 35t klar ihre Grenzen, sodass besonders für die Tønsberg zusätzliche Kapazität notwendig wird. Ablegemanöver bei starkem Südwestwind können daher nur bei ausreichender Schlepperunterstützung und von Schiffen mit leistungsstarken Manövriereinrichtungen sicher durchgeführt werden.

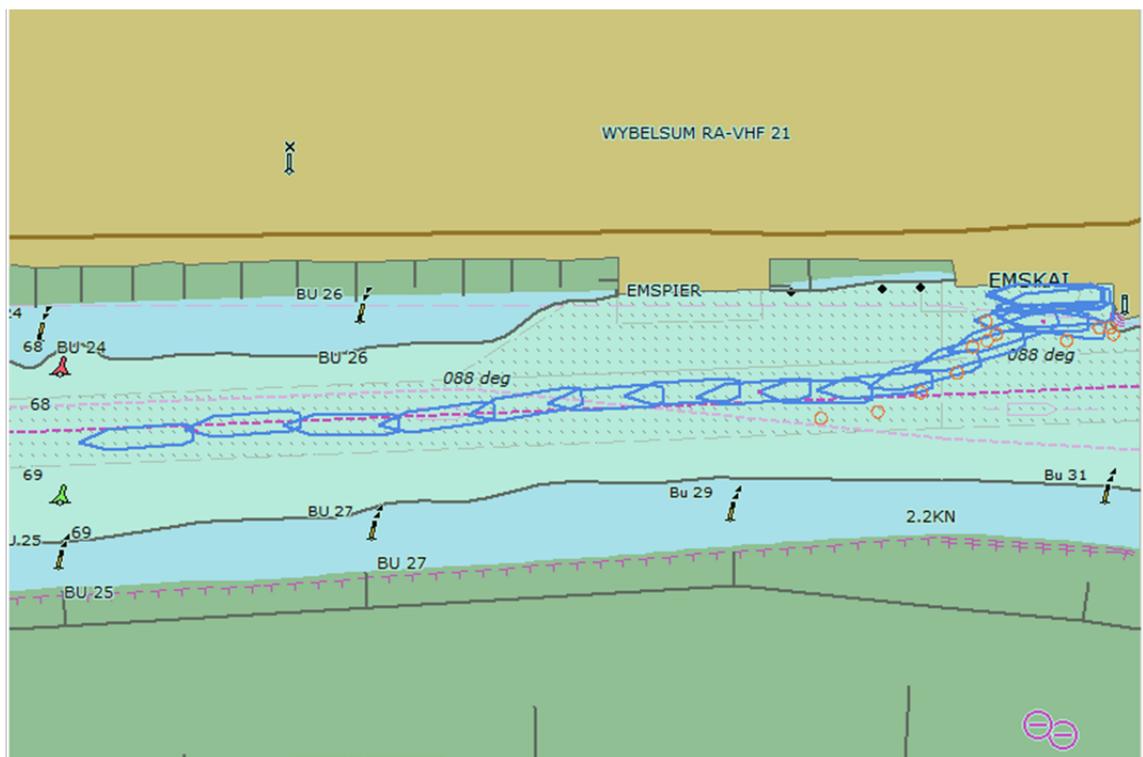


Abbildung 27: Ablegen mit der Thermopylae vom Emskai bei Bft5 aus Südwest und Flutstrom

6.2.4 Südwind

Der auflandige Wind drückt mit voller Kraft auf die Lateralfäche des Schiffes und hält es somit am Liegeplatz. Um den Windwiderstand zu überwinden, werden zumeist beide Schlepper, teilweise mit vollem Pfahlzug, eingesetzt, ebenso auch die Strahlruder. Um eine bessere Ruderwirkung zu erzielen, wird in einigen Läufen frühzeitig die Maschine voraus gelegt. Mit Hilfe der Schlepper sollte vorher aber ein Mindestabstand von 30 bis 50m zwischen Schiff und Liegeplatz gebracht werden. Die Endgeschwindigkeiten in den durchgeführten Läufen liegen zwischen 3,0 und 5,0kn. Die Manöververläufe sind bei beiden Bemessungsschiffen grundsätzlich vergleichbar, sodass auch die Tønsberg mit ihrer um 725m² größeren seitlichen Windangriffsfläche sicher ablegen kann.

Fazit: Mit ausreichender Schlepperunterstützung lässt sich das Ablegemanöver mit beiden Schiffen bei Südwind bis Bft5 sicher durchführen. Besonders bei hohen Windgeschwindigkeiten sowie während der Bauphase des GSLP empfiehlt es sich jedoch, analog zu den Empfehlungen aus Kapitel 6.2.3 bis auf die Radarlinie zu traversieren, um einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu gewinnen. Hierdurch wird auch, anders als in den Simulationenläufen gefahren, eine ausreichende Distanz zu vertäuten Schiffen an den anderen Liegeplätzen sichergestellt. Das anschließende Einschwenken in das Emsfahrwasser ist bei ausreichender Anströmung des Heckruders für beide Schiffe problemlos möglich.

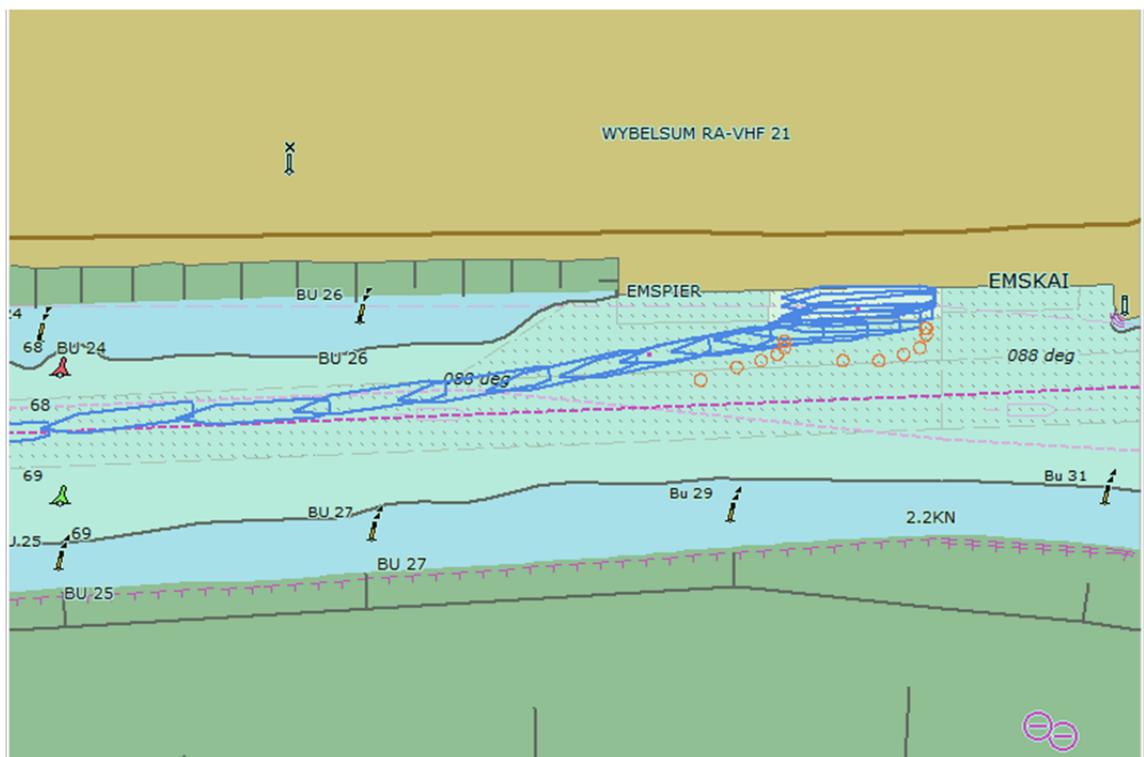


Abbildung 28: Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Bft5 aus Süden

6.3 Abschließende Bemerkungen

In den durchgeführten Läufen konnte beobachtet werden, dass bei den beiden Bemessungsschiffen Thermopylæ und Tønsberg jeweils ähnliche Manöverstrategien zur Anwendung kommen. Besonders beim Ablegen sind nur geringe Unterschiede in den Verläufen der beiden Bemessungsschiffe auszumachen. Dies beschränkt sich maßgeblich auf ihr individuelles Windverhalten, welches in der größeren Windangriffsfläche der um 65m längeren Tønsberg begründet liegt. Bei den Anlegemanövern ist für das Drehen der Tønsberg zumeist ein dritter und vierter Schlepper notwendig. Zudem ist das zusätzliche Heckstrahlruder von großer Bedeutung für den Manövererfolg.

Über die in den Kapiteln 6.1 und 6.2 dieses Berichts vorgestellten erfolgreichen Manöver hinaus mussten einige Läufe nach Grundberührungen oder Kollisionen mit Hafeninfrastuktur erfolglos abgebrochen werden. Diese sind im Rahmen einer nautischen Simulationsstudie zu erwarten und liegen einerseits in der Untersuchung der natürlichen Manövergrenzbereiche begründet. Andererseits kann über eine zunehmende Anzahl von Simulationsfahrten beobachtet werden, dass die Anzahl der Fehlversuche je Schiffsführer abnimmt. Eine gute Kenntnis der Bemessungsschiffe sowie der Simulationsumgebung sind daher für den Simulationserfolg entscheidend. In der Realität wird diesen Anforderungen durch die Regelungen zur Lotsenannahmepflicht entsprochen (BSH, 2011). Die Gesamtheit aller durchgeführten Läufe wurde bei der Berichtserstellung berücksichtigt und die Manöververläufe sämtlicher Simulationsfahrten sind in Anlage 1 zu diesem Dokument enthalten. Die nachfolgende Abbildung 29 gibt einen Gesamtüberblick über die Läufe und den jeweiligen Ausgang.

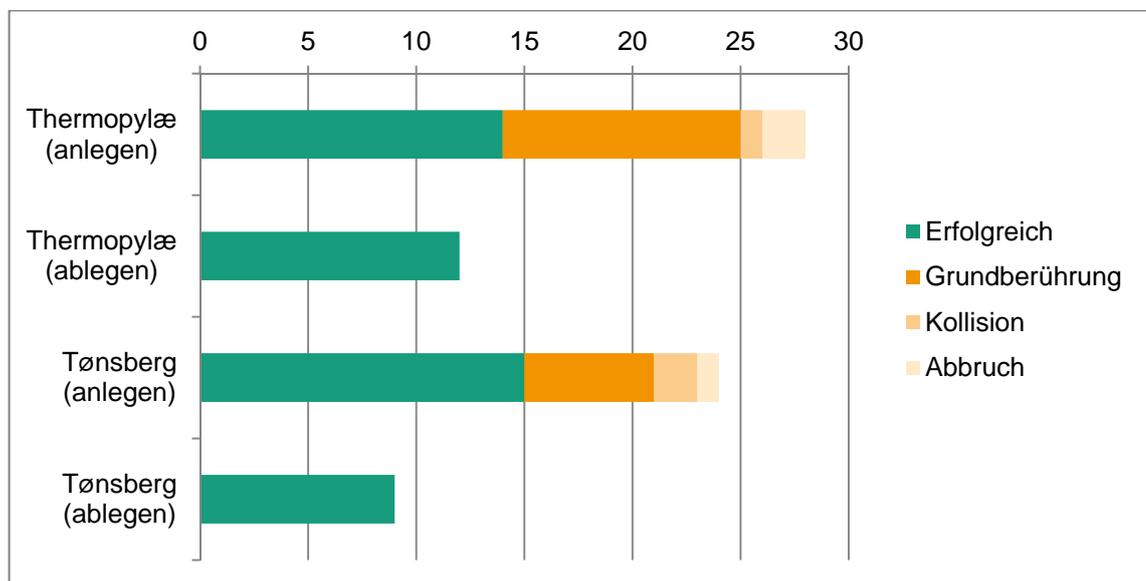


Abbildung 29: Ergebnisübersicht aller Simulationsläufe

Allein bei den Anlegemanövern konnten Simulationsläufe nicht erfolgreich beendet werden. Bei beiden Bemessungsschiffen war dies besonders bei höheren Windstärken aus nordwestlicher und teilweise auch aus südwestlicher Richtung der Fall. Als kritischste Manöverphase wurde in den Simulationen das Drehen der Bemessungsschiffe vor dem eigentlichen Anlegen identifiziert, da es hierbei zu den meisten Grundberührungen und Kollisionen kam.

Zu den verwendeten Bemessungsschiffsmodellen wurde von den Schiffsführern der Lotsenbrüderschaft Emden angemerkt, dass in beiden Fällen das Umsteuerverhalten der Hauptantriebsmaschine (welche auf Basis der von Wilh. Wilhelmsen ASA bereit gestellten Daten modelliert worden ist) zwischen Voraus- und Achterausbetrieb lange Zeit in Anspruch nimmt, was Einfluss auf die zur Anwendung kommenden Manöverstrategien hat. Aus diesem Grund kommt es bei einigen Manövern zu Abweichungen zwischen simulierten und realen Manövern. Darüber hinaus ist bezüglich der eingesetzten Schlepperkapazitäten zu bemerken, dass die tatsächlich auf den Schiffskörper wirkenden Kräfte, welche bspw. durch die Fahrtgeschwindigkeit durchs Wasser und abhängig vom Angriffswinkel stark variieren können, vom Schiffsführungssimulator nicht voll berücksichtigt werden. Stattdessen muss diese variierende tatsächliche Leistung durch eine manuelle Anpassung der wirkenden Kräfte berücksichtigt werden. Dieser Punkt muss bei der Übertragung der Ergebnisse und Empfehlungen dieser Untersuchung auf die tatsächlich in Emden zur Verfügung stehenden Schleppereinheiten entsprechend ausreichend berücksichtigt werden.

7 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Unter den simulierten Bedingungen war es möglich, jedes der gefahrenen Hafenmanöver mit beiden Schiffen erfolgreich durchzuführen. Die überwiegende Zahl der Simulationsfahrten wurde mit den Hochwasserständen der Nipptide gefahren, um von konservativen Annahmen bzgl. der Größe des verfügbaren Manöverraums ausgehen zu können. Die Sichtverhältnisse lagen in den meisten Läufen im moderaten Bereich von 5,0sm und nur wenigen Fällen bei verminderter Sicht mit 2,0sm. Anhand der Untersuchungsergebnisse und nach Aussage der beteiligten Schiffsführer ist der Einfluss der Sichtverhältnisse auf die Hafenmanöver jedoch begrenzt und daher in den Ergebnissen dieser Studie vernachlässigbar.

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Bemessungsschiffe einzeln sowie deren Übertragbarkeit auf andere Schiffe diskutiert.

7.1 Bemessungsschiff Thermopylæ

Das Bemessungsschiff Thermopylæ konnte auch bei Windstärken von Bft7 noch sicher gedreht und angelegt sowie wieder abgelegt werden. Entscheidend für den Manövererfolg sind insbesondere ausreichende verfügbare Schlepperkapazität sowie eine für den Tiefgang angemessene Wasserstandshöhe. Zwei Schlepper mit einem Pfahlzug von jeweils 35t stellen bei Starkwind das absolute Minimum dar, da so keinerlei Sicherheitsreserven mehr vorhanden sind. Für einen Modelltiefgang von 10,5m ist die Stauwasserstandshöhe der in Kapitel 4.4.1 beschriebenen Nipptide ausreichend, jedoch abhängig von den Windverhältnissen mit geringen Sicherheitsreserven verbunden. Insofern wurden Erfahrungswerte aus der Praxis durch diese Simulationsstudie bestätigt.

Weiterhin ist zu beachten, dass Einschränkungen hinsichtlich der Erreichbarkeit der Bestandsliegeplätze durch den Bau des GSLP zu erwarten sind. Dies wird einen negativen Einfluss auf den zur Verfügung stehenden Manöverraum haben und zusätzliche Sicherheitsreserven, durch z.B. weitere Schlepper notwendig machen. Die Entscheidung darüber, ob ein bestimmtes Schiff bei bestimmten Umweltbedingungen an Emspier und Emskai anlegen oder von diesen ablegen darf, ist in Abhängigkeit von den Tiden- und Windverhältnissen, den verfügbaren Schlepperkapazitäten sowie den Manöviereinrichtungen des betreffenden Schiffes und unter Berücksichtigung der aktuellen Bauphase des GSLP zu treffen. Es ist zu erwarten, dass diese baubedingten Einschränkungen zu einer erhöhten Nachfrage nach Schlepperkapazitäten sowie zu verlängerten Manöverzeiten führen werden.

7.2 Bemessungsschiff Tønsberg

Für das Bemessungsschiff Tønsberg lassen sich die Untersuchungsergebnisse der Thermopylæ teilweise übertragen. Eine ausreichende Schlepperkapazität sowie eine ausreichende Wasserstandshöhe sind für den Manövererfolg entscheidend. Die Vorgabe, dass heutzutage die aktuell größten Autotransportschiffe im Außenhafen Emden mit einer Länge bis annähernd 230,0m und einem Tiefgang bis fast 10,0m nur im Zeitraum eine Stunde vor und nach Stauwasser abgefertigt werden, muss für die Tønsberg im besonderen Maße gelten. Bei Stauwasserhöhe der Nipptide konnten Simulationsläufe erfolgreich durchgeführt werden. Aufgrund der beschränkten Größe des Manöverraums sind jedoch Zu- und Abgänge für Schiffe mit den Parametern des Bemessungsschiffs Tønsberg während des um 0,6m höheren Hochwasserstands der Springtide zu empfehlen.

Weitere Einschränkungen ergeben sich aus der Windanfälligkeit, welche aus der 7.125m² großen Lateralfäche resultiert. Denn auch, wenn Dreh- und Anlegemanöver bei großen Windstärken durchgeführt werden konnten, so waren die Sicherheitsreserven in jedem Lauf

äußerst gering. Die im Vergleich zur Thermopylæ besseren Manövriereigenschaften durch ein zweites Strahlruder kompensieren die größere Windanfälligkeit nur unzureichend. Aus diesem Grund muss hier von einem größeren Bedarf an Schlepperkapazität ausgegangen werden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Tønsberg in den Simulationsläufen stets vor leeren Liegeplätzen gedreht worden ist. Durch bspw. an der Emspier vertäut liegende Schiffe würde sich der verfügbare Manöverraum weiter um die entsprechende Schiffsbreite von bis zu 36,5m reduzieren. Bezugnehmend auf die in Abbildung 18 dargestellten räumlich-geometrischen Gegebenheiten des Emsfahrwassers im Bereich des GSLP ist davon auszugehen, dass ein verkleinerter Manöverraum die sichere Durchführung eines Drehmanövers vor den Liegeplätzen zusätzlich erschweren wird.

Entsprechend einer Befahrensregelung, welche der nautische Arbeitskreis am 29.11.2000 beschlossen hat, ist das Drehmanöver von ankommenden Schiffen grundsätzlich vor den avisierten Außenhafenliegeplätzen durchzuführen. Sollte dies in Einzelfällen nicht möglich sein, muss eine alternative Manöverstrategie zur Anwendung kommen. (WSD Nordwest, 2001) Bei z.B. besonders langen Einheiten sollten diese in den Bereich des Außen-/Vorhafens zwischen der Ost- und Westmole einfahren und in die entgegengesetzte Richtung wieder ausfahren. Diese Möglichkeit ist in Absprache mit dem Auftraggeber in dieser Studie nicht untersucht worden.

Der eigentliche limitierende Faktor für die Schiffsgröße im Außenhafen Emden ist also in der aktuellen Ausgestaltung des Zufahrtbereichs zu sehen. Wie aus den in Kapitel 6.1.5 beschriebenen Untersuchungsergebnissen ersichtlich wird, ist eine Erweiterung des Zufahrtbereichs vor den Liegeplätzen des Außenhafens notwendig, um Schiffe der Größe der Tønsberg sicher abfertigen zu können. Ohne diese Erweiterung werden Autotransportschiffe von der Größe des Bemessungsschiffs Tønsberg die Liegeplätze des Außenhafens Emden nur eingeschränkt durch Umwelteinflüsse und weitere Liegeplatzbelegung anlaufen können.

7.3 Übertragbarkeit

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Simulationsfahrten lassen sich auch Aussagen über die Erreichbarkeit der Liegeplätze mit anderen Schiffstypen oder –größen ableiten. Die Stückgut- und Mehrzweckfrachtschiffe, die die Liegeplätze des Außenhafens aktuell nutzen, haben zumeist eine Länge von 200m und weniger. Zudem sind sie, was Tiefgang und Manövrierfähigkeit angeht, mit dem Bemessungsschiff Tønsberg vergleichbar zu bewerten. Da sie zumeist jedoch über eine bedeutend geringere Windangriffsfläche verfügen, kann davon ausgegangen werden, dass der geplante Großschiffs Liegeplatz für die Nutzung durch Stückgut- und Mehrzweckfrachtschiffe geeignet ist. Darüber hinaus kommt der GSLP auch für eine Nutzung durch Kreuzfahrtschiffe in Betracht. Diese verfügen in der Regel über bedeutend bessere Manövriereigenschaften und einen geringeren Tiefgang als die beiden in dieser Untersuchung verwendeten Bemessungsschiffe. Besonders aktuelle Neubauten haben jedoch zumeist eine mit der Tønsberg vergleichbare oder teilweise weit darüber hinausgehende Länge im Bereich von 250 bis 350m. Ohne die Umsetzung eines vergrößerten Wendebereichs vor dem Außenhafen werden solche Kreuzfahrtschiffe nur bedingt sicher zu drehen sein. Konkrete Aussagen über mögliche Schiffslängen und notwendige Wassertiefen bedürfen jedoch einer gesonderten Untersuchung. An- und Ablegemanöver werden allerdings voraussichtlich sicher durchzuführen sein.

Eine Untersuchung über den Nutzen des erweiterten Wendebereichs ist im Jahr 2012 durch das Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) durchgeführt worden. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die darin verwendeten Bemessungsschiffe.

Tabelle 8: Kenndaten beider Bemessungsschiffe (MARIN)

	Schiff #1	Schiff #2
Typ	Car Carrier	Car Carrier
Länge über alles	213,3m	227,9m
Breite	32,3m	32,3m
Modelltiefgang	9,7m	10,0m
Verdrängung	45.100t	49.600t
Maschine	87rpm @18.280kW	105rpm @14.700kW MCR
Querstrahlruder	2x1.600kW	-

Die Untersuchung kommt dabei zu dem Schluss, dass Drehmanöver der beiden genannten Bemessungsschiffe im erweiterten Wendebereich nur bis zu einer Windstärke von Bft4 und einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,4kn sicher möglich sind. Das kürzere der beiden Schiffe benötigt dabei die Assistenz von zwei und das längere von drei Schleppern mit einem Pfahlzug von je 25t. Es wird davon ausgegangen, dass die Außenhafenliegeplätze mit dem projektierten Wendebereich innerhalb eines vergrößerten Tidefensters angelaufen werden können, was die nautische Erreichbarkeit dieser Liegeplätze verbessern wird (MARIN, 2012).

8 VERTÄUUNG

Als allgemeine Empfehlungen für die Liegeplatzplanung bzgl. der Vertäuung gilt entsprechend (OCIMF, 2009) unter anderem, dass:

1. Poller symmetrisch angeordnet sein sollten,
2. Querleinen nach Möglichkeit direkt senkrecht zum Schiff an dessen Bug und Heck angebracht werden sollten,
3. Leinen beim Festmachen nach Möglichkeit eine Länge von 35-50m haben sollten,
4. Der vertikale Winkel möglichst gering und am besten unter 25° sein sollte und
5. Vertäuung mit Quer- und Springleinen zu bevorzugen ist.

Bei der Planung eines Vertäukonzepts für RoRo-Schiffe ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass zwischen den Pollern ein entsprechend großer Abstand zur Auflage der Rampe freibleibt. Die maximalen Bewegungen des Schiffs während des Be- und Entladens sollten 0,4 bis 0,8m in translatorischer und 1 bzw. 3° für die verschiedenen rotatorischen Bewegungen nicht überschreiten. Insbesondere die horizontale Schiffsbewegung muss so weit wie möglich reduziert werden, weshalb meist mit einer hohen Vorspannung von bis zu 40t gearbeitet wird (PIANC, 1995).

Die Anmerkungen zur Vertäuplanung sind genereller Natur und für den Großteil der Schiffe, die den Außenhafen von Emden anlaufen, zutreffend. Teilweise getätigte ergänzende, numerische Aussagen beruhen auf einer zweidimensionalen Berechnung der Leinenkräfte für das Bemessungsschiff Thermopylæ bei statischen Umweltbedingungen. Die Umweltkriterien von 60kn Windgeschwindigkeit und einer ca. 1,1-fachen Wassertiefe wurden dabei an allgemeine Standardkriterien angelehnt (OCIMF, 2009). Dies entspricht im hiesigen Untersuchungsfall einer Wassertiefe von 12,0m LAT. Die Werte für die Strömungsgeschwindigkeit wurden auf den an den Außenhafenliegeplätzen auftretenden Maximalwert von 1,3kn reduziert. Entsprechend den Klassifikationsvorschriften des DNV GLs hat das Bemessungsschiff Thermopylæ eine Equipment-Nummer zwischen 4600 und 4800 und muss entsprechend Vertäuleinen mit einer Mindestbruchlast von 677kN vorhalten. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass Schlepp- und Festmacherleinen nicht Gegenstand der regulären Klassifizierung sind und dass hierfür lediglich Empfehlungen ausgesprochen werden (DNV GL, 2015). Die Rampe ist hochgeklappt und entfaltet keine zusätzliche vertäuende Wirkung.

8.1 Vertäuung Ist-Zustand an Emspier und Emskai

Im aktuellen Zustand sind auf dem Emskai Doppelpoller im Abstand von 30m angebracht, am Emspier im Abstand von 25m. Zum Teil sind einzelne Doppelpoller im Bereich der Rampe entfernt worden. Alle Poller liegen direkt an der Kaikante sowie teilweise in der verlängerten Flucht auf den Leinenstegen. Wie in Abbildung 30 dargestellt, werden größere RoRo-Schiffe dort üblicherweise mit jeweils vier Vor- und Heckleinen sowie jeweils zwei Vor- und Hecksprings vertäut. Alle Vor-, Heck- und Springleinen gehen jeweils auf einen Doppelpoller, sodass dieser im Fall der Vor- und Heckleinen mit vier Leinen maximal belegt ist. Querleinen können nicht ausgebracht werden, da es keine weiteren binnenseitig liegenden Poller gibt und ansonsten der vertikale Winkel zu groß wäre. Bei starken Querwinden wird daher zum Teil durch den Kapitän eine zusätzliche Sicherung durch Schlepper in Auftrag gegeben.

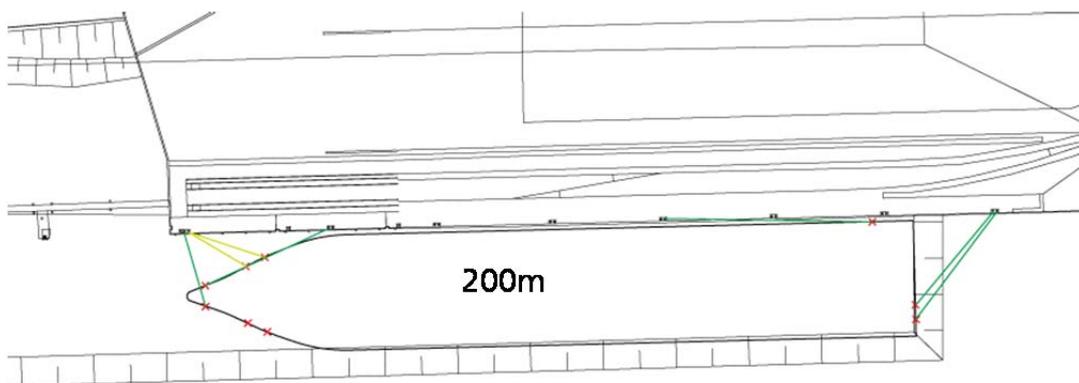


Vorleine/Spring/Querleine
 — 1 Leine — 2 Leinen

Abbildung 30: Standard-Vertäuung der Thermopylæ am Emskai

8.2 Vertäuung Bauphase

Eine Vertäuung von 200m-Schiffen am Emskai ist während der Bauphase schwierig, da durch den Wegfall des Leinenstegs nur noch eingeschränkt Vorleinen ausgebracht werden können. Nach Rücksprache mit dem Hafenkaptän und der Lotsenbrüderschaft Emden besteht bei gutem Wetter die Möglichkeit, eine Vertäuung entsprechend Abbildung 31 vorzunehmen.



Vorleine/Spring/Querleine
 — 1 Leine — 2 Leinen

Abbildung 31: Vertäu-Vorschlag für die Thermopylæ am Emskai während der Bauphase des
 GSLP

Hierbei werden die beiden Vorderspringleinen durch die landseitigen Vorderleinenklüsen und zwei Vorderleinen durch die Springklüsen geführt. Somit hat man zwei kurze Vorleinen, zwei Querleinen und zwei Vorderspringleinen. Das Schiff wird zudem bis an den Rand der Liegewanne gen Osten verholt. Es ist anzumerken, dass diese Möglichkeit aufgrund von schiffbaulichen Einschränkungen nicht bei jedem Schiff möglich sein kann.

Bei gutem Wetter ist dies eine Möglichkeit, jedoch können die kurzen Vor- und Querleinen insbesondere bei auflaufendem Wasser und stark ablandigem Wind die Kräfte nur teilweise am Bug aufnehmen. Insbesondere bei den in Emden vorherrschenden westlichen Winden muss ein Großteil der windinduzierten Längskräfte, im Fall des Bemessungsschiffs Thermopylæ in der Höhe von 550 bis 1.300kN liegen, sowie die Stromkomponente von den beiden Heckspringleinen aufgenommen werden, sodass die dortigen Lasten bereits ab 20kn Windgeschwindigkeit die Empfehlungen der OCIMF überschreiten können (OCIMF, 2009). Bei starken Nordwest- und Westwinden ist daher von einer solchen Vertäuung abzusehen. Unter Umständen kann bei plötzlich auftretendem Schlechtwetter eine zusätzliche Sicherung mit Schleppern vorgenommen werden, diese müssten dann jedoch ggf. im Bereich des Baufelds platziert werden.

Zur genauen Bewertung der Grenzbereiche während der Bauphase wird eine detaillierte Vertäuungssimulation für verschiedene Schiffstypen empfohlen, die auch die Reduktion der aufnehmbaren Leinenkräfte durch die vertikale Differenz berücksichtigt.

8.3 Vertäuung Plan-Zustand am GSLP

Prinzipiell ist eine Vertäuung am GSLP analog zu Emispier und Emiskai möglich. Ein Doppelpollerabstand von 30m ermöglicht eine Flexibilität bezüglich verschiedener Schiffslängen, sodass auch kürzere Schiffe noch mit Vor- und Heckleinen vertäut werden und die Querkräfte dabei gut aufgenommen werden können. Ein kurzfristig größerer Pollerabstand im Bereich 220 bis 260m östlich des Anschlusspunktes an die Emispier wäre zu prüfen, um eine größere Flexibilität für die Positionierung der Rampe zu haben.

Bei Bemessungswindgeschwindigkeiten von 60kn erreichen die Windlasten eines Schiffs von der Größe der Thermopylæ bei ablandigen Winden aus Nord bis Nordwest ca. 1.900 bis 2.050kN. Sollen diese Kräfte allein durch die obige Vertäuung aufgefangen werden, so können im ungünstigsten Fall bei Windgeschwindigkeiten um 40kn insbesondere an den Vorleinen Kräfte auftreten, die über Empfehlung von 45-55% der Mindestbruchlast liegen (OCIMF, 2009). Die liegeplatzseitigen Dalben haben einen kleinen senkrechten Abstand zur Schiffsaußenhülle, weshalb so kaum mit zusätzlichen Querleinen gearbeitet werden kann, da diese meistens sehr kurz sind und einen sehr steilen Winkel aufweisen. Um insbesondere die Vorleinen bei Starkwind zu entlasten, wird der Bau von zusätzlichen Sturmpollern empfohlen, um das Schiff gerade bei ablandigem Wind mit weiteren Querleinen sichern zu können. Diese sollten mindestens 30m von der Schiffsaußenwand entfernt sein, um den vertikalen Winkel auch bei Hochwasser unter 25° zu halten.

9 EMPFEHLUNGEN

Aus den in Kapitel 7 beschriebenen Untersuchungsergebnissen lassen sich Empfehlungen für die Bau- und Betriebsphase des geplanten Großschiffsliegeplatzes Emden sowie für die Verkehrslenkung ableiten.

9.1 Bauphase des GSLP

Die Beeinträchtigungen der beiden Bestandsliegeplätze während des Baus des GSLP wird sich über die Dauer der Bauzeit kontinuierlich verändern. Konkrete Empfehlungen können daher an diesem Punkt des Planungsprozesses noch nicht ausgesprochen werden. Grundsätzlich muss jedoch davon ausgegangen werden, dass Baufeld und Baugeräte des GSLP die Nutzbarkeit des Zu- und Abgangsbereichs einschränken wird. Dies könnte zur Folge haben, dass bspw. über längere Strecken als bisher wird traversiert werden müssen und sich die Manöverzeiten insgesamt verlängern werden. Um An- und Ablegemanöver dennoch sicher ausführen zu können, wird empfohlen, bei Bedarf zusätzliche Schlepperkapazitäten hinzuzuziehen.

Um eine sichere Vertäuung der Schiffe an den Bestandsliegeplätzen gewährleisten zu können, wird eine alternative Vertäuung mit zusätzlichen Querleinen empfohlen. Hierdurch können wenigstens teilweise die aufgrund der fehlenden Leinenstege stark verkürzten Vorleinen kompensiert werden. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 8.2 Vertäuung Bauphase detailliert beschrieben.

9.2 Betriebsphase des GSLP

Der GSLP stellt einen Lückenschluss zwischen Emspier und Emskai dar, wodurch eine durchgehende Kaikante entsteht. Aus diesem Grund wird im Realisierungsfall eine größere Flexibilität in der Nutzung der Liegeplätze im Außenhafen gewonnen. Wie bereits in Kapitel 7 erläutert, ist der vorhandene Manöverraum besonders für Schiffe mit den Abmessungen des Bemessungsschiffs Tønsberg äußerst knapp bemessen. Ein Drehmanöver kann nur unter günstigen Umweltbedingungen, mit ausreichender Schlepperunterstützung und nur vor einem leeren Liegeplatz durchgeführt werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, den Bereich der heutigen Emspier und den westlichen Teil des zukünftigen GSLP für die Abfertigung von Autotransportern mit der Größe der Tønsberg vorzusehen und kleinere Einheiten an den östlichen Liegeplätzen abzufertigen.

Darüber hinaus wird für den Fall einer Realisierung des GSLP eine Erweiterung des Zu- und Abfahrtsbereichs nach Süden empfohlen. In der aktuellen Ausgestaltung sind selbst unter günstigen Bedingungen nur äußerst geringe Sicherheitsreserven vorhanden. Bereits die wenigen Testläufe, die mit einem erweiterten Wendebereich durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass hierdurch die Erreichbarkeit der Liegeplätze für Schiffe mit den Abmaßen der Tønsberg signifikant verbessert wird.

9.2.1 Vertäuung am GSLP

Für die Vertäuung der Schiffe am GSLP sind von Los 1 Liegeplatz, Terminal Doppelpoller in einem Arrangement ähnlich dem an Emspier und Emskai vorgesehen. Dies hat sich dort für die meisten Umweltsituationen als ausreichend erwiesen. Besonders bei Windstärken von Bft7 und mehr aus nördlichen und nordwestlichen Richtungen kommt es jedoch immer wieder vor, dass Festmacherleinen ihre Belastungsgrenzen erreichen und brechen. Großschiffe wie das Bemessungsschiff Tønsberg sind aufgrund ihrer großen Windangriffsfläche in einem solchen Fall besonders gefährdet. Nach Rücksprache mit dem Hafenkaptän Emdens und den Projektbeteiligten aus Los 1 wird daher die Installation von vier zusätzlichen Sturmpollern in

einem Abstand von jeweils 90m zueinander empfohlen. Um den operativen Terminalbetrieb möglichst wenig zu beeinträchtigen, sollten diese versenkbar und in einem Abstand von 30m zur Kaikante angeordnet sein.

9.3 Verkehrslenkung

In den Simulationsfahrten ist auf weitere Verkehre im Untersuchungsgebiet verzichtet worden. Dennoch wird aus den Ergebnissen deutlich, dass besonders ankommende Autotransportschiffe der untersuchten Größe während des Drehmanövers auf den vollen Manövrierraum angewiesen sind. Aus diesem Grund sind simultane Hafenanläufe, bzw. Passagen während Hafenanläufen zu vermeiden. Bei kleineren als den untersuchten Einheiten trifft diese Einschränkung nur bedingt zu. Bei der Beurteilung von Einzelfällen sind die Größen und Manövriereigenschaften der beteiligten Einheiten sowie die vorherrschenden Umweltbedingungen ausschlaggebend.

Darüber hinaus muss durch eine vorausschauende Verkehrslenkung sichergestellt werden, dass Schiffe, die auf ein Tidefenster angewiesen sind, dieses auch einhalten können. Bei Schiffen mit den Modelltiefgängen beider Bemessungsschiffe und der Länge des Bemessungsschiffs Tønsberg gewinnt dies eine besondere Bedeutung.

Die bestehende Befeuerung und Betonung im Außenhafen Emden und des Zufahrtbereichs hat sich für die An- und Ablegemanöver beider Bemessungsschiffe als ausreichend erwiesen. Eine Notwendigkeit für die Anpassung von Schifffahrtszeichen im Untersuchungsbereich durch den Bau des GSLP besteht aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Simulationsfahrten nicht.

LITERATURVERZEICHNIS

- BSH. (2011). *Nordsee-Handbuch Südöstlicher Teil*. Hamburg: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.
- DNV GL. (2015). *Rules for Classification. Part 3 Hull. Chapter 11 Hull equipment, supporting structure and appendages*. Oslo/Hamburg: DNV GL.
- ESB. (2015). *Emder Schlepp-Betrieb GmbH*. Abgerufen am 27. 07 2015 von <http://esb-tow.tridem3.com/index.php?id=73>
- Hensen, H. (2003). *Tug use in port. A practical guide*. London, England: Nautical Institute.
- MARIN. (2012). *Real-Time Manoeuvring Simulations for Turning Area at Emden*. Wageningen: Maritime Research Institute Netherlands.
- OCIMF. (2009). *Mooring Equipment Guidelines*. Livingston: Oil Companies International Marine Forum.
- PIANC. (1995). *Criteria for movements of moored ships in harbours*. Brüssel: PIANC General Secretariat.
- PIANC. (2014). *Harbour Approach Channels. Design Guidelines*. Brüssel: PIANC General Secretariat.
- WSA Emden. (2015). *Portal Tideems*. Abgerufen am 2. September 2015 von https://www.portaltideems.de/pdf/Planfeststllngsul_Auemstvertief/C_Karten_und_Plaene/C_Blatt2_Wendestelle_Querschnitt_Lageplan.pdf
- WSD Nordwest. (2001). *Plangenehmigung für den Ausbau der Bundeswasserstraße Ems*. Aurich: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest.

Verfasser

Hamburg, Oktober 2016

Fraunhofer CML

Sellhorn Ingenieurgesellschaft mbH



Hans-Christoph Burmeister
Projektleiter Los 3



Dr.-Ing. Uwe Pfeiffer
Stellv. Projektleiter Los 3

NIEDERSACHSEN PORTS GMBH & CO. KG

**STÄRKUNG DES MEHRZWECKHAFENS EMDEN DURCH DEN
NEUBAU EINES GROßSCHIFFSLIEGEPLATZES –
LÜCKENSCHLUSS AN BESTEHENDEN KAIANLAGEN**

Los 3 Nautische Untersuchungen

21.06.2016

Anlage 1: Manöverläufe und Simulationsfahrten

Antragsteller

Land Niedersachsen, vertreten durch
Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG
Friedrich-Naumann-Straße 7-9
26725 Emden

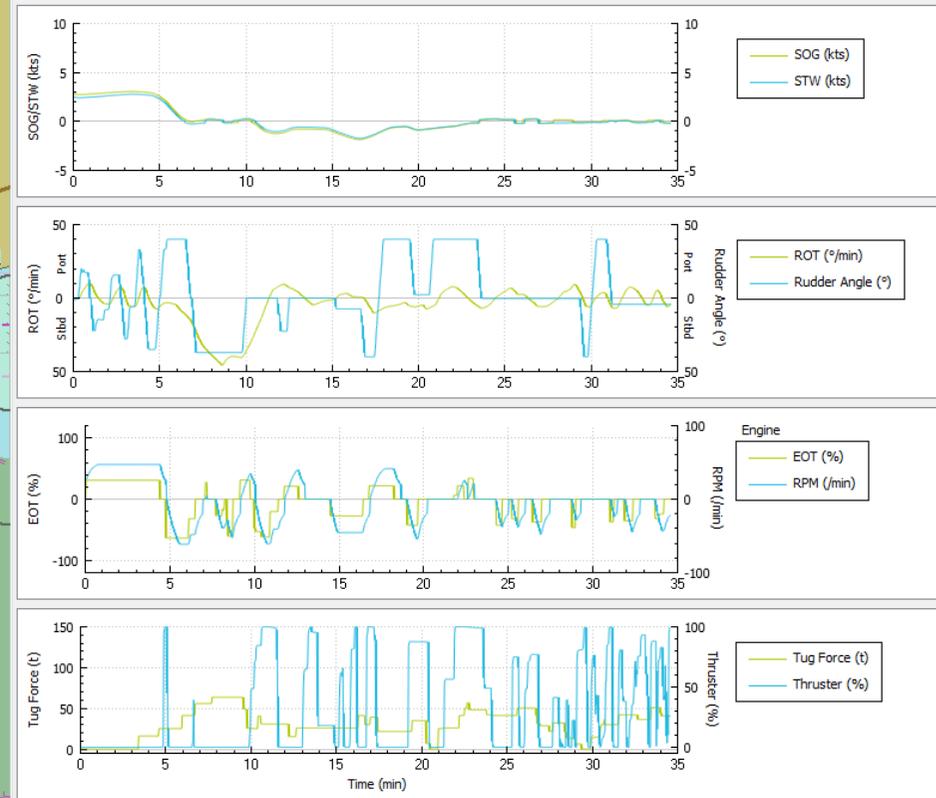
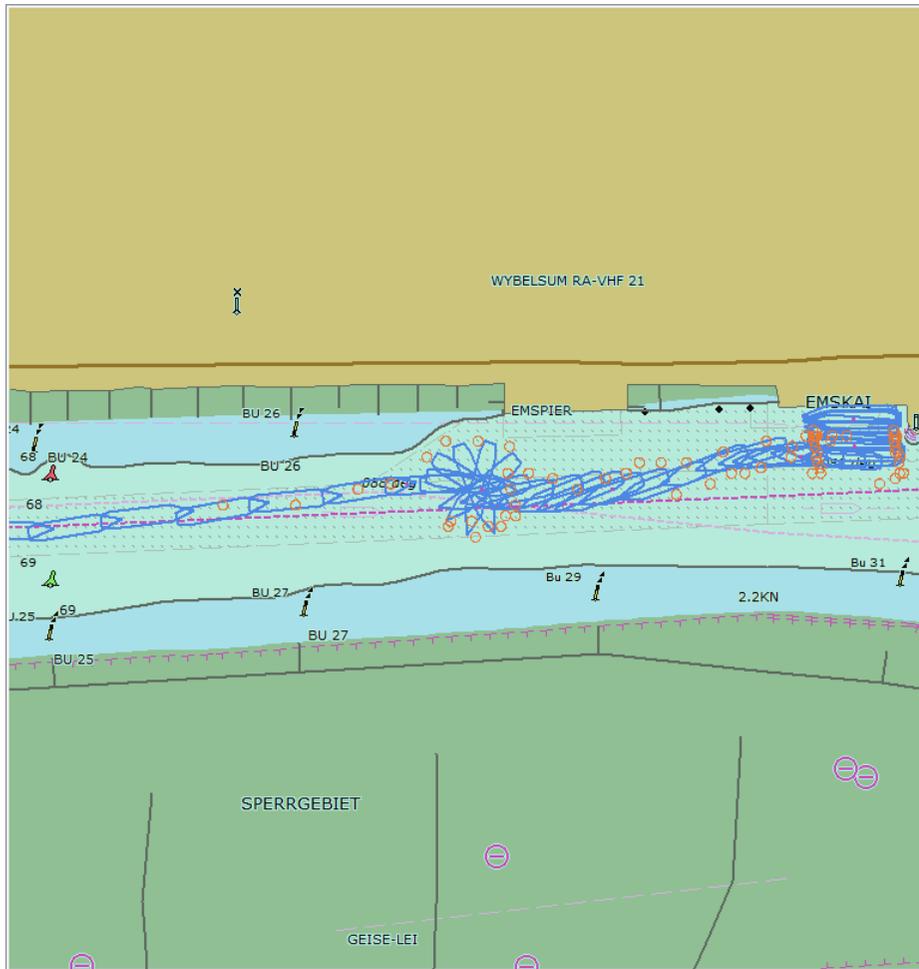
INHALT

1 ANLEGEMANÖVER	3
1.1 NORDWIND	3
2.1 NORDWESTWIND.....	7
2.2 SÜDWESTWIND	17
2.3 SÜDWIND	28
2.1 ERWEITERTER WENDEBEREICH	31
3 ABLEGEMANÖVER	34
3.1 NORDWIND	34
3.1 NORDWESTWIND.....	38
3.1 SÜDWESTWIND	42
3.1 SÜDWIND	50

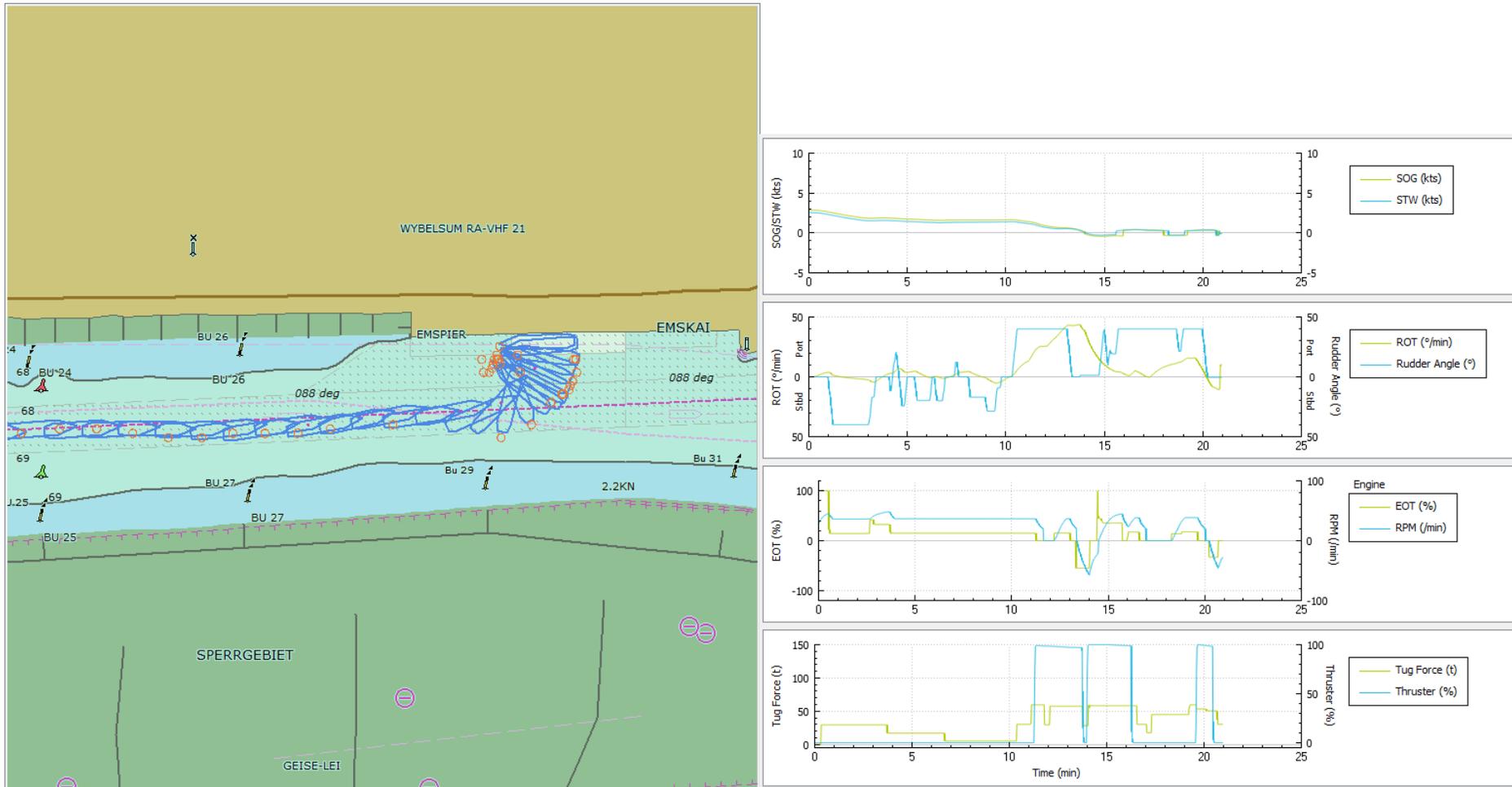
1 ANLEGEMANÖVER

1.1 Nordwind

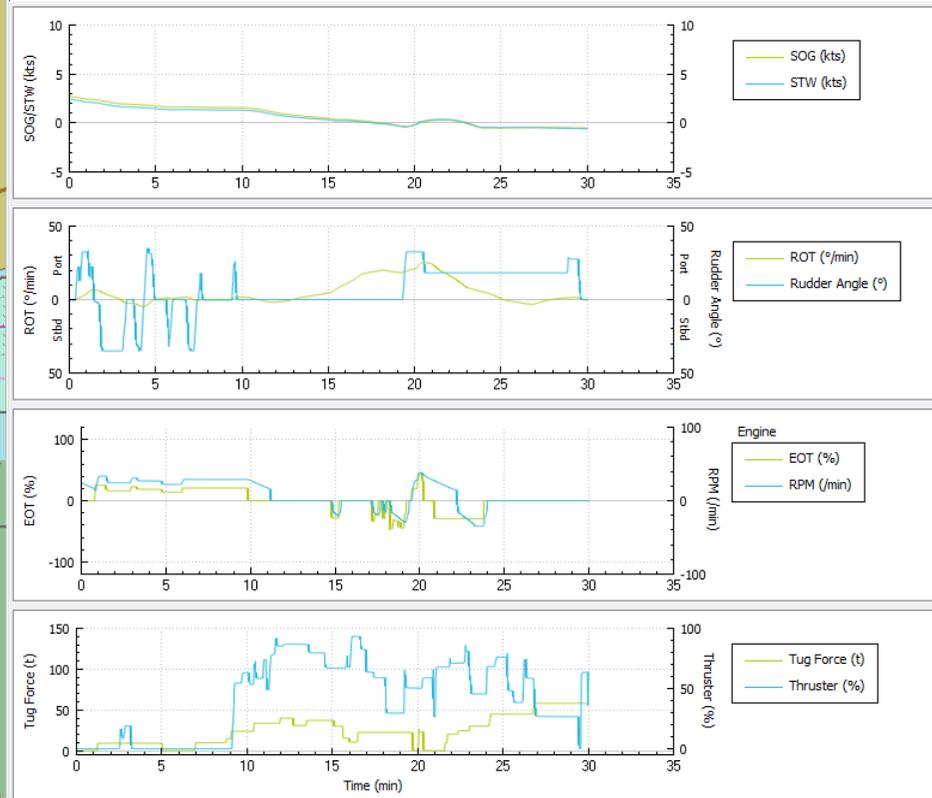
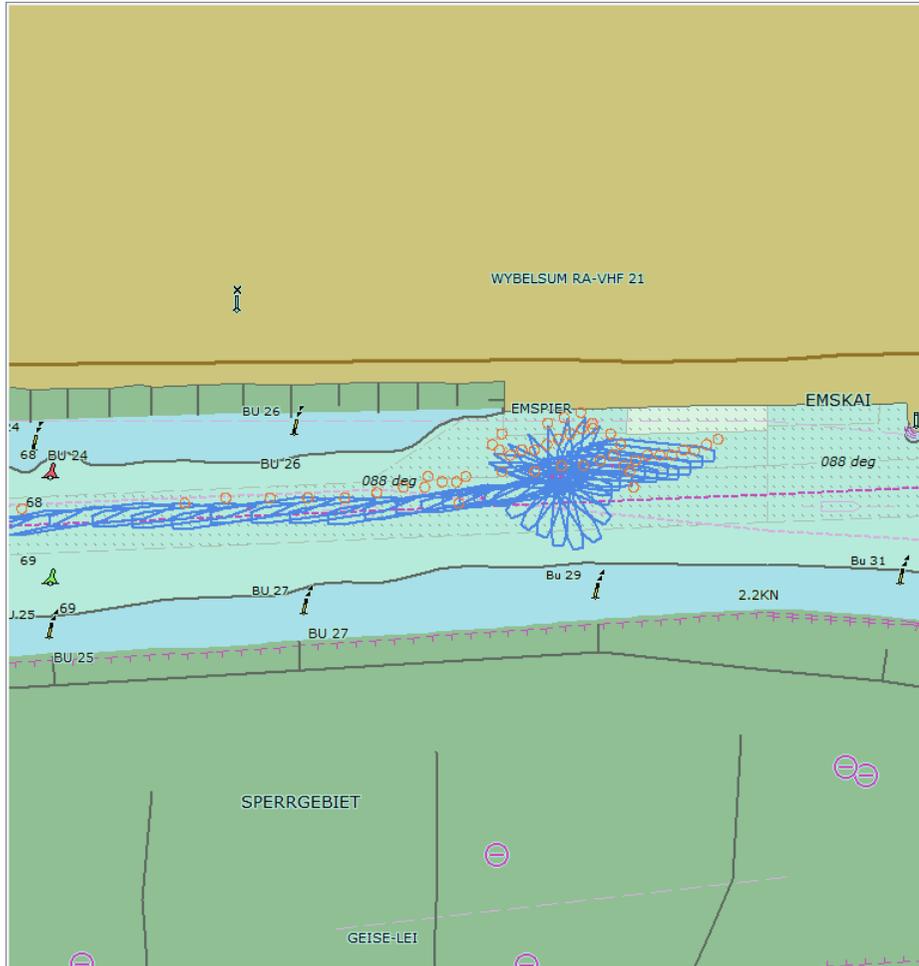
Anlegen mit der Thermopylæ am Emskai bei Stauwasser und Bft5 aus Norden



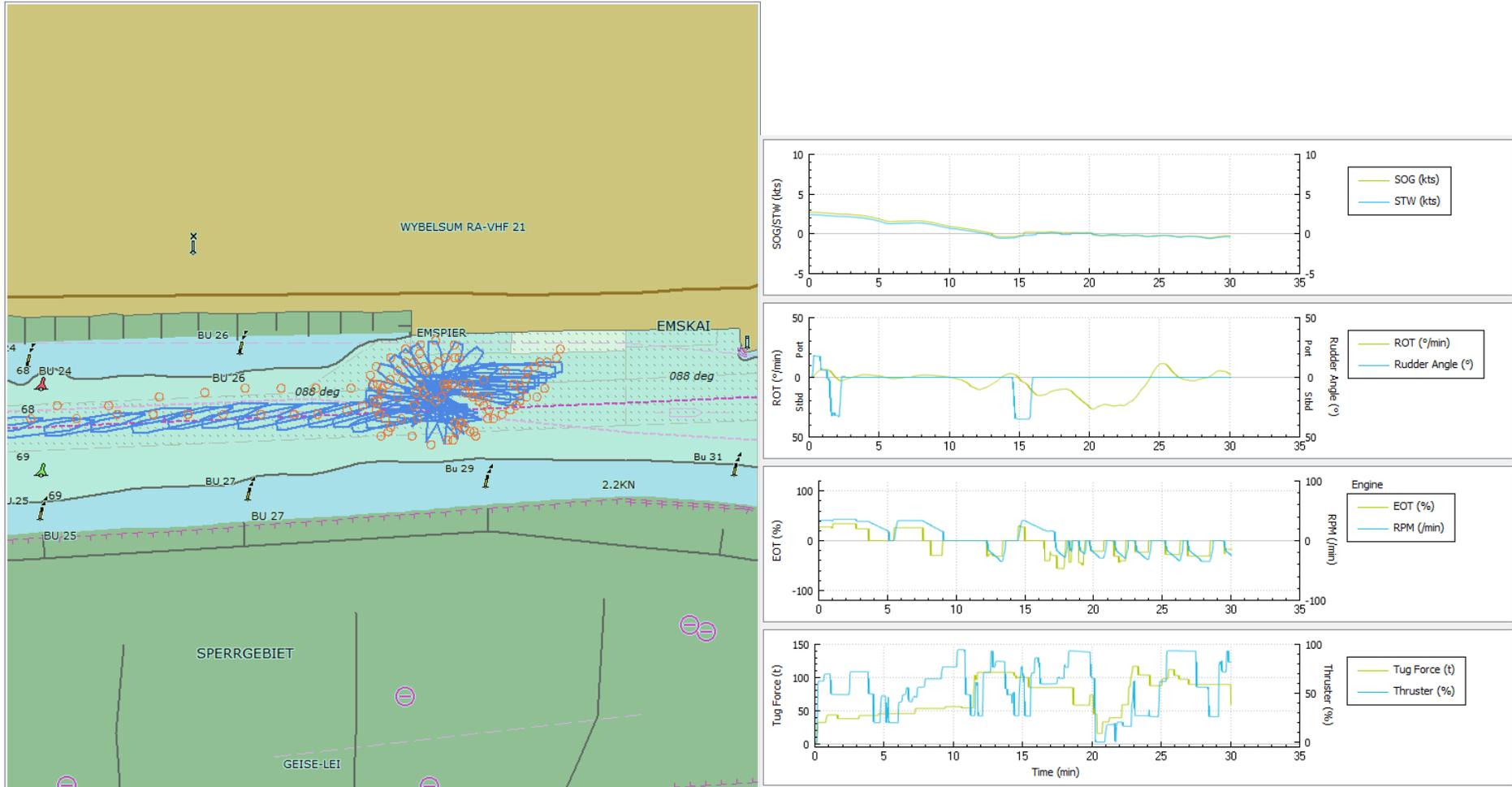
Anlegen mit der Thermopylæ am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Norden



Anlegen mit der Tonsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Norden

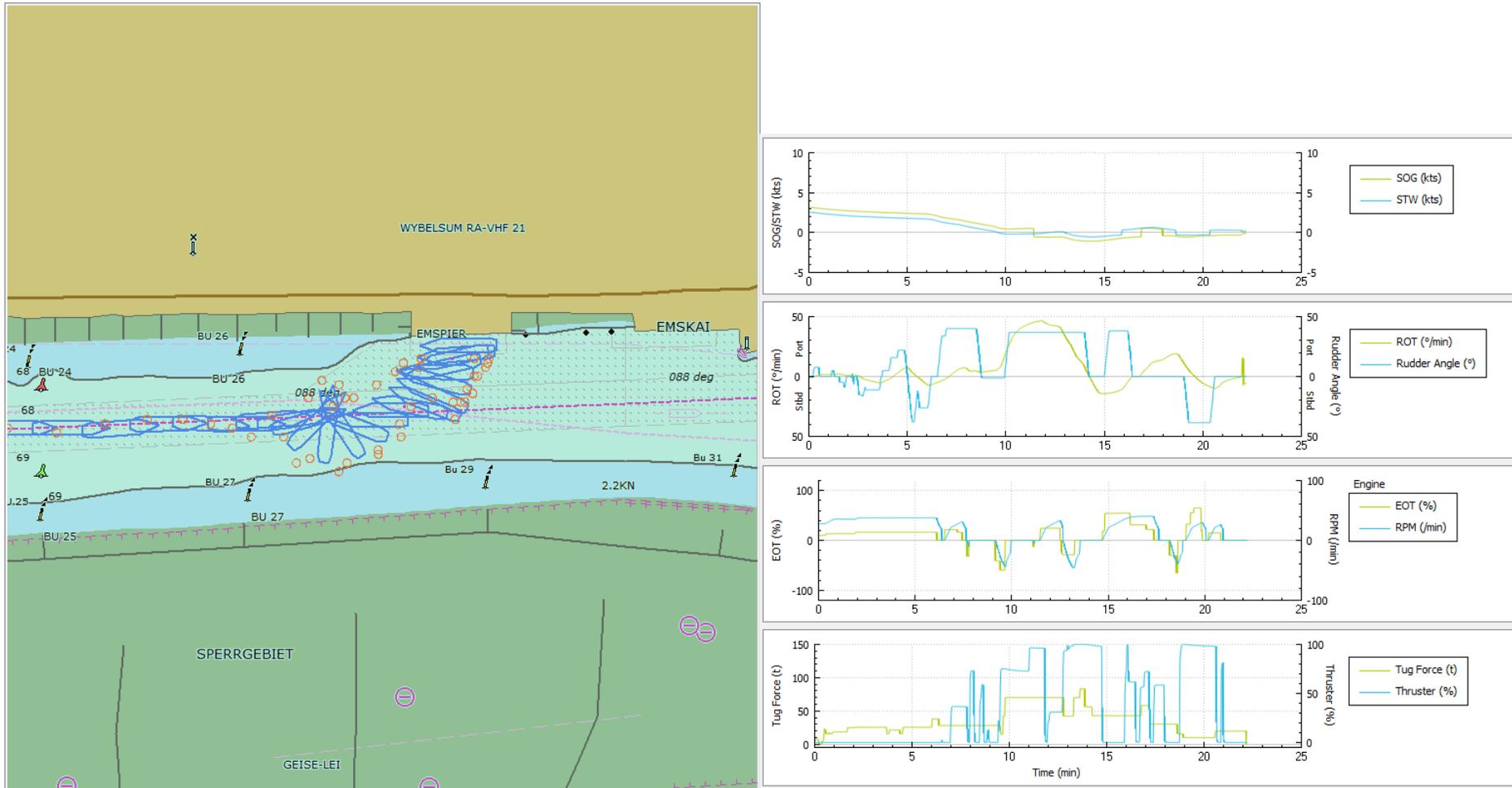


Anlegen mit der Tonsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft8 aus Norden

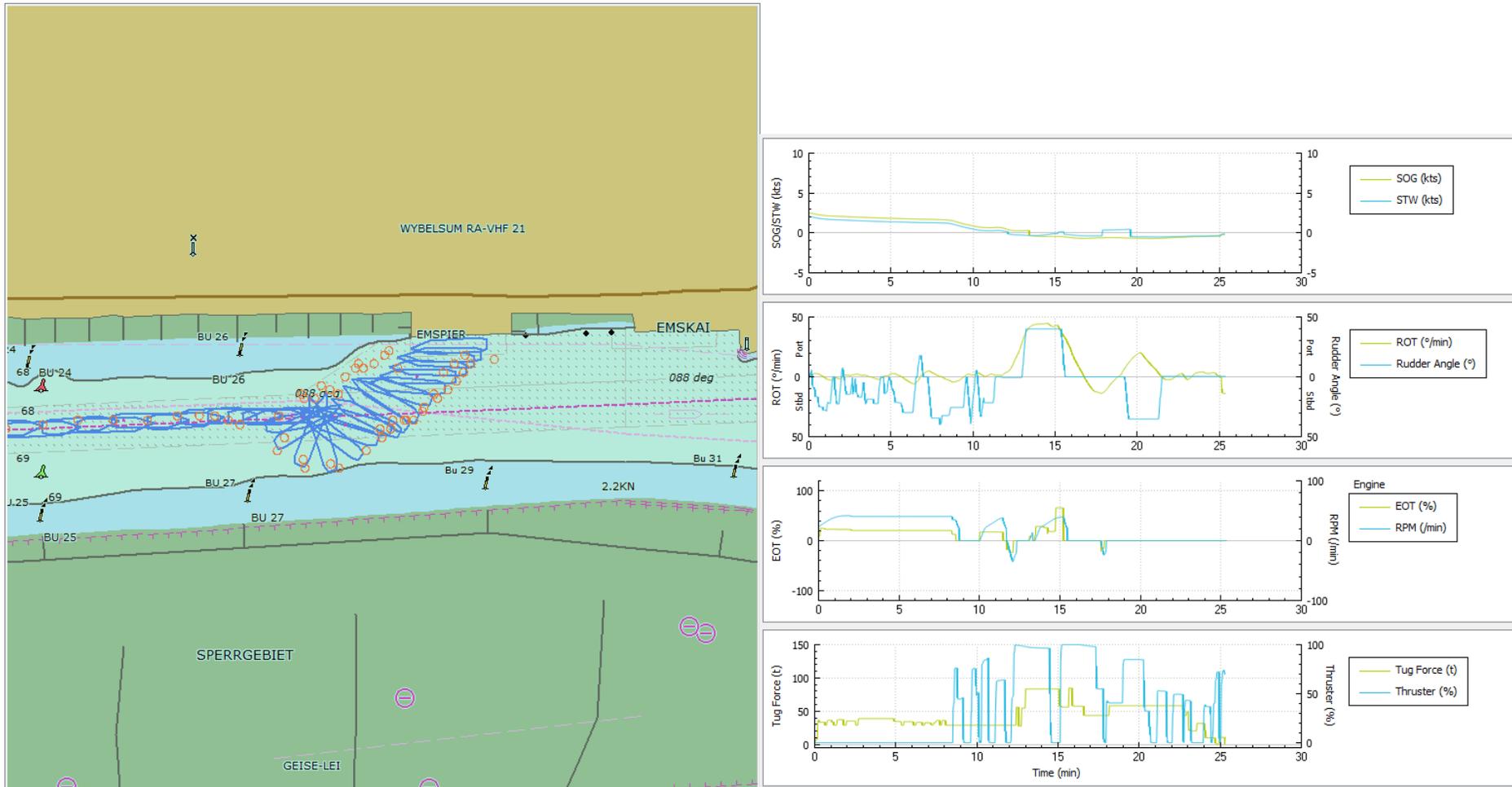


1.2 Nordwestwind

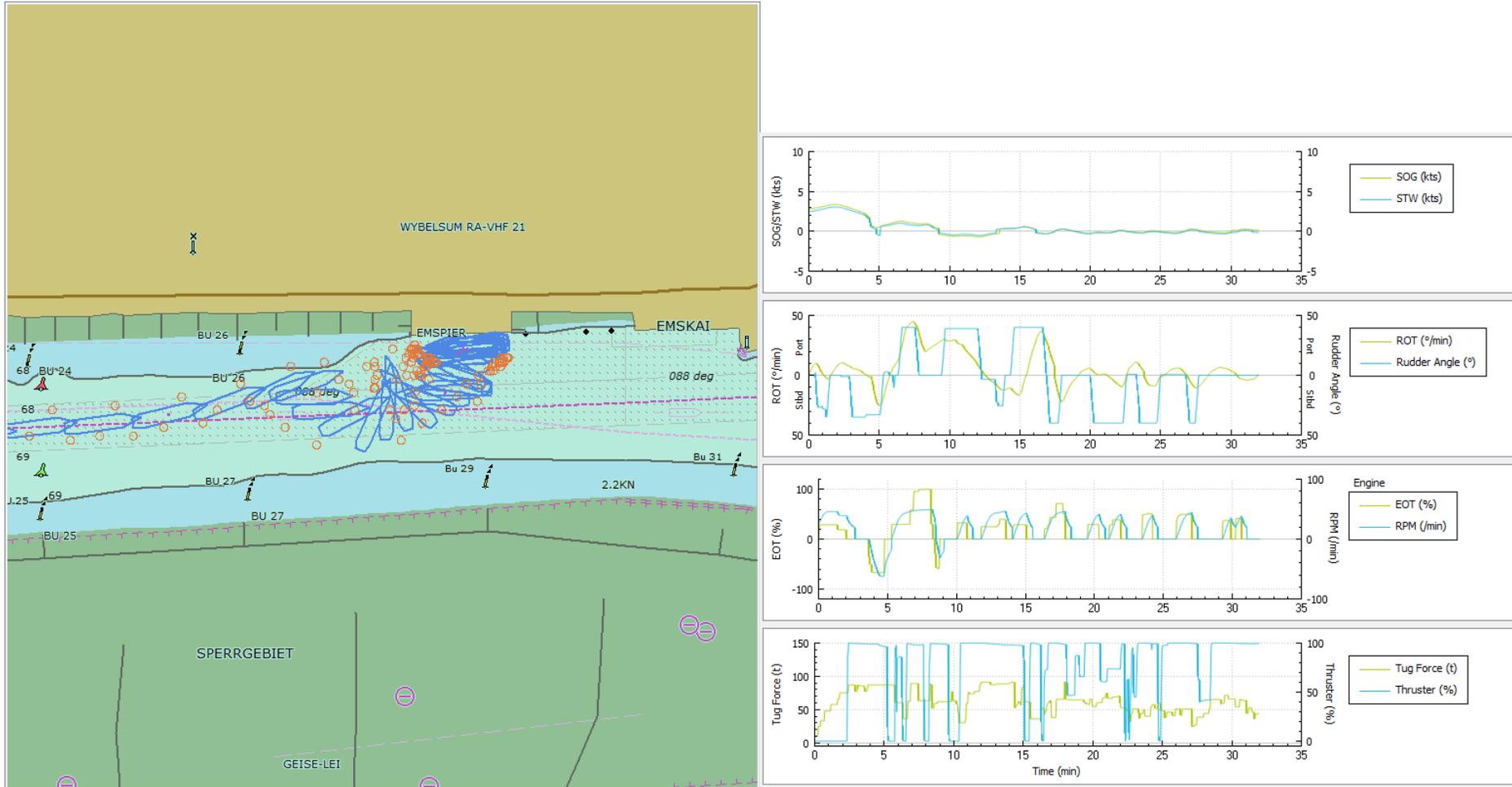
Anlegen mit der Thermopylæ am Emspier bei Flut und Bft2 aus Nordwesten



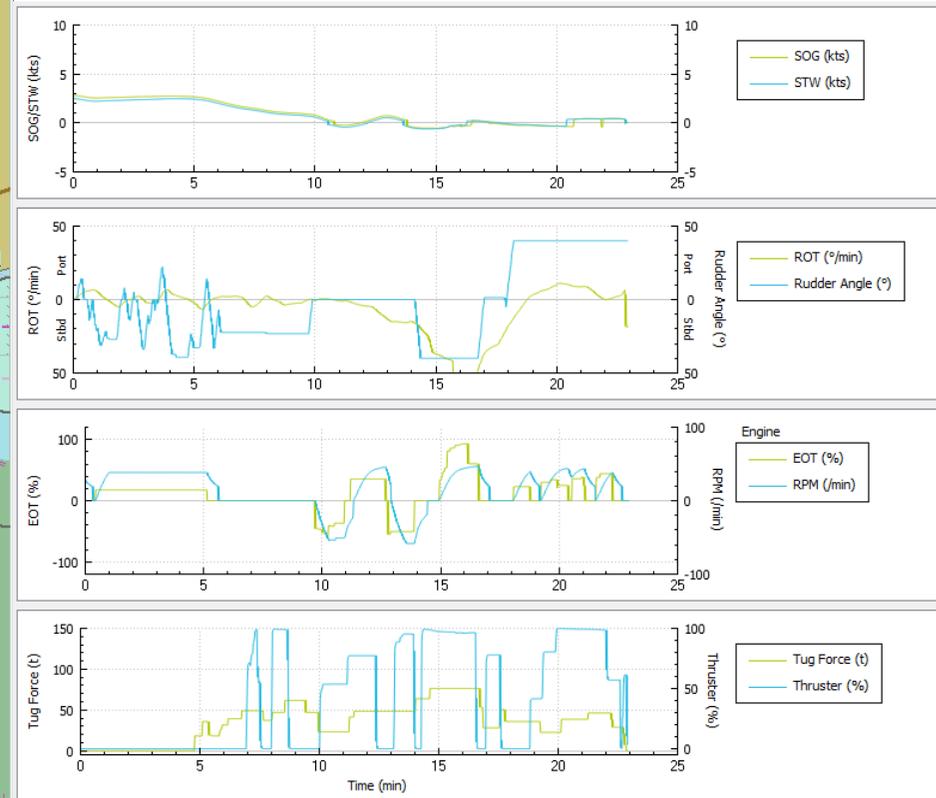
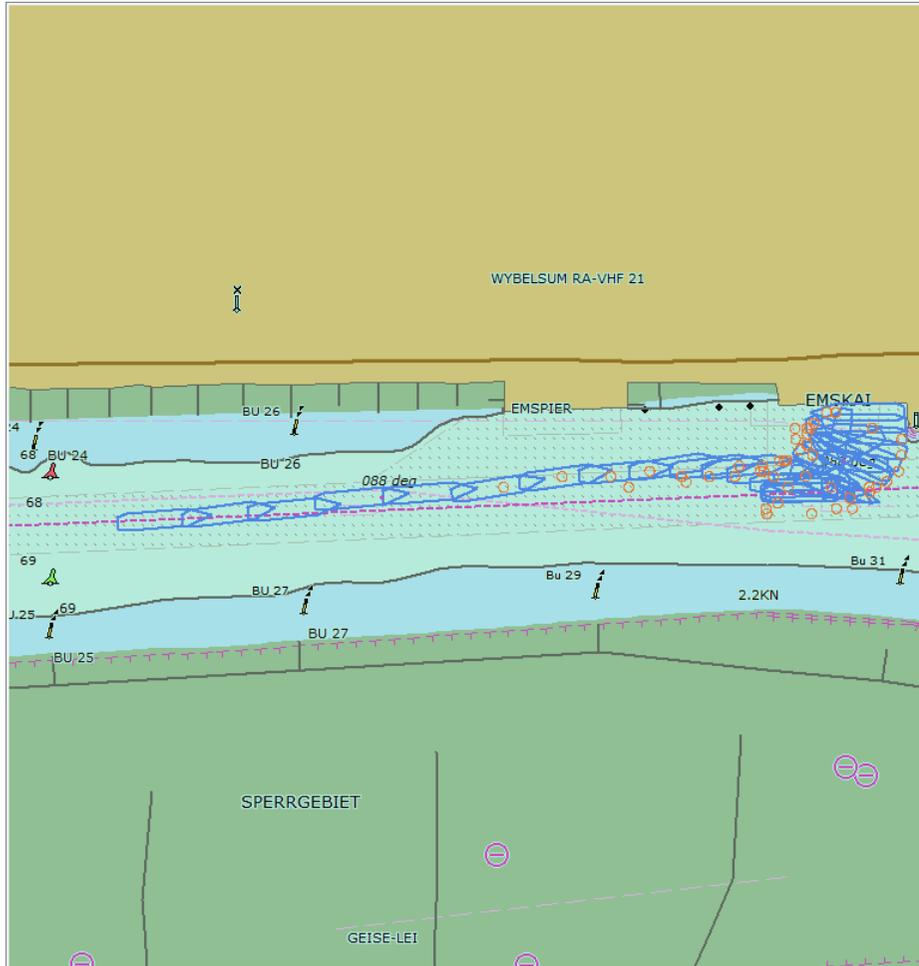
Anlegen mit Thermopyläe am EmSPIER bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwesten



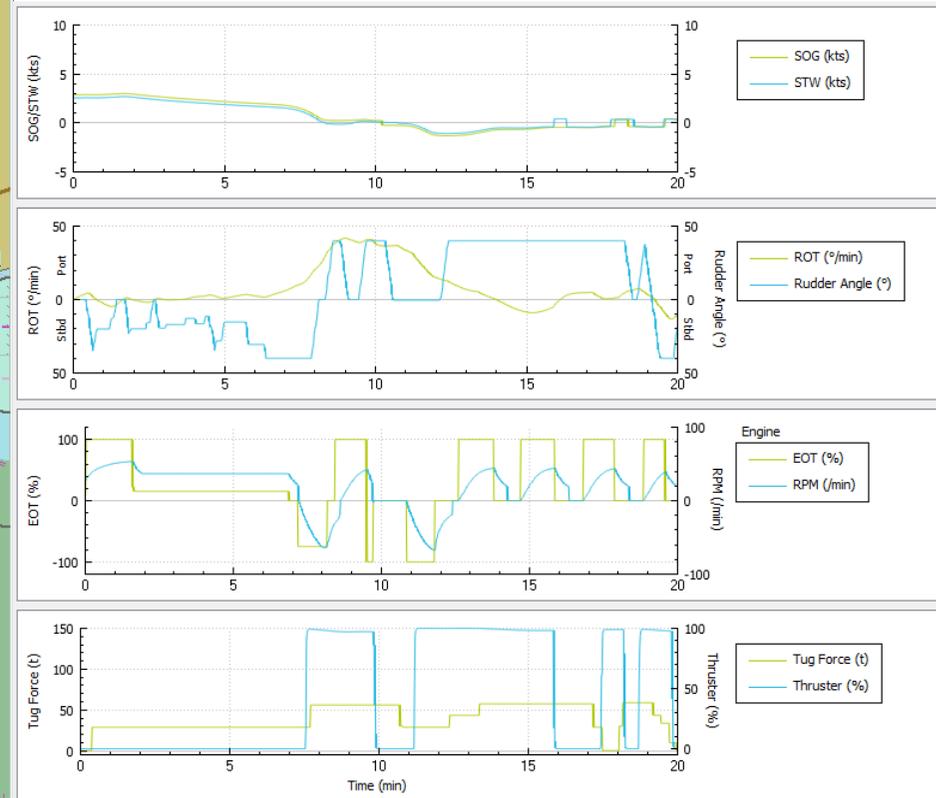
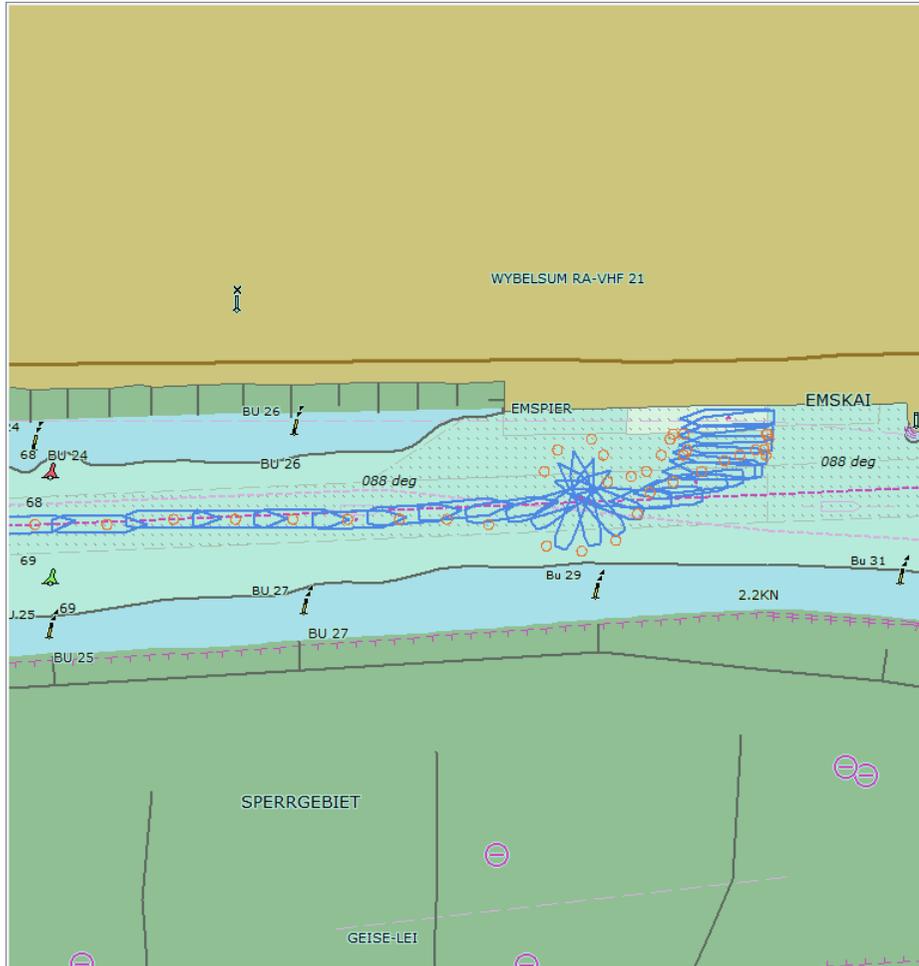
Anlegen mit der Thermopylæ am Emspier bei Stauwasser und Bft7 aus Nordwesten



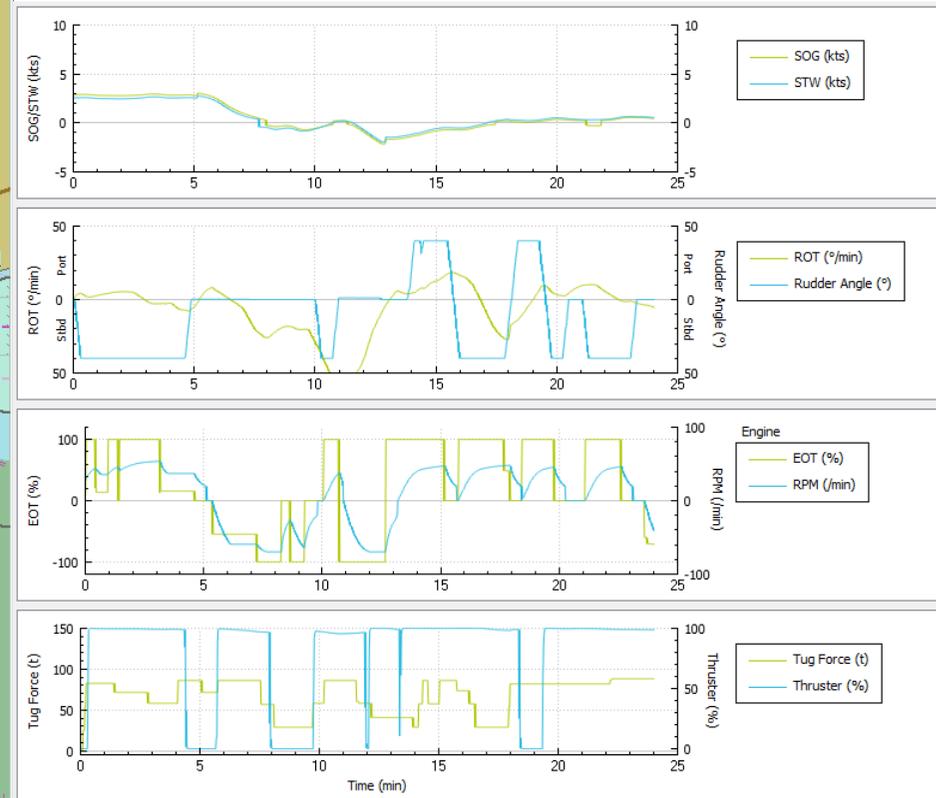
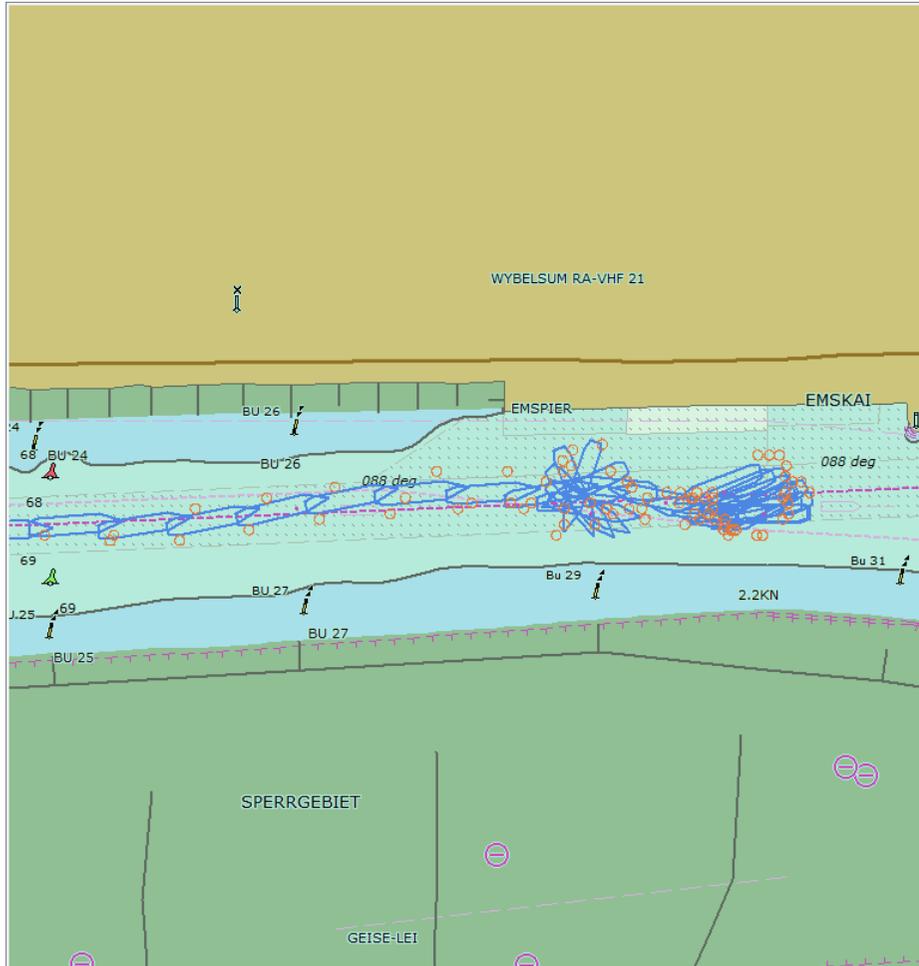
Anlegen mit der Thermopylæ am Emskai bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwesten



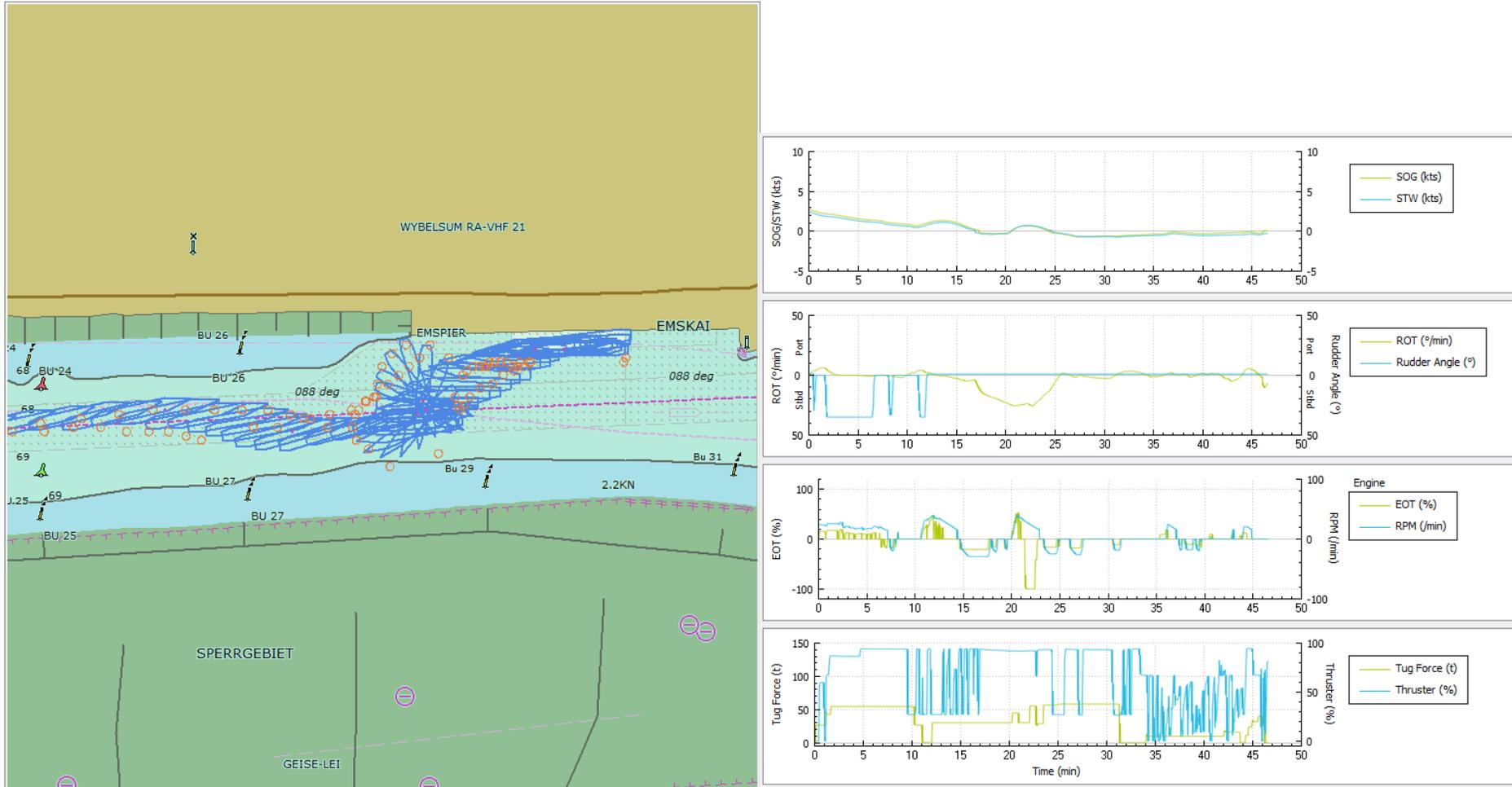
Anlegen mit der Thermopylæ am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwesten



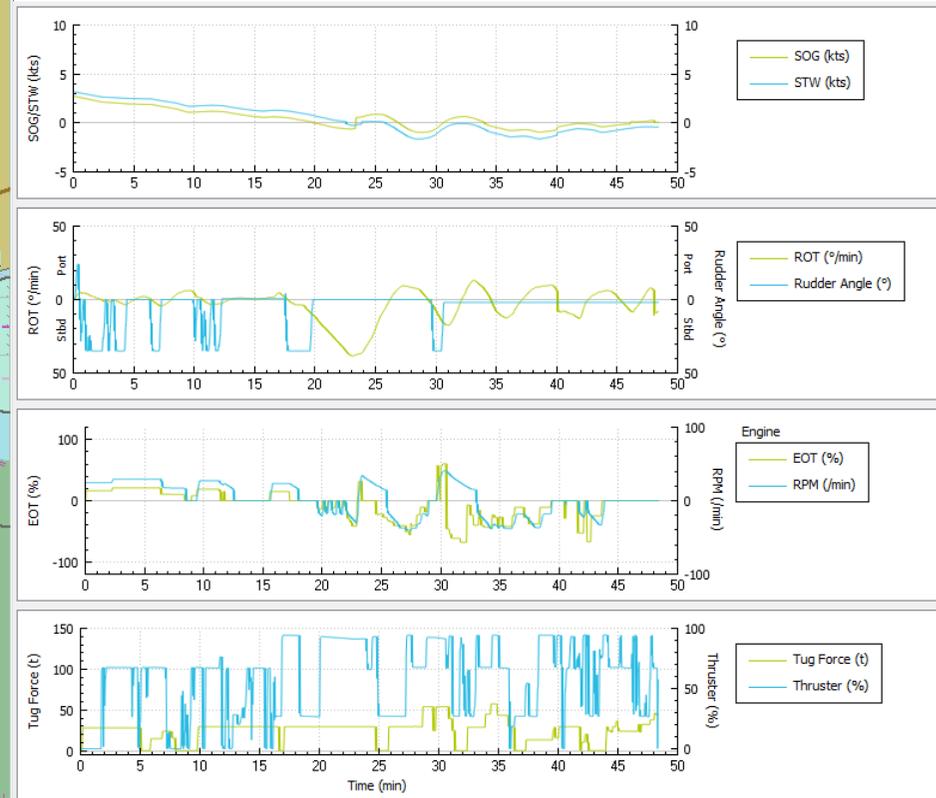
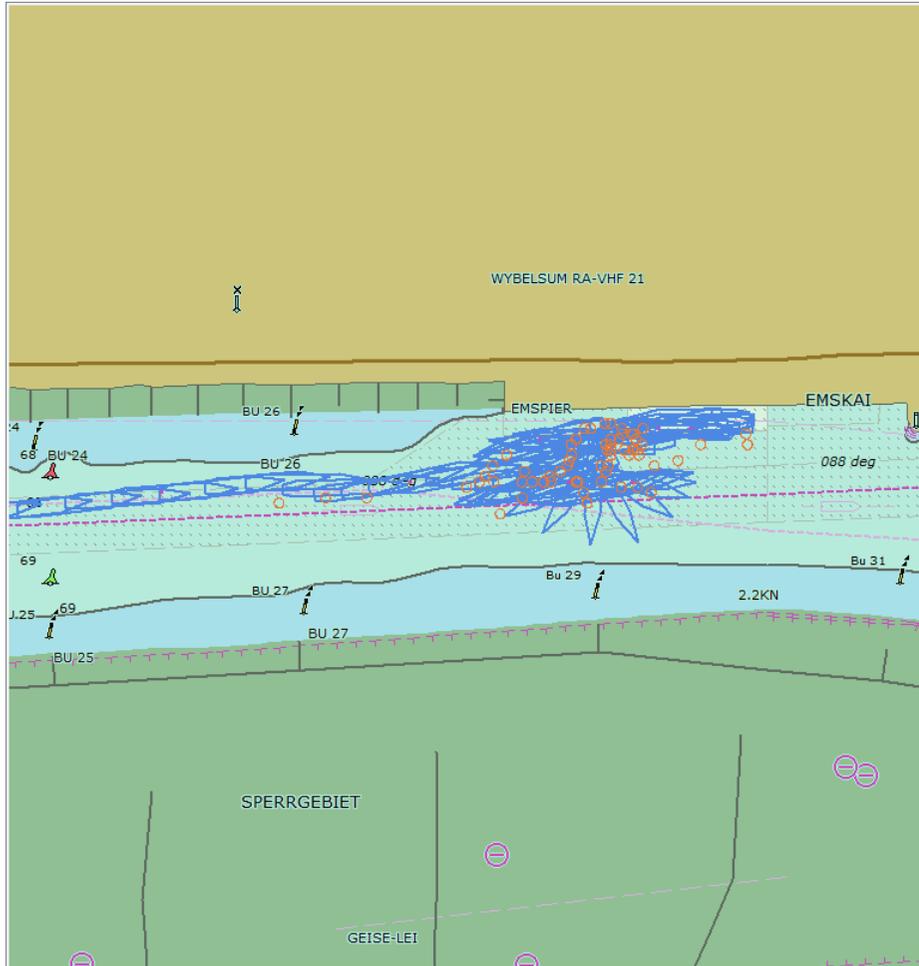
Anlegen mit der Thermopylae am GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Nordwesten



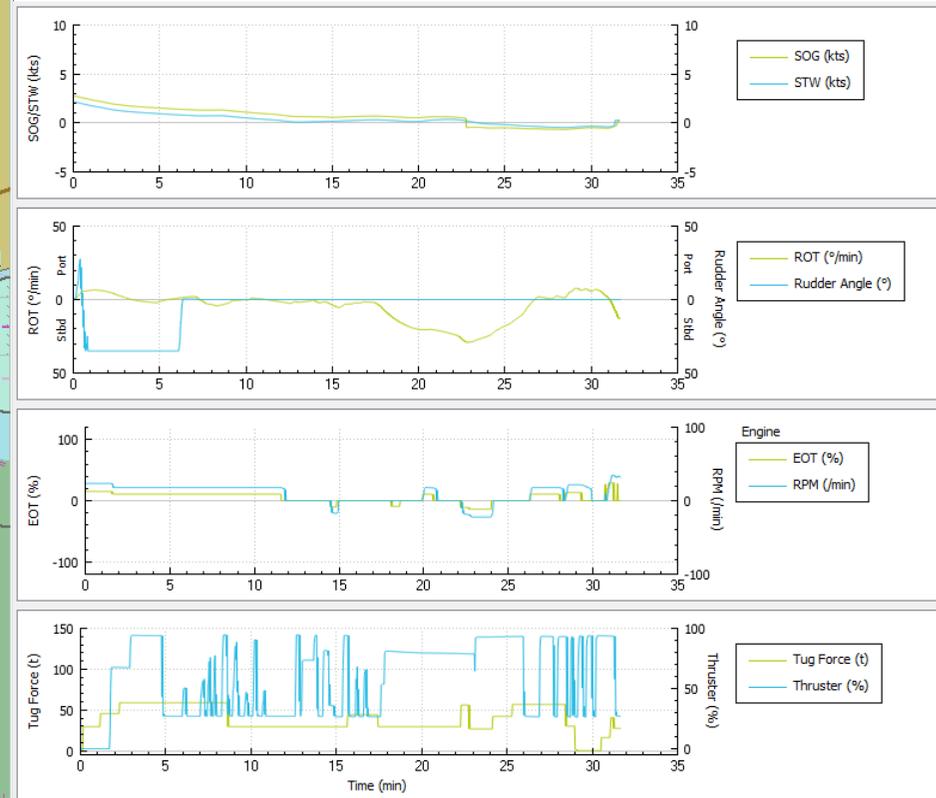
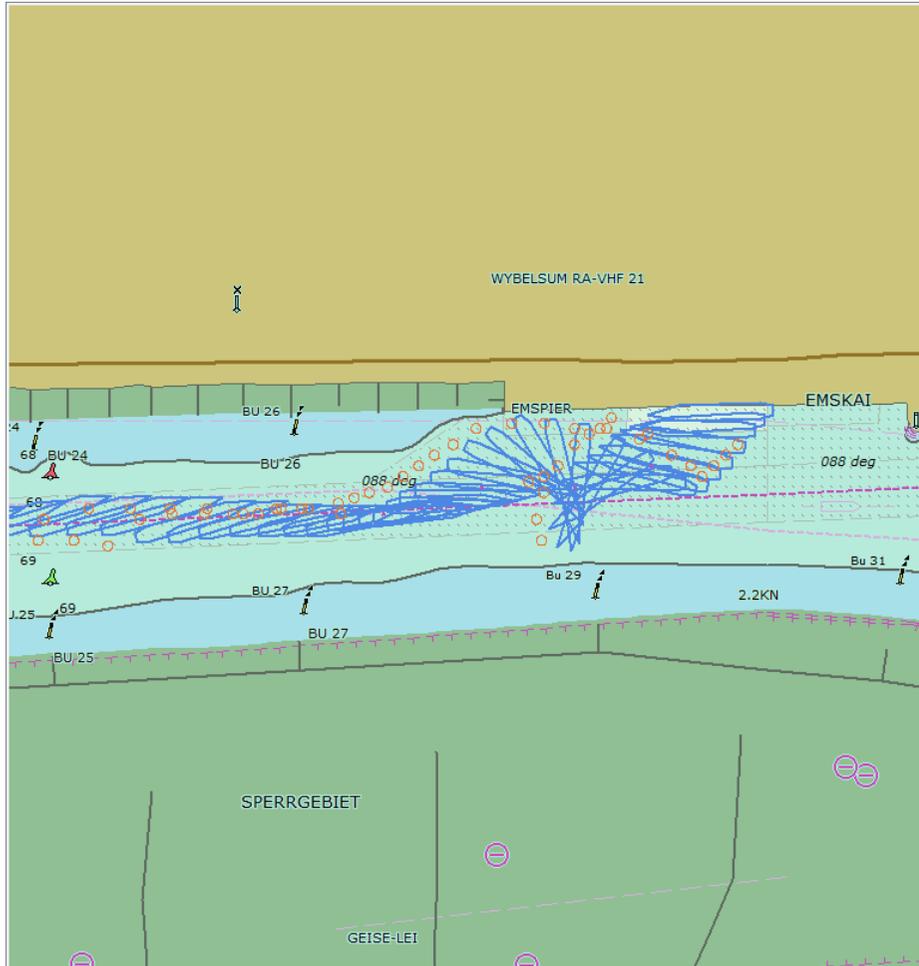
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwesten



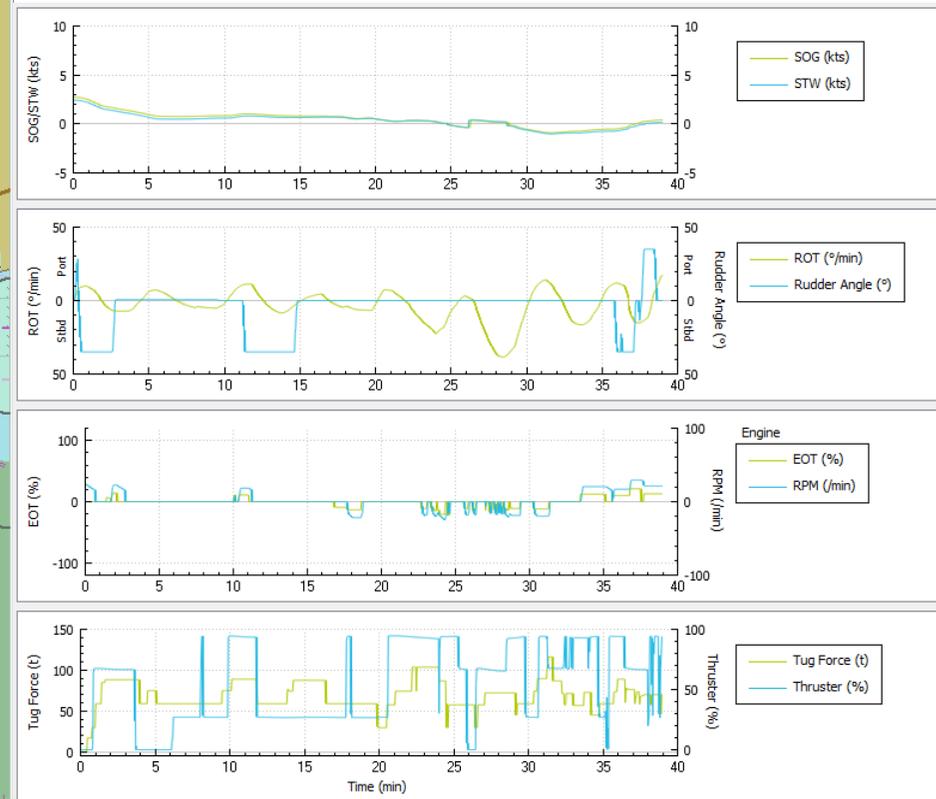
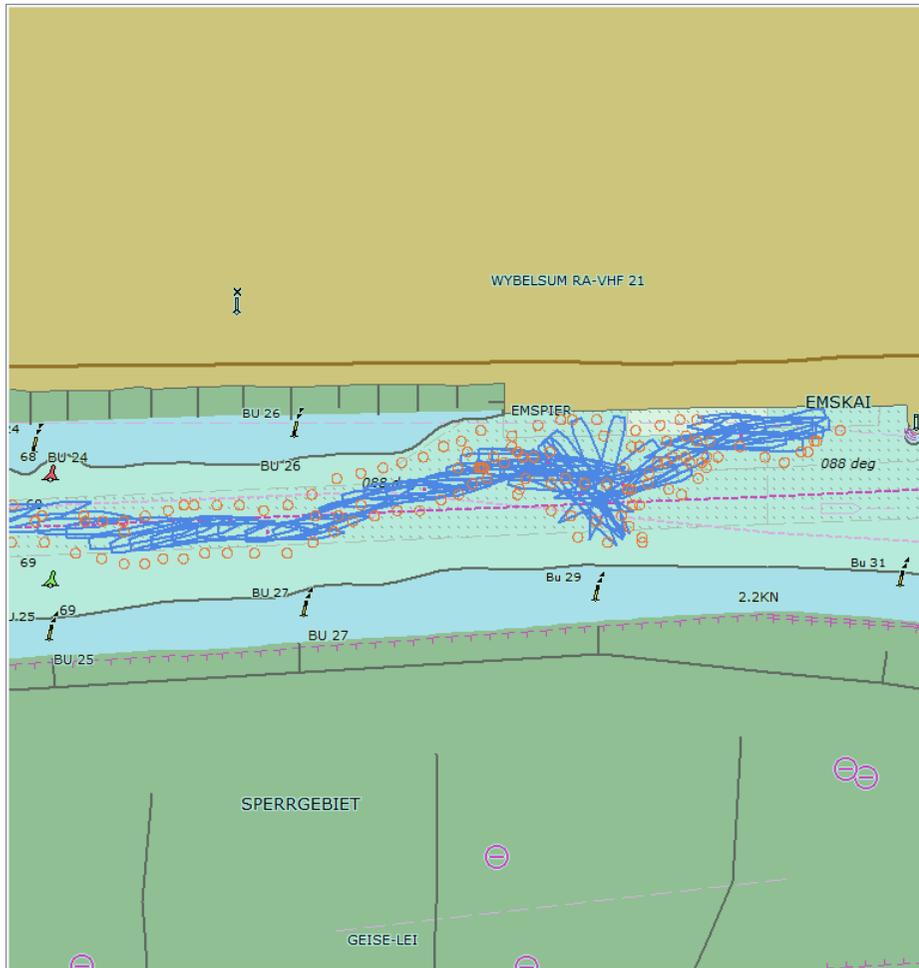
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Ebbe und Bft5 aus Nordwesten



Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Flut und Bft5 aus Nordwesten

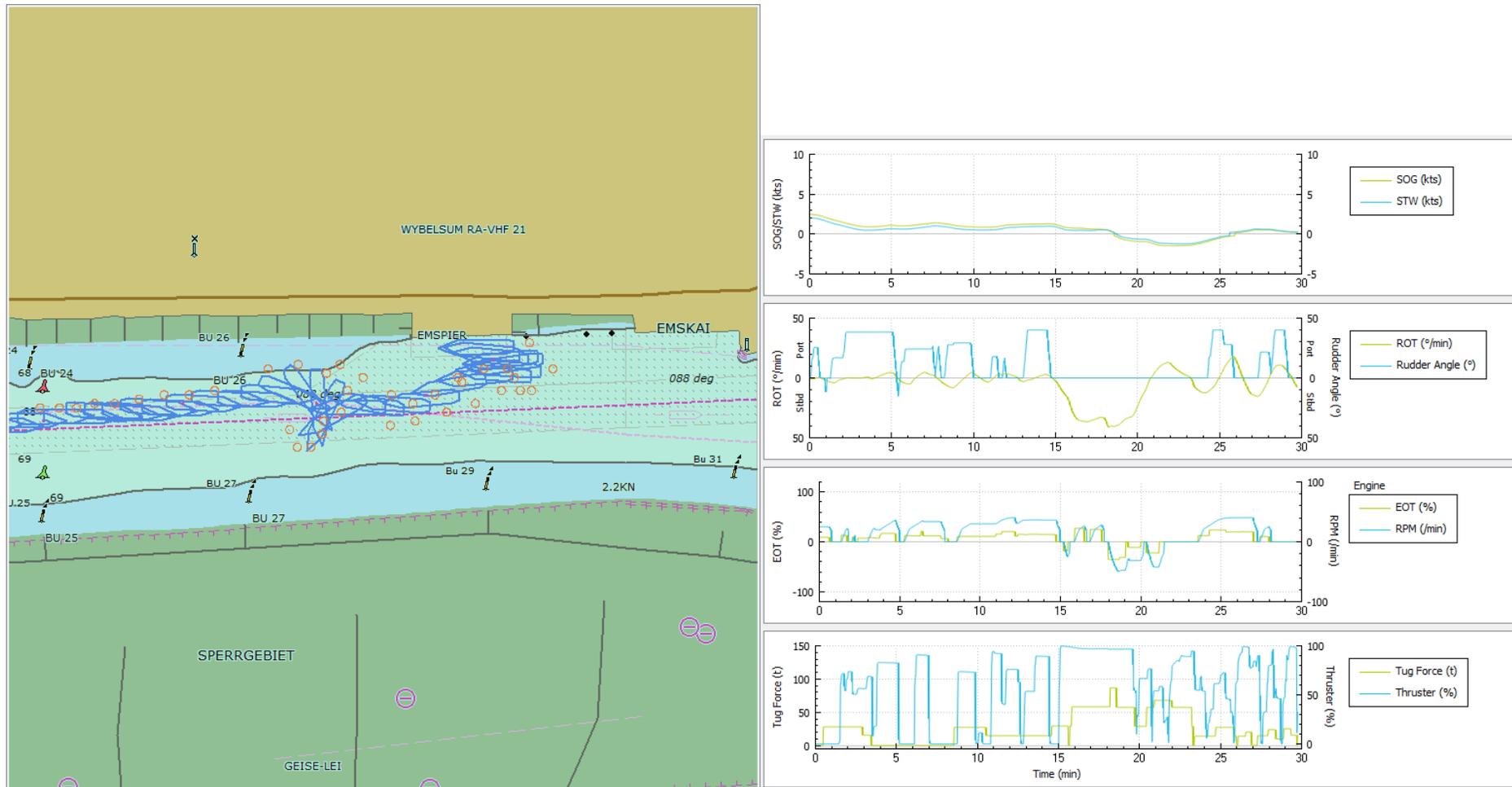


Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Nordwesten

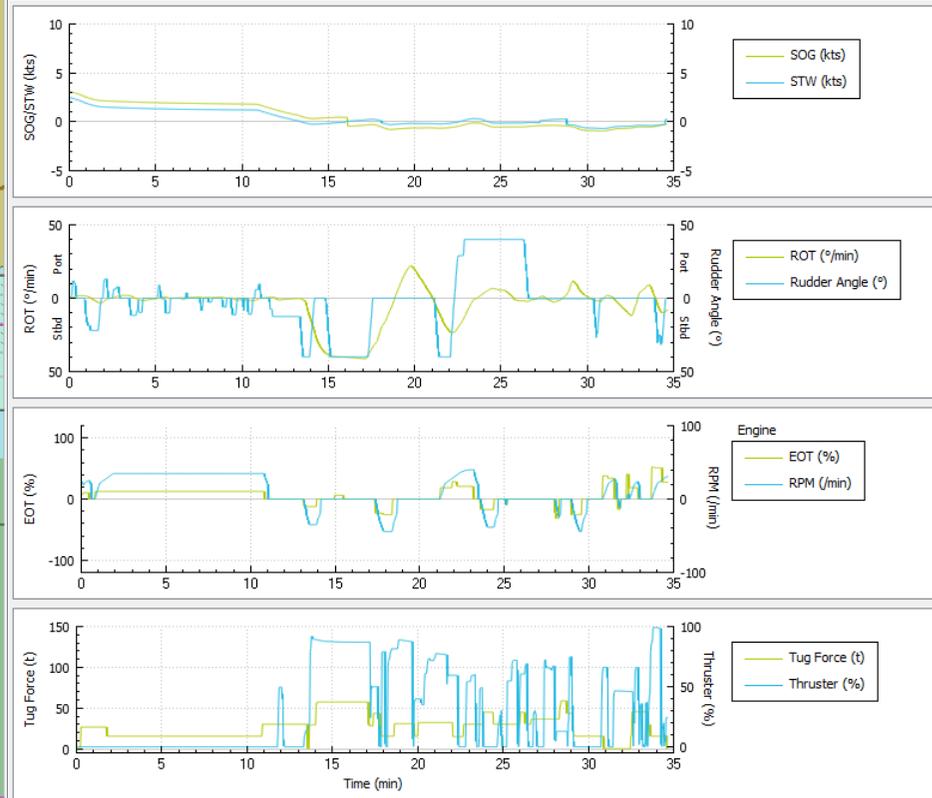
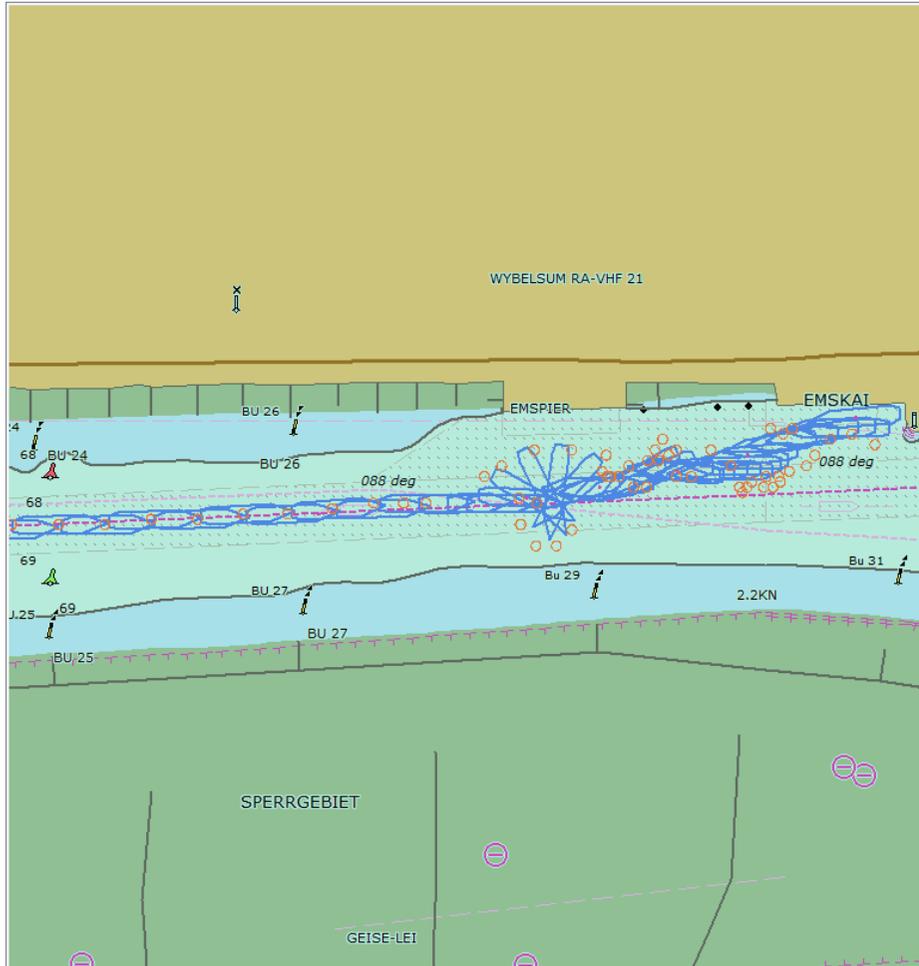


1.3 Südwestwind

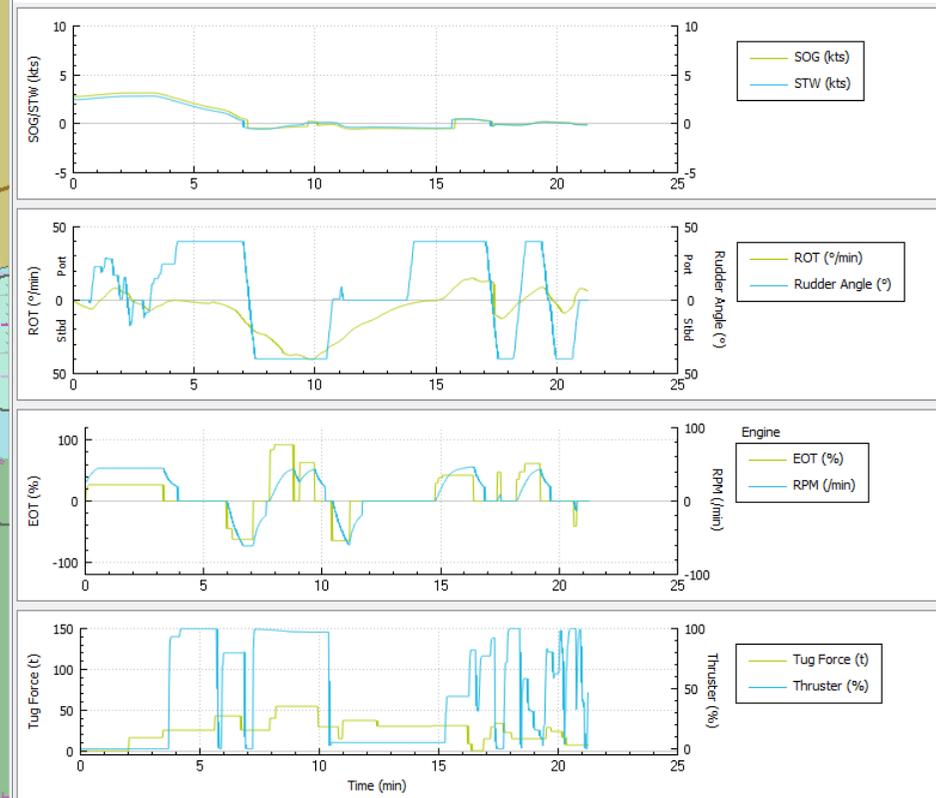
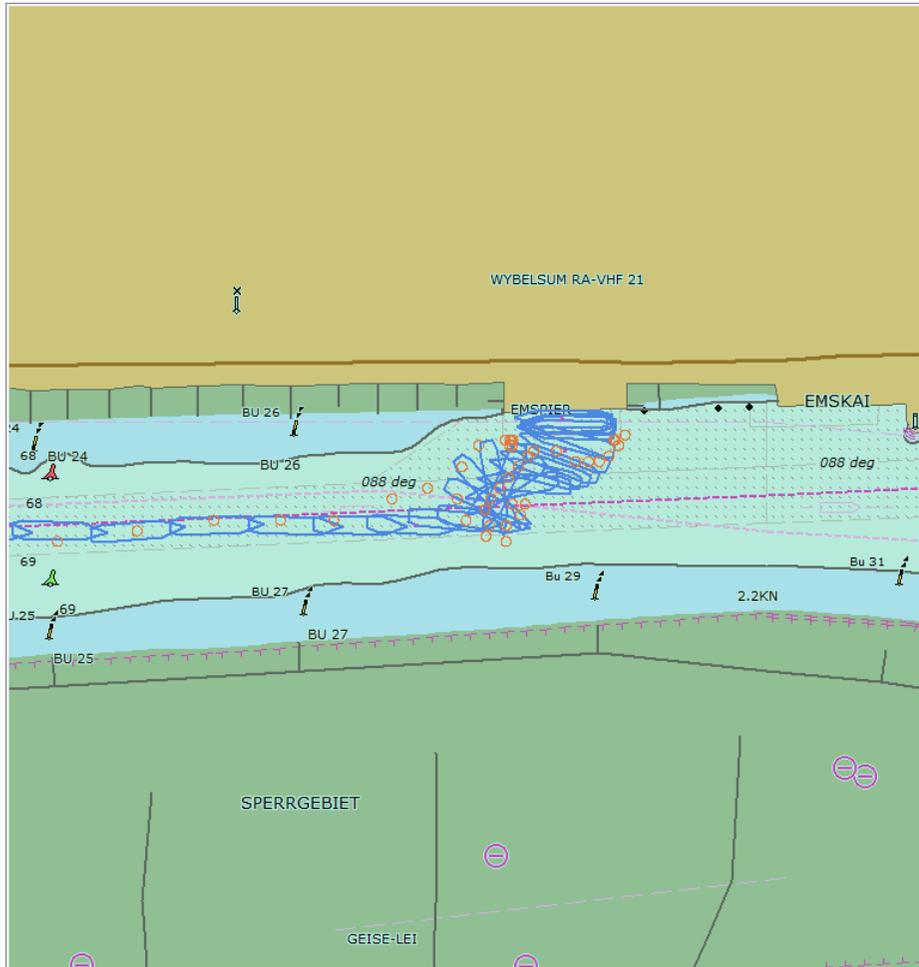
Anlegen mit der Thermopylæ am Emspier bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten



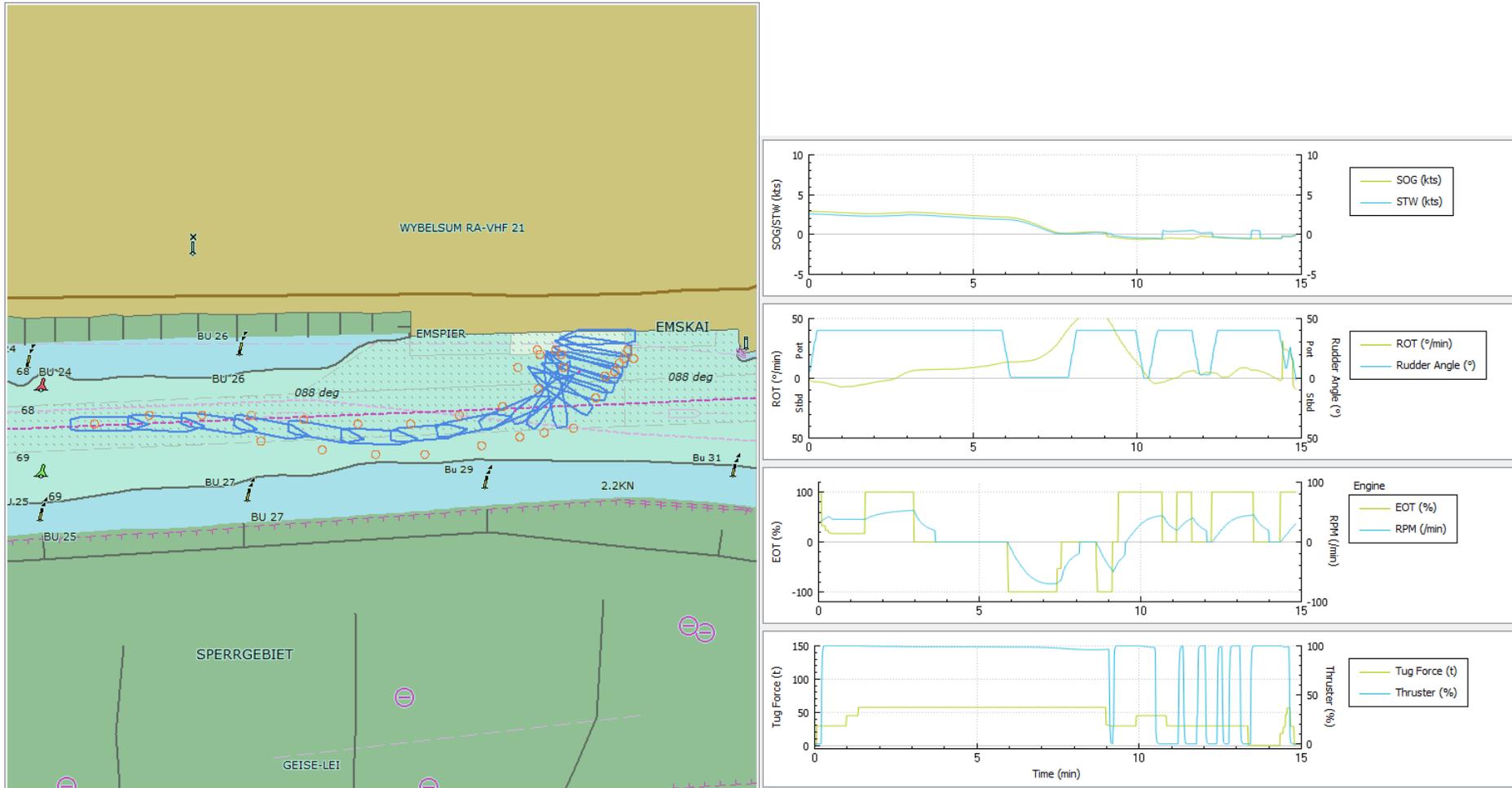
Anlegen mit der Tønsberg am Emskai bei Flut und Bft2 aus Südwesten



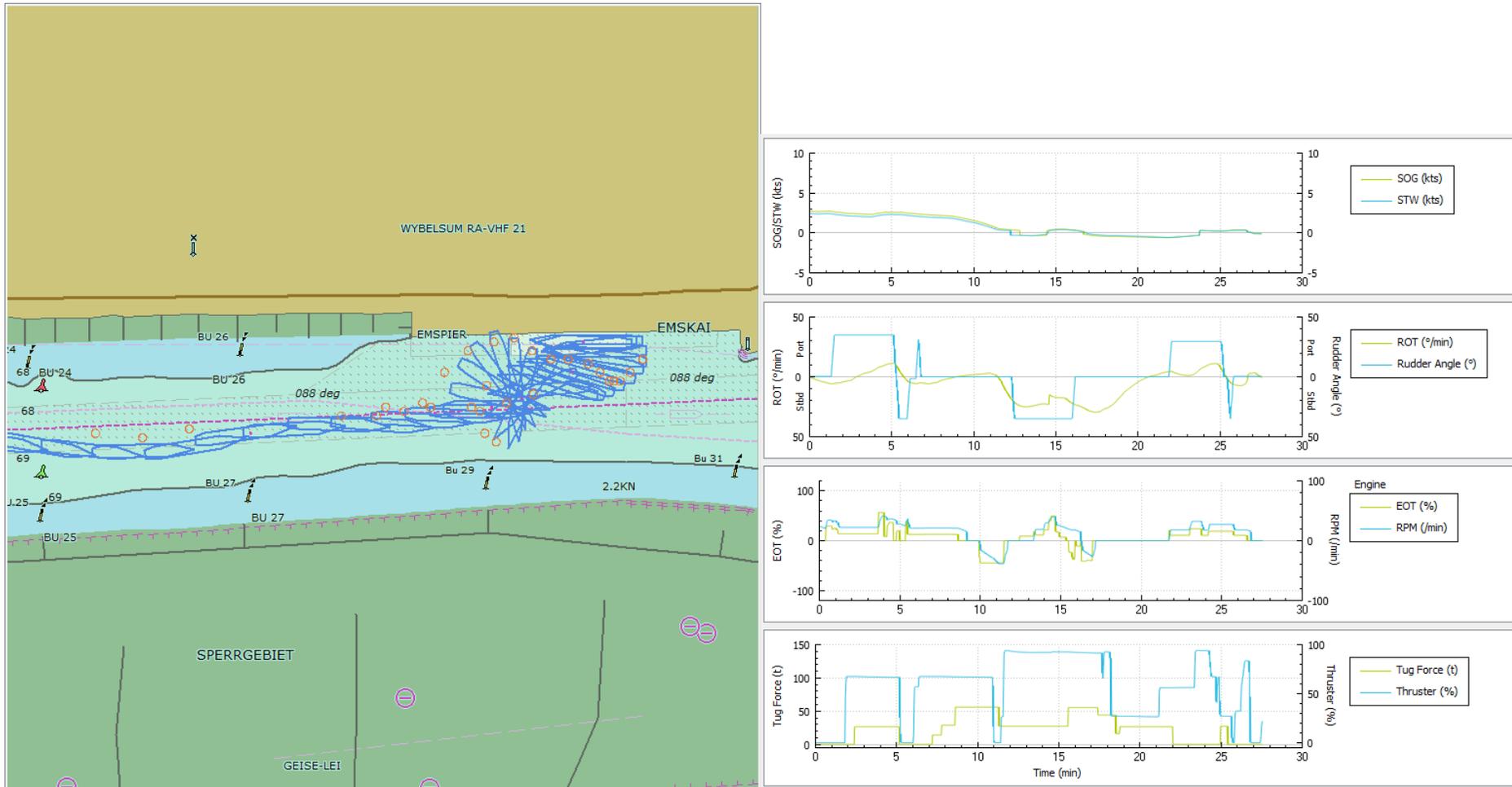
Anlegen mit der Thermopylae am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten



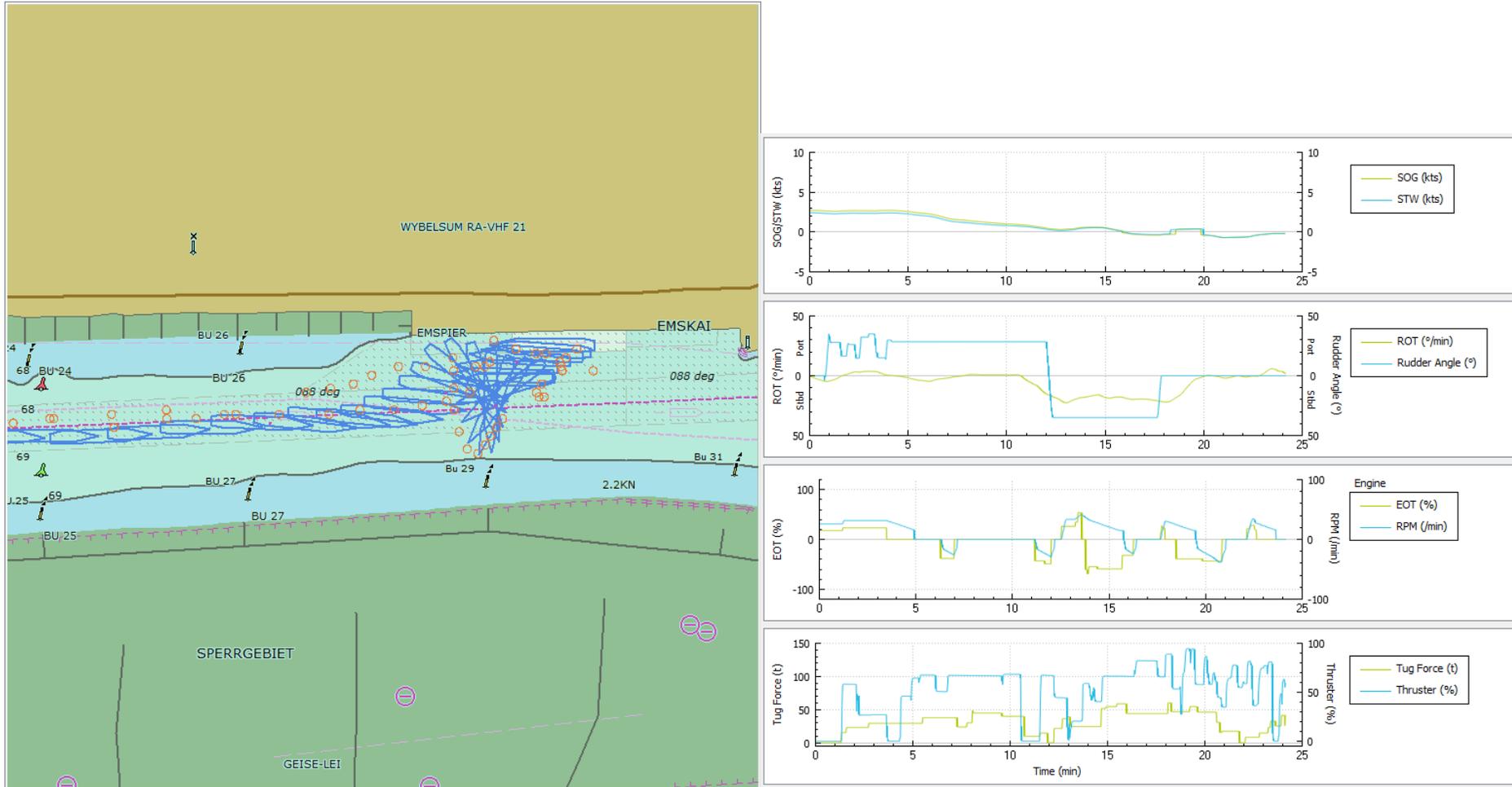
Anlegen mit der Thermopylæ am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten



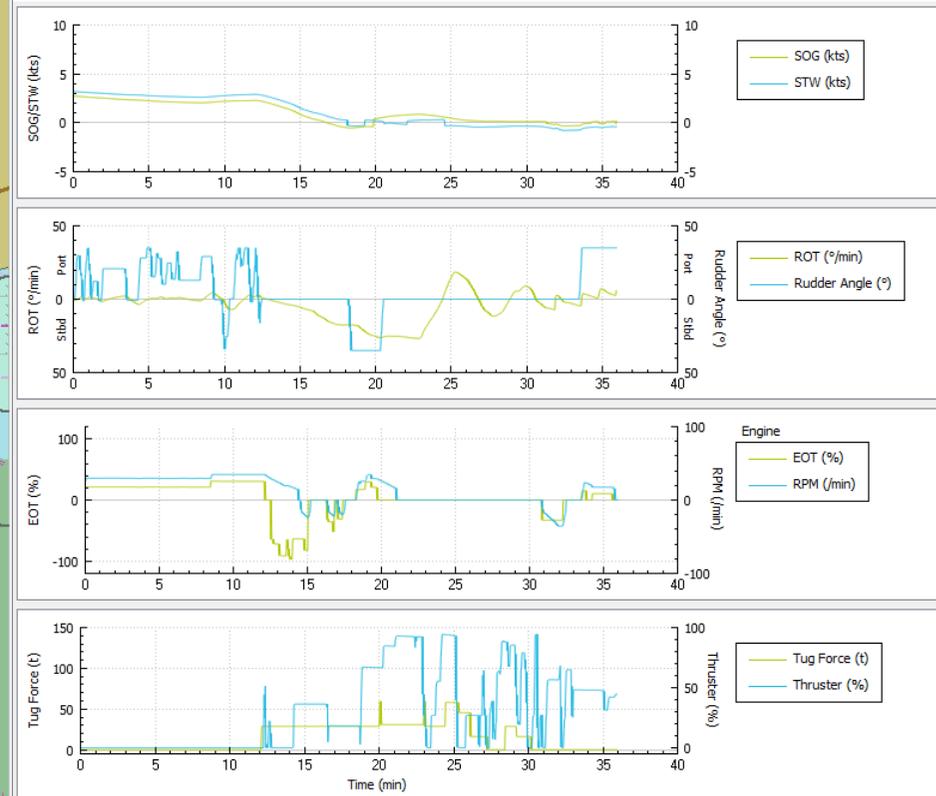
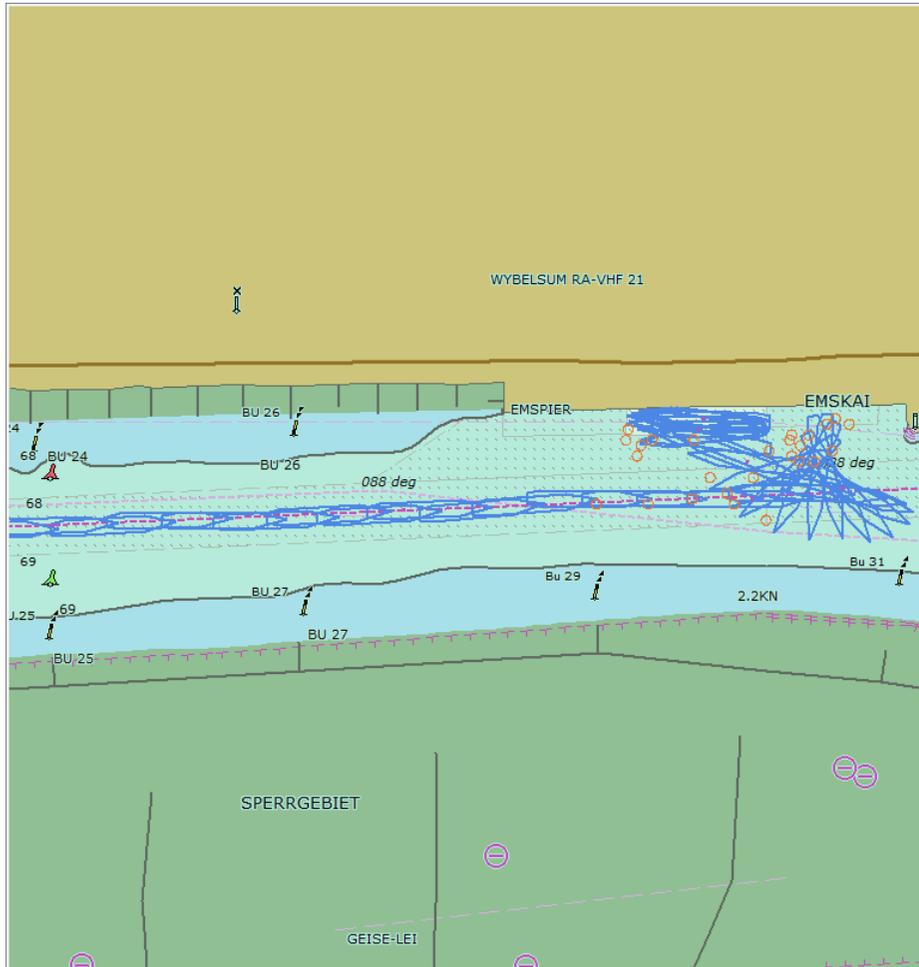
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP Bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten,



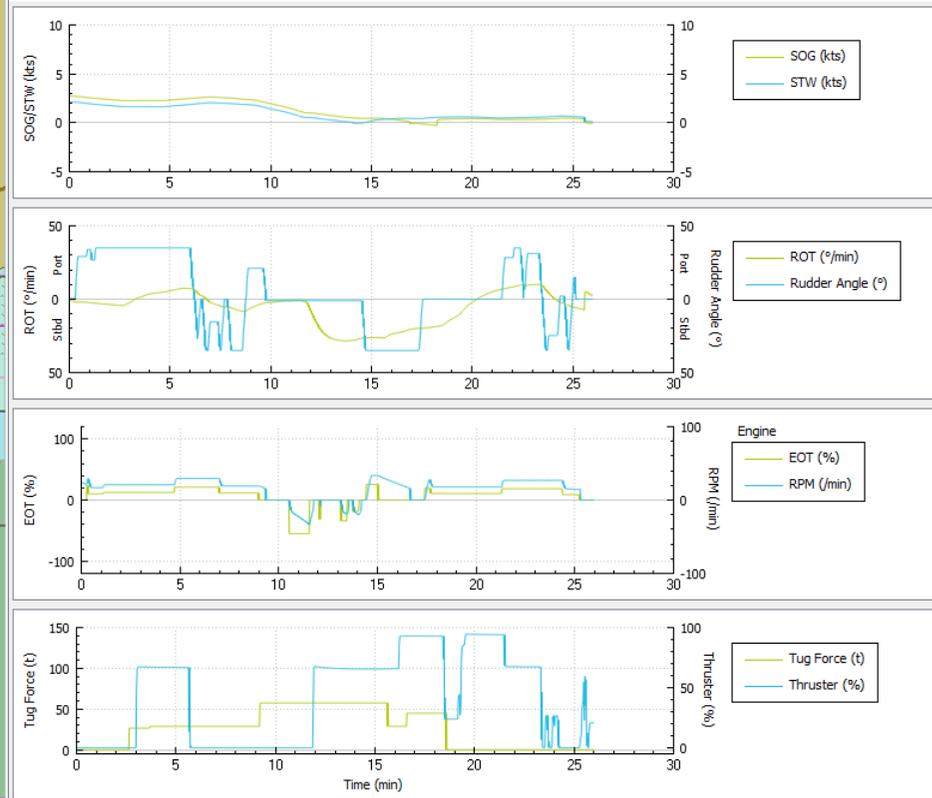
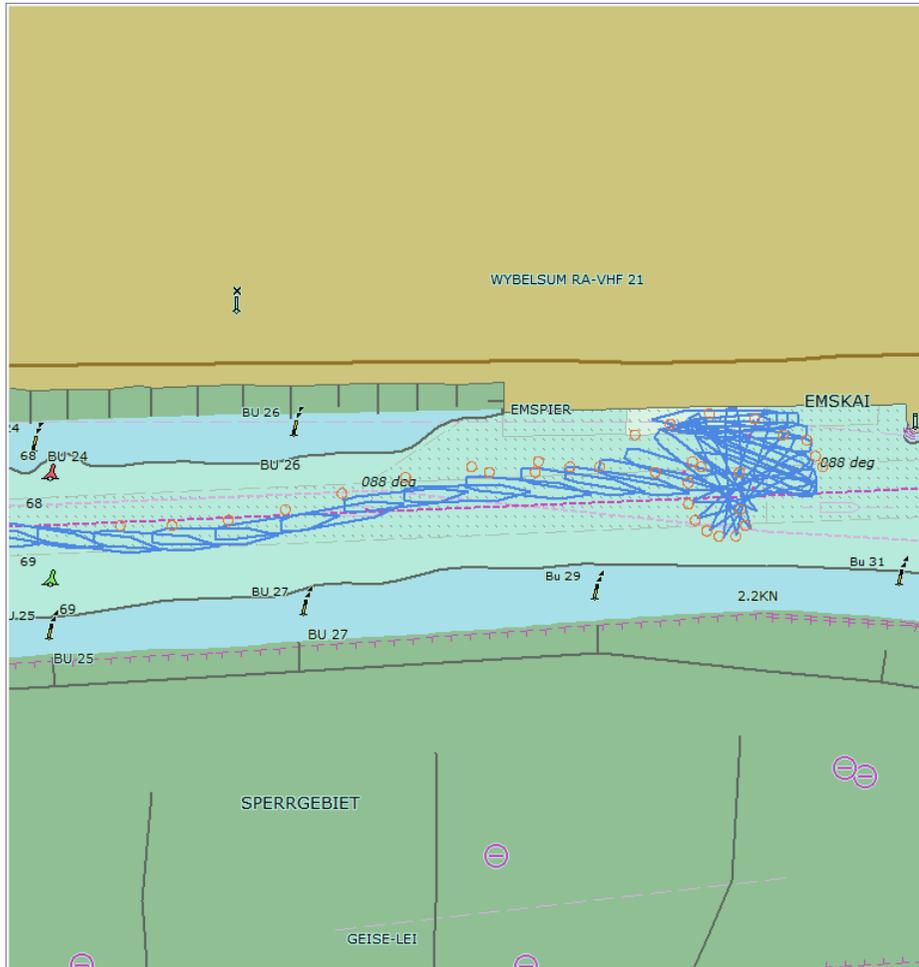
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten



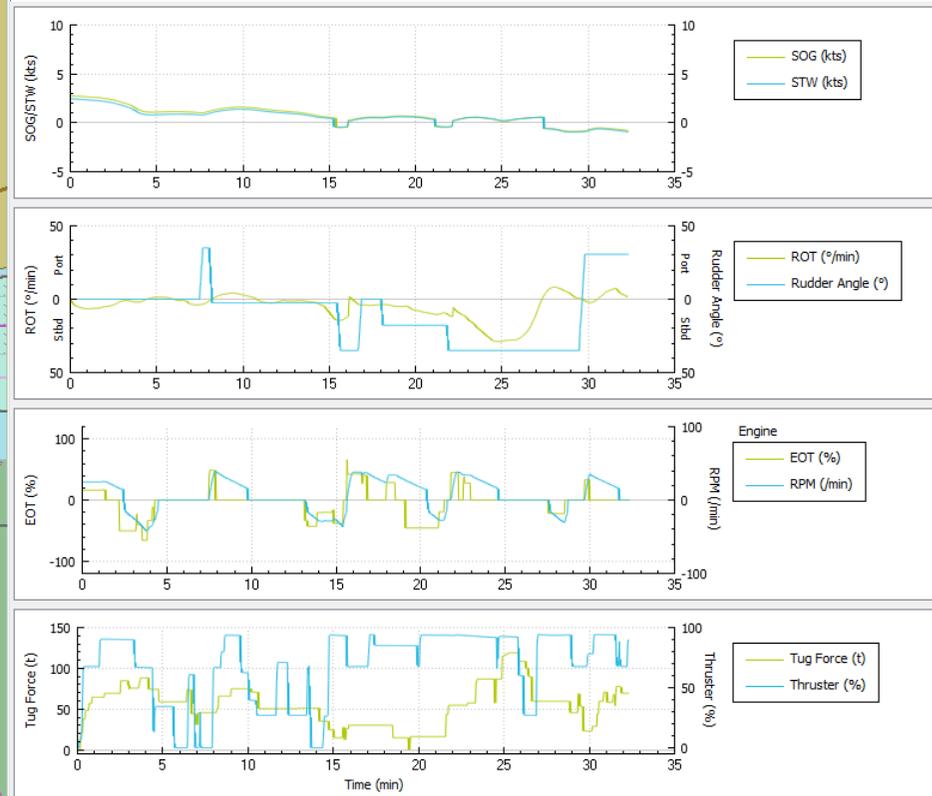
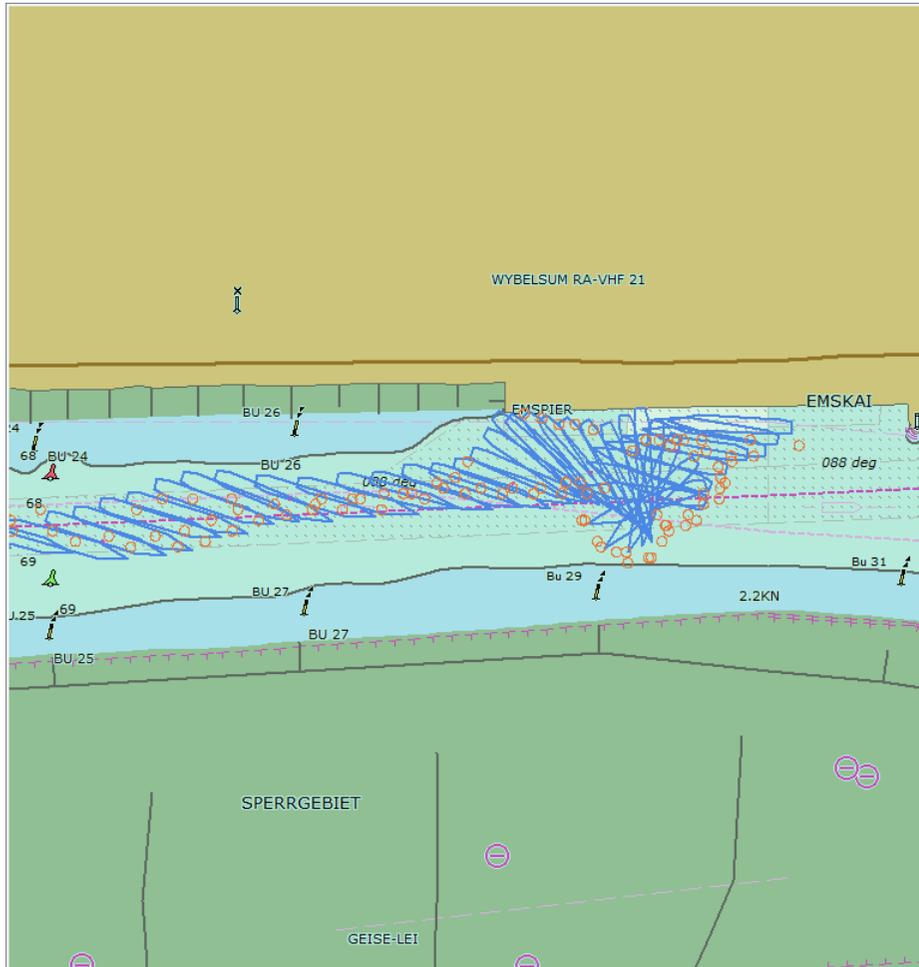
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Ebbe und Bft5 aus Südwesten



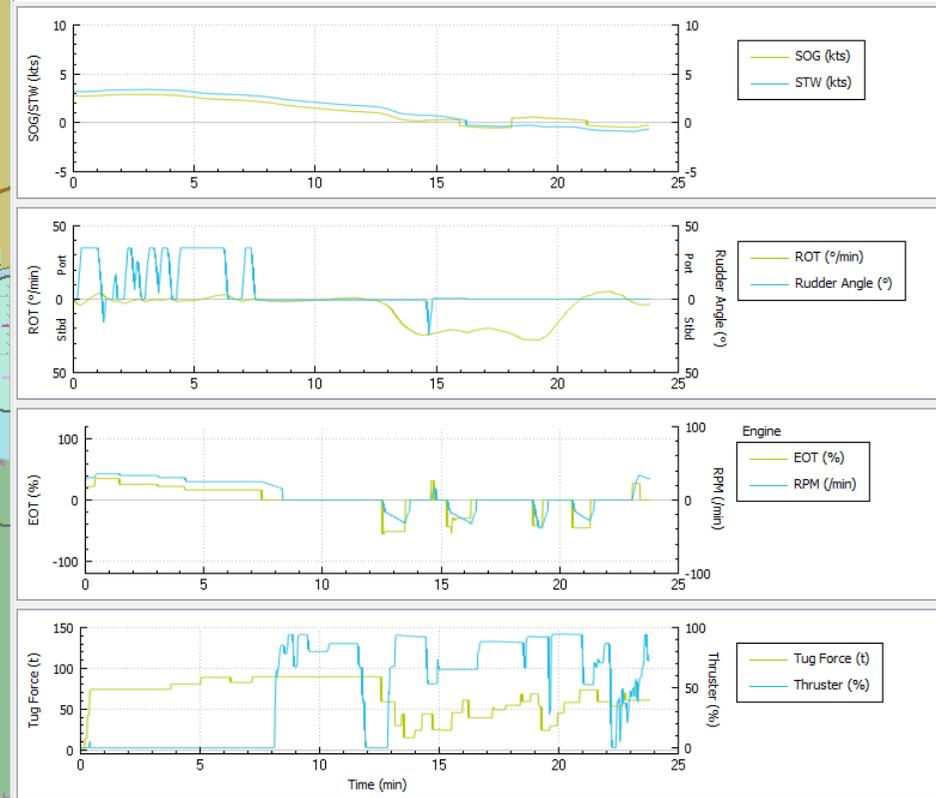
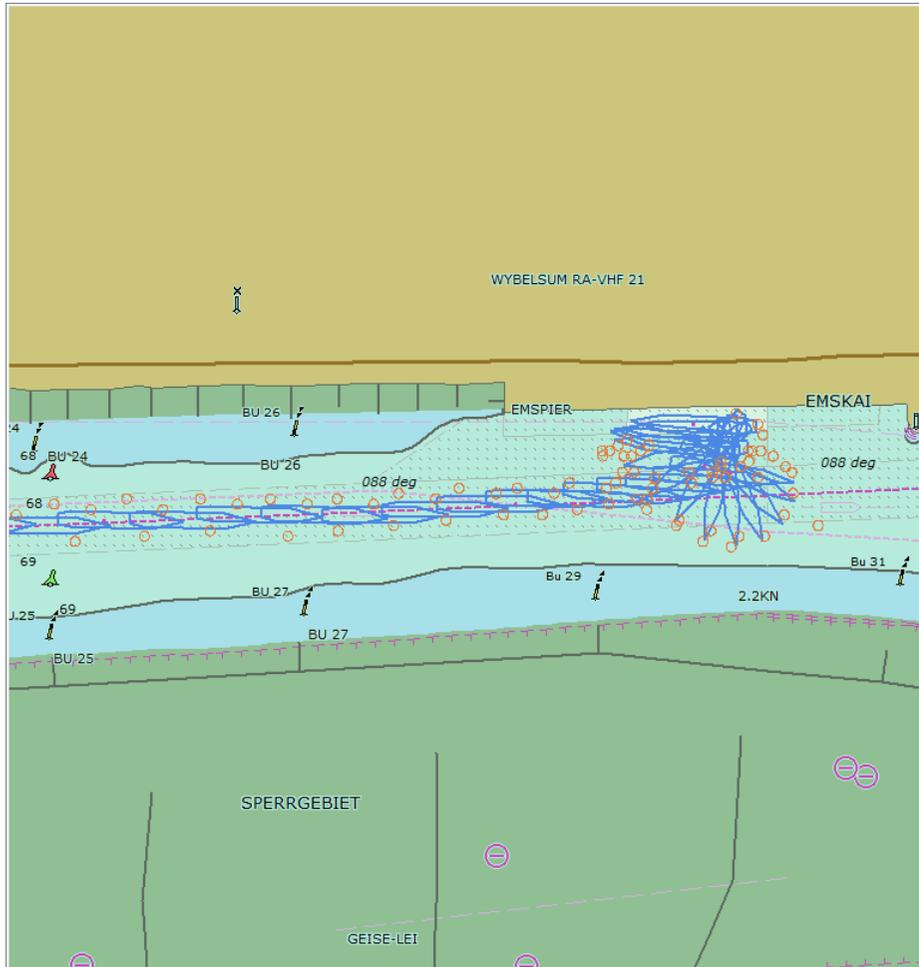
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Flut und Bft5 aus Südwesten



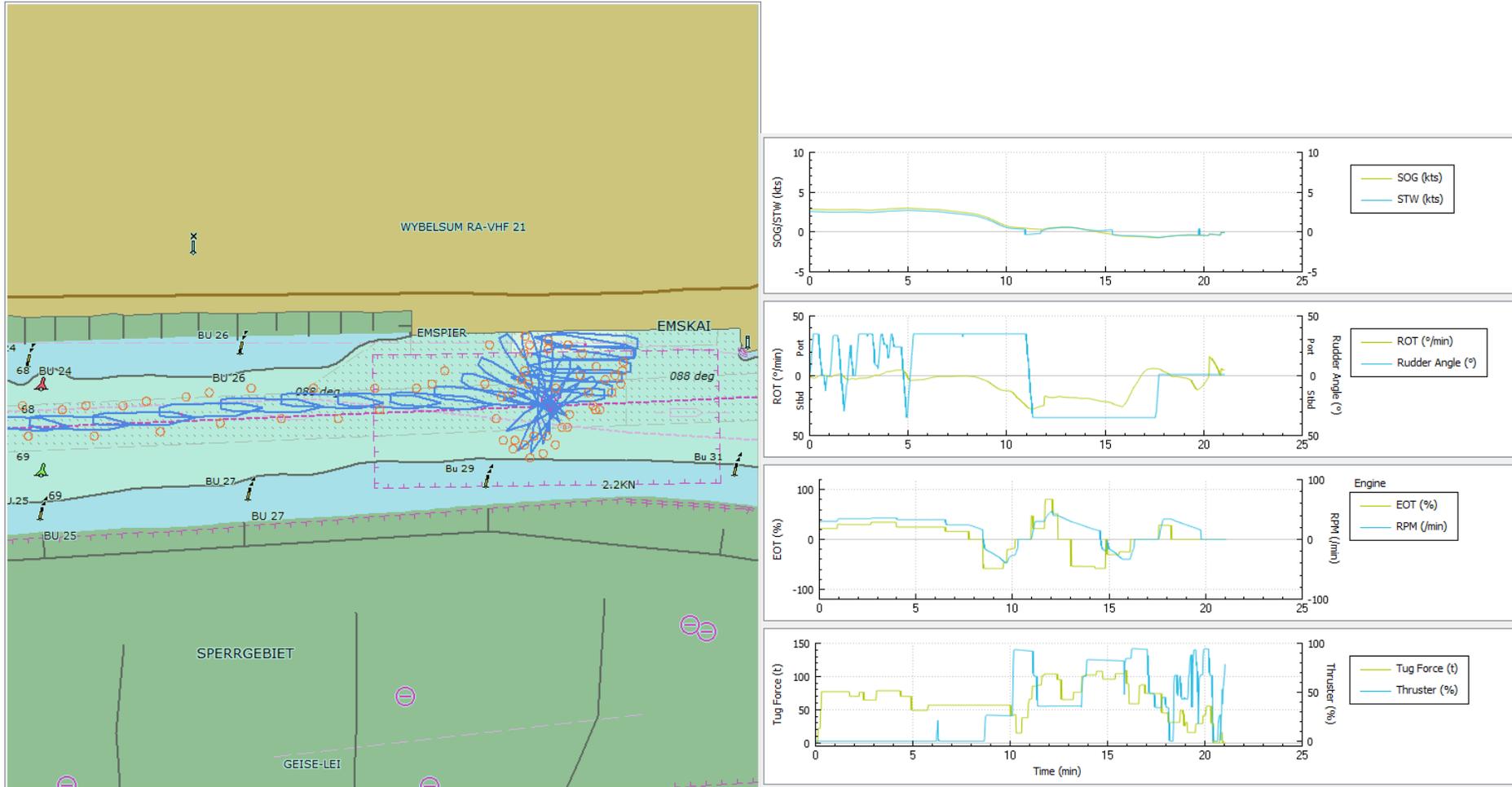
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Flut und Bft5 aus Südwesten



Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Flut und Bft5 aus Südwesten

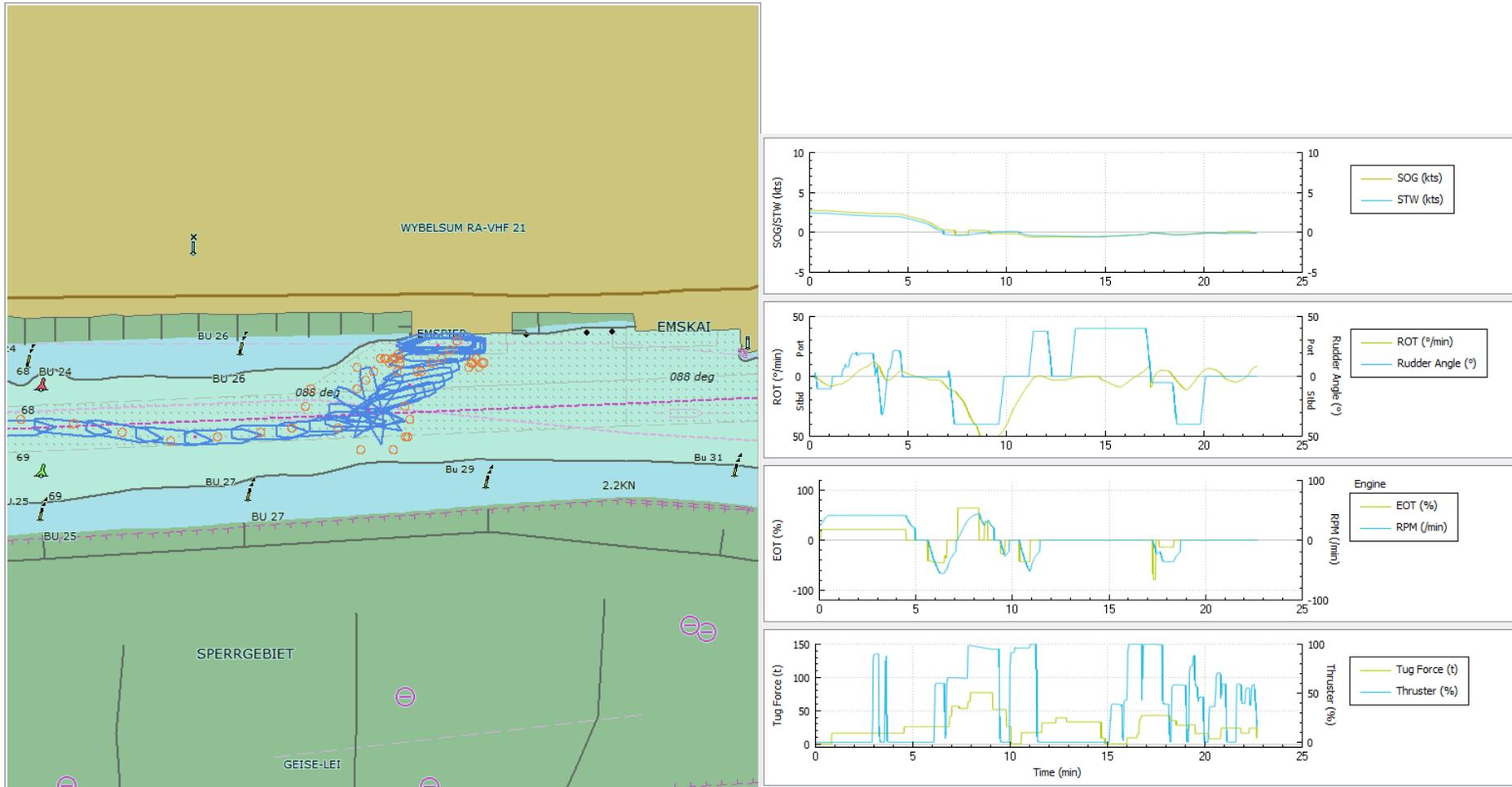


Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Südwesten

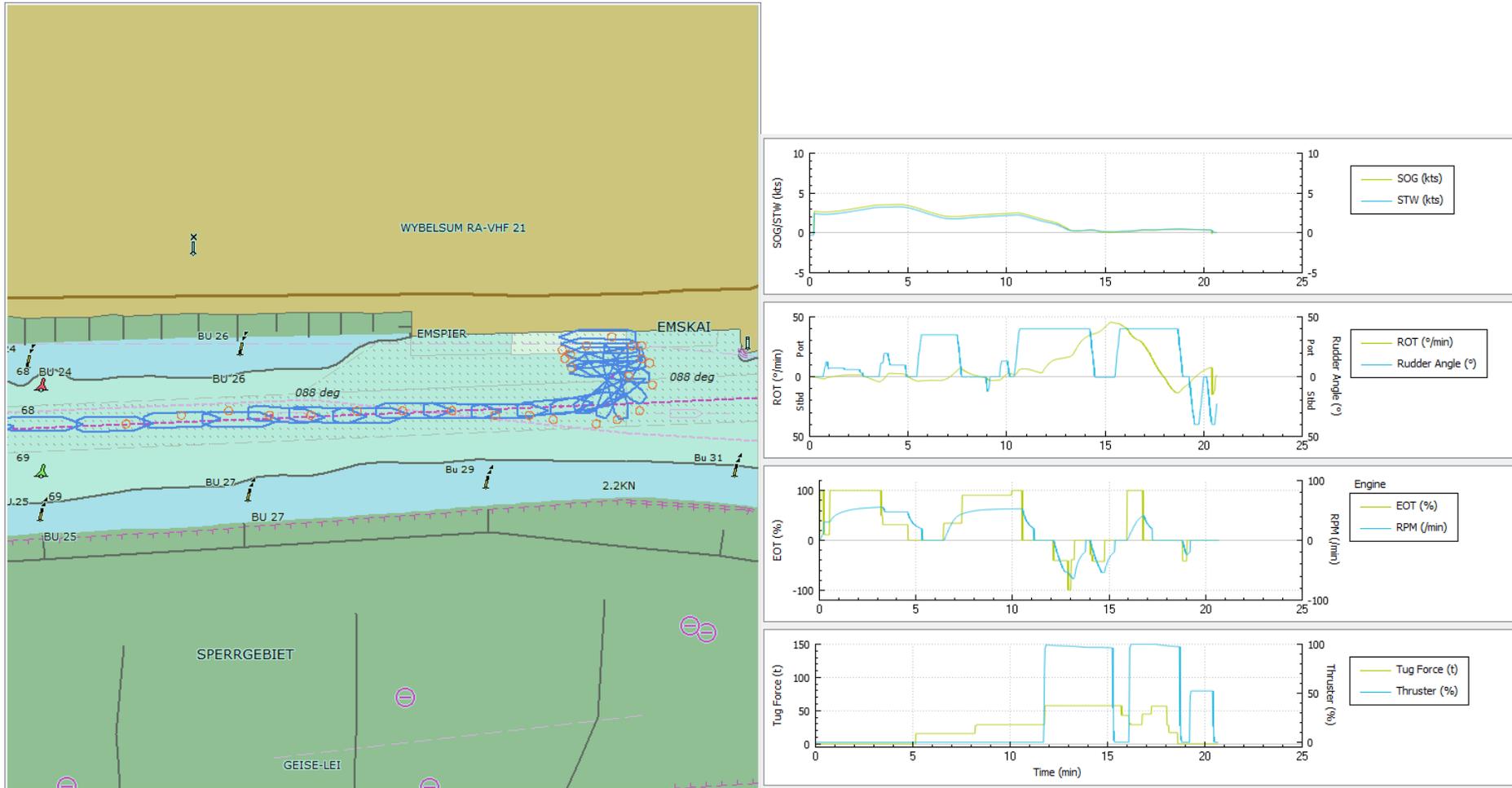


1.4 Südwind

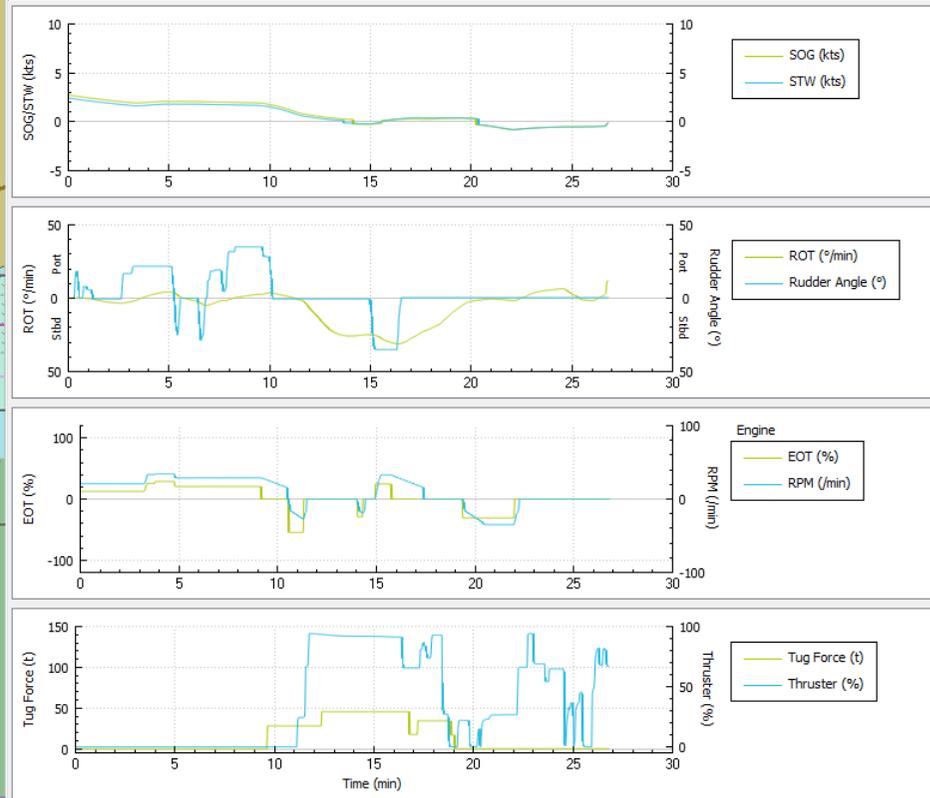
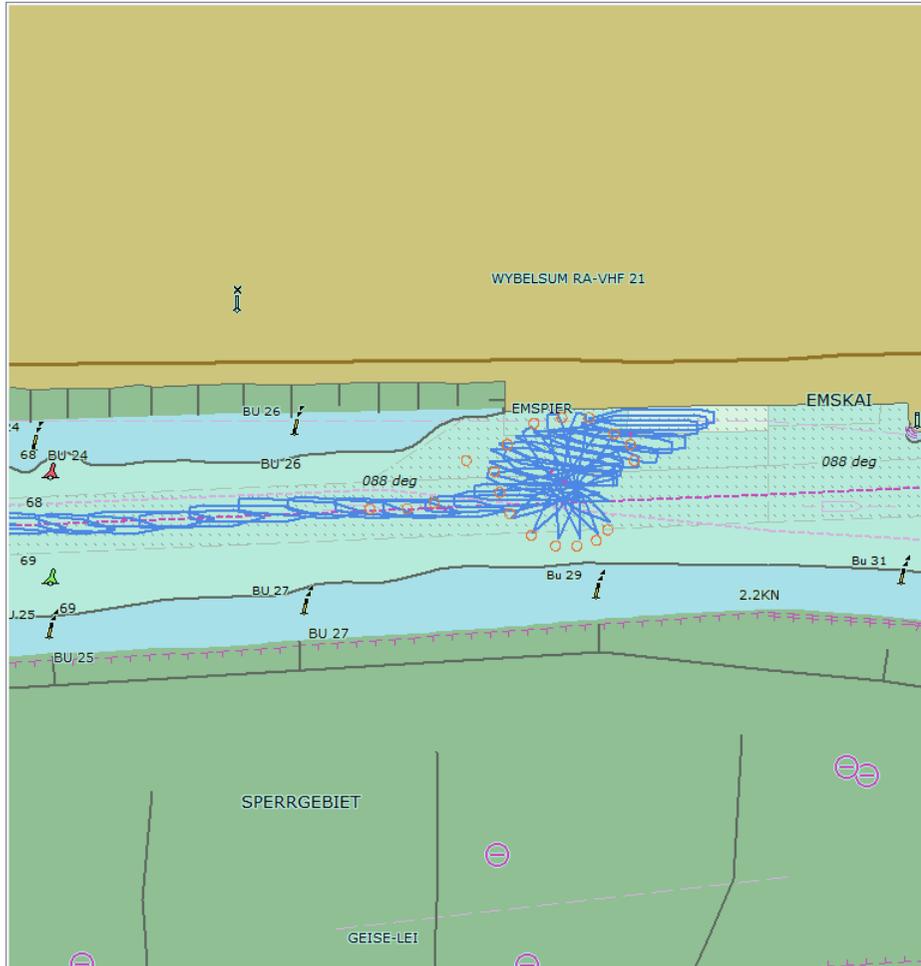
Anlegen mit der Thermopyläe am Emspier bei Stauwasser und Bft5 aus Süden



Anlegen mit der Thermopylæ am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Süden

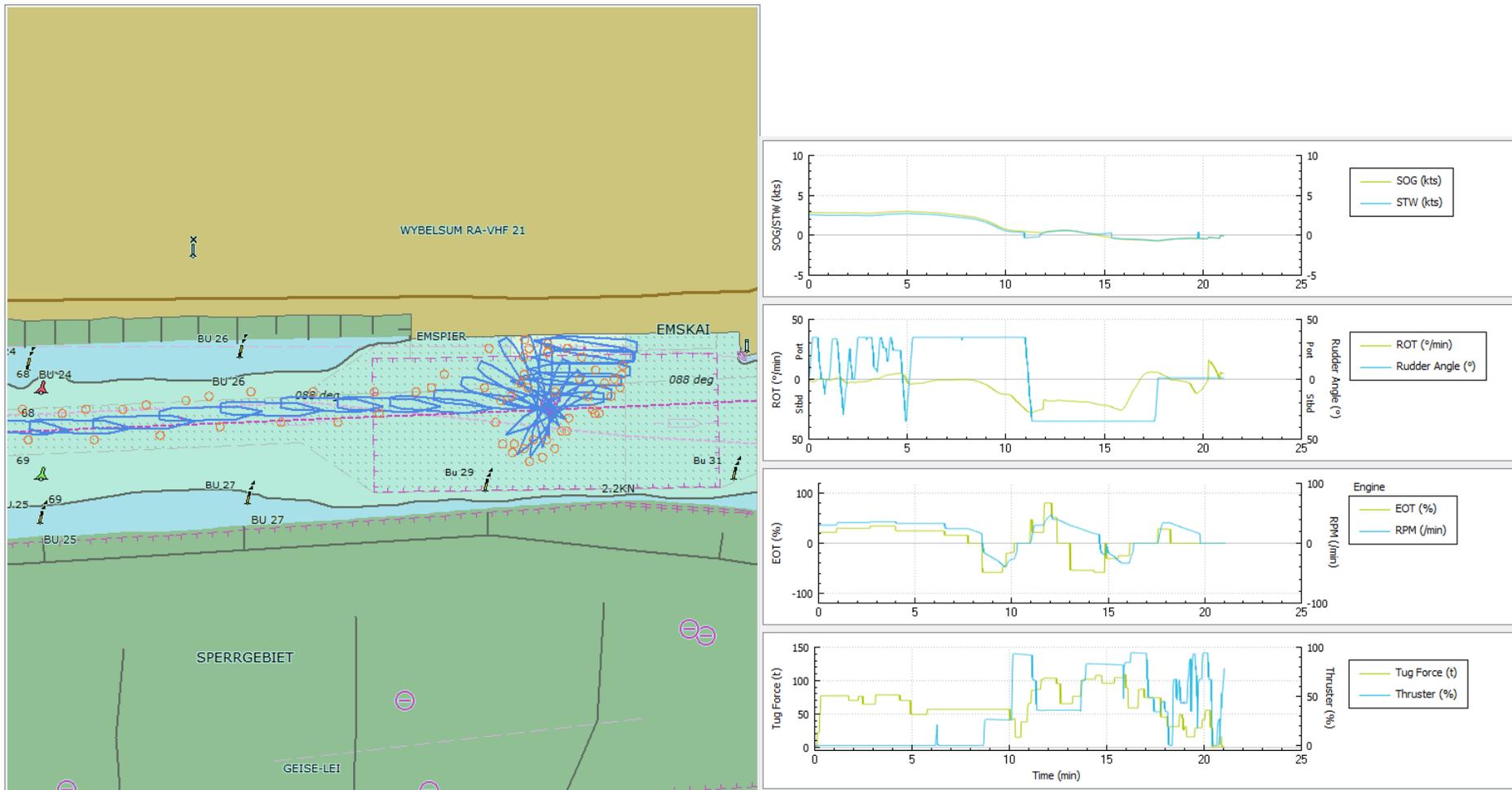


Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Süden

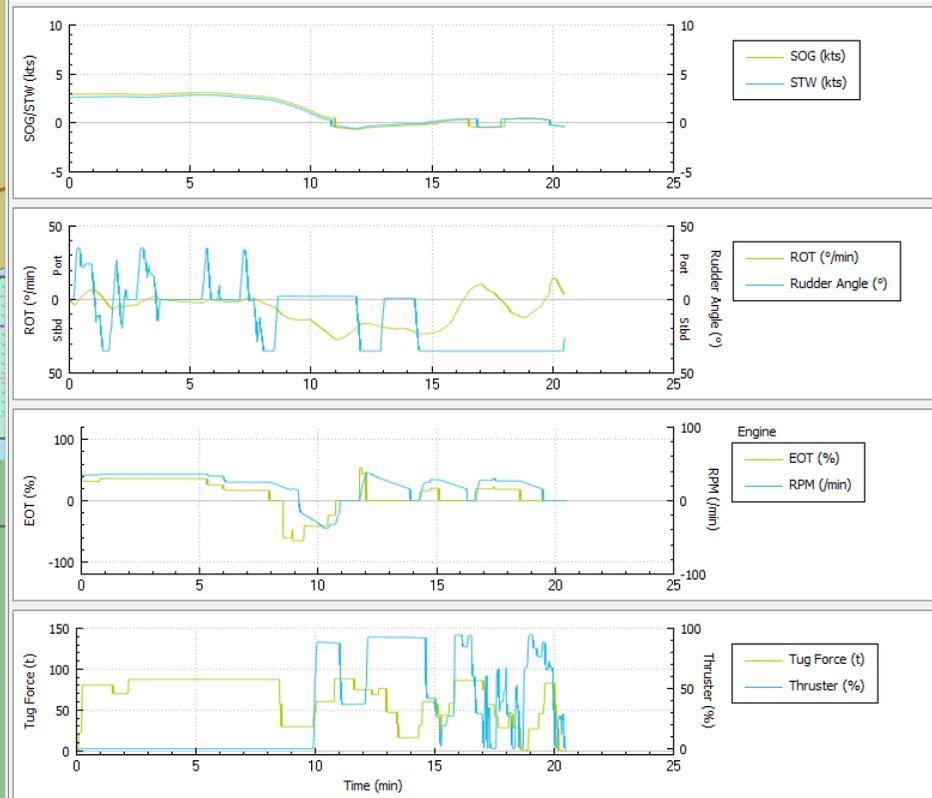
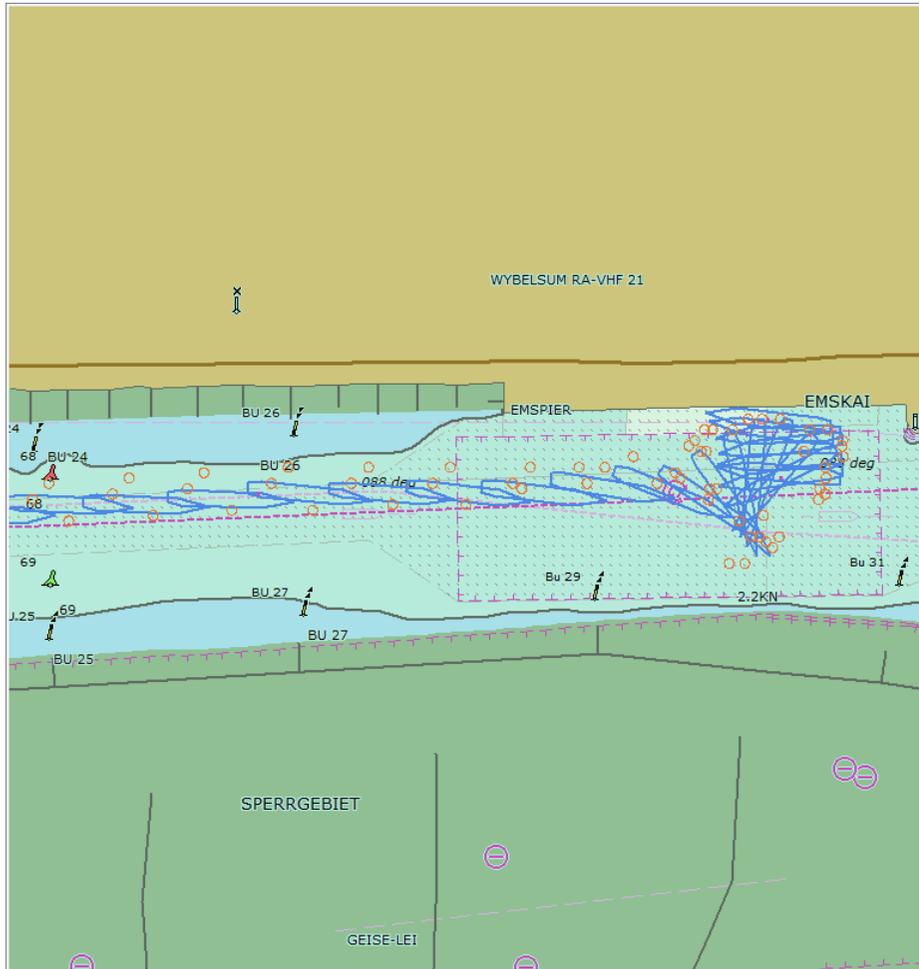


1.1 Erweiterter Wendebereich

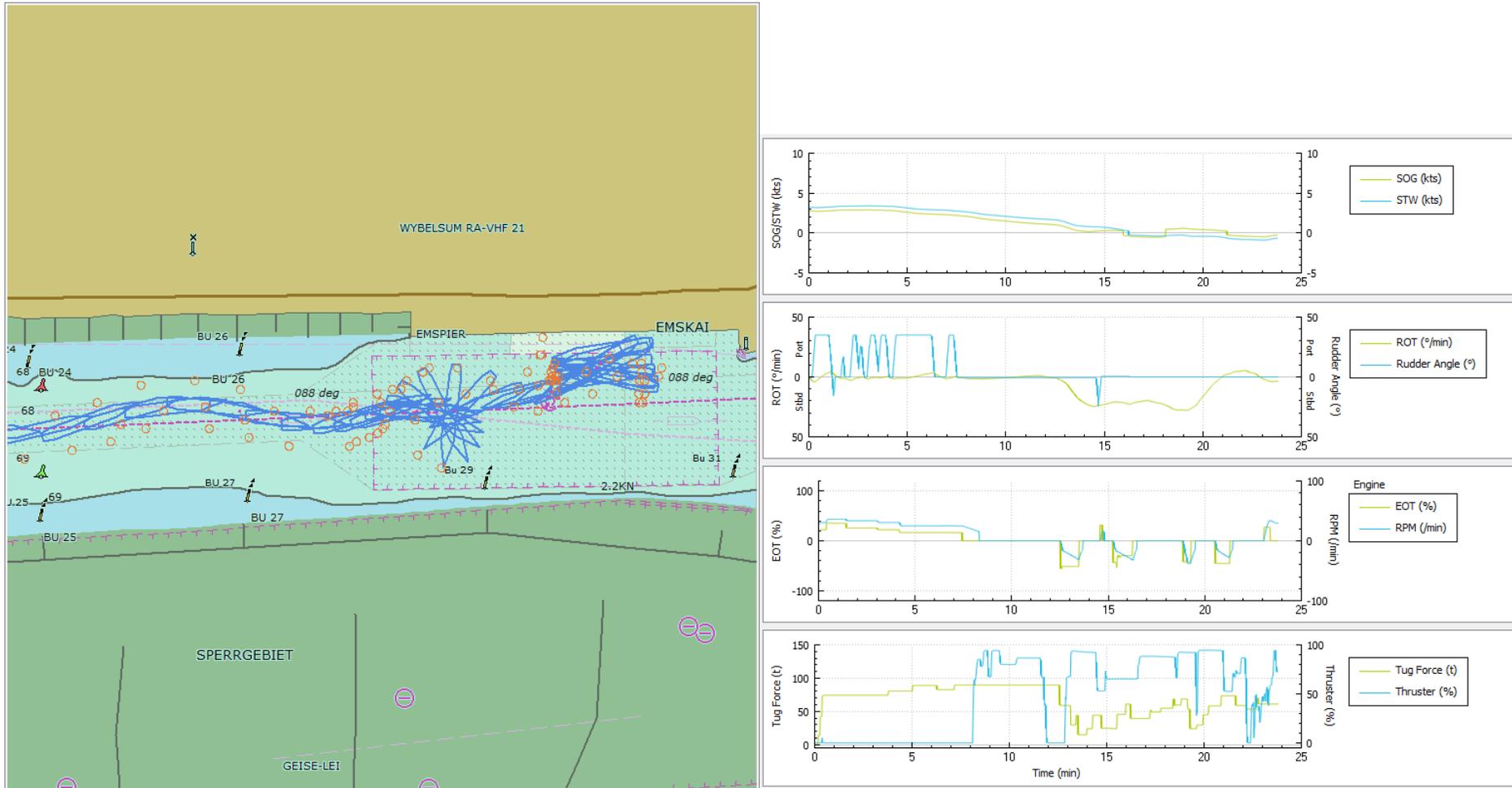
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Südwesten



Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Südwesten



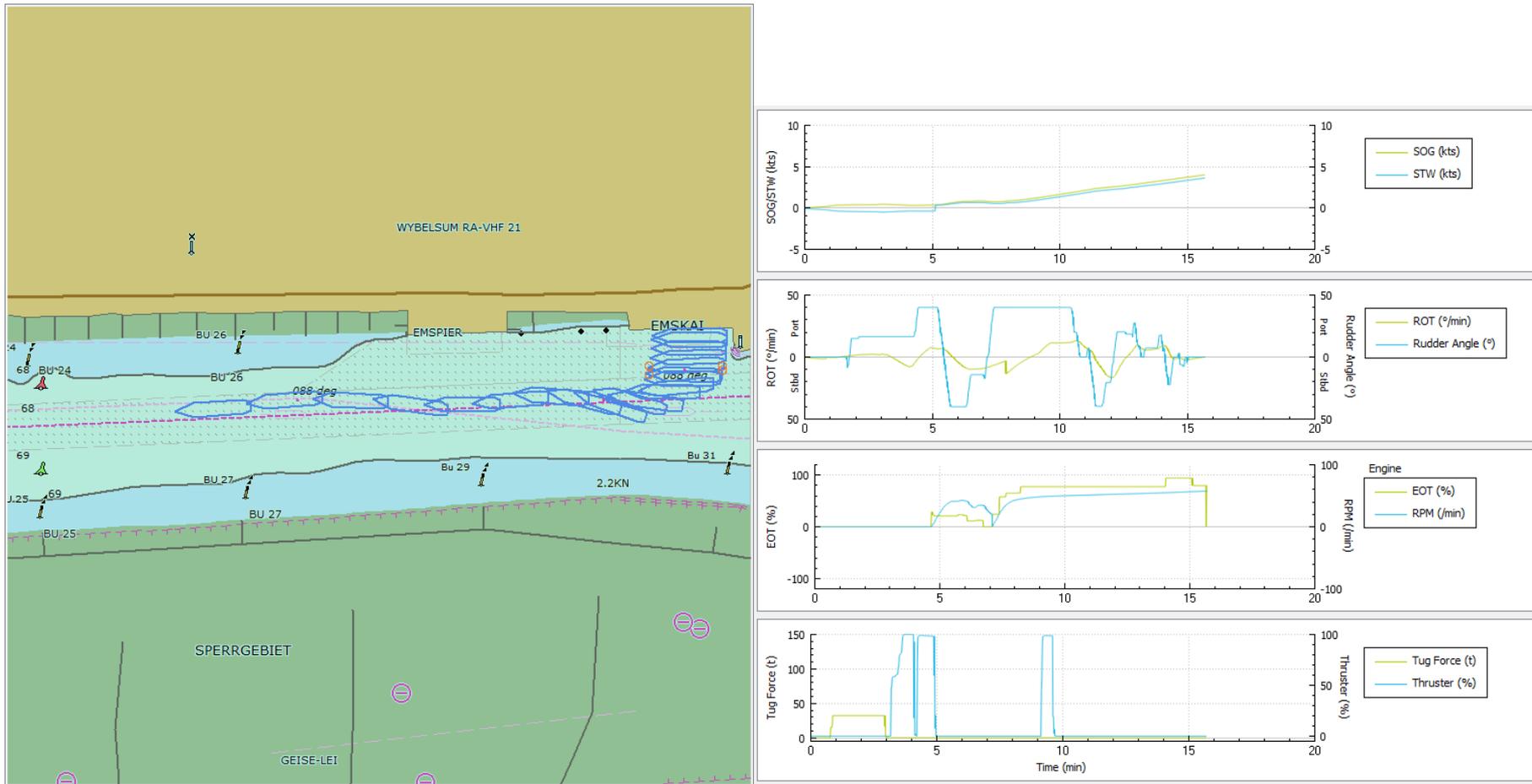
Anlegen mit der Tønsberg am GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Südwesten



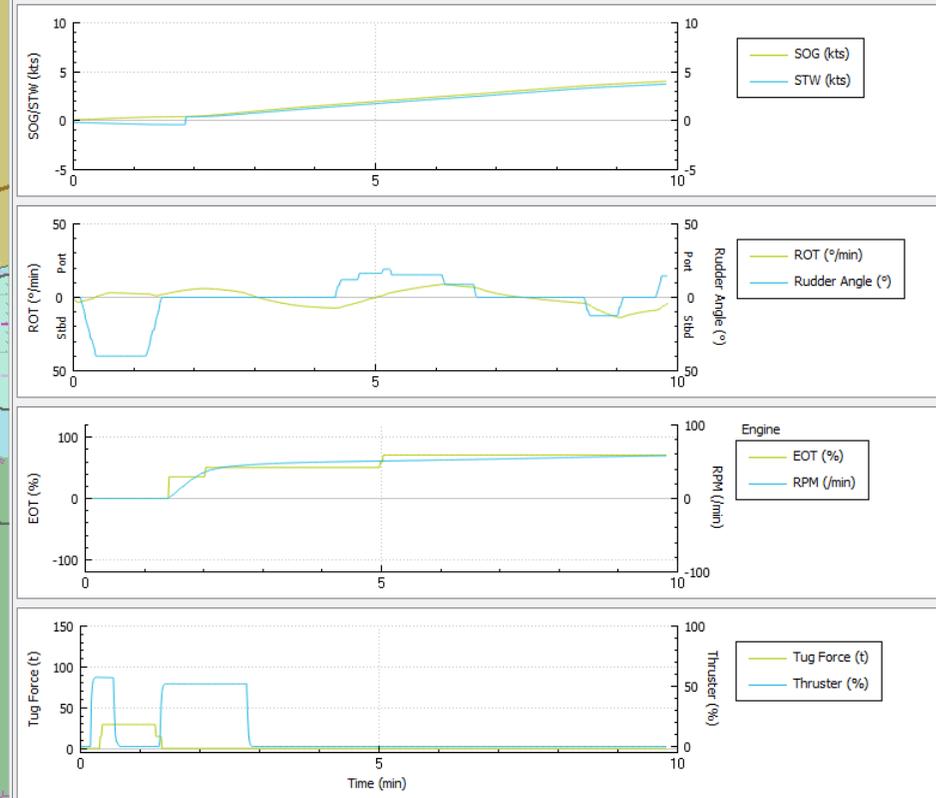
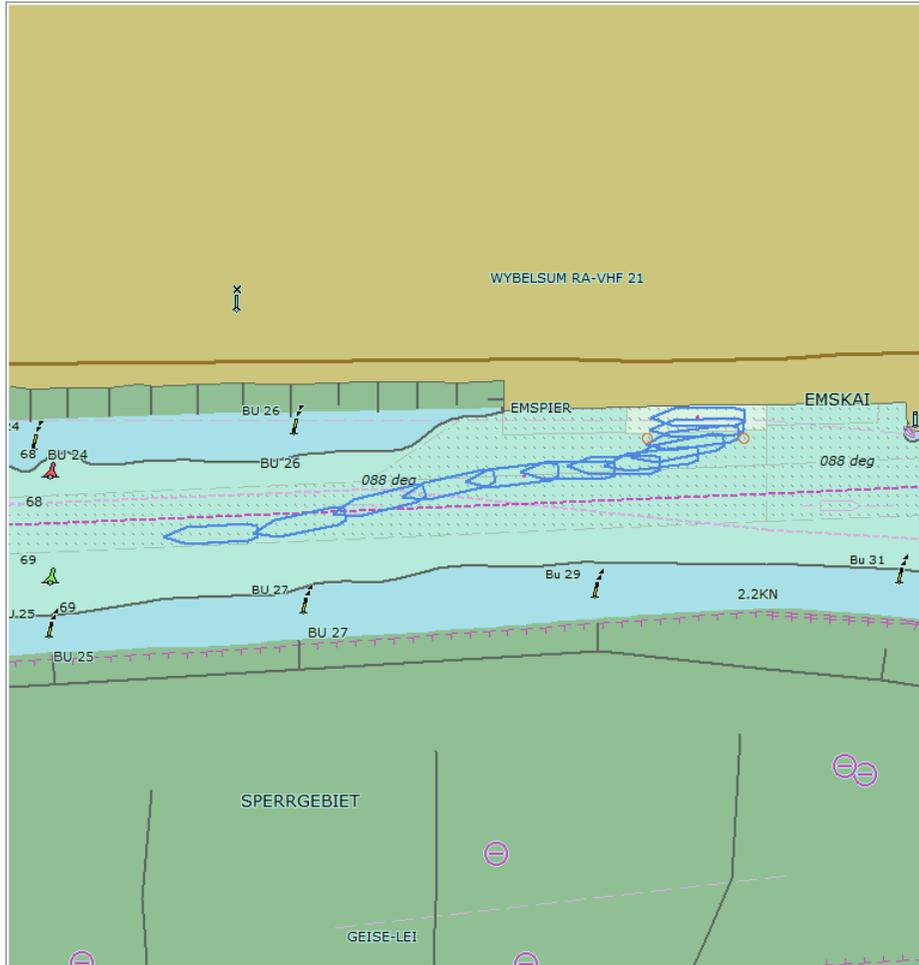
2 ABLEGEMANÖVER

2.1 Nordwind

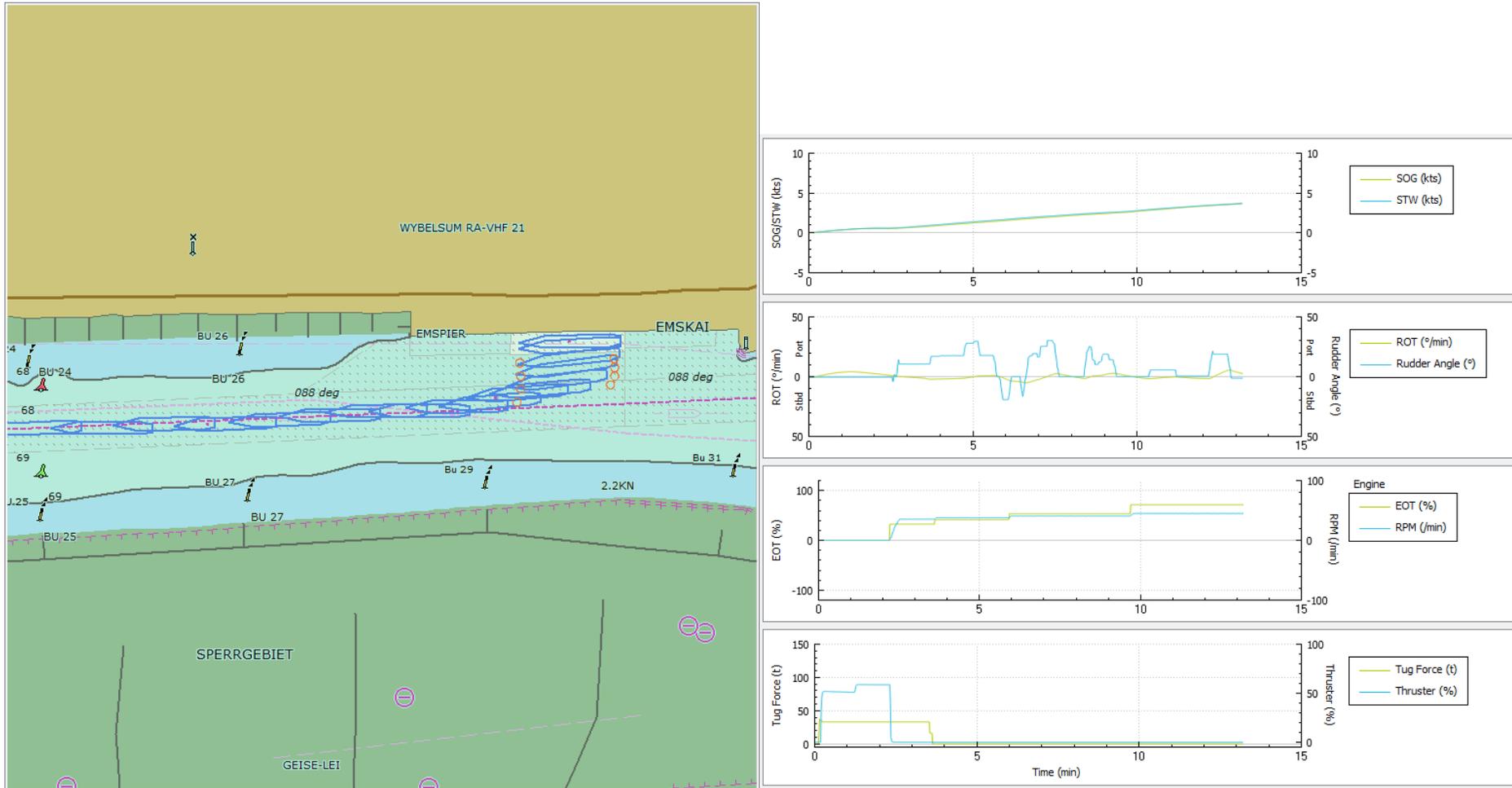
Ablegen mit der Thermopylae vom Emskai bei Stauwasser und Bft7 aus Nordwind



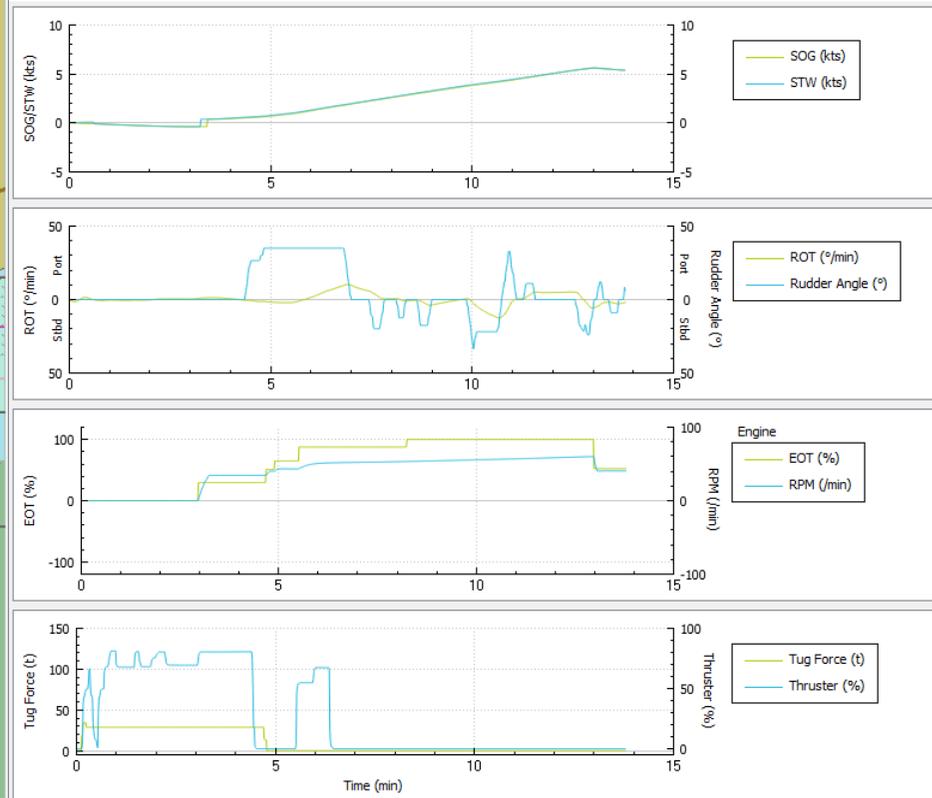
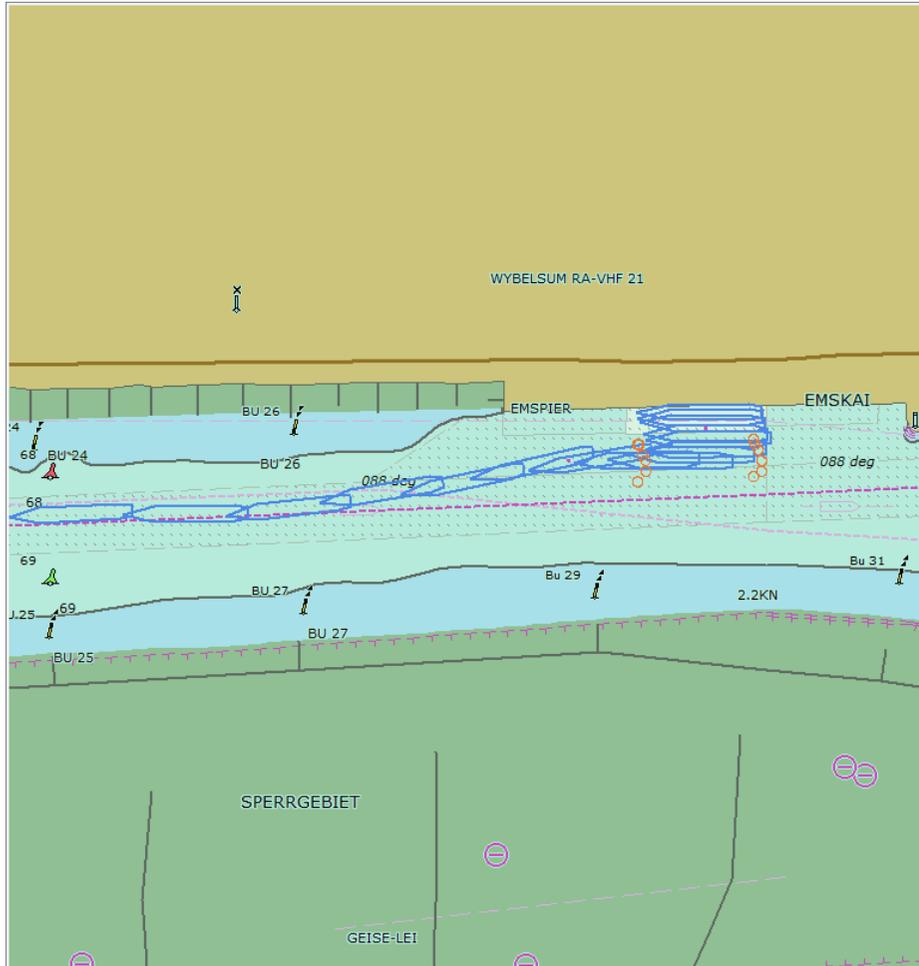
Ablegen mit der Thermopyläe vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwind



Ablegen der Tønsberg vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwind

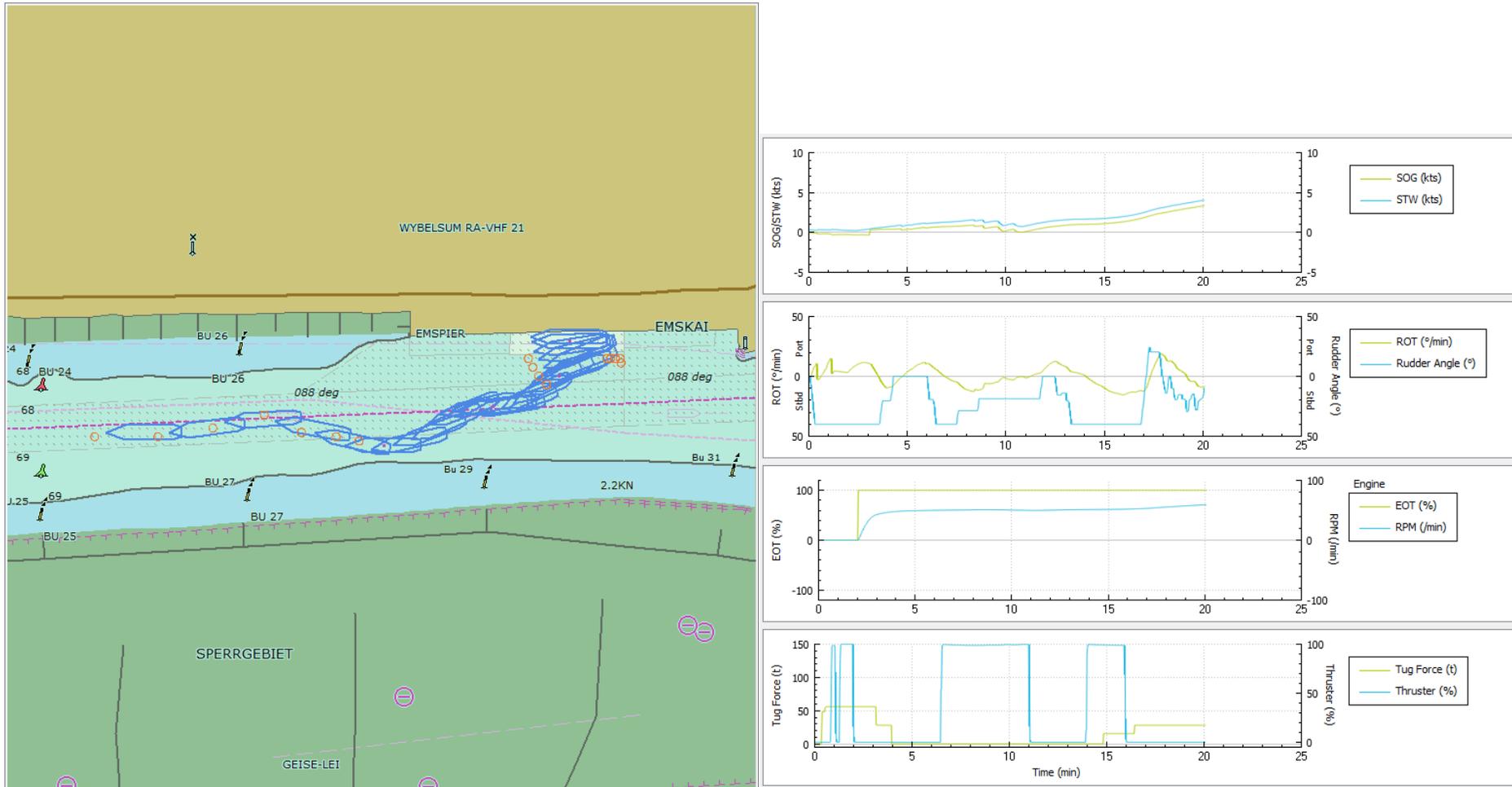


Ablegen der Tønsberg vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwind

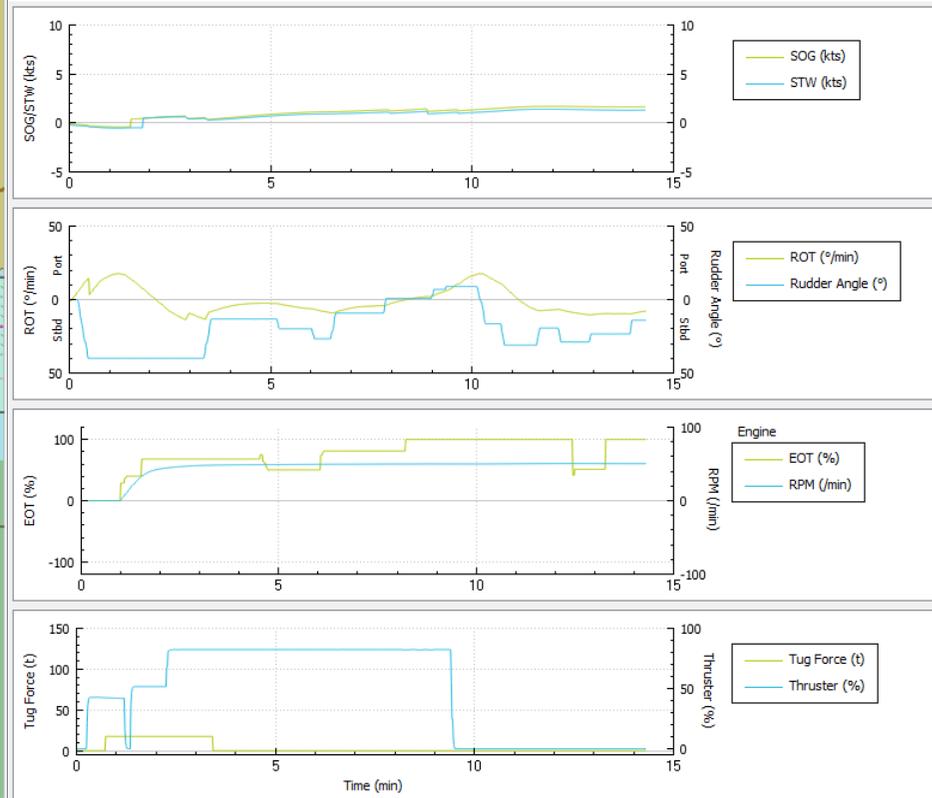
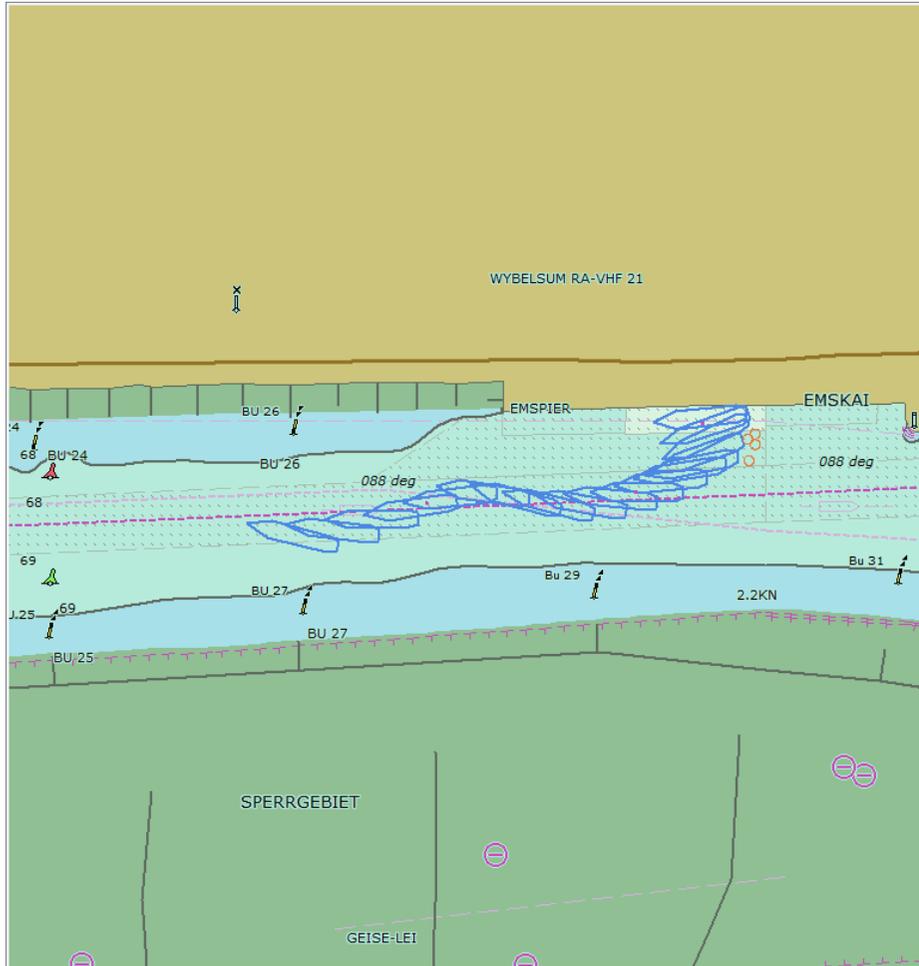


2.1 Nordwestwind

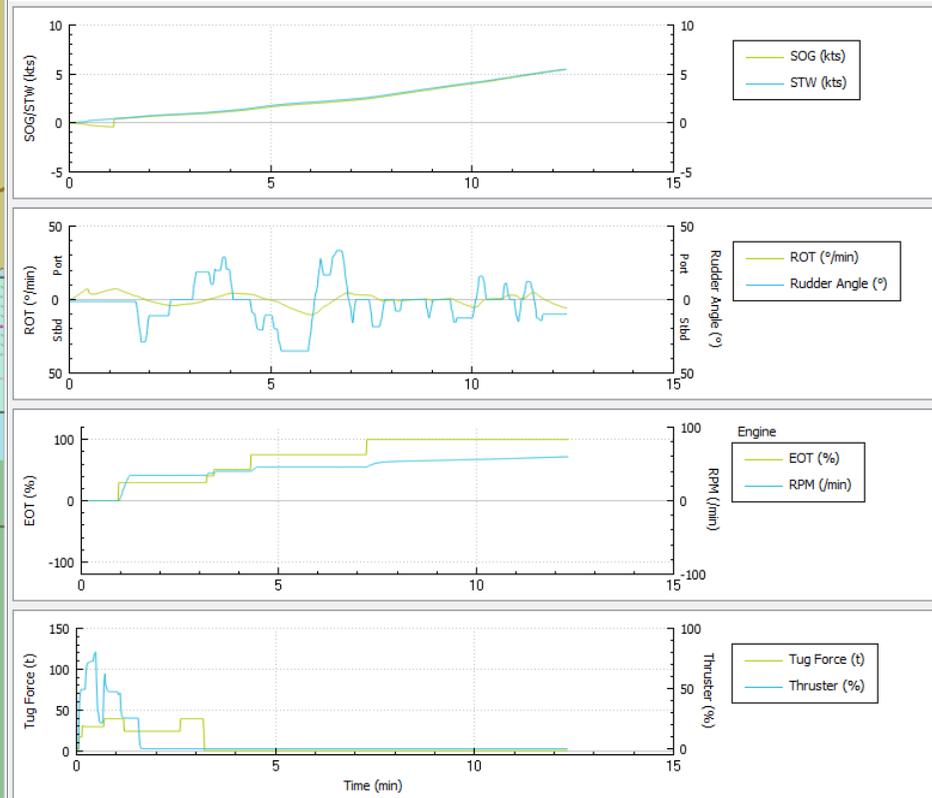
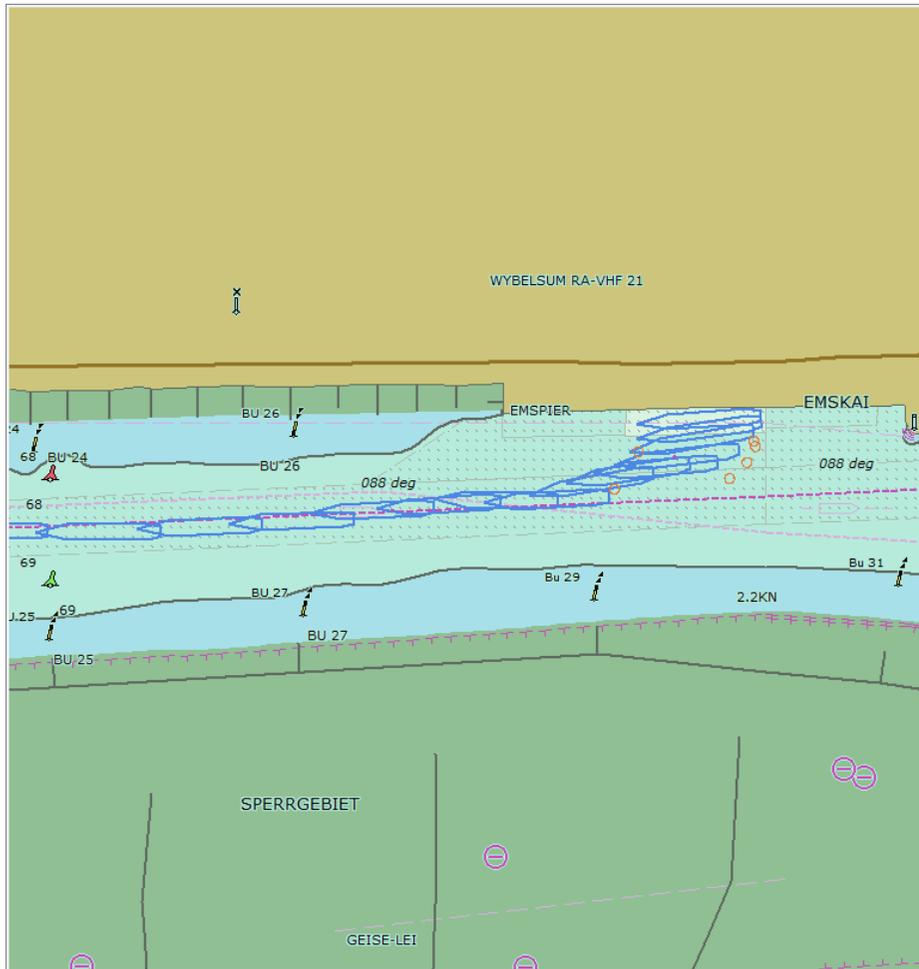
Ablegen mit der Thermopylae vom GSLP bei Flut und Bft5 aus Nordwesten



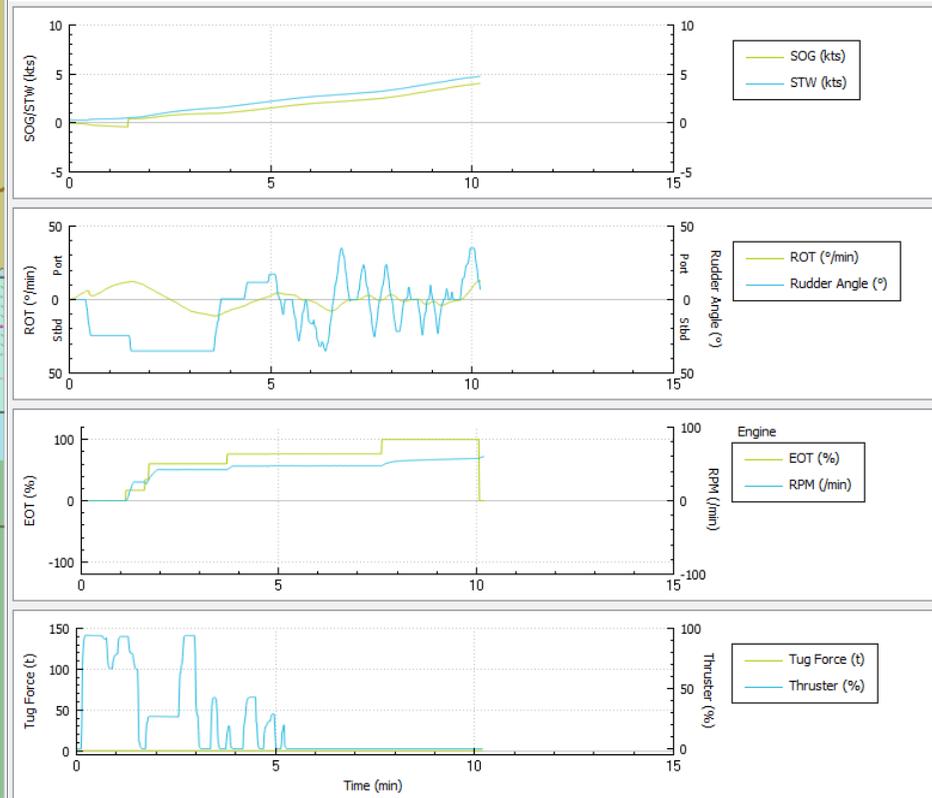
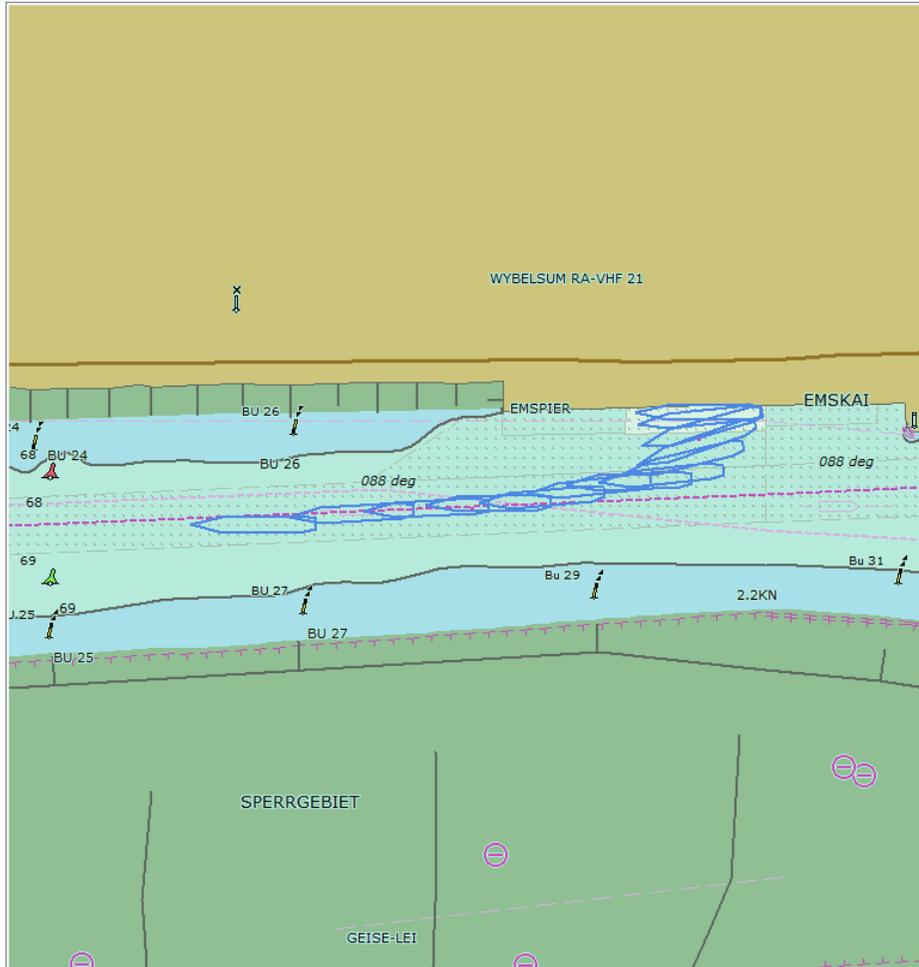
Ablegen mit der Thermopylae vom GSLP bei Stauwasser und Bft7 aus Nordwesten



Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Nordwesten

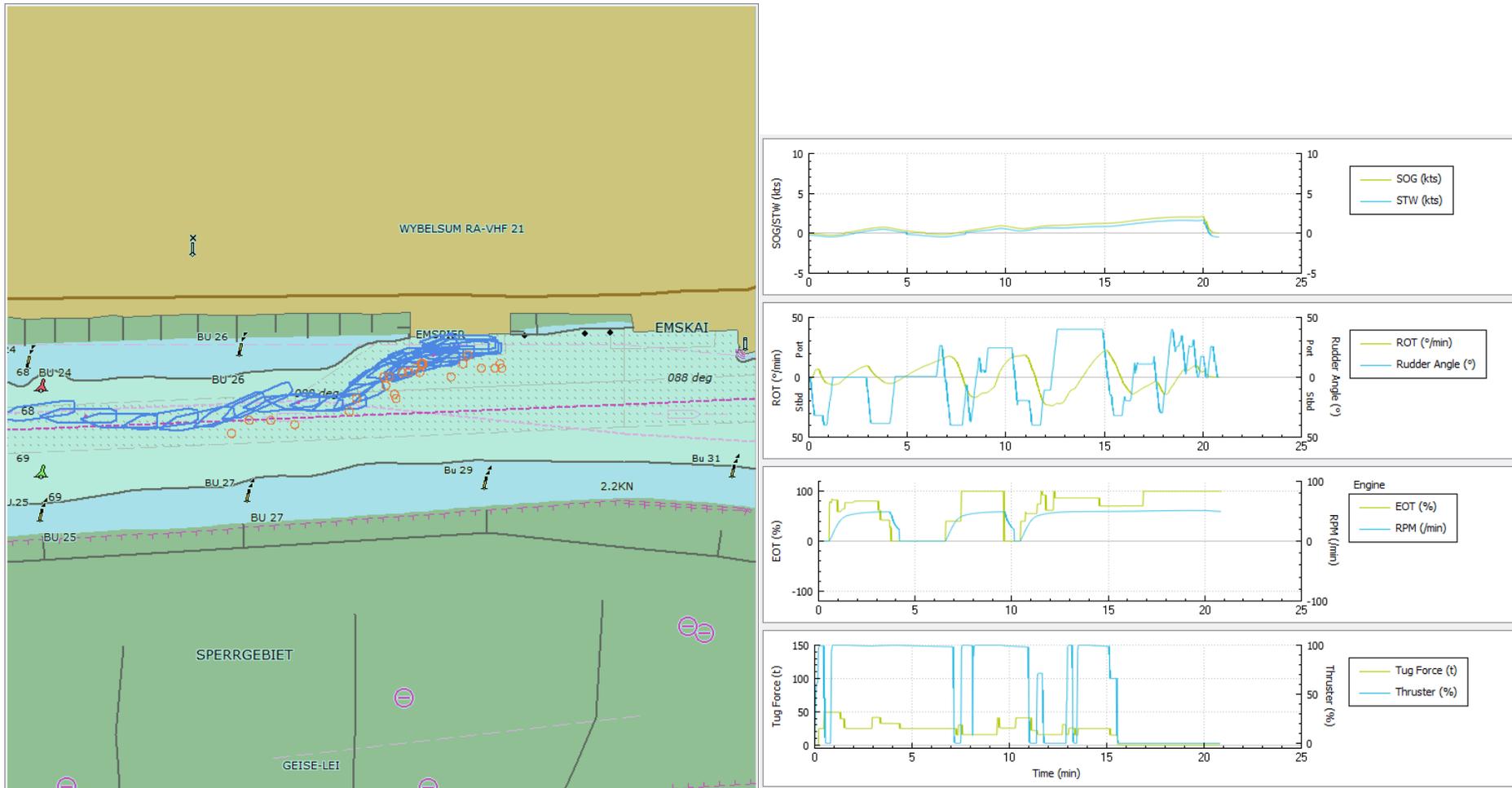


Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Flut und Bft5 aus Nordwesten

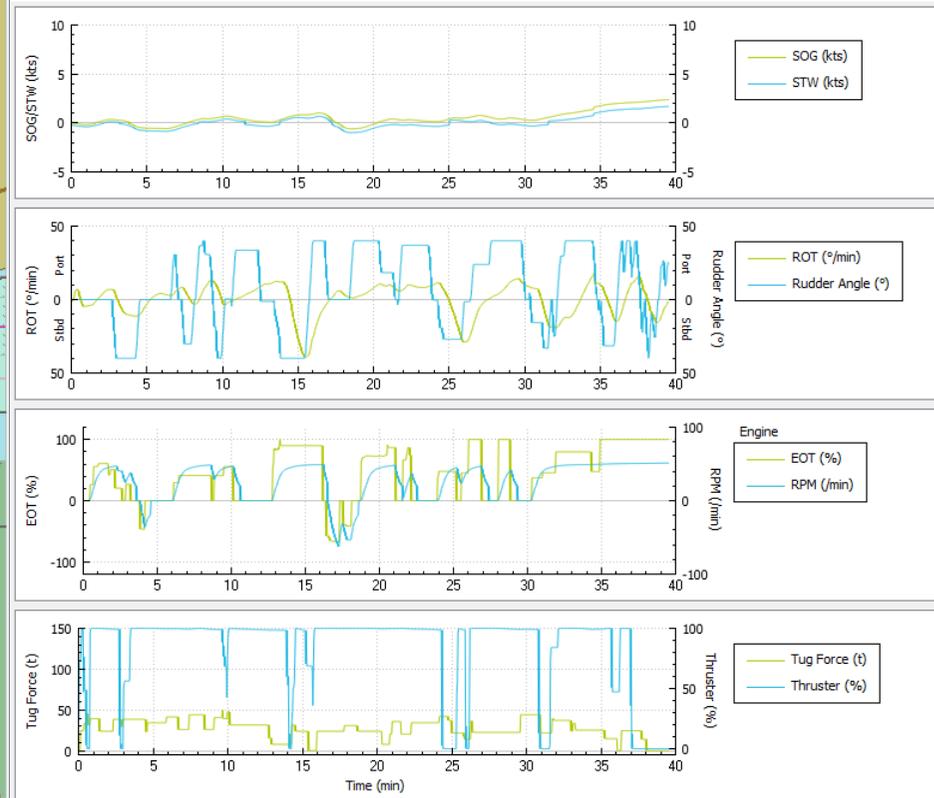
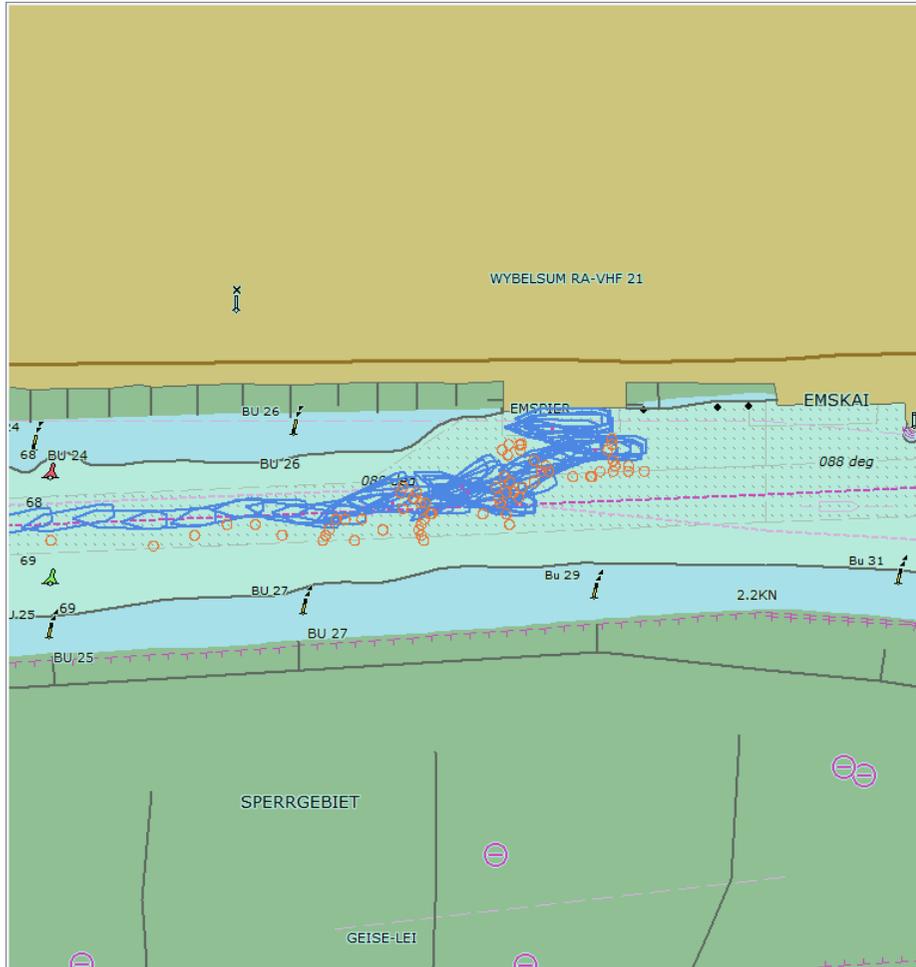


2.1 Südwestwind

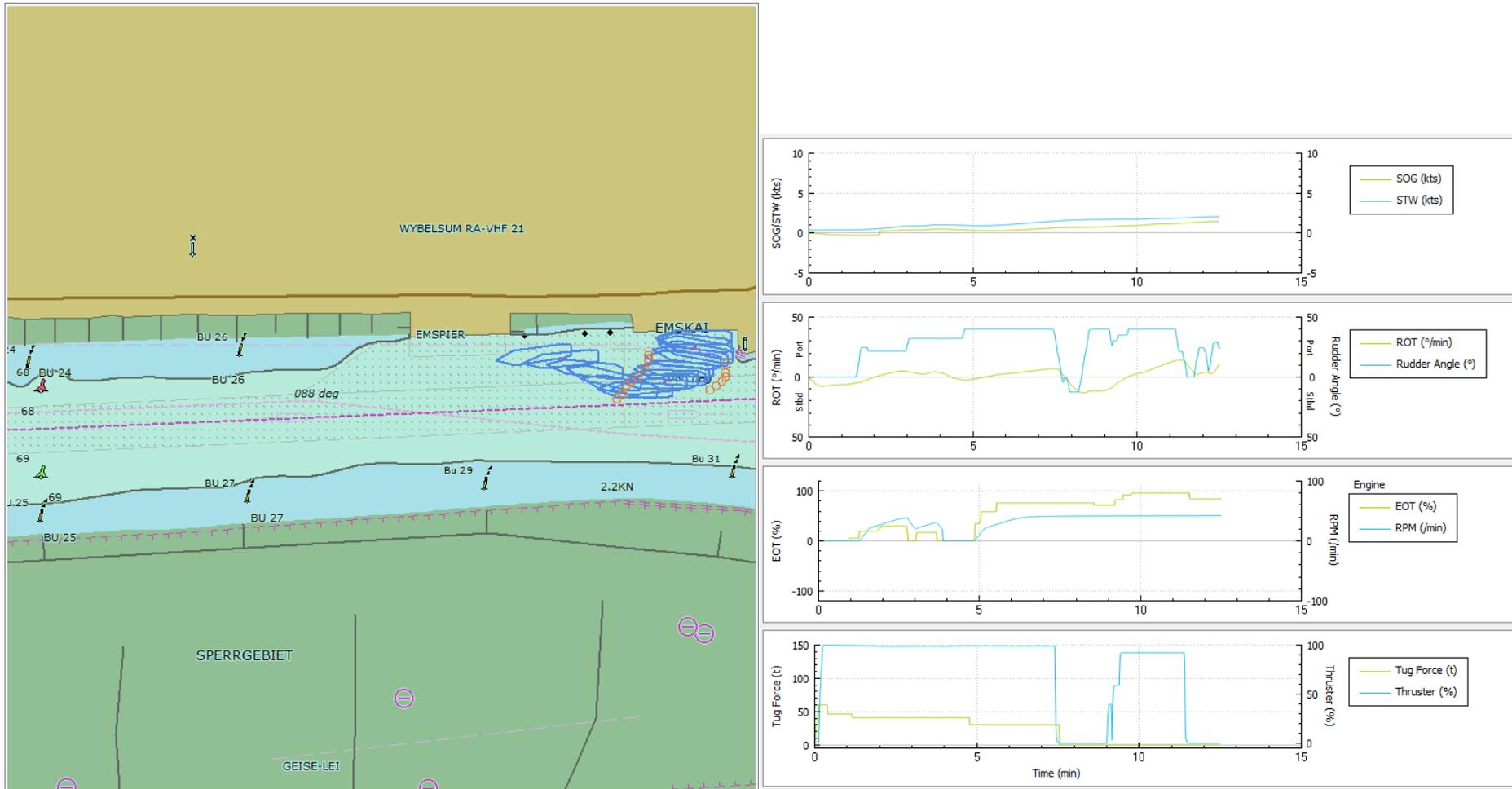
Ablegen mit der Thermopylæ vom Emspier bei Stauwasser und Bft7 aus Südwesten



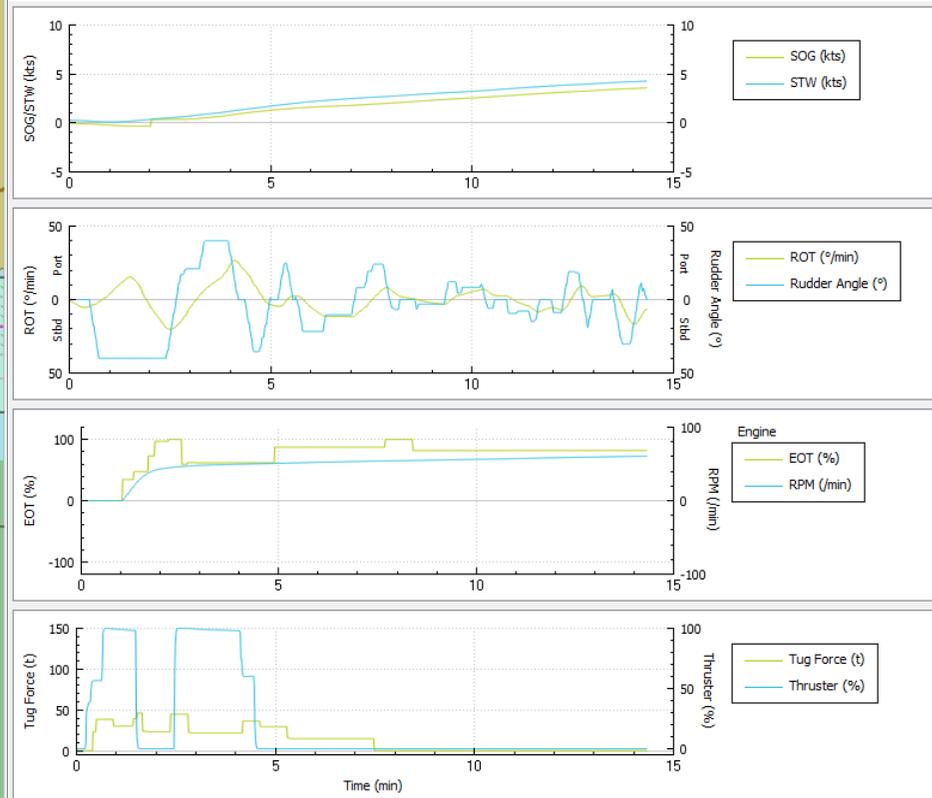
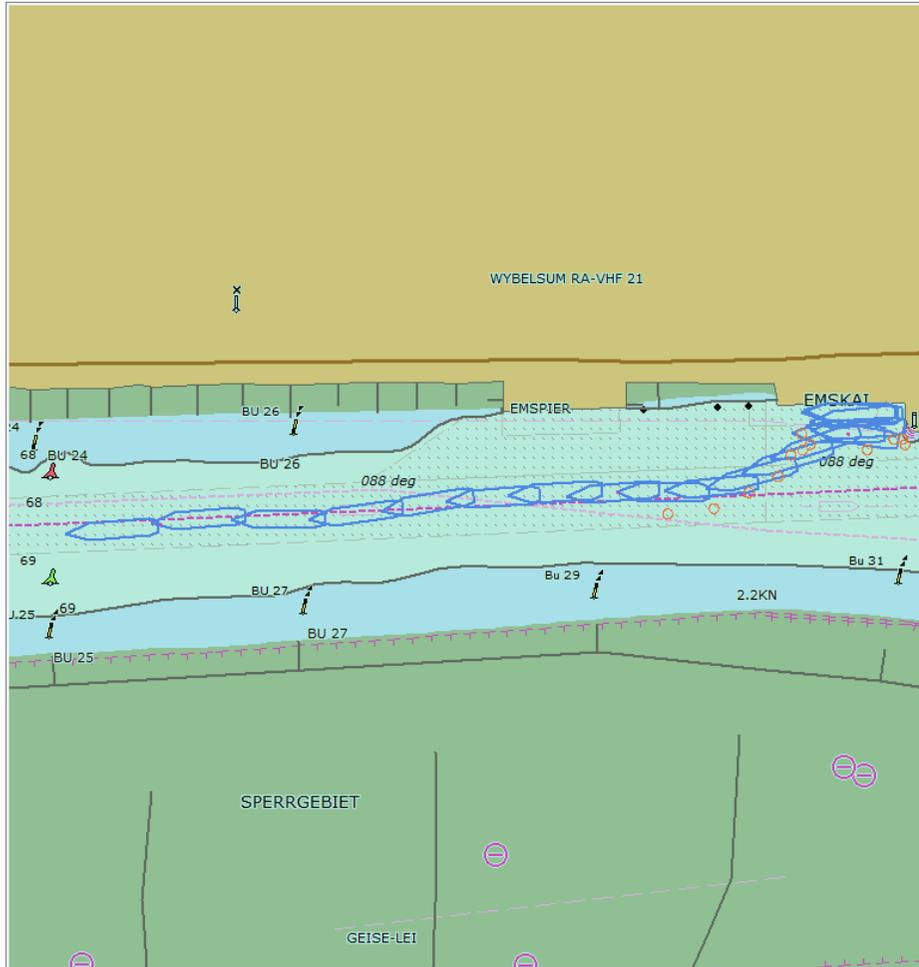
Ablegen mit der Thermopylæ vom Emspier bei Stauwasser und Bft7 aus Südwesten



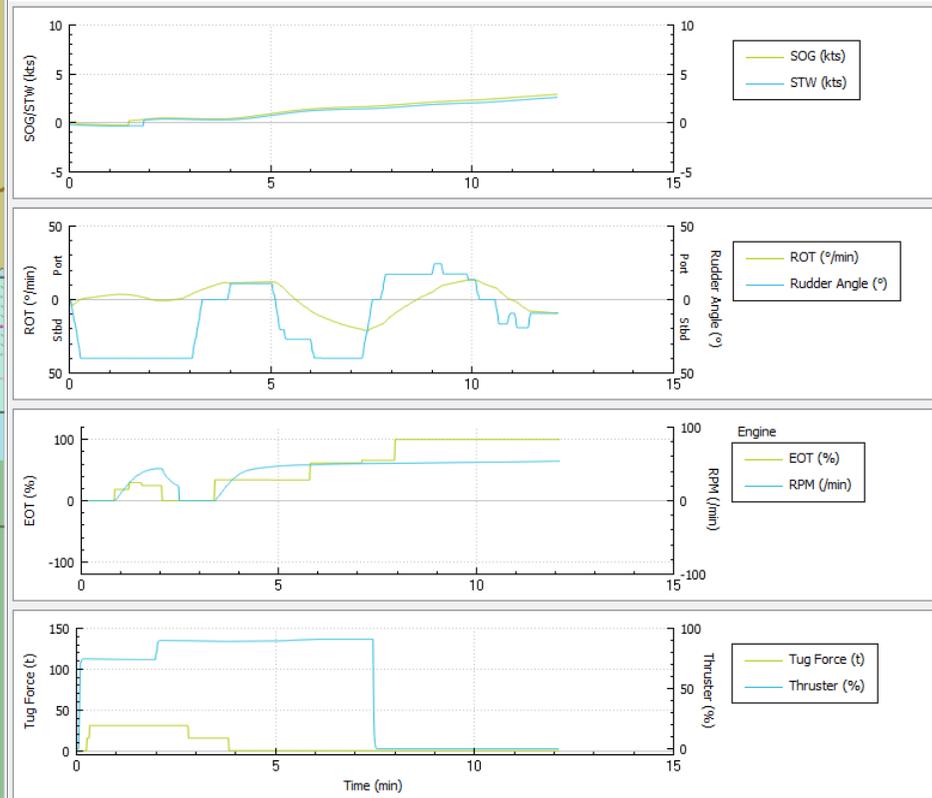
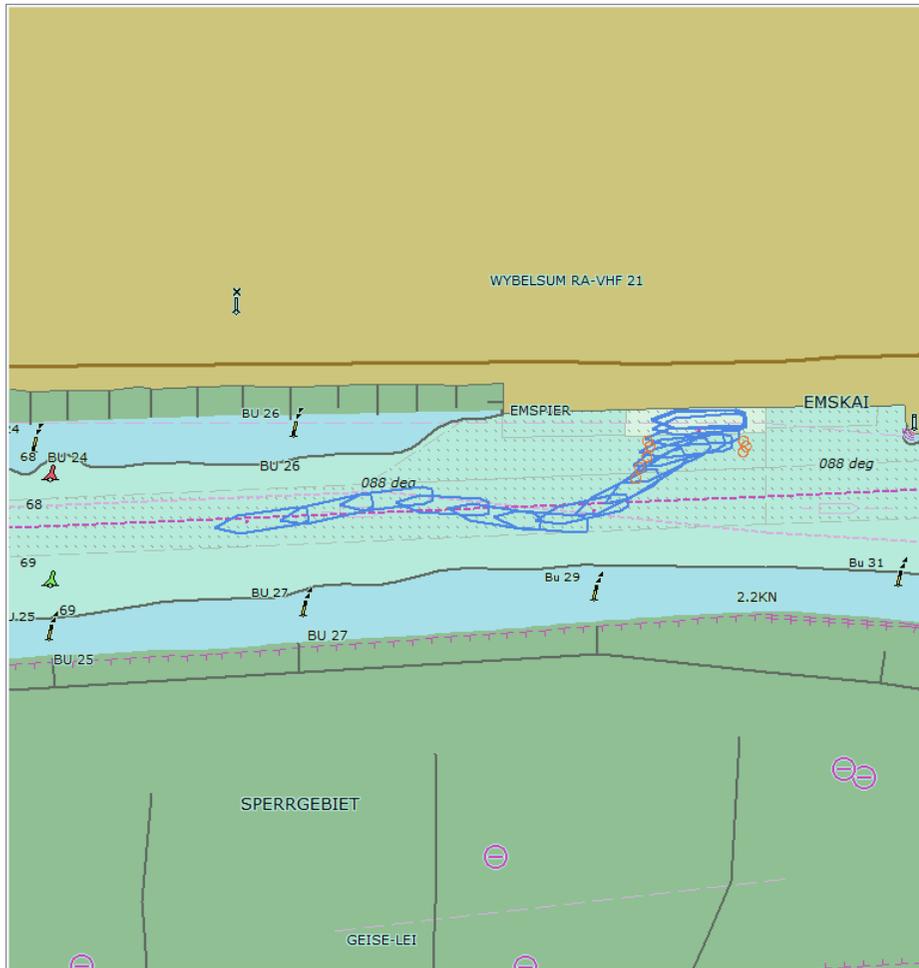
Ablegen mit der Thermopylæ vom Emskai bei Flut und Bft5 aus Südwesten



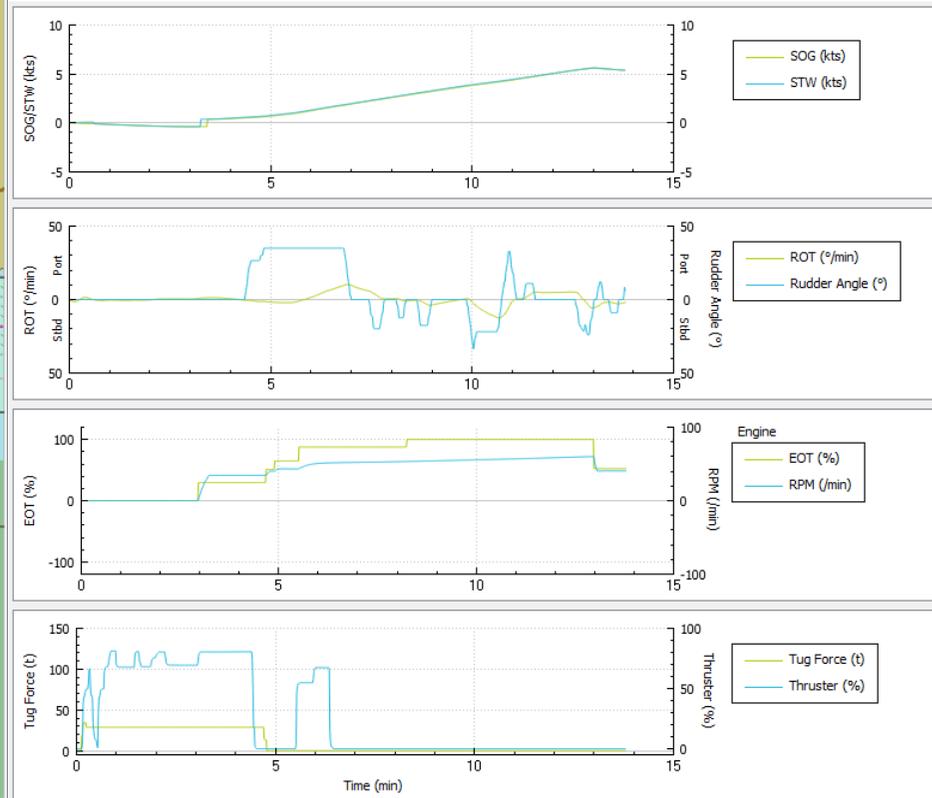
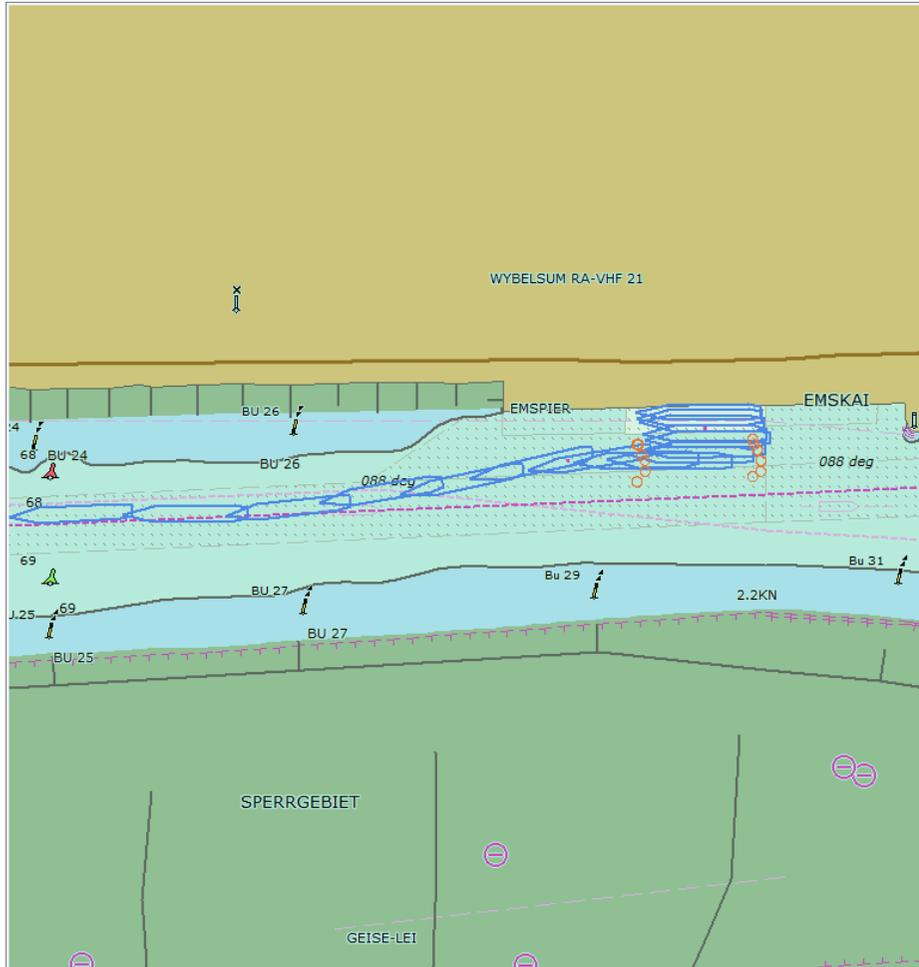
Ablegen mit der Thermopylæ vom Emskai bei Flut und Bft5 aus Südwesten



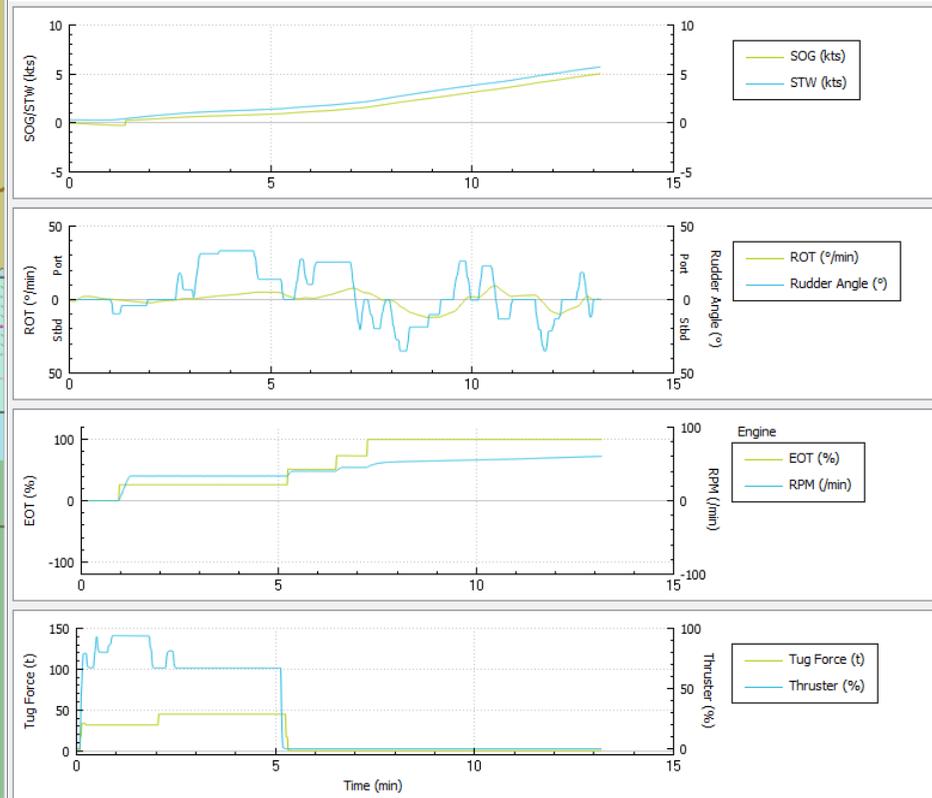
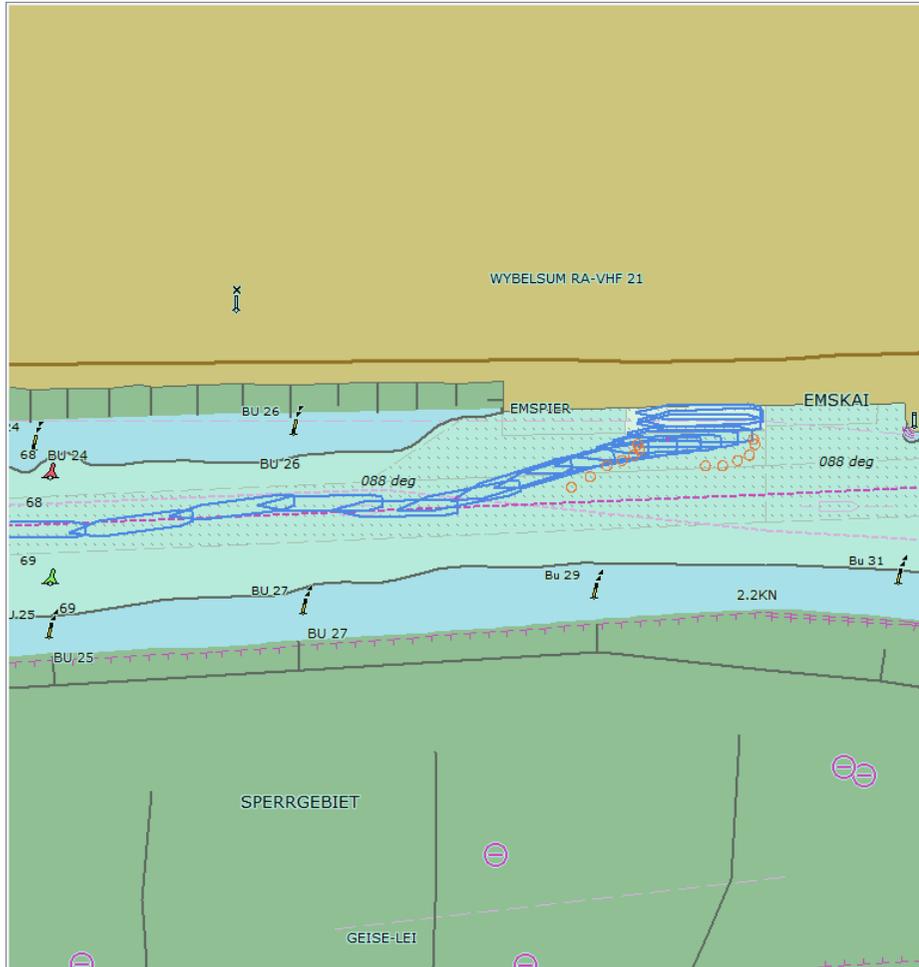
Ablegen mit der Thermopyläe vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten



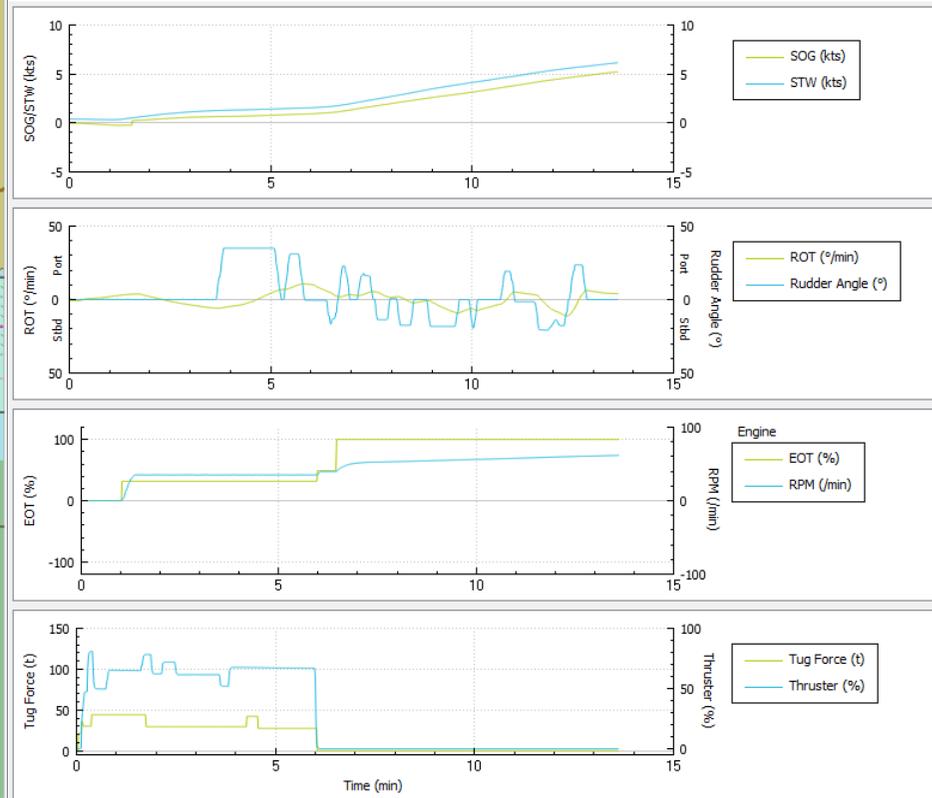
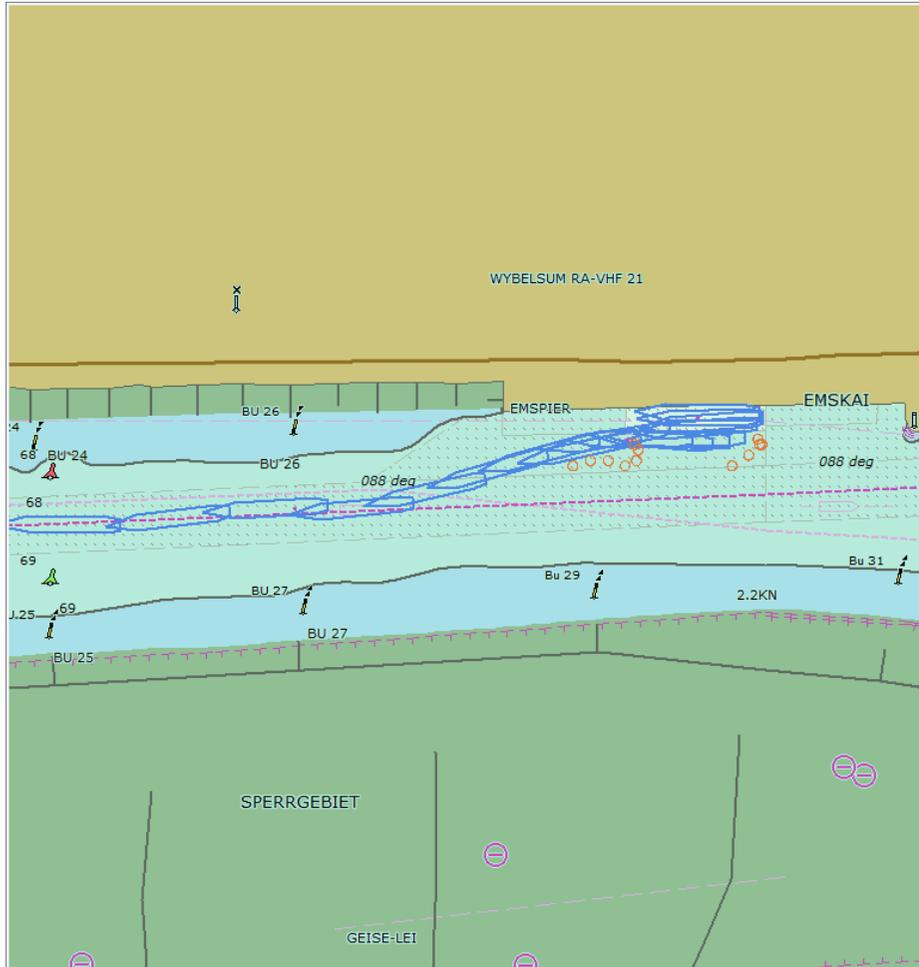
Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Südwesten



Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Flut und Bft5 aus Südwesten

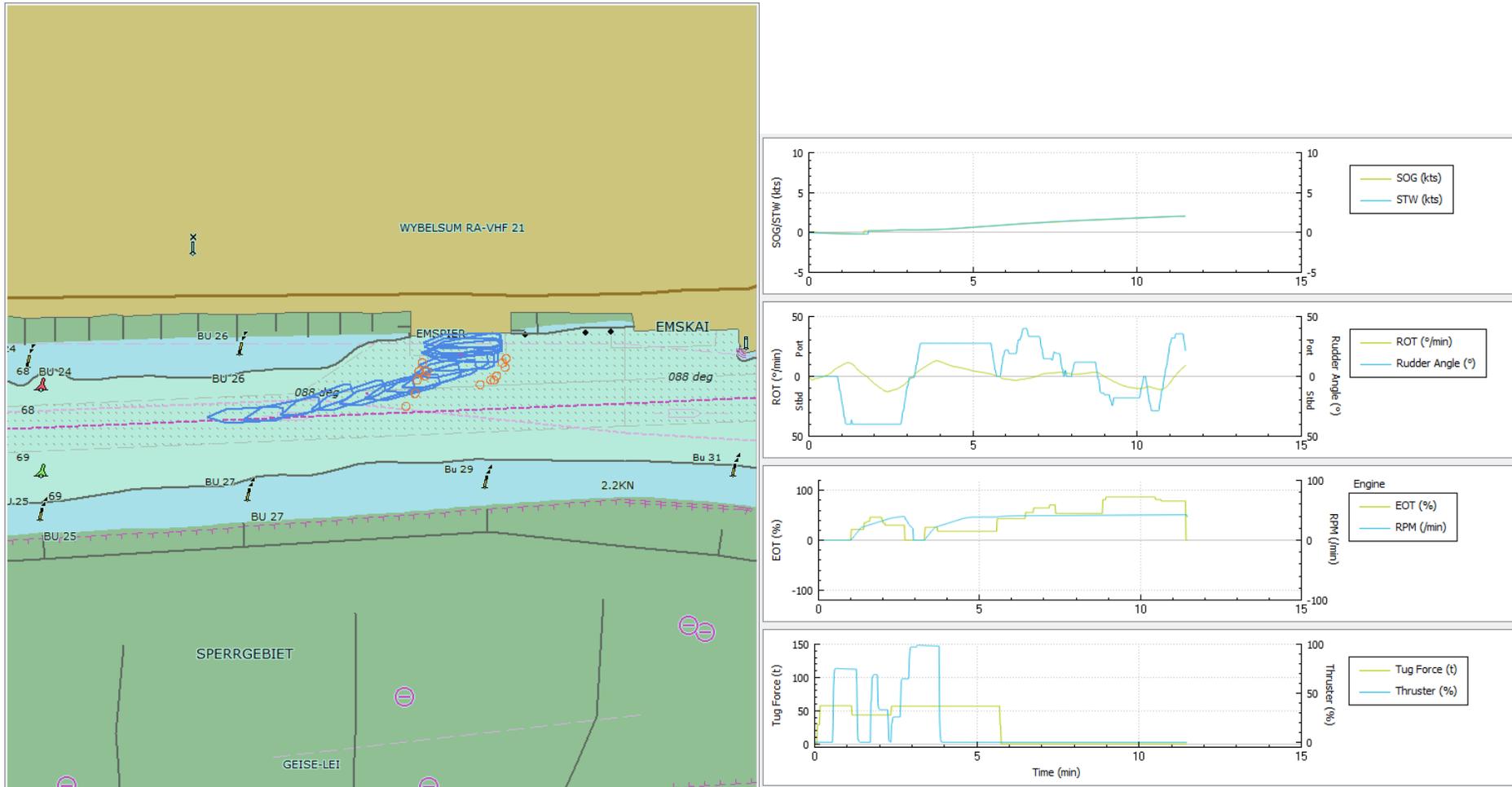


Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Flut und Bft5 aus Südwesten

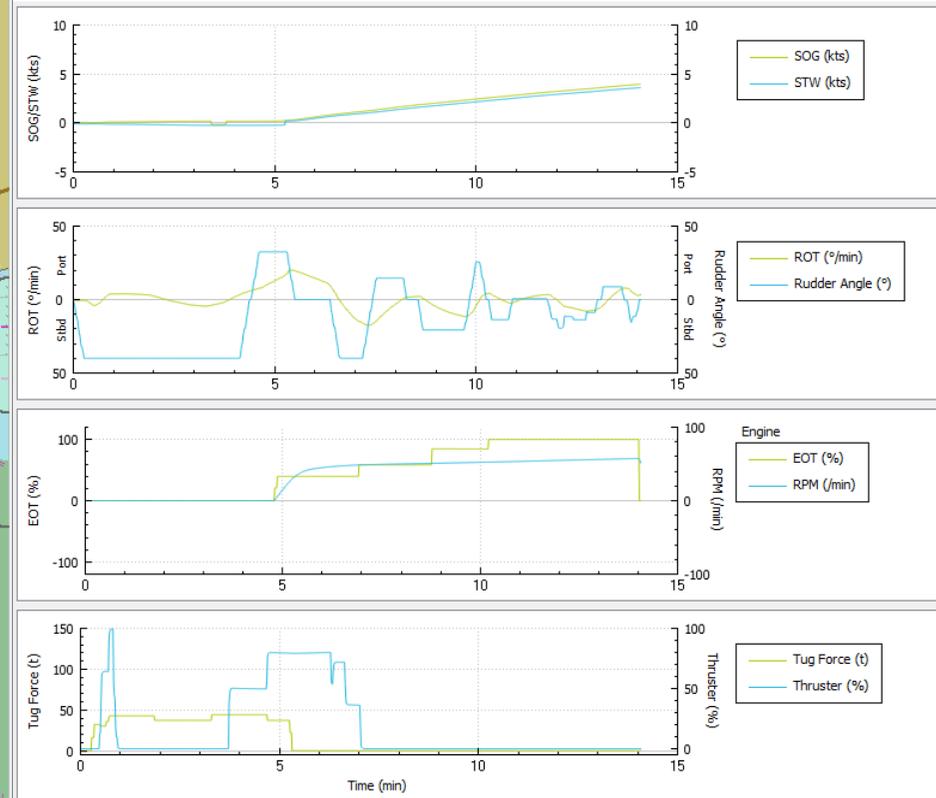
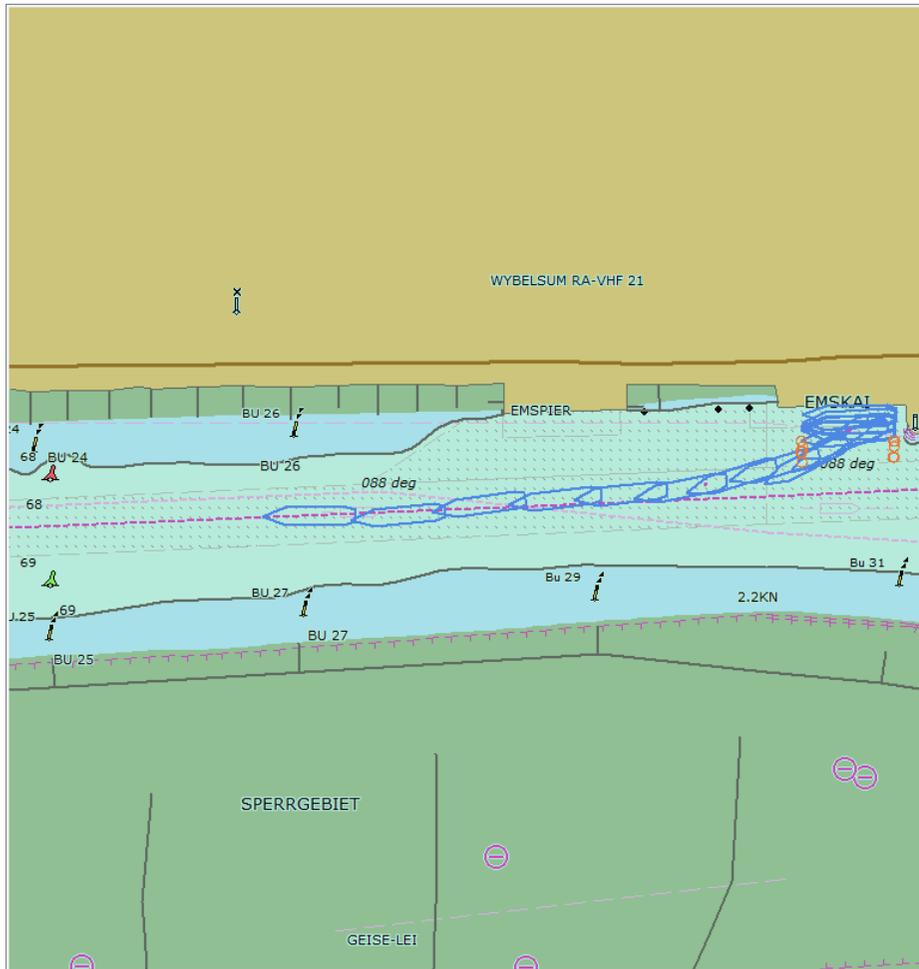


2.1 Südwind

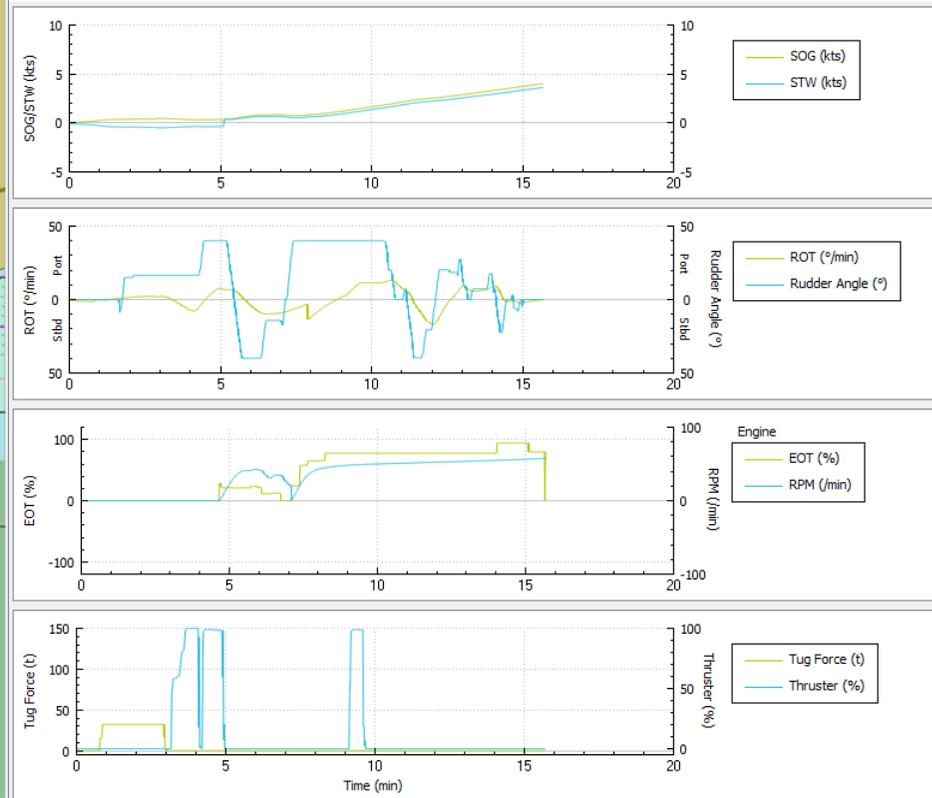
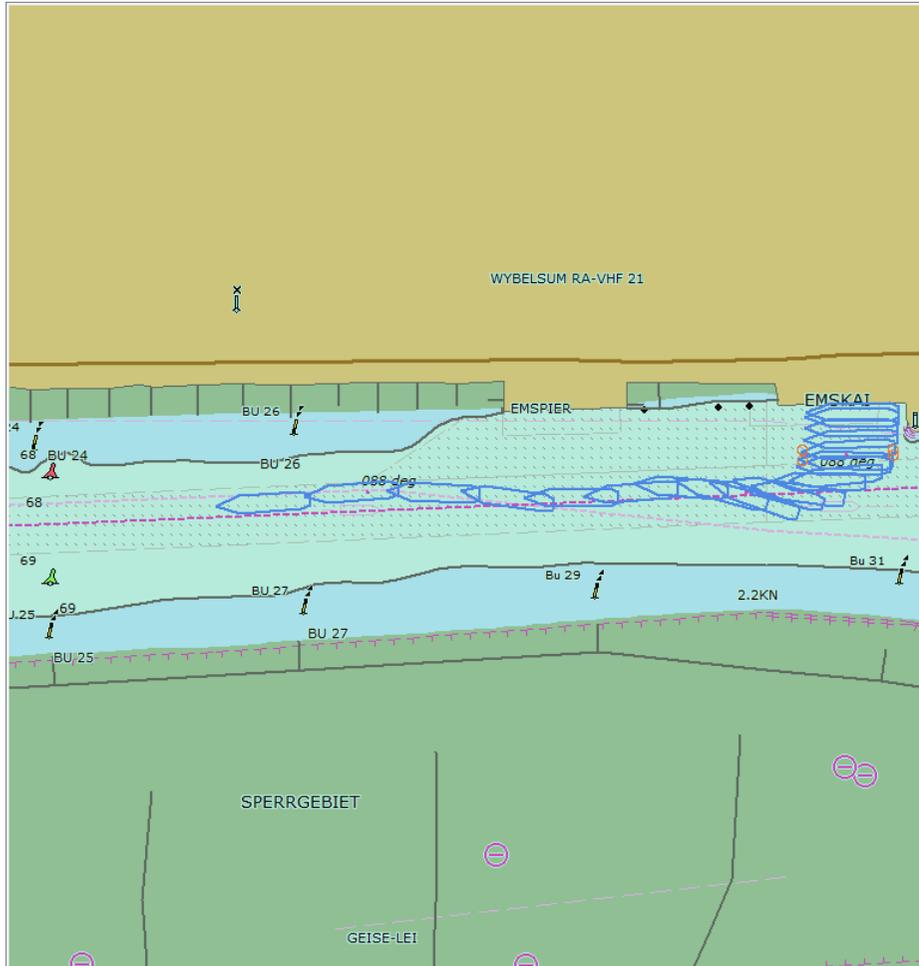
Ablegen mit der Thermopyläe vom Emspier bei Stauwasser und Bft5 aus Süden



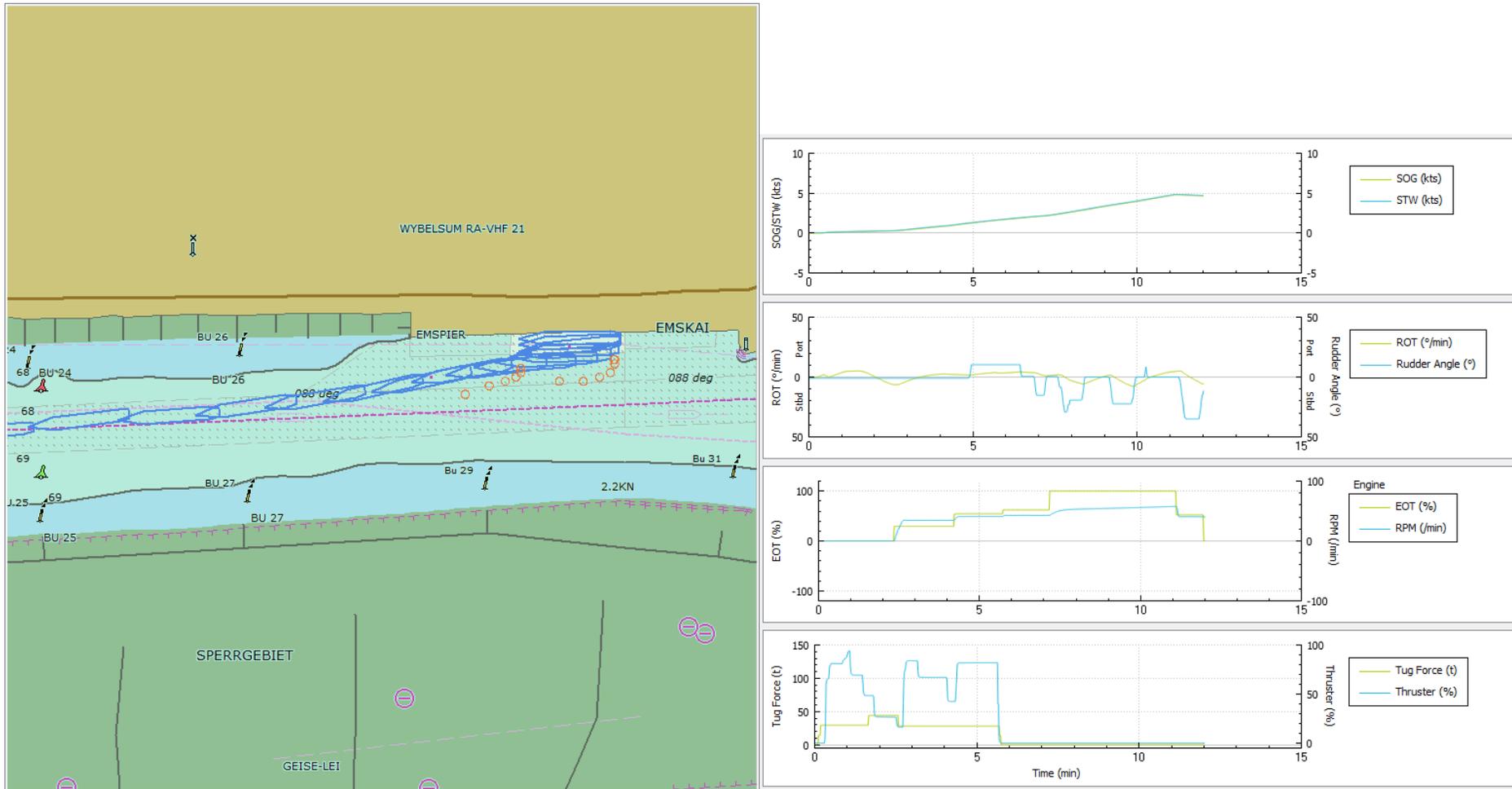
Ablegen mit der Thermopyläe vom Emskai bei Stauwasser und Bft5 aus Süden



Ablegen mit der Thermopyläe vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Süden



Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Stauwasser und Bft5 aus Süden



Ablegen mit der Tønsberg vom GSLP bei Flut und Bft5 aus Süden

